

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)

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических  
материалов»

(направленность, (профиль))

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему Технология изготовления алюминиевого воздуховода от аппарата  
для очистки воздуха

Студент

Д.В. Бетин

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Научный

К.В. Моторин

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

руководитель

Консультанты

Т.А. Варенцова

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., проф. Ковтунов А.И.

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

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой

д.т.н., проф. Ельцов В.В.

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

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Тольятти 2019

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Сварка алюминийевого воздуховода.....	6
1.1 Описание изделия и условия его эксплуатации.....	6
1.2. Алюминий и его сплавы.....	13
1.3 Свариваемость алюминия.....	17
1.4 Анализ способов сварки алюминия.....	19
2 Требования к изготовлению сосудов и аппаратов из алюминия.....	34
2.1 Общие требования.....	34
2.2 Требования к корпусам.....	36
2.3 Требования к обечайкам.....	37
2.4 Требования к опорам.....	38
2.5 Общие требования к сварке.....	39
2.6 Маркировка, окраска, консервация, упаковка, транспортирование и хранение.....	40
2.6.1 Маркировка.....	40
2.6.2 Окраска и консервация.....	42
2.6.3 Упаковка, транспортирование и хранение.....	43
3 Контроль качества сварных соединений.....	45
3.1 Требования к методам и контролю сварных соединений.....	45
3.2 Выбор методов и объема контроля сварных соединений.....	54
3.3 Требования к качеству сварных соединений.....	55
4 Технология сварки алюминийевого воздуховода от аппарата для очистки воздуха.....	60
4.1 Очистка перед сваркой.....	60
4.2 Подготовка кромок перед сваркой.....	61
4.3 Сборка деталей.....	66

4.4 Сварка стыков.....	68
4.5 Исправление дефектов.....	73
5 Изготовление алюминиевого воздуховода от аппарата для очистки воздуха.....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	85
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	87

## ВВЕДЕНИЕ

Ни для кого не секрет, что сварка является одним из основных технологических процессов в изготовлении многих конструкций и объектов. В любом производстве вопрос качества и скорость производства продукции занимает первые места.

Часто сварка является завершающим технологическим процессом, определяющим готовность продукции, поэтому от качества сварных соединений в значительной мере зависит безопасность того или иного оборудования, или сооружения при его эксплуатации. Очевидно, что некачественные сварные соединения становятся вероятной причиной разрушения конструкции, приводящей к аварии.

Алюминий является уникальным конструкционным материалом используемым во всех отраслях промышленности. Это связано с его комплексом свойств таких как низкая плотность, высокая электропроводность и теплопроводность, а также высокая химическая устойчивость обусловленная наличием оксидной пленки  $Al_2O_3$  на поверхности алюминия. Поэтому это делает его незаменимым материалом для машиностроения, пищевой промышленности, радиоэлектронной промышленности, химической промышленности, а также авиационной и ракетно-космической промышленности [1-3].

Алюминий является самым распространенным металлом находящимся в земной коре это создает предпосылки к использованию алюминия в течение долгого времени. Поэтому сварка алюминия является актуальной задачей и по сей день.

Сварка алюминия является сложным многоступенчатым технологическим циклом. Так как необходима хорошая очистка свариваемых кромок и удаление слоя оксидной пленки препятствующей сварке. Помимо этого, алюминий является достаточно жидкотекучим материалом, что требует от сварщика высокой квалификации в процессе

сварки. Также при сварке алюминия высокая вероятность возникновения пор в сварных соединениях и возможно наличие горячих и холодных трещин. Отсюда следует, что для получения качественного сварного соединения необходимо учесть много нюансов, которые оказывают большое влияние на конечный результат сварного соединения.

Основными способами сварки алюминия являются ручная дуговая сварка покрытыми электродами, механизированная сварка плавящимся электродом в среде защитных газов и ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом. Наибольшее распространение получил способ ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, однако недостатком данного способа является низкая производительность.

Анализируя изложенное выше можно выделить, что получение качественного сварного соединения из алюминия и его сплавов это сложный технологический процесс. Основным способом сварки алюминия — это ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом основным недостатком которого является низкая производительность.

Отсюда вытекает, что целью работы является повышение производительности и качества сварных соединений алюминиевого воздуховода за счет разработки технологии изготовления алюминиевого воздуховода.

# 1 Сварка алюминиевого воздуховода

## 1.1 Описание изделия и условия его эксплуатации

Вопрос экологии всегда остро затрагивает химическую промышленность, а особенно очистка воздуха при изготовлении химической продукции. Для очистки воздуха используются специальные аппараты в состав которых входит система фильтров, воздухопроводы, компрессор (турбо компрессор), опоры и другие вспомогательные элементы.

На сегодняшний день широко распространены стандартные аппараты для очистки воздуха которые отлично справляются с небольшими помещениями. Однако когда необходимо производить очистку воздуха большого цеха, то как правило находится не много стандартных решений и приходится изготавливать воздухоочиститель под конкретное производство и определенный вид работ.

В данной магистерской работе рассматривается воздуховод от аппарата для очистки воздуха Ф-101/2 (Рисунок 1).

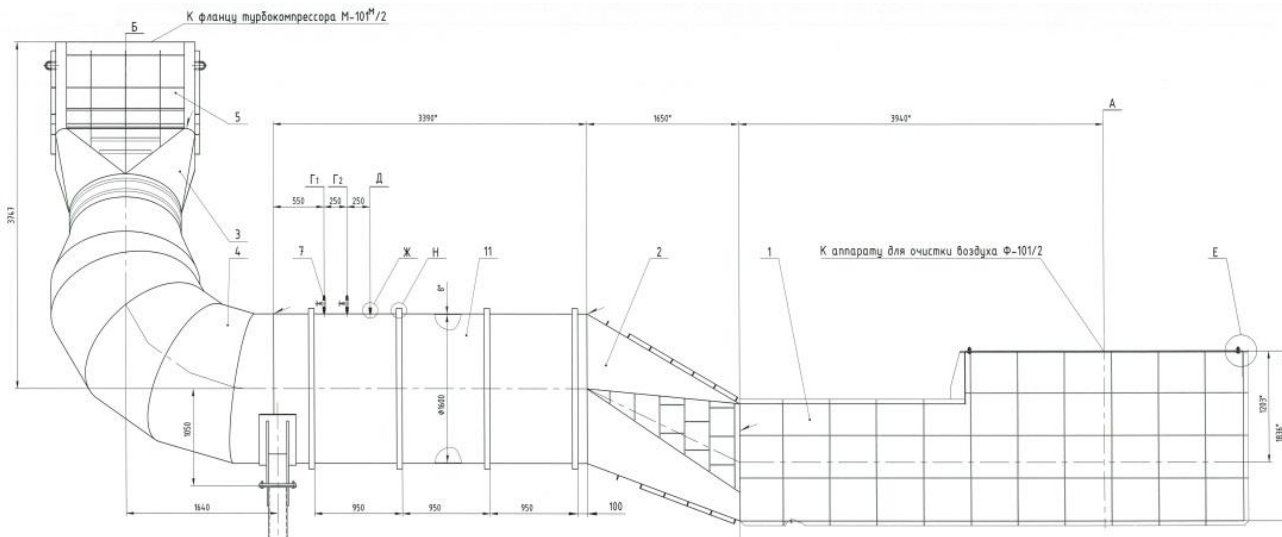


Рисунок 1 – Общий вид воздуховода от аппарата для очистки воздуха Ф-101/2

Воздухопровод состоит из нескольких узлов: короб, переход DN 1600-1650x1250, переход DN 1200-1502x782, отвод сварной 90-DN 1600, отвод

1502x782, опора, узел отбора давления. Рассмотрим каждый составной элемент.

Короб состоит из сваренных между собой листов с продольными и поперечными ребрами (рисунок 2,3). Сверху короба имеется планка с отверстиями для соединения воздуховода и аппарата для очистки воздуха Ф-101/2. Толщина листового материала для изготовления ребер жесткости и стенок короба 8 мм. Толщина листового материала для изготовления планки 10 мм.

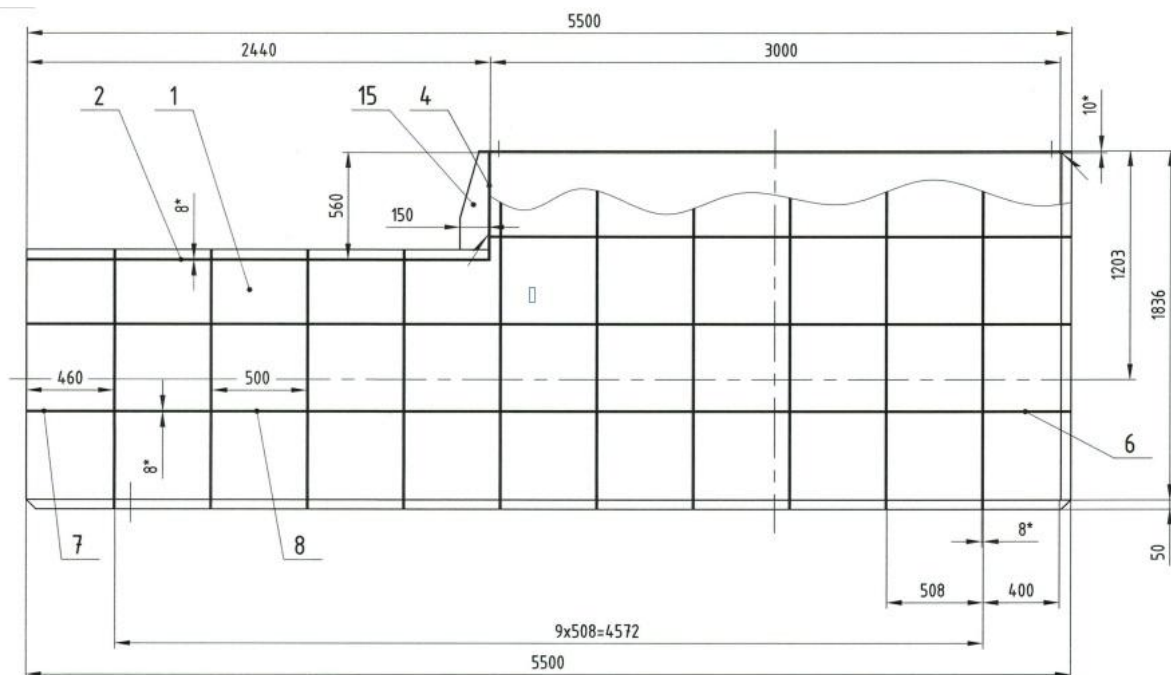
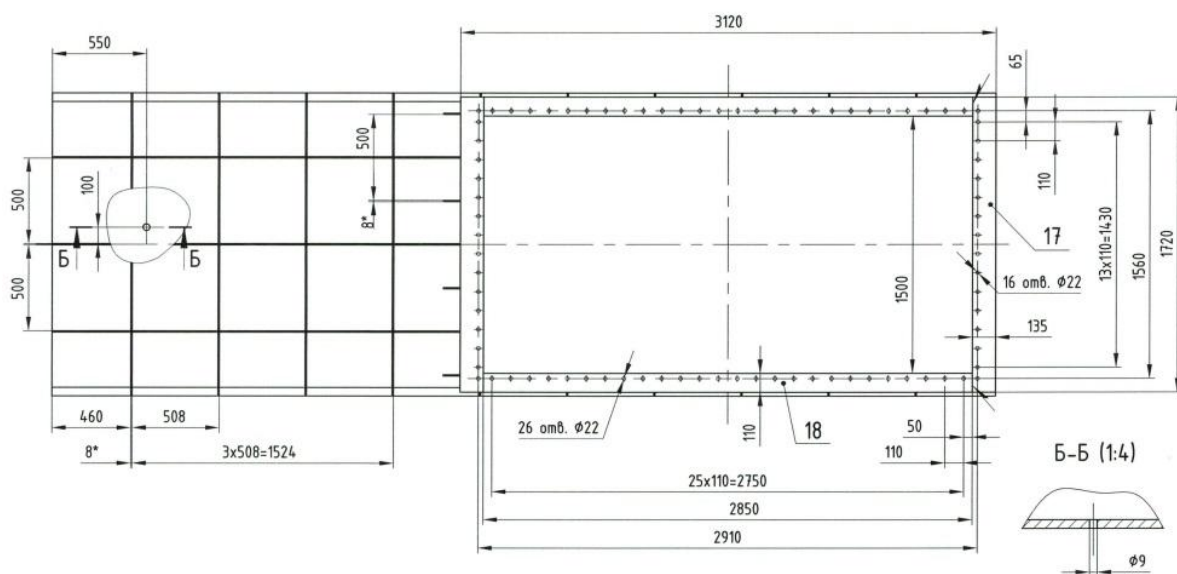


Рисунок 2 – Короб (общий вид)



### Рисунок 3 – Короб (вид сверху)

Переход DN 1600-1650x1250 состоит из листового проката сваренного между собой. На поверхности имеются ребра жесткости. Данный элемент конструкции представляет собой переход от короба 1600x1250 мм к трубе диаметром 1600 мм (рисунок 4).

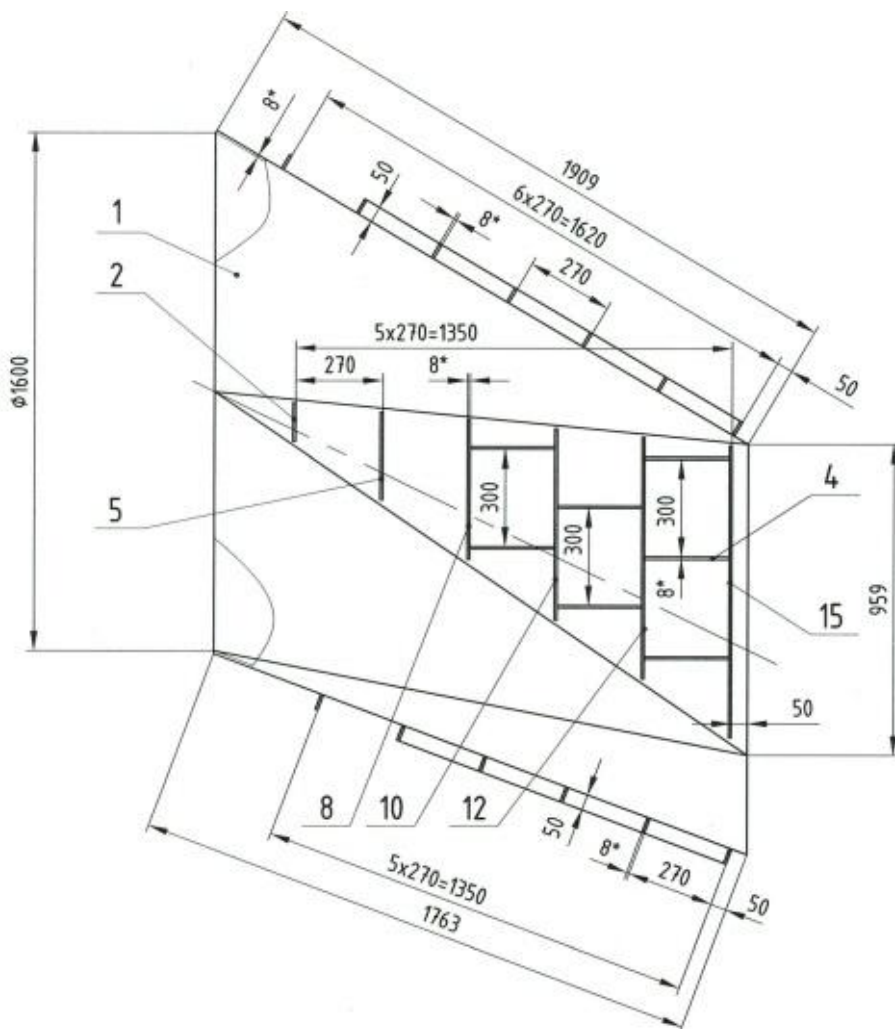


Рисунок 4 - Переход DN 1600-1650x1250

Следующим элементом является воздуховод является труба диаметром 1600 мм. Которая изготавливается из листового проката толщиной 8 мм и сваривается между собой стыковыми швами. По контуру трубы приварены четыре П-образных профиля для придания жесткости конструкции. Также на поверхности данной трубы находятся два узла для отбора давления в воздуховоде (рисунок 5).



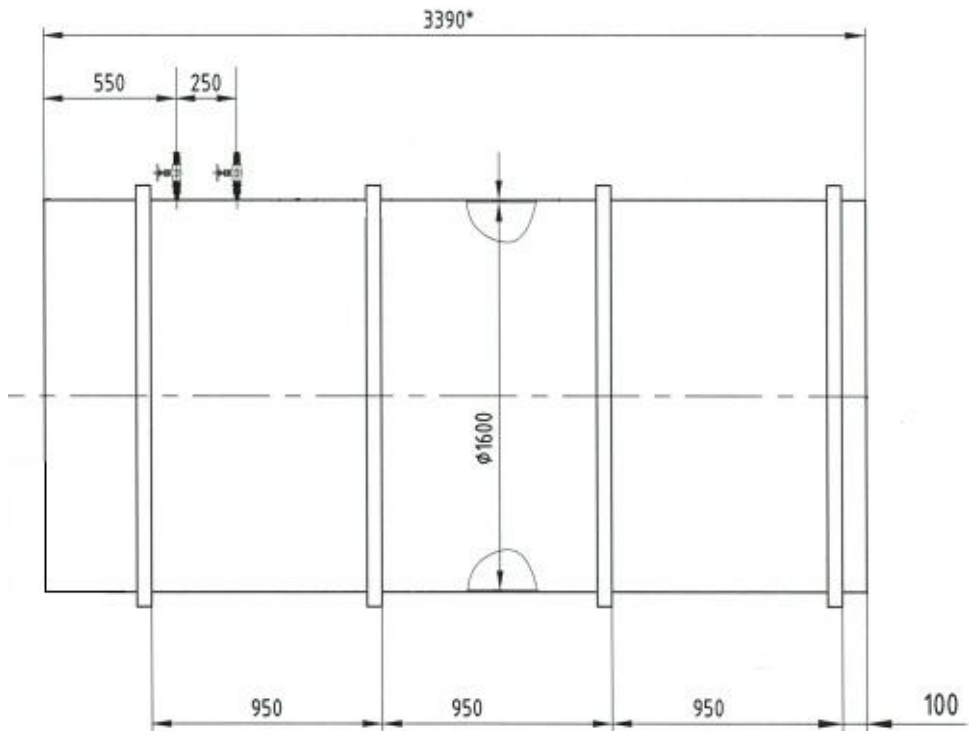


Рисунок 5 – Труба переход диаметром 1600 мм

Следующий элемент конструкции — это сварной отвод диаметром 1600 мм (рисунок 6). Изготовлен из листового проката толщиной 8 мм.

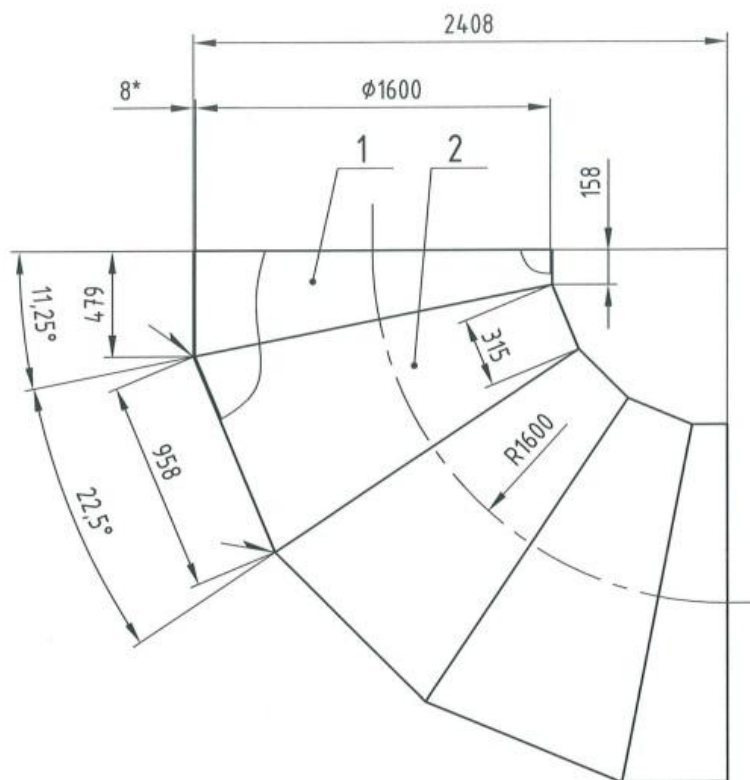


Рисунок 6 - Отвод сварной 90-DN 1600

Переход DN 1600-1200 изготовлен из листового проката толщиной 8 мм (рисунок 7).

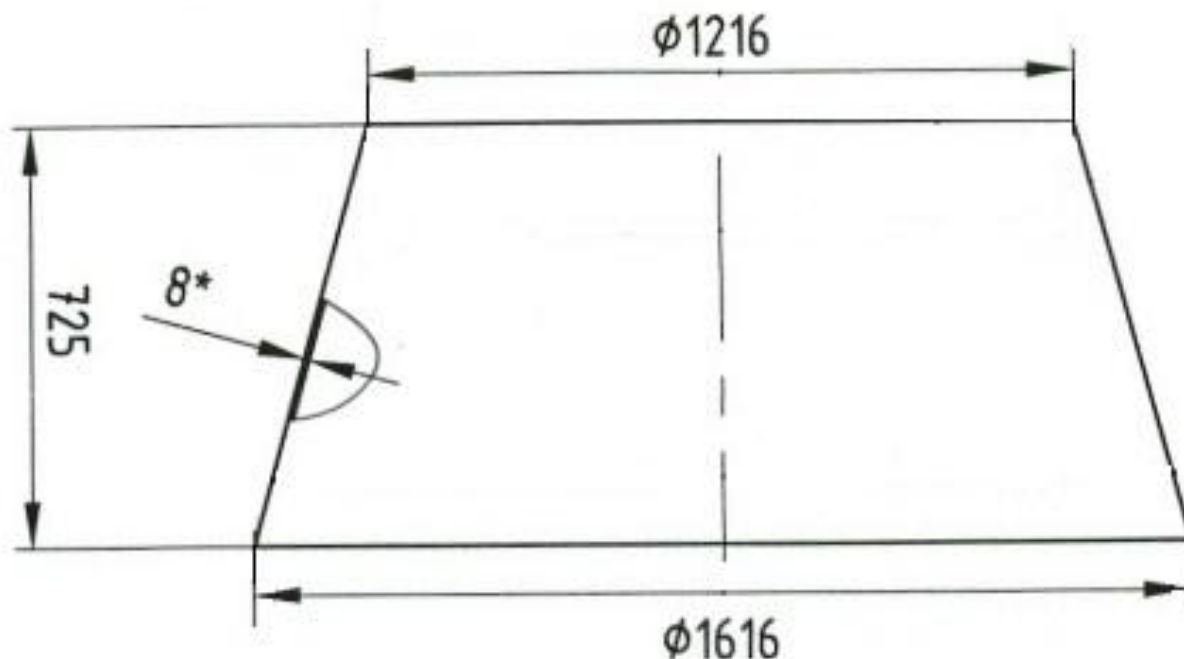


Рисунок 7 - Переход DN 1600-1200

Рассматриваемый воздуховод занимает промежуточное положение между аппаратом для очистки воздуха Ф-101/2 и фланцем турбокомпрессора М-101/2.

Следующие элементы конструкции являются также сварными однако изготовлены из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и соединяются с алюминиевым переходом DN 1600-1200 при помощи разъёмных соединений. Технология сварки высоколегированных аустенитных сталей является распространенным и известным процессом в современной технике поэтому не требует дополнительной разработки технологии. Однако рассмотрим составные узлы воздуховода из высоколегированной стали.

Переход DN 1200-1502x782 изготовлен из листового проката 12Х18Н10Т толщиной 4 мм (рисунок 8).

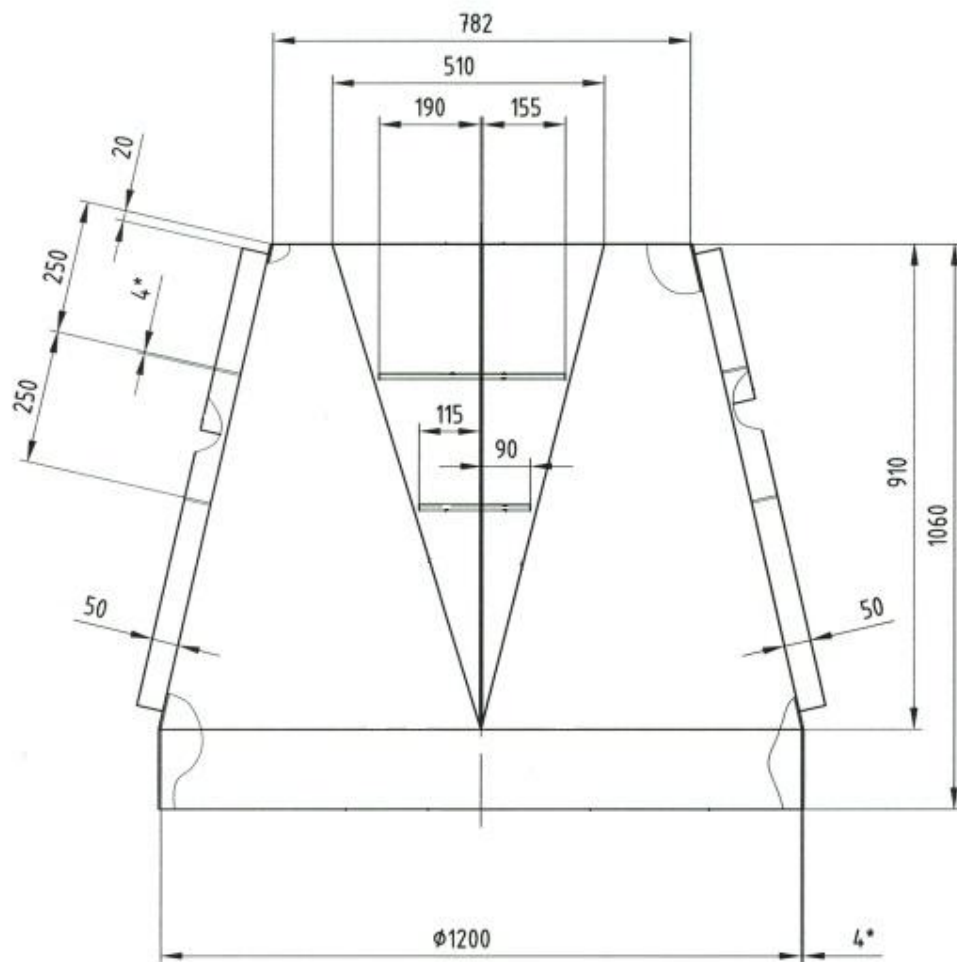


Рисунок 8 - Переход DN 1200-1502x782

Отвод DN 1502x782 изготовлен из листового проката 12X18Н10Т толщиной 4 мм (рисунок 9).

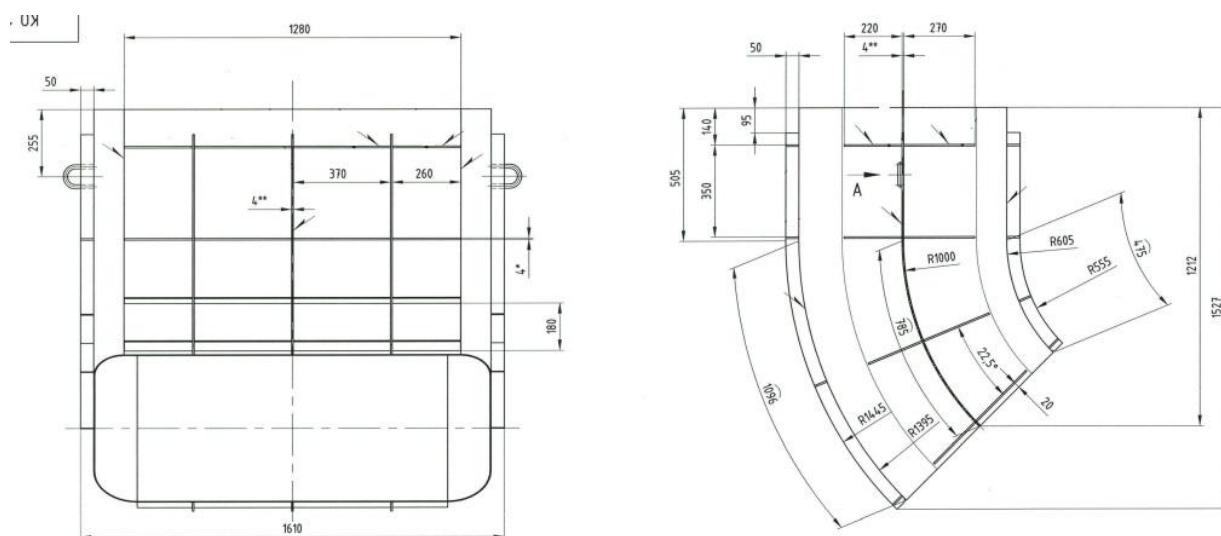


Рисунок 9 - Отвод DN 1502x782

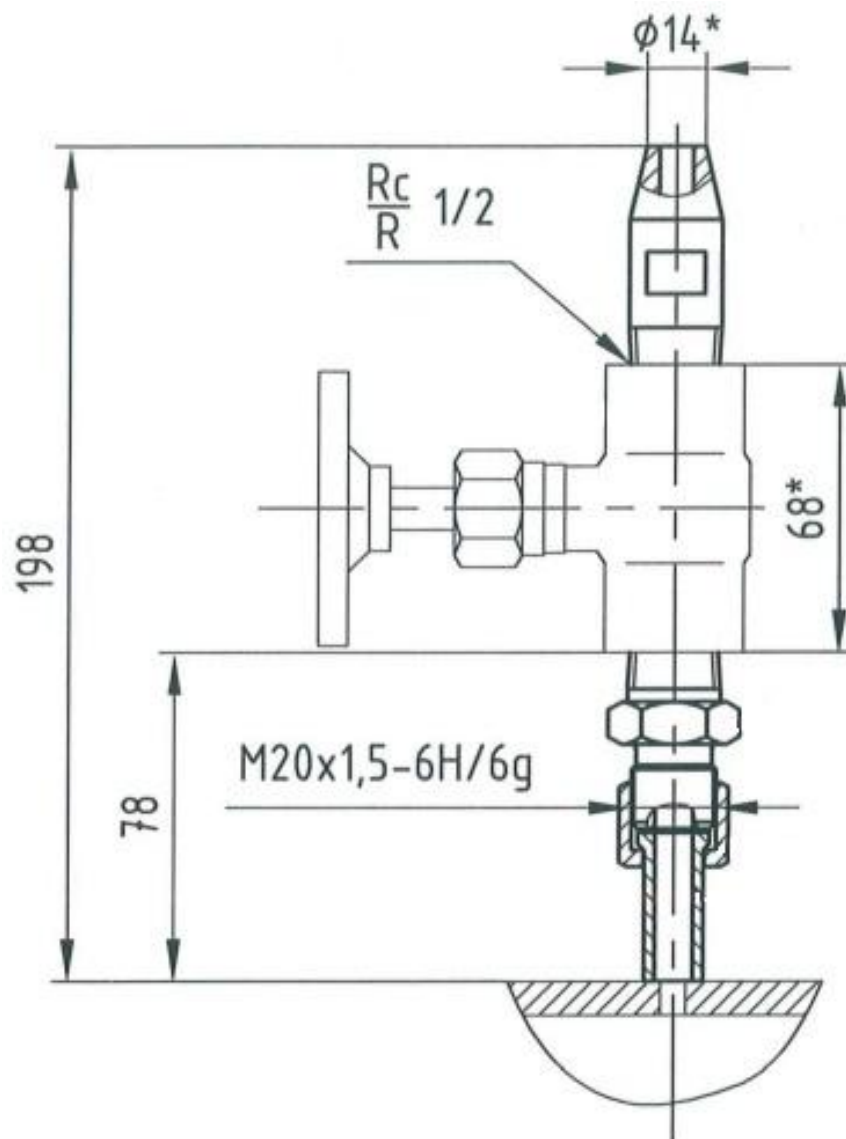


Рисунок 10 – Узел отбора давления

При выборе материалов для изготовления воздуховода учитывается: расчетное давление, температура стенки, химический состав и характер рабочего вещества и технологические свойства материалов. Также необходимо учитывать такие показатели как масса конструкции и нагрузку которую она будет получать.

В таблице 1 указаны технические характеристики, которыми должен обладать данный воздухопровод.

Таблица 1 – Технические характеристики воздуховода от аппарата для очистки воздуха Ф-101/2

Назначение: для подачи воздуха на турбокомпрессор			
Наименование показателей, единица измерения		Значение	
Давление, МПа	Рабочее (вакуум)	0,002	
	Расчетное (избыточное)	0,01	
	Пробное при гидравлическом испытании	-	
Температура, °С	Рабочая	39	
	Расчетная	60	
Среда	Наименование		Воздух
	Характеристика	Класс опасности по ГОСТ 12.1.007-76	Нет
		Взрывоопасность	Нет
		Пожароопасность	Нет
Прибавка для компенсации коррозии, мм		0	
Место установки		В помещении	
Число циклов нагрузки за весь срок службы, не более		1000	
Место установки		В помещении	
Расчетный срок службы, лет		10	

Для изготовления данного воздуховода было решено использовать в качестве основного материала алюминий так как он обладает высокой коррозионной стойкостью, а также имеет низкую плотность ( $2,7 \text{ г/см}^3$ ), что значительно снизит вес конструкции [1].

## 1.2 Алюминий и его сплавы

Алюминий – это металл серебристо-белого цвета, второй (после железа) металл современной техники. Наиболее важное свойство алюминия, определяющее его широкое применение - это его низкая плотность, равная  $2,7 \text{ г/см}^3$ , то есть алюминий почти в 3 раза легче железа, а также хорошая

электрическая проводимость ( $34 \times 10^4 \text{ Ом}^{-1} \times \text{см}^{-1}$ ), составляющая 57% электрической проводимости меди». «Температура плавления алюминия 660 °С, температура кипения около 2500 °С [2-5].

Кроме того, алюминий имеет высокую теплопроводность и теплоемкость, химически стоек против органических кислот и хорошо сопротивляется воздействию азотной кислоты. Он очень быстро окисляется на воздухе, покрываясь тонкой пленкой окиси, которая, в отличие от окиси железа, не пропускает кислород в толщу металла. Его кристаллическая решетка - куб с центрированными гранями с параметром  $a=0,404 \text{ нм}$  (4,04 Ангстрем). Никаких аллотропических превращений у алюминия не обнаружено [2-5].

«В зависимости от чистоты различают алюминий особой чистоты, высокой чистоты и технической чистоты. Также алюминиевые сплавы можно разделить на деформируемые, литейные, спеченные порошковые и направленно-закристаллизованные алюминиевые эвтектики» [2-5].

«Механические свойства алюминия не высоки, предел прочности при разрыве составляет 90-180 МПа (9-18 кгс/мм<sup>2</sup>), НВ 20-40; он имеет высокую пластичность, что дает возможность прокатывать его в очень тонкие листы». «Однако чистый алюминий трудно обрабатывается резанием, а также имеет значительную линейную усадку (1,8 %). Для улучшения этих свойств в алюминий вводят различные добавки» [2-5].

«Для получения алюминия недостаточно иметь только алюминиевую руду; требуется еще другой вид сырья - плавиковый шпат для получения криолита и других фтористых солей, необходимых в производстве алюминия. Нужны также чистые углеродистые материалы для получения анодной массы и других электродных изделий, без которых невозможно электролитическое производство алюминия. Нельзя его осуществить и без большого расхода электрической энергии. Таким образом, современное производство алюминия складывается из четырех самостоятельных

процессов: производство глинозема, получение криолита, электродного производства и электролитического получения алюминия» [2-5].

«Ввиду описанных выше свойств алюминий применяется для ненагруженных деталей и элементов конструкции, когда от материала требуется легкость, свариваемость, пластичность, коррозионная стойкость» [6-9].

Сварка алюминия является сложным многоступенчатым технологическим процессом так как для сварки необходимо учесть много требований и условий [6-9]:

1) Основной проблемой при сварке алюминия является наличие тугоплавкой оксидной пленки  $Al_2O_3$  ( $T_{пл} \sim 2050^\circ C$ ) на поверхности свариваемых деталей. В связи с этим необходима механическая подготовка свариваемых кромок с целью уменьшения толщины оксидного слоя, а также обезжиривание кромок перед сваркой.

2) Алюминиевые сплавы обладают большим коэффициентом линейного расширения, что приводит к значительным деформациям конструкции в процессе охлаждения. Поэтому при сварке необходимо учитывать этот фактор и использовать специальные технологические приемы и сварочную оснастку для компенсации деформаций.

3) Алюминий обладает высокими показателями теплопроводности поэтому при сварке необходимо использовать мощные источники нагрева.

4) Алюминий является достаточно жидкотекучим материалом, что требует от сварщика высокой квалификации в процессе сварки.

5) Необходимо проводить тщательную очистку сварочных и свариваемых материалов, а также в процессе сварки необходима хорошая защита сварочной ванны так как вследствие резкого повышения растворимости водорода в жидком металле и последующей кристаллизации и снижения растворимости возможно образование пор в сварном шве. Помимо этого, хорошая защита сварочной ванны необходима также для того, чтобы оксидная пленка не препятствовала сплавлению основного и

электродного материала во время переноса сварочного материала в жидкую сварочную ванну.

б) Горячие трещины при сварке алюминия встречаются часто. Наиболее склонными к горячим трещинам являются: химически чистый алюминий, термоупрочняемые алюминиевые сплавы, сплавы, содержащие Cu и Zn, некоторые не упрочняемые алюминиевые сплавы, содержащие Mn.

Склонность к образованию горячих трещин зависит от содержания Fe и Si. В сочетании эти элементы с учётом добавок Mn могут оказывать и положительное и отрицательное влияние. Так при содержании 1,5% Mn и 0,2% Fe температурный интервал хрупкости сужается с 20 до 6°C, склонность к горячим трещинам резко падает. Si и Cu действуют отрицательно. Для образования горячих трещин достаточно 0,1% Si.

Подогрев не снижает склонности алюминиевых сплавов к горячим трещинам, т.к. такая операция замедляет температурную деформацию, но увеличивает размеры кристаллитов [10,11].

Для снижения сварочных напряжений и деформации используются предварительный подогрев. Также предварительный подогрев используют для снижения потерь тепла от свариваемых кромок (из-за высокой теплопроводности алюминия) [10,11].

Основной характеристикой около шовной зоны для технического алюминия и термически не упрочняемых сплавов является укрупнение зерна. По мере удаления от зоны сплавления структура постепенно измельчается до структуры основного металла. Ярко выраженных участков зоны термического влияния нет. У сплавов системы Al – Mg в основном металле вблизи зоны сплавления несколько уменьшена прочность. Разрушение происходит по зоне сплавления. В термически упрочняемых сплавах при охлаждении с высокой температурой в около шовной зоне происходит вторичная закалка. Это приводит к укрупнению фаз в зоне старения и



снижению прочности, и твёрдости в зоне термического влияния. Такие сварные конструкции подвергают искусственному старению (дисперсионное твердение). При нагреве и выдержке сплава при температуре старения пересыщенный твёрдый раствор легирующих элементов в основе сплава начинает распадаться. При этом выделяется тонкодисперсные твёрдые фазы: карбиды, нитриды, интерметаллиды. Они скапливаются вокруг дислокаций и тормозят пластическую деформацию. Прочность металла повышается. Однако в ходе самой сварки этих сплавов, в ходе охлаждения происходит вторичная закалка, фазы должны укрупняться, снижая прочность зоны термического влияния. Если сплав стареющий, то в сварной конструкции с течением времени эти свойства выравниваются при комнатной температуре. Свойства могут быть равны исходным. Этот процесс может происходить в течение нескольких месяцев после сварки. На тех участках зоны термического влияния, которые нагреваются в ходе сварки до температуры отжига никакого старения не происходит и механические свойства после сварки остаются низкими [10,11].

### **1.3 Свариваемость алюминия**

«Свариваемость – свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия» [12]. Свариваемость не является однозначным и неотъемлемым свойством данного сплава, т.е. кроме технологических характеристик самого материала она зависит от способа и режима сварки, состава основного и присадочного материала, флюса, защитного газа, от конструкции сварного узла, от условий эксплуатации изделия [13].

В связи с большим комплексом показателей свариваемость, сочетание которых в разных случаях различно, единой количественной оценки свариваемости нет.

Условно выделяют 4 вида свариваемости:

- 1) физическая;
- 2) технологическая;
- 3) конструкционная;
- 4) эксплуатационная.

1. Физическая свариваемость зависит от физико-химических свойств материала. К ним относят:

- характер диффузии компонентов материала в твёрдом и жидком состоянии;
- возможность образования твёрдых и жидких растворов;
- тепло- и электропроводности;
- совместную кристаллизацию основного и присадочного материала;
- особенности физико-химических процессов при сварке данного материала.

Физической свариваемостью в некоторой степени можно управлять воздействуя на металл различными видами энергии. Характер кристаллизации зависит от давления, напряжённости электрических полей. Изменять физическую свариваемость можно воздействуя переменным магнитным полем на свариваемый металл.

2. Технологическая свариваемость – совокупность свойств основного материала, определяющих его чувствительность к термическому циклу сварки и способность образовывать надёжные в эксплуатации сварные соединения. Чем хуже технологическая свариваемость, тем сложнее требуется технологический процесс и оборудование.

3. Конструкционная свариваемость – возможность получать неразъёмное соединение деталей данных размеров и формы. Этот термин входит составной частью в понятие «технологичность сварных конструкций».

Эксплуатационная свариваемость – возможность получать сварные соединения с заданными эксплуатационными свойствами, которые

определяются условиями работы изделия и задаются при его проектировании. Нужно подбирать материал, обладающий заданными эксплуатационными свойствами

Общая свариваемость оценивается как произведение всех видов свариваемости:

$$\Sigma C = C_{\phi} \cdot C_{\tau} \cdot C_{\kappa} \cdot C_{\varepsilon}$$

Если какой-то из видов свариваемости равен нулю, то и общая свариваемость равна нулю.

«К проблемам технологической свариваемости алюминия и его сплавов можно отнести склонность к горячим (кристаллизационным), а иногда и к холодным трещинам, образование окисных включений в швах, ухудшающих сплавление кромок и окручивающих металл шва, пористость и нарушение формирования швов, повышенные сварочные деформации и коробление свариваемых кромок в процессе сварки». Решение этих проблем связаны с разработкой технологии сварки при которой сгладит (решит) все негативные факторы [14-16].

Трудности с физической свариваемостью у алюминия это его высокая тепло и электропроводность. Которая решается применением мощных источников питания и режимов сварки с высокой погонной энергией [14-16].

Трудности связанные с конструкционной и эксплуатационной свариваемостью. Конструкционная свариваемость обеспечивается правильным выбором способа и режимов сварки. Эксплуатационная свариваемость также зависит от термического цикла сварки, применяемых сварочных и свариваемых материалов [14-16].

#### **1.4 Анализ способов сварки алюминия**

Вопрос выбора способа сварки алюминия являются актуальной задачей так как сварные соединения должны иметь высокое качество при минимальных затратах времени и финансов.

В данном разделе будет проведен анализ способов сварки, применение которого наиболее целесообразно при изготовлении алюминиевого воздуховода от аппарата для очистки воздуха Ф-101/2 [14,15].

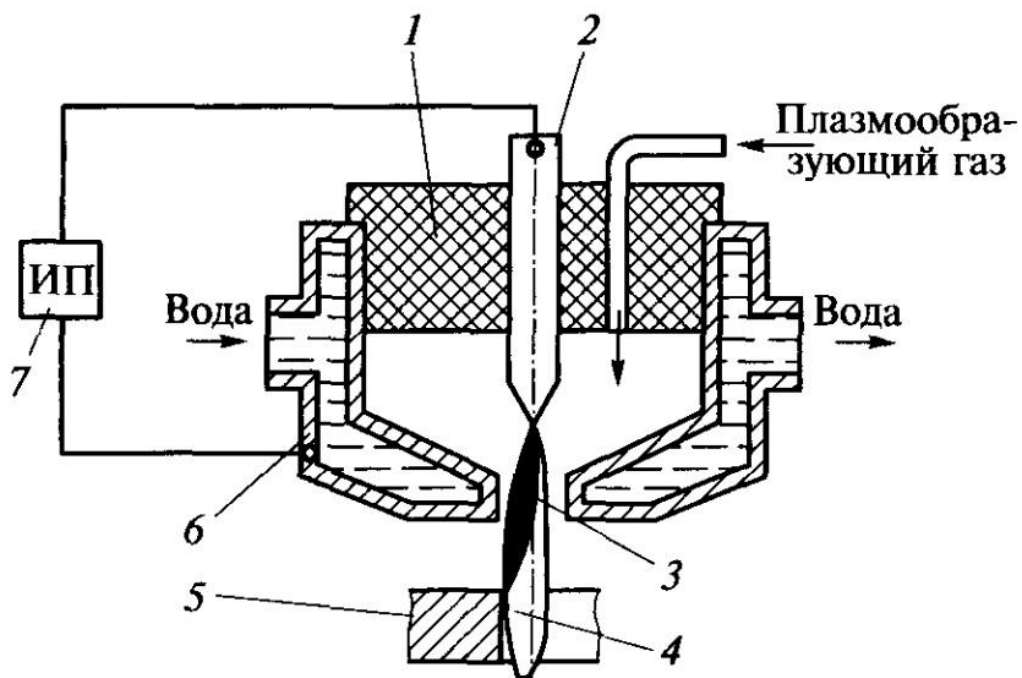
#### **1.4.1 Плазменная сварка**

Плазменная сварка (сварка сжатой дугой) относится к сварке плавлением. При сварке сжатой дугой нагрев и расплавление кромок осуществляется плазменной струей направленного действия [17,18].

Плазма – это ионизированный газ с высокой концентрацией заряженных частиц, который содержит приблизительно одинаковое количество отрицательных и положительных зарядов. Плазму, которую получают путем нагрева газа электрическим дуговым разрядом называют сжатой дугой. Температура дуги при этом находится в пределах 15000 – 30000 К [17,18].

«По способу действия плазменную сварку принято разделять на сварку плазменную и плазменно-дуговую» [17,18].

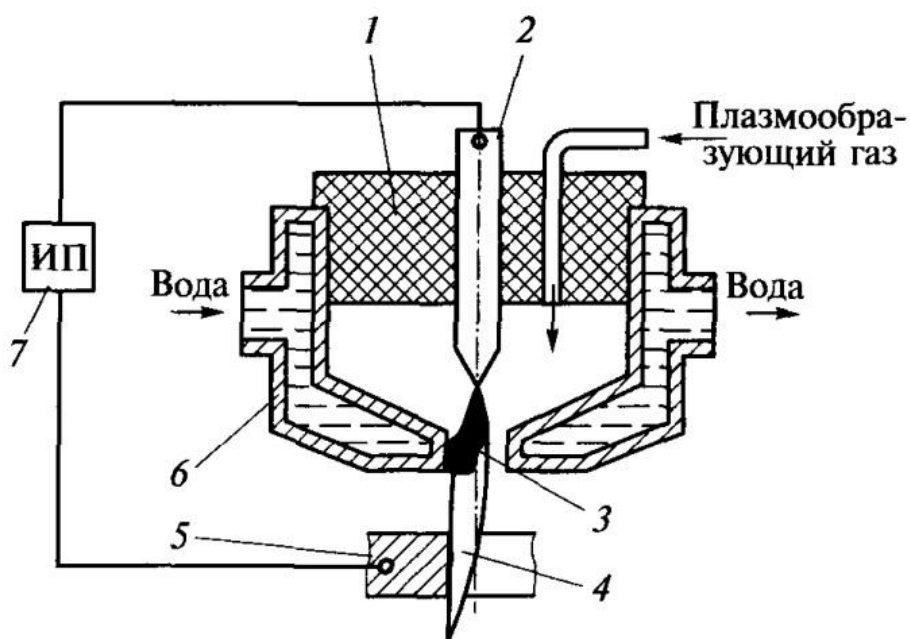
При плазменной сварке (Рисунок 11.) активное пятно дуги находится на электроде и внутренней поверхности сопла плазмотрона (сжатая дуга косвенного действия). Теплота к свариваемым поверхностям передается за счет теплопроводности материала, конвекции или излучения дуги. Коэффициент полезного действия составляет 0,1-0,3 [17,18].



Где: 1 – изолятор; 2 – неплавящийся электрод; 3 – дуга; 4 – плазменная струя;  
5 – свариваемая деталь; 6 – сопло; 7 – источник питания дуги

Рисунок 11 – Схема сварки независимой плазменной струей [17]

При плазменно-дуговом способе (дуга прямого действия) (рисунок 12) к перечисленным механизмам теплопередачи добавляется передача энергии заряженными частицами. При сварке по данной схеме плазменная струя совмещена со столбов дугового разряда. При этом повышается коэффициент полезного действия и находится в пределах 0,65-0,75. При этом мощность дуги выше чем при сварке косвенной дугой, это объясняется отсутствием потерь тепла активного пятна дуги в канале сопла плазматрона. Также повышается стойкость сопла плазматрона и стабильность горения дуги [17,18].



Где: 1 – изолятор; 2 – неплавящийся электрод; 3 – дуга; 4 – плазменная струя;  
5 – свариваемая деталь; 6 – сопло; 7 – источник питания дуги

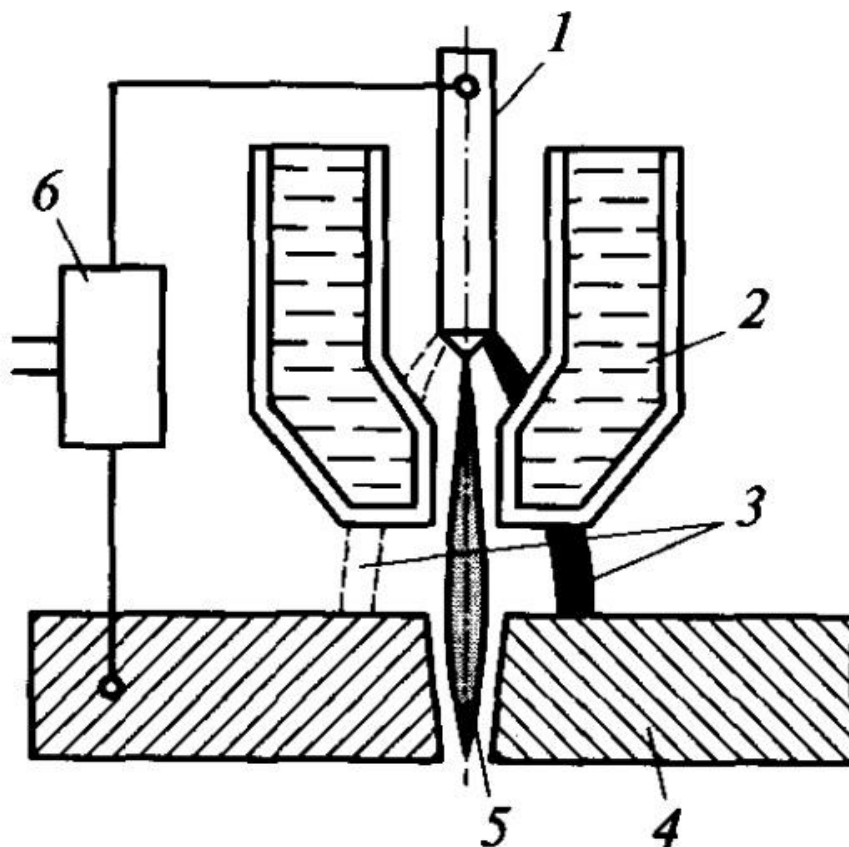
Рисунок 12 – Схема плазменно-дуговой сварки [17]

В качестве плазмообразующих газов используют аргон, гелий, углекислый газ, воздух, кислород, азот, водород. Наибольшее распространение при сварке получил аргон. Так при применении аргона обеспечивается хорошая защита сварочной ванны, а также повышается стойкость электрода [17,18].

Энергетические возможности сжатых дуг ограничены возможностью возникновения аварийного режима работы плазмотрона - двойного дугообразования. При увеличении силы тока сжатой дуги до определенного значения столб дуги распадается, образуя каскад дуг (рисунок 13) [17,18].

Двойное дугообразование проявляется в том, что между электродом и деталью начинает гореть две дуги (сопло-электрод и сопло-деталь). При этом быстро выходит из строя комплектующие части плазмотрона. Для предотвращения двойного дугообразования в сопло устанавливается вставка из вольфрама, которая выступает из торцевой части сопла. При этом дуга концентрируется на вставке и сопло не разрушается, однако снижается

коэффициент полезного действия [17,18].



Где: 1 – неплавящийся электрод; 2 – сопло; 3 – вторые свободные дуги; 4 – свариваемые детали; 5 – первая плазменная сжатая дуга; 6 - источник питания дуги

Рисунок 13 – Схема двойной дуги при плазменно-дуговой сварке [17]

По сравнению с аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом плазменная сварка обладает следующими достоинствами:

- независимость геометрических размеров зоны расплавления;
- надежность зажигания сжатой дуги благодаря наличию дежурной дуги;
- отсутствие включений вольфрама в сварном шве;
- высокая скорость сварки;
- концентрированное тепловложение и, следовательно, снижение деформаций свариваемых деталей при большей глубине проплавления.

При одинаковой скорости сварки для сжатой дуги необходим почти в два раза меньший ток по сравнению с аргонодуговой сваркой. При этом обеспечивают получение более узких швов с полным проплавлением [17,18].

Наряду с обычными условиями плазменную сварку используют для сварки металлов под водой и в вакууме [17,18].

«В производстве чаще используется плазменная сварка на постоянном токе прямой полярности из-за более высокой стойкости электрода. Кроме того, при такой полярности высокая мощность дуги. Так свариваются легированные стали, медь и титан» [17,18].

Однако данный метод не применяется при сварке алюминия и его сплавов так как не происходит разрушения оксидной пленки, вследствие чего используют плазменную сварку на постоянном токе обратной полярности. Однако при сварке на обратной полярности очень низкий коэффициент полезного действия дуги (низкая передача тепла), а также высокая нагрузка на электрод. Вследствие чего приходится часто менять электроды соответственно повышаются экономические затраты. Решение данной проблемы является применение плазмотронов с интенсивным охлаждением, но это также связано с финансовыми затратами [17,18].

«Промежуточное значение при этом занимает плазменная сварка на переменном токе. Основным недостатком дуги переменного тока является низкая устойчивость повторных зажигания. Чтобы повысить устойчивость дуги, необходимы или высокое напряжение источника питания, или сложные специальные стабилизаторы» [17,18].

Реализовать достоинства плазменной сварки алюминия позволяет возможность применения асимметричного переменного сварочного тока прямоугольной формы, Схема такую процесса показана на рисунке 14. При этом длительность протекания тока при обратной полярности выбирается минимальной, но достаточной для катодной очистки свариваемых кромок и присадочного металла, что снижает тепловыделение на электроде. Прямоугольная форма сварочного тока позволяет обеспечить стабильное





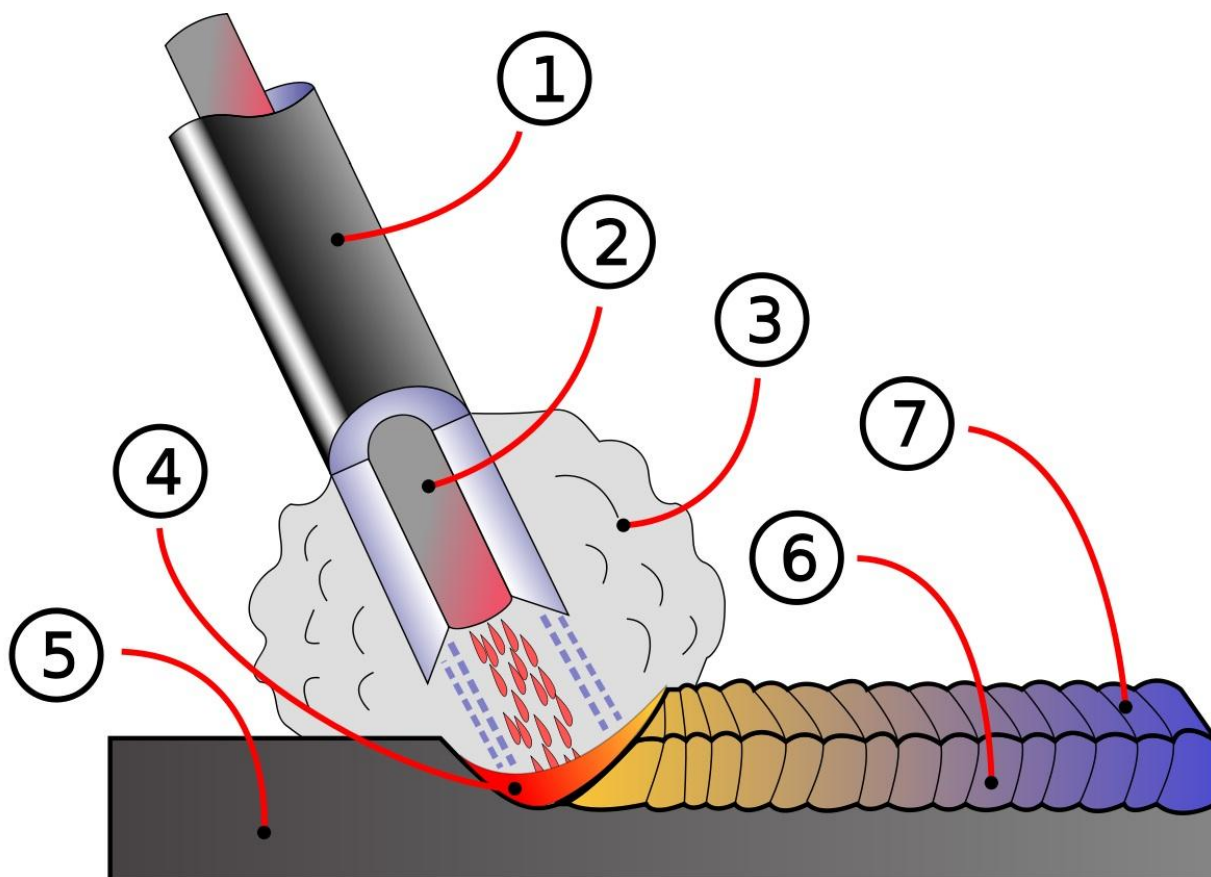
Ручная дуговая сварка покрытыми электродом является распространенным процессом дуговой сварки плавлением, однако практически не применяется для сварки алюминия ввиду некоторых особенностей процесса (рисунок 15) [19]:

- 1) Сложно контролировать формирование обратного валика (корня шва).
- 2) Высокая пористость шва из-за слабой защиты сварочной ванны.
- 3) Большое количество брызг.
- 4) Сложность удаления шлака, что может привести возникновению коррозии.

В основном ручная дуговая сварка алюминия покрытыми электродами применяется для сварки и восстановления простых деталей неотчетственных конструкций. При этом сварку проводят на постоянном токе обратной полярности также рекомендуется проводить предварительный подогрев деталей перед сваркой (при толщине деталей 6-8 мм – до температуры 200 °С, при толщине деталей 8-16 мм до 350-400 °С). Электроды перед сваркой должны быть просушены в течение 2 часов при температуре 150-200 °С, при отсутствии рекомендаций завода изготовителя [19].

Помимо стержня основным отличием электродов для сварки алюминия от электродов для сварки сталей является обмазка, которая изготавливается из хлоридов, фторидов щелочных и щелочноземельных металлов.

Основные марки электродов для сварки алюминия: ОЗА-1, ОЗА-2, ОЗАНА-1, ОЗАНА-2, УАНА-1, УАНА-2, УАНА-3, УАНА-4, УАНА-5, УАНА-6, ESAB ОК 96.10, ESAB ОК ALMN1 (96.20), ESAB ОК ALSI12 (96.50), UTP 48 (UTP 480).



Где: 1 – электродное покрытие; 2 – электрод; 3 – защитная газовая атмосфера; 4 – сварочная ванна; 5 – свариваемая поверхность; 6 – сварной шов; 7 – шлак

Рисунок 15 – Схема процесса ручной дуговой сварки покрытым электродом

### 1.4.3 Автоматическая сварка под слоем флюса

Автоматическая сварка под слоем флюса относится к высокопроизводительным способам сварки который широко применяется в современной области техники. Сущность процесса заключается в том сварочная дуга горит между электродной проволокой и свариваемой деталью, при этом защита сварочной ванны осуществляется в результате плавления сварочного флюса, который подается в зону сварки (рисунок 16) [20]. Автоматическая сварка под слоем флюса алюминия ведется постоянным током обратной полярности. Для сварки алюминия флюсы изготавливаются из галогенидов и криолита, данные флюсы не

взаимодействуют с расплавленным металлом и защищают жидкую сварочную ванну от негативного воздействия атмосферы.

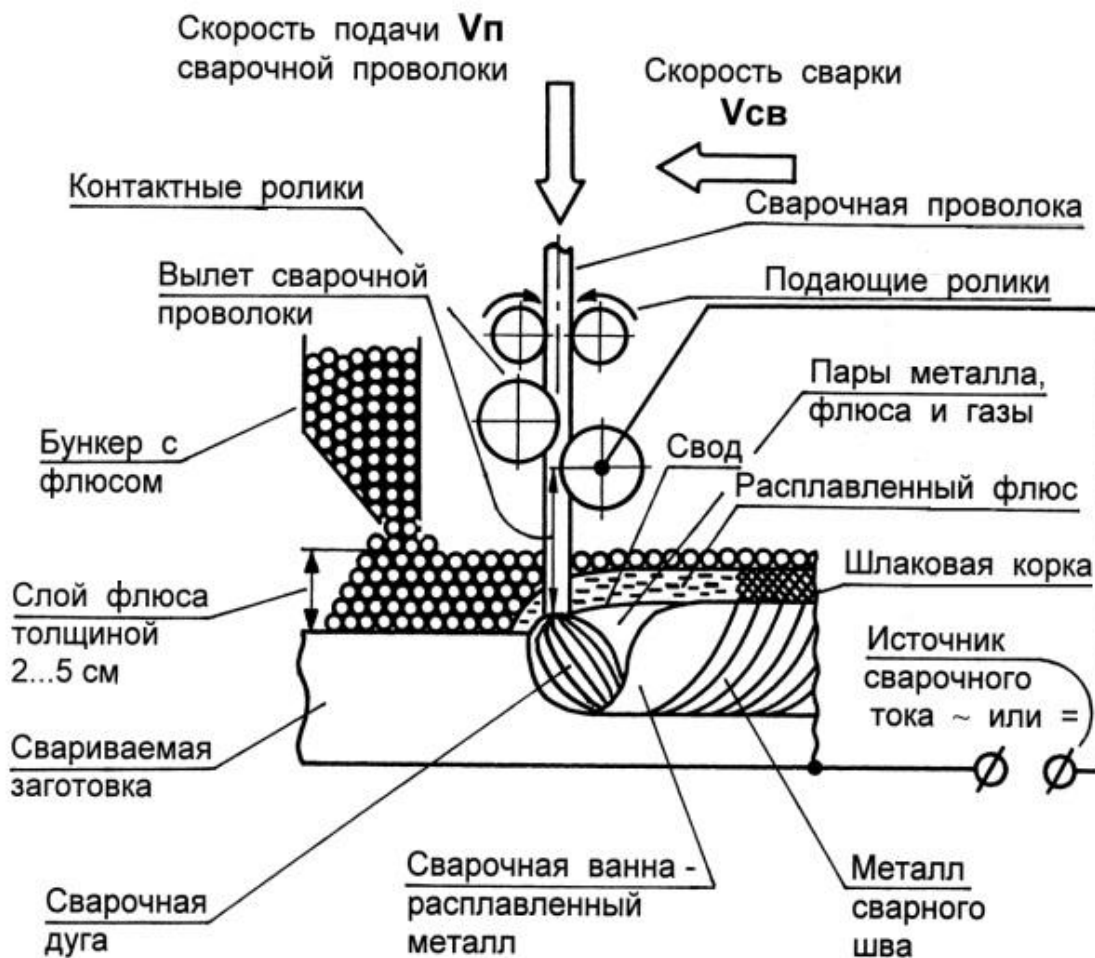


Рисунок 16 – Схема процесса автоматической сварки под слоем флюса [20]

К достоинствам данного способа можно отнести высокую производительность (сваривание больших толщин за минимальное количество проходов при высоких скоростях), а также хорошее качество соединения. Однако основным недостатком является возможность производить процесс сварки только в нижнем положении. Также данный процесс достаточно сложно применим в монтажных условиях [20].

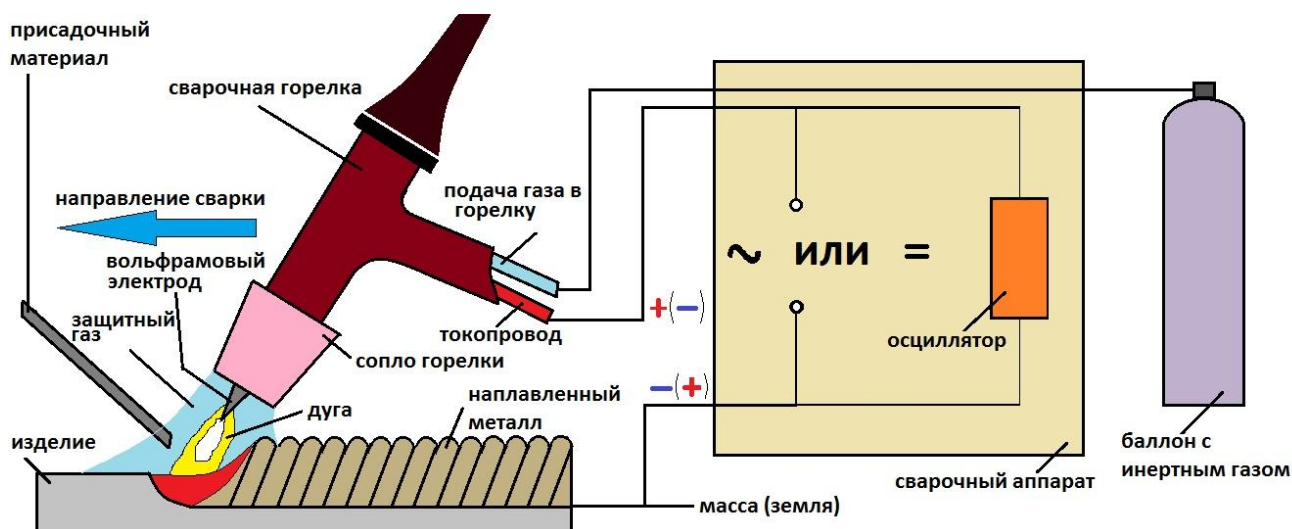
#### 1.4.4 Ручная аргодуговая сварка неплавящимся электродом с подачей присадочного материала

Процесс ручной аргодуговой сварки неплавящимся электродом в

среде защитных газов хорошо зарекомендовал себя во многих областях техники благодаря своим достоинствам:

- 1) Высокое качество сварных соединений;
- 2) Возможность сварки любых цветных металлов;
- 3) Сварка малых толщин;
- 4) Легко поддается автоматизации;
- 5) Сварка во всех пространственных положениях;
- 6) Отсутствие операции по зачистке шва от шлака и брызг наплавленного металла;

Сущность способа заключается в том, что между неплавящимся (вольфрамовым) электродом и деталью горит сварочная дуга, которая оплавляет сварочные кромки и в жидкую сварочную ванну подается присадочная проволока. В качестве защиты сварочной ванны от негативного воздействия окружающей среды используется газ. При сварке неплавящимся электродом в качестве защитных газов используют аргон, гелий и их смеси. В случае сварки меди возможно использование азота (рисунок 17) [4,5,14,21]. Сварку сталей и никелевых сплавов ведут на постоянном токе прямой полярности. В случае сварки алюминия сварку выполняют на переменном токе, что обеспечивает разрушение тугоплавкой оксидной пленки на поверхности алюминия за счет катодного распыления [4,5,14,21].



## Рисунок 17 – Схема процесса аргонодуговой сварки

Недостатками процесса аргонодуговой сварки неплавящимся электродом являются:

- 1) Низкая производительность;
- 2) Высокое тепловложение, как следствие большие сварочные напряжение и угловые деформации;
- 3) Затруднена работа на открытом воздухе из-за возможного выдувания защитного газа из зоны сварки, что приводит к появлению дефектов в сварном соединении;
- 4) Возможны дефекты в виде вольфрамовых включений в сварном шве при отсутствии осциллятора в источнике питания (бесконтактное зажигание дуги) или низкой квалификации сварщика;
- 5) Необходима высокая степень очистки свариваемых кромок.

### **1.4.5 Механизированная сварка плавящимся электродом в среде защитных газов**

Данный способ сварки также хорошо себя зарекомендовал во многих отраслях промышленности при сварке углеродистых и легированных сталей. Благодаря высокой производительности и простоте способа его часто применяют при ремонтно-восстановительных работах или нанесении защитных покрытий [22,23]. К достоинствам данного способа можно отнести [22,23]:

- 1) Сварка в любых пространственных положениях;
- 2) Низкое тепловложение;
- 3) Высокая производительность;
- 4) Возможность сварки любых цветных металлов;
- 5) Легко поддается автоматизации;
- 6) Возможность сварки малых толщин.

При данном способе сварки сварочная дуга горит между электродной проволокой и деталью. Защита сварочной ванны осуществляется при помощи защитного газа поступающего из сопла сварочной горелки (рисунок 18). Основными режимами сварки при данном способе являются скорость подачи электродной проволоки, сила тока и напряжение на дуге. При выборе данных режимов сварки следует учитывать диаметр сварочной проволоки и толщину свариваемого металла [22,23].

В настоящее время данный способ сварки получил широкое развитие в области микропроцессорного управления и синергетических режимов сварки. Дополнительными параметрами при установке режима сварки может являться: динамика дуги, функции заварки кратера, сварка в импульсном режиме тока.

В качестве защитных газов при механизированной сварке плавящимся электродом применяют: двуокись углерода, аргон, гелий, а также различные смеси аргон+углекислота, аргон с добавлением кислорода и другие газы. Смеси также различаются по процентному соотношению газов (Ar (82%)+CO<sub>2</sub> (18%), Ar (98%)+CO<sub>2</sub> (2%), Ar (81%)+CO<sub>2</sub> (18%)+O<sub>2</sub> (1%), Ar (25%)+He (75%)).

При данном способе сварки в качестве электродного компонента используется сварочная проволока. Возможно применение сплошной или порошковой проволоки. При сварке порошковой проволокой (газозащитной) и проволокой сплошного сечения сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. При сварке самозащитой порошковой проволокой на постоянном токе прямой полярности, применение защитного газа в данном случае исключается. В зависимости от химического состава свариваемых материалов подбирается электродная проволока и защитный газ. В случае сварки алюминия используются инертные газы. Для сварки алюминия выпускается большое количество проволок легированных разными элементами. Основные проволоки для сварки алюминия Св-А5, Св-А7, Св-АМг-3, Св-АМг5, Св-АК5, Св-АК12, Св-АМц, Св-АД1, Св-Д16П.

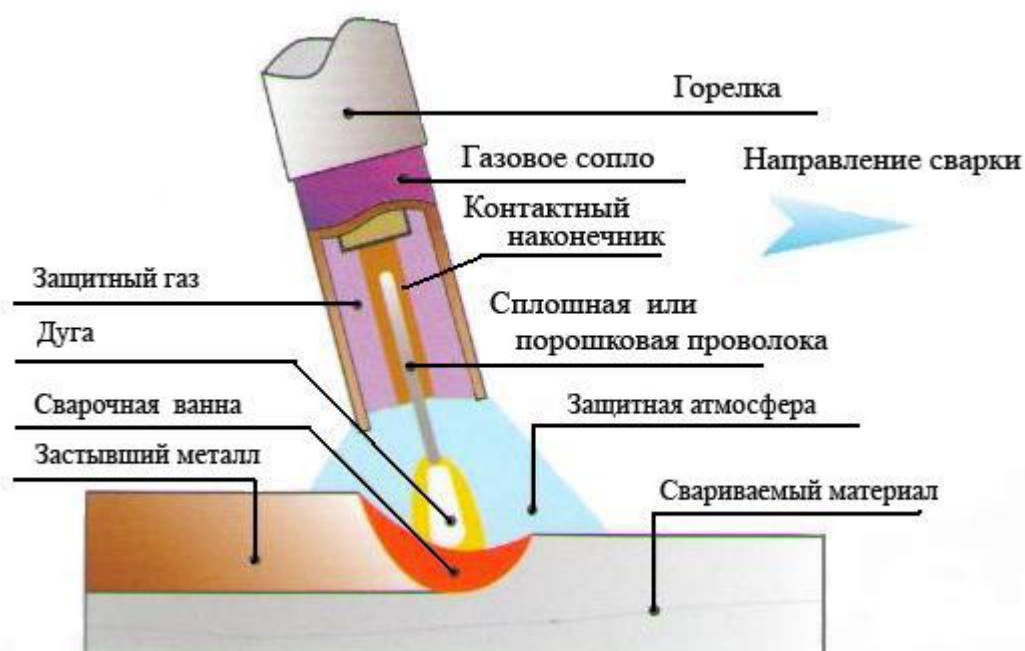


Рисунок 18 – Схема процесса механизированной сварки плавящимся электродом в среде защитных газов

Недостатками данного процесса являются:

- 1) Затруднена работа на открытом воздухе из-за возможного выдувания защитного газа из зоны сварки, что приводит к появлению дефектов в сварном соединении;
- 2) Необходима высокая степень очистки свариваемых кромок.

Помимо описанных выше недостатков при сварке алюминия требуются специальные комплектующие (ролики для протяжки проволоки, токопроводящий наконечник, тефлоновый корд) из-за мягкости проволоки. При игнорировании этих требований возможно частое замятие проволоки.

Все описанные выше способы сварки относятся к сварке плавлением. Способы сварки плавлением отличаются источником энергии. Общий признак – это местное расплавление металла в стыке соединения, наличие сварочной ванны [14].



Анализируя состояние вопроса можно выделить, что для достижения поставленной цели в качестве способа сварки необходимо использовать механизированную сварку плавящимся электродом в среде защитных газов которая обладает рядом достоинств:

- 1) Сварка в любых пространственных положениях;
- 2) Низкое тепловложение;
- 3) Высокая производительность;
- 4) Возможность сварки любых цветных металлов;
- 5) Легко поддается автоматизации;
- 6) Возможность сварки малых толщин.

В качестве основного материала для изготовления алюминиевого воздуховода был выбран алюминий марки А5М так как он обладает хорошим комплексом физико-механических свойств, а также имеет низкое содержания вредных примесей, что положительно сказывается на технологической свариваемости материала. Также данный материал является не дефицитным на российском рынке [24-26].

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ и выбор методов контроля.
2. Разработать технологию сварки алюминиевого воздуховода от аппарата для очистки воздуха.
3. Изготовление алюминиевого воздуховода от аппарата для очистки воздуха.

## **2 Требования к изготовлению сосудов и аппаратов из алюминия**

### **2.1. Общие требования**

1. Все материалы, идущие на изготовление сосудов и аппаратов, должны проходить входной контроль в соответствии с требованиями ГОСТ 24297 [27,28].

2. При хранении и транспортировке должно исключаться повреждение материалов [28].

3. Материалы перед эксплуатацией должны быть обезжирены и расконсервированы [28].

4. На основном материале принятом к изготовлению должна сохраняться маркировка. Если материалы разрезают, то на каждую деталь наносится маркировка. Маркировка состоит из: марки основного материала, номера партии, клеймо ОТК. Маркировку наносят по середине ширины отрезаемой детали (при ширине отрезной части не более 600 мм) или на расстоянии 300 мм от свариваемых кромок. Допускается присваивать условный регистрационный номер при этом он должен быть отражен в документе о качестве [28].

5. При разметке деталей и заготовок должно исключаться повреждение рабочих поверхностей деталей. Допускается керновка по линии реза [28].

6. На рабочих поверхностях заготовок и деталей не допускаются поверхностные дефекты (риски, забоины, царапины) выводящие толщину металла за пределы минусовых допусков предусмотренных стандартами [28].

7. На поверхности сваренных деталей не допускаются забоины, вмятины, трещины, раковины и другие дефекты если их глубина превышает предельные допуски предусмотренные стандартами или если после их выборки толщина стенки будет менее расчетной [28].

8. Исправление дефектов аппаратов производится с разрешения ОТК. При исправлении дефектов деталей аппаратов должен быть обеспечен

плавный переход от дефектного места к неповрежденной поверхности с уклоном не более 1:20 и шероховатостью не более Ra 12,5 [28].

9. Сварочные работы начинать только после контроля сборки и зачистки поверхностей деталей подлежащих сварке [28].

10. Зачистка кромок должна выполняться механическим способом, не допускается применение абразивных материалов. Зачищенные кромки не должны иметь дефектов (трещин, забоин, расслоений, вмятин, пор) [28].

11. Сборочные приспособления должны обеспечивать надежное крепление деталей под сварку, а также обеспечивать правильное расположение свариваемых деталей. Сборочные приспособления должны предусматривать свободный доступ персонала к выполнению сварочных работ согласно технологического процесса [28].

12. Геометрические параметры разделки кромок и деталей во время сборки должны соответствовать ГОСТ 14806-80 или ГОСТ 27580-88 [27-30].

13. Сборка должна обеспечивать требуемое качество изделия [28].

14. Аппараты сдвоенные, строенные и т.д. или негабаритные аппараты, поставляемые отдельными поставочными блоками должны проходить на предприятии-изготовителе контрольную сборку с необходимой подгонкой, поставочные блоки должны быть в соответствии с чертежами полностью собраны с внутренними устройствами и подвергнуты гидравлическому у или пневматическому испытанию; иметь соответствующую маркировку и не требовать в процессе монтажа подгоночных и разметочных работ. В технически обоснованных случаях, по соглашению предприятия-изготовителя с заказчиком, разрешается проводить работу по сборке внутренних устройств аппаратов на месте эксплуатации после установки аппарата в проектное положение и закрепления его на фундаменте. Негабаритные сосуды и аппараты должны поставляться максимально возможными укрупненными блокам и, отдельными частями и деталями, после проведения на предприятии-изготовителе контрольной сборки с соответствующей маркировкой частей несмываемой краской. В технически

обоснованных случаях разрешается в место сборки проводить контрольную проверку стыкуемых частей аппарата для обеспечения собираемости на месте монтажа без подгоночных работ. До изготовления аппаратов, поставляемых укрупненными блоками, на площадке заказчика производит предприятие-изготовитель или другая привлеченная им организация [28].

15. На поставочных блоках аппаратов, соединяемых на площадке заказчика с помощью сварки, рабочими чертежами должны быть предусмотрены приспособления для сборки, центровки стыкуемых блоков (частей) и стяжки монтажного соединения перед его сваркой. Привариваемые приспособления должны быть удалены, при этом не допускается повреждение стенок корпуса сосудов и аппаратов [28].

16. Последовательность затяжки крепежных деталей фланцевых соединений должна обеспечивать равномерное обжатие уплотнительных прокладок [28].

## **2.2 Требования к корпусам**

1. После сборки корпуса аппаратов должны удовлетворять следующим требованиям [28]:

1) отклонение по длине корпуса (без днищ) не должно превышать + 0,3 % номинальной длины корпуса, но не более + 75 мм;

2) отклонение от прямолинейности образующей обечайки (за исключением мест расположения сварных швов, установки колец жесткости, штуцеров и люков) не должно быть более 3 мм на длине 1 м, а на всей длине изделия: 30 мм при длине изделия до 10 м и 45 мм - при длине изделия более 10 м;

3) у аппаратов с внутренними устройствами отклонение от прямолинейности корпуса не должно быть более величины номинального зазора между внутренним диаметром корпуса и наружным диаметром устройства.

Усиление продольных и кольцевых швов на внутренней поверхности этих аппаратов, в местах, мешающих установке внутренних устройств, должно быть зачищено заподлицо [28].

Допускается в деталях внутренних устройств делать местные выемки в местах прилегания к сварному шву. В местах приварки колец жесткости отклонение от прямолинейности образующей обечайки не должно превышать 0,75 номинальной толщины стенки обечайки [28].

Отклонение от перпендикулярности колец жесткости относительно образующей обечайки не должно быть более 5% высоты сечения кольца, а отклонение от плоскостности колец жесткости - не более 5 мм [28].

Отклонение диаметра (внутреннего или наружного) корпуса цилиндрических аппаратов не должно превышать  $\pm 1\%$  от номинального диаметра. Исключение составляют колонная и теплообменная аппаратура [28].

Отклонение от плоскостности поверхности плоского днища и крышки в готовом изделии не должно превышать 16 мм на 1 м диаметра, но не более 50 мм на весь диаметр [28].

### **2.3 Требования к обечайкам**

1. Обечайки должны вальцеваться из листов или карт, сваренных в плоском состоянии из нескольких листов. В обечайках, свальцованных из карт, продольные сварные швы должны быть параллельны образующим; ширина листов между швами должна быть не менее 800 мм, а ширина замыкающей вставки - не менее 400 мм [28].

В корпусе сосуда или аппарата допускается несколько обечаек длиной не менее 300 мм. Когда к обечайке приваривается фланец, трубная решетка или конический переход, то длина обечайки устанавливается чертежом [28].

2. Обечайки диаметром менее или равным 600 мм должны изготавливаться с одним продольным швом; диаметром свыше 600 мм до 1000 мм - не более, чем с двумя продольными швами. Обечайки диаметром свыше

1000 мм допускается изготавливать из нескольких листов максимально возможной длины, при этом допускается вставка шириной не менее 400 мм [28].

3. «Замер длины развертки окружности производится с двух концов обечайки. Допускается индивидуальная подгонка диаметра обечайки к днищу или фланцу по обмеренной длине развертки окружности цилиндрической части днища или фланца» [28].

4. «Отклонение от перпендикулярности торца обечайки к ее образующей не должно быть более 1 мм на 1 м диаметра, но не более 3 мм при диаметре свыше 3 м» [28].

5. «Отклонение от плоскостности торцов стыкуемых обечаек не должно быть более 2 мм на длине дуги не более 150 мм» [28].

6. «Концы обечаек, стыкуемых с различными конструктивными элементами и должны быть тщательно выправлены, при этом должны быть обеспечены условия стыковки в пределах допусков на смещение кромок в поперечных швах согласно настоящему разделу» [28].

7. «Отклонение (вследствие любых причин) по толщине стенки обечайки не должны быть такими, чтобы фактическая толщина получалась менее расчетной с учетом всех необходимых прибавок» [28].

## **2.4 Требования к опорам**

1. Требования к изготовлению опор должны соответствовать действующим стандартам на опоры, рабочим чертежам и требованиям настоящего раздела [28].

2. Изготовление переходных элементов из алюминия для стальных опор (подкладных, накладных листов, обечаек и т.д.) с помощью вальцовки или штамповки должно обеспечивать плотное прилегание их к соответствующим поверхностям аппаратов, к которым они присоединяются [28].

Зазор между подкладными или накладными листами и поверхностью аппарата не должен быть более 3 мм. При приварке к обечайке подкладных листов под седловые опоры длина сварного шва должна быть не менее половины периметра подкладного листа. Контроль прилегающих поверхностей этих элементов производить по шаблону [28].

## **2.5 Общие требования к сварке**

1. При производстве сварочных работ и контроле качества сварных соединений необходимо учитывать назначение аппаратов [28].

2. Общие требования к производству сварочных работ должны соответствовать ОСТ 2 6 -3, требованиям настоящего раздела и действующей нормативно-технической документации [28].

3. Неаттестованными сварщиками может производиться сварка деталей и сборочных единиц внутренних устройств аппаратов, на которые не распространяются Правила Ростехнадзора, при условии гарантии предприятием-изготовителем необходимого качества сварных швов [28].

4. Аппараты в зависимости от конструкции и размеров могут быть изготовлены всеми видами промышленной сварки алюминия. Применение газовой сварки допускается только в случаях, предусмотренных технической документацией [28].

Допускается комбинированный способ сварки [28]:

1) при двусторонней сварке: с одной стороны аргонодуговым способом, с другой - способом, указанным в конструкторской документации;

2) при односторонней сварке: первый проход - аргонодуговым способом, остальные - способом, указанным в конструкторской документации.

5. Все сварочные работы должны производиться при температуре окружающего воздуха не ниже 0°C при условии защиты сварщика и мест сварки от воздействия влаги, ветра [28].

6. Прихватка свариваемых элементов должна производиться с применением тех же сварочных материалов, что и сварка, сварщиками той же квалификации [28].

7. В случае сварки труб без подкладного кольца первый проход необходимо выполнять аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом с присадкой или без нее, а последующие проходы способами, указанными в конструкторской документации [28].

8. Сварка продольных швов должна начинаться и заканчиваться на прихваченных встык к изделию технологических планках, изготовленных из того же металла, той же толщины и с такой же разделкой кромок, что и свариваемое изделие. Сварка кольцевых швов должна осуществляться с перекрытием начала шва в зависимости от толщины свариваемых элементов на длину: не менее 15 мм для толщин до 10 мм, не менее 30 мм для толщин свыше 10 мм для всех способов сварки, кроме автоматической под флюсом и не менее 40 мм - для автоматической сварки под флюсом [28].

9. Рядом со всеми сварными швами должны быть проставлены клейма сварщиков выполнявшего сварку шва, на расстоянии 20-50 мм от кромки [28].

Допускается в место клеймения сварных швов прилагать к паспорту сосуда схему расположения швов с указанием фамилий сварщиков с их подписью [28].

10. Сварные соединения изделия и относящиеся к ним контрольные сварные соединения должны иметь одинаковые клейма [28].

## **2.6 Маркировка, окраска, консервация, упаковка, транспортирование и хранение**

### **2.6.1 Маркировка**

Принятый аппарат должен иметь прикрепленную в установленном месте табличку по ГОСТ 12971. На табличку должны быть следующие данные [28]:

- 1) наименование предприятия изготовителя или товарный знак;



- 2) наименование или условное обозначение изделия;
- 3) заводской номер;
- 4) рабочее давление, Мпа (кгс/см<sup>2</sup>);
- 5) пробное давление, Мпа (кгс/см<sup>2</sup>);
- 6) допустимая температура стенки, °С;
- 7) масса, кг;
- 8) марка материала;
- 9) год изготовления;
- 10) клейма ОТК и Государственной приемки изделия;
- 11) государственный знак качества (для аттестованных аппаратов).

Для экспортируемых аппаратов наименование предприятия-изготовителя опускается.

Табличка для аппаратов, поставляемых для экспорта, дополнительно должна иметь [28]:

- 1) условное обозначение вида климатического исполнения аппарата по ГОСТ 15150;
- 2) надпись сделано в России

Надписи на табличке должны быть на русском языке, если нет других указаний в заказ-наряде. Допускается приводить содержание таблички в соответствии с требованиями ОСТ 26-291 [28].

Табличка крепится на приварном подкладном листе, приварной скобе, приварных планках или приварном кронштейне [28].

Табличка прикрепляется на днищах у горизонтальных аппаратов и в нижней части корпуса у вертикальных аппаратов (допускается установка на другом видимом месте) [28].

На наружной поверхности стенки корпуса аппарата должны быть нанесены следующие данные [28]:

- 1) заводской номер аппарата;

- 2) год изготовления;
- 3) клейма ОТК и Государственной приемки изделия;

Глубина маркировки должна быть в пределах 0,1-0,3 мм.

Маркировку обводят в рамку атмосферостойкой краской и защищают бесцветным лаком или тонким слоем смазки [28].

Помимо этого, допускается дополнительно наносить и другие надписи.

В местах разборных соединений (фланцевых и др.) постановочных блоков и других съемных деталей оборудования должны быть предусмотрены контрольные шрифты или риски, обеспечивающие соединение стыкуемых элементов оборудования в процессе его монтажа. Сборочные (контрольные) и монтажные метки (риски) должны быть обведены несмываемой яркой краской [28].

Схема маркировки постановочных блоков, трубопроводов, запасных частей устанавливается предприятием-изготовителем и отражается в технической документации [28].

Каждое грузовое место должно иметь транспортную маркировку. Транспортная маркировка должна содержать: манипуляционные знаки («место строповки» и «центр тяжести»), а также основные, дополнительные и информационные надписи в зависимости от конкретного изделия выполненные в соответствии с ГОСТ 14192, а для экспортируемых изделий дополнительные данные в соответствии с требованиями заказ-наряда.

Место маркировки и другие конкретные требования должны указываться в технических условиях на конкретные аппараты [28].

### 2.6.2 Окраска и консервация

Аппараты поставляются неокрашенные и не законсервированные, если необходимость окраски и консервации не предусмотрена в техническом проекте и в заказ-наряде (для эксплуатируемых аппаратов) [28].

Кромки, подлежащие сварке при монтаже и прилегающие к ним поверхности шириной 50-60 мм, защищаются консистентными смазками или другими материалами [28].

Допускается оклейка кромок специальной пленкой.

Уплотнительные поверхности под прокладку фланцевых соединений трубных решеток и резьбы подлежат консервации.

Консервация поверхностей аппаратов должна производиться в соответствии с технической документацией и обеспечивать защиту от коррозии при транспортировке, хранении и монтаже в течение не менее двадцати четырех месяцев со дня отгрузки с предприятия-изготовителя.

Выбор системы лакокрасочного покрытия, при отсутствии конкретных указаний в техническом проекте, производит предприятие-изготовитель по действующей нормативно-технической документации [28].

По внешнему виду покрытий должно быть не хуже класса У по ГОСТ 9.032.

### 2.6.3 Упаковка, транспортирование и хранение

Аппараты транспортируются в неупакованном виде, если нет специальных указаний в техническом проекте [28].

Экспортируемые аппараты должны упаковываться также в соответствии с требованиями заказ-наряда [28].

Ответственные разъемы корпусов, поставляемых в сборе и постановочных блоков (сборочных единиц), а также сборочные единицы и детали, опломбирование которых предусмотрено техническим проектом подлежат опломбированию [28].

Торцы аппаратов, отправляемых частями, должны быть закрыты деревянными щитками с прокладной рубероида, допускается применение других водонепроницаемых материалов.

Упаковка должна обеспечивать [28]:

1) сохранность изделия и его элементов от возможных повреждений в результате механических, физико-химических и биологических воздействий, и воздействий климатических факторов.

2) удобства при погрузке, разгрузке и транспортировании.

3) устойчивое положение и возможность крепления груза на транспортных средствах.

Изделия, поставляемые по кооперации и предназначенные для комплектования экспортируемых аппаратов в случае отправки в отдельной таре, должны иметь упаковку в экспортном исполнении [28].

Методы упаковки изделий в ящики должны исключать возможность перемещения изделий в ящике во время транспортирования, обеспечить сохранность лакокрасочных покрытий, контрольных рисок [28].

Метод крепления выбирается предприятием-изготовителем в каждом конкретном случае [28].

### **3 Контроль качества сварных соединений**

#### **3.1. Требования к методам и контролю сварных соединений**

Осмотр изделия производится невооруженным глазом с целью выявления плен, закатов, расслоений, трещин, а также наплывов, подрезов, пор на сварных швах и других дефектов, снижающих качество изделий и ухудшающих товарный вид.

Места расположения и содержание маркировки изделия и его составных частей, а также наличие и содержание клейм на сварных соединениях изделия проверяются внешним осмотром.

Геометрические размеры проверяются с помощью универсального измерительного инструмента, обеспечивающими погрешность не более 30 % от установленного допуска на изготовление.

Контроль качества сварных соединений производится следующими методами:

- 1) внешним осмотром и измерением;
- 2) механическими испытаниями;
- 3) испытанием на стойкость против межкристаллитной коррозии;
- 4) металлографическим исследованием;
- 5) радиографией или ультразвуковой дефектоскопией;
- 6) гидравлическим (пневматическим) испытанием (при испытании аппарата);
- 7) другими методами (токовихревым, цветным, рентгенотелевизионным и т.д.), если они предусмотрены техническим проектом.

Для аппаратов, подвергающихся термообработке, окончательный контроль качества сварных соединений должен производиться после термообработки изделий.

Результаты контрольных испытаний сварных соединений должны заноситься в паспорт аппарата или в его приложение.

В процессе изготовления аппарата должно проверяться:

- 1) соответствие состояния и качества свариваемых деталей и сварочных материалов требованиям стандартов и технических условий;
- 2) соответствие качества подготовки кромок и сборка под сварку требованиям стандартов и чертежей;
- 3) соблюдение технологического процесса сварки и термообработки, разработанного в соответствии с требованиями стандартов и чертежей.

### **Внешний осмотр и измерение сварных швов**

Внешнему осмотру и измерению подлежат все сварные соединения; для выявления наружных дефектов, не допускаемых настоящим разделом.

«Визуальный и измерительный контроль сварных швов производится после того, как сварные швы и прилегающие к ним поверхности основного металла по обе стороны шва шириной не менее 20 мм будут очищены от шлака, брызг и других загрязнений».

Осмотр производится с лицевой и обратной стороны швов на всей их протяженности.

Дефекты сварных швов, выявленные внешним осмотром, должны быть устранены до проведения контроля швов с целью выявления внутренних дефектов.

### **Механические испытания**

Механические испытания контрольных стыковых сварных соединений (КСС) должны быть проведены в объеме, указанном в таблице 2.

Таблица 2 – Объем механических испытаний стыковых КСС

Вид испытаний	Количество образцов из одного КСС, не менее
Растяжение при 20 °С	Два образца типа XII, XIII или XIV по ГОСТ 6996
Изгиб (загиб) при 20 °С	Два образца типа XXVII, XXVIII по ГОСТ 6996

Продолжение таблицы 2

Вид испытаний	Количество образцов из одного КСС, не менее
Ударный изгиб	Три образца типа VI по ГОСТ 6996

Примечание к таблице 2:

1. Испытание на статическое растяжение отдельных образцов из сварных трубных стыков можно заменить испытанием на растяжение стыков со снятым усилением.

2. Испытание на статический изгиб сварных образцов труб с ДУ до 100 мм может быть заменено испытанием на сплющивание по ГОСТ 6996 (образцы типа XXIX, XXX).

3. При испытании на изгиб (загиб) образцов толщиной более 50 мм допускается доведение толщины образцов до 50 мм посредством снятия стружки или фрезерования контрольных пластин с обеих сторон поровну. Тип образцов XXVII по ГОСТ 6996, диаметр оправки – 50 мм.

4. Испытания на ударный изгиб проводятся только для алюминиевых сплавов АМг5 и АМг6.

Механические испытания на ударный изгиб проводятся при толщине металла не менее 12 мм.

Для аппаратов группы 3 механические испытания сварных образцов допускается не проводить, если предприятие-изготовитель гарантирует качество сварных швов изделий.

«В случае получения неудовлетворительных результатов по какому-либо виду механических испытаний необходимо проведение повторных испытаний при удвоенном количестве образцов на образцах, вырезанных из той же контрольной пластины или сварного шва изделия. При неудовлетворительных испытаниях швы считаются не годными».

## **Испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии (МКК)**

Испытания сварных соединений на стойкость против МКК должны проводиться для аппаратов и их элементов, изготовленных из алюминия и его сплавов при наличии требования в техническом проекте.

В случае изготовления аппаратов, предназначенных для эксплуатации с азотной кислотой и другими средами, вызывающими МКК, проведение испытаний на стойкость против МКК обязательно.

Испытания на стойкость против МКК сварных соединений из алюминия проводить по методике, изложенной в приложении 4, а из алюминиевых сплавов – по ГОСТ 9.021.

При неудовлетворительных результатах коррозионных испытаний проводить повторные испытания с удвоенным количеством образцов. В случае неудовлетворительных результатов повторных испытаний, соединения бракуются.

Методика испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии поковок, отливок и сварных соединений деталей из алюминия марок А99, А85, А8, А7, А5, АД 00, АД 0, АД 1.

### **Изготовление образцов**

Образцы изготавливают из контрольных пластин.

Начальные и конечные части шва (по 50 мм каждая) отрезают. Из средней части изготавливают три образца длиной 50 мм и шириной 30 мм. Схема раскроя контрольной пластины должна соответствовать указанной на рисунке 19.

Подготовку поверхности образцов для испытаний проводят следующим образом: снимают усиление шва с двух сторон, затем с контролируемой поверхности снимают механическим способом слой толщиной 1 мм, обеспечивая шероховатость поверхностей Ra 2,5 по ГОСТ 2789.



Перед испытанием образцы обезжиривают этиловым спиртом, уайт-спиритом или ацетоном.

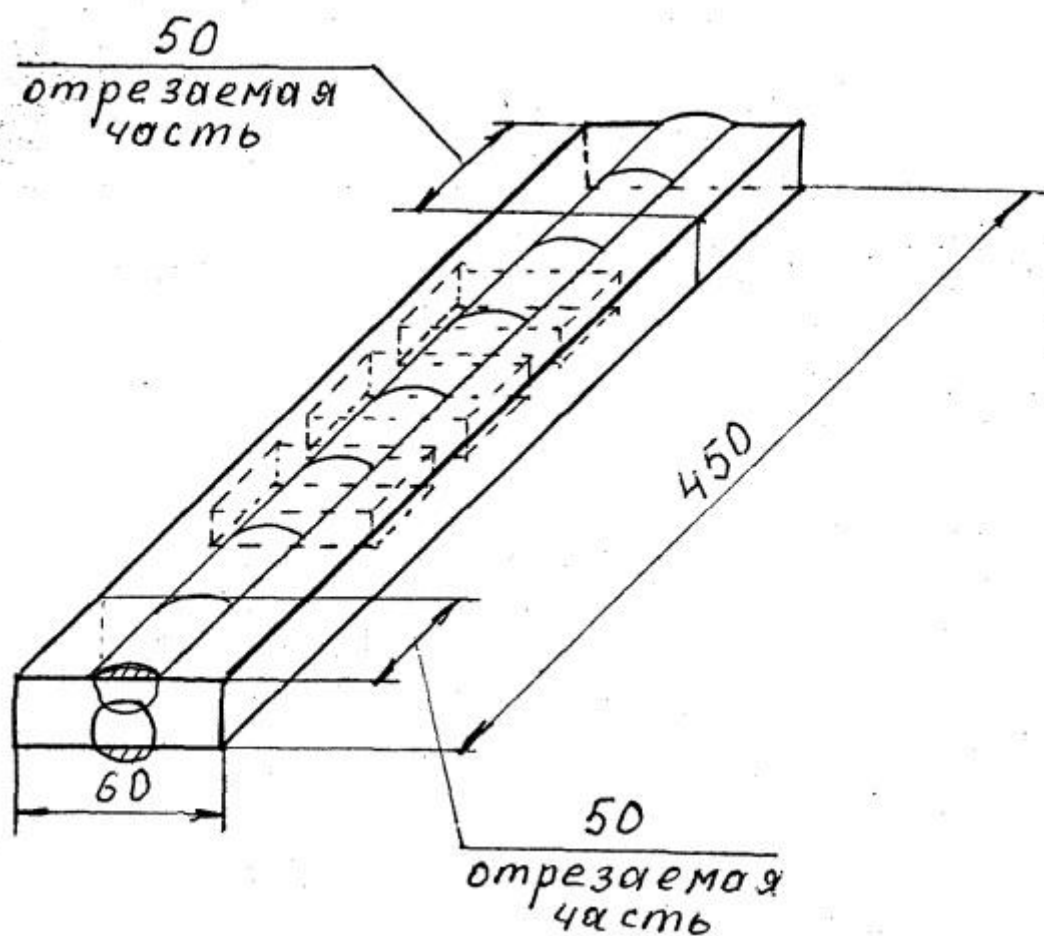


Рисунок 19 – Схема раскроя контрольной пластины

### Проведение испытаний

Раствор, в котором проводят травление, должен содержать 0,6% фтористого натрия в 5% (по массе) растворе азотной кислоты. Фтористый натрий добавляют в раствор азотной кислоты перед загрузкой образцов при достижении температуры 80 °С. После добавления фтористого натрия раствор перемешивают.

Испытания проводят в стеклянных или полипропиленовых стаканах, которые для поддержания постоянной температуры устанавливают в водяной бане, снабженной контактным термометром типа ТПК по ГОСТ 9871. Стаканы накрывают стеклянной или полипропиленовой крышкой. Все

работы проводят в вытяжном шкафу при включенной вентиляции. Травление образцов проводят при температуре раствора 80 °С.

Образцы загружают таким образом, чтобы они не соприкасались друг с другом и к контролируемой поверхности был свободный доступ раствора.

Травление образцов проводят в течение 1 часа, при этом количество раствора должно быть таким, чтобы уровень раствора над контролируемой поверхностью был не менее 20 мм.

После травления выгруженные образцы промывают проточной водой и сушат фильтрованной бумагой.

### **Оценка результатов испытания**

Оценку стойкости против межкристаллитной коррозии проводят после осмотра поверхности образцов при увеличении в 12-24 раза.

Свидетельством склонности к межкристаллитной коррозии является наличие хотя бы у одного образца на контролируемой поверхности четкой непрерывной сетки растравленных границ зерен.

При отсутствии непрерывности сетки браковочным признаком не является наличие полосчатости, разнотравимости поверхности, точек, прерывистой сетки и сетки, обозначенной единичными точками.

В случае получения неудовлетворительных результатов проводят повторные испытания на удвоенном количестве образцов.

При получении неудовлетворительных результатов хотя бы на одном образце при повторных испытаниях сварные соединения считаются нестойкими против межкристаллитной коррозии.

### **Металлографические исследования.**

Металлографическому исследованию должны подвергаться сварные соединения аппаратов группы 1. Металлографические исследования для аппаратов групп 2 и 3 проводятся по требованию технического проекта.

Металлографические исследования макро- и микроструктуры должны проводиться в соответствии с ОСТ 26-1379 на одном образце из каждого

контрольного сварного соединения.

Качество сварного соединения по результатам металлографических исследований должно соответствовать требованиям настоящего раздела.

При обнаружении недопустимых дефектов при металлографических исследованиях, допускается проведение повторных испытаний на удвоенном количестве образцов. В случае неудовлетворительных результатов повторных испытаний, соединения бракуются.

### **Контрольные сварные соединения.**

Требования к образцам, вырезанным из КСС для механических и коррозионных испытаний, и металлографических исследований, должны соответствовать ГОСТ 6996, ОСТ 26-3 и требованиям настоящего стандарта.

Контрольные образцы для контроля качества продольных швов изделия должны изготавливаться таким образом, чтобы шов являлся продолжением продольного шва свариваемого изделия.

«Контрольные образцы для проверки качества поперечных (кольцевых) швов должны изготавливаться при обязательном соблюдении тех же режимов сварки, с применением тех же присадочных материалов и с максимальным приближением к положению шва при сварке».

Для проведения металлографических исследований из каждой контрольной пластины вырезается поперек один образец.

Для металлографического контроля угловых и тавровых соединений вварки штуцеров и люков в корпус аппарата каждый сварщик, выполняющий эти операции, должен сварить одно КСС на изделие.

Из КСС угловых и тавровых швов должны вырезаться образцы (шлифы) только для металлографического исследования.

Для контроля КСС в трубчатых элементах одновременно с изделием должны свариваться контрольные соединения.

При невозможности изготовить плоские образцы из сварного стыка трубчатого элемента, разрешается производить испытание образцов-сегментов, а также образцов, вырезанных из контрольных пластин,

сваренных по указанию отдела технического контроля.

При изготовлении изделий с применением деталей, конфигурация и размеры которых не позволяют изготовить образцы для механических испытаний, определение механических свойств не проводят, но при этом предприятие-изготовитель должен отработать технологию сварки, которая будет гарантировать необходимые механические свойства указанных сварных соединений.

Контроль качества таких сварных соединений проводят радиографией или ультразвуковой дефектоскопией в объеме 100% их длины.

Материал, конструкция, размеры и подготовка кромок под сварку на контрольных соединениях должны соответствовать принятым при изготовлении аппарата.

При изготовлении изделия ручной сваркой испытания качества поперечных (кольцевых) швов не производится, если продольные и поперечные швы выполнялись одним сварщиком.

При ручной сварке стыковых соединений изделия несколькими сварщиками, каждый сварщик должен выполнить сварку одной контрольной пластины.

При изготовлении изделий автоматической, полуавтоматической сваркой на каждое изделие должно свариваться одно КСС (на каждый вид применяемого процесса) при использовании одинаковых присадочных материалов, режимов сварки и термообработки.

В случае, когда в течение рабочей смены сваривается несколько однотипных сосудов, разрешается на каждый вид сварки сваривать по одному КСС в начале и конце смены.

Если многопроходный шов выполняется несколькими сварщиками, на данный шов должно свариваться КСС, причем проходы выполняются теми же сварщиками и в аналогичном порядке.

При серийном изготовлении однотипных не подведомственных Ростехнадзору аппаратов из листового материала, работающих со средами,

не вызывающими межкристаллитной коррозии, в случае контроля стыковых сварных соединений ультразвуковой или радиографической дефектоскопией в объеме 100% длины швов допускается на каждый вид сварки варить по одному КСС на всю партию аппаратов. При этом в одну партию могут быть объединены аппараты одного вида из листового материала одной марки, имеющие одинаковую форму разделки кромок, выполненные по единому технологическому процессу и подлежащие термообработке по одному режиму, если цикл изготовления всех изделий по сборочно-сварочным работам, термообработке и контрольным операциям не превышает 3 месяцев.

КСС должны быть подвергнуты внешнему осмотру, ультразвуковому контролю и радиографии по всей длине, а при невозможности сочетания двух методов, контроль проводится одним из этих методов.

При обнаружении дефектов в КСС сварные, соединения изделия должны быть подвергнуты дополнительному контролю в объеме 100% швов, контролируемых этим контрольным соединением.

Термообработка КСС должна производиться с изделием (при общей термообработке) или отдельно от него (при местной термообработке) с применением тех же методов и режимов обработки.

КСС и вырезанные из них образцы должны иметь клейма одинаковые с клеймами сварных швов изделия.

### **Ультразвуковая дефектоскопия, радиография.**

Контроль сварных соединений ультразвуковой дефектоскопией и радиографией имеет своей целью выявление внутренних дефектов сварных соединений и определение качества сварки.

Ультразвуковая дефектоскопия (УЗД) должна производиться в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55724-2013, ОСТ 26-01-167-85 и другой действующей НТД.

Радиография (РГК) сварных соединений должна производиться в соответствии с ГОСТ 7512-82 и ОСТ 26-11-03-84.

Метод контроля (УЗД, РГК и их сочетание) должен выбираться, исходя из возможностей более полного и точного выявления недопустимых дефектов с учетом особенностей физических свойств металла, а также особенностей методики контроля для данного вида сварных соединений и изделий.

Места пересечения сварных швов подлежат обязательному контролю РГК и УЗД.

Перед контролем соответствующие участки сварных соединений должны быть замаркированы для возможности их обнаружения на картах контроля или рентгено-гамма-снимках.

При невозможности осуществления контроля методом РГК или УЗД из-за недоступности отдельных сварных соединений или при неэффективности указанных методов, контроль качества этих сварных соединений должен проводиться другим методом дефектоскопии в соответствии с инструкцией, утвержденной в установленном порядке.

Дефектные участки сварных швов, выявленные при контроле, должны быть удалены и вновь заварены. Повторное исправление допускается не более трех раз.

### **3.2. Выбор методов и объема контроля сварных соединений**

Перед выполнением сварных соединений алюминиевого воздуховода сварщики должны заварить допусковые стыки КСС. Образцы КСС должны быть однотипны по диаметру и толщине. Сварка должна производиться при соблюдении тех же режимов сварки, с применением тех же присадочных материалов и с максимальным приближением к положению шва при сварке.

Допусковые стыки должны быть проконтролированы визуальным и измерительным контролем, радиографическими испытаниями, а также сварные стыки должны быть подвергнуты механическим испытаниям.

Все продольные и поперечные стыковые швы при изготовлении стенок корпуса, днища, обечаек, переходов и отводов должны контролироваться

визуально-измерительным, радиографическим контролем в объеме 100% (рисунок 2-9).

Стыковые сварные швы соединяющие узлы 1,2,4,10-12 (основной материал алюминий А5М) (рисунок 2-7) и 3,5 (основной материал высоколегированная сталь 12Х18Н10Т) (рисунок 8,9) также подвергаются визуально-измерительному и радиографическому контролю в объеме 100%.

Угловые сварные швы при изготовлении узлов воздуховода воспринимающие рабочие нагрузки контролируются визуально-измерительным и ультразвуковым контролем в объеме 100%.

Размеры сварных швов выбираются согласно ГОСТ 14806-80 или при необходимости ГОСТ 27580-88 [27-30]. Катет сварных швов принимается равным толщине более тонкой детали (в изготавливаемом узле). Допуски на размеры катета принимать согласно ГОСТ 14806-80 или при необходимости ГОСТ 27580-88 [27-30].

Сварные швы не воспринимающие рабочих нагрузок должны быть проконтролированы визуально-измерительным и ультразвуковым контролем в объеме 10%.

### **3.3 Требования к качеству сварных соединений**

В качестве нормативно-технической документации по разбраковке примем ОСТ 26-01-1183-82 Сосуды и аппараты алюминиевые. Общие технические условия.

В сварных соединениях не допускаются следующие наружные дефекты:

- 1) трещины всех видов и направлений;
- 2) пористость наружной поверхности шва, непровары, подрезы, наплывы, прожоги и незаваренные кратеры;
- 3) смещение и совместный увод кромок свариваемых элементов свыше норм, установленных согласно ОСТ 26-01-1183-82;
- 4) несоответствие форм и размеров сварных швов требованиям

стандартов и технической документации.

В сварных соединениях не допускаются следующие внутренние дефекты:

- 1) трещины всех видов и направлений, рыхлоты;
- 2) свищи;
- 3) непровары (несплавления) в сечении шва, подрезы за исключением:

а) В двухсторонних угловых и тавровых соединениях патрубков с внутренним диаметром не более 250 мм аппаратов группы 2 и 3 допускается местный внутренний непровар, расположенный в области смыкания корневых швов глубиной (высотой) не более 10% толщины стенки корпуса, но не более 2 мм и суммарной протяженностью не более 5% длины шва.

б) В кольцевых стыковых сварных соединениях аппаратов группы 3, доступных для сварки только с одной стороны и выполненных без подкладного кольца допускается непровар в корне шва глубиной (высотой) не более 10% номинальной толщины свариваемых элементов, но не более 2 мм и суммарной протяженностью не более 20% длины шва.

4) поры, полости, шлаковые и вольфрамовые включения, превышающие параметры установленные классами дефектности сварных швов по ГОСТ 23055 в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3 – Классы дефектности по ГОСТ 23055

Вид сварных соединений	Для аппаратов		
	группы 1	группы 2	группы 3
Стыковые	3	5	6
Угловые, тавровые	4	5	6
Нахлесточные	5	6	7

Допускается класс дефектности для отдельных пор и включений, оцениваемых по ширине (диаметру) при толщине свариваемых элементов до



45 мм устанавливать – 4 класс вместо 3, 5 класс вместо 4, 6 класс вместо 5 и 7 класс дефектности вместо 6.

Алюминиевый воздуховод рассматриваемый в данной работе относится к сосудам и аппаратам третьей группы, что соответствует 6 (таблица 4) и 7 (таблица 5) классам дефектности согласно ГОСТ 23055.

Таблица 4 – шестой класс дефектности согласно ГОСТ 23055

Толщина свариваемых элементов	Поры или включения		Суммарная длина
	Ширина (диаметр)	Длина	
До 3	0,8	3,0	8,0
Свыше 3 до 5	1,0	4,0	10,0
Свыше 5 до 8	1,2	5,0	12,0
Свыше 8 до 11	1,5	6,0	15,0
Свыше 11 до 14	2,0	8,0	20,0
Свыше 14 до 20	2,5	10,0	25,0
Свыше 20 до 26	3,0	12,0	30,0
Свыше 26 до 34	4,0	15,0	40,0
Свыше 34 до 45	5,0	20,0	50,0
Свыше 45 до 67	5,0	20,0	60,0
Свыше 67 до 90	5,0	20,0	70,0
Свыше 90 до 120	5,0	20,0	80,0
Свыше 120 до 200	5,0	20,0	90,0

Таблица 5 – седьмой класс дефектности согласно ГОСТ 23055

Толщина свариваемых элементов	Поры или включения		Суммарная длина
	Ширина (диаметр)	Длина	
До 3	1,0	5,0	10,0
Свыше 3 до 5	1,2	6,0	12,0

Свыше 5 до 8	1,5	8,0	15,0
Свыше 8 до 11	2,0	10,0	20,0
Свыше 11 до 14	2,5	12,0	25,0

Продолжение таблицы 5

Толщина свариваемых элементов	Поры или включения		Суммарная длина
	Ширина (диаметр)	Длина	
Свыше 14 до 20	3,0	15,0	30,0
Свыше 20 до 26	4,0	20,0	40,0
Свыше 26 до 34	5,0	25,0	50,0
Свыше 34 до 45	5,0	25,0	60,0
Свыше 45 до 67	5,0	25,0	70,0
Свыше 67 до 90	5,0	25,0	80,0
Свыше 90 до 120	5,0	25,0	90,0

Поры или включения длиной менее 0,2 мм при расшифровке радиограмм не учитываются.

Чувствительность контроля – по ГОСТ 7512. При этом значения чувствительности не должны превышать: для сварных соединений 5-7 классов - значений, приведенных для 3-го класса чувствительности по ГОСТ 7512.

Механические свойства сварных соединений должны быть не ниже указанных в таблице 6.

Прочность сварных соединений из разнородных марок материала должна быть не ниже прочности менее прочного материала, а пластичность – не ниже пластичности менее пластичного материала.

Таблица 6 – Механические свойства сварных соединений из алюминия и его сплавов

Марка свариваемого материала	Угол изгиба, не менее	Ударная вязкость Дж/см <sup>2</sup> при температуре испытания, °С		Предел прочности для всех видов сварки
		от минус 70 до 0	от 0 до 150	
A99, A85, A8, A7, A5, АД0, АД1, АМц, АМцС	120°	Не регламентирована		Не менее нижнего значения предела прочности основного металла в отожженном состоянии
АМг3	50°			
АМг5	45°	38	39	
АМг6		28	32	

## **4 Технология сварки алюминиевого воздуховода от аппарата для очистки воздуха**

### **4.1 Очистка перед сваркой**

Для изготовления воздуховода применяли алюминиевый лист А5М стандартного раскроя 3000х1500 мм толщиной 8 и 10 мм.

Перед запуском в производство все материалы, идущие на изготовление алюминиевого воздуховода, должны проходить входной контроль в соответствии с требованиями ГОСТ 24297. Исключая повреждение материалов при хранении и транспортировке.

Перед введением материала в эксплуатацию должны быть произведены операции по обезжириванию и расконсервированию.

Торцы свариваемых деталей на стадии их подготовки должны быть очищены от загрязнений на расстоянии 100 мм от кромок. Кромки и прилегающие к ним внутренние и наружные поверхности должны быть зачищены до металлического блеска на ширину не менее 20 мм.

Непосредственно перед сваркой торцы свариваемых деталей обезжирить с помощью ацетона и просушить. Для протирки использовать обтирочную ветошь.

Сварочные материалы используемые при сварке алюминия должны быть подвергнуты очистке (обезжириванию, травлению). Сварочная проволока поставляемая в бухтах должна быть подвергнута химической очистке (травлению).

Методика очистки алюминиевой проволоки травлением

Для обезжиривания и удаления окисной пленки проволоку поместить на 1,5-2 мин для травления в ванну с 5%-ным раствором гидроксида натрия (NaOH) технического марки А по ГОСТ 2263-79. Температура раствора 60 - 70 °С.

После травления проволоку промыть в горячей проточной воде в течение 30-40 мин. Промытую проволоку осветлить погружением на 30-40 с

в 15%-ный раствор азотной кислоты по ГОСТ 701-78 при комнатной температуре (16-25 °С).

Осветленную проволоку промыть в проточной воде в течение 30-40 мин и просушить в шкафу при температуре 100-150 °С.

Обработанную проволоку хранить в герметически закрытой таре в сухом месте. Срок хранения не более 15 суток. При более длительном хранении требуется повторная обработка.

Согласно требованиям ГОСТ 7871-75:

а) поверхность проволоки диаметром 4 мм и менее подвергают химической обработке;

б) проволоку с химически обработанной поверхностью наматывают на катушки механическим способом рядами без перегибов и зазоров;

в) катушки с проволокой помещают в политэтиленовый мешок вместе с контрольным пакетом порошка обезвоженного силикагеля-индикатора (ГОСТ 8984-75), который герметизируется при относительной влажности окружающего воздуха менее 20 % в течении 30 мин после обработки.

«При покупке алюминиевой проволоки на катушке (бабине) в герметичной таре или вакуумной упаковке с наличием порошка обезвоженного силикагеля-индикатора допускается проводить обезжиривание без химической обработки. Поместить сварочную проволоку в ванну с ацетоном после чего просушить. Обезжиренную проволоку хранить в сухом месте в герметически закрытой таре. Срок хранения не более 3 дней, в случае длительного хранения, перед сваркой процедуру повторить».

#### **4.2 Подготовка кромок перед сваркой**

Резку листового проката производить при помощи плазменной резки с последующей механической обработкой торцов. Запрещается резка или шлифовка основного металла абразивными кругами.

Кромки обрабатываются механическим способом. Разделку кромок

производить согласно ГОСТ 14806-80 или при необходимости ГОСТ 27580-88.

Для разделки свариваемых кромок применять разделки С7 (рисунок 20), С8 (рисунок 21), Т1 (рисунок 22), Т3 (рисунок 23), У5 (рисунок 24) по ГОСТ 14806-80 и У2 (рисунок 25), У3 (Рисунок 26), У5 (рисунок 27) по ГОСТ 27580-88. Толщина листового проката для изготовления алюминиевого воздуховода 8 мм. Толщина листового проката для изготовления приварной планки к коробу (рисунок 2,3) 10 мм.

Стыковое соединение С7 по ГОСТ 14806-80. Предназначено для выполнения двухстороннего шва без разделки кромок. Для толщины свариваемого металла 8 мм ( $S=S_1$ ). Ширина сварного шва ( $e$ ) не более 14 мм, высота сварного шва ( $g$ ) 1-3 мм, зазор ( $b$ ) 0-1 мм.

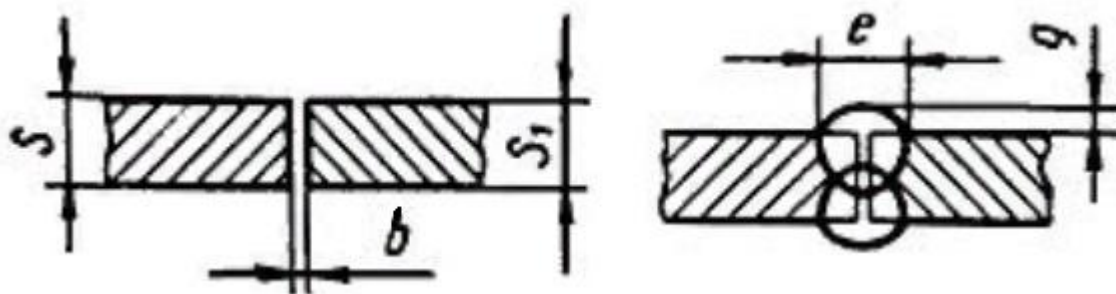


Рисунок 20 – Соединение С7 по ГОСТ 14806-80

Стыковое соединение С8 по ГОСТ 14806-80. Предназначено для выполнения одностороннего шва со скосом одной кромки. Для толщины свариваемого металла 8 мм ( $S=S_1$ ). Ширина сварного шва ( $e$ ) 14-18 мм, высота сварного шва ( $g$ ) 1-3 мм, зазор ( $b$ ) 0-1 мм, притупление кромок ( $c$ ) 2-6 мм, высота корня шва ( $I_{max}$ ) не более 3 мм.

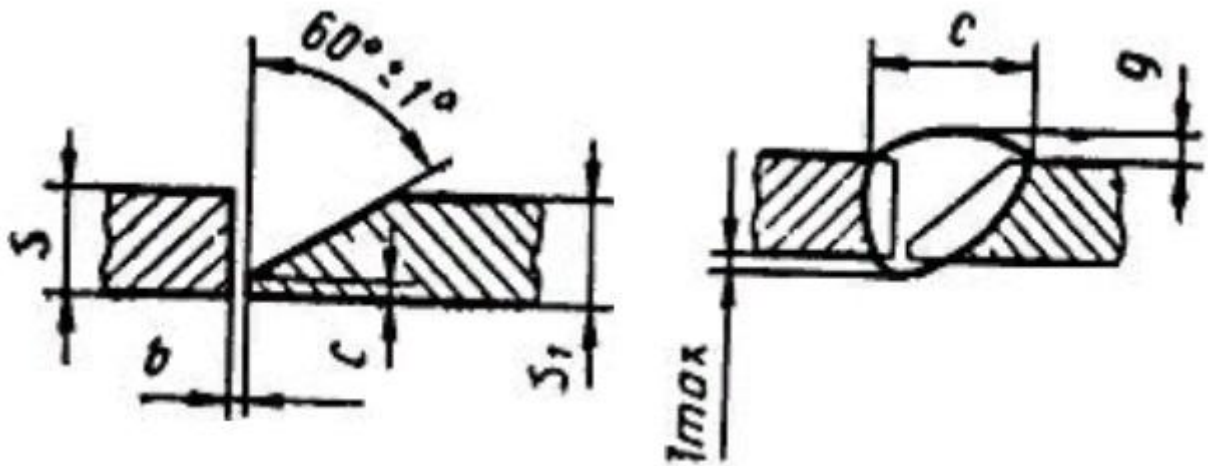


Рисунок 21 – Соединение С8 по ГОСТ 14806-80

Тавровое соединение Т1 по ГОСТ 14806-80. Предназначено для выполнения одностороннего шва без скоса кромок. Для толщины свариваемого металла 8+10 мм ( $S \neq S1$ ). Катет сварного шва (К) 8-11 мм, зазор (b) 0-2 мм.

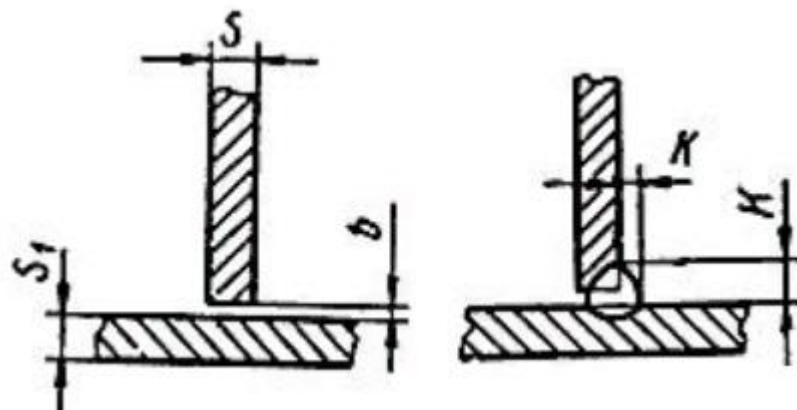


Рисунок 22 – Соединение Т1 по ГОСТ 14806-80

Тавровое соединение Т3 по ГОСТ 14806-80. Предназначено для выполнения двухстороннего шва без скоса кромок. Для толщины свариваемого металла 8 мм ( $S=S1$ ). Катет сварного шва (К) 8-11 мм, зазор (b) 0-2 мм.

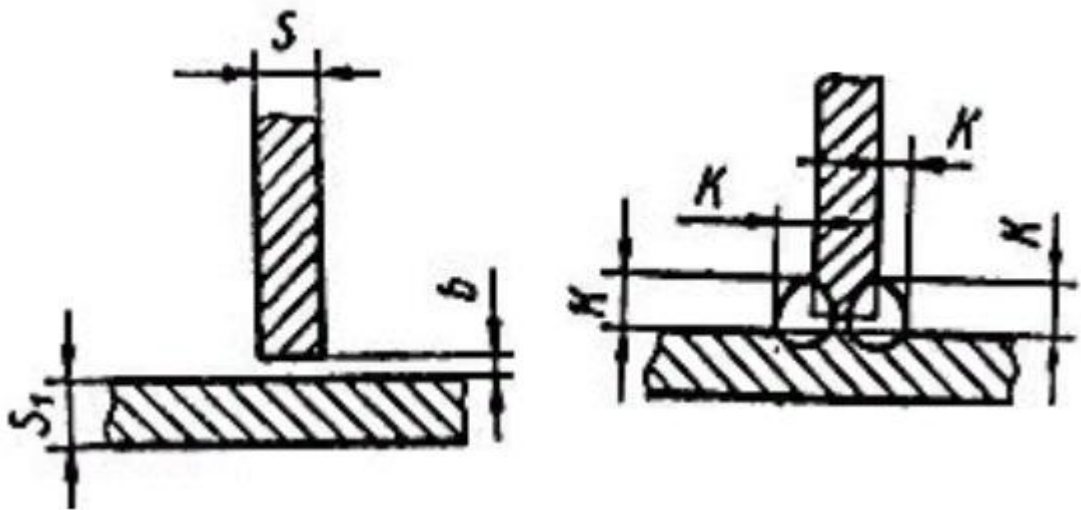


Рисунок 23 – Соединение Т3 по ГОСТ 14806-80

Угловое соединение У5 по ГОСТ 14806-80. Предназначено для выполнения двухстороннего шва без скоса кромок. Для толщины свариваемого металла 8 мм ( $S=S_1$ ). Ширина сварного шва ( $e$ ) не более 14 мм, высота сварного шва ( $g$ ) 1-3 мм, зазор ( $b$ ) 0-1 мм, смещение кромок ( $n$ ) 0-4 мм, Катет сварного шва ( $K$ ) 4-7 мм.

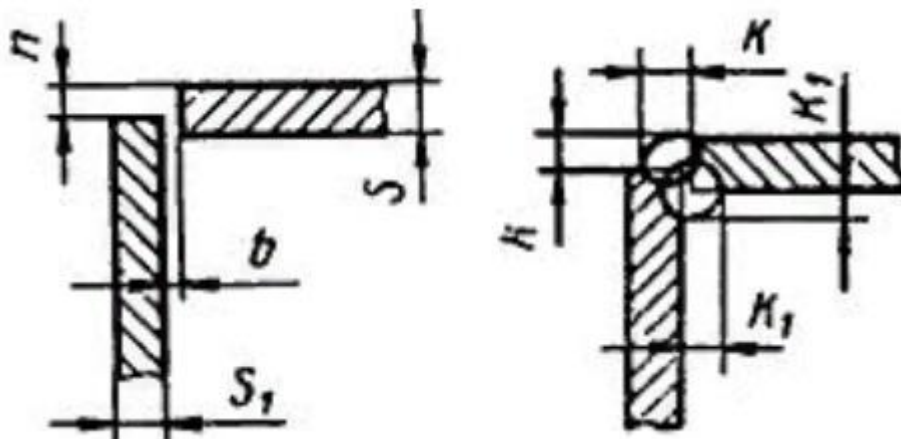


Рисунок 24 – Соединение У5 по ГОСТ 14806-80

Угловое соединение У2 по ГОСТ 27580-88. Предназначено для выполнения одностороннего шва без скоса кромок на остающейся подкладке. Для толщины свариваемого металла 8 мм ( $S=S_1$ ). Ширина сварного шва ( $e$ ) не более 14 мм, высота сварного шва ( $g$ ) 1-3 мм, зазор ( $b$ ) 0,5-2,5 мм, толщина



подкладки ( $h$ ) не менее 3 мм, угол между свариваемыми поверхностями ( $\beta$ ) 136-159°.

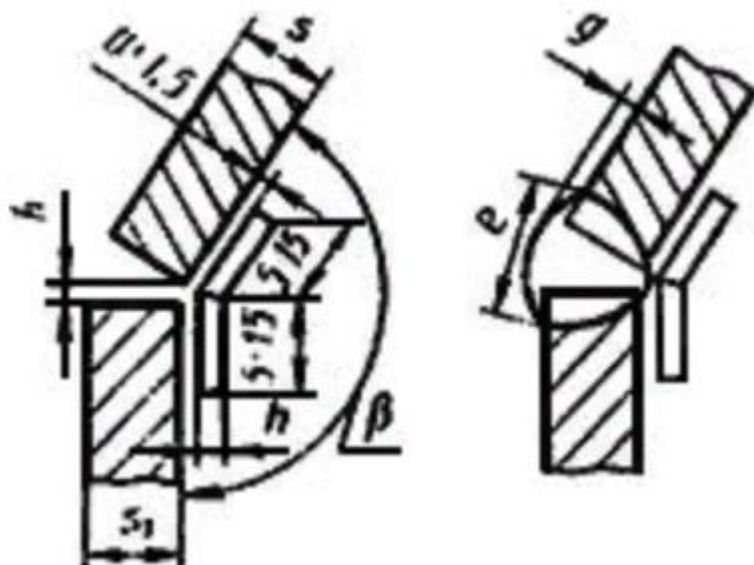


Рисунок 25 – Соединение У2 по ГОСТ 27580-88

Угловое соединение У3 по ГОСТ 27580-88. Предназначено для выполнения двухстороннего шва без скоса кромок. Для толщины свариваемого металла 8 мм ( $S=S_1$ ). Ширина сварного шва ( $e$ ) не регламентируется, ширина сварного шва ( $e_1$ ) 8-12 мм высота сварного шва ( $g$ ) 1-3 мм, зазор ( $b$ ) 0-1 мм, угол между свариваемыми поверхностями ( $\beta$ ) 91-179°.

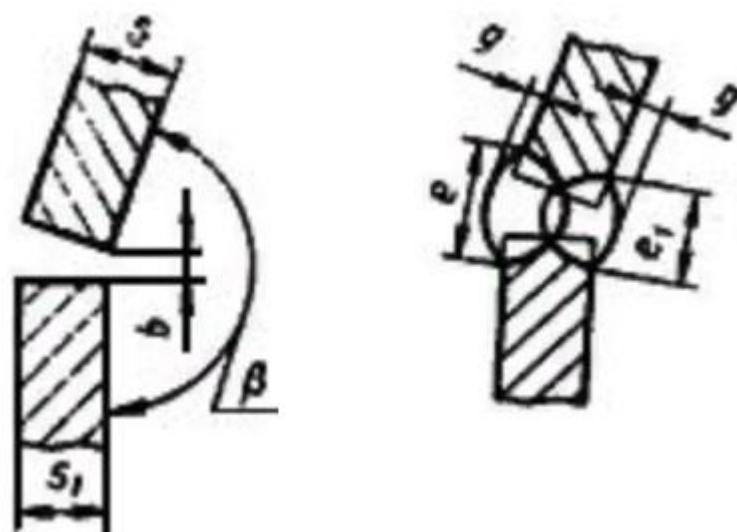


Рисунок 26 – Соединение У3 по ГОСТ 27580-88

Угловое соединение У5 по ГОСТ 27580-88. Предназначено для выполнения двухстороннего шва со скосом одной кромки. Для толщины свариваемого металла 8 мм ( $S=S_1$ ). Ширина сварного шва ( $e$ ) не более 17,2 мм, ширина сварного шва ( $e_1$ ) 8-12 мм высота сварного шва ( $g=g_1$ ) 2-3 мм, притупление кромок ( $c$ ) 2-6 мм, зазор ( $b$ ) 0-1 мм, угол между свариваемыми поверхностями ( $\alpha$ ) 59-61°, угол разделки кромок ( $\alpha_1$ ) 40°.

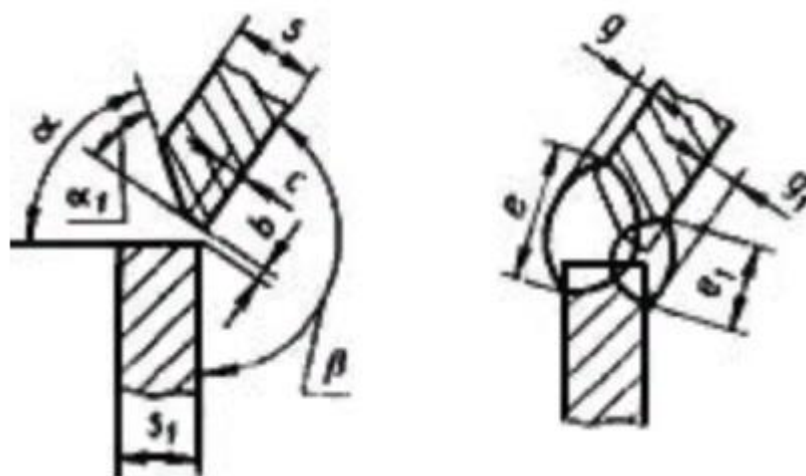


Рисунок 27 – Соединение У5 по ГОСТ 27580-88

Кромки свариваемых деталей должны быть обработаны механическим способом, при этом шероховатость обработанной поверхности должна быть не более Rz 40 мкм по ГОСТ 2789-73.

### 4.3 Сборка деталей

Сборка должна производиться на сборочных приспособлениях, центраторах, без рихтовки кромок соединяемых элементов.

При сборке запрещается ударная правка соединяемых деталей.

Смещение кромок в стыковых соединениях после сборки не должно превышать 10 % (но не более 0,6 мм) от нормативной толщины стенки по всей длине стыка или до 15 % толщины материала (но не более 1,2 мм) на участках протяженностью до 20 % всей длины шва.

Допускается увеличение зазора между свариваемыми кромками при сборке до 3,5 мм.

Сборочные приспособления должны обеспечивать надежное крепление деталей под сварку, а также обеспечивать правильное расположение свариваемых деталей. Сборочные приспособления должны предусматривать свободный доступ персонала к выполнению сварочных работ согласно технологического процесса.

Непосредственно перед сваркой торцы свариваемых деталей обезжирить с помощью ацетона и просушить. Для протирки использовать обтирочную ветошь.

Перед установкой прихваток необходимо проконтролировать правильность сборки деталей, величину геометрических параметров свариваемых кромок. Наложение прихваток в местах пересечения или сопряжения двух или нескольких подлежащих сварке соединений не допускается.

Прихватки выполнять тем же способом сварки, что и основные стыки. Длина прихваток 30-50 мм, высота 0,4-0,6 от толщины стенки. Прихватки выполнять через каждые 150-250 мм. При наличие дефектов в прихватках необходимо удалить их механическим способом.

Начальный и конечный участки прихваток для обеспечения плавного перехода при сварке корневого слоя шва зачистить электрошлифовальной машинкой (применяя специальные круги для резки цветных металлов).

После выполнения прихваток проконтролировать величину зазора между свариваемыми кромками стыкуемых труб равномерно по периметру стыка.

«Допускается приварка временных технологических креплений, предусмотренных чертежами или производственно-технологической документацией. При этом должны быть оговорены марка алюминиевого сплава, их размеры, число и расположение, сварочные материалы, способы и режимы приварки».

«Использование временных технологических креплений при сборке разрешается при номинальной толщине деталей не менее 6 мм. Швы приварки креплений должны быть расположены на расстоянии не менее 60 мм от подлежащих сварке кромок».

«Временные технологические крепления удаляются механическим способом с обязательной зачисткой мест их приварки. Применение при зачистке абразивного инструмента запрещается. Повреждения поверхности, выводящие за пределы минусового допуска металла, не допускаются».

«Необходимо подвергать контролю качества защищенные места приварки креплений на отсутствие дефектов внешним осмотром через лупу 4-7-кратного увеличения после предварительной зачистки поверхности до шероховатости не более Ra 5 мкм (Rz 20) по ГОСТ 2789-73. Трещины не допускаются».

#### **4.4 Сварка стыков**

Сварку выполнять механизированной аргодуговой сваркой плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности.

При сварке в положениях, отличных от нижнего, допускается увеличение размеров шва, но не более: 2 мм - для деталей толщиной до 25 мм; 3 мм - свыше 25 мм.

При сварке в гелии на постоянном токе размеры шва могут быть уменьшены до 15 %.

При сварке технического алюминия допускается увеличение размеров швов до 20 %.

При выполнении двустороннего шва с полным проплавлением перед сваркой с обратной стороны корень шва должен быть расчищен до чистого металла. Расчистка абразивными кругами не допускается. Выборку осуществлять механическим способом используя ручной фрезерный аппарат, кромоочный фрезер и другие аппараты [31-32].

Допускается выполнять увеличение зазора до 3,5 мм.

Проведение сварочных работ по изготовлению оборудования и сборочных единиц трубопроводов при температуре окружающего воздуха ниже 5°C не допускается. Сварку в монтажных условиях допускается проводить при температуре окружающего воздуха не ниже -15°C [31-32].

При температуре воздуха ниже 0°C сварочные работы необходимо выполнять с соблюдением следующих условий:

- Сварочное оборудование должно быть с воздушным охлаждением;
- Свариваемые кромки должны быть очищены от инея, льда, снега;
- При сварке необходимо производить подсушку свариваемых, кромок на ширине 50-60 мм от оси шва путем электроподогрева или подогрева пламенем газовой горелки до 100-120°C.

Контроль температуры нагрева кромок осуществляется с помощью контактного термоэлектрического термометра. Допускается применение термокарандашей и термокрасок.

Сварку стыковых соединений допускается выполнять односторонним швом по одному из следующих технологических вариантов [31-32]:

- на съемной подкладке из стали аустенитного класса или меди с канавкой для формирования корня шва. Форма и размеры канавки устанавливаются производственно-технологической документацией;
- в случаях, оговоренных производственно-технологической документацией, допускается применение остающейся подкладки, изготовленной из алюминия или его сплавов той же марки, что и узел;

При многопроходной сварке после выполнения каждого валика необходимо производить его зачистку металлической щеткой.

При обрыве дуги в процессе сварки необходимо подрубить и зачистить металлической щеткой кратер шва и только после этого продолжать сварку, перекрывая кратер на длине не менее 10 мм.

В случае выполнения двусторонней сварки первым следует сваривать корень шва изнутри (подварочный шов).

Таблица 7 – Параметры режимов сварки MIG

№	Скорость подачи проволоки (Vп.п.), м/мин	Напряжение на дуге (Uд), В	Расход защитного газа, л/мин
1	4-6	15-18	15-20
2	5-7	18-20	20-30
3	6-7,5	20-22,5	20-30
4	7,5-9	22-25	20-30

Режимы сварки в таблице 7 приведены для проволоки диаметром 1,2 мм. В качестве защитного газа – аргон. Режимы представлены для стандартного процесса механизированной сварки алюминия.

При механизированной сварке рекомендуется использовать функцию горячего старта, которая позволяет проплавливать основной материал на требуемую глубину сначала процесса сварки.

Для уменьшения разбрызгивания электродного металла и снижения тепловложения в основной металл рекомендуется применять режим импульсной сварки, а также режим двойного импульса.

Таблица 8 – Параметры режимов сварки Pulse MIG (Double pulse MIG)

№	Скорость подачи проволоки (Vп.п.), м/мин	Напряжение на дуге (Uд), В	Расход защитного газа, л/мин
1	5,0	18,5-19,5	25-30
2	5,5	19,2-18,2	25-30
3	6,0	20,0-21,0	25-30
4	6,5	20,8-21,8	25-30
5	7,0	21,4-22,4	25-30

Продолжение таблицы 8

№	Скорость подачи проволоки (Vп.п.), м/мин	Напряжение на дуге (Uд), В	Расход защитного газа, л/мин
6	7,5	22,0-23,0	25-30
7	8,0	22,7-23,7	25-30
8	8,5	23,3-24,3	25-30
9	9,0	24,0-25,0	25-30
10	10,0	25,0-26,0	25-30

При всех параметрах сварки MIG, Pulse MIG, Double Pulse MIG динамика дуги должна находиться на показателе ноль. При сварке в режиме пульс дополнительным параметром будет ток импульсов, который необходимо устанавливать в диапазоне -10...+15% от номинального значения тока. При сварке в режиме двойного импульса ток импульсов устанавливается в диапазоне -10...+15% от номинального значения. Дополнительным параметром является регулировка диапазона скорости подачи проволоки от 0,1 до 3,0 м/мин, а также такой параметр как регулировка частоты двойных импульсов в диапазоне от 0,4 до 8,0 Гц.

Механизированная сварка углом назад получила наибольшее применение и распространение на практике (Рисунок 28). Однако обязательным условием при сварке стыковых соединений алюминия в нижнем положении является сварка углом вперед (Рисунок 29) или при перпендикулярном положении оси ввода проволоки в сварочную ванну (Рисунок 30). Это улучшает защиту сварочной ванны, а также снижает вероятность образования дефектов в виде пор.

При сварке стыковых соединений в потолочном и горизонтальном положениях следует также производить сварку углом вперед. При сварке стыковых соединений в вертикальных положениях возможна сварка «на спуск» (углом назад) и «на подъем» (углом вперед).

На рисунке 31 отчетливо видно почерневший шов и околошовную зону, что свидетельствует о недостаточной защите шва при сварке. Также продольные разрезы сварных швов и пленок при радиографическом контроле свидетельствуют о наличии цепочек пор.

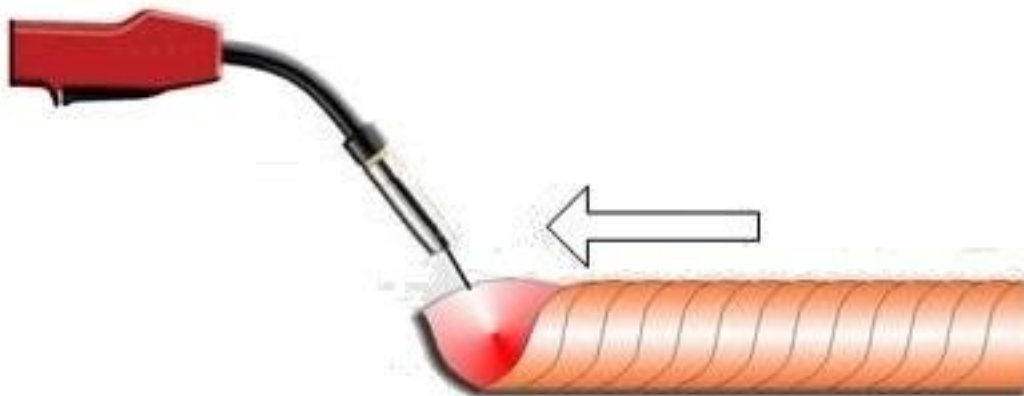


Рисунок 28 – Схема процесса механизированной сварки углом назад

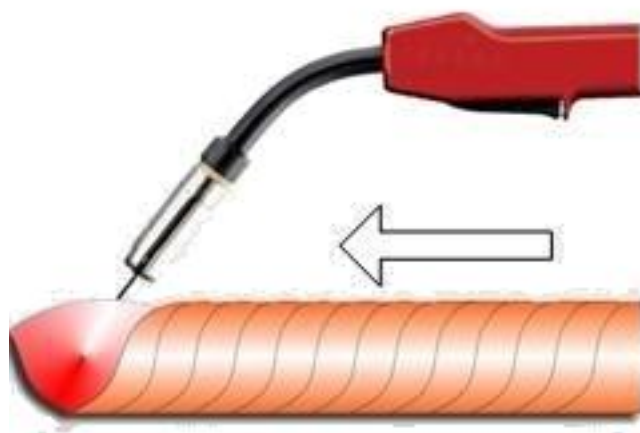


Рисунок 29 – Схема процесса механизированной сварки углом вперед



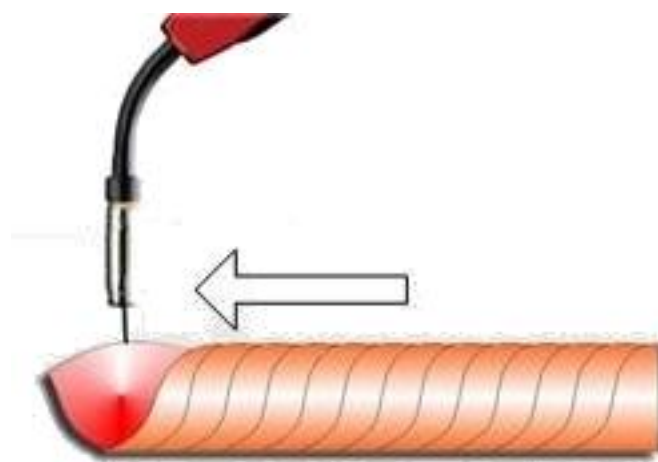


Рисунок 30 – Схема процесса механизированной сварки при перпендикулярном положении оси ввода проволоки в сварочную ванну



Рисунок 31 – Внешний вид валика наплавленного углом назад

#### **4.5 Исправление дефектов**

Исправлению подлежат все дефекты (недопустимые отклонения от установленных требований конструкторской документацией), выявленные в сварных соединениях при их неразрушающем контроле.

Исправление дефектных участков следует выполнять по ПТД на исправление типовых дефектов, разработанной в соответствии с требованиями настоящего раздела применительно к конкретному изделию.

Поверхностные дефекты следует удалять механическим способом с обеспечением плавных переходов в местах выборок.

Для удаления дефектов со стороны проплава сварного шва допускается снимать проплавы по всей длине шва заподлицо с основным металлом. Врезание в основной металл на величину, превышающую предельные отклонения на толщину металла свариваемых элементов по соответствующим стандартам, а также врезание без плавного перехода не допускается.

Плавный переход не контролировать, обеспечить инструментом, острые кромки которого скруглить радиусом не менее 0,5 мм.

Внутренние дефекты должны быть удалены механическим способом. Необходимость полного или частичного удаления дефекта и контроля полноты удаления оговаривается в ПТД в зависимости от вида дефекта и способа его исправления.

Применение абразивных инструментов и охлаждающей жидкости не допускается.

При толщине металла до 3 мм удаление дефектов в виде газовых пор, свищей, непроваров перед заваркой допускается не производить.

При наличии дефектов в виде вольфрамовых включений, трещин, разделка дефектных мест обязательна.

На концах обнаруженных трещин высверливаются отверстия диаметром 2 мм, а трещины удаляются.

Форма и размеры подготовленных выборок должны обеспечивать возможность их заварки по всему объему.

Размеры разделки дефекта, подлежащего заварке, определяются характером дефекта. Выборки, выполняемые в металле шва, могут заходить в основной металл, при этом ширина шва после подварки не должна превышать двойной ширины шва до подварок.

При исправлении дефектов следует соблюдать все указания настоящих разделов, относящиеся к выполнению первоначальных сварных соединений.

Заварку выборок следует выполнять одним из способов сварки, допускаемых для выполнения первоначальных сварных соединений, с использованием соответствующих сварочных материалов.

Исправление дефектных стыковых сварных соединений труб допускается производить путем вырезки дефектного сварного соединения и последующей сварки вставки (отрезка трубы).

Исправление дефектов на одном и том же участке сварного соединения допускается производить не более двух раз для термически упрочняемых сплавов марок и не более трех раз для термически неупрочняемых сплавов марок АД00, АД0, АД, АД1, АМг2, АМг3.

При исправлении дефектов в процессе выполнения сварных соединений при обнаружении трещин сварка должна быть прекращена и может быть возобновлена только после удаления трещин, выяснения причин их образования и принятия мер, предотвращающих их появление.

Решение о возможности ремонта сварных соединений с трещинами принимает Главный сварщик предприятия.

Устранение неплотностей в сварных соединениях подчеканкой запрещается.

Дефектные места, подготовленные к сварке, должны быть предъявлены ОТК.

«Исправленные швы следует повторно контролировать всеми методами в соответствии с техническими требованиями конструкторской документации для данного сварного соединения».

«Поверхность швов в местах, подвергавшихся неоднократному ремонту, а также в местах, вызывающих сомнение по результатам внешнего осмотра, должна быть проконтролирована цветной или люминесцентной дефектоскопией».

## 5 Изготовление алюминиевого воздуховода от аппарата для очистки воздуха

Перед проведением сварочных работ необходимо выполнить сварку по установленной технологии на допусковых стыках.

В качестве образцов использовали алюминиевые листы габаритом 200x150x8 мм. В качестве примера рассмотрим образцы сваренные по стандартной технологии механизированной сварки алюминия и разработанной в данной работе.

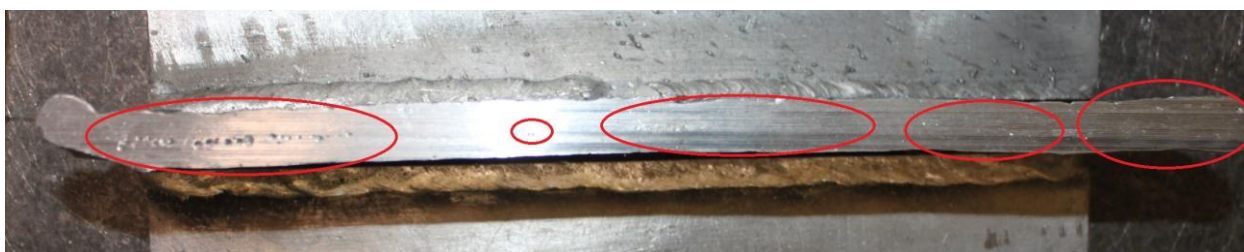
На рисунке 32 (а-и) представлены продольные разрезы стыков сваренных по режимам указанным в таблице 7 без соблюдения требований разработанной технологии. Образцы сваренные без соблюдения требований разработанной технологии имеют недопустимые дефекты.



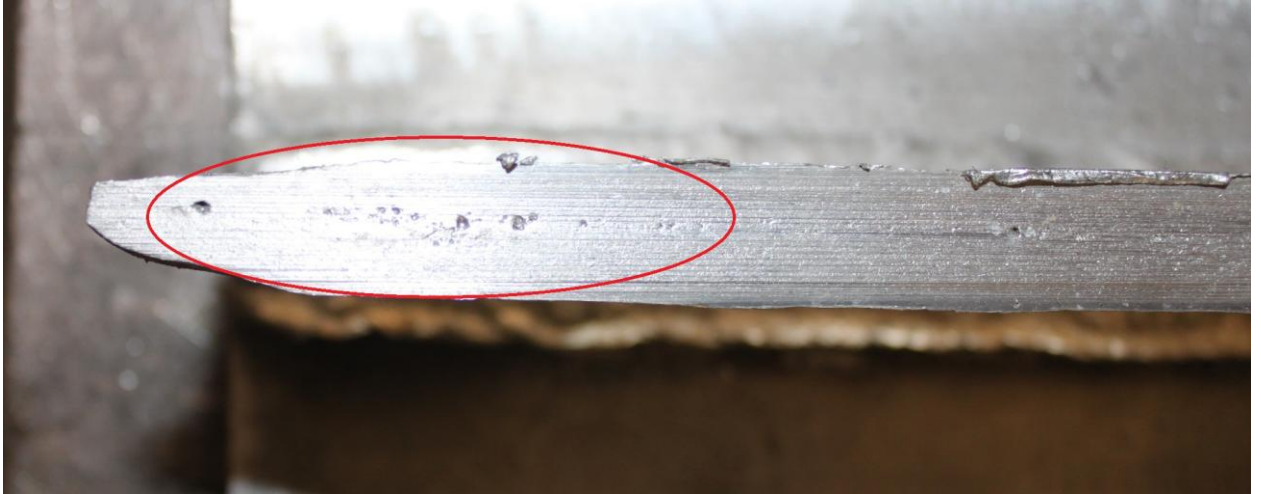
а)



б)



В)



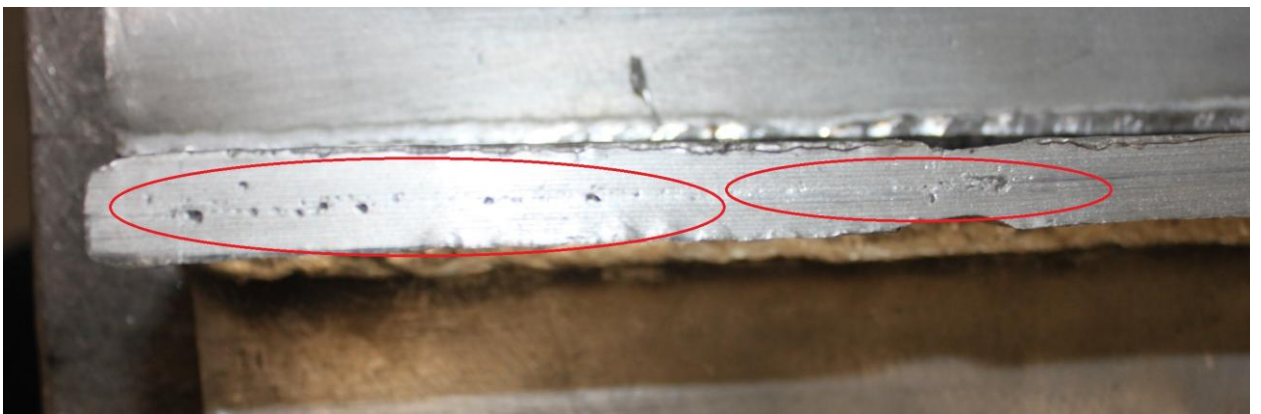
Г)



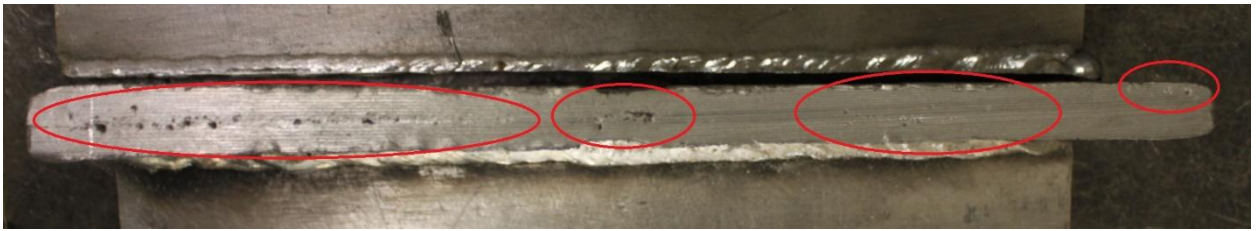
Д)



е)



ж)



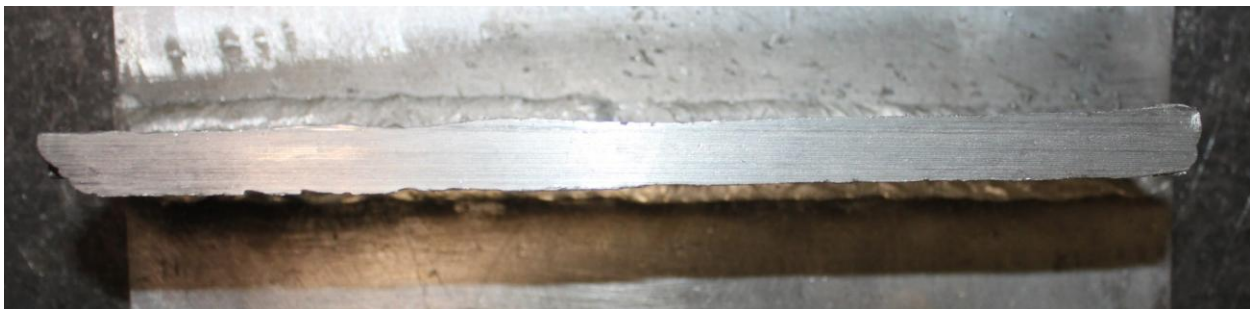
з)



и)

Рисунок 32 – Продольные разрезы стыков с дефектами в виде пор и цепочек пор

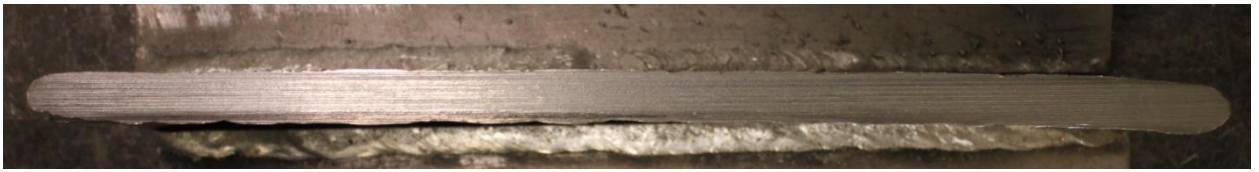
На рисунке 33 (а-в) представлены продольные разрезы стыков сваренных по режимам указанным в таблице 7 с соблюдением требований разработанной технологии. Образцы сваренные с соблюдением требований разработанной технологии не имеют дефектов.



а)



б)



в)

Рисунок 33 – Продольные разрезы стыков без дефектов

Допускные стыки сваренные по разработанной технологии были подвергнуты визуально-измерительному и радиографическому контролю.



Рисунок 34 – Внешний вид сварного образца из алюминия сваренного по установленной технологии

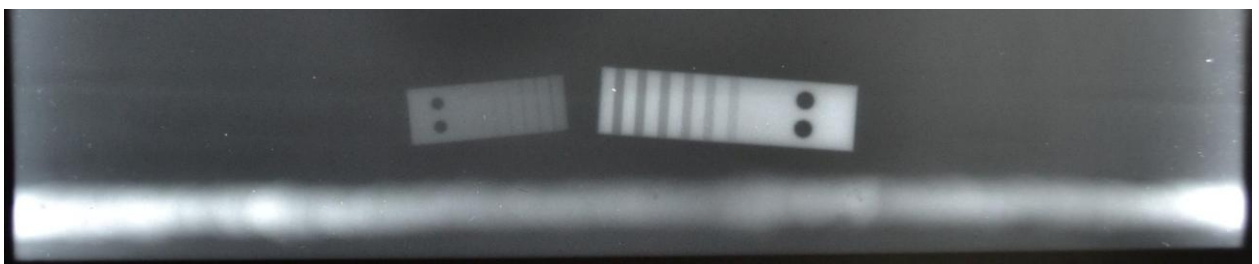


Рисунок 35 – Радиографический снимок сварного образца из алюминия сваренного по установленной технологии

Также на допусковых стыках были произведены механические испытания (статический изгиб).

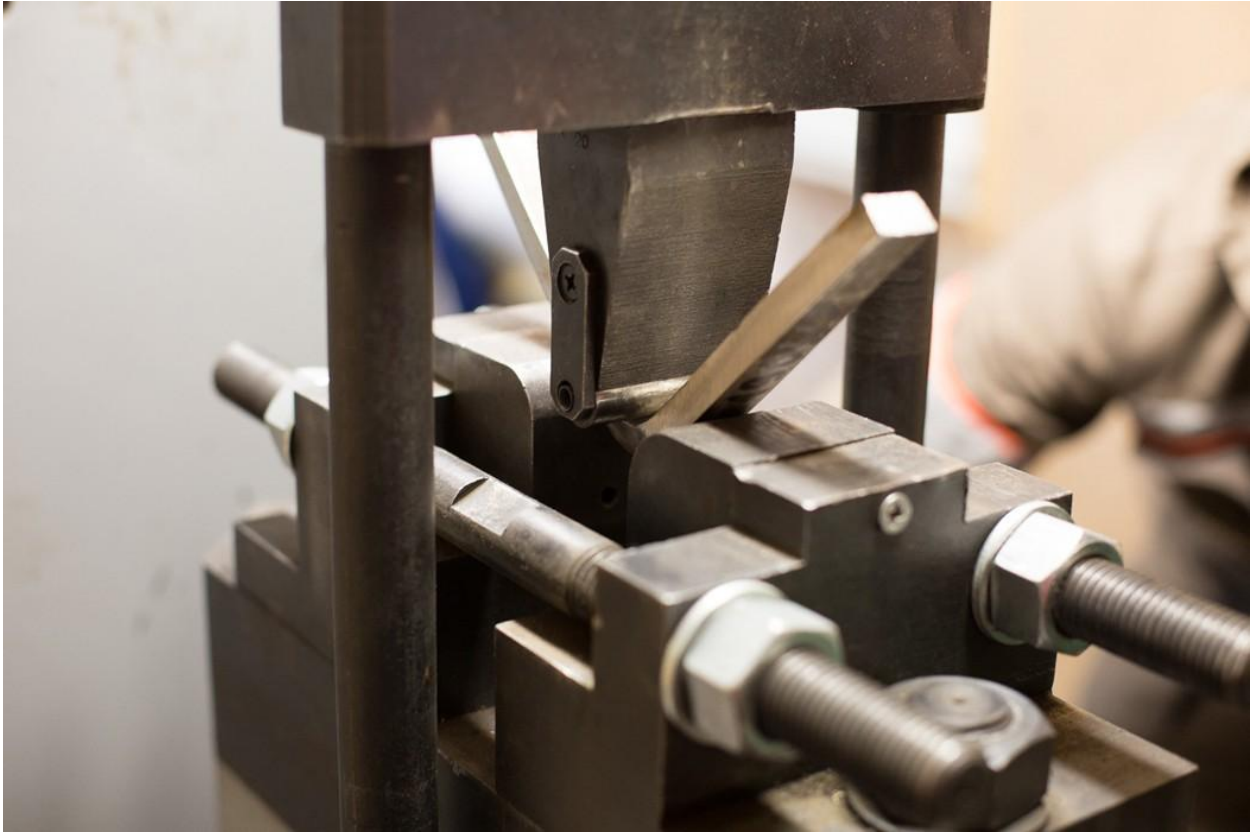


Рисунок 36 - Механические испытания допускных стыков на статический изгиб

Для алюминия марки А5м угол загиба должен составлять не менее 120°. При проведении испытаний образцов на статической изгиб угол загиба составлял 150-155 °. При этом образцы не имели дефектов.



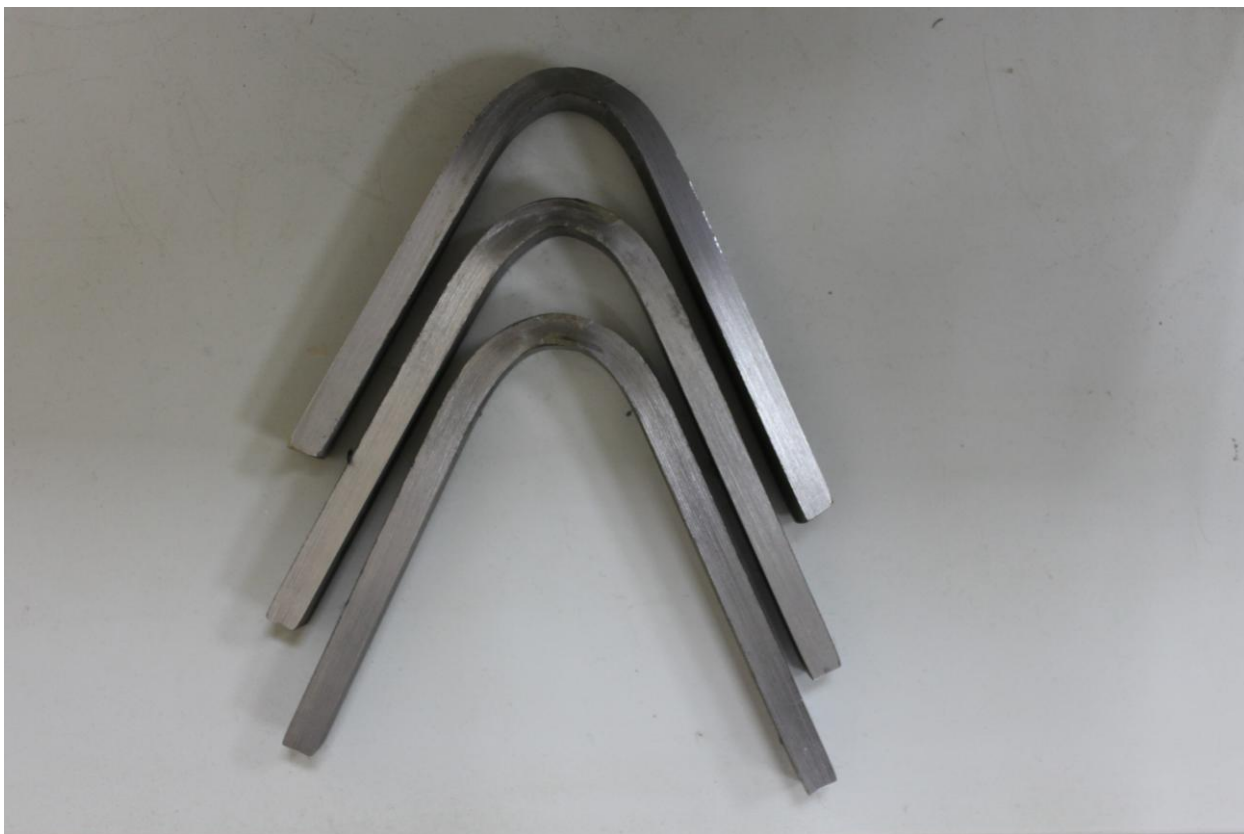


Рисунок 37 – Внешний вид образцов после испытаний на статический изгиб

В соответствии с разработанной технологией сварки был изготовлен алюминиевый воздуховод от аппарата для очистки воздуха Ф-101/2. Разработанная технология позволила исключить операцию по предварительному подогреву при изготовлении деталей (при температуре окружающего воздуха выше  $0^{\circ}\text{C}$ ). Также за счет применения механизированной аргонодуговой сварки плавящимся электродом было достигнуто снижение угловых деформаций при сварке за счет меньшего тепловложения. Также стоит отметить высокую производительность и качество сварных соединений при использовании данного способа сварки.

Далее представлены некоторые фотографии из цикла изготовления алюминиевого воздуховода (Рисунок 38-41).



Рисунок 38 – Процесс изготовления алюминиевой обечайки



Рисунок 39 – Изготовленный переход DN 1600-1200



Рисунок 40 – Изготовленный короб алюминиевого воздуховода



Рисунок 41 – Изготовленный отвод сварной 90-DN 1600

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации были рассмотрены возможные способы для изготовления алюминиевого воздуховода от аппарата очистки воздуха Ф-101/2. Рассмотрены достоинства и недостатки представленных способов. Представлены основные причины сложности сварки алюминия и его сплавов, а также представлены мероприятия по решению негативных факторов. Была произведена оценка свариваемости и рассмотрены требования применяемые к изготовлению сосудов и аппаратов из алюминия, и его сплавов. Проведен анализ и выбор методов контроля для алюминия и его сплавов.

Основным способом сварки алюминия является аргонодуговая сварка, однако данный способ обладает рядом недостатков:

- 1) Низкая производительность;
- 2) Высокое тепловложение, как следствие большие сварочные напряжение и угловые деформации;
- 3) Затруднена работа на открытом воздухе из-за возможного выдувания защитного газа из зоны сварки, что приводит к появлению дефектов в сварном соединении;
- 4) Возможны дефекты в виде вольфрамовых включений в сварном шве при отсутствии осциллятора в источнике питания (бесконтактное зажигание дуги) или низкой квалификации сварщика;
- 5) Необходима высокая степень очистки свариваемых кромок.

Для повышения производительности и повышения качества сварных соединений было предложено использовать механизированную аргонодуговую сварку плавящимся электродом которая обладает рядом преимуществ перед стандартной технологией аргонодуговой сварки неплавящимся электродом:

- 1) Низкое тепловложение;
- 2) Высокая производительность;

Предлагаемый вариант сварки исключает вольфрамовые включения, а также снижает угловые сварочные деформации за счет низкого тепловложения также данный способ обеспечивает высокую противительность. А также предлагаемая технология исключает операции по предварительному подогреву.

На основании проведенных исследований была разработана технология механизированной аргонодуговой сварки плавящимся электродом алюминиевого воздуховода от аппарата для очистки воздуха Ф-101/2.

Используя данную технологию был изготовлен и установлен на площадке предприятия «КуйбышевАзот» алюминиевый воздуховод от аппарата для очистки воздуха Ф-101/2.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по конструкционным материалам / Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов и др.; под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2006. – 640 с.
2. Технология металлов и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. техникумов / Б.А. Кузьмин, Ю.Е. Абраменко, В.К. Ефремов и др.; под ред. Б.А. Кузьмина. – М.: Машиностроение, 1981. – 351 с.
3. Материалы приборостроения: учеб. пособие / Э.Р. Галимов, А.С. Маминов, А.Г. Аблясова и др.; под общ. ред. Э.Р. Галимова, А.С. Маминова. – Казань: Изд-во КГТУ, 2008. – 672 с.
4. Основы электрогазосварки: учеб. пособие / А.И. Герасименко. – Изд. 3-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 384 с.
5. Чебан, В.А. Сварочные работы / В.А. Чебан . – Изд. 4-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 412 с.
6. Николаев, Г.А. Сварка в машиностроении / Г.А. Николаев. – М.: Машиностроение, 1978. – 462 с.
7. Гуревич, С.М. Справочник по сварке цветных металлов / С.М. Гуревич. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1981. – 608 с.
8. Рабкин, Д. М. Сварка алюминия и его сплавов / Д. М. Рабкин, В. Г. Игнатьев, И. В. Довбищенко. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1983. – 80 с.
9. Никифоров, Г.Д. Металлургия сварки плавлением алюминиевых сплавов / Г.Д. Никифоров. – М.: Машиностроение, 1972. – 260 с.
10. Теория сварочных процессов: учеб. пособие для студ. вузов / В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.
11. Теория сварочных процессов: учеб. пособие для студ. вузов / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров и др.; под ред. В.М. Неровного. М - Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
12. ГОСТ 29273-92. Межгосударственный стандарт. Свариваемость. Определение. Введ. 01.01.1993. М.: Издательство стандартов, 1992. – 3 с.

13. Стеклов, О. И. Свариваемость металлов и сплавов. /О.И. Стеклов // Итоги науки и техники. Сварка. Т. 14. М.: ВИНТИ – 1982. - 70 С.
14. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. Б. Е. Патона. – М.: Изд-во "Машиностроение", 1974. – 768 с.
15. Ситявин, Ю.И. Структура и свойства сварных швов алюминиевых сплавов в зависимости от некоторых факторов технологии сварки / Ю.И. Ситявин, Ю.С. Терминасов, Г.Л. Зубриенко // Сварочное производство. – 1979. – №8. – С. 28-29.
16. Юсуфова, З.А. О механизме разрушения окисных плёнок в стыке при аргонодуговой сварке алюминиевых сплавов / З.А. Юсуфова // Сварочное производство. – 1979. – № 10. – С. 25-26.
17. Специальные способы сварки и резки: учеб. пособие для студ. вузов / М.Д. Банов, В.В. Масаков, Н.П. Плюснина. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 208 с.
18. Неровный, В.М. Плазменная сварка: учебное пособие / В.М. Неровный. М - Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2004. – 12 с.
19. Новиковский, Е.А. Ручная электродуговая и газовая сварка металлов: учебное пособие / Е.А. Новиковский. – Барнаул: Типография АлтГТУ, 2013. – 106 с.
20. Автоматическая дуговая сварка под слоем флюса: методические указания к практической работе / В.Д. Александров, В.Б. Безрук, Б.А. Кудряшов и др. – М.: МАДИ, 2014. – 28 с.
21. Банов, М.Д. Сварка и резка материалов: учеб. пособие / М.Д. Банов, Ю.В. Казаков, М.Г. Козулин и др.; под ред. Ю.В. Казакова. – М.: Издательский центр «Академия», 2000. – 400 с.
22. Рубинчик, Ю.Л. Механизированная сварка корпусных конструкций из алюминиевых сплавов / Ю.Л. Рубинчик. – Л.: Судостроение, 1974. – 135 с.
23. Ламбур, Т.М. Особенности формирования структуры и механических свойств сварных соединений алюминиевого сплава Амг5М, выполненных плавящимся электродом при разных скоростях сварки и пространственного



положения стыков / Т.М. Ламбур, М.П. Пашуля, М.Р. Яворська и др. // Сварочное производство. – 2018. - №4 - С. 3-11.

24. Matsumoto Jiro. Defects in aluminum welds and their influence on mechanical properties // Journal of Light Metal Welding and Construction. 1984. № 10. P. 443-449.

25. Matsumoto Jiro. Defects in aluminum welds and their influence on mechanical properties – 2 // Journal of Light Metal Welding and Construction. 1984. № 10. P. 491-497.

26. Colchen D. Application des calculs aux elements finis pour definir et valider des models analitiques de calcul de contrainte sur un assemblage bout a bout en alliage d'aluminium // Soudage et Techniques Connexes. 2000. №3/4. P 9-16.

27. ГОСТ 24297-2013. Межгосударственный стандарт. Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля. Введ. 26.08.2013. М.: Стандартиформ, 2014. – 11 с.

28. Отраслевой стандарт: ОСТ 26-01-1183-82. Сосуды и аппараты алюминиевые. Общие технические условия. Введ. 01.01.1983. М.: Минхиммаш СССР, 1982. – 195 с.

29. ГОСТ 14806-80. Государственный стандарт союза ССР. Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. Введ. 24.07.1980. М.: Издательство стандартов, 1980. – 37 с.

30. ГОСТ 27580-88. Государственный стандарт союза ССР. Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. Введ. 18.01.1988. М.: Издательство стандартов, 1988. – 37 с.

31. Kwon Y., Weckman D.C. Double sided arc welding of AA5182 aluminium alloy sheet // Science and Technology of Welding & Joining. 2008. Vol. 13. № 6. P 485-495.

32. Wilsdorf R., Pistor R., Sixsmith J.J., Jin H.T. Welding aluminum pipe and tube with variable polarity // Welding Journal. 2006. Vol. 85. № 4. P 42-43.

33. Амирджанова, И.Ю. Правила оформление выпускных квалификационных работ: учебно-методическое пособие / И.Ю. Амирджанова, Т.А. Варенцова, В.Г. Виткалов, А.Г. Егоров, В.В. Петрова Тольятти: ТГУ, 2019. - 145 с.
34. ГОСТ 7.1-2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание общие требования и правила составления. Введ. 01.07.2004. - М.: Стандартинформ, 2010. – 52 с.