

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)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Производство и ремонт конструкций газонептехимического производства

(направленность(профиль))

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему Технология изготовления медно-алюминиевых переходников для передвижной полевой установки при сварке нефтепровода

Студент	<u>С.С. Иванцов</u>	_____
(И.О. Фамилия) (подпись)		
Научный		
руководитель	<u>Г.М. Короткова</u>	_____
(И.О. Фамилия) (подпись)		
Консультанты	<u>Т.А. Варенцова</u>	_____
(И.О. Фамилия) (подпись)		

Руководитель программы	д.т.н., проф., <u>В.В. Ельцов</u>	_____
	(ученая степень, звание И.О. Фамилия)	(подпись)
«__» _____ 20__ г.		

<b>Допустить к защите</b>		
Заведующий кафедрой	д.т.н., проф. <u>В.В. Ельцов</u>	_____
(ученая степень, звание И.О. Фамилия) (подпись)		
«__» _____ 2019г.		

Тольятти 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Анализ многопостовых выпрямителей для сварки нефтегазопроводов в полевых условиях.....	
1.1. Оценка свариваемости сталей и сплавов нефтепроводов.....	4
1.2. Обзор многопостовых источников питания.....	7
1.3. Организация отдельных сварочных постов для РДС.....	10
1.4. Предложения по созданию передвижной многопостовой установки для работы в полевых условиях.....	11
2. Разработка передвижной полевой установки для сварки нефтегазопроводов.....	
2.1. Компоновка узлов полевой передвижной установки на базе платформы ТОНАР 97416.....	16
2.2. Расчет параметров медно-алюминиевого переходника.....	18
2.3. Устойчивость системы «источник питания-дуга» при возмущениях.....	21
3. Проектирование силовых перемычек Cu-Al для сварочной полевой установки	
3.1. Анализ способов создания медно-алюминиевых наконечников и гильз.....	23
3.2. Экспериментальная проверка условий формирования медно-алюминиевого переходника.....	
3.3. Разработка конструкции медно-алюминиевого переходника .....	
4. Разработка технологии изготовления переходников Cu-Cu, Cu-Al	
4.1. Технология изготовления медно-алюминиевого переходников методом фрикционной диффузионной сварки .....	33
4.2. Технология изготовления медно-алюминиевого переходников методом холодной стыковой сварки.....	36

4.3. Технология соединения и формовки медной трубы и медно-алюминиевого переходника с кабелем.....	46
4.4 Технология пайки медно-алюминиевого переходника к кабелю....	50
4.5 Технология лужения медной части наконечника.....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	67
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	68

## ВВЕДЕНИЕ

Для транспортировки газа и нефти от месторождений к нефтеперерабатывающим комплексам или потребителям построены нефтепроводы, такие как «Сургут – Полоцк», «Южный Поток», «Северный Поток». Диаметр трубопровода достигает 1420 мм. Транспортировка нефти осуществляется при давлении 4,7 – 5,6 МПа с линейной скоростью от 5 до 9 км/ч. При сварке труб большого диаметра (более 500 мм) необходимо предусмотреть возможность многопостовой сварки.

Магистральный трубопровод пролегает по равнинной местности при отсутствии линий электропередач, через подземные переходы, через водные преграды с глубиной от 1,5 и более метров.

Трубы нефтепровода из углеродистых и низколегированных сталей выполняются по ГОСТ 20295-85 классом прочности К52.

Известно, что углеродистые и низколегированные стали свариваются как на переменном, так и на постоянном токе. В зависимости от рода тока будут отличаться и установки. Но в любом случае в полевых условиях необходимо применять специальные установки, работающие независимо от линий электропередач, поэтому в работе рассматриваются установки различного типа. Предлагаются варианты специализированных установок, которые изготавливаются на базе оборудования ВПК, подлежащего списанию.

Цель работы – снизить затраты на изготовление многопостовых источников питания постоянного тока.

# 1 Анализ многопостовых выпрямителей для сварки нефтегазопроводов в полевых условиях

## 1.1 Оценка свариваемости сталей и сплавов нефтегазопроводов

Для транспортировки нефти от месторождений на нефтеперерабатывающие комплексы строятся магистральные трубопроводы, диаметр которых достигает 1420 мм, а толщина стенок до 46 мм.

Наиболее широкое применение нашли хорошо свариваемые сплавы, такие как низколегированные и углеродистые стали Ст10, 20, 09Г2С, 17Г1С и SP []. Предварительно свариваемость определяется по эквиваленту углерода  $S_{э}$  [].  $S_{э}$  для углеродистых и марганцесвинцовых сталей определяется по зависимости (1)

$$S_{э} = \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad , (1)$$

где в числителе указаны химические элементы стали.

Для *среднестатистических* низколегированных сталей используется зависимость

, (2)

где Cu и P учитываются, если концентрация их:  $Cu > 0,5\%$ , а  $P > 0,05\%$ .

Расчет  $S_{э}$  для перечисленных сталей показал, что  $S_{э} \leq 0,45\%$  (таблицы 1, 2, 3, 4).

Таблица 1 – химический состав Ст10 [ ]

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>As</b>
<b>0.07 - 0.14</b>	<b>0.17 - 0.37</b>	<b>0.35 - 0.65</b>	<b>до 0.25</b>	<b>до 0.04</b>	<b>до 0.035</b>	<b>до 0.15</b>	<b>до 0.25</b>	<b>до 0.08</b>

Таблица 2 – химический состав Ст20 [ ]

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>As</b>
<b>0.17 - 0.24</b>	<b>0.17 - 0.37</b>	<b>0.35 - 0.65</b>	<b>до 0.25</b>	<b>до 0.04</b>	<b>до 0.04</b>	<b>до 0.25</b>	<b>до 0.25</b>	<b>до 0.08</b>

Таблица 3 – химический состав 09Г2С [ ]

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>N</b>	<b>Cu</b>	<b>As</b>
<b>до 0.12</b>	<b>0.5 - 0.8</b>	<b>1.3 - 1.7</b>	<b>до 0.3</b>	<b>до 0.04</b>	<b>до 0.035</b>	<b>до 0.3</b>	<b>до 0.008</b>	<b>до 0.3</b>	<b>до 0.08</b>

Таблица 4 – химический состав 17Г1С [ ]

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>N</b>	<b>Cu</b>	<b>As</b>
<b>0.15</b>	<b>0.4</b>	<b>1.15</b>	до	до	до	до	до	до	до
<b>0.2</b>	<b>0.6</b>	<b>1.6</b>	<b>0.3</b>	<b>0.04</b>	<b>0.035</b>	<b>0.3</b>	<b>0.008</b>	<b>0.3</b>	<b>0.08</b>

Если  $C_{\Sigma} \leq 0,45\%$  - это хорошо свариваемые стали. В этом случае разрешается применять все способы сварки плавлением, как на переменном, так и на постоянном токе.

Известно, что с увеличением толщины трубопровода свариваемость ухудшается, поэтому  $C_{\Sigma}$  уточняется по формуле (3) для углеродистых сталей

(3)

А для легированных сталей  $C_{\Sigma}$  определяется по зависимости (4)

(4)

Номенклатура сталей для трубопроводов непрерывно расширяется. Каждый новый сплав проверяется на свариваемость. В соответствии с руководящими документами по сварке нефтегазопроводов рекомендуются

следующие способы сварки плавлением: РДС, механическая сварка электродами, РАД, автоматическая под слоем флюса.

Известно, что для получения неразъемных соединений нефтегазопровода руководящие документы РД рекомендуют использовать для сварки корневого шва - РАД, для заполнения – РДС и механизированную сварку швов электродами в защитной среде [6]. При сварке больших диаметров трубопровода рекомендуется сварка от многопостовых источников питания на постоянном токе.

Таким образом, оценка свариваемости сталей и сплавов нефтегазопроводов с учетом требований РД показала, что работа над созданием и усовершенствованием многопостовых источников питания актуальна.

## 1.2. Обзор многопостовых источников питания

Первые опытные образцы многопостовых выпрямителей были разработаны в 1935 г. в МВТУ им. Н.Э. Баумана, которые предназначались для централизованного питания одновременно нескольких постов.

Большой вклад в развитие теории сварочных выпрямителей внесли И.Я. Рабинович и Г.М. Каспржак [ ].

Для определения количества постов, которое можно организовать от данного типа многопостовых источников используют формулу (5) [ ].

$$n = \frac{P_{\text{ММ}} \cdot \eta_{\text{МН}}}{\alpha \cdot I_{\text{н1}} \cdot U_{\text{ХХ}} \cdot \eta_{\text{п1}}} \cdot 1000, \quad (5)$$

где  $P_{\text{ММ}}$  – мощность многопостового сварочного выпрямителя,

$\eta_{\text{МН}}$  - КПД многопостового сварочного выпрямителя (96-98%),

$\alpha$  - коэффициент одновременной работы (0,78),

$I_{\text{п1}} U_{\text{ХХ}}$  – мощность одного сварочного поста,



$\eta_{п1}$  – кпд одного поста (0,5 -0,6).

Многопостовые сварочные выпрямители работают в режимах ХХ, нагрузки, КЗ. Жесткая внешняя ВАХ многопостового выпрямителя позволяет каждому отдельному сварочному посту работать независимо друг от друга. Количество постов, работающих одновременно допускается определять по формуле (6):

$$n = \frac{I_{нн0.мн}}{\alpha \cdot I_{н1}} \quad (6)$$

Принципиальная схема включения сварочных постов приведена на рис.1.1.

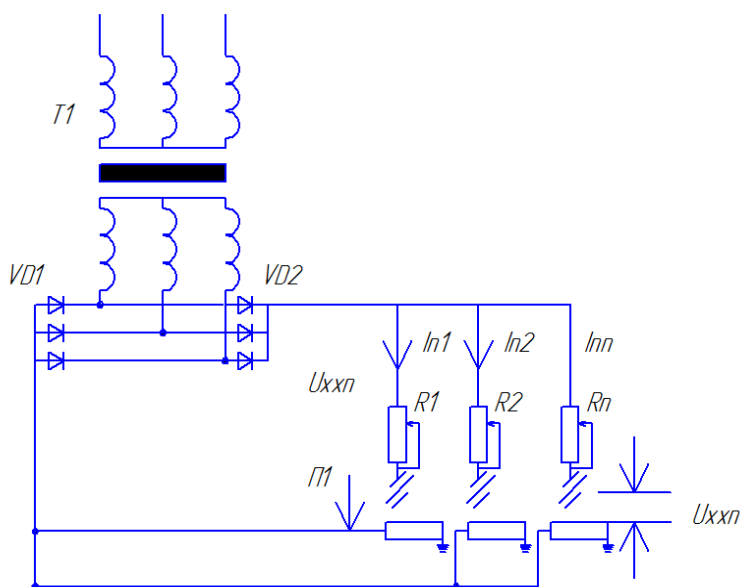


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема многопостового сварочного выпрямителя

Внешние ВАХ отдельных постов и многопостового выпрямителя показаны на рис.1.2.

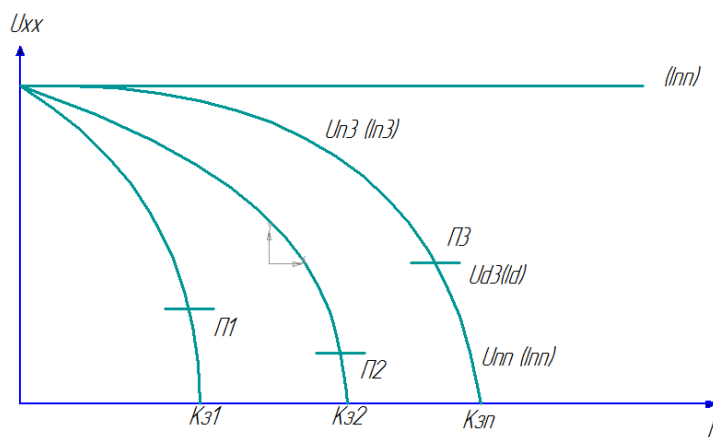


Рисунок 1.2 – Внешние вольт-амперные характеристики многопостового выпрямителя, отдельных сварочных постов и статические характеристики дуг

Уравнение внешней ВАХ многопостового сварочного выпрямителя имеет вид (7)

$$U_u \approx U_{xx}; \quad (7)$$

где  $U_u$  – напряжение многопостового сварочного выпрямителя (ИП),  
 $U_{xx}$  – напряжение холостого хода сварочного выпрямителя.

Уравнение внешней ВАХ отдельного поста имеет вид (8)

$$U_{n1} \approx U_{xx1} - I_{n1}R_{n1}; \quad (8)$$

где  $U_{n1}$  – напряжение многопостового сварочного выпрямителя,  
 $U_{xx1}$  – напряжение холостого хода сварочного выпрямителя,  
 $I_{n1} \cdot R_{n1}$  – падение напряжения на сопротивлении линии 1 поста.

В многопостовых системах пригодны как сварочные преобразователи, так и выпрямители с жесткими внешними статическими характеристиками. Существуют две схемы организации многопостовой сварки.

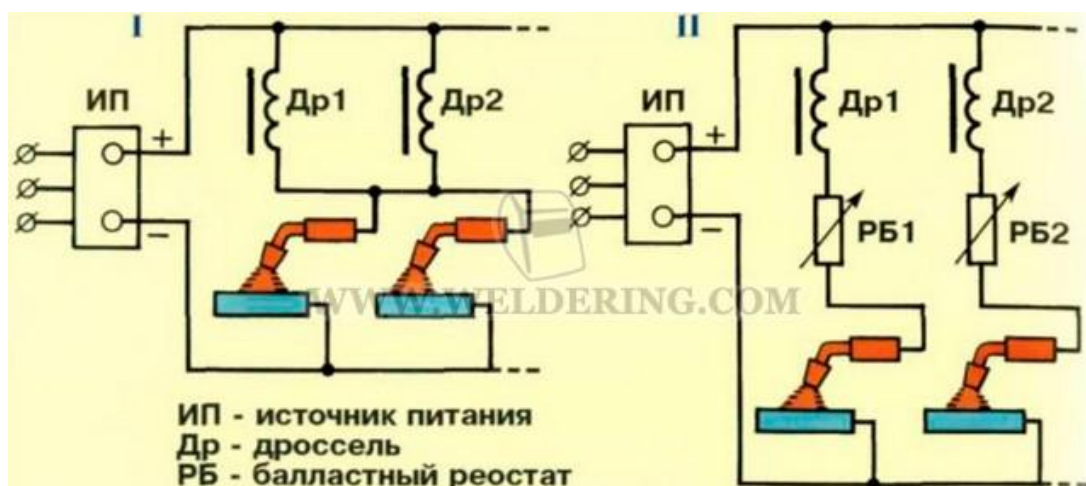


Рисунок 1.3 – Схемы организации многопостовой сварки.

**I** - применяется при сварке на одинаковых режимах с частыми замыканиями дуги; в цепь каждого сварочного поста необходимо включать индуктивность, которая уменьшает взаимное влияние одного поста на другой.

**II** - применяется при сварке на различных режимах. Напряжение холостого хода источника питания устанавливают по максимально необходимому напряжению сварки, а напряжение на постах регулируют балластными реостатами. Если сварка выполняется на режимах с редкими короткими замыканиями или без них, то индуктивность в цепь поста не включают.

В настоящее время выпускаются в России и за рубежом многопостовые сварочные выпрямители типа:

- 1) ВДМ-1201-У3;
- 2) ВДМ-1601 У2;
- 3) ВКСМ-1000 У2, ВКСМ-3000 У2;
- 4) LMG-1000, LMG 1500, LMG 2000, LMG 2500 (для работы в закрытых помещениях).

Основные параметры многопостовых источников питания приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики многопостовых источников

Параметры	ВДМ-1201 У3	ВКСМ- 1000У2	ВКСМ- 3000	ВДМ- 3000	LMG= 1000	ПСМ -1000	Тр.
И, А	190	140	500	216		140	
Ином, А	1240	1000	3000	3000	1000	1000	800
U <sub>хх</sub> , В	80	10	60	70	50	60	68
$\eta_{мп}$ , %	0,85	86	89	88	80	-	0,91
Фирма	Электрик	Электрик			АЕГ	Электрик	

### 1.3 Организация отдельных сварочных постов для РДС

Анализ номенклатуры многопостовых сварочных выпрямителей и схем организации отдельных сварочных постов показал, что формирование внешней ВАХ отдельного сварочного поста ведется с помощью балластных сопротивлений типа РБ-200 У2, РБ-300 У2, РБ-306 У2. Известны схемы, когда в сварочную цепь включается последовательно дроссель и активное сопротивление типа РБ. Однако, наибольшее распространение получили схемы, в которых внешняя ВАХ поста формируется только балластным сопротивлением. Величина тока на каждом отдельном посту регулируется ножами балластного сопротивления дискретно.

Жесткость величины ВАХ многопостового выпрямителя (рис. 1.2) позволяет каждому отдельному посту работать независимо от других постов. Регулирование величины тока балластными сопротивлениями не оказывает влияние на работу соседнего поста.

Схема включения секций балластного сопротивления РБ-200 приведена на рис. 1.4.

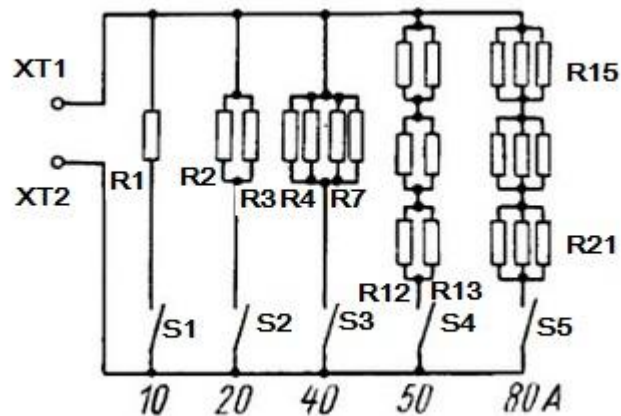


Рисунок 1.4 – Схема включения секций активных сопротивлений в РБ-200 У2.

Балластные сопротивления типа РБ-200 У2, РБ-300 У2 регулируют ток дуги дискретно: РБ-200 У2 – через 10 А, РБ-300 У2 – через 15 А. РБ-306 У2 позволяет регулировать ток плавно внутри каждой ступени.

#### 1.4 Предложения по созданию передвижной многопостовой установки для работы в полевых условиях

Строительство трубопроводов для транспортировки газа и нефти занимает большой объем в экономики России. Количество различных нефтепроводных и газопроводных управлений непрерывно растет. Эффективность их работы зависит от оснащенности передвижными полевыми установками.

Многообразие нефтегазоуправлений связано с тем, что значительная часть магистральных трубопроводов пролегает:

- через подземные переходы,
- через водные преграды с глубиной  $> 1,5$  м,
- через участки автомобильных дорог.

Во многих случаях линии электропередач отсутствуют. В этих случаях требуется автономность питания сварочных установок.

В 1998 г. вооруженные силы РФ провели сокращение боевых ракет «земля-воздух». Списанию подлежали, кроме самих ракет и станции питания, которые по своему составу и мощности пригодны при доработке для сварки в полевых условиях.

Передвижная установка состоит станции питания боевых ракет состоит из следующих узлов:

- 1) платформа передвижной установки Тонар 97416;
- 2) двигатель внутреннего сгорания типа KohlerDieselCH 640S;
- 3) синхронный генератор типа SDMOWELDARC 300 TE;
- 4) система управления ракетой «земля-воздух» (рис.1.5).

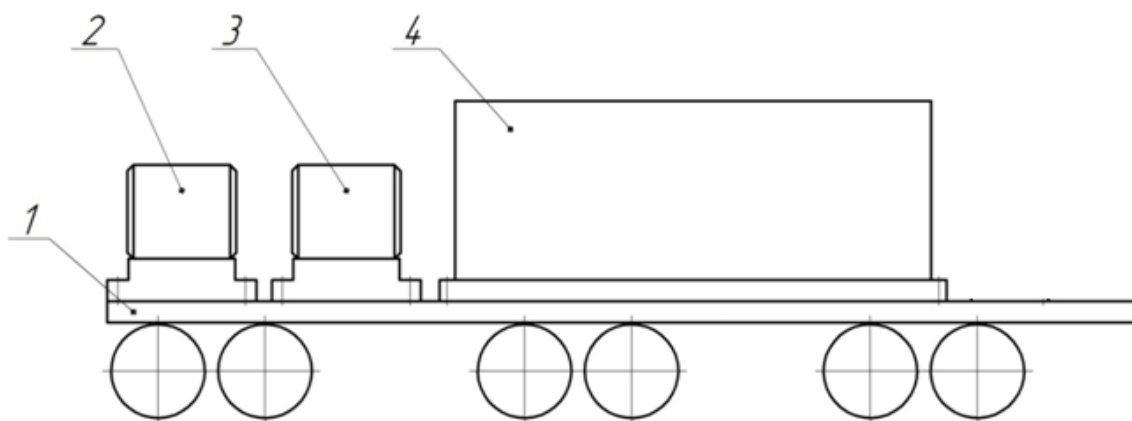


Рисунок 1.5 – Передвижная установка на базе платформы Тонар-97416 для ВПК.

В передвижной установке используется двигатель внутреннего сгорания, характеристики которого приведены в таблице 1.2

Таблица 1.2 - Двигатель внутреннего сгорания Kohler Diesel CH 640S

Наименование показателей	Ед.изм.	Данные
1 Вид топлива		бензин
2 Объем топливного бака	л	35
3 Частота вращения	об/мин	3600
4 Охлаждение время автономной работы		воздушное
5 Время автономной работы	ч	9,2

На одном валу с двигателем внутреннего сгорания установлен синхронный генератор SDMOWELDARC 300 TE, технические характеристики приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Технические характеристики синхронного генератора SDMOWELDARC 300 TE

Наименование показателей	Ед.изм.	Данные
1 Количество	шт	3
2 Частота	Гц	50
3 Напряжение	В	380
4 Номинальный ток	А	300
5 Габаритные размеры	мм	895x570x770
6 Масса	кг	152

Анализ технических характеристик блока питания (рис. 1.5 поз. 2.3) показал, что синхронный генератор на выходе имеет трёхфазную цепь питания с  $U_1 = 380 \text{ В}$  и  $I_{ном} = 300 \text{ А}$  при  $P_B = 1000$ .

Выводы синхронного генератора выполнены медными проводами.

Выходные параметры синхронного генератора вполне подходят для питания многопостовых выпрямителей (табл. 2.1) типа ВДМ-1000, ВДМ-1600, ВДМ-1201.

Многопостовые выпрямители типа ВДМ-1600 выпускаются с использованием алюминиевых проводов для W1 обмотки силового трансформатора.

В ВКР предлагается для снижения затрат на передвижную полевую установку использовать платформу передвижной установки ТОНАР-97416, двигатель внутреннего сгорания и синхронный генератор, которые списаны в связи с сокращением боевых ракет «земля-воздух».

Однако, для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать передвижную полевую установку;
2. Спроектировать силовые переключки Cu-Al;
3. Разработать технологический процесс пайки переходников Cu-Al, Cu-Cu;
4. Исследовать состав припоя для медно-алюминиевого переходника.



## 2 Разработка передвижной полевой установки для сварки нефтегазопровода

### 2.3 Компоновка узлов передвижной полевой установки на базе платформы ТОНАР-97416

Обзор технических характеристик многопостовых выпрямителей показал, что габаритные размеры выпрямителей ВДМ-1000, ВДМ-1600, ВДМ-1201 позволяют использовать каждый из них в полевой установке. Однако, учитывая климатическое исполнение выпрямителей, для создания передвижной установки используется выпрямитель типа ВДМ-1201-УЗ, который выпускается для низкого диапазона температур. Технические характеристики ВДМ-1201-УЗ приведены в таблице 2.1[7].

Таблица 2.1 – Технические характеристики сварочного выпрямителя ВДМ-1201-УЗ

Наименование показателей	Ед. изм.	Данные
Выпрямленный ток, номинальный	А	1250
Потребляемая мощность, не более	кВА	96
Режим работы		Продолжительный
КПД при номинальном режиме	%	90
Коэффициент мощности, не менее		0,91
Напряжение холостого хода, не менее	В	80
Охлаждение		Воздушно-принудительное
Количество сварочных постов	Шт	8
Номинальный ток поста	А	315

Продолжительность включения поста	(ПН).%	60
Габаритные размеры	мм	1050x700x950
Масса	кг	380

Технические характеристики многопостового сварочного выпрямителя ВДМ-1201-У3 позволяют определить ток в каждой фазе сварочного выпрямителя. Из расчета следует, что  $I_1 = 160$  А. Это означает, что можно использовать и более мощные сварочные выпрямители, такие как ВДМ-1600-У2, в котором  $I_1 = 216$  А. Однако предпочтение отдаем выпрямителю ВДМ-1201-У3, которым располагает монтажное управление фирмы «Нова», для которой ведется разработка.

Предлагается на платформе ТОНАР-97416 расположить двигатель внутреннего сгорания, синхронный генератор, сварочный выпрямитель и прочее оборудование. Схематично вид установки представлен на рисунке 2.1.

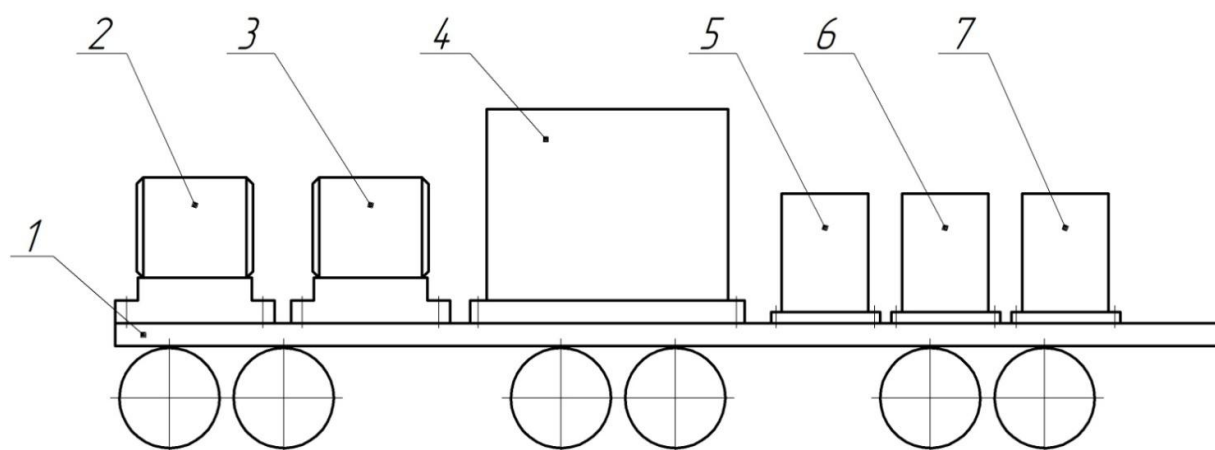


Рисунок 2.1. – Передвижная установка для сварки в полевых условиях

В состав передвижной установки для сварки в полевых условиях входят следующие элементы.

- 1) Передвижная платформа ТОНАР-97416;
- 2) двигатель внутреннего сгорания типа KohlerDieselCH 640S;

- 3) синхронный генератор типа SDMOWELDARC 300 TE;
- 4) сварочный выпрямитель типа ВДМ-1201-У3;
- 5,6,7) активные сопротивления типа РБ-306А.

Принципиальная схема установки приведена на рисунке 2.2.

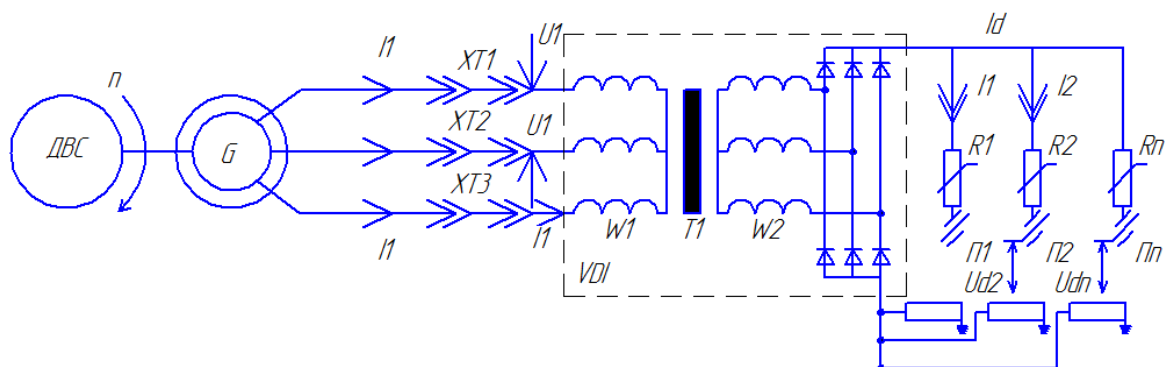


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема установки для сварки в полевых условиях.

Принципиальная схема установки включает в себя ДВС - двигатель внутреннего сгорания типа KohlerDieselCH 640S и G - синхронный генератор типа SDMOWELDARC 300 TE, которые образуют блок питания для многопостового сварочного выпрямителя VDI типа ВДМ-1201-У3.

Многопостовой сварочный выпрямитель ВДМ-1201-У3 состоит из трехфазного трансформатора Т1, первичная и вторичная обмотки которого соединяются звездой. Обмотка трансформатора изготовлена из алюминиевого сплава.

Трехфазный сварочный выпрямитель VDI собран по трехфазной схеме выпрямителя на диодах.

Схема отдельных постов образована с помощью балластных сопротивлений типа РБ-306А. Количество РБ-306А зависит от количества постов, которые необходимо создать для сварки трубопровода определенного диаметра.

## 2.2 Расчет параметров медно-алюминиевого переходника

Известно, что обмотки синхронного генератора выполнены из медных проводов, а первичные обмотки трансформатора Т1 сварочного выпрямителя ВДМ-1201-У3 – из алюминиевых проводов.

В установке соединение синхронного генератора с многопостовым сварочным выпрямителем необходимо выполнить специальными перемычками, так как выходные провода и клеммы генератора изготовлены из сплава меди, а первичные обмотки сварочного выпрямителя и клеммы – из алюминиевого сплава.

Фрагмент полевой установки, размещенной на платформе, показан на рисунке 2.3, где показаны перемычки ХТ1 – ХТ3, расчет которых необходимо произвести.

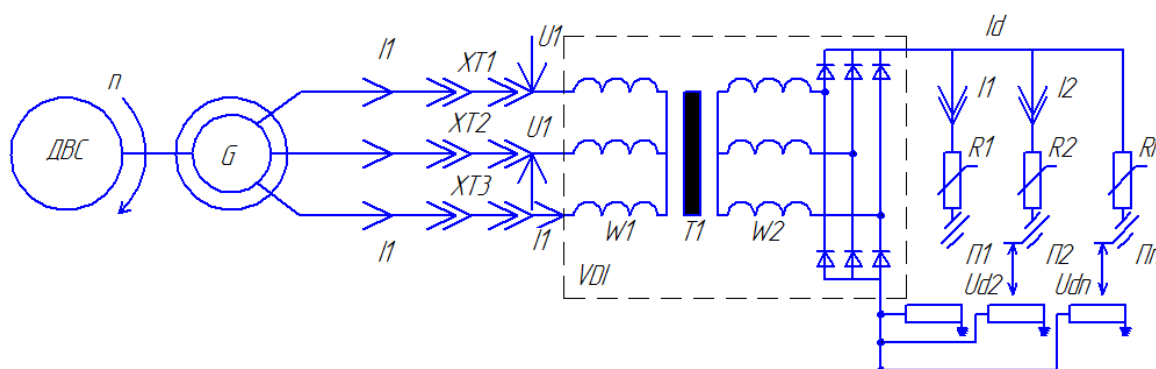


Рисунок 2.3 – Фрагмент принципиальной схемы установки.

Сечение провода выбирается следующим образом.

1. Номинальная мощность 3-х фазного выпрямителя ВДМ-1201У3 - 96 кВА
2.  $P_{ном} = \sqrt{3} I_{1н} U_1 \cos \phi_1 = 96 \text{ кВА}$ ;

где

$P_{ном}$  – потребляемая выпрямителем мощность;

$I_{1н}$  – номинальный первичный ток;

$U_1$  – номинальное напряжение сети;

$\cos\Phi$  – коэффициент мощности (таблица 2.1).

$$I_{1н} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3}U_1 \cos\Phi} = \frac{96000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,91} = \frac{9600}{60} = 160 \text{ А};$$

3. Номинальная мощность синхронного генератора  $P_n=7$  кВт.  $I_{1н} = 300$  А. Расчет нагрузки производился по  $I=300$ А. У генератора SDMO WELDARC 300 TE вывод выполняется из медного гибкого провода,  $J_{сеч} = (S - 8) \text{ А/мм}^2$ ,  $I_{дл} = I_{ном} \sqrt{ПВ} = 300 \sqrt{0,65} = 240 \text{ А}$ ;

$I_{дл}$  – длительный ток синхронного генератора;

$I_{ном}$  – номинальный ток синхронного генератора;

$ПВ$  – продолжительность работы синхронного генератора,  $ПВ = 65\%$ .

Продолжительность включения многопостового выпрямителя ВДМ-1201-У3 равна 100%. Так как номинальный ток на первичной обмотке сварочного трансформатора Т1 выпрямителя не превышает 160 А, то никаких дополнительных мер не предпринимается.

4. Сечение перемычки ХТ1 рассчитывается для меди.

Выбираем марку провода. Наиболее подходящим является кабель ВВГнг 1х50.

Плотность тока для медных проводов с воздушным охлаждением

принимается  $j \leq \frac{3 \text{ А}}{\text{мм}^2}$ , тогда сечение перемычки должно быть равно

$$S = \frac{I_{ном}}{j} = \frac{240}{3} = 80 \text{ мм}^2,$$

Где

$S$  – сечение перемычки;

$J$  – плотность тока для медных проводов с воздушным охлаждением.

5. Сечение кабеля  $S = \frac{Td^2}{H}$ ,  $d = 7,1\text{мм}$ ;
6. Длина кабеля  $l_k = 1\text{ м}$ ;
7. Сопротивление кабеля  $R = \frac{\rho l_k}{S_k} = \frac{1,673 \times 10^{-8} \times 1}{4 \times 10^{-6}} \approx 0,42 \times 10^{-2} \text{ Ом}$ ;
8. Падение напряжения  $\Delta U_k = I_1 R_k = 300 \times 0,42 \times 10^{-2} \approx 1,2\text{ В}$ .

Расчет перемычки проведен для медного провода на длительный ток синхронного генератора.

### 2.3 Устойчивость системы «источник питания – дуга»

Для многопостового выпрямителя устойчивость системы «источник питания – дуга» рассматривается для отдельного поста при РДС.

Энергетическая устойчивость системы «источник питания – дуга» для установки, работающей в полевых условиях, имеет смысл рассматривать при таких особенностях, как колебание напряжения питающей сети и колебание длины дуги при РДС.

Напряжение питающей сети обеспечивает синхронный генератор типа SDMOWELDARC300 TE.

Известно, что величина ЭДС в проводнике (обмотка статора) определяется по формуле

$$E_{\text{пр}} = I_{\text{пр}} V_{\text{пр}} B_s, \text{ где (9)}$$

$E_{\text{пр}}$  – амплитуда колебаний ЭДС,

$L_{\text{пр}}$  – длина проводника,

$V_{\text{пр}}$  – скорость вращения ротора (двигателя внутреннего сгорания) [8].

Скорость вращения двигателя внутреннего сгорания зависит от качества горючего.

Учитывая высокие требования к поставкам горючего для двигателя внутреннего сгорания, можно предположить, что двигатель внутреннего

сгорания работает с постоянной скоростью, то есть скорость ротора синхронной машины остается постоянной.

Исходя из уравнения (9) можно считать, что  $E_{mp}$  также будет неизменной. Это означает, что отклонения по питающей сети можно не принимать во внимание при работе системы «источник питания – дуга» так как синхронный генератор имеет зависимость  $n = f(P_r)$  вид, показанный на рисунке 2.4.

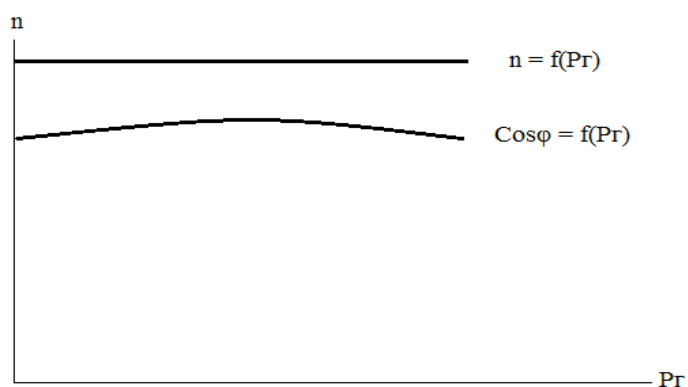


Рисунок 2.4 – Зависимость оборотов ротора  $n$  от полезной мощности  $P_r$

Устойчивость системы «источник питания – дуга» на отдельном посту сварочного выпрямителя рассматривается на примере РДС покрытым электродом.

Подающая внешняя ВАХ отдельного поста формируется сопротивлением РБ-306 (рисунок 2.5)

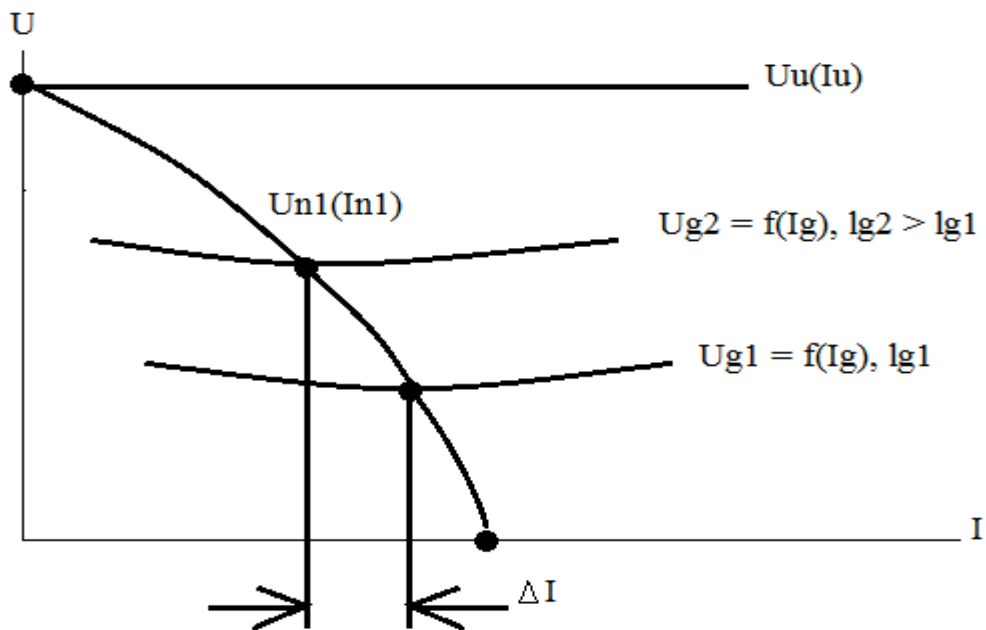


Рисунок 2.5 – Внешние ВАХ многопостового выпрямителя ( $U_u(I_u)$ ) сварочного поста ( $U_{n1}(I_{n1})$ ) и статистические ВАХ дуги  $U_g(I_g)$ .

Статистическая характеристика дуги  $U_g(I_g)$  при возмущении на длине дуги  $l_1$  имеет вид  $U_{g1} = f(I_g)$  и  $U_{g2} = f(I_g)$ , который показан на рисунке 2.5. Энергетическая система «источник питания – дуга» при возмущении на  $I_g$  создает отклонение по току  $I$ , которое система обрабатывает сама. Поэтому дополнительных устройств при сварке от многопостовых выпрямителей не требуется.



### **3 Проектирование силовых перемычек Cu-Al для сварочной полевой установки**

#### **3.1 Анализ способов создания медно-алюминиевых наконечников и гильз**

Для соединения медных Cu и алюминиевых Al проводов необходимо изготовить перемычку, имеющую на одном конце медно-алюминиевый наконечник. Благодаря использованию специальных перемычек удастся соединить обмотки синхронного генератора, которые выполнены из медных проводов, с первичными обмотками сварочного выпрямителя выполненных из алюминиевых проводов. Применить традиционные однородные наконечники невозможно из-за электрохимической разности потенциалом между медью и алюминием, что может привести к повышенной коррозии и увеличению сопротивления и создаст перегрев и, как следствие, выход оборудования из строя.

Известны работы [9] в области создания медно-алюминиевых наконечников и гильз (рис.3.1). Одной из основных проблем энергетики, возникающей при подключении электрических соединений, является электрохимический процесс, происходящий при длительном взаимодействии Cu и Al. Например, при подключении кабелей с алюминиевыми жилами к электрическим аппаратам с медными шинами. В процессе их эксплуатации возникает электрохимическая разность потенциалов между металлическими поверхностями (у Al этот потенциал составляет  $-1,66$  В, а у Cu  $+ 0,337$  В). Создается гальваническая пара. С течением времени поверхности металлов корродируют, что приводит к увеличению сопротивления в контактной паре, нагреву и, возможно, к выходу из строя электрического соединения.

Одним из решений этой проблемы является оконцевание алюминиевого кабеля специальным медно-алюминиевым наконечником.

На российском рынке существует несколько видов медно-алюминиевых наконечников, основным отличием которых является технология изготовления медной контактной части:

- 1) медная контактная часть наконечника изготавливается из медного прутка марки М1 методом фрикционной диффузии. При этом соединение меди и алюминия происходит на молекулярном уровне [9];
- 2) контактная часть алюминиевого наконечника покрывается тонким слоем медного порошка методом газодинамического напыления [9],
- 3) контактная часть алюминиевого наконечника изготавливается методом холодной сварки [9],
- 4) неразъемное соединение Cu и Al получают пайкой [10].



Рисунок 3.1 – Медно-алюминиевые наконечники и гильзы

При использовании метода фрикционной диффузии (сварки трением) для изготовления алюмомедного наконечника прутки меди приводятся во вращение с постоянной скоростью, как показано на рисунке 3.2 (позиция 1), а

алюминиевый пруток подается ему навстречу. Под действием силы трения металлические детали разогреваются до пластичного состояния, образуя прочное сварное соединение (позиция 2).

В дальнейшем снимается облой, возникающий на месте сварного соединения меди и алюминия. Формируется хвостовик путем выдавливания специальным штампом отверстия под кабельную жилу в алюминиевой части заготовки как показано в позиции 3 и 4 на рисунке 3.2.

Завершающие стадии включают в себя расплющивание лопатки медно-алюминиевого наконечника, формирование переходной зоны «хвостовик-лопатка» позиция 5 и вырубку контура лопатки с одновременной пробивкой отверстия под контактный винт и маркировкой (позиция 6).

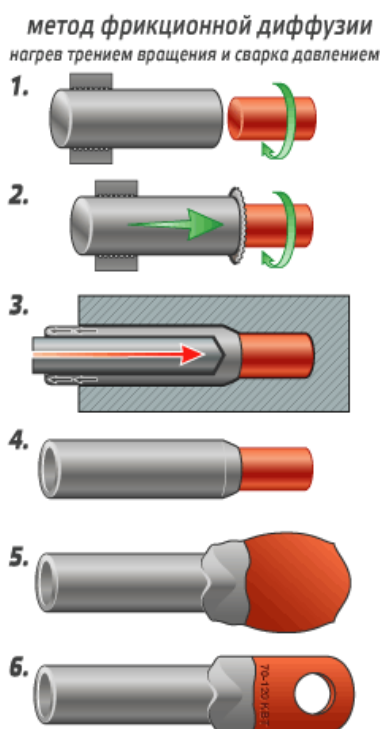


Рисунок 3.2 – Изготовление медно-алюминиевого наконечника методом фрикционной диффузии [9]

Другой метод получения алюмомедных наконечников — газодинамическое напыление (рис. 3.3). Воздушный поток газа со смесью порошковой меди и керамическим порошком под давлением направляется на контактную часть алюминиевого наконечника. Частицы меди, набравшие в

струе газа огромную скорость, при ударе об алюминиевую подложку размягчаются и привариваются к ней, создавая ровный слой нанесенного металла. Технологическая особенность газодинамического напыления состоит в том, что слой меди наплавляется качественно в том случае, если струя газа с медным порошком направлена перпендикулярно к напыляемой поверхности

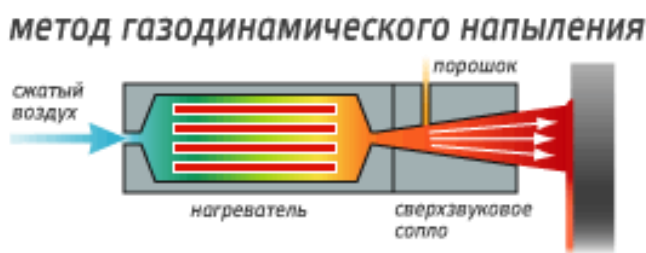


Рисунок 3.3 – Изготовление медно-алюминиевого наконечника методом газодинамического напыления [9]

Неразъемное соединение меди (Cu) и алюминия (Al) можно получить пайкой, используя припой ПОС-40. Однако этот способ не может конкурировать с двумя выше перечисленными методами.

Проведем сравнение для сварки трением и газодинамического напыления.

Проведем сравнение технических характеристик наконечников, изготовленных двумя принципиально разными способами по следующим показателям:

- 1) прочности контактной части,
- 2) эксплуатационным характеристикам (транспортировка и хранение, срок службы наконечника)

Фрикционная сварка позволяет получить соединение металлов на межмолекулярном уровне. В результате получается наконечник, переходная алюмомедная часть которого по прочности не уступает целостному алюминиевому наконечнику.

При газодинамическом напылении контактной части при транспортировке и других механических воздействиях происходит разрушение тонкого слоя медного покрытия. Присутствие остатков абразива в медном слое снижают электропроводящие свойства по сравнению с аналогичными свойствами пластины из чистой меди. Толщина слоя контактной части составляет не более 20 мкм. Как правило, наконечники упаковываются по несколько штук в полиэтиленовые пакеты и при транспортировке могут быть повреждены механическими ударами друг о друга. Длительное хранение таких наконечников не рекомендуется, поскольку медь, хоть и относится к весьма стойким металлам, все же корродирует в год от 1 до 5 мкм. Присутствие пористости в медном слое от 6 до 12% и высокая шероховатость поверхности могут привести к более быстрой коррозии медного слоя под воздействием внешних факторов.

Качество напыления зависит от подготовки поверхности. Если она идеально ровная, то качество напыленного слоя обеспечено, но если на поверхности присутствуют дефекты в виде выступов и заусенцев, то сверхзвуковой поток газа сметает с них медь, не давая наплавиться. Тогда слой меди скрывает заусенцы и неровности только в том случае, если толщина слоя напыления выше заусенцев. Скрытые под слоем меди дефекты поверхности после зачистки окисного слоя проявляются в виде алюминиевых пятен. Контактная часть медно-алюминиевого наконечника при обслуживании подлежит зачистке от окисного слоя. В этом случае, если алюминиевые пятна не вскрылись во время монтажа, то на 2-й или 3-й раз они, так или иначе, проявляются. Но, даже если предположить, что подобных недостатков поверхность наконечника не имеет, медная часть зачистится до алюминия за 3 или 4 раза. Это обстоятельство снижает срок службы наконечника. Если во время обслуживания для сохранения медного напыления не зачищать поверхность, то через несколько лет основная часть медного слоя окислится. Оксид меди не обладает электропроводностью меди, что приведет к преждевременному выходу из строя контактного соединения.

Сравнение двух методов показывает, что наилучшие результаты показывают медно-алюминиевые наконечники полученные методом фрикционной диффузии. Использование метода фрикционной диффузии позволяет создать надежный наконечник, не подверженный повреждениям при зачистке, транспортировке и более стойкий к коррозии, чем комбинированные наконечники, изготовленные методом газодинамического напыления.

Однако стоимость установки для диффузионной сварки огромна, поэтому следует обратить внимание на более простой и дешевый способ получения переключки. Соединения на молекулярном уровне представляется возможным получить еще одним методом – холодной сваркой.

### **3.2 Экспериментальная проверка формирования медно – алюминиевого переходника холодной сваркой**

Анализ способов изготовления медно-алюминевых переходников показывает, что наилучшие результаты дают медно-алюминиевые наконечники полученные методом фрикционной диффузии.

Расчет параметров переходника показал, что они должны быть рассчитаны на ток 160А. Однако синхронный генератор на выходе может выдавать 300А, потому экспериментальную проверку формирования неразъемного соединения проводим на плоских образцах, рассчитанных на 300А (рис. 3.4).

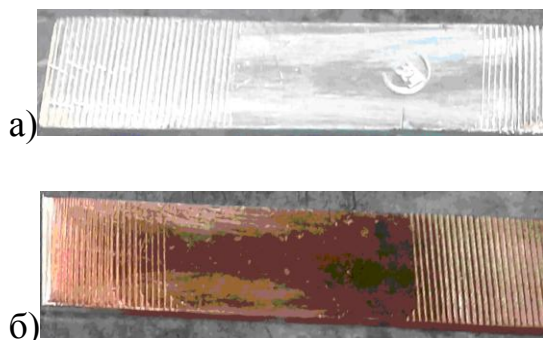


Рисунок 3.4-Плоские образцы для эксперимента из алюминия (а) и меди (б)

На машине для холодной стыковой сварки МСХС-8 [9] плоские образцы из меди и алюминия свариваем, предварительно подготовив поверхности. На рисунке 3.5 представлен внешний вид установки, а на рисунке 3.6 – неразъемное соединение Cu-Al.



Рисунок 3.5 – Внешний вид машине для холодной стыковой сварки МСХС-8

Получив неразъемное соединение, производим зачистку шва и проверяем на прочность. Применяем разрушающий контроль. Определяем усилие, при котором можно получить прочность соединения Cu-Alхолодной сваркой [9].

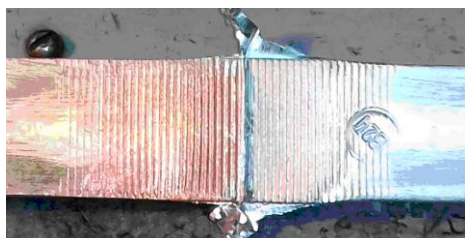


Рисунок 3.6- Сварное соединение Cu-Al

Внешний вид наконечника перемычки показан на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7- Внешний вид наконечника перемычкиCu-Al

### 3.3 Разработка конструкции медно-алюминиевого переходника

Для обеспечения подключения к генератору с одной стороны и выпрямителю с другой необходимо разработать конструкцию специальной перемычки на концах, которых должны быть наконечники с одной стороны медные, а с другой алюминиевые. Получившаяся таким образом перемычка обеспечит соединение обмоток синхронного генератора и первичных обмоток многопостового сварочного выпрямителя.

Учитывая конструкцию платформы и расположение синхронного генератора и многопостового сварочного выпрямителя, определяем длину перемычки. Для перемычки выбираем кабель длиной  $l_k = 1$  м.

Проведем расчет площади сечения перемычки для медного провода в расчете на длительный ток синхронного генератора, который составляет 240А и определяется по формуле  $I_{дл} = I_{ном} \cdot V$  ПВ. Значение номинального тока синхронного генератора указано в таблице и равно 300А.

Известно, что плотность тока  $j$  для медных проводов с воздушным охлаждением составляет  $< 3$  А/мм<sup>2</sup>, тогда сечение перемычки должно быть

$$S = \frac{I_{ном}}{j} = \frac{240}{3} = 80 \text{ мм}^2,$$

равно

где  $S$  – сечение перемычки в мм<sup>2</sup>,

$j$  – плотность тока для медных проводов с воздушным охлаждением,

тогда определяем диаметр провода

$$S_k = \frac{\pi d^2}{4}, d = 7,1 \text{ мм.}$$

Находим марку кабеля ВВГнг 1х50 мм и наконечники: медный ТМЛ-35-8-10и алюминиевый ТА50-10-9. Наконечники к кабелю паять припоем ПОС 40.Перед пайкой требуется зачистить изоляцию кабеля ВВГнг 1х50.



На основании вышеприведенных расчетов проектируем перемычку эскиз которой показан на рисунке 3.8).

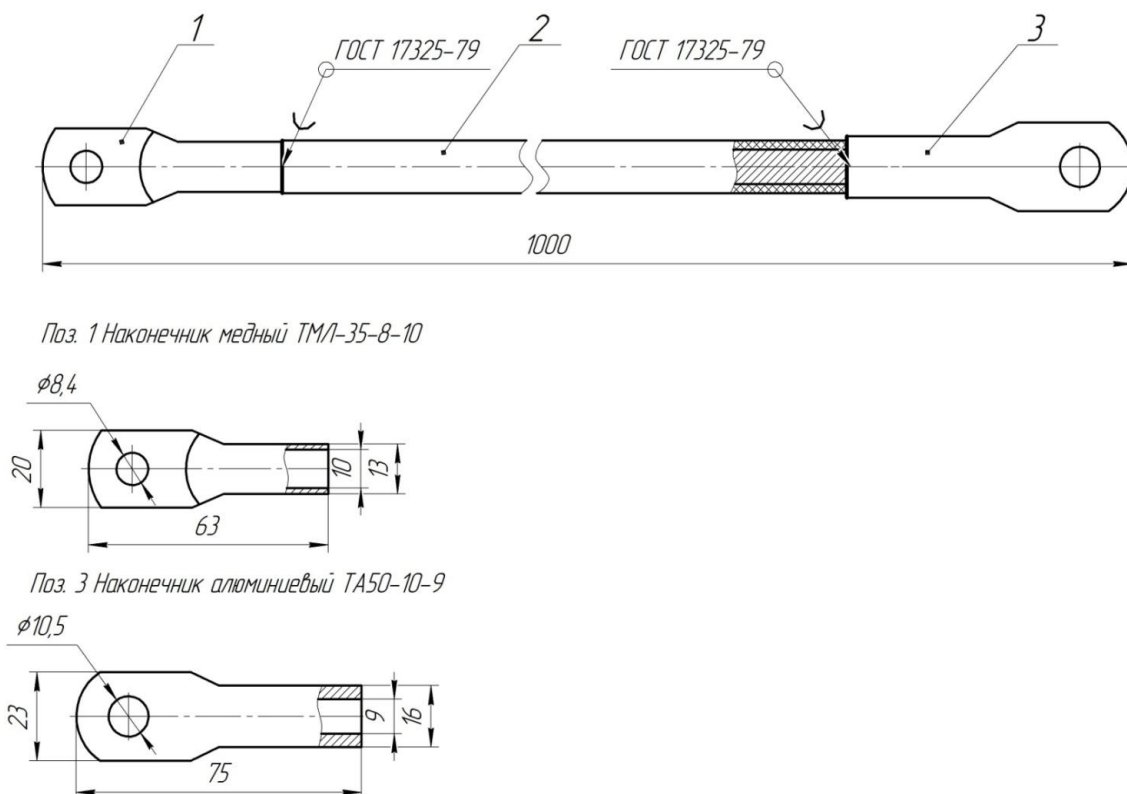


Рисунок 3.8 – Эскиз соединительной перемычки

Определяем сопротивление перемычки по формуле (2)

$$R = \frac{\rho l_{\text{к}}}{S_{\text{к}}} = \frac{1,673 \times 10^{-8} \times 1}{4 \times 10^{-6}} \approx 0,42 \times 10^{-2} \text{ Ом.} \quad (2)$$

где  $\rho$  - , тогда

падение напряжения на паяной перемычке определим по формуле (3)

$$\Delta U_{\text{к}} = I_1 R_{\text{к}} = 300 \times 0,42 \times 10^{-2} \approx 1,2 \text{ В.} \quad (3)$$

Расчеты показывают, что падение напряжения представленной перемычки не превышает 1, 2 В. Желательно уменьшить эту величину.

## **4 Разработка технологии изготовления переходников Cu-Cu, Cu-Al**

### **4.1 Технология изготовления переходников Cu-Cu, Cu-Al методом фрикционной диффузии**

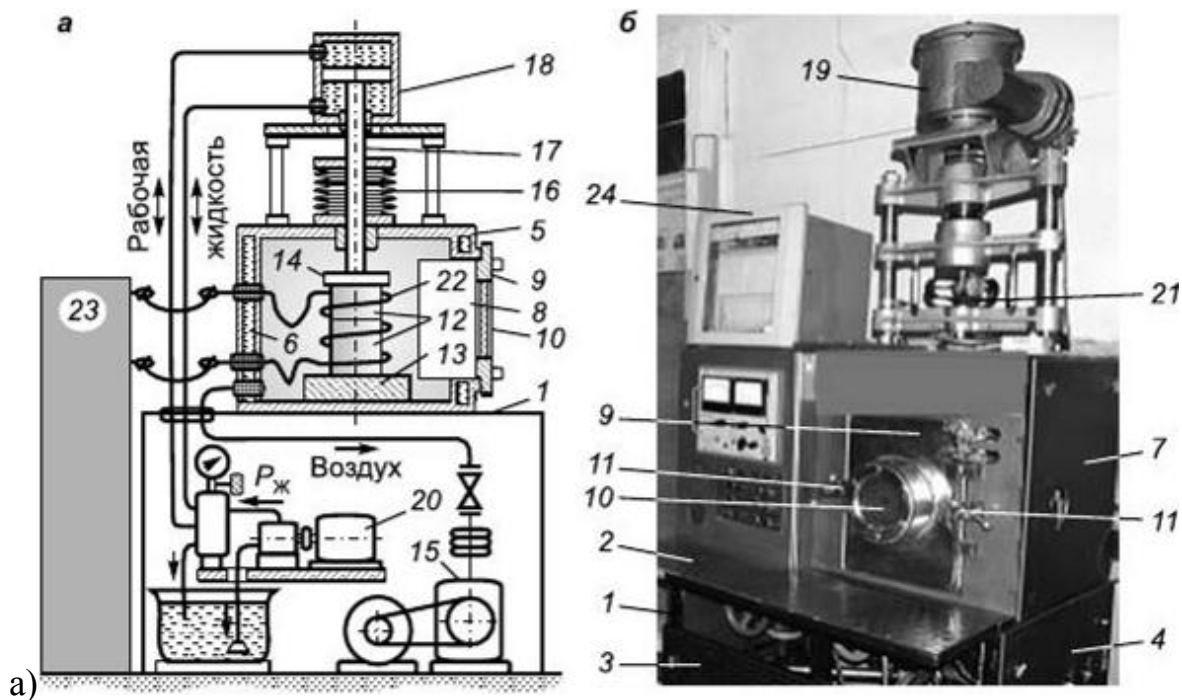
Одним из методов изготовления медно-алюминиевого переходника, конструкция которого показана на рисунке 3.8, является метод фрикционной диффузии. Диффузионная сварка металлов представляет собой вид сварки давлением с применением нагрева, при которой сваривание получается за счёт взаимной диффузии атомов соединяемых деталей [9]. Диффузионная сварка осуществляется в твердом состоянии меди и алюминия с приложением сжимающего усилия. Из теории образования сварного соединения при холодной сварке известно, что для возникновения на линии раздела металлических связей необходимо обеспечить тесный контакт свариваемых поверхностей и создать условия для удаления поверхностных пленок оксидов, жидкостей, газов и различного рода загрязнений. В процессе диффузионной сварки происходят процессы взаимной диффузии атомов свариваемых металлов. Эти процессы приводят к образованию промежуточных слоев, увеличивающих прочность сварного соединения.

Давление зависит от свойств Cu, Al, температуры сварки и других факторов и изменяется от 0,3 до 10 кгс/мм<sup>2</sup> (2,9—98 МН/м<sup>2</sup>). Обычно при охлаждении деталей сжимающее усилие снимают при достижении температуры 100—400°С (373—673 К). Преждевременное снятие сжимающего усилия при охлаждении деталей в некоторых случаях приводит к разрушению сварного соединения.

Повышение температуры при постоянной продолжительности сварки и прочих равных условиях увеличивает прочность соединения. С увеличением продолжительности сварки прочность сварного соединения

растет, увеличение продолжительности сварки сверх оптимального практически не влияет на прочность сварного соединения.

Установка диффузионной сварки в вакууме (рис.4.1) имеет основание, представляющее собой стальной сварной каркас 1 из металлического профиля, закрытый сверху столешницей 2, спереди — дверцами 3, а с боков — съемными листами 4.



1- каркас; 2- столешница; 3 - дверцы; 4 - съемные листы; 5 - вакуумная камера; 6-охлаждающая вода; 7-съемные боковины камеры; 8-загрузочный люк; 9- дверца люка; 10- смотровое окно; 11- зажимы; 12- свариваемые детали; 13-основание; 14-прижимная накладка; 15- вакуумирующая система; 16- сиффон; 17-шток; 18- гидравлический привод усилия сжатия; 19 - винтовой пресс; 20 -насосный узел

Рисунок 4.1 – Схема установки для диффузионной сварки с гидравлическим приводом усилия сжатия свариваемых деталей (а) и внешний вид установки

для диффузионной сварки СДВУ-50 с механическим (винтовым) приводом усилия сжатия свариваемых деталей (б)

Последовательность операций при диффузионной сварке следующая.

- 1) Перед сваркой проводится подготовка свариваемых поверхностей. Они должны быть тщательно обработаны, предпочтительно механически, до чистоты, при которой высота микровыступов  $I_{и} < 1,25$  мкм, а также подогнаны одна к другой для плотного прилегания по всей площади соединения. Непосредственно перед сваркой проводят очистку деталей от жировых и других загрязнений, а также от оксидов электрохимическими или химическими методами (обезжириванием).
- 2) Сборка деталей
- 3) Установка деталей в вакуумной камере
- 4) Сжатие приводом сжатия с заданным усилием  $^{\wedge}св$ .
- 5) Включают вакуумную систему до давления разрежения  $P_{в}$  (степень разрежения в вакуумной камере  $10^{-2} \dots 10^{-5}$  мм рт. Столба)
- 6) Нагрев деталей до температуры сварки  $T_{св}$ .
- 7) Формирования соединения на прочность соединения за  $t_{св}$ .

При диффузионной сварке основными параметрами режима являются температура  $T_{св}$ , давление в свариваемом контакте  $p_{св} = P_{св}/3s_{св}$ , определяемое усилием сжатия деталей  $P_{св}$  и площадью свариваемой поверхности  $s_{св}$ , а также время  $t_{св}$  выдержки (сварки) деталей при температуре  $T_{св}$ . Эти параметры режима сварки являются взаимозависимыми. Оптимальные значения параметров для конкретных соединений устанавливают экспериментально.

Температуру сварки  $T_{св}$  выбирают в диапазоне  $(0,7 \dots 0,8)T_{пл}$ , иногда несколько ниже — до  $0,5T_{пл}$  (здесь  $T_{пл}$  — температура плавления свариваемого материала).

Давление  $p_{св}$  выбирают в диапазоне  $(0,8 \dots 0,9)aT(T)$ , где  $aT(T)$  — предел текучести металла при температуре сварки  $T_{св}$ . Для известных конструкционных материалов, таких как  $Cu$  и  $Al$  оно изменяется в диапазоне  $1 \dots 100$  МПа.

Время выдержки  $t_{св}$  зависит от температуры сварки  $T_{св}$ , давления  $P_{св}$ . Его оптимальные значения могут составлять  $5 \dots 10$  мин.

Современные технологии диффузионной сварки в вакууме позволяют получать высококачественные соединения всех конструкционных металлических материалов в любых сочетаниях.

Метод фрикционной диффузии подразумевает использование специфического оборудования, поэтому более широкое применение имеет метод холодной стыковой сварки.

#### **4.2 Технология изготовления медно-алюминиевого переходников методом холодной стыковой сварки**

Медно-алюминиевый переходник изготавливается методом холодной стыковой сварки на машине типа МСХС-8 (рис.4.2).



Рисунок 4.2 - Машина холодной стыковой сварки типа МСХС-8.

Технология сварки на машине типа МСХС-8 включает в себя следующие операции.

1) Подготовить машину к сварке:

- проверить надежность крепления узлов машины;
- установить плашки соответствующие сечению провода и закрепить их, отрегулировав соосность установкой под плашку прокладки из ленты медной; при необходимости установить прокладку из ленты медной ДПРНМ, закрепив ее вместе с плашкой;
- открыть вентиль подачи к машине;
- проверить расстояние между режущими кромками плашек в сжатом положении (зазор не должен превышать 0,1-0,15 мм);
- проверить давление воздуха в сети по манометру (давление должно быть не менее 500 кПа (5 кгс/см<sup>2</sup>)).

2) Вставить свариваемые провода в нижние плашки, установить вылет на осадку согласно таблице 4.1, причем медный провод должен быть зажат в неподвижной паре плашек, а алюминиевый провод в подвижной.

Вылет при сварке проводов сечением до 20 мм<sup>2</sup> должен быть равен:

- для алюминия – диаметру или толщине провода;
- для меди – 1,3 диаметра или толщины провода.

При сварке проводов сечением больше 20 мм<sup>2</sup> – вылет для алюминия и меди равен диаметру или толщине провода.

3) Опустить верхние замки и с помощью рычага зажать провода. Осевые смещения, перекосы и искривления выступающих концов при этом не допускается.

Таблица 4.1 – Вылет на осадку проводов

Сечение провода, мм	Длина вылета «а», мм (алюминиевый провод с медным)		Количество осадок (алюминиевый провод с медным)
	алюминиевый провод	медный провод	
2,83 x 10	3,1	3,6	3

Сечение провода, мм	Длина вылета «а», мм (алюминиевый провод с медным)		Количество осадок (алюминиевый провод с медным)
	алюминиевый провод	медный провод	
4,1 x 14,5	4,3	5,1	3
3,28 x 16,8	3,5	4,1	3

#### 4)Сварка на машине МСХС-802-1М

Машина МСХС-802-1М предназначена для стыковой холодной сварки медных проводов с алюминиевыми площадью сечения от 6 до 40 мм<sup>2</sup>.Техническая характеристика и техническое обслуживание машины МСХС-802-1М должно соответствовать данным паспорта Э-19.941.053ПСЭ.

Сварку алюминиевого провода с медным производить за две осадки.

Расположение и обозначение кнопок, переключателей на рабочих и наладочном пультах машины МСХС-802-1М представлены на рисунке 4.3.

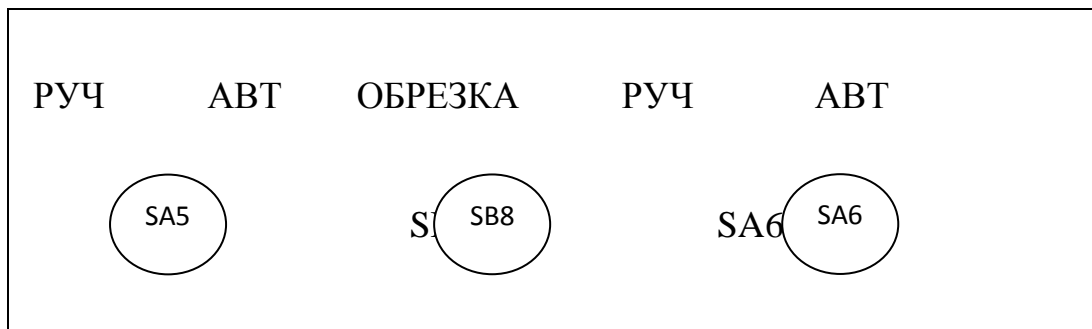
Обозначение, назначение кнопок, переключателей, надписи на рабочих и наладочных пультах машины МСХС-802-1М представлены в таблице 4.2.

Алгоритм работы производится в следующем порядке:

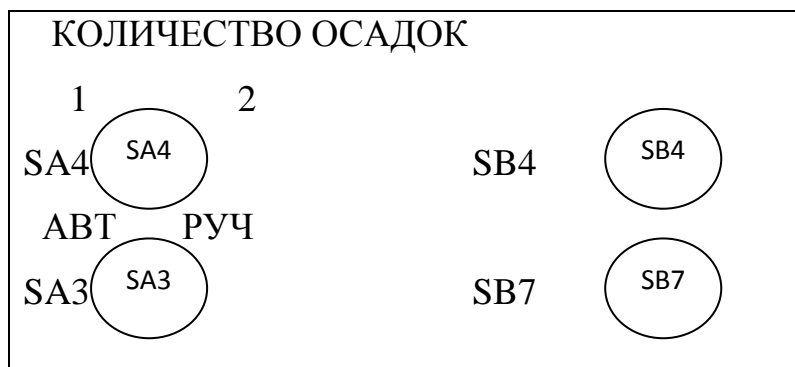
- включить машину (на корпусе машины слева), загорается сигнальная лампа НL на пульте управления;
- включить двигатель насосакнопкой SB2,
- установить переключатель работ SA3 в положение «АВТ», соотве
- установить переключатель SA4 в положение, соответствующее количеству осадок: 2;
- подготовить концы проводов под сварку;
- зажать деталь,
- вставить алюминиевый провод в паз правых губок и зажать нажатием кнопки SB4;
- включить автоматический цикл: обрезка торцев проводов перед сваркой, осадка (сварка), снятие грата;

**НАЛАДОЧНЫЙ ПУЛЬТ**





### ЛЕВЫЙ РАБОЧИЙ ПУЛЬТ



### ПРАВЫЙ РАБОЧИЙ ПУЛЬТ

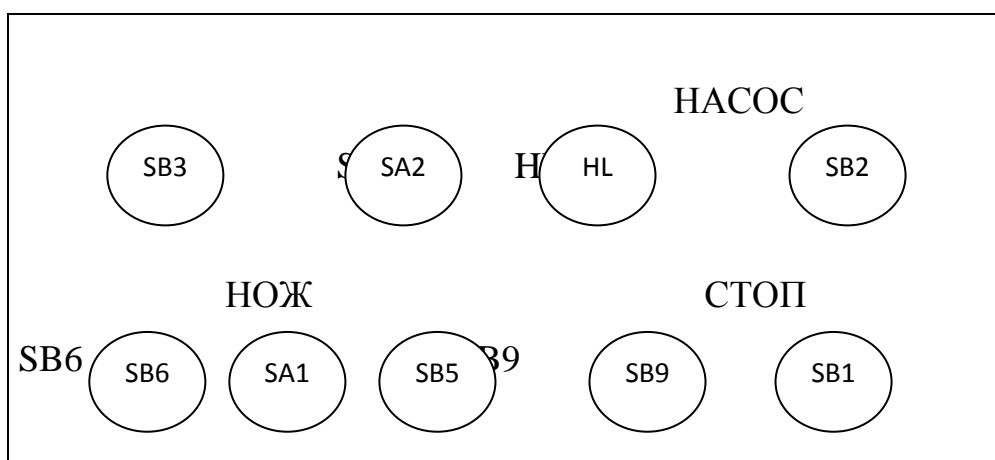


Рисунок 4.3 - Расположение и обозначение кнопок, переключателей на рабочих и наладочном пультах машины МСХС-802-1М

Установить переключатели на пультах управления:

- S22 - в крайнее левое положение;
- S59 - на одну или две осадки;
- S41 - на толщину свариваемых заготовок;
- S42 - на материал свариваемых заготовок;

- S25 - на полуавтоматический режим.

Протереть чистой сухой салфеткой концы шин, подлежащих сварке, вставить их в отверстие щеки резака и произвести обрезку концов шин, нажав при этом кнопки S35 и затем S36.

Вставить деталь в паз левых зажимных губок при сварке алюминия с медью с вылетом равным:

- по меди – толщине шины;
- по алюминию – 0,8 толщины шины.

Установку нужного вылета производить настройкой конечного выключателя S11 (суммарный вылет).

Нажать и отпустить кнопку S30. При этом деталь окажется зажатой в губках левого зажима.

Вставить правую деталь в паз правых зажимных губок с вылетом, указанным в пункте 4.3.10, при этом торец этой шины упрется в торец левой шины.

Нажать и отпустить кнопку S31, при этом деталь окажется зажатой в губках правого зажима.

Одновременно нажать и отпустить кнопки S27 и S28, при этом начнется полуавтоматический цикл работы.

После того как сварка произошла, верхние и нижние губки раскрылись, подвижная плита отошла в исходное положение – сварочный цикл закончен.

б) Выключить машину согласно п п 3.3.6 – 3.3.8, в обратной последовательности.

Требования к холодно сварным соединениям: размещать место последующей сварки или пайки не менее чем на 100 мм от холодно сварного стыка в соответствии с рисунком 4.4.

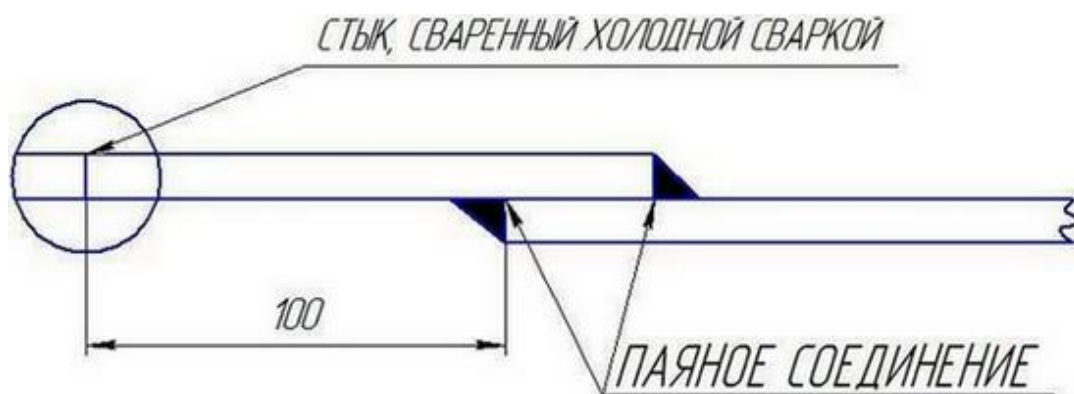


Рисунок 4.4 – Расположение пайки относительно стыка холодной сварки

7) После холодной сварки заусенцы, облой удалить механической обработкой без уменьшения поперечного сечения сваренных шин и проводов. На наружных поверхностях проводов и шин, сваренных холодной сваркой встык, допускаются следы нарезки зажимных губок (без заусенцев).

Изложенный технологический процесс холодной сварки иллюстрируем пооперационно.

Подготовка к холодной сварке: производим косой стык на торцевой части шин, при помощи автоматического ножа, на медной и Al шине (4.5)



Рисунок 4.5- Подготовка к холодной сварке Сишины



Рисунок 4.6- Подготовка к холодной сварке Ашины



Рисунок 4.7 – Контроль геометрических параметров шин

Обезжиривание поверхности шин спиртом, протирка смоченной в спирту ветошью.



Рисунок 4.8 – Подготовка поверхностей под сварку (обезжиривание)

Закладывается медная шина в правые нижние и верхние прижимные губки, алюминиевая шина в левые нижние и верхние прижимные губки. торцевые кромки плотно стыкуются друг к другу.



Рисунок 4.9- Стыковка торцев CuиAl шин

Производится сжатие шин при помощи опускания верхних прижимных губок, так что бы верхние прижимные губки сомкнулись с нижними прижимными губками.



Рисунок 4.10 – Первый прогон сварки

Запускается процесс холодной сварки. Прижимные губки двигаются навстречу друг другу, сдавливая медную и алюминиевую шину. После

первого прогона, производится второй прогон. Завершив процесс сварки получаем медно-алюминиевую шину (рис.4.11).



Рисунок 4.11 – Шина Cu-Al после холодной сварки

Контроль качества разрушающий. Проверяется на прочность при помощи тисков: зажимается медную сторону шины в тисках, молотком производится удар по алюминиевой части шины, так что бы шина согнулась на 30 градусов, затем при помощи молотка возвращаем шину в исходное положение. Производится осмотр шины на наличие трещин и деформаций в районе соединения. При наличии повреждений производится ещё раз прогон. После прогона повторяется проверку на качество сварки, если замечаний по качеству сварки нет, пропускается шину к дальнейшим операциям.

Облой после сварки снимается пассатижами, как показано на рисунке 4.12



Рисунок 4.12- Снятие облоя

Абразивным кругом убираются излишки материала, и формируется переходник.



Рисунок 4.13 – Формирование Cu-Al переходника

### 4.3 Технология соединения и формовки медной трубы и медно-алюминиевого переходника с кабелем

Для соединения переключки с синхронным генератором, у которого вывода выполнены из меди, формируем соединение Cu-Cu. Для этого используем медную трубу сварочный кабель. Продеваем сварочный кабель в медную трубу, как показано на рисунке 4.14. Заполняем полностью медными жилами трубу зачищенным проводом.



Рисунок 4.14—Сборка медной трубы с медными жилами кабеля

Для формирования переходника используем штамп. При наладке штампов для разделительных операциях проверяем величину и равномерность зазора между режущими кромками пуансона и матрицы путем штамповки пробных деталей. Путем регулирования длины шатуна следует установить верхнюю часть штампа на таком уровне, чтобы пуансон углублялся в матрицу не менее, чем на  $1,0s$  (где  $s$ -толщина штампуемого материала, мм), но не более, чем на  $1,5s$ .





Рисунок 4.15 - Установленный штамп

При наладке штампов совмещенного действия, требующих выталкивания детали из верхней части, необходимо отрегулировать упорные планки, обеспечив нормальный ход ползуна и выталкивание детали.

Используя штамп , выравниваем провод с концом трубы (рис.4.17).



Рисунок 4.17 - Выравнивается провод с концом трубы

Расплющивание трубы производится штампом. Провод с трубой просовывается в штамп и происходит расплющивание. Формируется наконечник.



Рисунок 4.18 –Формовка наконечника штампом

Провод с расплющенной трубой вставляется в штамп для пробивки отверстия и снятия фаски. Заусенцы после штамповки обрабатываются напильником.

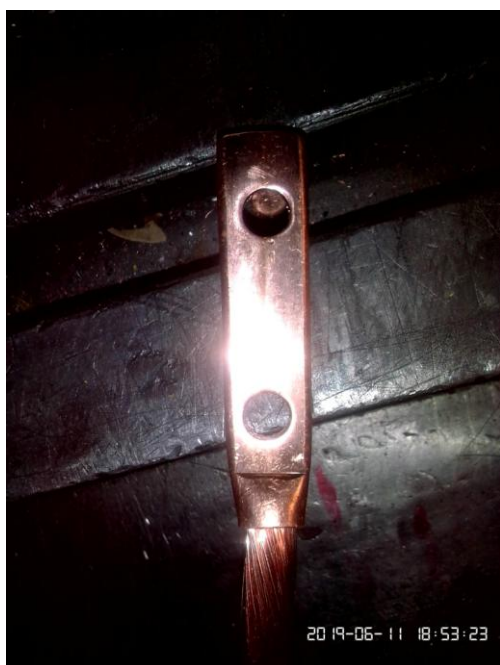


Рисунок 4.19- Пробивка отверстий в наконечнике Cu-Cu

Этот же штамп используется для пробивки отверстий и снятия фаски в медно-алюминиевом переходнике, затем продевается медно-алюминиевый переходник в место для пробивки отверстия и снятия фаски. Заусенцы после штамповки обрабатывается напильником.



Рисунок 4.20 - Пробивка отверстий в наконечнике Al-Cu

В результате вышеприведенных операций контактный наконечник.

#### **4.4 Технология пайки медно-алюминиевого переходника к кабелю**

Пайка переходника осуществляется при следующих условиях:

- нормальная температура воздуха от 17 до 23 °С;
- нормальная освещённость рабочей зоны не менее 300 лк/м;
- относительная влажность воздуха от 40 до 60 %.

Подготовка к пайке

Перед пайкой контактную поверхность графитовых электродов очистить от окалины, инородных вкраплений, неровностей с помощью

плоского напильника и добиться плотного прилегания электродов к паяемым деталям по всей поверхности контакта.

Концы паяемых элементов (проводов, отводов) зачистить от изоляции с помощью ножа на длину, указанную в чертеже. Изоляция на концах провода типа ПБОТ должна быть срезана на конус согласно рис. 4.21. При толщине изоляции отвода  $S$  менее 3 мм выполнение конуса необязательно.

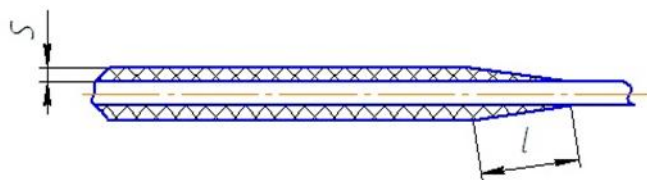


Рисунок 4.21 – изоляция на концах провода

Многожильные провода типа ПБОТ и ПМГ бандажируются в местах паяк медной проволокой ММ-0,5 или ММ-1,0 того же провода и расплющиваются согласно рис. 4.22.

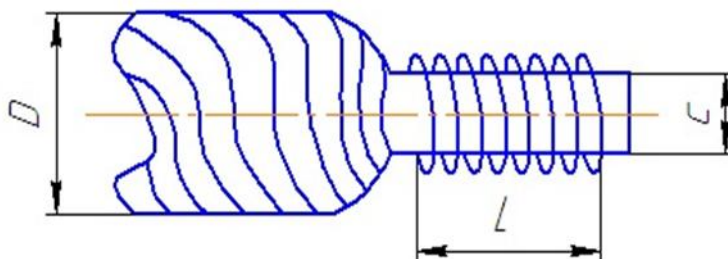


Рисунок 4.22 – многожильный провод типа ПБОТ или ПМГ

Зачистить паяемые элементы от окисной плёнки щёткой металлической, напильником, шлифовальной шкуркой на величину нахлёста, который указанна чертеже.

После зачистки детали протереть сухой салфеткой для удаления абразивной пыли.

С целью удаления масла, грязи протереть места пайки салфеткой, смоченной в бензине-растворителе.

До начала пайки защитить от перегрева мокрым асбестовым шнуром:

- изоляцию проводов;
- облуженную поверхность гибких связей, демпферов;
- стыки, выполненные холодной сваркой.

Если место пайки медного провода, отвода находится вблизи соединения, выполненного холодной сваркой, то необходимо выдержать расстояние от 100 до 130 мм от этого соединения до места пайки.

В процессе пайки изоляцию, а также соединение, выполненное холодной сваркой, необходимо охлаждать мокрым асбестовым шнуром.

### Пайка

Пайку производить в электроконтактными клещами с воздушным охлаждением.

Источником питания для электроконтактных клещей служит трансформатор для пайки типа ОСУ 20/0,5; ОСУ 40/0,5; ОСУ 100/0,5 мощностью от 10 до 100 кВ·А, который дает напряжение холостого хода от 6 до 12 В. Регулировка напряжения холостого хода трансформатора осуществляется переключением шин обмоток НН.

Величина нахлёста при пайке всех типов соединений определена на чертеже.

Величина нахлёста  $a$  при пайке обрывов обмоточного провода должна быть равной от одной до полутора его ширины  $b$  (рис. 4.23).

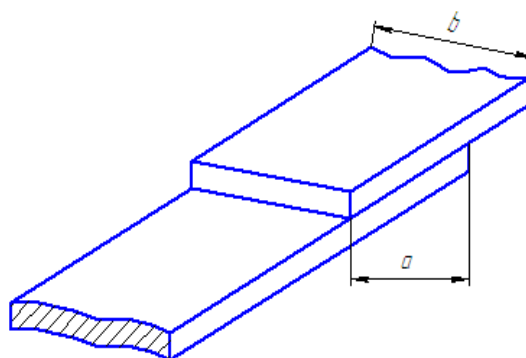


Рисунок 4.23- Ширина нахлёста при пайке

Пайку обрывов проводов разной ширины производить также внахлест, предварительно срезав углы провода большей ширины на величину нахлеста  $a$ . Величина нахлеста  $a$  принимается равной от одной до полутора ширины меньшего провода  $b$  (рис. 4.24).

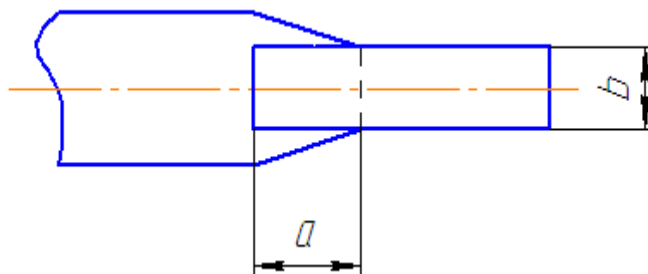


Рисунок 4.24 – Пайка проводов разной ширины

Пайку проводов круглого сечения производить согласно рис. 4.25. Длина нахлеста пайки  $a$  устанавливается согласно чертежу.

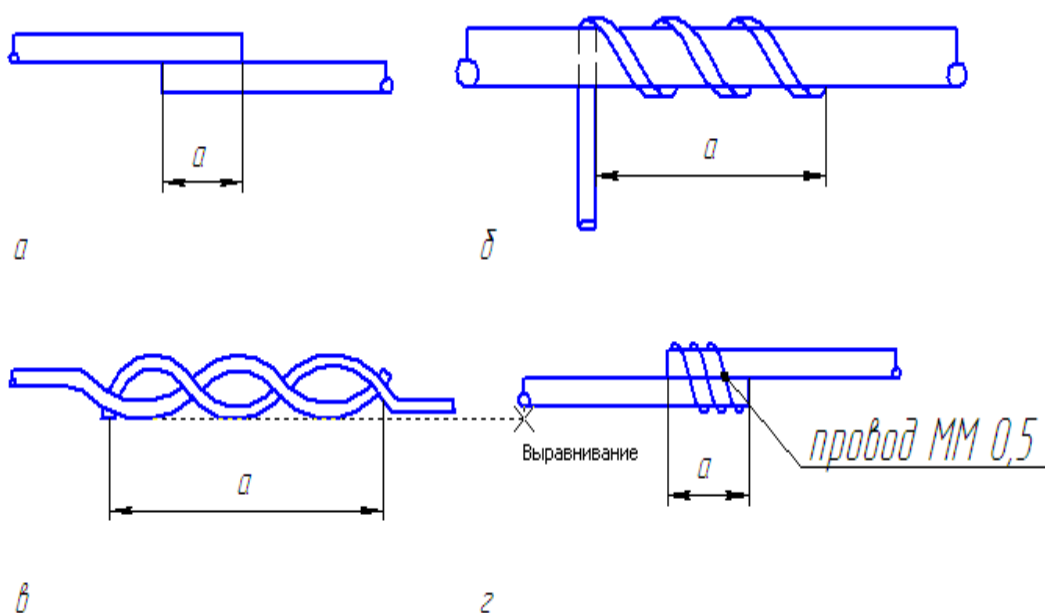


Рисунок 4.25 – Виды пайки проводов круглого сечения

Установить паяемое соединение между графитовыми электродами клещей для пайки и зажать. При этом необходимо следить, чтобы между поверхностями графитовых электродов и паяемых деталей в месте пайки был плотный контакт.

Периодически включая и выключая педаль подачи тока на клещи, добиться прогрева паяемого соединения до температуры растекания припоя, которую можно определить касанием прутка припоя к нагретому соединению.

При достижении достаточного нагрева подать в зону пайки припой.

В качестве припоя применять прутки медно-фосфорных припоев МФ9 или ленту тугоплавкого припоя из сплава МФ7, которые являются по отношению к меди самофлюсующимися.

Марка, температура плавления, химический состав сплавов приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Химический состав и температура плавления [10]

Марка сплава	Химический состав, %, по массе			Температура, °С	
	медь	фосфор	всего примесей (не более)	начала плавления	полного расплавления
МФ7	ост	6,5 - 7,5	0,2	714	820
МФ9	основа	7,5 - 9,0	0,3	714	780

Вводить припой в соединение с одной стороны до появления припоя на противоположной стороне соединения. Затем, при необходимости, нанести припой по всему периметру соединения.

Убедившись, что припой, расплавившись, равномерно заполнил зазор между паяемыми плоскостями, выключить подачу тока на клещи.

Выдержать паяемое соединение под давлением неподвижно до полного затвердевания припоя.

Снять клещи.

Снять мокрый асбест. В случае расположения холодосварного стыка от места пайки на расстоянии менее 200 мм снять асбест только после полного остывания паяемого соединения.

При пайке шин и гибких связей из набора медной фольги или многожильного провода необходимо пропаять все слои гибких связей и все проволочки провода между собой. Допускается предварительная пропайка каждого элемента отдельно.

Если длина паяного соединения превышает размеры контактной поверхности графитовых электродов, прогрев и пайку производить в несколько приёмов.

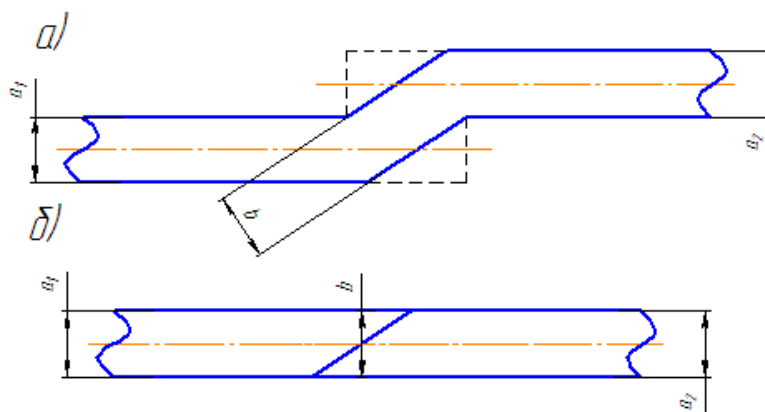
Проверить качество паяного соединения визуально.

При обнаружении каких-либо дефектов – пропаять соединение повторно.

Снять заусенцы и наплывы припоя на паяном соединении, скруглить острые углы напильником и шлифовальной шкуркой (наждачной бумагой).

После пайки обрывов прямоугольного обмоточного провода место соединения обработать напильником и шлифовальной шкуркой до получения плавного перехода от провода к проводу. Сечение соединения в местах пайки должно иметь размеры полсуммы сечений соединяемых проводов с предельными отклонениями до 1 мм согласно рис. 4.8.

Примечание – Концы провода под пайку допускается фрезеровать "на ус" согласно рисунку 4.26б.





а) – плавный переход от провода к проводу; б) – фрезеровка «на ус»

#### Рисунок 4.26 – сечение соединения в местах пайки

При зачистке под обрабатываемые провода уложить коробку из электрокартона. После зачистки коробку из электрокартона убрать. Не допускается наличие металлических опилок на рабочем месте во время всего периода работы. Обработанную пайку проверить на ощупь рукой и при обнаружении острых кромок скруглить их.

При выполнении пайки и зачистки вблизи обмотки защитить обмотку от попадания брызг припоя и металлических опилок защитным фартуком.

После зачистки отрихтовать место спая с помощью деревянного молотка на деревянном бруске.

Срезать поврежденную в процессе пайки изоляцию.

#### **4.5 Технология лужения медной части наконечника**

Лужение медной части наконечника осуществляется методом окунания и ручной пайки электрическим паяльником низкотемпературными припоями.

Для лужения методом окунания в расплавленный припой применяются лудильные ванны. Нагревательным элементом ванны служит нихромовая спираль, на которую подается напряжение 36 В.

В комплект лудильной ванны входит шкаф управления, где датчиком температуры служит термопара типа ТХК-529, а регулятором нагрева – милливольтметр типа МР64-02. Регулятор нагрева позволяет поддерживать в ванне заданную температуру припоя. Лудильная ванна обеспечивается надежной вытяжной вентиляцией[10].

Ручная пайка низкотемпературными припоями выполняется паяльниками непрерывного нагрева (электрические паяльники) или периодического нагрева (электродуговые, молотковые, торцовые паяльники).

Электрические паяльники типа ПВ, ПВН, ПСН, ЭПСН, ПЩН и др. рассчитаны на питание от сети напряжением 36 – 42 В и классифицируются по мощности, КПД, теплоемкости и т.д.

Время нагрева стержня паяльника до температуры плавления припоя оговаривается в паспорте эксплуатации паяльника и составляет 1,5 – 8 мин.

Для поддержания необходимой температуры нагрева и во избежание перегрева паяльника рекомендуется в электрическую цепь включить прибор монтажника типа ПМ-3 или блок контроля температур.

В качестве припоя для низкотемпературной пайки могут служить олово, свинец, цинк, кадмий и ряд других металлов и сплавов, температура плавления которых не превышает 450<sup>0</sup>С.

Для лужения и пайки медных и алюминиевых проводов и деталей электротехнических изделий применяются оловянно-свинцовые и оловянно-цинковые припои. В данной работе используется припой ПОС30, состоящий на 29 - 31% из олова, 0,2 – 0,5% из сурьмы, остальное – свинец. Температура пайки составляет 305<sup>0</sup>С, лужения – 315-345<sup>0</sup>С.

Диаметр проволоки припоя должен быть на 50-60% меньше диаметра рабочего стержня паяльника. В противном случае припой следует применять в виде крошки.

Припой, выполненный в виде полый трубки с флюсосодержащим наполнителем, не требует дополнительного применения флюса при пайке деталей из металла, для которого предназначен наполнитель. Во всех остальных случаях применение флюса обязательно.

Канифоль и канифольные флюсы типа ФКСп, ФКЭт, ФКТ, а также остатки этих флюсов не оказывают коррозионного действия на паяное соединение и не снижают сопротивления изоляции диэлектриков.

### **Подготовка к лужению деталей**

Снять изоляцию с проводов на длину лужения с помощью ножа или специальных приспособлений.

При необходимости зачистить провода или детали на длину лужения от окислов, ржавчины, окалины.

После зачистки детали продуть сжатым воздухом или протереть сухой салфеткой для удаления абразивной пыли.

С целью удаления грязи и жира обезжирить детали протиркой жесткой кистью в ванне с растворителем.

Время между подготовки к лужению и процессом лужения должно составить не более 15 мин для алюминиевых проводов и не более 30 мин для деталей из меди и ее сплавов и из стали.

### **Подготовка оборудования**

Загрузить измельченный припой в ванну.

Установить контрольную стрелку потенциометра против значения температуры лужения. Температура лужения должна на 60 – 90 °С превышать температуру окончания плавления припоя.

Покрыть поверхность припоя в ванне защитным раствором.

Включить вытяжную вентиляцию.

Включить нагрев ванны.

При достижении значения заданной температуры в ванне можно приступать к лужению.

### **Подготовка паяльника к работе**

Рабочая часть стержня паяльника должна иметь ровную, чистую поверхность и быть тщательно залуженной.

Для залуживания паяльник включить в электросеть. При нагреве до температуры плавления канифоли (125°С) рабочую часть стержня (наконечника) покрыть слоем канифоли для предохранения ее от окисления. Во время дальнейшего нагрева до температуры плавления припоя рабочую часть стержня приложить к прутку припоя и облудить, т.е. покрыть ее тонким слоем припоя. Слой полуды предохраняет рабочую часть стержня паяльника от окисления в процессе работы.

Температура нагрева паяльника считается нормальной, если припой быстро плавится, но не скатывается с рабочей части стержня паяльника в виде кипящих капель.

### **Подготовка деталей к пайке**

Поверхности деталей и проводов, подлежащих пайке, непосредственно перед монтажом должны быть подвергнуты лужению, предпочтительно припоями, применяемыми при их пайке или иметь покрытие, обеспечивающее качественное выполнение пайки.

Срок хранения деталей, подготовленных под пайку химическим путем не должен превышать 2 суток.

Произвести монтаж под пайку деталей и проводов согласно чертежа и технологии.

При монтаже деталей добиться минимального зазора между паяемыми поверхностями, плотно прижав детали друг к другу.

Детали, подлежащие пайке, расположить так, чтобы их положение было устойчивым и припой можно было бы подавать в зону пайки сверху.

При монтаже проводов между собой, проводов со стержнем, контактом, ламелью необходимо перед пайкой обеспечить надежное механическое крепление. Пайка встык и внахлестку не допускается.

### **Лужение**

Перед лужением убедиться, что уровень расплавленного припоя в ванне достаточен для полного покрытия необходимого размера лужения детали. Выплеск расплавленного припоя из ванны недопустим.

Очистить поверхность расплавленного припоя в ванне от загрязнения и окисной пленки с помощью скребка из нержавеющей стали.

С помощью кисти или методом окунания нанести флюс на необходимую длину лужения детали. Поверхность, подлежащая лужению, должна быть покрыта равномерным слоем флюса.

Плавно погрузить облуживаемую деталь в расплавленный припой на необходимую длину.

Выдержать деталь в ванне до полного прогрева облуживаемой части до температуры лужения. Время лужения составляет от 2 до 10 с.

Медленно вынуть деталь из припоя, дав стечь избытку припоя в течение 1 – 3 с.

Выровнять нанесенный слой припоя протиркой войлоком или хлопчатобумажной салфеткой.

Удалить остатки флюса.

По мере выработки припоя из ванны добавлять его мелкими кусочками, перемешивая его до полного расплавления.

### **Технология пайки**

С помощью кисти или пипетки аккуратно нанести на место соединения тонкий слой флюса. Флюс должен покрыть зону пайки равномерным слоем, заполнить зазоры соединения, но не должен растекаться за пределы этой зоны.

Паяльником, предварительно разогретым до необходимой температуры пайки, нанести припой на места соединения. Для этого прислонить наконечник паяльника к кусочку припоя, расплавить его, а затем перенести в зону пайки на наконечнике или одновременно прогревать соединение и подавать прутки припоя в зону пайки под наконечник паяльника, расплавляя припой в нужном количестве.

Подвод тепла к месту пайки должен быть интенсивным. Во избежание перегрева деталей пайку вести по возможности быстро, в течение 3-6 с.

При пайке деталей разных размеров стремиться прогреть наиболее массивную деталь или деталь с меньшей теплопроводностью.

Для обеспечения полного прогрева соединения, качественного покрытия зоны пайки расплавленным припоем и затекания его в зазоры между спаиваемыми деталями паяльник рекомендуется держать на одном месте, слегка покачивая его, прислонив наконечник к месту соединения.

Место соединения не следует заливать большим количеством припоя, так как это не приводит к повышению прочности шва.

По истечении необходимого для пайки времени отвести наконечник паяльника от места спая. Спаиваемые детали должны оставаться неподвижными относительно друг друга до полного затвердевания припоя.

По окончании пайки произвести удаление остатков флюса.

Иллюстрации к технологическому процессу.

Разогреваем ванну с припоем до подходящей температуры.



Рисунок 4.27 - Тигель (ванна с припоем ПОС-30)

После того как ванна с припоем разогрелась до нужной температуры, снимаем ложкой с припоя слой шлака.



Рисунок 4.28 - Ванна с припоем  
Медную часть наконечника, изготовленную методом штамповки, окунаем во флюс (рис.4.29).



Рисунок 4.29–Ванночка с флюсом

После обработки флюсом, погружаем наконечник в ванну с припоем ПОС-30, выдерживаем время.



Рисунок 4.30 - Ванна с припоем ПОС-30 и погруженным наконечником

Вынимаем наконечник из ванны, стряхиваем ветошью излишки припоя с наконечника.



Рисунок 4.31 - Наконечник

#### 4.5.1 Испытания переходника



Испытания переходника проводится с целью проверки соответствия требованиям ПУЭ гл.1.8.27 и ПТЭЭП прил.3 п.8.

Для испытаний сухих сборных и соединительных шин до 35 кВ. используются:

- перчатки диэлектрические;
- измеритель сопротивления, увлажненности и степени старения электроизоляции МІС-2500;
- аппарат испытания диэлектриков УИВ-100;
- микрометр ММР-600;
- переносные заземления.

#### 4.5.2 Подготовка приборов к работе.

Подготовка приборов и проверка исправности прибора заключается в следующем:

- проверка клейма поверки СИ и отсутствия видимых повреждений корпуса и измерительных проводов;
- проверка напряжения источника питания.

#### 4.5.3 Контроль сварных контактных соединений.

Сварные контактные соединения бракуются, если непосредственно после выполнения сварки будут обнаружены:

- а) перегибы провода наружного повива или нарушение сварки при перегибе соединенных проводов;
- б) усадочная раковина в месте сварки глубиной более 1/3 диаметра провода.

Проверка качества выполнения опрессованных контактных соединений.

Опрессованные контактные соединения бракуются, если:

- а) их геометрические размеры (длина и диаметр опрессованной части) не соответствуют требованиям инструкции по монтажу соединительных зажимов данного типа;
- б) на поверхности соединителя или зажима имеются трещины, следы значительной коррозии и механических повреждений;

- в) кривизна опрессованного соединителя превышает 3% его длины;
- г) стальной сердечник опрессованного соединителя смещен относительно симметричного положения более чем на 15% длины прессуемой части провода.

Следует произвести выборочное измерение переходного сопротивления 3-5% опрессованных контактных соединений. Падение напряжения или сопротивление на участке соединения не должно превышать падения напряжения или сопротивления на участке провода той же длины более чем в 1,2 раза.

#### 4.5.4 Измерение переходных сопротивлений контактных соединений

MMR-600 позволяет проводить измерение малых активных сопротивлений сварных и эквипотенциальных соединений, зажимов, клемм, соединителей в диапазоне от 1 мкОм до 200 Ом током до 10 А.

Измеритель подключается к испытываемому объекту согласно рисунку 2.

Провода напряжения, подключенные к гнездам U1 и U2, должны находиться внутри токовых, подключенных к гнездам I1 и I2.

Следует обратить внимание на правильный выбор измерительных наконечников, потому что точность проведенных измерений зависит от качества проведенных подсоединений.

Они должны гарантировать хороший контакт и способствовать протеканию измерительного тока без помех.

Запрещается, например, подсоединение зажима «Крокодил» на заржавевшие или окисленные участки - следует эти участки перед работой очистить или использовать для измерений острый зонд.

#### 4.5.5 Испытание изоляции шин повышенным напряжением промышленной частоты.

Испытание изоляции проводится согласно таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Испытательное напряжение промышленной частоты изоляции токопроводов

Класс напряжения, кВ	Испытательное напряжение, кВ, токопровода с изоляцией	
	Фарфоровой	Смешанной (керамической и из твердых органических материалов)
До 0,69	1	1
6	32	28,8
10	42	37,8
15	55	49,5
35	95	85,5

Продолжительность испытания – 1 минута.

#### 4.5.6 Оформление результатов измерений.

Результаты измерений оформляются протоколом в соответствии ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 Группа Т51, ГОСТ Р 50571.16-2007 с учетом погрешности используемого предела измерений.

Протокол должен отражать все вопросы, предписанные ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 п.5.10.2, п.5.10.3 и ПУЭ гл.1.8.27 и ПТЭЭП прил.3 п.8.

В результате экспериментальной работы изготовлена специальная медно-алюминиевая перемычка.

В данной работе были проанализированы многопостовые выпрямители для сварки нефтегазопроводов в полевых условиях, разработана схема передвижной полевой установки для сварки нефтегазопроводов на базе платформы ТОНАР с двигателем внутреннего сгорания и синхронным генератором.. Спроектирована силовая переключательная установка Cu-Al для соединения синхронного генератора с многопостовым выпрямителем. Предложены технологические процессы изготовления Cu-Al и Cu-Cu переходников и контактного наконечника.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 20295-85 Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов. Технические условия.
2. ГОСТ 19521-74 Сварка металлов. Классификация.
3. Козулин М.Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций: Учеб. пособие для вузов – Тольятти: ТГУ, 2010. – С. 287.
4. Рабинович И.Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги. – М: Машиностроение, 1958 – С. 379.
5. Каспржак Г.М. Выбор основных элементов сварочных выпрямителей из условий их нагрева. Автоматическая сварка. – М: Машиностроение, 1965 – С. 291.
6. Рекомендации по применению РД03-614-03: руководящий документ. – М. : Изд-во НАКС, 2004. – 152 с.
7. Милютин В.С., Шалимов М.П., Шанчуров С.М. Источники питания для сварки.- М. : Айрис –пресс, 2007. - 384 с.
8. Пиотровский Л.М. Электротехнические машины / учебное пособие .- Л. : Изд-во Энергия ,1972.- 503 с.
9. Николаев Г.А., Ольшанский Н.А. Специальные методы сварки/ учебное пособие . – М. : Машиностроение , 1975.- 230 с.
10. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Вопросы теории и технологии пайки.- Саратов. : Изд-во Саратовского университета , 1974. – 264 с.
11. Никифоров, В.М. Технология металлов и конструкционные материалы [Текст] : Учеб. пособие / В.М. Никифоров. – М. : Высшая школа, 1968. – 360 с.
11. Петров, Г.Л. Сварочные материалы [Текст] : Учеб. пособие для вузов/ Г.Л. Петров. – Л. : Машиностроение, 1972. – 280 с.: ил.
12. Фоминых, В.П. Оборудование и технология дуговой сварки [Текст] : Учебник / В.П. Фоминых. – М. : Машиностроение, 1966. – 312 с.

13. Фролов, В.А. Специальные методы сварки и пайка [Текст] : Учеб. пособие / В.А. Фролов, В.В. Пешков, А.Б. Коломенский, и др. - М.: Интермет Инжиниринг, 2003. – 183 с.
14. Фролов, В.А. Технология сварки плавлением и термической резки металлов [Текст] : Учеб. пособие / В.А. Фролов, В.Р. Петренко, А.В. Пешков, А.Б. Коломенский, В.А. Козаков ; под ред. А.В. Фролова. – М.: Альфа-М:ИНФРА-М , 2011. – 448 с.: ил.
15. Фролова, В.В. Теория сварочных процессов [Текст] : Учеб. для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочн. пр-ва» / В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров, и др.; Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.: ил.
16. Егоров, А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста [Текст] : Учебно - методическое пособие / А.Г. Егоров, В.Г. Виткалов, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова – Тольятти, 2012, - 135с.
17. William, L. Welding Essentials: Questions & Answers [Текст] : Expanded Edition / William L. Galvery Jr. and Frank M. Marlow ; Cengage Learning published in 2001 / p. 480
18. Karen, Ruth Welding Basics [Текст] : handbook / Karen Ruth ; Cengage Learning published in 2004 / p. 144
19. Larry Jeffus Welding: Principles and Applications (Fifth Edition) [Текст] / Larry Jeffus ; Cengage Learning published in 2002 / p. 904
20. Deruntz, B. Assessing the Benefits of Surface Tension Transfer Welding to Industry / Journal of Industrial Technology, Vol. 19, N° 4, 2004 / p.13 – 18
21. Jarvis, L. Keyhole GTAW User guide / CSIRO Manufacturing & Infrastructure Technology Australia Vol. 3, 2000 / p. 45 – 52
22. Никифоров, В.М. Технология металлов и конструкционные материалы [Текст] : Учеб. пособие / В.М. Никифоров. – М. : Высшая школа, 1968. – 360 с.

- 23.Петров, Г.Л. Сварочные материалы [Текст] : Учеб. пособие для вузов/ Г.Л. Петров. – Л. : Машиностроение, 1972. – 280 с. : ил.
- 24.Куркин С.А. и др. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций. Атлас./ С.А.Куркин, В.М.Ховов, А.М.Рыбачук. М.: Машиностроение, 1989.— 328с.
- 25.Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.М.: Энергия, 1989,—184с
- 26.Денисов, П.В. Расчет температуры нагрева тонколистового металла нормально распределенным источником при точечной сварке импульсной дугой [Текст] / П.В. Денисов, Г.А. Мирлин // Сварочное производство. – 1974.– №1. – С. 3–6.
- 27.Лесков, Г.И. Электрическая сварочная дуга / Г.И. Лесков. – М.: Машиностроение, 1970. – 334 с.
- 28.Чувашова, А.В. Электроды для ручной дуговой сварки, применяемые на опасных производственных объектах, подконтрольных Ростехнадзору / А.В. Чувашова. – Ижевск: Изд-во ЗАО «Ижмашпринт», 2006. – 70 с.
- 29.Гончаров, С.Н. Влияние термического цикла двухдуговой сварки на стойкость стали 20ХГСНМ против образования холодных трещин / С.Н. Гончаров, Н.З. Гуднев, Ю.А. Стеренбоген и др. // Автоматическая сварка. – 1982. – № 7. – С. 14–15.
- 30.Шолохов, М.А. Развитие элементов теории формирования шва и технологических основ многопроходной сварки плавящимся электродом по узкому зазору корпусных конструкций специальной техники из высокопрочных сталей: Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. – Екатеринбург: Уральский ГТУ. – 2016.