

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Машиностроение»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
А.И. Демченко
« 12. » 06 2016г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.01. - «Машиностроение»

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ
КОНТАКТНОЙ СВАРКИ МЕДНЫХ ШИН

Пояснительная записка

Руководитель	 подпись, дата	ст. преподаватель	О.В. Баяндина инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата		А.В. Александров инициалы, фамилия
Консультант: Организационно- экономический раздел	 подпись, дата	к.т.н. доцент	А.И. Демченко инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 подпись, дата	ст. преподаватель	С.Л. Бусыгин инициалы, фамилия

Красноярск 2016

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Машиностроение»



УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
А.И. Демченко
« ____ » _____ 2016г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
В ФОРМЕ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студенту Александрову А.В.
Группа ЗМТ 11-05Б Направление (специальность) 15.03.01 - «Машиностроение»
Тема выпускной квалификационной работы: «Разработка экспериментальной
установки для контактной сварки медных шин»
Утверждена приказом по университету № 6177/с от 10.05.2016
Руководитель ВКР: О.В. Баяндина, ПИ СФУ, Старший преподаватель
(инициалы, фамилия, место работы и должность)

Исходные данные для ВКР: 1. Чертеж изделия; 2. Программа выпуска;
3. Технические условия на изготовление

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):

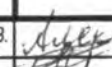



1. Литературно-патентный обзор
2. Технологическая часть
3. Конструкторская часть
4. Организационно-экономическая часть

Перечень графического или иллюстрированного материала с указанием
основных чертежей, плакатов:

1. Модуль сварочный (1 лист формата А2*4);
2. Технология сварки медных шин (1 лист формата А1);
3. Общий вид установки (1 лист формата А1);
4. Прокатные вальцы (1 лист формата А1);
5. Цикл сварки (1 лист формата А2);
6. Энергетическая схема (1 лист формата А2);
7. Техничко-экономические показатели (1 лист формата А1).

Консультанты по разделам

Наименование раздела ВКР	Инициалы, фамилия преподавателя-консультанта по разделу
Организационно-экономический раздел	А.И. Демченко

				БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ		
Разраб.	Александров А.В.		17.05.16	Разработка экспериментальной установки для контактной сварки медных шин	Лист	Листов
Пров.	Баяндина О.В.		17.05.16		2	75
Н. контр.	Бусьгин С.Л.		17.05.16		ПИ СФУ	
Утв.	Демченко А.И.		17.05.16		Каф. «Машиностроение»	

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
выполнения этапов ВКР

№ этапа	Срок	Текстовая часть	Графическая часть
1	с 09.05.2016	ТЧП - 40 %	лист № 1
	по 15.05.2016		
2	с 16.05.2016	КЧП – 40 %	лист № 2
	по 31.05.2016	ТЧП – 40 %	лист № 3
3	с 01.06.2016	КЧП – 60 %	лист № 4
	по 26.06.2016	ОЭЧ – 100 %	лист № 5
		ТЧП – 20 %	лист № 6
Всего	на 25.06.2016	100% по разделам	100%

ТЧП – технологическая часть

КЧП – конструкторская часть

ОЭЧ – организационно-экономическая часть

Руководитель выпускной
квалификационной работы

_____ О.В. Баяндина

(подпись, дата)

Задание принял к исполнению

_____ А.В. Александров

(подпись, дата)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме: «Разработка экспериментальной установки для контактной сварки медных шин» содержит 11 таблиц, 8 иллюстраций и 75 страниц печатного текста, количество использованных литературных источников 39, графическая часть проекта составляет 10 листов формата А1.

В работе разработана экспериментальная установка для контактной сварки медных шин. Подобрано вспомогательное оборудование, необходимое для данного технологического процесса обеспечивающее высокую производительность труда. Произведены необходимые расчеты.

В организационно-экономическом разделе проанализированы в сравнении технико-экономические показатели базового и проектируемого варианта.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ЛИТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНЫЙ ОБЗОР	7
1.1 Патенты на изобретение.....	8
1.2 Реферативные журналы	9
1.3 Общие сведения по стыковой сварке сопротивлением и оплавлением	15
1.4 Медь и ее сплавы. Металлургические и технологические особенности сварки.....	17
1.5 Подготовка деталей под сварку.....	21
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	22
2.1 Свойства меди.....	23
2.2 Особенности сварки меди	24
2.3 Условия работы изделия	26
2.4 Условия получения сварного соединения.....	27
2.5 Технология стыковой сварки оплавлением	28
2.5.1 Технические характеристики сварочного оборудования	28
2.5.2 Особенности сварки деталей.....	30
2.5.3 Технология сборки модуля ЭМС – 02	31
2.5.4 Привод сжатия электродов.....	31
2.5.5 Режимы сварки	33
3. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ	37
3.1 Расчет пневмоцилиндра	38
3.2 Расчет пружины	39
3.3 Расчет каретки	42
3.4 Выбор электродвигателя	42
3.5 Расчет сварочного трансформатора	43
4. ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	63
4.1 Расчет норм времени	64
4.2 Расчет количества сварочного оборудования	66
4.3 Расчет количества основных рабочих	66
4.4 Расчет капитальных вложений	67
4.5 Расчет текущих затрат.....	68
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	73
ПРИЛОЖЕНИЕ	75

ВВЕДЕНИЕ

Сварка является одним из основных технологических в машиностроении и строительстве. Трудно назвать отрасль народного хозяйства, где бы не применялась сварка.

Сварка позволила внести коренные изменения в технологию производства, создать принципиально новые конструкции машин и аппаратов.

Применение сварки способствует совершенствованию новых отраслей техники ракетостроения, атомной энергетики, радиоэлектроники. В последнее время производятся работы по выполнению сварки в космосе.

На современном этапе развития сварочного производства резко возрос диапазон свариваемых толщин, появились разнообразные материалы и виды сварки.

Существенно расширились условия проведения сварочных работ. Наряду с обычными условиями сварку выполняют в условиях высоких температур, радиации, под водой, в глубоком вакууме, в контролируемой атмосфере, в космосе.

Существенно расширились возможности дуговой и контактной сварки. В области сварочного производства активно решаются задачи механизации и автоматизации технологических процессов.

Контактная сварка - это процесс получение неразъемных соединений конструкционных металлов в результате их кратковременного нагрева электрическим током и пластического деформирования усилием сжатия.

Стыковая сварка - способ контактной сварки, когда детали соединяются по всей площади касания (по всему сечению).

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						6
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

1. ЛИТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНЫЙ ОБЗОР

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

1.1 Патенты на изобретение

RU 2106215 C1

Способ изготовления медной длинномерной заготовки круглого сечения для волочения, включающий электроконтактную стыковую сварку короткомерных заготовок и снятие грата, отличающийся тем, что после сварки и снятия грата проводят локальную горячую деформацию, например, осадку заготовки в осевом направлении в пределах зоны термического влияния сварочного стыка при температуре 810 - 870 °С до образования на заготовке местного утолщения диаметром 1,5 - 2,0 диаметра исходной заготовки, с последующим снятием местного утолщения.

SU811 1771146 A1

Машина для контактной стыковой сварки сопротивлением. Изобретение относится к сварочному оборудованию и может быть использована в кабельном и других производствах для сварки проволоки из цветных металлов малых сечений (до 20 мм.), сущность изобретения: машина содержит подвижные корпуса с токоподводящими зажимами. Сближение зажимов в процессе сварки осуществляется от двух-силовой пружины и электромагнита осадки. Кинематическая связь приводов с подвижными зажимами осуществляется через трехплечий рычаг.

SU 1712100 A1

Устройство токоподводящих зажимов для контактной стыковой сварки, содержащее привод осадки, две пары губок, состоящих каждая из токоподводящей части и закрепленного на ней формирующего устройства, отличающееся тем, что с целью снижения трудоемкости операции удаления грата в случае сварки длинномерных заготовок одинакового Симметричного профиля путем резки грата и разрезки его в плоскости симметрии, оно снабжено направляющими штоками, токоподводящие части выполнены с расточками, расположенными по окружности вокруг продольной оси, один конец каждого из штоков жестко закреплен в формирующем устройстве и электроизолирован от него, три формирующих устройства установлены на штоках с возможностью перемещения относительно токоведущих частей, а четвертое закреплено неподвижно, штоки, установленные в расточках токоведущих частей с подвижными формирующими устройствами, снабжены силовыми тарированными пружинами и подпружинены навстречу ответным формирующим устройствам.

SU 1447602 A2

Зажимное устройство контактной стыкосварочной машины, содержащая механизм корректировки положения свариваемой заготовки и корпус в котором с возможностью перемещения под действием привода зажатия смонтированы ползуны с зажимными губками, отличающиеся тем, что, с целью повышения производительности труда и качества сварного соединения, привод сжатия выполнен в виде подвижного силового цилиндра

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

и двух рычагов, установленных в корпусе с возможностью поворота и взаимодействия с ползунами.

SU 11516273 A1

Зажимное устройство машины для контактной стыковой сварки, содержащая корпус, закрепленную на нем нижнюю токоподводящую губку, верхнюю нетокоподводящую губку, снабженную приводом поворота, отличающееся тем, что, с целью повышения надежности и снижения массы устройства, качающейся зажим выполнен в виде четырех качающихся рычагов, смонтированных на корпусе попарно с двух сторон, верхняя нетокоподводящая губка выполнена разрезной по двум взаимно перпендикулярным плоскостям, проходящим через оси ее симметрии, каждая ее часть закреплена на конце своего качающегося рычага, корпус зажимного устройства выполнен в виде токоподводящего блока с двумя сквозными цилиндрами расточками.

SU 489180 A2

Предложен способ контактной сварки меди с железом отличающийся тем, что перед сваркой на медную поверхность и поверхность железа наносят покрытие из Sn толщиной 0,1 - 10 мкм. Предложенный способ предназначен в основном для соединения деталей в электротехнике.

1.2 Реферативные журналы

1) 6.63.375. Свариваемость меди при контактной точечной сварке. Уэда Синыго, Сикава Йоси, Симба Хироаки. "Ядзаки гидзюцу рипото, Yazaki Tech. Rept, 1986, №11, 27-33 (яп.)

Исследовано влияния покрытия из Sn, наносимого на Си - пластины (П), на прочностную характеристику сварного соединения. На конденсаторной машине мощностью 1 кВа сваривали две П толщиной 0.25 мм или сваривали с указанной П медный многожильный проводник. П имели покрытие из Sn толщиной 5 мкм. Для предотвращения прилипания П к электродам, последние были изготовлены из W. Сварное соединение подвергалось на прочность, стойкость к воздуху окружающей среды. Установлено, что покрытие из Sn улучшает свариваемость П и увеличивает прочностные характеристики соединения. По плоскости нахлестки образовался сплав Sn - Cu; который по мере увеличения энергии, выделяемой в сварное соединение, обогащается медью. Результаты испытания показывают, что полученное сварное соединение обладает характеристиками, близкими к паянному соединению аналогичных материалов.

2) 6.63.532П. Способ контактной сварки медного сплава. ВакабаяСи Иотити; к.к. Хитати сейсакусе. Заявка 60 - 106678, Япония. Заявл. 11.11.83, №58-210807, опубл. 12.06.85. МКИ В23К11/18

Способ контактной сварки медного сплава, при котором для выполнения сварки испытывающая машина обеспечивала сжатие деталей

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

верхними и нижними электродами и выделение тепла в контакте соединяемых деталей. Особенность способа заключается в том, что в рабочей части электродов крепятся специальные пластины, через которые проходит ток 8-10 кА, и свариваемое усилие между электродами достигает 650 кгс. УДК. 621.791.763.1.039 (088.8)

3) 9.63.513. Технология сварки с нагревом медного провода. Игараси Масао, Като Фумио, Канэко Дзюндзи. " Ядзаки гидзюцу рипото, Yazaki Tech. Rept.", 1987, №1:2, 109 - 116 (яп. Фед. англ.).

Способ соединения электрического провода представляет собой соединение двух подобных гофрированных конструкций, полученных с использованием теплоты, как при обычной пайке. Способ осуществляется на оборудовании для контактной сварки приложением давления и нагревом до температуры рекр.-ции Cu. Применение такого оборудования позволило уменьшить контактное сопротивление в 10 раз и дает возможность соединять Cu- электрические провода непосредственно без связующих компонентов. Указанный способ может быть использован для соединения различных деталей.

4) 1.63.170. Исследование соединений, выполненных контактной точечной сваркой на листах из технологически чистого алюминия, методом анализа на поверхности отклика./Darwish S. M., Al-Dekheil S.D. // Mater. And Manuf. Processes [Adv. Mater. And Manuf. Processes].-1998.- 13, №2.-С. 189-202.- Англ.

Проведено экспериментальное исследование соединений, выполненных К.Т.С. на листах толщиной 0,5; 1; 1,5; 2 и 2,5 мм. из технически чистого алюминия с содержанием алюминия > 99,5%. Сварку осуществляют на однофазном переменном токе. Показано, что метод анализа на поверхности отклика дает большой объем информации по результатам сравнительно небольшого числа экспериментов, что позволяет улучшить характеристики сварочных машин с ЧПУ типа CNC и DNC. С ростом силы сжатия электродом мощность, необходимая для получения некоторой нагрузки разрушения, увеличивается, поэтому рекомендуется максимально уменьшить силу сжатия, чтобы получить экономию на затратах мощности. (King Saud University, Ryiadh, Саудовская Аравия).

5) 12.63.363П. Способ сварки сопротивлением. Хазов В.Я., Любимирский Л.А., Петров Ю.В., Агишев Г.Н.; Всес. н. - и., проект, - конструктор, и технол. ин.-т. электросвароч. обруд., ВНИИ электромашиностр. А.с. 1232422, СССР. Заявл. 09.01.85, № 3839741/25-27, опубл. в Б.И., 1986, №19. МКИ В23 К11/02.

Предложен способ стыковой сварки сопротивлением, преимущественно Cu, при котором детали разогреваются сварочным током и осаживаются. Для повышения производительности за счет уменьшения трудоемкости уменьшения грата на боковой поверхности разогретых в процессе сварки деталей струи наносят вещество, окисляющее и науглероживающее эту поверхность. В качестве окисляющего

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

науглероживающего разогретую боковую поверхность деталей вещества используют машинное масло.

6) 12.63.255П. Способ соединения сплавов меди. Process for joining copper alloys: Пат. 5310985 США, МКИ В К11/02/ Fisk Brian, Winter Joseph; Fisk Alloy Wire, Inc.-№ 48816; Заявл. 16.4.93; Оpubл. 10.5.94; НКИ219/117.1

Приложен способ соединения Cu- проводников круглого и прямоугольного сечения, содержащего легирующие элементы, заключающегося в том, что плоские торцы проводников пропусканием через них нагревают до температуры 300-850 градусов Цельсия, но ниже температуры плавления Cu- сплава и прижимают друг к другу давлением $> 35 \text{ кг/см}^2$ (700-800 кс/см²). Нагрев производят 1-3 циклами длительностью < 30 с. каждый. В результате сварки образуется соединение, обладающее хорошими прочностью и электропроводностью. Возникший грат снимают. Полученный проводник сматывают в катушку или рулон.

7) 1.63.532. Технология контактной стыковой сварки с формированием соединений из меди, алюминия и алюминия с медью. Сахацкий ГЛ., Чайка В.Г. «Актуальные проблемы сварки цветных металлов. Докл. 2. Всес. конф. Ташкент, окт., 1982». Киев, 1985, 389-391 (Рус).

Разработана технология контактной стыковой сварки с формированием соединений из Cu, Al и Cu с Al, позволяющая значительно повысить механические свойства сварных соединений и уменьшить требуемую электрическую мощность. Определена расчетная величина припуска на нагрев из условия получения оптимальных энергетических характеристик процесса сварки. Приведены механические свойства сварных соединений.

8) 3.63.193П. Способ контактной сварки меди и ее сплавов с железом и его сплавами. Заявка 489180 Япония, МКИ В 23 К11/16/ Мияфудзи Мотохиса, Огура Тэцудзо; к. к. Кобе сэйкосё. -№2- 203989; Заявл. 2.8.90; Оpubл. 23.3.92 // Кокай токке кохо. Сер. 2(2).-1992.-19.-с.479.-Яп.

Предложен способ контактной сварки Cu и ее сплавов с Fe и его сплавами, отличается тем, перед сваркой на поверхности Cu и Fe наносят покрытие из Sn толщиной 0,1-10 мкм. Приведен пример сварки бескислородной чистой меди марки OFC и сплава CuFe-P-Cu толщиной 0,4 мм, со сталью SPCC (Fe 0,08%) толщиной 1,9 мм. Мощность 200 Вт, сила давления в стыке 5 кгс, диаметр электродов из хромистой меди 8 мм.

9) 1.63.156. Точечная сварка- практические советы. Punktschwei Ben-Praktische Winke/ Wnich Walter// BMT: Baumasch. + Buntechn..- 1994.-41, №3. - с. 166-168.- Нем.

Описаны общие рекомендации для практического применения контактно-точечной сварки. Рассмотрена схема расположения электродов и сварочной детали при точечной сварке; свариваемость легированных и нелегированных сталей, чистого Al, Cu и латуни; электрические мощности при сварке, ток, давление электродов, время, материалы для электродов и их обработка, контроль качества сварных соединений и др.

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

10) 3.63.553 П. Способ точечной сварки. Судзуки Такотоси, Оиси Йосихиро; к. к. Тоёда тую кенкосё. Заявка 59-70481, Япония. Заявл. 14.10.82, № 57-180368. Оpubл. 20.04.84. МКИ В 23 К11/20.

На тонкий медный лист сверху помещают вспомогательный лист из медного сплава, имеющего более низкую электропроводность, например из фосфористой бронзы или сплава Cu-Be. Медный лист нижней поверхностью укладывают на толстую плиту из железного сплава. Указанный набор из трех элементов помещают между верхним и нижним элементами сварочной установки. После сжатия электродов и пропускания тока, указанные элементы свариваются друг с другом. Таким образом, обеспечивается возможность качественной сварки стальной плиты с тонким медным листом.

11) 8.63.576 П. Способ стыковой сварки давлением проводов из обескислороженной высокоэлектропроводной меди, полученных обработкой давлением. Hroch Pavel, Surka Jozef, Kabina Robert. А.с. 222060. ЧССР. Заявл. 01.10.81, № РУ 7174-81, опубл. 15.07.85. МКИ В 23К11/00.

Предложен способ контактно-стыковой сварки давлением проводов из обескислороженной меди отмечается тем, что концы проводов нагревают до 550-750 гр.С и покрывают флюсом кислого типа, после чего выполняют сварку. Полученное соединение имеет высокую чистоту и хорошую электропроводность.

12) 9.63.448. УДК 621.791.76. Более 150 способов сварки. Mehr als 150 varfahren. Behnisch H. "Masch, und Werkzeug", 1986, 87, № 8,54-56, 58-60 (Нем).

Возможность изготовления сварных конструкций различных назначений, выполненных из металлических и неметаллических материалов, делает этот способ соединения одним из самых прогрессивных. Кратко описаны наиболее передовые способы контактной сварки и применяемого при этом оборудования. Помимо высокой производительности процесса, качество сварных конструкций может быть значительно улучшено путем нанесения на них защитных покрытий перед сваркой. Спец. оборудование. Разнородные сварные соединения. Прогресс в сварке за последние 80 лет привело к созданию более 150 новых способов.

13) 4.63.377 П. УДК 621.791.762.Ц088.8). Способ сварки композиционных материалов. Минэ хисамаса; К. к. Кобэ сейкосё. Заявка 59-42187, Япония. Заявл. 02.09.82, №59-42187, опубл. 08.03.89. МКИ В23К11/08, В23К13/02.

Предложен способ сварки композиционных материалов, состоящих из разнородных металлов, при котором контактно-стыковую сварку выполняют с нанесением на стык пастообразных металлов расплавления. При этом в зоне контакта двух металлов выполняют спец. выступы-рельефы, соединенных др. с др. так, что граница раздела двух металлов совпадает. Сварку деталей выполняют при индукционном или электроконтактном нагреве.

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

14) 11.63.721. УДК 621.791.763.1:669.3:669.71. Исследования по контактной конденсаторной сварке медных фольг на алюминий / Глица Г., Гросу Ф., Будзу В. // Мее-1989.-34, №1-2.- с. 89-92.- Рус; рез. рум.

Контактно-конденсаторная точечная применяется с успехом для соединения элементов из различных цветных металлов толщиной от 0,1 до 2,0 мм. Этот способ сварки применяется для изготовления узлов в микроэлектронике, точной технике.

15) 11.63.353 П. Способ контактной стыковой сварки сопротивлением. Ко Такао, Ямаути Нобуюки; Сумитомо Киндзоку Кочё к. к. Заявка 61-176480, Япония. Заявл. 01.02.85. №60-18349, опубл. 08.08.88. МКИ В 23 К11/02.

Способ стыковой сварки сопротивлением с целью избежания трещин в шве при соединении деталей из трудносвариваемого материала, состоящий в том, что между концами свариваемых деталей, зажатых в сварочных электродах помещают дополнительную вставку с тем же поперечным сечением, что и сечения свариваемых деталей, но изготавливают из материала легко свариваемого с материалом детали. Причем ширина вставки должна быть больше величины осадки при сварки и меньше межэлектродного расстояния. Метод может быть использован при соединении концов катушек.

16) УДК 621.791.762.5.03 (088.8)

4.63.257 П. Машина для стыковой контактной сварки полос оплавлением: А.с. 1609576 СССР, МКИ В23К 11/04 / Рысс Б.А., Молчадский С.Г., Новицкий А.Ф., Лифшиц Я.А., Мокаичев В.Г., Гольдельман А.Л., Артамонов В.С., Сима А.А., Жеравьев В.М.; Всес. Н.-и и проект.-конструкт. ин-т металлург, машиностр. - № 4456933/25-27; Заявл. 21.04.88; Опубл. ЗОЛ 1.90, Бюл. № 44

Предложен способ контактной стыковой сварки оплавлением полос (концов рулонов высокопроизводительных агрегат-станках бесконечной прокатки, профилегибочных и трубосварочных станках, агрегатах). Для повышения качества сварных соединений путем повышения точности и стабильности настройки режима сварки при одновременном повышении производительности за счет уменьшения времени переналадки машины. Система автоматического управления имеет блок настройки нуля датчика положения подвижной станины, который исключает влияние изменения ширины электродов на точность параметров. Для исключения влияния ширины электродов и толщины ножей на величину вылета концов полос система имеет два блока коррекции вылета и два сумматора. Чтобы избежать влияния на величину осадки упругой деформации силовых элементов машины при осадке, система снабжена третьим сумматором и блоками коррекции и вычисления величины осадки. Все операции перестройке машины осуществляются автоматически.

17) УДК 621.791.762

12.63.282. Машина для стыковой сварки лент. Band-stumpf-Schweidmaschine. "Blech Kohre Profile", 1985, 32, № 1-2, 123 (нем).

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Сварочная машина В8С 32/40 предназначена для стыковой сварки сопротивлением или оплавлением различных лент из низколегир., углеродистых и инструментальных Ст, а так же цветных сплавов. Машина имеет следующие технические характеристики: номинальная мощность 3,2 кВт, ширина свариваемой ленты 12 - 40 мм. максим, сечение. 35 мм, масса 75 кг. (VEB EleKtroschweidmaschinenwerk, ГДР).

18) УДК 621.791.762.039 (088.8)

5.63.373 П. Способ зачистки соединения полос при контактной стыковой сварке оплавлением и устройство для его осуществления. Власов Ю.И., Карташов Е.В., Молдчатский С.Г., Недодаев Ю.М., Новицкий А.Ф., Рысс В.А., Свеженцев Р.Е., Яковлев А.В.; Всес. н.-и. и проект.-конструкт. ин.-т металлург. Машиностр. А.с. 1276459, СССР. Заявл. 14.06.85, № 3914332/25-27, опубли. в Б.И., 1986, № 46 МКИ В 23 К 11/04

Зажатое в электродах сварочной машины сварное соединение обрабатывают в нагретом состоянии сверху и снизу, металлопластичный шлак и грат. Для повышения качества зачистки ее выполняют в два этапа: на первом этапе отделяют шлак с поверхностей полос и соединения, а на втором срезают грат. Устройство содержит каретку с приводом их сведения, на каждом из которой смонтированы ось с двумя опорными роликами и размещенный между ними резец. Для повышения качества зачистки и увеличения долговечности резцов устройство снабжено двумя металлическими щетками, смонтированными на рычагах перед резцами на расстоянии 2,0 - 2,5 радиуса опорного ролика. При этом щетки смещены одна относительно другой вдоль продольной оси устройства на 2,0 - 3,0 толщины их пучка игл. Устройство может быть использовано при контактной стыковой сварке оплавлением полос в сварочных комплексах, установленных в высокопроизводительных агрегатах травления, укрупнения рулонов перед холодной прокаткой, профилегибочных и трубных станах.

19) УДК 621.791.762.037 (088.8)

5.63.441 П. Машина для контактной стыковой сварки концов полос. Ошеверов И.И., Смирнов П.Н., Артюшечкин А.В., Белан В.В.; Магнитог. горно-металлург. ин.-т, Магнитог. металлург. комб. Им. В.И. Ленина А.с. 1360934, СССР. Заявл. 02.07.86, № 4116766/31 - 27, опубли. в Б.И. 1987, № 47 МКИ В 23 К 11/04

Предложена машина для контактной стыковой сварки концов полос по ав. св. № 1146162. Для повышения расширения сортамента свариваемых полос за счет обеспечения качественной сварки полос с вогнутым профилем поперечного сечения при ширине, меньшей длины электрода (Э), упругие токоподводящие элементы, установленные между зажимными губками и Э, в 5 - 20 раз больше жесткости упругих элементов, размещенных на краях Э.

20) УДК 621.791.762.5 (088.8)

3.63.529 П. Способ контактной стыковой сварки оплавлением полос: А.с. 1523281 СССР, МКИ В 23 К 11/04 / Караев М.Ф., Кабанов Н.С., Скворцов В.С., Пискунов А.В.; Всес. н.-и. и проект.-конструкт. ин.-т

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

металлург, машиностр. № 4252780/25-27; Заявл. 16.04.87 ; Оpubл. 23.11.89, Бюл.№ 43

Предложен способ контактной стыковой сварки оплавлением полос. Для стабилизации и повышения пластичных свойств соединений согласно способу начальное оплавление проводят со скоростью, зависящей от толщины полосы r и равной $V_h = [(0,5 - 0,6) K_p - 0,05r]$ Кр при припуске на начальное оплавление 2 -3 мм. После этого оплавление осуществляют при линейно нарастающей в функции пути скорости от начальной V_h до конечной V_k в соответствии с закономерностью $V = V_k * e^{U_k / A t}$ при $V_k - [(8 - 10) K - r]$ Кр и припуску на оплавление $A = (3 - 4) K_p + 3r$.

Постоянные коэффициенты $K_p=1$, $K_r=1,1$ с, — длительность оплавления. Выбор оптимальной программы сближения торцов полос в процессе оплавления позволяет повысить качество сварного соединения.

1.3 Общие сведения по стыковой сварке сопротивлением и оплавлением

Стыковая сварка применяется для соединения малоуглеродистой стали, а также цветных металлов и их сплавов. В ряде случаев посредством стыковой сварки соединяют разнородные металлы, например: малоуглеродистую сталь с легированной, сталь с медью с алюминием и др.

Стыковая сварка широко используется в современном производстве металлических изделий. Имеются машины для сварки встык тонких проволочных деталей, с площадью поперечного сечения порядка $0,001 \text{ мм}^2$, и машины для сварки толстых стержней и других крупных деталей, с площадью поперечного сечения до 144000 мм^2 , например для сварки стальных листов толщиной до 12 мм при длине стыка до 12м.

Стыковые машины применяются в ламповом производстве для сварки нитей ламп, в инструментальном деле при изготовлении составного инструмента, в автотракторной промышленности при изготовлении колес и многих других деталей, в общем машино-аппаратостроении, для сварки цепей, труб и различных сосудов, на транспорте, в строительстве, для сварки рельсов и т.п. Стыковая сварка подразделяется на сварку сопротивлением и сварку оплавлением. При стыковой сварке сопротивлением торцевые поверхности двух свариваемых деталей, зажатых в контактных колодках машины, приводятся в соприкосновение друг с другом и через эти детали пропускают электрический ток. После того как металл в месте соединения будет нагрет до пластического состояния, производится его осадка - сдавливание. В начале сварки обычно дается пониженное давление, для того чтобы увеличить количество выделяемого в стыке тепла, и затем под повышенным давлением производится осадка. В настоящее время способ сварки сопротивлением имеет ограниченное применение, так как в большинстве случаев он оказывается менее рациональным, чем способ сварки оплавлением, сварка сопротивлением имеет ряд недостатков: большое

потребление мощности, повышенный расход электроэнергии, значительный нагрев и чрезмерные деформации деталей, большая осадка металла, необходимость тщательной подготовки поверхностей деталей.

При стыковой сварке оплавлением детали, зажатые в контактные колодки, приближаются друг к другу до соприкосновения. При этом ток, проходя через отдельные соприкасающиеся участки торцевых поверхностей, быстро доводит их до температуры плавления. Таким образом, осуществляется оплавление торцевых поверхностей, и после достижения надлежащей температуры производится осадка деталей.

Процесс оплавления представляет собой весьма сложный комплекс различных явлений. Характер этих явлений не постоянен для всех случаев, а зависит от ряда таких факторов, как физические свойства и величина сечения свариваемого металла, электрическая характеристика и конструкция машины, характеристика скорости ведения процесса.

Возникновению дугового процесса мешает почти непрерывное замыкание торцевых поверхностей соседних точек, которое происходит в следствии подачи деталей друг к другу во время их оплавления, а также при выбрасывании из стыка жидкого металла. Замыкание тем или иным путем создает дополнительные каналы для прохождения тока, уменьшает напряжение и плотность тока в месте разряда и, таким образом, ограничивает возможность его образования.

После взрыва перемычки жидкий металл, вылетая из узкого зазора между торцевыми поверхностями деталей, замыкает их друг с другом.

Через эти движущиеся перемычки из жидкого металла проходит ток, который весьма быстро доводит их до парообразного состояния. Участки торцевых поверхностей в местах, где образуется повторное замыкание через жидкие перемычки, нагреваются в более короткие промежутки времени, так как жидкий металл уже имеет высокую температуру. Поэтому лунки, образующиеся при этой стадии процесса на торцевых поверхностях, вследствие более коротких промежутков времени прохождения тока, имеют меньшую глубину. При повышенном вторичном напряжении и относительно большой мощности образуются более глубокие лунки, которые в ряде случаев могут затруднить получение плотного соединения свариваемых деталей по всему сечению стыка.

Замыкание торцевых поверхностей не через жидкий металл, а через сильно нагретые выступы также должно образовывать лунки меньшей глубины. Поэтому торцевые поверхности деталей, благодаря незначительной глубине лунок, образующихся при кратковременном протекании тока, будут иметь относительно ровную поверхность. Плотное соприкосновение поверхностей в этом случае происходит при сравнительно небольших давлениях.

Количество отдельных единичных процессов оплавления, образующихся в единицу времени, зависит от скорости подачи деталей друг к другу во время оплавления и величины их поперечного сечения. Чем выше

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

скорость подачи, тем большее количество перемычек образуется в единицу времени и тем выше будет температура стыка.

Во время процесса оплавления, при определенной скорости протекания процесса, пространство между торцевыми поверхностями находится под некоторым давлением паров металла. Наличие давления паров металла создает естественную защитную зону в стыке, предохраняющую от проникновения в зазор между оплавленными поверхностями кислорода и азота воздуха.

Соприкосновение торцевых поверхностей свариваемых деталей, при правильном ведении процесса оплавления и соответствующем моменте времени выключения тока, происходит без наличия каких-либо окислов или прочих посторонних включений. Таким образом, в процессе оплавления происходят: подогрев деталей, зачистка свариваемых поверхностей и защита их от проникновения к ним кислорода и азота воздуха.

1.4 Медь и ее сплавы. Металлургические и технологические особенности сварки

При сварке меди необходимо учитывать специфические свойства этого металла, из которых главными являются высокая теплопроводность, большая жидкотекучесть и значительная активность металла при взаимодействии с кислородом и водородом в расплавленном состоянии. Вследствие высокой теплопроводности меди (почти в 6 раз большей, чем у стали) для сварки плавлением необходимо применять источники нагрева с большой тепловой мощностью, а также повышенную по сравнению со сталью погонную энергию. Например, дуговую сварку выполняют на увеличенных токах электродами больших диаметров. Высокие тепло- и температуропроводность приводят также к весьма существенным скоростям охлаждения металла шва и околошовной зоны и малому времени пребывания сварочной ванны в жидком состоянии. Это ухудшает формирование шва и вызывает затруднения при металлургической обработке ванны. Хорошее формирование шва можно сохранить при помощи предварительного подогрева, который обеспечивает более равномерное распределение теплоты в сварочной ванне. Помимо устранения дефектов (подрезов, наплывов, трещин, пористости) предварительный и сопутствующий подогрев основного металла улучшает условия кристаллизации сварного шва, снижает внутренние напряжения и устраняет склонность металла шва к образованию трещин. Изделия толщиной более 10—15 мм подогревают газовым пламенем, рассредоточенной дугой и другими способами до следующей температуры: из меди — 250 — 300, латуни — 300 — 350, бронзы — 500—600 °С.

Из-за высокой теплопроводности меди особые требования предъявляются к типам соединений и технике сварки плавлением. Равномерное формирование швов можно получить лишь при симметричном

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

расположении источника нагрева по отношению к свариваемым кромкам. Поэтому удобно сваривать стыковые соединения или приближающиеся к ним по характеру теплоотвода в свариваемые детали (рис. 1) [18]. Тавровые и нахлесточные соединения из меди трудновыполнимы.

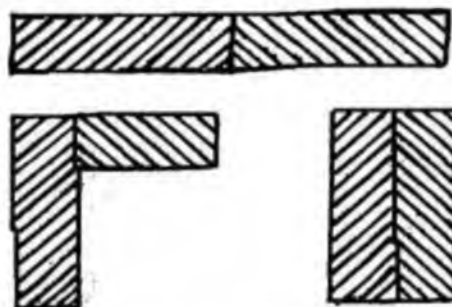


Рисунок 1.1 - Рекомендуемые типы сварных соединений

Большая жидкотекучесть меди, превосходящая примерно в 2—2,5 раза такой же показатель для стали, не позволяет производить на весу одностороннюю стыковую сварку с полным проплавлением кромок и хорошим формированием шва с обратной стороны. Для однопроходных стыковых швов требуется применение подкладок, плотно прилегающих к свариваемому металлу: медных, графитовых, из сухого асбеста, флюсовых подушек и др. Большая жидкотекучесть меди затрудняет также сварку в вертикальном и особенно в потолочном положении. Вертикальные швы удается сварить аргоно-дуговым способом на меди толщиной до 10 мм. При этом применяют особые технологические приемы, направленные на уменьшение размеров сварочной ванны и снижение жидкотекучести металла путем легирования его кремнием [18]. Указанное затруднение относится и к сварке кольцевых швов с горизонтальной осью вращения. Сварка таких швов выполняема лишь при обеспечении наименьших размеров сварочной ванны и минимального времени пребывания металла в жидком состоянии. Сварка кольцевых швов усложняется с уменьшением диаметра изделия и увеличением толщины металла.

Так как медь активно поглощает газы — кислород и водород, оказывающие отрицательное влияние на механические свойства сварных соединений и повышающие их склонность к пористости и кристаллизационным трещинам, то при сварке должны быть приняты меры для надежной защиты металла шва от загрязнения вредными примесями — газами. Соответствующие требования должны быть предъявлены к сварочным материалам.

Большим препятствием при сварке является пористость, связанная с выделением растворенного в меди водорода в процессе охлаждения и кристаллизации металла шва. Причина выделения пузырьков газа заключается в падении растворимости водорода при кристаллизации шва. Большая скорость охлаждения в связи с высокой теплопроводностью меди создает благоприятные условия для возникновения пор. Поры и трещины

могут вызывать также водяные пары, образующиеся в результате реакции водорода с закисью меди. При наличии окиси углерода возможно его взаимодействие с закисью меди. Образующийся углекислый газ, не успевая выделиться из металла, также вызывает пористость. Отсутствие кипения сварочной ванны при сварке меди медной проволокой усугубляет процесс порообразования. Кипение ванны при сварке других металлов, например стали, способствует удалению газов из жидкого металла. Серьезным затруднением, с которым приходится сталкиваться при сварке меди, является склонность швов к образованию кристаллизационных трещин, чему способствуют ее специфические теплофизические свойства: высокие значения коэффициентов теплового расширения и теплопроводности, большая величина усадки при затвердевании и др. Примеси, присутствующие в меди, и в первую очередь кислород, сурьма, висмут, сера и свинец, образуют с металлом легкоплавкие эвтектики, которые скопляются на границах кристаллитов и снижают их прочность. Так, свинец, образующий окислы (PbO , PbO_2 , PbO_3), дает легкоплавкую эвтектику с температурой плавления $326\text{ }^\circ\text{C}$; а висмут, образующий окислы (BiO , Bi_2O_3 , Bi_2O_5), — эвтектику с температурой плавления $270\text{ }^\circ\text{C}$. Поэтому ограничивают содержание примесей в меди, предназначенной для сварных конструкций (O_2 — до 0,03; Bi — до 0,003; Sb — до 0,005; Pb — до 0,03 мас. %). Для ответственных конструкций содержание вредных примесей в меди должно быть еще ниже (O_2 — до 0,01; Bi — до 0,0005; Pb — до 0,004 мас. %) [26, 18]. Для особо ответственных изделий, эксплуатируемых при высокой температуре и в условиях вакуума или восстановительной водородсодержащей атмосферы, рекомендуется использовать в качестве конструкционного материала бескислородную медь с еще более низким содержанием кислорода — менее 0,003 мас. % [18].

Чтобы избежать хрупкость швов при повышенной температуре в результате образования эвтектики $Cu_2S - S$, содержание серы в свариваемой меди должно быть менее 0,1 мас. %. Фосфор в небольших количествах (до 0,1 мас. %) оказывает полезное влияние, так как является раскислителем шва и переводит окислы в шлак. Раскислителями при сварке меди могут быть также кремний и марганец, однако они менее эффективны, чем фосфор [19, 24].

Для швов на меди характерна крупнозернистая столбчатая структура, что связано с большой теплопроводностью металла. Интенсивный теплоотвод от оси шва в основной металл создает благоприятные условия для направленной кристаллизации — вытягивания крупных по размерам кристаллитов в направлении теплового потока. Крупнокристаллическое строение швов усугубляет их склонность к образованию кристаллизационных трещин.

Теплофизические свойства меди обуславливают значительные деформации сварных изделий и повышенные остаточные сварочные напряжения. Медь при повышенной температуре (более $200\text{ }^\circ\text{C}$) снижает

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						19
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

прочность с одновременным уменьшением пластичности (в отличие от других металлов, например стали, у которых снижение прочности при повышенной температуре связано с повышением пластичности). В интервале температур 250—550 °С, при которых пластичность меди достигает минимальных значений, могут возникать трещины. В связи с этим следует избегать жестких закреплений. Не рекомендуется выполнять швы в два прохода, так как первый проход уже создает жесткое закрепление. Прихватки следует заменять скользящими закреплениями. Проковки швов, которые применяют для повышения их пластичности, нельзя осуществлять в указанном интервале температур.

При переходе от сварки меди к сварке сплавов на ее основе — латуни и бронзы — возникают дополнительные затруднения. При сварке латуни цинк может испаряться (температура его кипения 907 °С, т. е. ниже температуры плавления меди), что приводит к образованию пор. Пары цинка, соединяясь с кислородом, образуют окись цинка, которая, как и сами пары, ядовита и выделяется в виде плотного белого облака. Поэтому при сварке латуни особые требования предъявляются к вентиляции рабочих мест сварщика. Предварительный подогрев металла и повышение скорости сварки позволяют уменьшить растекание жидкой латуни и снизить испарение цинка. В связи с интенсивным испарением и выгоранием цинка его концентрация в металле шва уменьшается. Дополнительное введение в шов кремния или марганца снижает потери цинка. Наиболее благоприятное влияние оказывает кремний: образующаяся на поверхности сварочной ванны тонкая окисная пленка препятствует испарению цинка. В этом отношении весьма эффективна присадка из сплава ЛК 62-0,5 по ГОСТ 16130—72.

Сварка бронз сопровождается появлением хрупкости и снижением прочности при высокой температуре. Выгорание примесей может привести к образованию пор и трещин, изменению состава шва. При сварке алюминиевых бронз образуется тугоплавкий окисел алюминия Al_2O_3 , который оказывает такое же отрицательное влияние на формирование шва, как и при сварке алюминиевых сплавов: ухудшается плавление металла, появляются поры и трещины. Так как окисел алюминия не растворяется в бронзе, он загрязняет металл шва в виде неметаллических включений и снижает механические свойства сварных соединений. Для получения качественных швов необходимо разрушить окисную пленку. Это достигается применением при дуговой сварке специальных галоидных флюсов. Оловянные бронзы в расплавленном состоянии и при кристаллизации не образуют на поверхности металла достаточно прочной, непроницаемой для газов пленки. Поэтому металл может насыщаться газами, в том числе водородом, что для сварного шва приводит к возникновению пор. Медно-оловянные сплавы имеют очень большой интервал затвердевания, намного больший, чем медные сплавы других типов. Это способствует образованию кристаллизационных трещин. Против возникновения трещин принимают меры, направленные на снижение напряжений в сварных швах, в частности

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

не допускают такого жесткого закрепления деталей, как при сварке стали. Наиболее пригодны для сварки кремнистые бронзы. Хорошими сварочными свойствами обладают кремнемарганцовистые бронзы. Тонкая пленка окисла кремния изолирует сварочную ванну от взаимодействия с газами. В отличие от пленки окисла алюминия она легко растворяется во флюсе. Для меди и ее сплавов применимы все основные способы сварки плавлением и в твердой фазе.

1.5 Подготовка деталей под сварку

Свариваемый металл и проволока перед сваркой тщательно очищаются от окислов и загрязнений до металлического блеска и обезжириваются. Зачистка кромок может выполняться механическим способом (наждаком, металлическими щетками и др.). Абразивным камнем пользоваться не рекомендуется, так как оставляемые им на поверхности металла глубокие риски служат очагами последующих загрязнений и затрудняют обезжиривание органическими растворителями. Сварочную проволоку и кромки основного металла очищают травлением в растворе, состоящем из 75 см³/л HNO₃, 100 см³/л H₂SO₄ и 1 см³/л HCl, с последующей промывкой в воде и щелочи, снова в чистой воде и просушкой горячим воздухом [16].

Вывод

По результатам литературно-патентного обзора можно сделать вывод, что работы по стыковой сварке меди (шин, прутков, проволоки и т.п.) проводились и ранее, но в большинстве случаев они имеют узкое направление и предназначены для конкретных случаев и разработок.

Для нашего случая эти разработки не могут быть использованы в полном объеме. Если их применять для конкретных целей, в частности, для сварки медных шин в роторах электродвигателей, то для этого потребовалось бы конструктивное изменение некоторых узлов и деталей установок, что в дальнейшем могло привести, как к усложнению самой установки, так и процесса сварки, хотя из них, несомненно, можно получить важную информацию.

Перед нами была поставлена задача «Вагоноремонтного завода» г. Красноярск, сконструировать установку для сварки медных шин. Исходя из патентного обзора, по данному направлению проводилось небольшое количество разработок, поэтому в данной работе разработана экспериментальная установка для контактной сварки медных шин и представлена технология сварки.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22

2.1 Свойства меди

Медь - химический элемент 1 группы периодической системы элементов, имеет гранецентрированную кубическую решетку.

Путем электролиза удается получить медь весьма высокой чистоты. Химический состав применяемых марок меди занесены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Химический состав меди по ГОСТ 859-41 в %

Медь	Си	Ві	Sb	As	Fe	Ni	PI	Sn	S	O	Zn
MO	99,95	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005
M1	99,90	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,08	0,005
M2	99,70	0,002	0,005	0,005	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,1	-
M3	99,50	0,003	0,05	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,01	0,1	-
M4	99,00	0,005	0,2	0,2	0,1	-	0,3	-	0,02	0,15	-

Техническая медь обладает высокой электропроводностью, теплопроводностью, коррозионной стойкостью, хорошо обрабатывается давлением. Литейные свойства меди низкие, она чувствительна к примесям, особенно к висмуту, и сильно поглощает газы. Медь в отожженном состоянии, обладает высокой пластичностью, но низкой прочностью. Холодной деформацией можно повысить прочность меди. Наклеп твердой меди можно снять отжигом. Полное восстановление пластичности происходит при нагреве до 550-600°C. При повышении температуры предел прочности меди значительно снижается. Наиболее вредное влияние на свойства меди оказывают кислород, водород, висмут, сурьма и сера. Кислород растворим в жидкой меди в виде закиси меди Cu₂O. В твердой меди кислород практически не растворим. Значительное повышение жаропрочности наблюдается при введении тугоплавких химических соединений: M3Al; NiAl; NiBe; Ni₂Si; CoBe; Cr₂Zn; Cr₂Ti и др. [12]

Введением легирующих добавок упрочняет медь при комнатной температуре. Такие элементы как серебро, кадмий, хром, никель, цинк, магний, цирконий, никель, олово менее значительно снижают электропроводность меди, особенно в количествах 0,4%. Легирующие добавки существенно влияют на окисление меди. В присутствии мышьяка, церия, хрома и марганца скорость окисления меди значительно возрастает.

Содержание Ві, дающего хрупкие соединения и легкоплавкие эвтектики, не должно превышать 0,005%. С ростом зерен примеси способствуют повышению хрупкости меди, после дробления зерен при прокатке примеси мало влияют на пластичность. Механические свойства меди приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Механические свойства меди

Температура плавления, °С	1083
Температура кипения, °С	2360
Плотность при 20°С, г/см ³	8,94
Теплопроводность, кал/см с град	0,923
Удельное электросопротивление, Ом мм ² /м	0,01748
Модуль нормальной упругости, кг/мм ²	10800
Предел прочности при растяжении, кг/мм ²	22-24(мягкая) 45(твердая)

Существенное снижение пластичности и прочности сварных соединений из меди связано с кислородом воздуха, образующий с этим металлом оксид меди CuO, который в результате нагрева зоны сварки до температуры плавления располагается по границам крупных зерен в виде эвтектики Cu+Cu₂O. Поэтому хорошие результаты можно получить при конденсаторной сварке меди, содержащей раскислители (кремний, фосфор и др.). Другие примеси, присутствующие в меди (сурьма, висмут, сера, свинец), образуют с этим металлом легкоплавкие эвтектики, которые при сварке снижают прочность соединения из-за скопления последних также по границам зерен. В связи с этим содержание примесей в меди, предназначенной для точечной и рельефной конденсаторной сварки, не должно превышать O₂ - 0,03%, Bi - 0,003%, Sb - 0,005%, Pb - 0,03%, S - 0,1%.

Медь начинает интенсивно окисляться при температуре 400°С. Она образует закись Cu₂O (T_{пл}=1240°С), и окись CuO, растворяющуюся при 1030°С. Закись Cu₂O растворяется в расплаве, образуя при затвердевании эвтектику Cu+Cu₂O с T_{пл}= 1060°С. Для сварки используют хорошо раскисленную (обычно фосфором, реже кремнием) медь. Поэтому хорошие результаты можно получить при конденсаторной сварке меди. [13]

2.2 Особенности сварки меди

Сварка меди затруднена в связи с высокой ее теплопроводностью, значительным коэффициентом температурного расширения, высокой величиной усадки при затвердевании, высокой активности при затвердевании усадки, высокой активностью в жидком состоянии по отношению к кислороду, высокой растворимостью в ней и водорода и т.п. [12]

Медь сваривается в сравнительно узком диапазоне температур. Нагрев торцов до плавления представляет большие трудности (температура плавления 1085°С). Вследствие высокой теплопроводности меди для сварки ее необходимы мощные источники тепла с концентрированным нагревом на торцах при этом требуется интенсивное оплавление при токе 50-80 а/мм².

Свойства меди обуславливают возникновение значительных напряжений и деформаций в процессе сварки, повышенную склонность сварных швов к образованию газовых пор и трещин.

Сварные швы меди отличаются значительной пористостью, которая вызывает выделением газов и металлов в процессе его охлаждения и кристаллизации.

Медь и ее сплавы по сравнению с другими металлами обладают высокой адсорбционной способностью. Горячие трещины в сварных швах меди, вероятно, вызываются наличием жидких прослоек между кристаллитами или недостаточной прочностью межкристаллитного материала в момент возникновения растягивающих напряжений.

Свариваемость меди зависит от ее чистоты; самая чистая медь имеет до 0,1% примесей, во многом зависит от содержания в ней кислорода. При содержании в меди O₂ в количествах 0,003; 0,06; 0,09% сварные соединения имеют низкие механические свойства. Удовлетворительное качество сварных соединений, выполненных РДС, можно получить, ограничивая содержание кислорода в меди до 0,01%. [1]

Легирующие элементы оказывают существенное влияние на свариваемость медных сплавов. Ni, Co, Fe, Si, Cd, Al, Zn, Be, Ti на свариваемость малолегированных медных сплавов исследования проводились при аргонодуговой сварке вольфрамовым электродом без присадочного материала. Сварка проводилась на постоянном токе прямой полярности.

При сварке может происходить окисление основного металла или легирующего элемента. Возможность окисления того или иного металла зависит от величины его сродства с кислородом, значит легирующие элементы обладают большим сродством к кислороду, чем медь, отсюда следует, в процессе сварки возможно окисление легирующих элементов. Прочные и тугоплавкие окисные пленки мешают протеканию процесса взаимной кристаллизации затрудняют образование сварного соединения. [14]

Растворимость водорода в элементах, образующих с ним твердые растворы, увеличивается с повышением температуры. Значительной растворимостью водорода отличаются Ni, Fe. Это дало основание предположить, что легирование меди железом или никелем будет способствовать образованию пористости в процессе сварки.

При сварке медных сплавов в среде гелия достигаются лучшие результаты, чем при сварке в аргоне, при этом не требуется дополнительно подогрева изделия. Сварочная ванна более жидкая, что благоприятно выходят газы из металла ванны и обеспечивает получение более чистых беспористых швов.

При сварке меди предпочтительны соединения в стык и не рекомендуется соединение в тавр и внахлестку.

Медь также соединяют стыковой сваркой сопротивлением при большой установочной длине и локальной осадке после нагрева с минимальным давлением, исключаящим выплеск. При нагреве меди удельное сопротивление возрастает в 10-12 раз, что резко усиливает тепловыделение. Стержни 1 закрепляют в специальных зажимах с губками 3,

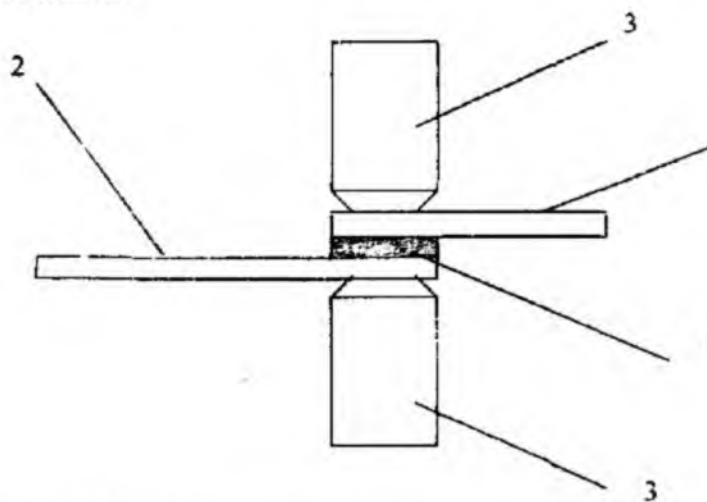
В настоящее время для ремонта роторов (в частности ремонта обмоток ротора) применяется пайка медных шин. Пайка осуществляется припоем ПСР -40. На деталь насыпается припой, затем на припой устанавливается вторая деталь и пропускается сварочный ток через эти детали на контактной точечной машине, нагревая и расплавляя припой с одновременным сжатием электродами деталей. На рис. 2.2 показан процесс пайки медных шин.

Но пайка по сравнению с предложенным способом сварки меди имеет ряд недостатков, а именно:

- при большой температуре нагрева деталей пайка отклеивается, а такие случаи имели место в роторах электродвигателя.

- нельзя проконтролировать процесс пайки. Время пайки длится 5 секунд, а весь процесс около 25 секунд, когда процесс сварки длится доли секунды, а весь процесс около 10 секунд. Разогрев и пайка ведется при токах 6-8 кА, Дорогой припой ПСР - 40, где 40% составляет серебро, а 60% олово.

- предложенный вариант экспериментального модуля ЭМС-02 имеет сравнительно малые габаритные размеры. Процесс сварки длится быстрее чем при пайке. Не используется дорогой припой ПСР - 40. Имеется возможность усиления и придания нужных размеров сварному шву с помощью прокатных валцов. Возможность подключения к точечным и конденсаторным машинам.



1 - припой ПСР-40, 2 - детали (свариваемые), 3 - электроды точечной конденсаторной шины

Рисунок 2.2 - Пайка медных шин

2.4 Условия получения сварного соединения

Образование соединения при стыковой сварке происходит в процессе совместной пластической деформации нагретых электрическим током торцов деталей при осадке.

Основная роль пластической деформации заключается в удалении оксидов для образования металлических связей в стыке и электрических контактов. Деформация вызывается действием усилия сжатия создаваемого

приводом сварочной машины. Для образования начального электрического контакта достаточно небольшое давление (5-10 мПа при сварке сопротивлением и около 0,001 мПа при сварке оплавлением), при котором обычно происходит лишь микропластическая деформация рельефа поверхности торцов. При малом давлении контактное сопротивление велико и его роль в тепловыделении возрастает. [5]

В процессе стыковой сварки о величине деформации судят по укорочению деталей, вызванному осадкой Δ_{oc} .

Усиление осадки P_{oc} растет при увеличении сечения свариваемых деталей, жаропрочности металлов и скорости осадки. Часть осадки ($0,5\Delta_{oc}$) осуществляют при включенном токе, что обеспечивает пластическую деформацию и уменьшает P_{oc} .

Чем выше скорость осадки V_{oc} , тем меньше Δt_1 - тем меньше вероятность застревания оксидов в стыке. Чрезмерное увеличение V_{oc} , иногда ухудшает качество сварки из-за затрудненной пластической деформации.

На процесс образования соединения при стыковой сварке решающее влияние оказывают оксидные пленки на торцевой поверхности деталей. Они затрудняют межатомное взаимодействие и препятствуют формированию прочных металлических связей. Оксидные пленки должны быть удалены из зоны соединения или раздроблены в процессе пластической деформации при осадке. [5] При сварке сопротивлением вследствие сравнительно малой пластической деформации происходит лишь частичное разрушение и удаление оксидов. Обновление поверхности при этом составляет 60% - 70%, что в общем случае определяет относительно низкую пластичность соединений.

Удаление оксидов облегчается при интенсификации процесса оплавления к концу сварки (увеличивается интервал времени, достаточный для охлаждения металла на торцах и снижения времени оплавления вследствие увеличения частоты пульсации), при увеличении скорости осадки V_{oc} (уменьшается время удаления оксидов в стыке) и при задержке отключения сварочного тока при осадке I_{oc} . Увеличение V_{oc} уменьшает время окисления поверхности торцов в период закрытия зазора при сварке оплавлением. [5]

2.5 Технология стыковой сварки оплавлением

2.5.1 Технические характеристики сварочного оборудования

Данный экспериментальный сварочный модуль (ЭМС-02) работает в диапазоне стыковой сварки оплавлением. При стыковой сварке необходимые режимы обеспечивает машина ТКМ - 50. [1]

Машина предназначена для работы в закрытых помещениях на высоте не более 1000 м. над уровнем моря при температуре охлаждающей воды от 5 °С до 25 °С.

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

Машина изготавливается в исполнении УХЛ4 для работы в районах умеренного климата при температуре окружающего воздуха от +1 °С до +35 °С и Т4 – для работы в районах тропического климата при температуре окружающего воздуха от +1 °С до +45 °С, с относительной влажностью не более 98% при температуре + 35 °С.

Окружающий воздух не должен содержать вредных газов, разрушающих металлы, лакокрасочные покрытия и изоляцию.

На корпусе машины смонтированы: привод пневматический, пневматическое устройство, система охлаждения, сварочный трансформатор, электрическое устройство.

Управление сварочным циклом машины, обеспечивается шкафом управления ШУ-351. Основные технические характеристики шкафа управления приведены в таблице 2.4.

Характеристики машины ТКМ - 50 приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристики машины ТКМ – 50

Номинальный вторичный ток, кА $I_{2к}$	50
Номинальный сварочный ток, кА $I_{св.н}$	-
Сопротивление вторичного контура постоянному току, мкОм	42
Максимальная мощность, кВа S_{max}	42
Усилие сжатия, даН	
Номинальное сварочное - $F_{св}$	1600
Наибольшее – $F_{св max}$	1900
Номинальное ковочное - F_k	1600

Таблица 2.4 – Технические характеристики ШУ – 351

Наименование параметра	Норма
Номинальное напряжение питающей сети, V	380
Номинальная частота питающей сети, Гц	50
Потребляемая мощность, V _а , не более	250
Пределы регулирования напряжения на рабочих конденсаторах, V	250-290
Относительная ошибка установки напряжения, %	±1,5
Параметры импульсов управления теристорами:	
Ток, А не более	2,4
Напряжение, V	24
Длительность импульса на уровне 15V, μs	100
Параметры усилителей управления клапанами:	
Ток, А не более	1,2
Напряжения, V	24
Габаритные размеры, мм не более	
Ширина	350
Длина	660
Высота	1250
Масса, кг не более	95

Экспериментальный сварочный модуль ЭМС – 02 подключен к контактной сварочной машине ТКМ – 50 гибкими связями, площадь поперечного сечения провода 60 мм.

Габаритные размеры модуля ЭМС – 02:

Длина 1055 мм

Высота 362 мм

Ширина 185 мм

После сварки изделие поступает в прокатные вальцы.

Габаритные размеры прокатных вальцов:

Длина 240 мм

Высота 250 мм

Ширина 122 мм

2.5.2 Особенности сварки деталей

Способ и режимы стыковой сварки в значительной мере зависят от формы и сечения свариваемых деталей. Необходимое качество сварки обеспечивается при тщательной подготовке кромок и соблюдение строгой параллельности их расположения.

После резки на концах полос не должно быть значительных заусенцев и расслоя, ведущего к некачественной сварке. Не допускается коробчатость и рваные кромки, затрудняющие зачистку в гратоснимателе. Торец одной стороны должен быть перпендикулярным их оси, а другой заострен под углом 90 градусов к их оси. Подготовка торцов под сварку показана на рис. 2.3.

Качество соединений и производительность модуля зависят от точности и быстроты установки полос. Совпадение их кромок по высоте обеспечивается правильным положением нижних губок. Надежное закрепление тонких полос при соблюдении постоянства конечного расстояния достигается изготовлением верхних губок со скосом.

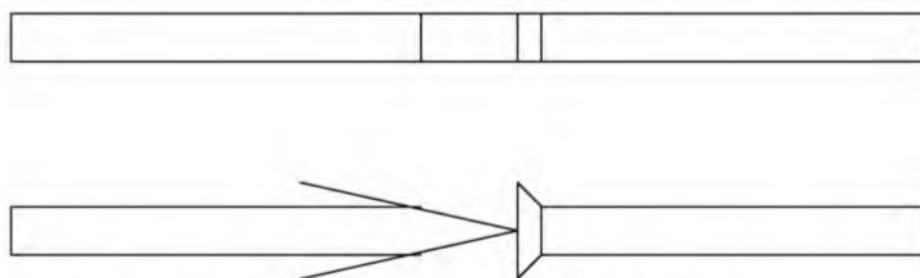


Рисунок 2.3 – Подготовка торцов под сварку

Величина осадки при сварке полос часто ограничивается упорами между подвижной и неподвижной плитами машины. Это позволяет не только

снять паклеп и понизить твердость металла в стыке, но также облегчить деформацию неровностей на торцах. Предупреждение быстрой кристаллизации расплава, а следовательно, и интенсивного окисления устраняет хрупкое разрушение отдельных участков соединения при загибе с образованием надрывов.

2.5.3 Технология сборки модуля ЭМС – 02

Сборка модуля ЭМС-02 (рис. 2.4) осуществляется на сварочную раму, которая изолирована от модуля стеклотекстолитной плитой (толщиной 40 мм), на эту плиту ложим стальную плиту 5 на которой крепится привод сжатия электродов и каретка 2. Также на изолированную плиту крепится неподвижная сварочная головка 1. Каретка 2 выполнена из двух швеллеров №10 сваренных между собой, образуя короб, и приваривается к плите 5. В каретку 2 помещаем шток 6, который делает возвратно-поступательные движения за счет привода сжатия. На штоке 6 закрепляем токоподвод и верхнюю губку. С противоположной стороны в шток вкручивается ось 7 на которую крепятся пружины 27. Ось 7 опирается на стойку 10. Ось 7 соединена со штоком пневмоцилиндра цапфой 11. Шток толкает поршень пневмоцилиндра. Пневмоцилиндр 3 закрепляется к плите 5 болтовым соединением.

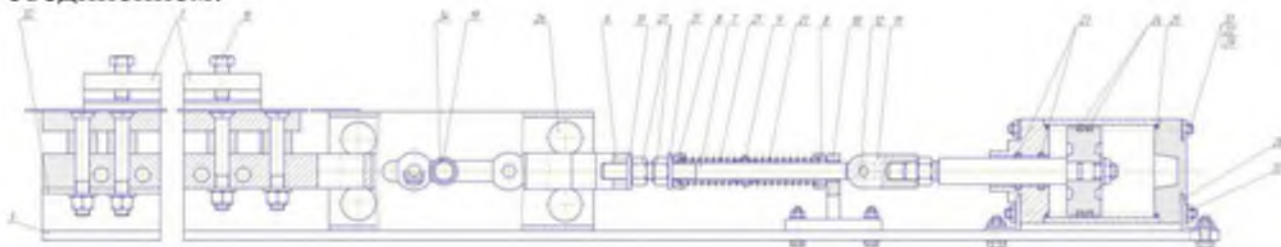


Рисунок 2.4 – Экспериментальный сварочный модуль

2.5.4 Привод сжатия электродов

2.5.4.1 Назначение

Привод сжатия предназначен для сжатия свариваемых деталей в процессе сварки. Особенностью и новизной привода является автоматное регулирование сжатия деталей на стадии нагрева и осадки.

Усилие сжатия деталей осуществляется пружиной 27, а усилие осадки совместно пружиной и пневмоцилиндром 3.

2.5.4.2 Состав механизма

Исходное состояние:

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

- при выключенном пневмоцилиндре под действием пружины шток 6 перемещается и находится в крайнем левом положении;
- при подаче сжатого воздуха в левую полость цилиндра происходит сжатие пружин 27 и шток 6 перемещается в крайнее правое положение, образуя между сварочными губками определенный зазор $L=L1+L2$, где $L1$ и $L2$ – установочные длины свариваемых деталей (3-5 мм);
- ограничение хода осуществляется при помощи опорных винтов установленных на корпусе каретки 2;
- свариваемые детали устанавливаются в сварочные губки, когда шток находится в крайнем левом положении. В свою очередь пружины 27, действуя на шток 6, осуществляют предварительное сжатие свариваемых деталей;
- после установки свариваемых шин пружина отводится с помощью пневмоцилиндра на заданное расстояние $L = 5-8$ мм. Происходит зацепление пружины;
- после установки свариваемых деталей подводятся сварочные головки с зажатыми в них электродами, подключенные к сварочному трансформатору. Включается ток и между электродами загорается дуга, после чего они разводятся на расстояние 3-5 мм, через 0,3-0,5с дуга тухнет, и включается импульс тока между торцами деталей. Оплавленные торцы заготовки под действием усилия пружины деформируются;
- после того как торцы деталей получили необходимую деформацию, включается пневмоцилиндр 3 и происходит дополнительное усилие осадки. Ток выключается, процесс сварки завершается. Пневмоцилиндр 3 выключается;
- детали следуют в прокатные вальцы (Рис. 2.5), в которых они выравниваются до нужных размеров и с помощью давления валька усиливается шов сварного изделия.

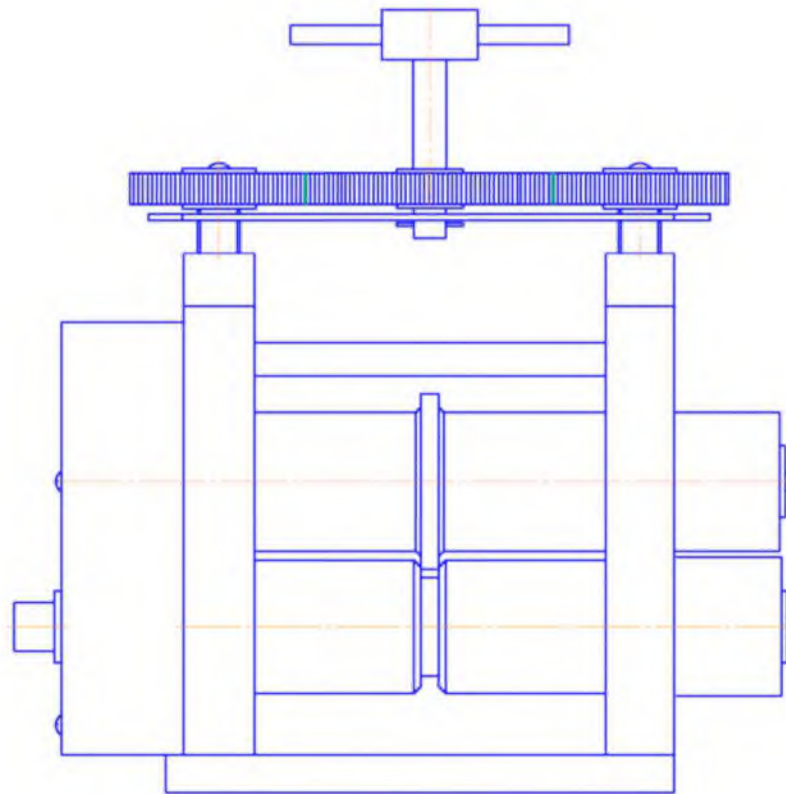


Рисунок 2.5 – Прокатные вальцы

Регулировка усилия сжатия свариваемых деталей осуществляется при помощи гаек 21 путем сжатия пружин 27.

Усилие осадки зависит от давления сжатого воздуха в рабочей камере пневмоцилиндра, которое регулируется при помощи воздушного редуктора снабженного монитором.

Режимы сварки выбирают на основании анализа особенностей данного вида сварки, свойств свариваемых металлов и формы соединяемых деталей.

2.5.5 Режимы сварки

При сварке оплавлением для образования качественного соединения основное внимание уделяют получению равномерного нагрева торцов деталей и деформации металла, в наибольшей степени обеспечивающей разрушение и удаление окислов. Основными параметрами режима являются сварочный ток $I_{св}$, плотность тока j , время протекания тока $t_{св}$, начальное усилие сжатия F_n и усилие осадки $F_{ос}$ (соответственно начальное давление P_n и давление осадки $P_{ос}$), укорочение деталей при сварке $\Delta_{св}$, установочная длина L_o .

Установочная длина для симметричных деталей зависит от сечения S , так для полос:

$$L_o = (3-4)\delta, \quad (2.1)$$

где δ – толщина полосы, $\delta = 1,75$ мм.

$L_0 = 5,25$ мм.

Продолжительность сварки для меди М1: $t_{св} = 0,3 - 0,5$ с.

Сварочный ток

$$I_{св} = \sqrt{\frac{Q_{св}}{0,24 R_{св} \cdot t_{св}}}, \quad (2.2)$$

где Q – общее количество теплоты, необходимой для разогрева свариваемых заготовок, кДж;

$R_{св}$ – сопротивление зоны сварки L_0 , мкОм;

$t_{св}$ – продолжительность сварки, с.

Общее количество теплоты:

$$Q_{св} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (2.3)$$

где Q_1 – теплота, затрачиваемая на нагрев сварочных заготовок до температуры $T_n = (0,7 - 0,8 T_{пл})$, расположенных между сварочными губками, длиной L_0 ;

Q_2 – теплота, затрачиваемая на нагрев заготовок на участке соприкосновения токоподводящих губок до температуры $0,25 T_{пл}$, длиной $4L_0$;

Q_3 – теплота, затрачиваемая на нагрев токоподводящих губок до температуры $T_r = 0,1 T_{пл}$, длиной $4L_0$.

Обычно в расчетах учитывается нагрев прилегающей зоны губок к свариваемым заготовкам, где внутренний диаметр кольца равен диаметру свариваемой заготовки, а глубина прогреваемого слоя:

$$\Delta d \approx 3\sqrt{t_{св}}, \quad (2.4)$$

Теплота, затрачиваемая на нагрев свариваемых заготовок:

$$Q_1 = \frac{\pi d_3^2}{4} L_0 \cdot C \cdot \gamma \cdot T_n, \quad (2.5)$$

где d_3 – толщина полосы, мм;

L_0 – установочная длина, мм;

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

где P_T – удельное электросопротивление свариваемого металла при температуре $0,8 T_{шт}$ свариваемого металла, мкОм*мм;

L_o – установочная длина, $L_o = 5,25$ мм;

d_3 – толщина заготовки, $d_3 = 1,75$ мм.

$$P_T = P_o(1 + \alpha * T_3), \quad (2.9)$$

где P_o – удельное электросопротивление свариваемого металла при $+20$ °С, $P_o = 0,0175$ Ом*мм²;

α – температурный коэффициент электросопротивления, $\alpha = 0,00392$;

T_3 – заданная температура, $T_3 = 0,8 T_{шт}$, $T_3 = 866,4$ °С.

$$P_T = 0,0769 \text{ мкОм*мм}$$

Из этого следует, что сопротивление:

$$R_{св} = \frac{0,0769 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 0,00525}{3,14 \cdot 1,75^2} = 0,0371 \text{ Ом}$$

Теперь, зная сопротивление зоны сварки и определив общее количество теплоты, можем определить силу тока сварки.

$$I_{св} = \sqrt{\frac{1389800}{0,24 \cdot 0,0371 \cdot 1}} = 12487 \text{ А}$$

Принимаем $I_{св} = 12500$ А.

Усилие сварки $F_{св}$ ориентировочно можно выбрать по удельному давлению, $F_{св} = 200$ кгс.

Усилие сжатия в 2 – 3 раза больше $F_{св}$.

$$F_{зж} = 2,5 F_{св}, \quad (2.10)$$

$$F_{зж} = 2,5 * 200 = 500 \text{ кгс.}$$

Усилие проковки (осадки) больше в 2 – 2,5 раза усилия сварки:

$$F_{ос} = 2 F_{св}, \quad (2.11)$$

$$F_{ос} = 2 * 200 = 400 \text{ кгс.}$$

3. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

3.1 Расчет пневмоцилиндра

Цилиндр ГОСТ 15608-70 с внутренним диаметром $B = 80$ мм. Стенка цилиндра имеет толщину $S = 5$ мм. Материал цилиндра – Ст3 и крышек – чугун СЧ 15.32. При проверке на прочность стенок цилиндра расчет надо производить по ГОСТ 14249-80 “Сосуды и аппараты. Нормы и метод расчета на прочность”. [6]

Движущая сила равна:

$$P = \frac{\pi D^2 P_d}{4}, \quad (3.1)$$

где D – внутренний диаметр цилиндра, мм;
 P – давление воздуха, Па.

$$P = \frac{3,14 * 6400 * 6,3}{4} = 230 \text{ кгс}$$

Цилиндр имеет рабочий поршень с уплотнителем манжетой ГОСТ 7118-70 круглого сечения $d = 76$ мм, шпильки ГОСТ 22034-76.

3.1.1 Физические свойства воздуха

Здесь ограничимся только перечислением свойств воздуха, что необходимо для дальнейшего расчета. Ниже приведена плотность, динамическая и кинематическая вязкость воздуха при различной температуре (таблица 3.1). [6]

Таблица 3.1 – Физические свойства воздуха

Температура t , °С	0	10	20
Плотность воздуха ρ , кг/м ³	1,29	1,25	1,2
Динамическая вязкость $\eta * 10^6$, Па*с	17,16	17,65	18,14
Кинематическая вязкость $\nu * 10^6$, м ² /с	13,3	14,2	15,1

3.1.2 Подготовка воздуха к работе

В большинстве случаев машины питаются воздухом из воздушной сети, в которую воздух подается из центральной компрессорной. И хотя на выходе из компрессора воздух очищается, все же при поступлении в машину его дополнительно пропускают через фильтр, водоотделитель и лубрикатор. Добавка масла в воздух, в виде масляного тумана, предохраняет

металлические части от коррозии и уменьшает трение и износ движущихся частей. [6]

3.1.3 Основные зависимости для воздуха

Воздух поступает в цилиндр и выходит из него через отверстия, которые можно определить как не расширяющиеся насадки. Процесс протекания порции воздуха через насадки столь короткий, что теплообменом между воздухом и стенками отверстия можно пренебречь, а значит считать этот процесс адиабатическим. [6]

3.2 Расчет пружины

Спиральная пружина, навиваемая из проволоки круглого сечения II класса, 3 разряда по ГОСТ 13772-68. Материал 65Г твердость 46-52 по НКС, номер пружины 99.

Сила $P_3 = 130$ кг;

Диаметр проволоки $d_{\text{пров}} = 5,5$ мм;

Диаметр пружины $D_{\text{пруж}} = 45$ мм;

Жесткость одного витка $Z_0 = 14,850$ кг/мм;

Наибольший прогиб $f_3 = 8,889$ мм;

Максимальное касательное напряжение при кручении $J_3 = 96$ кг/мм²

Критическая скорость сжатия пружины:

$$V_{\text{КК}} = \frac{J_3 * \left(1 - \frac{P_2}{P_3}\right)}{\sqrt{2GP}}, \quad (3.2)$$

где $2GP = 3,58$ неизменный коэффициент.

$$V_{\text{кр}} = 24 \text{ м/сек}$$

Жесткость пружины определяем по формуле:

$$Z = \frac{P_2 - P_1}{h}, \quad (3.3)$$

$$Z = 2,6 \text{ кг/мм}$$

Число рабочих витков:

$$h = \frac{Z_1}{Z_2}, \quad (3.4)$$

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

$$h = 7$$

Полное число витков:

$$h_n = h - h_2, \quad (3.5)$$

$$h_n = 5$$

Средний диаметр пружины:

$$D_0 = D - d, \quad (3.6)$$

$$D_0 = 34,5 \text{ мм}$$

Индекс пружины:

$$C = \frac{D_0}{d}, \quad (3.7)$$

$$C = 6$$

Предварительная деформация:

$$F_1 = \frac{P_1}{Z}, \quad (3.8)$$

$$F_1 = 13 \text{ мм}$$

Рабочая деформация:

$$F_2 = \frac{P_2}{Z}, \quad (3.9)$$

$$F_2 = 45 \text{ мм}$$

Максимальная деформация:

$$F_3 = \frac{P_3}{Z}, \quad (3.10)$$

$$F_3 = 50 \text{ мм}$$

Высота пружины при максимальной деформации:

$$H_3 = H_0 + F_3, \quad (3.11)$$

где H_0 – высота пружины, мм.

$$H_0 = (h_1 + 1)d, \quad (3.12)$$

где h_1 – полное число витков;
 d – диаметр проволоки, мм.

$$H_0 = 33 \text{ мм}$$

$$H_3 = 83 \text{ мм}$$

$$H_1 = 46 \text{ мм}$$

Высота пружины при рабочей деформации:

$$H_2 = H_0 + F_2, \quad (3.13)$$

$$H_2 = 78 \text{ мм}$$

Шаг пружины:

$$T = d = 5,5 \text{ мм}$$

Длина развернутой пружины:

$$L = 3,2 * D_0 * h_1, \quad (3.14)$$

где D_0 – средний диаметр пружины, мм;
 h_1 – полное число витков.

$$L = 552 \text{ мм}$$

Масса пружины:

$$Q = 19,25 * 10^{-6} * D_0 * h_1, \quad (3.15)$$

$$Q = 0,1 \text{ кг}$$

Объем занимаемой пружины:

$$W = 0,758 * D_0 * H_1, \quad (3.16)$$
$$W = 5534,72 \text{ мм}^2$$

3.3 Расчет каретки

Представляет собой корпус, сваренный из двух швеллеров №10 в котором на блоках подшипников 10 перемещается шток 5. Центровка штока 5 в блоках подшипников 10 осуществляется при помощи смещения винта блока 10 в отверстии каретки. На левом торце штока 5 устанавливаются сварочные токоподводящие губки для свариваемых деталей.

Подбор подшипников:

Подшипник 201 серии ГОСТ 8338-75, шариковый, радиальный, однородный.

d – внутренний диаметр, $d = 12$ мм.

D – внешний диаметр, $D = 32$ мм.

B – ширина подшипника, $B = 10$ мм.

Удельное давление в подшипнике:

$$P = \frac{P}{d * l}, \quad (3.17)$$

$$P = 30,3 \text{ кг/см}^2$$

Скорость подшипника $V_{\text{под}} = 400$ м/мин

Общее усилие:

$$P = S * 4, \quad (3.18)$$

$$P = 120 \text{ кгс}$$

Вращение подшипников:

$$n = 1500 \text{ об/мин}$$

3.4 Выбор электродвигателя

Для вращения валцов и подающего механизма выбираем цилиндрический двухступенчатый соосный мотор-редуктор типа МЦ2С-80, все технические требования по ГОСТ Р 50968-96.

Частота вращения выходного вала, об/мин:

- номинальная 56

- фактическая 57

Допускаемый вращающий момент на выходном валу, Н*м. 246

Допускаемая радиальная сила на выходном валу, Н. 4000

Комплектующий электродвигатель 4А80В4Р3

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

Частота вращения электродвигателя, об/мин. 1400
 Мощность, кВт 1,5
 Вращение подающего механизма производится с помощью клинового ремня.

3.5 Расчет сварочного трансформатора

1. $I_{2n} = 12500$ А. 2. $(U_{20})_{\text{мин}} = 2,2$ В; $(U_{20})_{\text{макс}} = 4,4$ В. 3. $n = 8$; номинальная ступень — 7-я. 4. $U_1 = 360$ В. 5. $f_1 = 50$ Гц. 6. ПВ = 20%.
 7. Трансформатор броневого типа. 8. Сердечник шихтованный. 9. Материал обмоток - медь. Изоляционные материалы обмоток и пропитка. 10. Охлаждение: а) вторичной обмотки - водяное, проточное; б) первичной обмотки - путем теплопередачи дискам вторичного витка; в) сердечника - естественное воздушное. 11. Класс изоляции В. 12. Включающее устройство — тиристорный прерыватель «Астра».

Электрический расчет.

1. Принимаем $\omega_2 = 1$

2. Определяем:

$$(\omega_1)_1 = \frac{U_1 \omega_2}{(U_{20})_{\text{мин}}} = \frac{360 \cdot 1}{2,2} = 164 \quad \text{витка,} \quad (3.19)$$

$$(\omega_1)_s = \frac{U_1 \omega_2}{(U_{20})_{\text{макс}}} = \frac{360 \cdot 1}{4,4} = 82 \quad \text{витка} \quad (3.20)$$

3. Секционируем первичную обмотку, принимаем: число витков одной части первой секции - 12; второй секции - 24 и третьей секции - 46.

4. Составляем электрическую схему первичной обмотки. В таблице ступеней 2.3 заполняем три графы: номер ступени, ω_1 и U_{20} .

Переключатель ступеней предварительно изображаем условно. Конкретный тип переключателя выбираем после уточнения токов первичной обмотки.

5. Из таблицы ступеней определяем для номинальной, седьмой, ступени первичные витки $(\omega_1)_n = 94$, вторичное напряжение $(U_{20})_n = 3,84$ В и мощность $P_n = I_{2n} (U_{20})_n = 12500 \cdot 3,84 = 48 \text{ кВт} \cdot \text{А}$.

6. Коэффициент трансформации

$$K = \frac{(\omega_1)_n}{\omega_2} = \frac{94}{1} = 94 \quad (3.21)$$

7. Коэффициент

$$K_1 = 1 + 0,005j_0 \sqrt{\frac{ПВ}{100}} = 1 + 0,005 \cdot 20 \sqrt{\frac{20}{100}} = 1,045 \quad (3.22)$$

8. Номинальный первичный ток

$$I_{1н} = K_1 \frac{I_{2н}}{K} = 1,045 \frac{12500}{94} = 139 \text{ А} \quad (3.23)$$

Таблица 3.2 – Таблица ступеней

№ ступени	Ножи переключателя			ω_1	U_{20}, B	I_1, A	q, мм ²
	1	2	3				
1	2	2	2	164	2,2	20,0	9,8
2	1	2		152	2,36	23,6	
3	2	1		140	2,56	27,8	
4	1			128	2,8	33,2	
5	2	2	1	118	3,05	39,6	14,4
6	1			106	3,4	49,0	
7	2			1	94	3,84	
8	1	82	4,4		62,0		

9. Расчетный ток

$$I_1 = I_{1н} \sqrt{\frac{ПВ}{100}} = 139 \sqrt{\frac{20}{100}} = 62 \text{ А.} \quad (3.24)$$

10. Расчетные токи для каждой ступени:

на шестой

$$I_{1(6ст)} = I_1 \left[\frac{(\omega_1)_7}{(\omega_1)_6} \right]^2 = 62 \left[\frac{94}{106} \right]^2 = 49 \text{ А;} \quad (3.25)$$

на пятой

$$I_{1(5ст)} = I_1 \left[\frac{(\omega_1)_7}{(\omega_1)_5} \right]^2 = 62 \left[\frac{94}{118} \right]^2 = 39,6 \text{ А}$$

Таблица 3.3 – Таблица размеров катушек

Секция 1	Секция 2	Секция 3
$\omega_{1(1)} = 12 + 12 = 24$ $I_{1(1)} = 62 \text{ A}$	$\omega_{1(2)} = 24 + 24 = 48$ $I_{1(2)} = 49 \text{ A}$	$\omega_{1(3)} = 46 + 46 = 92$ $I_{1(3)} = 33,2 \text{ A}$
Предварительно при $i = 3,4 \text{ A/мм}^2$		
$q_{1(1)} = 18,2 \text{ мм}^2$ $\sum q_{1(1)} = 435 \text{ мм}^2$	$q_{1(2)} = 14,4 \text{ мм}^2$ $\sum q_{1(2)} = 690 \text{ мм}^2$	$q_{1(3)} = 9,8 \text{ мм}^2$ $\sum q_{1(3)} = 900 \text{ мм}^2$
Обмоточные данные		
Две катушки № 1		Две катушки № 2
$\omega'_{к1} = 12$ Провод ПСД 1,8×10 $q_{1(1)} = 17,64 \text{ мм}^2$ $I_{1(1)} = 3,48 \text{ A/мм}^2$	$\omega''_{к1} = 12$ Провод ПСД 1,4×10 $q_{1(2)} = 13,79 \text{ мм}^2$ $I_{1(2)} = 3,54 \text{ A/мм}^2$	$\omega_{к2} = 46$ Провод ПСД 1,12×8,5 $q_{1(3)} = 9,3 \text{ мм}^2$ $I_{1(3)} = 3,56 \text{ A/мм}^2$
Радиальные размеры катушек, мм		
$A_{к1} = 12(2,28 + 0,17) + 24(1,88 + 0,17) = 86 \text{ мм}$		$A_{к2} = 46(1,6 + 0,12) + 7 = 86 \text{ мм}$
Основные размеры катушек, мм		
$a_{к1} = 10,27 + 3,5 \approx 14 \text{ мм}$		$a_{к2} = 8,55 + 3,5 \approx 12 \text{ мм}$

Расчетные величины токов по всем ступеням вписываем в таблицу ступеней. Определяем наибольшие токи для каждой секции: а) секция 1 рассчитывается на 62 А; б) секция 2 — на 49 А; в) секция 3 — на 33,2 А. Расчетные токи для каждой секции первичной обмотки вписываем в таблицу 3.3.

11. Исполнение 4 для изоляции класса В для всех секций задаем плотностью тока $J_1 = 3,4 \text{ A/мм}^2$.

12. Требуемые сечения медного провода:
для секции 1

$$q_{1(1)} = \frac{I_{1(1)}}{J_1} = \frac{62}{3,4} = 18,2 \text{ мм}^2 \quad (3.26)$$

для секции 2

$$q_{1(2)} = \frac{49}{3,4} = 14,4 \text{ мм}^2$$

для секции 3

$$q_{1(3)} = 9,8 \text{ мм}^2$$

13. Суммарное сечение провода первичной обмотки

$$q_1 = \sum q_{1(1)} + \sum q_{1(2)} \sum q_{1(3)} = \omega_{1(1)} q_{1(1)} + \omega_{1(2)} q_{1(2)} + \omega_{1(3)} q_{1(3)}$$

$$= (12+12) \cdot 18,2 + (24+24) \cdot 14,4 + (46+46) \cdot 9,8 = 2030 \text{ мм}^2 \quad (3.27)$$

14. Расчетный ток вторичной обмотки на номинальной ступени

$$I_2 = I_{2н} \sqrt{\frac{ПВ}{100}} = 12500 \sqrt{\frac{20}{100}} = 5600 \text{ А} \quad (3.28)$$

15. По вторичный виток - медный с водяным охлаждением, берем $J_2 = 4,5 \text{ А/мм}^2$.

16. Сечение вторичного витка

$$q_2 = \frac{I_2}{J_2} = \frac{5600}{4,5} = 1250 \text{ мм}^2 \quad (3.29)$$

17. Суммарное сечение обмоток $q = q_1 + q_2 = 2030 + 1250 = 3280 \text{ мм}^2$.

18. Для размещения обмотки площадью 3280 мм^2 потребуется площадь окна около 9100 мм^2 . Наиболее подходящими пластинами для данного трансформатора будут пластины П - образной формы IV габарита. Размеры окна $96 \times 96 \text{ мм}$, и $S_0 = 9200 \text{ мм}^2$. Все размеры выбранных пластин даны на рисунке 3.

19. Распределяем обмотку по катушкам следующим образом: а) 12 витков первой секции и 24 витка второй секции уложим в одну катушку, получаем две катушки № 1 с числом витков $\omega_{к1} = 12$ и $\omega_{к1} = 24$; б) витки третьей секции уложим в две катушки № 2 по 46 витков в каждой. Таким образом, всю первичную обмотку укладываем в четыре катушки.

20. Выбираем размеры обмоточного медного провода. Так как 12 витков и 24 витка будут уложены в одну катушку, то при выборе размеров проводов необходимо следить, чтобы размер b был одинаков, а разные сечения подбирать за счет размера a . Кроме того, конструктивно две данные катушки должны быть выполнены так, чтобы витки каждой секции были расположены одинаково в каждой из катушек: если 12 витков одной катушки находятся внизу, а 24 - вверху, то и другая катушка должна быть выполнена точно так же.

Толщина изолированного медного провода одного витка

$$a_u = \frac{b_0 - 10 - (\omega_{к1} \delta_{np}) - 7}{\omega_{к1}} = \frac{96 - 10 - (12 + 24) \cdot 0,17 - 7}{12 + 24} = 2 \text{ мм.} \quad (3.30)$$

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

$$j_{1(1)} = \frac{62}{17,64} = 3,48 \text{ А/мм}^2; \quad (3.32)$$

$$j_{1(2)} = \frac{49}{13,79} = 3,54 \text{ А/мм}^2;$$

22. рассчитываем следующие размеры катушек №1: радиальный размер

$$A_k = \omega_{k1}(a_u + \delta_{np}) + \omega_k(a_u + \delta_{np}) + 7 = 12(2,28 + 0,17) + 24(1,88 + 0,17) + 7 = 33 + 53 = 86 \text{ мм} \quad (3.33)$$

осевой размер $a_{к1} = b_u + 3,5 = 10,27 + 3,5 = 14$ мм; внутренний размер по ширине $B = b_c + \mathcal{K} = 48 + 4 + 48 + 11 = 111$ мм. Здесь принимаем $\mathcal{K} = 11$ мм. Внутренний размер по длине $B = h + \Gamma = 140 + 25 = 165$ мм. Радиус закругления углов $R = 10$ мм. Количество катушек №1 равно двум.

23. Выбор провода для двух катушек № 2 производим точно так же:

$$a_u = \frac{b_0 - 10 - (\omega_{k2} \delta_{gh}) - 7}{\omega_{k2}} = \frac{96 - 10 - (46 \cdot 0,12) - 7}{46} = 1,56 \text{ мм.} \quad (3.34)$$

Здесь δ_{np} берем 0,12 мм, так как провод тонкий и изоляция хорошая.
Предварительная ширина

$$b = \frac{q_{1(3)}}{a_u} = \frac{9,8}{1,56} = 6,3 \text{ мм;} \quad (3.35)$$

$$a_u - a = 0,44 \text{ мм и } b_u - b = 0,27 \text{ мм}$$

Толщина голого провода $a = 1,56 - 0,44 = 1,1$ мм. и $b = \frac{9,8}{1,1} = 8,9$ мм. По ГОСТ 7019 — 71 и 434 — 71 выбираем провод $a \times b = 1,12 \times 8,5$; $a_u \times b_u = 1,6 \times 8,77$;

$$q_{1(3)} = 9,3 \text{ мм}^2; \quad j_{1(3)} = \frac{33,2}{9,3} = 3,56 \text{ А/мм}^2;$$

$$A_{k2} = \omega_{k2}(a_u + \delta_{np}) + 7 = 46(1,6 + 0,12) + 7 = 86 \text{ мм;} \quad a_{k2} = b_u + 3,5 = 8,77 + 3,5 \approx 12 \text{ мм}$$

Количество катушек № 2 равно двум. Полученные данные вписываем в таблицу 2.4 для катушек 3-й секции. Внутренние размеры катушек должны быть такие, как для катушек № 1, т. е. $B = 111 \text{ мм}$; $B = 162 \text{ мм}$; $R = 10 \text{ мм}$.

24. Так как катушек первичной обмотки четыре, то число дисков должно быть два. Предварительное сечение каждого диска

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

которых катушка № 1 - I имеет четыре вывода ($H1—K1$; $H2—K2$) и катушка № 1—II - три вывода [$H1 - (K1 + H2) - K2$] = $H1—0—K2$ (в этой катушке $K1$ и $H2$ соединяются внутри и на переключатель идет один отвод); две катушки № 2 с осевыми размерами по 12 мм. Каждая из них имеет по два вывода H и K .

Располагаем две катушки № 1 по краям. Согласно электрической схеме, секция 1 катушки № 1 - I соединяется с секцией 1 катушки № 1 - II через переключатель ступеней. Секция 2 катушки № 1 - I соединяется по следовательно с секцией 3, уложенной в катушку № 2. Для того чтобы было удобнее осуществить это соединение, размещаем одну катушку № 2 в катушечную группу с катушкой № 1 - I, а вторую катушку № 2 — с катушкой № 1—II, как показано на рис. 3.2 Там же дано и конструктивное расположение выводов от катушек.

Для катушек № 1 размеры выводов для 1-й и 2-й секций берем одинаковые, рассчитанные на большой ток, т. е. на 62 А.

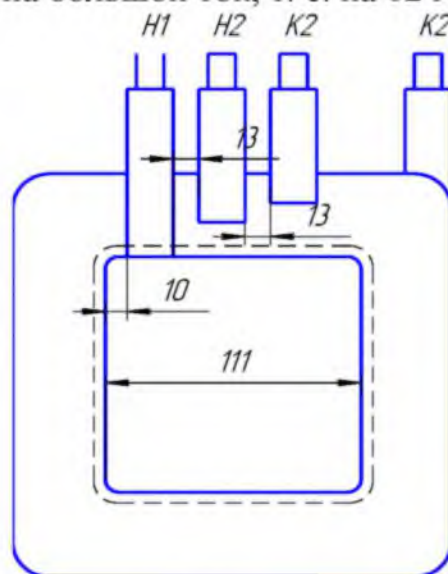


Рисунок 3.2 - К примеру выбора размеров выводов от катушек первичной обмотки

Плотность тока $j = 3 \text{ А/мм}^2$. Сечение вывода $q_{a(1)} = \frac{I_{1(1)}}{j_a} = \frac{62}{3} = 20,7 \text{ мм}^2$

34. От катушки № 1 - I нужно сделать 4 вывода, от катушки № 1 - II - 3 вывода. Если расположить выводы в один ряд, то вывод будет очень узкий. Поэтому вывод от $K2$ разместим с торца катушки, как показано на рис. 3.2.

$$b_{в.к} = \frac{B - (2R + \delta_s(n-1))}{n} = \frac{111 - (2 \cdot 10 + 13(3-1))}{3} = 21,7 \text{ мм} \quad (3.39)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Двусторонняя толщина изоляции вывода равна 3 мм, и ширина голого вывода $b_{в.к1} = 21,7 - 3 = 18,7$ мм. Толщина голого вывода $a_{в.к1} = \frac{q_{в.к1}}{j_{в}} = \frac{20,7}{18,7} = 1,12$ мм. Уточняем размеры вывода по ГОСТ 434—71. Берем ПММ (провод медный мягкий) с размерами $a_{в.к1} = 1$ мм, $b_{в.к1} = 14,5$ мм, $q_{в.к1} = 14,3$ мм². Уточненная плотность тока $j_{в.к1} = 1,43$ А/мм².

Для катушек № 2 берем этот же вывод, т. е. $a_{в.к2} = 1$ мм, $b_{в.к2} = 14,5$ мм;

35. Требуемые зазоры между катушечными группами $\delta_1 = (a_{в.к2} + \delta_u) + \delta_0 = (1 + 3) + 3 = 7$, что не более 14 мм, полученных п. 32. При расчете зазора δ_1 необходимо учесть, что выводы соседних катушек № 2 расположены в шахматном порядке.

36. Сечения отводов, соединяющих катушки первичной обмотки с переключателем ступеней, сведены в таблице 3.4.

37. В качестве материала сердечника берем электротехническую сталь марки Э11 толщиной $\delta_{жс} = 0,5$ мм.

Таблица 3.4 – Сечение проводов

Номер конца	11	12	13	14	21	23	32	33	X
Расчетный ток, А	62	62	62	31	49	49	33,2	33,2	33,2
Сечение отводов из ПГВ-1, мм ²	10								

38. Для номинальной ступени берем индукцию в сердечнике $B = 1,4$ Т.

39. Активное сечение сердечника

$$S = \frac{U}{4,44 f(\omega_1)_7 B_n} = \frac{360}{4,44 \cdot 50 \cdot 94 \cdot 1,4} = 0,0123 \text{ м}^2 \quad (3.40)$$

40. Коэффициент заполнения сердечника

$$K_3 = \frac{\delta_{жс}}{\delta_{жс} + 0,04} = 0,93 \quad (3.41)$$

41. Полное сечение сердечника

$$S_{жс} = \frac{S}{K_3} = \frac{0,0123}{0,93} = 0,0132 \text{ м}^2 \quad (3.42)$$

42. Трансформатор броневое типа, и полученная величина сечения сердечника относится к среднему стержню. Требуемая толщина набора

$$h = \frac{S_{ж}}{2b_1} = \frac{0,0132 \cdot 10^4}{2 \cdot 4,8} = 13,7 \text{ см} \quad (3.43)$$

43 Берем $H = 140$ мм, и этот размер наносим на рисунок 3

44. Уточненное активное сечение сердечника и индукция на 7-й ступени:

$$S = 2bhK_s = 2 \cdot 0,048 \cdot 0,14 \cdot 0,93 = 0,0125 \text{ м}^2 \quad (3.44)$$

$$B_n = \frac{360}{4,44 \cdot 50 \cdot 94 \cdot 0,0125} = 1,38 \text{ Т} \quad (3.45)$$

45. Индукция на 8-й последней ступени

$$B_8 = \frac{360}{4,44 \cdot 50 \cdot 82 \cdot 0,0125} = 1,58 \text{ Т}$$

46. Число листов двух пакетов сердечника

$$n = 2 \frac{hK_s}{\delta_{ж}} = 2 \frac{140 \cdot 0,93}{0,5} = 524 \text{ пластины (листа)} \quad (3.46)$$

47. Масса сердечника

$$G_{жс} = \gamma \sum V_{жс} \cdot 10^{-3} = 7,8 \cdot 2hK_s (Hl - h_0 b_0) \cdot 10^{-3} = \\ 7,8 \cdot 2 \cdot 140 \cdot 0,93 (19,2 \cdot 19,2 - 9,6 \cdot 9,6) \cdot 10^{-3} = 56,3 \text{ кг} \quad (3.47)$$

48. Средняя длина витка катушек а) 12 витков 1-й секции, уложенной снизу,

$$i'_{ср.к1} = 2(B - 2R) + 2(B - 2R) + 2\pi \left[R + \frac{A + E}{4} \right] = \\ 2(111 - 2 \cdot 10) + 2(165 - 2 \cdot 10) + 2 \cdot 3,14 \left[10 + \frac{32 + 35}{4} \right] = \\ 472 + 168 = 0,64 \text{ м} \quad (3.48)$$

б) 24 витка 2-й секции, уложенной сверху,

$$i''_{ср.к1} = 472 + 2 \cdot 3,14 \left[(10 + 32) + \frac{51 + 54}{4} \right] = 0,89 \text{ м}$$

в) целой катушки № 1

$$i_{cp,k1} = 472 + 2 \cdot 3,14 \left[10 + \frac{(32+51) + (35+54)}{4} \right] = 0,8 \text{ м}$$

49. Средняя длина витка катушек № 2

$$i_{cp,k2} = 472 + 2 \cdot 3,14 \left[10 + \frac{82+85}{4} \right] = 0,794 \text{ м}$$

Масса катушки № 1

$$\begin{aligned} G_{k1} &= \gamma K_y \cdot 10^{-3} (\omega_{k1}^* q_{1(1)} i_{cp,k1}^* + \omega_{k1}^* q_{1(2)} i_{cp,k1}^*) = \\ &8,9 \cdot 1,08 \cdot 10^{-3} (12 \cdot 17,64 \cdot 0,64 + 24 \cdot 13,79 \cdot 0,88) = \\ &1,34 + 2,86 = 4,2 \text{ кг} \end{aligned} \quad (3.49)$$

50. Масса катушки № 2 $G_{k2} = 8,9 \cdot 1,09 \cdot 10^{-3} \cdot 46 \cdot 9,3 \cdot 0,794 = 3,3 \text{ кг}$

51. Масса первичной обмотки $G_1 = 2G_{k1} + 2G_{k2} = 2 \cdot 4,2 + 2 \cdot 3,3 = 15 \text{ кг}$

52. Размеры размеры диска:

$$\begin{aligned} L &= b_c + (Ж - 5) = 48 + 4 + 48 + (11 - 5) = 106 \text{ мм}, \\ P &= h + (Г - 5) = 140 + (25 - 5) = 160 \text{ мм}, \\ C + d_{mp} &= E_{k1} + 3 = (35 + 54) + 3 = 92 \text{ мм}, \\ C &= 92 - d_{mp} = 92 - 11 = 81 \text{ мм}, \\ \Pi &= A + (2 + 5 + 5 + \delta_k) = 86 + 12 + 8 = 106 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (3.50)$$

53. Средняя длина витка диска

$$\begin{aligned} l_{cp2} &= 2(L - 2R) + 2(P - 2R) + 2\pi \left[10 + \frac{2K + \Pi + C}{8} \right] = \\ &2(106 - 2 \cdot 10) + 2(160 - 2 \cdot 10) + 2\pi \left[10 + \frac{2 \cdot 78 + 106 + 81}{8} \right] = 0,784 \text{ м} \end{aligned} \quad (3.51)$$

54. Масса двух дисков

$$G_2 = 2(\gamma l_{cp2} q_{2(1)}) \cdot 10^{-3} = 2(8,9 \cdot 0,784 \cdot 624) \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 4,35 \text{ кг} = 8,7 \text{ кг}. \quad (3.52)$$

55. Размеры и масса дисков уточняется после конструктивного оформления вторичного витка. Тогда же подсчитывается и масса контактных плит.

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

56. Потери холостого хода трансформатора: а) на номинальной ступени при $B_n = 1,38 T$; $P_0 = K_0 \rho G_{ж} = 1,15 \cdot 6,32 \cdot 56,3 = 410 \text{ Вт}$; б) на последней ступени при $B = 1,58 T$; $P_{0 \text{ макс}} = 1,15 \cdot 8,56 \cdot 56,3 = 554 \text{ Вт}$.

57 Средняя длина магнитной линии

$$l_{\mu} = 2(96 + 96) + 2\pi \frac{96}{2} = 68,4 \text{ см.} \quad (3.53)$$

58 Суммарная м. д. с., необходимая для создания магнитного потока в стали сердечника и воздушных зазорах для номинальной ступени:

$$\begin{aligned} \sum AW &= AW_{ж} + AW_{\delta} = a\omega l_{\mu} + 0,8B\delta_3 \cdot 10^4 = \\ &14,8 + 68,4 + 0,8 \cdot 1,38 \cdot 2 \cdot 0,005 \cdot 10^4 = 1110 \text{ А.} \end{aligned} \quad (3.54)$$

59. Абсолютное значение тока холостого хода

$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0p}^2} = \sqrt{1,14^2 + 7,4^2} = 7,5 \text{ А,} \quad (3.55)$$

где

$$\begin{aligned} I_{0a} &= \frac{P_0}{U_1} = \frac{410}{360} = 1,14 \text{ А;} \\ I_{0p} &= \frac{\sum AW}{K_r \sqrt{2}(W_1)_7} = \frac{1110}{1,13 \cdot 1,41 \cdot 94} = 7,4 \text{ А.} \end{aligned}$$

60. Величина тока холостого хода в процентах от номинального расчетного $i_0 = \frac{I_0}{I_1} \cdot 100 = \frac{7,5}{62} \cdot 100 = 12\%$, что меньше 20 % и удовлетворяет ГОСТ 297 – 73.

61. Ток холостого хода на последней ступени при $B = 1,58 T$

$$I_{0 \text{ макс}} = \sqrt{1,53^2 + 15,6^2} = 15,7 \text{ А; здесь } I_{0a} = \frac{554}{360} = 1,53 \text{ А;}$$

$$\sum AW = 32,9 \cdot 68,4 + 0,8 \cdot 1,58 \cdot 2 \cdot 0,005 \cdot 10^4 = 2376 \text{ и}$$

$$I_{0p} = \frac{2376}{1,32 \cdot 1,41 \cdot 82} = 15,6 \text{ А.}$$

62. Омическое сопротивление 12 витков катушки №1

$$K_{F2} = 1,0184.$$

В процентах $K_{F2} = 1,8\%$

70. Для одного диска вторичного витка

$$\alpha'_2 = 2a_o \sqrt{\frac{fK}{l_s \rho \cdot 10^4}} = 2 \cdot 0,8 \sqrt{\frac{50 \cdot 7,8}{9,6 \cdot 0,0175 \cdot 10^4}} = 0,77 \text{ см},$$

$$K_{F2} = 1 + 0,09(0,77)^4 = 1,031.$$

В процентах $K_{F2} = 3,1\%$

71. Активное сопротивление 12 витков

$$r_{(1)} = r_{0(1)} K'_{Fk1} = 0,0076 \cdot 1,0063 = 0,00765 \text{ Ом}.$$

72. Активное сопротивление 24 витка $r_{1(2)} = 0,027 \cdot 1,017 = 0,0274 \text{ Ом}.$

73. Активное сопротивление катушки №2 $r_{(2)} = 0,068 \cdot 1,0184 = 0,0692 \text{ Ом}.$

74. Активное сопротивление одного диска вторичного витка

$$r_o = r_{0(o)} K_{F2} = 22 \cdot 10^{-6} \cdot 1,03 = 22,7 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}. \quad (3.58)$$

75. Активное сопротивление первичной обмотки: а) на номинальной седьмой ступени при 20°C

$$r_{1(20^{\circ})} = 2 \cdot 0,00765 + \frac{0,0274}{2} + \frac{0,0692}{2} = 0,0636 \text{ Ом}; \quad (3.59)$$

б) на первой ступени $r_{(1)} = 2 \cdot 0,0765 + 2 \cdot 0,0273 + 2 \cdot 0,0692 = 0,208 \text{ Ом}.$

76. Активное сопротивление вторичного витка

$$r_{2(20^{\circ})} = \frac{1}{n_o} r_o = \frac{22,7 \cdot 10^{-6}}{2} = 11,35 \cdot 10^{-6} \text{ Ом},$$

77. Активное сопротивление вторичной обмотки на седьмой ступени при $t_{\text{ооо}} = 100^{\circ}\text{N}$

$$r_i = r_{(1)20^{\circ}} (1 + \alpha(100 - 20)) = 0,0636(1 + 0,0039 \cdot 80) = 0,068 \cdot 1,312 = 0,084 \text{ Ом}.$$

78. Активное сопротивление вторичной обмотки при $t_{\text{роб}} = 45^{\circ}\text{C}$

$$r_2 = 11,35 \cdot 10^{-6} (1 + 0,0039 \cdot 25) = 11,35 \cdot 10^{-6} \cdot 1,097 = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

79. Потери в первичной обмотке на номинальной ступени при номинальном токе

$$P_{1н} = I_{1н}^2 r_1 = 138^2 \cdot 0,084 = 1600 \text{ Вт.} \quad (3.60)$$

80. То же при расчетном токе

$$P_1 = I_1^2 r_1 = 62^2 \cdot 0,084 = 322 \text{ Вт.}$$

81. Потери во вторичном витке

$$P_{2н} = I_{2н}^2 r_2 = 12500^2 \cdot 12,5 \cdot 10^{-6} = 1950 \text{ Вт.}$$

$$P_2 = I_2^2 r_2 = 5600^2 \cdot 12,5 \cdot 10^{-6} = 392 \text{ Вт.}$$

82. Активное сопротивление обмоток трансформатора, приведенное ко вторичной обмотке, для первой ступени

$$r_{T(1)} = \frac{r_{(1)} 1,32}{K^2} + r_2 = \frac{0,208 \cdot 1,312}{164^2} + 12,5 \cdot 10^{-6} = 22,7 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.} \quad (3.61)$$

83. Для номинальной ступени

$$r_T = \frac{r_{(1)}}{K^2} + r_2 = \frac{0,084}{94^2} + 12,5 \cdot 10^{-6} = 22 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

84. На первой ступени 1 и 2 РИМСКИМИ катушек группы обмоток включены последовательно и индуктивное сопротивление трансформатора, приведенное к первичной обмотке, $X'_{T(1)} = X_{гп1} + X_{гп2}$.

На первой ступени катушки в группах 1 и 2 РИМСКИМИ соединены между собой последовательно и группа 1 идентична группе 2; следовательно, можно считать, что $X'_{T(1)} = 2X_{гп1} = 2(X_{(1)} + X_{(2)})$.

Определяем индуктивные сопротивления трансформатора:

$$X'_{T(1)} = 2(X_{(1)} + X_{(2)}) = 2 \cdot 9,5 \cdot 10^{-6} \cdot$$

$$\left[\frac{80 \cdot 0,955(12+24)^2}{9,6} \left[\frac{1}{3} + 0,44 + \frac{(12+24)0,8}{3(12+24+46)} \right] + \frac{79,4 \cdot 0,958 \cdot 46^2}{9,6} \left[\frac{0,86}{3} + 0,44 + \frac{46 \cdot 0,8}{3(46+12+24)} \right] \right]$$

$$= 2 \cdot 0,22 = 0,45 \text{ Ом.} \quad (3.62)$$

Здесь

$$l_{ср,к1} = 80 \text{ см; } l_{ср,к2} = 79,4 \text{ см; } \omega_{к1} = (12+24) = 36; \omega_{к2} = 46; b_0 = 9,6 \text{ см;}$$

$$b_{к1} = 1 \text{ см; } b_{к2} = 0,85 \text{ см; } a_0 = 0,8 \text{ см.}$$

Толщина изоляции между любой катушкой и диском $\Delta_1 = \Delta_2 = 0,44 \text{ см}$ и складывается из следующих слагаемых:

1) односторонней толщины провода по стороне b , равной $\frac{0,27}{2} = 0,135 \text{ см,}$

2) толщины изоляции катушки: а) лакоткани стеклоэскапоновой ЛСЭ – 1 $0,17 \text{ мм} = 1 \text{ слой}$ вполнахлестки – $0,034 \text{ см;}$ б) ленты стекляной $0,2 \text{ мм,}$ пропитанной электроизоляционным лаком МЛ – 92, вполнахлестки – $0,04 \text{ см;}$

3) толщина шайбы изоляционной из стеклотекстолита $0,1 \text{ см;}$

4) воздушных зазоров между наружной изоляцией и проводом, разбухания от пропитки и производственных отклонений – приблизительно $0,13 \text{ см.}$

85. Коэффициент Роговского для катушки №1

$$K_{Rk1} = 1 - \frac{1}{2\pi\chi_{к1}} = 1 - \frac{1}{6,28 \cdot 3,58} = 0,955 \quad (3.63)$$

$$\chi_{к1} = \frac{b_0}{2\Delta_1 + b_{к1} + a_0} = \frac{9,6}{2 \cdot 0,44 + 1 + 0,8} = 3,58 \text{ см.} \quad (3.64)$$

86. Для катушки №2

$$K_{Rk2} = 1 - \frac{1}{2 \cdot 3,58} = 0,958$$

$$\chi_{к2} = \frac{9,6}{2 \cdot 0,44 + 0,85 + 0,8} = 3,8 \text{ см.}$$

87. Индуктивное сопротивление трансформатора, соответствующее первой ступени, приведенное ко вторичной обмотке:

$$X_{T(1)} = \frac{X'_{T(1)}}{(\omega_1)_1^2} = \frac{0,45}{164^2} = 16,7 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.} \quad (3.65)$$

88. На восьмой ступени 12 – витковые секции катушек №1 – 1..... и №1 – 11..... соединены между собой последовательно, а секции по 24 витка – параллельно. Катушки №2 соединены между собой также параллельно. В 1..... и во 2..... катушечных группах распределение токов, м. д. с. И потоков рассеяния совершенно идентичны, и, следовательно, индуктивные сопротивления их будут одинаковы.

$$X_{\text{сп1}} = X_{\text{сп1}.....} = \frac{9,5 \cdot 10^{-6} \cdot 80}{9,6} \left[0,955 \left[\frac{12}{2} + 24 \right]^2 \left[\frac{1}{3} + 0,44 + \frac{0,8 \left[\frac{12}{2} + 24 \right]}{3 \left[\frac{12}{2} + 24 + \frac{46}{2} \right]} \right] \right] +$$

$$0,958 \left[\frac{46}{3} \right]^2 \cdot \left[\frac{0,85}{3} + 0,44 + \frac{0,85 \frac{46}{2}}{3 \left[\frac{12}{2} + 24 + \frac{46}{2} \right]} \right] = 0,092 \text{ Ом.}$$

Катушечные группы 1 и 2..... включены последовательно, и, следовательно, $X'_T = X_{\text{сп1}} + X_{\text{сп2}} = 2 + 0,092 = 0,184 \text{ Ом.}$

89. Индуктивное сопротивление трансформатора на нормальной ступени, приведенное ко вторичной обмотке

$$X_T = \frac{X'_T}{K^2} = \frac{0,184}{94^2} = 20,8 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.} \quad (3.66)$$

90. Полное сопротивление трансформатора на номинальной ступени

$$Z_T = \sqrt{X_T^2 + r_T^2} = 10^{-6} \cdot \sqrt{(20,8^2 + 22^2)} = 30,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.} \quad (3.67)$$

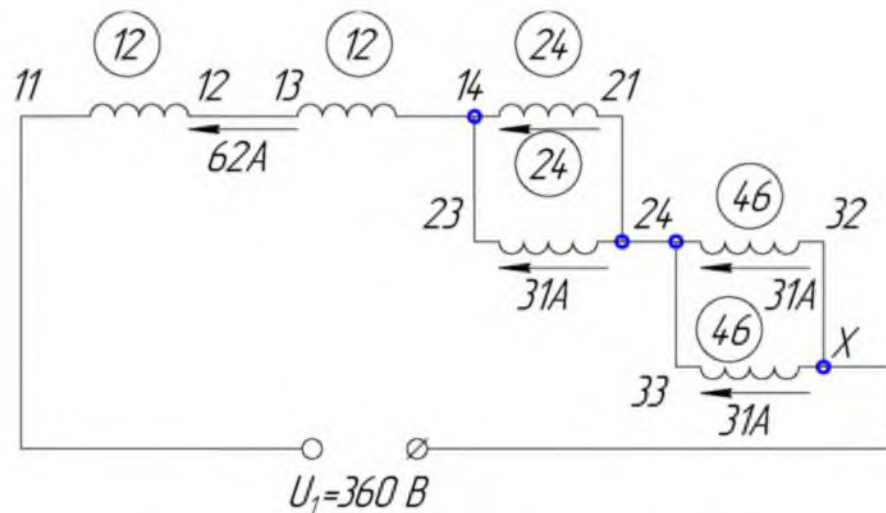


Рисунок 3.3 - Схема теплового расчета

91. Напряжение короткого замыкания

$$U = I_{1n}(r'_1 + r'_2 K^2) = 138(0,084 + 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 94^2) = 26,8 \text{ В}; \quad (3.68)$$

$$U_p = I_{1n} X'_T = 138 \cdot 0,184 = 25,4 \text{ В};$$

$$U_k = I_{1n} Z'_T = 138 \sqrt{(r'_1 + r'_2 K^2)^2 + X'^2_T} = 138 \sqrt{0,194^2 + 0,184^2} = 36,7 \text{ В};$$

$$u_k = \frac{U_k \cdot 100}{U_1} = \frac{37 \cdot 100}{360} = 10,2\%.$$

92. К. п. д. трансформатора

$$\eta = 1 - \frac{\sum P}{U_1 I_{1n} \cos \varphi_1} = 1 - \frac{3960}{360 \cdot 138 \cdot 0,85} = 0,907. \quad (3.69)$$

Здесь суммарные потери соответствующие номинальной ступени, $\sum P = P_0 + P_{1n} + P_{2n} = 410 + 1600 + 1950 = 3860 \text{ Вт}$, и ориентировочно принимаем $\cos \varphi_1 = 0,85$.

93. Для теплового расчета обмоток трансформатора на рисунке 2.6. Дана электрическая схема соединения катушек первичной обмотки на номинальной ступени и распределения тока по параллельным ветвям.

94. Потери в катушке №1 первичной обмотки, соответствующие расчетным значениям токов, $P_{(1)} = P_{(1)1} + P_{(1)2} = 38,6 + 34,5 = 73,1 \text{ Вт}$. Здесь $P_{(1)1} = I_{(1)1}^2 r_{(1)1} = 62^2 \cdot 0,00765 \cdot 1,312 = 38,6 \text{ Вт}$ - тоже 24 - витковой секции катушки №1.

95. В катушке №2 $P_{(2)} = I_{(2)}^2 r_{(2)} \cdot 1,312 = 31^2 \cdot 0,0692 \cdot 1,312 = 88 \text{ Вт}$.

96. В одном диске вторичного витка

$$P_o = I_{2o}^2 r_o \frac{1,097 \cdot 1}{n_o^2} = 5600^2 \cdot 22,7 \cdot 10^{-6} \frac{1,097 \cdot 1}{2^2} = 195 \text{ Вт.} \quad (3.70)$$

Здесь 1,312 и 1,097 – коэффициенты приведения активного сопротивления первичной и вторичной обмоток.

97. Поверхность сопротивления катушек первичной обмотки с дисками вторичного витка для катушки №1 $F_{к1} = l_{сп.к1} A_{к1} = 80 \cdot 8,6 = 688 \text{ см}^2$

98. Для катушки №2 $F_{к2} = l_{сп.к2} A_{к2} = 7764 \cdot 8,5 = 656 \text{ см}^2$

99. Удельный тепловой поток от провода катушки №1 к диску вторичной обмотки для катушки №1

$$\frac{P_{(1)}}{F_{к1}} = \frac{73,1}{688} = 0,106 \text{ Вт/см}^2 \quad (3.71)$$

100. Для катушки №2

$$\frac{P_{(2)}}{F_{к2}} = \frac{88}{656} = 0,134 \text{ Вт/см}^2$$

Из этих расчетов следует, что наибольший перепад температуры от провода катушки к диску будет в катушках №2, имеющих наибольший удельный тепловой поток, поэтому определяем температуру нагрева катушек №2. При расчете принимаем, что поток охлаждающей воды направлен от 1.... Катушечной группы ко 2..... и рассчитываемые нами катушки №2 расположены в 1.... И во 2..... катушечных группах.

101. Среднее превышение температуры охлаждающей воды при прохождении ее по 1..... катушечной группе

$$\Delta t_6 = \frac{P_{сп1...}}{C_v Q \cdot 10^3} = \frac{P_{(1)} + P_{(2)} + P_o}{4,18 \cdot 0,036 \cdot 10^3} = \frac{73,1 + 88 + 195}{4,18 \cdot 36} = 2,4^\circ \text{C.} \quad (3.72)$$

Расход охлаждающей воды принимаем равным $Q = 120 \text{ л/ч} = 0,036 \text{ л/с}$.

102. Перепад температуры от внутренней поверхности трубки к воде

$$\Delta t_{дв} = \frac{P_{сп1...}}{\alpha F_T} = \frac{356,1}{0,49 \cdot 220} = 3,3^\circ \text{C.}$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = 1,16 \cdot 10^{-4} b v^{0,87} d^{-0,13} = 1,16 \cdot 10^{-4} \cdot 2270 \cdot 0,96 \cdot 1,97 = 0,49 \text{ Вт/(см}^2 \cdot \text{K)} \quad (3.73)$$

Здесь коэффициент b взят в зависимости от так называемой температуры t_{cp} , для расчета которой принимаем:

а) $t_{o.e} = 15^{\circ}C$ - температура охлаждающей воды на входе в трансформатор;

б) $t_{o.e} = 5^{\circ}C$ - предполагаемый перепад от поверхности трубки к воде.

Средняя температура

$$t_{cp} = t_{o.e} + 0,1(2t_{o.e} + \Delta t_e + \Delta t'_{д.в.}) = 15 + 0,1(2 \cdot 15 + 2,36 + 5) = 18,74^{\circ}C. \quad (3.74)$$

Следует, что температуре $t_{cp} = 18,74^{\circ}C$ соответствует $b = 2270$. Скорость истечения воды

$$v = \frac{Q \cdot 10^3}{S_T} = \frac{0,036 \cdot 10^{-3}}{38,5 \cdot 10^{-6}} = 0,94 \text{ м/с}, \quad (3.75)$$

$$S_T = \frac{\pi d_T^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,007^2}{4} = 38,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (3.76)$$

Здесь внутренний диаметр трубки

$$d_T = 0,007 \text{ м}, \quad v^{0,87} = 0,94^{0,87} = 0,96 \text{ и } d^{-0,13} = 0,007^{-0,13} = 1,97. \quad (3.77)$$

Площадь внутренней поверхности охлаждающей трубки одного диска $F_T = \pi d_T l_T \cdot 10^4 = \pi \cdot 0,007 \cdot 1 \cdot 10^4 = 230 \text{ см}^2$, где длина трубки одного диска (по чертежу) $l_T = 1 \text{ м}$. Так как предполагаемый перепад температуры от поверхности трубки к воде $\Delta'_{д.в.}$ не более полученного $\Delta_{д.в.}$, то уточненного пересчета t_{cp} , b и α делать не надо.

103. Перепад температуры между диском и катушкой №2 группы 2

$$\Delta_1 = \frac{P_{(2)} \Delta_1}{\lambda F_{K2}} = \frac{88 \cdot 0,44}{0,0014 \cdot 656} = 42,4^{\circ}C. \quad (3.78)$$

Здесь Δ_1 - см. λ - см. см справочник для изоляции класса В.

104. Температура нагрева провода катушки №2

$$t_1 = \Delta_1 + \Delta t_{o.e.} + \Delta t_e + t_{o.e.} = 42,4 + 3,3 + 2,4 + 15 = 63,1^{\circ}C. \quad (3.79)$$

4. ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63

Изготовление любого изделия характеризуется многовариантностью возможных технологических решений в зависимости от выбранной последовательности операций, их характера, способа выполнения, применяемого оборудования и технологической оснастки будут изменяться затраты на изготовление изделия.

Конкурентоспособность изделия на рынке предусматривает их соответствие ряду технических, экономических и экологических показателей, среди которых доступные цены, малое основное и вспомогательное время на изготовление, надежность, которая обеспечивается за счет автоматизации производства.

Внедрение новой, более совершенной технологии позволяет повысить производительность труда, повысить его качество - за счет комплексной механизации производства. В данном дипломном проекте, в отличие от базового варианта, используется механизированное сборочно-сварочное приспособление, дающее экономическую эффективность.

Экономическая целесообразность проекта определяется на основе расчета и сопоставления технико-экономических показателей базового и проектного варианта.

4.1 Расчет норм времени

Расчет нормы времени зависит от типа производства. При серийном производстве рассчитываем штучное время $t_{шт}$:

$$t_{шт} = t_0 + t_{вн} + t_{обс} + t_{отд} \quad (4.1)$$

где t_0 – основное время сварки изделия (образование сварного соединения), мин;

$t_{вн}$ – вспомогательное время, мин;

$t_{обс}$ – время, затрачиваемое рабочим на уход за рабочим местом, $t_{обс}$ в размере 10 % от $t_{опер}$, мин;

$t_{отд}$ – время на отдых, $t_{отд}$ в размере 7 % от $t_{опер}$, мин.

Базовая технология	Проектируемая технология
$t_{опер} = t_0 + t_{вн} = 20 \text{ с}$	$t_{опер} = t_0 + t_{вн} = 6 \text{ с}$
$t_{обс} = t_{опер} \cdot 0,1 = 2 \text{ с}$	$t_{обс} = t_{опер} \cdot 0,1 = 0,6 \text{ с}$
$t_{отд} = t_{опер} \cdot 0,07 = 1,4 \text{ с}$	$t_{отд} = t_{опер} \cdot 0,07 = 0,42 \text{ с}$
$t_{шт} = 20 + 2 + 1,4 = 23,4 = 0,0065 \text{ н-ч}$	$t_{шт} = 6 + 0,6 + 0,42 = 7,02 = 0,0015 \text{ н-ч}$

Расчет действительного фонда времени работы оборудования производится по формуле:

$$F_{\phi}^0 = F_{НОМ}^0 \cdot k_{ППР}, \quad (4.2)$$

где F_{σ}^0 - действительный фонд времени работы оборудования, ч/год;

$F_{НОМ}^0$ - номинальный годовой фонд времени работы оборудования, ч/год;

k - коэффициент учитывающий время по плану на капитальный и средний ремонт, текущее планово-предупредительное обслуживание, $k=0,95$.

Номинальный годовой фонд работы оборудования определяется по формуле:

$$F_{НОМ}^0 = \frac{D_2 \cdot Ч_н}{D_н}, \quad (4.3)$$

где D_2 - число дней работы в году, $D_2 = 449$ дней;

$Ч_н$ - число часов работы в неделю, $Ч_н = 40$ ч;

$D_н$ - число дней работы в неделю, $D_н = 5$ дней.

$$F_{НОМ}^0 = \frac{249 \cdot 40}{5} = 1992$$

$$F_{\sigma}^0 = 1992 \cdot 0,97 = 1932$$

Действительный фонд времени рабочего рассчитывается по формуле:

$$F_{\sigma}^p = F_{НОМ}^p \cdot k_0, \quad (4.4)$$

где F_{σ}^p - действительный фонд времени рабочего, ч/год;

$F_{НОМ}^p$ - номинальный фонд времени рабочего, ч/год;

k_0 - коэффициент, учитывающий время по плану на отпуска, болезни, выполнение общественных и государственных обязанностей, $k=0,88$.

$$F_{НОМ}^p = \frac{D_2 \cdot Ч_н}{D_н}, \quad (4.5)$$

где $Ч_н$ - число часов работы в неделю рабочего, $Ч_н = 40$ ч.

$$F_{НОМ}^p = \frac{249 \cdot 40}{5} = 1992 \text{ ч.}$$

$$F_{\sigma}^p = 1992 \cdot 0,88 = 1753 \text{ ч.}$$

4.2 Расчет количества сварочного оборудования

Расчетное количество сварного оборудования, необходимое для выполнения планового задания C_p , следует определять следующим образом:

$$C_p = \frac{t_{шт.к} \cdot N}{F_d^o \cdot k_v \cdot k_{пр}} \quad (4.6)$$

где N – годовая программа выпуска изделий, шт;

$t_{шт.к}$ – штучное время, ч;

F_d^o – действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч/год;

k_v – коэффициент выполнения норм выработки, ($k_v = 1,2$);

$k_{пр}$ – коэффициент простоя оборудования, ($k_{пр} = 0,8$).

Базовая технология

$$C_p = \frac{0,0065 \cdot 1000000}{1932 \cdot 1,2 \cdot 0,8} = 3,5$$

Проектируемая технология

$$C_p = \frac{0,0015 \cdot 1000000}{1932 \cdot 1,2 \cdot 0,8} = 0,8$$

Базовая технология

4 универсальных установки
контактной сварки МТПУ-300

Проектируемая технология

1 универсальная установка
конденсаторной контактной сварки
ТКМ-50

Итого в базовом варианте 4 единицы оборудования, а в проектируемом варианте 1 единица оборудования.

4.3 Расчет количества основных рабочих

Определяем расчетное количество основных рабочих P_p^o :

$$P_p^o = \frac{t_{шт.к} \cdot N}{F_d^p \cdot k_v}, \quad (4.7)$$

где F_d^p – действительный фонд времени работы одного рабочего в год, ч/год;
 k_v – коэффициент выполнения норм выработки рабочими, $k_v = 1,2$.

Базовая технология

$$P_p^o = \frac{0,0065 \cdot 1000000}{1753 \cdot 1,2 \cdot 0,8} = 3,8$$

Проектируемая технология

$$P_p^o = \frac{0,0015 \cdot 1000000}{1753 \cdot 1,2 \cdot 0,8} = 0,9$$

Принятое количество основных рабочих $P_{пр}^0$ определяется путем округления расчетной величины P_p^0 до целого (не менее количества оборудования):

$$P_{пр}^0 = 4 \text{ чел.}$$

$$P_{пр}^0 = 1 \text{ чел.}$$

4.4 Расчет капитальных вложений

Расчет капитальных вложений производится по формуле:

$$K_{общ} = K_{об} + K_{пр} \quad (4.8)$$

где $K_{общ}$ – общие капитальные вложения, руб;

$K_{об}$ – капитальные вложения в сварочное оборудование, руб;

$K_{пр}$ – капитальные вложения в сборочно - сварочные приспособления, руб.

Капитальные вложения в сварочное оборудование:

Базовая технология

Проектируемая технология

$$K_{об} = 4 * 290000 \text{ (МТПУ-300)} = 1160000 \text{ руб} \quad K_{об} = 1 * 790000 \text{ (ТКМ-50)} = 790000 \text{ руб}$$

Капитальные вложения в приспособления

Базовая технология

Проектируемая технология

НЕТ

$$K_{пр} = 25000 \text{ (вспомогательное оборудование)}$$

Общие капитальные вложения по вариантам

Базовый

Проектируемый

$$K_{общ} = 1160000 \text{ руб.}$$

$$K_{общ} = 815000 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения:

$$K_{уд} = K_{общ} / N, \quad (4.9)$$

где N – программа выпуска.

Базовая технология

Проектируемая технология

$$K_{уд} = 1160000 / 1000000 = 1,16 \text{ руб.}$$

$$K_{уд} = 815000 / 1000000 = 0,82 \text{ руб.}$$

4.5 Расчет текущих затрат

В сварочном производстве определяют себестоимость производства сварных конструкций и себестоимость собственно сварочных работ.

Себестоимость сварочных работ определяют во время анализа различных способов сварки с целью нахождения наиболее рационального способа производства заданных сварных конструкций, а также при расчете экономической эффективности внедрения новой сварочной техники. При этом в большинстве случаев используют технологическую себестоимость, состоящую из затрат по изменяющимся статьям в сравниваемых вариантах.

Технологическая себестоимость C_T сварочных работ на одно изделие включает затраты на сварочные материалы C_M , на технологическую электроэнергию $C_э$, заработную плату $C_з$, расходы на содержание и эксплуатацию оборудования $C_{об}$.

Определяем технологическую себестоимость C_m сварочных работ на одно изделие:

$$C_m = C_M + C_э + C_з + C_{об}, \quad (4.10)$$

где C_M – затраты на вспомогательные материалы;

$C_э$ – затраты на технологическую электроэнергию;

$C_з$ – затраты на заработную плату

$C_{об}$ – расходы на эксплуатацию и содержание оборудования.

Затраты на сварочные материалы рассчитываются по формуле:

Подсчитаем затраты на материалы C_M при использовании припоя ПСП–40 при годовой программе выпуска.

Стоимость 1 кг припоя ПСП–40 равна 1000 руб./кг.

Для изготовления годовой программы выпуска в 1000000 соединений и при использовании 2-х граммов припоя для получения одного паяного соединения понадобится:

$$M = 1 * 2 / 1000 = 0,002 \text{ кг}$$

Затраты на припой при выполнении программы выпуска:

$$C_M = 0,002 * 1000 = 2 \text{ руб.}$$

В проектируемой технологии вспомогательных материалов нет.

Для контактной сварки затраты на технологическую электроэнергию $C_э$ определяем, исходя из мощности машины и количества точек по [метод]:

					БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

$$C_3 = P_3 \cdot C_3, \quad (4.11)$$

где P_3 – потребляемая энергия, кВт*ч;
 C_3 – цена электроэнергии, руб/кВт*ч.

$$P_3 = P_M \cdot t_0 \cdot N_T, \quad (4.12)$$

где P_M – мощность машины, кВт;
 N_T – количество точек.

Базовый вариант
 $P_3 = 300 \cdot 0,003 \cdot 1 = 0,9 \text{ кВт*ч.}$

Проектируемый вариант
 $P_3 = 42 \cdot 0,00011 \cdot 1 = 0,0046 \text{ кВт*ч.}$

Базовый вариант
 $C_3 = 0,9 \cdot 1,2 = 1,1 \text{ руб}$

Проектируемый вариант
 $C_3 = 0,0046 \cdot 1,2 = 0,0055 \text{ руб}$

$$C_3 = Z_0 + Z_d + O_c, \quad (4.13)$$

где Z_0 – основная з/плата, руб;
 Z_d – дополнительная з/плата, руб;
 O_c – отчисления на социальное страхование, руб.

Определяем основную заработную плату производственных рабочих:

$$Z_0 = t_{шт} \cdot k_T \cdot k_d, \quad (4.14)$$

где k_T – часовая тарифная ставка рабочего, $k_T = 40$ руб/ч;
 k_d – коэффициент, учитывающий величину доплат к тарифной з/плате.

Базовый вариант	Проектируемый вариант
$Z_0 = 0,0065 \cdot 40 \cdot 1,6 = 0,42 \text{ руб}$	$Z_0 = 0,0015 \cdot 40 \cdot 1,6 = 0,096 \text{ руб}$

Определяем дополнительную заработную плату производственных рабочих (рассчитываем в процентах от основной з/платы):

$$Z_d = Z_0 \cdot \frac{g}{100}, \quad (4.15)$$

где g – процент дополнительной з/платы, $g = 15\%$.

Базовый вариант
 $Z_d = 0,42 \cdot \frac{15}{100} = 0,063 \text{ руб.}$

Проектируемый вариант
 $Z_d = 0,096 \cdot \frac{15}{100} = 0,014 \text{ руб.}$

Отчисления на социальные нужды определяем в процентах от суммы основной и дополнительной заработной платы:

$$O_c = (Z_o + Z_o) \cdot \frac{C}{100}, \quad (4.16)$$

где C – процент отчислений.

Базовый вариант	Проектируемый вариант
$O_c = (0,42 + 0,063) \cdot \frac{27,2}{100} = 0,071$	$O_c = (0,096 + 0,014) \cdot \frac{27,2}{100} = 0,03$
$C_3 = 0,42 + 0,063 + 0,071 = 0,55$ руб/изд.	$C_3 = 0,096 + 0,014 + 0,03 = 0,14$ руб/изд.

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования определяем по формуле:

$$C_{об} = A_o + Z_{тр}, \quad (4.17)$$

где A_o – амортизационные отчисления;

$Z_{тр}$ – затраты на текущий ремонт и обслуживание сварочного производства.

Затраты на амортизацию сварочного оборудования по формуле:

$$A_o = \frac{\sum_{i=1}^m S_i \cdot n_i \cdot H_a \cdot \eta_{загр}}{N \cdot 100}, \quad (4.18)$$

где S_i – балансовая стоимость единицы оборудования i – типоразмера;

n_i – количество единиц оборудования;

H_a – норма амортизационных отчислений. (27%).

Базовый вариант	Проектируемый вариант
$A_o = (1160000 \cdot 27 \cdot 0,87) / (1000000 \cdot 100) = 0,27$ руб.	$A_{o2} = (815000 \cdot 27 \cdot 0,8) / (1000000 \cdot 100) = 0,18$ руб.

Затраты на текущий ремонт и обслуживание оборудования рассчитываем по формуле:

$$Z_{тр} = (P_o \cdot K_{об}) / (N \cdot 100), \quad (4.19)$$

где P_o - процент отчислений на текущий ремонт оборудования, $P_o = 11\%$.

$$\begin{array}{l} \text{Базовый вариант} \\ Z_{\text{тр}} = (1160000 \cdot 11) / (1000000 \cdot 100) = 0,13 \text{ руб.} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Проектируемый вариант} \\ Z_{\text{тр}} = (815000 \cdot 11) / (1000000 \cdot 100) = 0,08 \text{ руб.} \end{array}$$

Таким образом, на основе вышеприведённых расчётов определим $C_{\text{об}}$:

$$\begin{array}{l} \text{Базовый вариант} \\ C_{\text{об1}} = 0,27 + 0,13 = 0,4 \text{ руб.} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Проектируемый вариант} \\ C_{\text{об2}} = 0,18 + 0,08 = 0,26 \text{ руб.} \end{array}$$

Рассчитаем полные текущие затраты:

$$\begin{array}{l} \text{Базовый вариант} \\ C_m^{\text{б}} = 2 + 1,1 + 0,55 + 0,4 = 4,05 \text{ руб} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Проектируемый вариант} \\ C_m^{\text{пр}} = 0,0055 + 0,14 + 0,26 = 0,41 \text{ руб.} \end{array}$$

Определяем годовой экономический эффект, руб:

$$\mathcal{E}_T = \left((C_{\text{баз}} + E_n \cdot K_{\text{уд}}^{\text{баз}}) - (C_{\text{пр}} + E_n \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пр}}) \right) \cdot N \quad (4.20)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_T &= ((4,05 + 0,4 \cdot 1,16) - (0,41 + 0,4 \cdot 0,82)) \cdot 1000000 = \\ &= (4,77 - 0,72) \cdot 1000000 = 4050000 \text{ руб} \end{aligned}$$

Результаты расчета сведены в таблицу графической части проекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработана экспериментальная установка для контактной сварки медных пластин. При этом проанализирован выбор основного металла изделия с точки зрения свариваемости и соответственно его механических характеристик.

Выбран механизм сжатия при контактной стыковой сварке. Расчитаны режимы стыковой сварки оплавлением, подвижные части установки и трансформатор тока.

Произведено экономическое сравнение базового варианта изготовления с помощью пайки с предложенным вариантом изготовления – стыковая сварка оплавлением. Показано экономическое и технологическое преимущество метода сварки на экспериментальной сварочной установке.

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		72

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коренюк Ю.М. Сварка меди под флюсом.-М. Машиностроение, 1967.-63с.
2. Рабкин Д.М., Фрумин И.И. Причины образования горячих трещин в сварных швах.-Автомат.сварка,1950,№2, с.31-35.
3. Балковцова Д.С., Поплавко М.В. Сварка цветных металлов. - М.: Оборонгиз. 1961.
4. Чайка В.Г., Касаткин О.Г., Ломаев С.В. Контактная стыковая сварка. -Киев: ИЭС им. Е.О. Патона 1985.
5. Клячкин Я. Л. Сварка цветных металлов и их сплавов.-М.Машиностроение. 1964.-335 с.
6. Петров Г.Л., Буров Н.Г. Технология и оборудование газопламенной обработки металлов.-Л. Машиностроение, 1970.-288 с.
7. Дживага Н.И. Электродуговая сварка цветных металлов и сплавов.-Л.: Судпромгиз, 1961.-139 с.
8. Нибург А.К. Газопламенная обработка металлов с использованием газов заменителей ацетилен.-М.Машиностроение, 1976.-152 с.
9. Мальстрем А.И. Электрическая дуговая сварка меди.-Л.:Машгиз,1954.-75с.
10. Сварка и резка в промышленном строительстве:Справочник/Под ред. Б.Д. Малышева.-М.:Стройиздат,1977.-780 с.
11. Рабкин Д.М., Гуревич СМ., Бугрий Ф.С. Сварка цветных металлов.-Москва;КиевМашгиз,1959.-70 с.
12. Илюшенко В.М. Сварка и наплавка тяжелых цветных металлов.-Киев: О-во "Знание",УСССР,1977.-24 с.
13. Wegrzyn J. Spawanie miedzi i jej stopou elektrodami glebokow tapia ja сумі.-Prz.spaw., 1966
14. Dawson R.I. Fusion welding and Brazing of copper and copper alloys.-New York:Halsted press book, 1973.-139 p.
15. Гуляев А.И. Технология точечной и рельефной сварки сталей. - М.: Машиностроение, 1978. - 246 с., ил.
16. Кабанов Н.С., Слепак Э.Ш. Технология стыковой контактной сварки. -М.: Энергия, 1970
17. Гуревич С.М. Справочник по сварке цветных металлов. - Киев: Наука думка 1981
18. Фролов В.В., Парусов А.И. Сварка меди и медных сплавов.-В кн.:Справочник по сварке.М.:Машиностроение,1971,т.4,с.325-338.
19. Рукосуев А.П. Материаловедение. – Красноярск, ИПЦ КГТУ, 2003. – 398 с.
20. Гельман А.С. Основы сварки давлением. – М.:Машиностроение, 1970 – 312 с.
21. Кочергин К.А. Сварка давлением. – М.:Машиностроение, 1972 – 216 с.

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73

22. Патон Б.Е., Лебедев В.К. Электрооборудование для контактной сварки. - М.:Машиностроение, 1969 – 440 с.
23. Чулошников П.Л. Точечная и роликовая электросварка легированных сталей и сплавов. - М.:Машиностроение, 1974 – 232 с., ил.
24. Рыськова З.А. Трансформаторы для электрической контактной сварки. – Л.:Энергия, 1975 – 280 с., ил.
25. Моравский В.Э. Сварка аккумулярированной энергией. – Киев: Наукова думка, 1963.
26. Глебов Л.В., Пескарев Н.А., Файгенбаум Д.С. Расчет и конструирование машин контактной сварки. – Ленинградское от-е, 1981 – 424 с., ил.
27. Глебов Л.В., Филиппов Ю.И., Чулошников П.Л. Устройство и эксплуатация контактных машин. - Ленинградское от-е, 1987 – 312 с., ил.
28. Калеко Д.М., Моравский В.Э., Чвертко И.А. Ударная конденсаторная сварка. – Киев, 1984.
29. Гуляев А.И. Технология и оборудование точечной контактной сварки. – М.:Машиностроение, 1985
30. Кочергин К.А. Контактная сварка. – Л.: Машиностроение, 1987 - 240 с.

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		74

ПРИЛОЖЕНИЕ

					<i>БР – 15.03.01 – 071106838 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>75</i>