

Проект «Инженерные кадры Зауралья»

*МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Технология и автоматизация сварочного производства»

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ**

Методические указания  
к выполнению курсовой работы  
для студентов специальности 150202.65  
и направления подготовки 150707.62

Курган 2014

Кафедра: «Технология и автоматизация сварочного производства»

Дисциплина: «Технологические основы сварки давлением»  
(специальность 150202.65, направление 150707.62).

Составил: канд. техн. наук, доц. Г. И. Соловьев.

Методические указания составлены на основе издания 1991 г. (авторы канд. техн. наук, доц. Л. Н. Лапшин, канд. техн. наук, доц. Т. П. Сорогина).

Утверждены на заседании кафедры « 27 » марта 2014 г.

Рекомендованы методическим советом университета в рамках проекта  
«Инженерные кадры Зауралья» « 24 » апреля 2014 г.

## 1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целью курсовой работы является закрепление и углубление теоретических знаний по лекционному курсу, приобретение опыта в разработке технологических процессов и расчета параметров режима контактной сварки, в расчете некоторых элементов контактных машин, а также в выборе оснастки сварочных машин и сборочно-сварочных приспособлений.

Задача курсовой работы – разработка технологии сборки и сварки изделия с расчетами режимов сварки и сопротивления вторичной цепи сварочной машины.

## 2 ТЕМАТИКА И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Темы курсовых работ выбраны по литературным данным. Они отражают реальные узлы и изделия, используемые в различных отраслях промышленности.

Студенты могут на основе своего производственного опыта, полученного в процессе практики, предлагать интересующих их тему работы. Работа выполняется, как правило, исходя из условий массового или крупносерийного производства.

Выполненная работа должна быть представлена в виде маршрутного технологического процесса сборки и сварки изделия, а также чертежей, на которых должны быть изображены эскизы вторичного контура машины, остатки сварочных машин, сборочно-сварочного приспособления и планировки рабочего места.

В качестве исходных данных для проектирования заданием устанавливается:

- конструкция узла, материал деталей, входящих в узел;
- объем выпускаемой продукции или производительность;
- способ сварки;
- требования к качеству изделия.

Объем отдельных частей работы:

- маршрутный технологический процесс 3-5 листов;
- чертежи, эскизы 1,5-2 листа формата А4;
- пояснительная записка 30-35 страниц формата А4.

## 3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1 Проанализировать конструкцию изделия, выяснить требуемые показатели качества и условия эксплуатации.

3.2 Изучить современное состояние производства заданных или аналогичных узлов по отечественной и зарубежной литературе.

3.3 Составить маршрутную схему технологических операций.

3.4 Произвести расчет параметров режима сварки. Установить метод подготовки под сварку.

3.5 Подобрать оснастку сварочной машины и сборочно-сварочные приспособления.

3.6 Рассчитать вторичный контур сварочной машины и его сопротивление.

3.7 Оформить расчетно-пояснительную записку.

## 4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

### 4.1 Составление маршрутной схемы технологических операций

Исходя из детального анализа конструкции изделия (система допусков на размеры, условия работы, показатели качеств и т.п.), определяется конкретный метод сварки заданного узла (сварка одно-, двух- и многоточечная, с пульсирующим нагревом, термообработкой в электродах сварочной машины, стыковая варка сопротивлением, оплавлением или оплавлением с подогревом, роликовая прерывистая или шаговая и т.п.

Затем устанавливается порядок технологических операций сборки и сварки изделия, намечаются методы контроля качества, и определяется место контрольных операций в общем технологическом процессе изготовления узла.

### 4.2 Расчет и выбор параметров режима сварки

Все параметры режима должны быть рассчитаны или обоснованно выбраны по литературным данным. Последнее относится к параметрам, расчет которых по каким-либо причинам невозможен.

Параметры режима, полученные расчетом, должны быть сопоставлены с имеющимися в литературе.

### 4.3 Выбор оснастки сварочной машины и сборочно-сварочного приспособления

Исходя из конструкции узла, его конфигурации и размеров, устанавливаются размеры и конфигурация внешнего контура машины, конфигурация и размеры электрододержателей и электродов. Во всех случаях при проектировании необходимо стремиться к использованию стандартных интенсивно-охлаждаемых электродов и неприменению внешних контуров машин завышенных размеров, так как это увеличивает их индуктивное сопротивление.

В соответствии с условиями производства заданного узла (с производительностью, качеством, точностью и т.п.) разрабатывается сборочно-сварочное приспособление.

Приспособление должно обеспечивать взаимное расположение деталей относительно друг друга согласно чертежу, их закрепление, возможность перемещения собранного узла и подачу его под электроды сварочной машины. В качестве исходных данных для проектирования приспособления следует использовать сведения, имеющиеся в литературе (необязательно сварочной).

Выбранную схему оснастки сварочной машины и сборочно-сварочного приспособления необходимо согласовать с руководителем курсовой работы, затем вычертить в виде эскиза с примерным соблюдением масштаба, с указанием основных размеров.

#### 4.4 Расчет вторичного контура сварочной машины и его сопротивления

Расчет вторичного контура сварочной машины и его сопротивления сводится к определению сечения его отдельных элементов, исходя из допустимой плотности тока при продолжительной работе (ПВ – 100%) и их нагрева, полного сопротивления вторичного контура, включая расчет сопротивлений контактных соединений между отдельными элементами, и индуктивного сопротивления всего контура. Кроме того, рассчитывается и строится внешняя характеристика машины, по которой определяется возможность осуществления необходимого параметра режима по току.

#### 4.5 Разработка планировки

Планировка включает рабочее место для производства всех основных и контрольных операций, оборудование, оснастку и шкафы управления, места подвода воды, сжатого воздуха и электроэнергии. Размеры оборудования и оснастки берутся по каталогам и чертежам. Рекомендации по выбору необходимых интервалов между отдельными объектами, а также условные обозначения приведены в работах [1, 9].

#### 4.6 Оформление расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка оформляется на листе формата А4.

В записке излагаются следующие материалы:

- задание на курсовую работу;
- анализ конструкции изделия, требования к показателям качества и условиям эксплуатации;
- состояние производства заданных или подобных узлов;
- маршрутная схема технологических операций;
- расчет параметров режима сварки;
- метод подготовки под сварку;
- описание оснастки машины и сборочно-сварочного приспособления;
- расчет вторичного контура сварочной машины и его сопротивления;
- расчет внешней характеристики и ее график;
- планировка рабочего места.

Завершается расчетно-пояснительная записка перечнем использованной литературы. Все ссылки на литературу в записке должны соответствовать номеру источника, который заключается в квадратные скобки. Расчетно-пояснительная записка должна иметь оглавление.

#### 4.7 Защита курсовой работы

Курсовая работа защищается студентом перед комиссией, назначенной заведующим кафедрой в составе руководителя работы и преподавателей кафедры.

Защита заключается в кратком изложении содержания работы и ответах на поставленные членами комиссии вопросы. Оценка курсовой работы определяется, исходя из качества ее выполнения, полноты проработки поставленной задачи и умения студента аргументировано отвечать на вопросы.

### 5 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

#### 5.1 Стыковая сварка сопротивлением

Рассчитать параметры режима сварки прутков диаметром 6 мм из стали марки Сталь 45. Параметрами режима этого процесса являются следующие:

- время нагрева  $t_{св}$ , с;
- величина тока  $J_{св}$ , А;
- усилие осадки  $P$ , кгс;
- установочная длина  $l_{уст}$ , мм;
- припуск на осадку  $l_{ос}$ , мм.

Время нагрева в зависимости от сечения свариваемых заготовок из низкоуглеродистых сталей рекомендуется выбирать по таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Время нагрева заготовок из низкоуглеродистых сталей

Сечение заготовок, мм <sup>2</sup>	7	25	50
Время нагрева, с	0,2 – 0,3	0,6 – 0,8	0,8 – 1,0
100	250	500	1000
1,0 – 1,5	1,5 – 2,0	2,5 – 3,0	4,5 – 5,0

Так как  $F = 28 \text{ мм}^2$ ,  $t_{св} = 0,8 \text{ с}$ .

б) Усилие осадки прикладываемое к деталям

$$P = \rho \cdot F$$

Необходимое удельное давление можно приближенно рассчитать по формуле

$$\rho := \left( 1 + 0,25 \cdot \alpha_1 \cdot \frac{F}{2\Delta H \cdot S} \right)^{\sigma T},$$

где  $F$  – площадь свариваемого сечения, см<sup>2</sup>;

$S$  – периметр стержня, см;

$\Delta_H$  – ширина зоны нагрева одной детали выше  $0,6 T_{пл}$  ( $0,4...0,6$  диаметра свариваемого стержня) см;

$\sigma_T$  – предел текучести при температуре, средней между температурой сварки и  $0,6 T_{пл}$ , кгс/см<sup>2</sup>;

$\alpha_1$  – коэффициент объемно-напряженного состояния:

для круглого сечения  $\alpha_1 = 1,3$ ; для квадрата  $\alpha_1 = 2$ ;

для прямоугольника  $\alpha_1 = 2,3$  для сечения сложной формы  $\alpha_1 = 2,5$ .

Здесь  $F = 0,28$  см<sup>2</sup>;  $\alpha_1 = 1,3$ ;  $\Delta_H = 0,5 \cdot d = 0,3$  см;  $S = 1,9$  см;  $\sigma_T = 190$  кгс/см<sup>2</sup>;

$$p := \left( 1 + 0.25 \cdot 1.3 \cdot \frac{0.28}{2 \cdot 0.3 \cdot 1.9} \right) \cdot 190 = 205.167$$

$$P := 205 \cdot 0.28 = 57.4$$

в) Сварочный ток при выбранном времени нагрева рассчитывается по формуле:

$$J_{св} = 10^3 \cdot \sqrt{\frac{T_{св}}{\left( \frac{0.24 K_p T \cdot t_{св}}{c \cdot \gamma \cdot F^2} \right) + \frac{0.24 \cdot n R_k \cdot \sqrt{t_{св}}}{F \cdot \sqrt{\pi \cdot c \cdot \gamma \cdot \lambda}}}}$$

где  $T_{св}$  – температура стыка, принимается равной температуре плавления свариваемого металла С<sup>о</sup>;

$K$  – коэффициент потерь, равный для углеродистых сталей  $0,75$ ; для аустенитных -  $0,9$ ; для меди, алюминия и их сплавов -  $0,65$ ;

$R_k$  – сопротивление холодного контакта (мкОм),

$$R_k = \frac{r_k}{p \cdot \alpha_2}$$

$\eta_k$  – контактное сопротивление при  $P = 1$  кгс, для стали мкОм;

$\eta_k = (5...6) \cdot 10^3$  мк Ом, для алюминиевых сплавов  $\eta_k = (1...2) \cdot 10^3$  мкОм;

$\alpha_2$  – показатель степени, для стали  $\alpha_2 = 0,65 \dots 0,75$ ; для алюминиевых сплавов  $\alpha_2 = 0,75 \dots 0,85$ ;

$\rho_T$  – среднее удельное сопротивление металла на участке сварки при  $T = 0,6 T_{пл}$  (мкОм см);

$\eta$  – коэффициент, учитывающий изменение сопротивления  $R_k$ ,  $\eta = 0,4$ ;

$F$  – площадь сечения свариваемых деталей, см<sup>2</sup>;

$c, \gamma, \lambda$  – соответственно теплоемкость, кал/г · С<sup>0</sup>; плотность металла детали, г/см<sup>3</sup>; коэффициент теплопроводности, кал/см · с · С<sup>0</sup>; принимаются средними в диапазоне температур  $0 \dots T_{пл}$ .

$T_{св} = 1500^\circ \text{C}$ ;  $K = 0,75$  (для углеродистых сталей)

$\rho_T = 114,9$  мкОм · см по табл.87/14/;

$C = 0,150$  кал/г · град /14/;  $\gamma = 7.85$  г/см<sup>3</sup> (/15/, приложение Г);

$\lambda = 0,062$  кал/см · с · °С (/14/, приложение Г)

$$J_{CB} := 1000 \sqrt{\frac{1500}{\frac{0.24 \cdot 0.75 \cdot 114.9 \cdot 0.8}{0.148 \cdot 7.85 \cdot 0.28} + \frac{0.24 \cdot 0.4 \cdot 294 \sqrt{0.8}}{0.28 \cdot \sqrt{3.14 \cdot 0.148 \cdot 7.85 \cdot 0.061}}} = 2000 \text{ A.}$$

г) Установочная длина выбирается в зависимости от сечения свариваемой детали

Таблица 5.2 – Установочная длина в зависимости от сечения детали

Сечение, мм <sup>2</sup>	25	50	100	250	500	1000
Установочная длина ( $\ell_1 + \ell_2$ ), мм	3+3	4+4	5+5	6+6	9+9	12+12

Для заготовок компактного сечения  $\ell_{уст} = (0,75 + 1,0) d$ , где  $d$  – диаметр или сторона квадрата заготовок, см;

$L_{уст} = 0,8 \cdot 0,6 = 0,48$  см. Принимаем  $L_{уст} = 0,5$  см.

Припуск на осадку (общий, под током и без тока) находится по литературным данным /2, 7, 11, и др./.

5.2 Рассчитать параметры режима стыковой сварки кольца со средним диаметром 600 мм сечением 20x40. Материал – сталь марки 1Х18Н9Т.

Параметрами режима стыковой сварки оплавлением являются следующие:

- средний ток при оплавлении  $J_{опл}$ , А;
- припуск на оплавление  $\Delta l_{опл}$ , см;
- средняя скорость оплавления  $V_{опл}$ , см/с;
- скорость осадки  $V_{ос}$ , см/с;
- припуск на осадку  $\Delta l_{ос}$ , см;
- усилие осадки  $P$ , кгс.

При этом необходимо устанавливать оптимальный график изменения скоростей оплавления и осадки в процессе сварки. При сварке оплавлением с подогревом назначаются дополнительные параметры, определяющие подогрев заготовок перед оплавлением /2, 7/.

Выбираем способ сварки непрерывным оплавлением, так как сталь не закаливающаяся, а для сохранения антикоррозионных свойств необходимы большие скорости охлаждения,

а) Средний ток при оплавлении зависит от скорости оплавления и метода сварки. Скорость оплавления  $V_{\text{опл}}$  выбирается по данным /2, 7, 11 и др./.

$$J_{\text{опл}} = 10^3 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{опл}} F \cdot \gamma \cdot (c(T_{\text{опл}} - T_{\text{под}}) + m_0) + 2\lambda \cdot F \cdot \frac{dT}{dx}}{0.24 \cdot K_H \cdot R_{\text{опл}}}}$$

где  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $c$  – соответственно плотность металла ( $\text{г}/\text{см}^3$ ), теплоемкость ( $\text{ккал}/\text{г} \cdot ^\circ\text{C}$ ), коэффициент теплопроводности ( $\text{кал}/\text{см} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}$ ), принимается средним в интервале температур  $0 \dots T_{\text{пл}}$ ;

$T_{\text{опл}}$  – средняя температура частиц металла, удаляемых при оплавлении из стыка (для стали  $T_{\text{опл}} = 2000 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), близкая к температуре кипения металла;

$K_H$  – коэффициент, учитывающий несинусоидальную форму кривой тока при оплавлении,  $K_H = 0,7$ ;

$m_0$  – скрытая теплота плавления ( $\text{кал}/\text{г}$ ), для стали  $m_0 = 65 \text{ кал}/\text{г}$ ;

$\frac{dT}{dx}$  – градиент температур у стыка,  $^\circ\text{C}/\text{см}$ .

При сварке стали непрерывным оплавлением

$$\frac{dT}{dx} = 2000 \dots 5000 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{см}.$$

При сварке с подогревом

$$\frac{dT}{dx} = (2000 \dots 5000) \cdot \frac{1500 - T}{1500} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{см}.$$

где  $T_{\text{под}}$  – температура подогрева заготовок перед оплавлением,  $^\circ\text{C}$ ;

$F$  – сечение заготовок,  $\text{см}^2$ ;

$R_{\text{опл}}$  – сопротивление стыка при оплавлении,  $\text{мкОм}$ ,

$$R_{\text{опл}} = \frac{K}{F^3 \cdot V^3},$$

где  $K$  – коэффициент, для низкоуглеродистых сталей  $K = 650$ , для высоколегированных сталей  $K = 500$ , для алюминиевых сплавов  $K = 400$ , для медных сплавов  $K = 300$ , для титановых сплавов  $K = 950$ .

Для нашего случая:

$$V_{\text{опл}} = 0,3 \text{ см/с} \quad /7/; \quad F = 20 \times 40 = 8 \text{ см}^2; \quad \gamma = 7,86 \text{ г/см}^3;$$

$$C = 0,15 \text{ кал/г град}; \quad \lambda = 0,06 \text{ кал/см} \cdot \text{с} \text{ } ^\circ\text{C}; \quad T_{\text{опл}} = 2000 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$K_{\text{н}} = 0,7; \quad m_0 = 65 \text{ кал/г}; \quad \frac{dT}{dx} = 4000 \text{ } ^\circ\text{C/см},$$

$$R_{\text{опл}} = \frac{500}{\frac{2}{8^3} \cdot \frac{1}{0,3^3}} = 187$$

$$J_{\text{опл}} = \sqrt{\frac{0,3 \cdot 8 \cdot 7,86 [0,15(2000 - 20) + 65] + 2 \cdot 0,06 \cdot 8 \cdot 4000}{0,24 \cdot 0,7 \cdot 187 \cdot 10^{-6}}} = 17940,$$

$V_{\text{опл}}$  можно определить и расчетным путем /11, С. 63/.

Для деталей замкнутого контура в расчет  $J_2$  вводится ток шунтирования  $J_{\text{ш}}$ .

$$J_2 = J_{\text{опл}} + J_{\text{ш}},$$

$$J_{\text{ш}} = J_{\text{опл}} \cdot R_{\text{св}} / Z_{\text{ш}},$$

где  $R_{\text{св}}$  и  $Z_{\text{ш}}$  – сопротивления в участках сварки и участках шунтирования

$$R_{\text{св}} = R_{\text{опл}} + 2 \rho T \cdot \frac{l_{\text{уст}}}{F}$$

$$Z_{\text{ш}} = \sqrt{(R_{\text{ш}})^2 + (X_{\text{ш}})^2}$$

где  $R_{\text{ш}}$  и  $X_{\text{ш}}$  – активное и индуктивное сопротивления шунта.

$$R_{\text{ш}} = K_{\text{п}} * \rho_0 * \frac{\pi * D_{\text{ср}} - 2(l_{\text{уст}} + l_{\text{зак}})}{F}, \text{ мкОм}$$

$$l_{\text{уст}} = d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \text{ мкОм}$$

где  $l_{\text{уст}}$  и  $l_{\text{зак}}$  – установочная длина и длина зажатия деталей, см;

$D_{\text{ср}}$  – средний диаметр кольца, см;

$F$  – сечение свариваемого сечения, см<sup>2</sup>;

$K_{\text{п}}$  – коэффициент поверхностного эффекта.

Коэффициент поверхностного эффекта для немагнитных материалов определяется по формулам:

$$K_{\pi} = 1 + 3,27 \sqrt{\frac{f}{R}} \cdot 10^{-3} \quad \text{при} \quad \sqrt{\frac{f}{R}} > 180;$$

$$K_{\pi} = 0,25 + 0,56 \sqrt{\frac{f}{R}} \cdot 10^{-2} + \frac{8,37}{\sqrt{\frac{f}{R}}} \quad \text{при} \quad 220 > \sqrt{\frac{f}{R}} > 180;$$

$$K_{\pi} = 0,56 \sqrt{\frac{f}{R}} \cdot 10^{-2} + 0,277 \quad \text{при} \quad \sqrt{\frac{f}{R}} < 180;$$

где  $f$  – частота тока, Гц;

$R$  – сопротивление 100 см проводника данного сечения, Ом;

$$R = 10^{-6} \cdot \rho_0 \cdot \frac{l}{F}.$$

Для магнитных материалов

$$K_{\pi} = 0,785 + 16159 K_o \quad \text{при} \quad K_o \geq 3;$$

$$K_{\pi} = 0,785 + \sqrt{1,343 K_o - 0,183} \quad \text{при} \quad 3 \geq K_o \geq 1,$$

$$K_{\pi} = 1 + 0,84 K_o^4 \quad \text{при} \quad 1 > K_o > 0.$$

$$K_o = \frac{2F}{S} \cdot \sqrt{\frac{f_o}{\rho_o} \mu} \cdot 10^{-1}$$

где  $F$  – поперечное сечение, см<sup>2</sup> (пластины шириной  $h_3$ );

$S$  – периметр поперечного сечения, см;

$\rho_o$  – удельное сопротивление материала, мкОм · см ;

$\mu$  – магнитная проницаемость материала, Гн/м.

$$X_{ш} = 1,256 \cdot 10^{-8} \cdot \pi \cdot D_{cp} \cdot f \cdot \left( \ln \frac{8D_{cp}}{d} + \frac{\mu}{4} \right), \text{ мкОм}$$

Здесь:  $\rho_T = 100 \cdot 10^{-6}$  Ом · см,

$$R_{cb} = 187 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,2}{8} = 275 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

$$\rho_o = 75 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}; \quad D_{cp} = 60 \text{ см}.$$

$K_{\pi}$  – коэффициент поверхностного эффекта, определяем по формуле для немагнитных материалов.

$$R = \rho_o \frac{100}{F} = 75 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{100}{8} = 937,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ом},$$

$$220 < \sqrt{\frac{50}{937,5 \cdot 10^{-6}}} = 1231 < 1800,$$

$$K_n = 0,56 \cdot 231 \cdot 10^{-2} + 0,277 = 1,57;$$

$$R_{ui} = 1,57 \cdot 75 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,14 \cdot 60 - 2(3,2 + 4)}{8} = 2670 \cdot 10^{-6};$$

$$M = 1,0; \quad l_{ycm} = 3,2 \text{ см};$$

$$X_{ui} = 1,256 \cdot 10^{-8} \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 50 \left( \ln \cdot \frac{8 \cdot 60}{3,2} + \frac{1}{4} \right) = 6860 \cdot 10^{-6};$$

б) минимальная необходимая скорость осадки

$$V_{oc} = \frac{\Delta + 2\delta_p}{\Delta t},$$

где  $\Delta$  – величина зазора между оплавленными торцами, см (1...1,5 мм);

$\delta_p$  – толщина слоя расплавленного металла на торцах, см (0.1...0,3 мм);

$$\Delta t := \frac{\delta_p \cdot \gamma \cdot (c(T_{onл} - T_{пл}) + m_0)}{\lambda \cdot \frac{dT}{dx}},$$

где  $\Delta t$  – время кристаллизации слоя металла толщиной  $\delta_p$ ;

$\gamma$  – плотность металла, г/см<sup>3</sup>;

$c$  – теплоемкость металла, кал/г · °С;

$T_{онл}$  – средняя температура металла расплавленного слоя, °С; для стали

$T_{онл} = 2000$  °С;

$T_{пл}$  – температура плавления металла, °С;

$m_0$  – скрытая теплота плавления, кал/г;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности свариваемого металла, кал/см · с ·

град;

$$\Delta t := \frac{0,03 \cdot 7,86[0,15 \cdot (2000 - 1400) + 65]}{0,06 \cdot 4000} = 0,087$$

$$V_{oc} = \frac{0,15 + 2 \cdot 0,03}{0,087} = 24 \quad \text{мм/с}$$

в) Припуск на осадку

$$\Delta l_{oc} = 0,73 \cdot \sqrt[3]{d} + 0,76 \cdot d$$

$$\Delta l_{oc} = 0,73 \cdot \sqrt[3]{3,2} + 0,76 \cdot 3,2 = 1,3 \text{ см.}$$

г) Усилие осадки

$$P_{oc} = p \cdot F$$

$$p = (1500 \dots 2200) \text{ кгс/см}^2. \text{ Принимаем } p = 2000 \text{ кгс/см}^2.$$

$$P = 2000 \cdot 8 = 16000 \text{ кгс.}$$

Для деталей замкнутого контура дополнительные усилия на преодоление сил упругости находим по формуле:

$$P_g = J_x \cdot \frac{12 \cdot E \cdot l_0}{4,5 \cdot \pi \cdot (D_{cp})^3} = \frac{b \cdot h^3 \cdot E \cdot l_0}{4,5 \pi \cdot (D_{cp})^3}$$

где  $E$  – модуль упругости, (для стали  $E = 2,2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ );

$J_x$  – момент инерции сечения относительно главной оси,  $\text{см}^4$ .

$l_0$  – величина сокращения детали при сварке, равная сумме начального зазора в стыке припуска на сварку, см;

$$P_g = \frac{4 \cdot 2^3 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2,9}{4,5 \cdot 3,14 \cdot 60^3} = 61 \text{ кгс.}$$

$$l_0 = (0,7 - 1) \quad l_{уст} = 0,9 \cdot 3,2 = 2,9 \text{ см}$$

Общее усилие осадки

$$P = 16000 + 61 = 16061 \text{ кгс.}$$

### 5.3 Точечная сварка

Рассчитать режимы точечной сварки листов толщиной  $\delta = 2+2 \text{ мм}$ .

Из стали марки Ст 10.

Параметрами режимов точечной сварки являются следующие:

- время включения тока  $t_{св}$ , с; усилие на электродах  $P$ , кг;

- сварочный ток  $J_{св}$ , А.

При сварке сталей используются электроды с плоско-конической частью.

$$d_3 = 5,5 \sqrt{10\delta},$$

где  $\delta$  – толщина тонкой из деталей, см;

Или электроды со сферической рабочей поверхностью радиусом

$$R = (50 \dots 100)\delta$$

$$d_3 = (3.5 \dots 4.0)\delta$$

в нашем случае  $d_3 = 5,5 \sqrt{2} = 7,75$  мм, принимаем  $d_3 = 8$ .

а) Время включения тока составляет:

- для низкоуглеродистых

$$t_{св} = (1,5 \dots 3) \delta, \text{ с – при жестких режимах;}$$

$$t_{св} = (3 \dots 10) \delta, \text{ с – при мягких режимах;}$$

- для алюминиевых сплавов:

$$t_{св} = (0,4 \dots 0,6) \delta, \text{ с – для дюралюминов;}$$

$$t_{св} = (1,5 \dots 2,5) \delta, \text{ с – для сплавов АМг.}$$

Для остальных металлов и сплавов  $t_{св}$  выбирается по литературным данным /5,6,11/.

Выбираем жесткий режим, берем  $t_{св} = 2\delta = 0,4$  с.

б) усилие на электродах:

$$P := p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

для низко углеродистых сталей  $p = 22$  кгс/мм<sup>2</sup>.

$$P := 22 \cdot \frac{3.14 \cdot 8^2}{4} = 1.105 \times 10^3$$

в) сварочный ток

$$J_{св} = 10^3 \cdot \sqrt{\frac{Q}{0.24 \cdot m_c \cdot R_g \cdot t_{св}}}$$

Здесь  $m_c$  – коэффициент, учитывающий изменение сопротивления заготовок в процессе сварки для стали  $m_c = 1,0 \dots 1,1$ , для алюминиевых сплавов  $m_c = 1,2 \dots 1,4$ ;

$t_{св}$  – время включения тока, с;

$R_g$  – среднее суммарное сопротивление нагретых деталей, принимается равным сопротивлению металла под электродами к концу сварки, мкОм;

$$R_g = A \cdot \rho_T \cdot \frac{2\delta \cdot 4}{\pi \cdot d^2}$$

$A$  – коэффициент учитывающий характер поля электрического тока и зависящий от соотношения  $d_3/\delta$ , берется по графику (рисунок приложения 1).

При сварке листов, отличающихся по толщине, в числителе вместо  $2\delta$  должно быть  $\delta_1 + \delta_2$

$$Q := \frac{\pi \cdot (d_3)^2}{4} \cdot 2\delta \cdot c_1 \cdot \gamma_1 \cdot T_{пл} + K \cdot \pi \cdot X \cdot (d_3 + x)^2 \cdot \delta \cdot c_2 \cdot \gamma_2 \cdot \frac{T_{пл}}{4} + 2K_2 \cdot \frac{\pi \cdot (d_3)^2}{4} \cdot X \cdot c \cdot \gamma \cdot \frac{T_{пл}}{8}$$

Где  $d_3$  – диаметр электрода, см;

$\Delta$  – толщина одной свариваемой детали;

$c_1, \gamma_1$  – средняя теплоемкость (кал/г °С) и плотность (г/см<sup>3</sup>) металла детали в интервале температур  $0 \dots T_{пл}$ ;

$T_{пл}$  – температура плавления металла детали, °С;

$c_2, \gamma_2$  – средняя теплоемкость и плотность металла детали в интервале температур  $0 \dots T_{пл}/4$ ;

$X$  – ширина кольца нагретого металла, окружающего ядро, см;

$$X := 4 \cdot \sqrt{\frac{\lambda_2 \cdot t_{св}}{c_2 \cdot \gamma_2}} = 4\sqrt{a_M \cdot t_{св}}$$

$K = 0,8$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения температуры в кольце металла;

$K_2$  – коэффициент формы электрода, для цилиндрического  $K_2 = 1$ ; для конического  $K_2 = 1,5$ ; для сферического  $K_2 = 2,0$ ;

$c, \gamma$  – средняя теплоемкость и плотность металла электродов в интервале температур  $0 \dots T_{пл}/8$  (допускается брать значения  $c_2, \gamma_2, c, \gamma$  для температуры 20°С);

$X$  – длина нагретого участка электрода;

$a_{ш}, a_э$  – коэффициент температуропроводности, для стали и меди;

$$X := 4\sqrt{a_a \cdot t_{св}}$$

$$\rho_T = \rho_o \cdot (1 + \alpha T)$$

для стали  $\rho_o = 13 \cdot 10^{-6}$  мкОм · см;

$$\alpha = 0,004 \text{ 1/град};$$

$$\text{Для } d_3/\delta = 8/2 = 4 \text{ A} = 0,88 / 11, 17/;$$

$$\rho_T = 13 \cdot (1 + 0,004 \cdot 1500) \cdot 10^{-6} = 91 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см};$$

$$R_g = 0,88 \cdot 91 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2 \cdot 0,2}{\left(\frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4}\right)} = 60 \cdot 10^{-6}$$

$$d_3 = 0,8 \text{ см}; \delta = 0,2 \text{ см}; c_1 = 0,135 \text{ кал/Г} \cdot \text{°C}; \gamma_1 = 7,8 \text{ Г/см}^3;$$

$$T_{\text{пл}} = 1500 \text{ °C}; c_2 = 0,12 \text{ кал/Г} \cdot \text{°C}; \gamma_2 = 7,8 \text{ Г/см}^3; K = 0,8;$$

$$X = 4\sqrt{0,15 \cdot 0,4} = 0,9 \text{ см.}$$

Электрод конический –  $K_2 = 1,5$  из бронзы Бр.х;  $c = 0,09 \text{ кал/Г} \cdot \text{°C}$ ,

$$\gamma = 8,9 \text{ Г/см}^3,$$

$$X = 4\sqrt{0,24 \cdot 0,4} = 1,28 \text{ см};$$

$$Q = 1143 \text{ кал,}$$

$$J_{\text{св}} = \sqrt{\frac{1143}{0,24 \cdot 1,1 \cdot 60 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4}} = 13800$$

Общий ток во вторичной цепи

$$J_2 = J_{\text{св}} + J_{\text{ш}},$$

где  $J_{\text{ш}}$  – ток шунтирования через ранее сваренную точку,

$$J_{\text{ш}} = J_{\text{св}} \cdot \frac{R_{\text{св}}}{Z_{\text{ш}}},$$

где  $Z_{\text{ш}}$  – полное сопротивление ветви шунтирования

$$Z_{\text{ш}} = \sqrt{(R_{\text{ш}})^2 + (X_{\text{ш}})^2},$$

где  $R_{\text{ш}}$  и  $X_{\text{ш}}$  – активное и индуктивное сопротивления ветви шунтирования, мкОм;

$$R_{\text{ш}} = \frac{2 \cdot \rho_0 \cdot a \cdot K_n}{\delta \cdot h_3},$$

где  $a$  – шаг между точками, см;

$\delta$  – толщина листа, см;

$h_э$  – ширина эквивалентной полосы, по которой ток шунтирования распределяется между точками. Если при сварке полос рассчитанное  $h_э$  оказывается больше действительной ширины полосы, то в расчете следует принимать последнюю,

$$h_э = \frac{\pi \cdot a}{\ln \cdot \frac{2a}{h_э}}$$

где  $K_п$  – коэффициент поверхностного эффекта. Определяется по формулам раздела – стыковая сварка сопротивлением.

Индуктивное сопротивление шунтирующей ветви рассчитывается по формуле:

$$X_{ш} = 0.38 \cdot \left[ \frac{h_э}{(\delta_1 \cdot \delta_2)^2} \right]^{0.45}$$

Принимаем шаг между точками  $a = 4,0$  см.

$$h_э = \frac{3.14 \cdot 4}{\ln \cdot \frac{2.4}{0.8}} = 5.45$$

Коэффициент поверхностного эффекта  $K_п = 1,3$ .

$$R_{ш} = \frac{2 \cdot 13 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{0.2 \cdot 5.45} \cdot 1.3 = 124 \cdot 10^{-6}$$

Индуктивное сопротивление.

$$X_{ш} = 0.38 \cdot 4 \cdot \left( \frac{5.45}{0.4^2} \right)^{0.45} \cdot 10^{-6} = 13.8 \cdot 10^{-6}$$

$$Z_{ш} = \sqrt{124^2 + 13.8^2 \cdot 10^{-6}} = 125 \cdot 10^{-6}$$

$$J_u = 13800 \cdot \frac{60 \cdot 10^{-6}}{125 \cdot 10^{-6}} = 6600 \text{ A}$$

#### 5.4 Шовная сварка

Рассчитать параметры режима шовной (роликовой) сварки листов из стали марки Ст1Х18Н9Т толщиной 1.0 мм

Параметры режима роликовой сварки являются следующие:

- усилие на электродах  $P$ , кгс;
- ток, протекающий во вторичной цепи,  $J_2$ , А;
- время сварки  $t_{св}$ , с;
- время паузы  $t_{п}$ , с;
- скорость сварки  $V$ , см/с.

а) усилие на электродах

$P = 2000\delta + 50$  (кгс) – для среднеуглеродистых сталей и алюминиевых сплавов;

$P = 4000\delta + 100$  (кгс) – для нержавеющей и легированных сталей.

Здесь  $\delta$  – толщина свариваемых листов, см.

Для нашего случая  $P = 4000 \cdot 0,1 + 100 = 500$  кгс.

б) ток протекающий во вторичной цепи:  $J_2 = J_{св} + J_{ш}$ .

Здесь

$$J_{св} = (120 \dots 170) \cdot \frac{dt}{\sqrt{\rho T \cdot K}}$$

$$J_{ш} = J_{св} \cdot \frac{\delta}{dt}$$

$$dt := \sqrt{\frac{4P}{\pi \sigma T}}$$

где  $d_T$  – диаметр площадки контактирования между листами, см;

$\Delta$  – толщина свариваемого листа, см;

$\sigma_T$  – условное сопротивление пластической деформации нагретого металла, кг/см<sup>2</sup>.

$$dt := \sqrt{\frac{4 \cdot 500}{3.14 \cdot 3000}} = 0.461 \text{ см},$$

$$\rho T = 100 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см},$$

$$J_{св} = 150 \cdot \frac{0,46}{\sqrt{100 \cdot 10^{-6} \cdot 1}} = 6900 \text{ А}$$

$$J_{ш} := 6900 \cdot \frac{0.1}{0.46} = 1380 \text{ А}$$

$$J_2 = 6900 + 1380 = 8280 \text{ А}$$

в) время сварки для средне углеродистых сталей:

$$t_{\text{св}} = 0,4(1+100\delta^2);$$

для алюминиевых сплавов:

$$t_{\text{св}} = 0,02(1+100\delta^2);$$

для нержавеющей сталей:

$$t_{\text{св}} = 0,03(1+100\delta^2);$$

г) время паузы для среднеуглеродистой стали:

$$t_{\text{п}} = (1 \dots 2,3) t_{\text{св}};$$

для нержавеющей, жаропрочной стали и титана:

$$t_{\text{п}} = (0,56 \dots 1,5) t_{\text{св}};$$

для алюминиевых сплавов:

$$t_{\text{п}} = (2 \dots 6) t_{\text{св}};$$

$$t_{\text{п}} = t_{\text{св}} = 0,06 \text{ с.}$$

д) скорость сварки :

$$V_{\text{св}} = \frac{3dt}{t_{\text{св}} + 4t_{\text{п}}}$$

$$V_{\text{св}} = \frac{3 \cdot 0,46}{0,06 + 4 \cdot 0,06} = 4,6$$

## 6 РАСЧЕТ ВТОРИЧНОГО КОНТУРА СВАРОЧНОЙ МАШИНЫ И ЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Для расчета вторичного контура сварочной машины необходимо, исходя из конструкций изделия и разработанного технологического процесса, составить схему вторичного контура, выбрать материалы, из которых изготавливаются его отдельные элементы, а также задаться типом трансформатора.

### 6.1 Расчет сечения элементов вторичного контура

Требуемое сечение любого элемента вторичного контура контактной машины определяется, исходя из температуры допустимого нагрева. Температура нагрева любого элемента обуславливается плотностью тока  $j$ , соответствующей длительному значению тока при ПВ = 100%. В приложении Б приведены рекомендуемые плотности тока в элементах вторичного контура в зависимости от материала элемента и условий его охлаждения.

Сечение любого элемента  $q_i$  рассчитывается по формуле:

$$q_i = \frac{J_{2дл}}{j}$$

Здесь  $J_{2дл}$  расчетный вторичный ток, соответствующий ПВ = 100%. Величина тока  $J_{2дл}$  вычисляется из соотношения:

$$J_{2дл} = J_{2н} \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{100}},$$

где  $J_{2н}$  – номинальный вторичный ток, получают его округлением суммы сварочного тока  $J_{св}$  и тока шунтирования до ближайшего большего значения, установленного ГОСТ 297-73. ПВ принимаются в зависимости от назначения контактной машины в соответствии с ГОСТом 297-73.

Точечные и рельефные машины общего назначения рассчитываются обычно при ПВ = 20 или 32%, шовные 50%, стыковые 12,5; 20 или 50% точечные подвесные 20 или 50%, много-электродное 3; 8; 20 или 50%, машины для сварки легких сплавов 8 или 12,5%.

Площади поперечного сечения элементов вторичного контура рассчитаны применительно для сварки деталей из низкоуглеродистой стали толщиной от 0,5 + 0,5 до 2,0 + 2,0 мм с номинальным током 12500 А. Эскиз вторичного контура приведен на рисунке 1. Разработав эскиз вторичного контура машины можно приступить к расчету его сопротивления и определить требуемое вторичное напряжение холостого хода трансформатора соответствующее номинальной ступени.

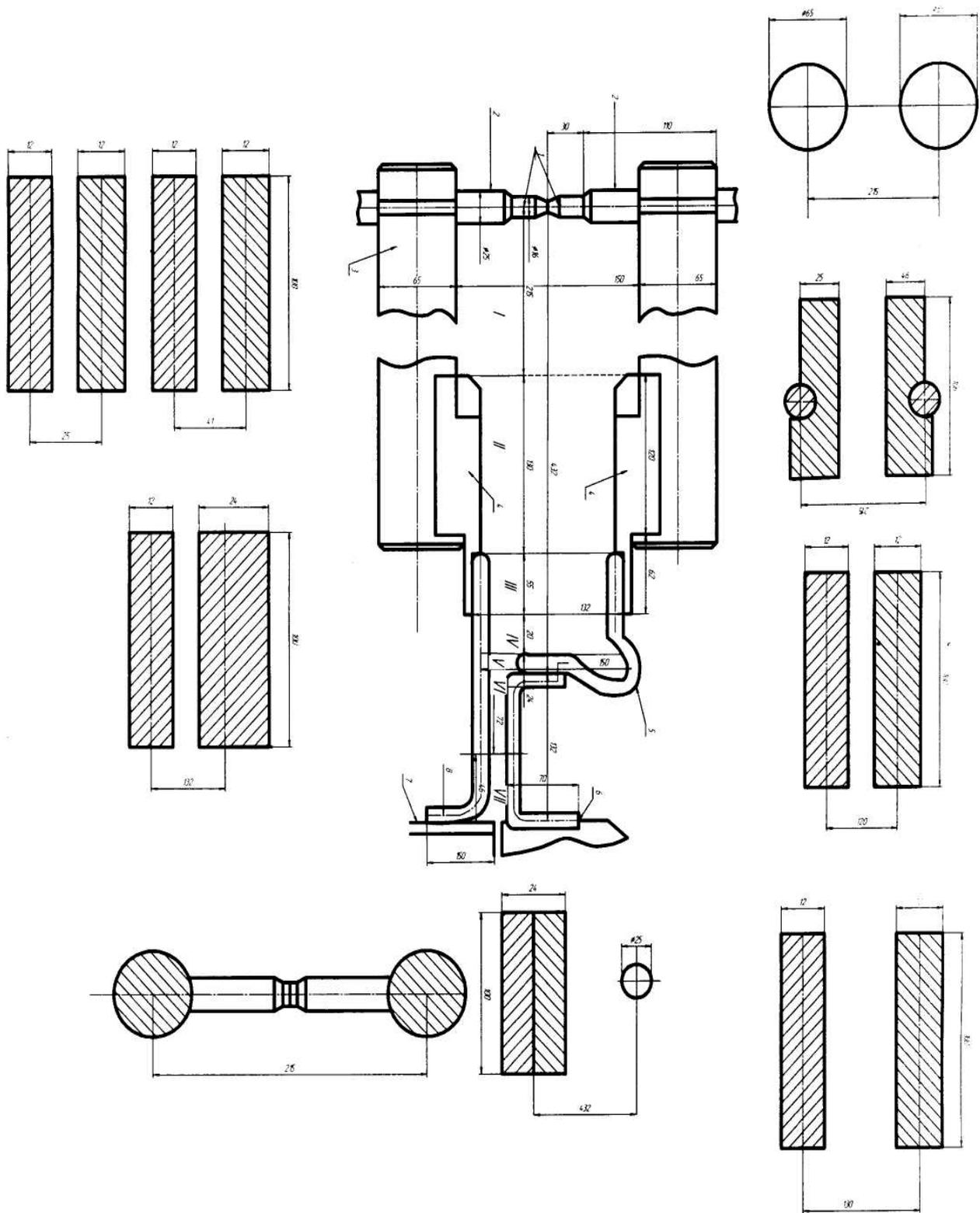


Рисунок 1 – Вторичный контур точечной машины

$$U_{20} = J_{2H} \cdot Z_M$$

где  $Z_M$  - полное сопротивление сварочного контура машины

$$Z_M = \sqrt{(R_{20} \cdot R_{тр} + R_{ээ})^2 + (X_B \cdot X_{тр})^2}$$

где  $R_{20}$  – активное сопротивление элементов вторичного контура и их контактных сопротивлений;

$R_{ээ}$  – сопротивление зоны сварки;

$X_B$  – индуктивное сопротивление вторичного контура

$R_{тр}$  и  $X_{тр}$  – активное и индуктивное сопротивления обмоток трансформатора, приведенные ко вторичной цепи.

### 6.2 Активное сопротивление вторичного контура

Активное сопротивление вторичного контура  $R_{20}$  состоит из активного сопротивления отдельных элементов  $R_i$  и сопротивления контактов между ними  $R_{2к}$ :

$$R_{20} = \Sigma R_i + \Sigma R_{2к}$$

Для расчета активного сопротивления вторичный контур разбивается на отдельные участки, однородные по материалу и конфигурации поперечных сечений. Активное сопротивление отдельного элемента определяется по формуле:

$$R_i = K_{\Pi} \cdot \rho_{Ti} \cdot \frac{l_i}{q_i}$$

где  $K_{\Pi}$  – коэффициент поверхностного эффекта;

$l_i$  – длина элемента, м;

$q_i$  – его поперечное сечение, см<sup>2</sup>;

$\rho_{Ti}$  – удельное сопротивление материала рассматриваемого элемента при температуре выше 20° С.

Для определения приближенного суммарного значения активного сопротивления вторичного контура производится расчет каждой отдельной детали (см. рисунок 1.)

- 1) Два электрода 1 из бронзы марки Бр.Х  
 $d_i = 16\text{мм}$ ;  $l_i = 30\text{мм}$ ;  $\rho = 0,03 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ ;

$$q_1 = \frac{\pi \cdot (d_1)^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 18^2}{4} = 200 \text{ мм}^2$$

$$r_{a1} := 2 \cdot \rho_1 \cdot \frac{l_1}{q_1} = 2 \cdot 0.03 \cdot \frac{0.03}{200} = 9 \cdot 10^{-6}$$

$$R = \frac{0.03 \cdot 100}{200} = 150 \cdot 10^{-4}$$

Для определения коэффициента поверхностного эффекта находится (см. 5.2):

$$\sqrt{\frac{f}{R}} = \sqrt{\frac{50}{150 \cdot 10^{-4}}} = 57.7 < 180$$

$$K_n = 1 + 3,37 \cdot 57,7 \cdot 10^{-3} = 1,2$$

$$r_{a1} = K_n \cdot r_{o1} = 1,2 \cdot 9 \cdot 10^{-6} = 10,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

2) Два электрододержателя 2 из меди МІ с водяным охлаждением ( $d_2 = 25 \text{ мм}$ ,  $l_2 = 110 \text{ мм}$ );

$$q_2 := \frac{25^2}{4} = 156.25 \text{ мм}^2$$

$$r_{a2} = 2 \cdot 0.0175 \cdot \frac{0.11}{490} = 7.9 \cdot 10^{-6}$$

$$R = \frac{0.0175 \cdot 100}{490} = 36 \cdot 10^{-4}$$

$$\sqrt{\frac{f}{R}} = \sqrt{\frac{50}{36 \cdot 10^{-4}}} = 117.9 < 180$$

$$K_n = 1 + 3,27 \cdot 117,9 \cdot 10^{-3} = 1,37.$$

Активное сопротивление

$$R_{a2} = 1,37 \cdot 7,9 \cdot 10^{-6} = 10,7 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

3) Хоботы 3 (верхний и нижний) из меди МІ с воздушным охлаждением ( $d_3 = 65 \text{ мм}$ ;  $l_3 = 345 \text{ мм}$ ):

$$q^3 = \frac{3.14 \cdot 65^2}{4} = 3320 \text{ мм}^2.$$

$$r_{03} = 2 \cdot 0,0175 \cdot \frac{0,345}{3320} = 3,6 \cdot 10^{-6}$$

$$R = \frac{0,0175 \cdot 100}{3320} = 527 \cdot 10^{-6}$$

$$220 < \sqrt{\frac{f}{R}} = \sqrt{\frac{50}{527 \cdot 10^{-8}}} = 308 < 1800;$$

$$K_n = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{f}{R}} \cdot 10^{-2} + 0,277 = 0,56 \cdot 308 \cdot 10^{-2} + 0,277 = 2$$

$$r_{a3} = 2 \cdot 3,6 \cdot 10^{-6} = 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

4) Планка 4 (сечение II) из меди МІ с воздушным охлаждением:

$$q_4 = 15 \cdot 106 + 31 \cdot 41 = 2830 \text{ мм}^2$$

$$r_{04} = 2 \cdot 0,0175 \cdot \frac{0,182}{2830} = 2,25 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

$$R = \frac{0,0175 \cdot 100}{2830} = 6,1 \cdot 10^{-4}$$

$$220 < \sqrt{\frac{f}{R}} = \sqrt{\frac{50}{6,1 \cdot 10^{-4}}} = 286,4 < 1800;$$

$$K_n = 0,56 \cdot 286,4 \cdot 10^{-2} + 0,277 = 1,88$$

$$r_{a4} = 1,88 \cdot 2,25 \cdot 10^{-6} = 4,23 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$$

5) Верхняя гибкая шина 5 (сечение IV) из меди ІМ (фольга) с воздушным охлаждением:

$$q_5 = 12 \cdot 100 = 1200 \text{ мм}^2; l_5 = 235 \text{ мм};$$

$$r_{a5} = 0,0175 \cdot \frac{0,235}{1200} = 3,43 \cdot 10^{-6}$$

Концы шины монолитны. Однако, учитывая значительный набор (12 мм) и односторонний подвод тока, принимаем  $K_n^* = 1,6$ .

$$\text{Тогда } r_{a5} = 1,6 \cdot 3,43 \cdot 10^{-6} = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Для шин с непропаянными концами и при одностороннем подводе тока при частоте 50 Гц  $K_n = 1,5 \dots 1,8$ .

Для шин с монолитными концами (сваренными или спаянными) при двустороннем подводе тока  $K_n = 1,1 \dots 1,3$ .

б) Верхняя колодка 6 (сечение VII) из меди с воздушным охлаждением:

$$q_6 = 12 \cdot 100 = 1200 \text{ мм}^2; l_6 = 224 \text{ мм};$$

$$r_{06} := 0,0175 \cdot \frac{0,244}{1200} = 3,558 \times 10^{-6} \text{ Ом};$$

$$R := \frac{0,0175 \cdot 100}{1200} = 14,6 \cdot 10^{-4} \text{ Ом};$$

$$220 > \sqrt{\frac{f}{R}} = \sqrt{\frac{50}{14,6 \cdot 10^{-4}}} = 184,9 > 180;$$

$$K_n = 0,25 + 0,56 \cdot \sqrt{\frac{f}{R}} \cdot 10^{-2} + \frac{8,37}{\sqrt{\frac{f}{R}}};$$

$$K_n = 0,26 + 0,56 \cdot 184,9 \cdot 10^{-2} + \frac{8,37}{184,9} = 1,33;$$

$$r_{a6} = 1,33 \cdot 3,56 \cdot 10^{-6} = 4,74 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

7) Нижняя колодка 7 из меди с воздушным охлаждением ( $q_7 = 1200 \text{ мм}^2; l_7 = 150 \text{ мм}$ )

$$r_{a7} := 0,0175 \cdot \frac{0,15}{1200} = 2,2 \cdot 10^{-6}$$

Так же как и для верхней колодки  $K_n = 1,33$

$$r_{a7} = 1,33 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} = 2,93 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

8) Нижняя гибкая шина 8 (подобна детали 5) ( $l_8 = 320 \text{ мм}$ );

$$r_{a8} := \frac{0,0175 \cdot 0,32}{1200} = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

$$r_{a8} = 1,6 \cdot 4,7 \cdot 10^{-6} = 7,52 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление всех элементов токоподвода при  $T = 20^\circ \text{ C}$ .

$$\begin{aligned} \Sigma r_{ai} = r_{a1} + r_{a2} + \dots + r_{a8} &= (10,8 + 10,7 + 7,2 + 4,23 + 5,5 + 4,47 + 2,93 + 7,52) \cdot 10^{-6} = \\ &= 53,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Активное сопротивление всех элементов токопровода при рабочей температуре  $T=75^\circ \text{ C}$ .

$$\Sigma R_i = \Sigma r_{ai} (1 + \alpha(T - T_a)) = 53,6 \cdot 10^{-6} (1 + 0,00393 \cdot (75 - 20)) = 65,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$$

Число переходных контактов  $n = 11$ . Принимаем активное сопротивление одного контакта медь-медь\*  $2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ .

$$\Sigma R_{2к} = 11 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 22 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление всех элементов и переходных контактов вторичного контура составит

$$R_{2o} = (65,2 + 22) \cdot 10^{-6} = 87,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

\*В расчетах контактных сопротивлений сопротивление одного неподвижного контакта может быть принято равным  $(2 \dots 3) \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ , сопротивление подвижного контакта –  $(1 \dots 20) \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ .

### 6.3 Индуктивное сопротивление вторичного контура

Индуктивное сопротивление вторичного контура контактной машины при частоте тока 50 Гц может определяться тремя методами:

1) по площади:

$$X_B = S_B^{0,73} \cdot 10^{-3} \text{ Ом,}$$

где  $S_B$  – площадь, охватываемая контуром, см (берется по оси сечений статоров);

2) по периметру:

$$X_B = \Sigma l_B \cdot c \cdot 10^{-6} \text{ Ом,}$$

где  $\Sigma l_B$  – суммарная выпрямленная длина всех элементов контура при максимальных значениях раствора  $H_0$  и вылета  $h_0$ , см;

$c$  – эмпирический коэффициент, лежащий в пределах 0,976...1.35, в большинстве случаев  $c = 1,25$ .

Эти два метода могут использоваться для предварительных ориентировочных расчетов, так как дают погрешность в определении индуктивного сопротивления в пределах  $\pm 25\%$ .

3) метод определения индуктивного сопротивления вторичного контура по отдельным участкам является более точным. Расчет индуктивного сопротивления, приходящегося на 1 см длины участка, соответствующего частоте тока 50 Гц, производится по следующим формулам.

Для участка с круглыми проводниками (тип 1):

$$X := 1.37 \left( \frac{b-r}{r} \right)^{0.38} \cdot 10^{-6},$$

где  $r$  – средний геометрический радиус проводников, см;

$b$  – расстояние между осями проводников, см.

При других частотах тока удельное индуктивное сопротивление аналогично участка находится, исходя из определения индуктивности:

$$X = 2\pi \cdot f \cdot L \text{ Ом/см},$$

где  $f$  – частота тока, Гц;

$L$  – индуктивность, Гн.

$$L = 0,436 \left( \frac{b-r}{r} \right)^{0,38} \cdot 10^{-8}$$

Для участка с прямоугольными проводниками (тип 2):

$$X := 0.38 \left( \frac{b-r}{r} - \frac{\beta}{\delta} \right)^{0.45} \cdot 10^{-6} \text{ Ом/см},$$

$$L := 0.121 \cdot \left( \frac{b-r}{r} \cdot \frac{\beta}{\delta} \right)^{0.45} \cdot 10^{-8} \text{ Гн/см}.$$

$$\delta := \sqrt{\delta_1 \cdot \delta_2},$$

$$\beta := \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2},$$

где  $\delta$  – средняя геометрическая толщина проводников, см;

$\beta$  – средняя геометрическая толщина проводников, см.

Для участка с круглыми и прямоугольными проводниками (тип 3):

$$X := 0.97 \left( \frac{b-r}{r} \cdot \frac{b-\delta}{\delta} \cdot \frac{\beta}{\delta} \right) \cdot 10^{-6} \text{ Ом/см.}$$

$$L := 0.31 \left( \frac{b-r}{r} \cdot \frac{b-\delta}{\delta} \cdot \frac{\beta}{\delta} \right) \cdot 10^{-8} \text{ Гн/см.}$$

Для электродов и электрододержателей (тип 4):

$$X := 0.95 \cdot (l_a)^{0.05 \left( \frac{b-r}{r} \right)} \cdot 10^{-6}.$$

$$L := 0.3 \cdot (l_a)^{0.05 \left( \frac{b-r}{r} \right)} \cdot 10^{-8}.$$

Индуктивное сопротивление вторичного контура определяется как сумма индуктивных сопротивлений отдельных участков. Аналогично вычисляется и индуктивность:

$$X_B = \sum X_i l_i \text{ Ом;}$$

$$L_B = \sum L_i l_i \text{ Гн,}$$

где  $X_i$  и  $L_i$  – удельное индуктивное сопротивление и индуктивности отдельных участков;

$l_i$  – длина отдельного участка.

Для определения индуктивного сопротивления вторичный контур разбиваем на 10 участков, как показано на рисунке 1. Результаты расчета сведены в таблице 6.1. Суммарное индуктивное сопротивление контура  $X_B = 191,2 \cdot 10^{-6}$  Ом. Задаемся величиной приведенного активного сопротивления обмоток трансформатора типа ТК-1204-К-6  $R_{тр} = 20,5 \cdot 10^{-6}$  Ом и величиной приведенного индуктивного сопротивления  $X_{тр} = 17 \cdot 10^{-6}$  Ом (приложение В).

Активное сопротивление электрод-электрод  $R_{э,э}$  берется из технологических расчетов. Для низкоуглеродистой стали толщиной 2 мм.  $R_{э,э} = 98 \cdot 10^{-6}$  Ом. Полное сопротивление сварочного контура машины

$$Z_M = 295 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Таблица 6.1 – Результаты расчета индуктивного сопротивления сварочного контура

Сечение	Размеры участка, см			Удельное индуктивное сопротивление x10 <sup>-6</sup> , Ом/см	l, см	X <sub>B</sub> 10 <sup>-6</sup> , Ом
	в	г	δ x β			
I	21,5	3,25	-	$1,37 \left( \frac{21,5 - 3,25}{3,25} \right)^{0,38} = 2,6$	21,5	56
II	21,5	-	4,6x10,6		13	9,6

				$0,38 \left( \frac{21,5 - 4,6}{4,5} \times \frac{10,6}{4,6} \right) 0,45 =$ $= 0,8$		
III	12,6	-	2,7x10,0		5,5	6,6
IV	12	-	1,2x10		2,0	5,2
V	13	-	1,2x10		2,4	6,7
VI	2,5	-	1,2x10		7,2	5,7
VII	6,4	-	1,2x10		4,6	9,2
VIII	13,2	-	1,7x10		7,0	14,7
IV	43,2	-	2,4x10		15	56,5
X	21,5	1,25	-		15	21

Суммарное индуктивное сопротивление  $X_B = 191,2 \cdot 10^{-6}$  Ом.

Требуемое вторичное напряжение холостого хода трансформатора, соответствующее номинальной ступени

$$U_{20} = 12500 \cdot 295 \cdot 10^{-6} = 3,7 \text{ В.}$$

## 7 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ВНЕШНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТАКТНОЙ МАШИНЫ

Внешней характеристикой называется зависимость напряжения на электродах машины от сварочного тока при постоянных значениях параметров короткого замыкания  $U_2 = f(J_2)$ .

Для расчета и построения внешней характеристики должны быть известны следующие величины:

- 1) напряжение холостого хода вторичной обмотки трансформатора  $U_{20}$ ;
- 2) параметры короткого замыкания машины (активное сопротивление машины  $R_{mk}$ , индуктивное сопротивление  $X_{mk}$ , полное сопротивление  $Z_{mk}$  и коэффициент мощности  $\cos \varphi$ ).

$$U_{20} = J_{2H} \cdot Z_M, \text{ В,}$$

где  $J_{2H}$  – номинальный вторичный ток, А;

$Z_M$  – полное сопротивление вторичного контура машины.

Напряжение на электродах:

$$U_2 = \sqrt{(U_{20})^2 + (J_{2H})^2 \cdot X_{mk}^2} - J_{2H} \cdot R_{mk}.$$

Обозначим:

$$\frac{U_2}{U_{20}} = \alpha \quad ; \quad \frac{J_{2H}}{J_{2K}} = \beta \quad ; \quad \frac{X_{mk}}{Z_{mk}} = \sin \cdot \phi_k \quad ; \quad \frac{R_{mk}}{Z_{mk}} = \cos \cdot \phi_k$$

Тогда предыдущее равенство запишется в следующем виде:

$$\alpha := \sqrt{1 - (\beta \cdot \sin \cdot \phi_k)^2} - \beta \cos \cdot \phi_k$$

где  $\alpha$  – напряжение на электродах в долях вторичного напряжения холостого хода трансформатора;

$\beta$  – сварочный ток в долях от тока короткого замыкания.

Зависимость  $\alpha = f(\beta)$  является внешней характеристикой машины в относительных единицах.

Задаваясь несколькими значениями  $\beta$  и  $\alpha$ , строится в масштабе внешняя характеристика.

Для определения возможности осуществления необходимого параметра режима по току на внешней характеристике проводится линия падения на свариваемых деталях.

В масштабе выбранном для построения внешней характеристики на оси токов, откладывается значение  $J_{CB}$ , найденное в технологических расчетах. Из этой точки восстанавливается перпендикуляр, величина которого рассчитывается по формуле

$$U_2 = J_{CB} \cdot R_{\gamma-\gamma}$$

Если полученная точка находится ниже кривой, отражающей внешнюю характеристику, то возможно осуществление режима по току.

Построить внешнюю характеристику машины, соответствующую  $U_{20} = 3,7 \text{ В}$ ;  $X_{mk} = 211 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ ;  $R_{mk} = 106 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ ;  $Z_{mk} = 240 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ .

Определить пригодность данной машины для сварки деталей с  $R_{\gamma-\gamma} = 98 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$  и  $J_2 = 12500 \text{ А}$ .

Решение. Определяем:

$$\cos \cdot \phi_k = \frac{X_{mk}}{Z_{mk}} = \frac{106 \cdot 10^{-6}}{240 \cdot 10^{-6}} = 0.45$$

$$\sin \cdot \phi_k = \frac{R_{mk}}{Z_{mk}} = \frac{212 \cdot 10^{-6}}{240 \cdot 10^{-6}} = 0.89$$

$$J_{2k} = \frac{3.7}{240 \cdot 10^{-6}} = 15400 \text{ А}$$

Исходные данные сводятся в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Сводные данные для построения внешней характеристики

$\beta$ (заданны произвольно)	$\alpha$ (рассчитывается)	Перевод в абсолютные единицы	
		$U_2 = \alpha * U_{20}$	$J_2 = \beta * J_{20}$
1	0	0	15400
5/6	0.3	1.11	12800
4/6	0.3	1.85	10300
3/6	0.5	2.48	7700
2/6	0.67	2.96	5240
1/6	0.8	3.8	2620
0	0.91	3.7	0

Для определения пригодности машины проводим линию падения напряжения на свариваемых деталях (рисунок 2).

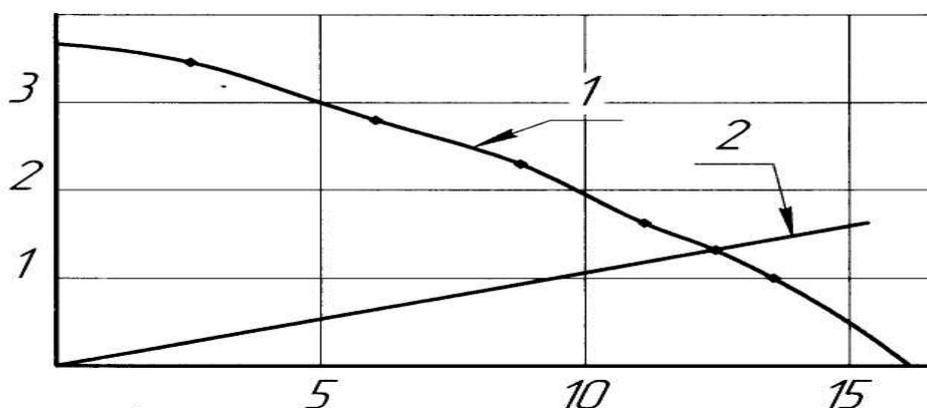


Рисунок 2 – Внешняя характеристика контактной машины и характеристика свариваемой детали

$$U_2 = J_{св} R_{э-э} = 12500 \cdot 98 \cdot 10^{-6} = 1,22 \text{ В.}$$

Сварка указанной в задании детали на данной машине возможна.

### Список литературы

- 1 Кабанов, Н. С. Технология стыковой контактной сварки [Текст] / Н. С. Кабанов, Э. Ш. Слепак. – М. : Машиностроение, 1986. – 247 с.
- 2 Банов, М. Д. Технология и оборудование контактной сварки [Текст] / М. Д. Банов. – М. : Академия, 2009. – 224 с.
- 3 Технологические основы контактной сварки легких сплавов [Текст]. – М. : Изд-во СГИУ, 2006. – 164 с.

4 Фурманов, С. М. Технология сварки давлением [Текст] / С. М. Фурманов, В. П. Березненко, С. Ф. Мельников. – Минск : Бел-рус. ун-т, 2009. – 256 с.

5 Чуларис, А. А. Технология сварки давлением [Текст] / А. А. Чуларис, Д. В. Рогозин. – Ростов-н/Д. : Феникс, 2006. – 224 с.

6 Конюшков, Г. В. Специальные методы сварки давлением [Текст] / Г. В. Конюшков, Р. А. Мусин. – М. : АйПиЭрМедиа, 2009. – 632 с.

7 Банников, Е. А. Сварочные работы: Современное оборудование и технология работ [Текст] / Е. А. Банников. – М. : Астрель, 2008. – 447 с.

8 Оборудование для контактной сварки : справочное пособие / под ред. В. В. Смирнова. – СПб. : Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 2000. – 848 с.

9 Гуляев, А. И. Технология точечной и рельефной сварки сталей (в массовом производстве) [Текст] / А. И. Гуляев. – М. : Машиностроение, 1978. – 246 с., ил.

10 Технология и оборудование контактной сварки : учебник для машиностроительных вузов / Б. Д. Орлов [и др.] ; под ред. Б. Д. Орлова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с., ил.

Таблица А1 – Сопротивление смятию некоторых материалов

Материал	Сопротивление смятию, кгс/см <sup>2</sup>	Материал	Сопротивление смятию, кгс/см <sup>2</sup>
Низкоуглеродистая сталь	9000-10000	Латунь:	
		мягкая	5200
		твердая	6000
Нержавеющая сталь	4000	Алюминий	2500
Медь:	4500 12000	Дюралюмин:	
		обработанный	4200
твердая		отожженный	2100

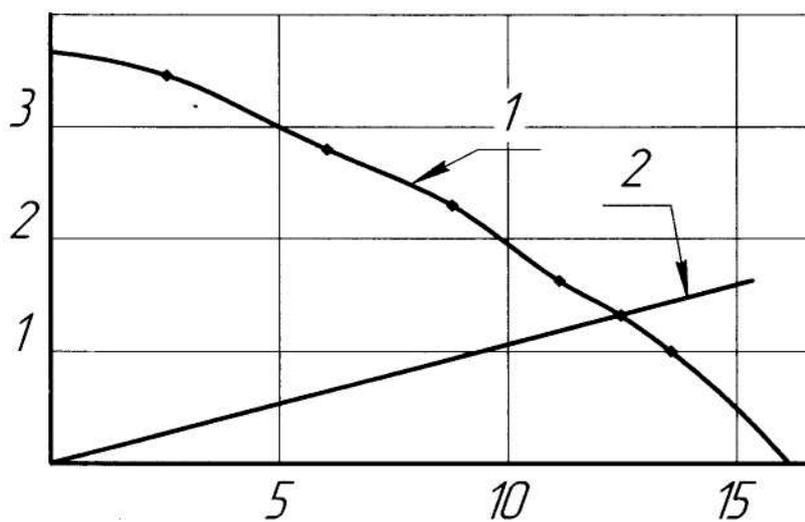


Рисунок А1 – Зависимость А от  $\frac{dэ}{\delta}$

Таблица Б1 – Значение удельных сопротивлений и допустимых плотностей тока для материалов, применяемых для токопроводов различных элементов контура

Наименование элемента	Материал или марка сплава	Условия охлаждения	Допустимая плотность тока, А / мм <sup>2</sup>	Удельное сопротивление при 20°С, Ом мм <sup>2</sup> / м	Температурный коэффициент сопротивления
Электроды	Кадмиевая бронза МК	Водяное интенсивное (внутреннее или наружное)	20 – 45	0,02 – 0,21	0,0033
	Хромовая бронза БрХ		20 – 50	0,021 – 0,035	0,00372
	Никельбериллиевая бронза БрН БТ		20 – 50	0,032 – 0,058	0,00196
	Медь МІ		20 – 50	0,01701	0,00392
	Медь с серебром МСІ		20 – 50	0,018	0,00384
	Медь с цирконием МЦ4, МЦ5А и др.		20 – 50	0,021	0,0035
Электрододержатели	БрХ, БрНБК, МІ	Водяное интенсивное (внутреннее или наружное)	см. выше		
	Никелькремниевая бронза БрНК		10 – 20	0,0435	
	Латунь Л62		8 – 12	0,072	0,0019
	Медь толстолистовая МІ	Воздушное водяное	1,8 – 2,2 2,4 – 3,0	0,0175	0,00392
Хоботы, хоботодержатели, консоли, плиты	Медь литая МЗ	Воздушное водяное	1,4 – 2,0	0,03 – 0,05	0,00392
			2,0 – 3,0		
	Латунь Л62	Воздушное	1,4 – 1,6	0,072	0,0019
	Форфористая бронза БрОФ 6,5 - 0,4		1,4 – 1,6	0,0176	0,003
	Хромовая бронза БрХ		1,4 – 1,6	0,023 – 0,034	0,00372
	Алюминиевая АІ		1,3 – 2,0	0,029	0,00377
Силумин АЛ2	1,2 – 1,8	0,045 – 0,058	0,00377		
Соединительные гибкие шины	Медь МІМ (фольга)	Воздушное Водяное по краям коллодки	2,5 – 3,0	0,0175	0,00392
			2,5 – 4,0		
Неподвижные контакты	Медь и другие материалы	Воздушно-водяное	0,5 – 1,0	В зависимости от материала элемента	

Продолжение таблицы Б1

Сколь- зящие контак- ты шов- ных ма- шин	Медь и другие материалы	Водяное	0,5 – 1,0	В зависимости от материа- ла элемента
		Работа- ют в во- де	до 12	

Таблица В1 – Трансформаторы однофазных контактных машин

Тип машины	Тип трансформатора	Ступени		ПВ%	Мощность, кВА		Ток, А		Напряжение, В		Сопротивление обмоток $\times 10^{-6}$ Ом		
		количество	номинальная		Номинальная $P_N$	На пер. ступ. $P$	$J_{2H}$	На рев. ступ. $J_2$	$U_{min} - U_{max}$	$U_{20H}$	$R''_{тр}$	$X''_{тр}$	$Z''_{тр}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Точечные и рельефные</b>													
МТ-602	К-6.02-3	8	7	20	14,5	6,2	6300	2800	1,25-2,5	2,2	18,5	41	44,6
МТ-810	К-8.02-5	8	7	20	21,4	9,4	8000	3580	1,42-2,84	2,5	25,3	18,8	32,8
МТ-1215	ТК-12.04-К-6	8	7	20	51,0	22,8	12500	5600	2,2-4,4	3,9	20,5	17,0	26,6
МТ-1217	ТК-13.04-2-2-ЭП	6	6	50	60	42,3	13000	9200	2,97-4,48	4,4	20,2	21,0	29,0
МТ-1615	К-16.05-2	8	7	20	88,0	39,3	16000	9060	3,0-6,0	5,2	17,0	25,0	30,5
МТ-1617	ТК-21.05-3ЭП	6	6	50	123,0	87,5	21500	15200	3,58-5,56	5,5	10,0	21,4	23,8
МТ П-150/1200-3	ТК-16.07-3	12	11	20	125,0	56,0	16000	7150	3,34-8,56	7,4	16,0	16,4	23,0
МТ П-200/1200-3	ТК-20.09-2	8	7	20	185,0	82,5	20000	9000	5,2-10,4	9,0	15,0	14,5	20,8
МТ-2518	К-25.04	8	7	12,5	98,0	35,0	25000	8840	2,14-4,28	3,7	16,5	18,0	24,4
МТ ПУ-300	ТК-32.08	16	15	8	265,0	75,0	32000	9050	2,32-9,3	8,1	14,0	10,0	17,2
МТ-4001	ТК-40.09	16	15	20	350,0	156,0	40000	17900	4,5-9,0	8,6	9,5	8,5	12,7
МР-2507	ТК-25.05-3	16	15	20	127,0	56,6	25000	11200	2,61-5,22	4,9	11,2	18,0	21,2
МР-6303	ТК-32.08-ЭП	8	7	20	304,0	215,0	32000	14300	4,5-9,14	9,0	6,0	8,5	10,8
<b>Шовные</b>													
МШ 1001	К-10.03-2	8	7	50	32,0	22,6	10000	7050	1,74-3,48	3,0	11,7	9,4	15,0
МШ 1601	К-16.04-2	8	7	50	61,2	43,5	16000	11300	2,14-4,28	3,78	9,8	14,7	17,8
МШ 2001	ТК-20.05-2	8	7	50	110,0	77,6	20000	14100	3,0-6,0	5,33	12,1	16,8	20,7

Продолжение таблицы В1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
МШ 3201	ТК- 32.08- 2ЭП	6	6	50	304, 0	215, 0	3200 0	2260 0	6,37- 9,3	9,3	6,0	8,5	10,7
МШ ПС- 75	ТК- 12.07-2	8	7	20	89,0	40,0	1250 0	5560	3,18- 7,56	6,68	18,4	14,8	25,6
МШ ПБ- 150	ТШ- 21.07-4	8	7	50	120, 0	85,0	2000 0	1410 0	3,32- 6,64	5,8	8,8	10,4	13,6
МШ П- 150	ТК- 20.06-3	16	15	12,5	113, 0	40,0	2000 0	7060	2,95- 5,9	5,5	20,0	15,6	25,2
МШ ПЛ- 300/ 1500	ТК-25.09	16	15	3,0	240, 0	41,5	2500 0	4360	4,9- 9,8	9,3	19,4	23,2	30,0
МШ У- 200	ТШ- 25.07-2	8	7	50	190, 0	135, 0	2500 0	1750 0	4,17- 8,34	7,4	9,3	6,8	11,6
Стыковые													
МС- 301	К-3.02-3	6	5	12,5	5,1	1,81	3200	1130	0,99- 1,84	1,573	2,8	16,7	37,0
МС- 401	К-4.03	8	7	12,5	13,3	4,7	4000	1410	1,62- 3,88	3,24	36,2	42,4	55,0
МС- 502	К-5.02-1	6	5	12,5	12,4	4,4	5000	1770	1,35- 3,0	2,34	37,2	41,0	56,0
МС- 801	К-8.02-3	6	5	12,5	25,6	9,1	8000	2830	1,9- 3,65	3,06	29,0	15,2	32,6
МС- 1202	К- 12.04.5-2	8	7	20	57,0	25,6	1250 0	5600	2,53- 5,06	4,4	18,2	16,2	24,2
МС- 1601	ТК- 37.08-2	16	15	20	300	134, 0	3700 0	1660 0	2,8- 9,0	7,9	8,5	10,4	13,4
МС- 1602	К-16.06-4	8	7	20	104, 0	46,5	1600 0	7150	3,4- 6,8	6,3	12,3	13,8	18,4
МС- 2001	ТК- 20.08-6	16	15	20	160, 0	71,8	2000 0	8950	4,05- 8,1	7,6	16,2	9,5	18,8
МС- 3201	ТК-32.15	16	15	20	475, 0	212, 0	3200 0	1430 0	7,9- 15,8	14,6	14,8	15,2	21,6
МС- 5002	ТК- 25.15-211	8	7	50	406, 0	286, 0	2500 0	1750 0	9,05- 18,1	15,85	11,7	22,0	25,0
МС О- 500	ТК-40.11	8	7	50	452, 0	320, 0	4000 0	2830 0	6,33- 12,66	11,18	6,6	8,7	10,9
ИС- ГО- 500	ТК-28.13	16	15	50	362, 0	256, 0	2800 0	1970 0	6,8- 13,6	12,7	8,8	9,2	12,7
УСС К- 750	ТК- 50.14-2	8	7	100	710, 0	710, 0	5000 0	5000 0	7,9- 15,8	14,1	4,8	3,5	5,95

Продолжение таблицы В1

Точечные подвесные со сварочными клещами													
МТ П- 12.0 3	ТКП- 10.13- 2ЭП	6	6	50	138, 0	98,0	1000 0	7050	8,65- 13,1	13,1	34,0	32,6	47,0 при $w_2=$ 1

Таблица Г1 – Физические свойства металлов и сплавов

Материал	Температура плавления (Тпл) °С	Удельный вес г/см <sup>3</sup> при 20 °С	Удельное сопротивление, мкОм·см		Теплоемкость, кал/г °С		Теплопроводность, С · °С		Температуропроводность, см/с	
			при С	средн. в интервале температура 0÷Тпл	при С	средн. в интервале температура 0÷Тпл	при С	средн. в интервале температура 0÷Тпл	при С	средн. в интервале температура 0÷Тпл
Низкоуглеродистая сталь	1530	7,85	15	50	0,11	0,17	0,12	0,09	0,15	0,07
Низколегированная сталь (20ХМ)	1500	7,85	25	60	0,11	0,16	0,10	0,08	0,12	0,065
Аустенитная сталь (1Х18Н9)	1440	7,90	70	100	0,11	0,15	0,085	0,06	0,04	0,05
Медь	1083	8,90	1,75	5	0,09	0,10	0,90	0,85	1,10	1,00
Латунь	905	8,50	7,1	20	0,09	0,12	0,20	0,35	0,26	0,35
Бронза (Б ОФ 6,5-0,4)	995	8,65	9,7	28	0,09	0,12	0,12	0,31	0,15	0,30
Алюминий	658	2,70	2,8	6,6	0,21	0,25	0,50	0,55	0,73	0,85
Дюралюмин упрочненный (Д16Т)	650	2,80	5,8	13,5	0,20	0,23	0,28	-	0,50	0,67
Титан	1725	4,50	60	130	0,13	0,18	0,036	0,05	0,07	0,06
Нихром (ХН80Т)	1320	8,20	120	125	0,10	0,20	0,04	0,05	0,04	0,08

Соловьев Герман Иванович

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ

Методические указания  
к выполнению курсовой работы  
для студентов специальности 150202.65  
и направления подготовки 150707.62

Редактор Е. А. Могутова

---

Подписано в печать 19.06.14	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м <sup>2</sup>
Печать цифровая	Усл. печ. л. 2,5	Уч.-изд. л. 2,5
Заказ 185	Тираж 25	Не для продажи

---

РИЦ Курганского государственного университета.  
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.  
Курганский государственный университет.