

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА
КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ НА
ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ**

У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе №8
для студентов

КУЙБЫШЕВ 1989

Составитель М.Д. Рудман

УДК 621.791.763.:539.4

Исследование влияния параметров режима контактной точечной сварки сталей на прочность соединений: Метод. указания / Сост. М. Д. Р у д м а н: Куйб. авнац. ин-т. Куйбышев, 1989. С.15.

В методических указаниях даны краткие теоретические основы эксперимента, изложены требования к последовательности выполнения лабораторной работы и оформлению отчета.

Указания рекомендованы кафедрой производства летательных аппаратов для студентов всех специальностей, выполняющих лабораторные работы по сварке.

Рецензенты: Г. П. М и г у ш и н, Ф. З. Т е н е н б а у м

Цель работы: практическое ознакомление с оборудованием с методикой выбора режима сварки, исследование влияния параметров режима на прочность сварных соединений.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Контактная точечная сварка — один из высокопроизводительных способов контактной сварки, при котором соединение получается между торцами электродов, подводящих ток и передающих усилие сжатия [1].

ГОСТ 15878—79 [2] устанавливает следующие конструктивные элементы соединений, выполненных контактной точечной сваркой (КТ) (рисунок 1): S и S_i — толщина детали, d — расчетный диаметр литого ядра точки, h и h_1 — величина проплавления, g и g_1 — глубина вмятины, t — расстояние между центрами соседних точек в ряду, c и c_1 — расстояние между осями соседних рядов точек при цепном и шахматном расположении соответственно, B — величина нахлестки.

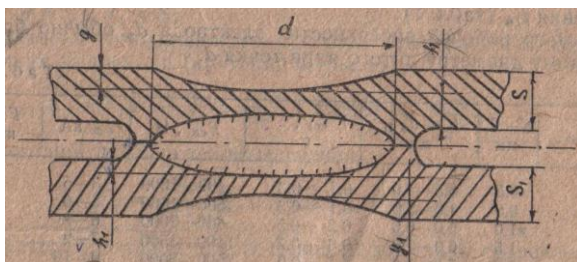


Рисунок 1 - Конструктивные элементы соединения, выполненного контактной точечной сваркой

В зависимости от требований к сварным конструкциям и особенностей технологического процесса сварки стандарт устанавливает две группы соединений

(А и Б), отличающиеся числовыми значениями конструктивных элементов (таблица 1).

Таблица 1

S=S1	d, не менее		B, не менее		t, не менее		с, не менее	
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
Св. 0,4 до 0,6	3,0	2,0	8	6	10	8	12,0	10,0
Св. 0,7 до 0,8	3,5	2,5	10	8	13	10	15,5	12,0
Св. 0,8 до 1,0	4,0	3,0	11	9	15	12	18,0	15,0
Св. 1,3 до 1,6	6,0	4,0	14	11	20	16	24,0	18,0
Св. 1,8 до 2,2	7,0	5,0	17	13	25	20	30,0	24,0

Примечание. Все размеры даны в миллиметрах

Расстояние от центра точки до края нахлестки должно быть не менее половины минимальной величины нахлестки. Величина проплавления h , h_1 должна быть от 20 до 80 % толщины деталей. Глубина вмятины g , g_1 не должна быть более 20 % толщины деталей.

Высокой и стабильной прочностью обладают лишь точки с литым ядром заданных размеров. Сварные соединения группы А отличаются большими диаметрами литого ядра, а следовательно, и большей прочностью, чем соединения группы Б, однако для их выполнения необходима большая величина нахлестки.

Основными параметрами режима точечной сварки сталей являются: диаметр рабочей поверхности электродов $d_э$, усилие сжатия деталей $F_{св}$, сила сварочного тока $I_{св}$ и продолжительность его включения (таблица 2).

Диаметр рабочей поверхности электрода $d_э$ обычно близок к расчетному диаметру литого ядра точки d .

Таблица 2

Марка	S=S1, мм	$d_э = d_{э1}$, мм	$t_{св}$, мм	$F_{св}$, Н	$I_{св}$, кА	F срез, Н, не менее
Сталь 10, 20	0,5	3,5-4,0	0,1-0,3	400-1200	3-5	1450
	0,8	4,0-5,0	0,1 -0,3	500-1600	5-6	3000
	1,0	5,0-6,0	0,2 -0,5	800-2000	6-8	4000
	1,5	6,0-7,0	0,3 -0,7	1400-3500	7-9	8000
	2,0	7,0-9,0	0,4 -0,9	2500-5000	8-10	11000
30ХГСА	0,5	3,5-4,0	0,3 -0,7	300-400	2,5- 4,0	1700
	0,8	4,0-5,0	0,5 -0,8	450-550	3-5	3600
	1,0	5,0-6,0	0,8 -1,2	700-800	4-6	4800
	1,5	6,0-7,0	1,0 -1,5	1200-1400	5-7	9000
	2,0	7,0-9,0	1,4 -2,0	1900-2200	6-8	13000
X18H10T	0,5	3,5-4,0	0,06-0,08	1500-2000	3,5-4,5	2000
	0,8	4,0-5,0	0,10-0,12	2400-3000	5,0-6,2	3800
	1,0	5,0-6,0	0,12-0,16	3000-4000	5,8-6,7	5000
	1,5	6,0-7,0	0,16-0,20	5000-6500	7,2-8,5	7500
	2,0	7,0-9,0	0,24-0,26	7500-8500	8,5-10,0	10000

Сварочный ток и усилие сжатия деталей должны обеспечивать плотность тока и давление в сварочном контакте, необходимые для образования литой зоны заданных размеров. Так, при сварке малоуглеродистых сталей на «жестком» режиме средняя плотность тока в контакте электрод-деталь лежит в пределах 200—400А/мм², а давление - в пределах 50—120МПа. Минимальная длительность прохождения сварочного тока, обеспечивающая получение сварных точек заданных размеров и прочности без выплесков при сварке, устанавливается опытным путем.

С увеличением $I_{св}$ и $t_{св}$ размеры литого ядра точки растут. Увеличение усилия сжатия деталей приводит к уменьшению контактного и собственного электрического сопротивления деталей и снижает плотность тока в них. При постоянной силе тока и продолжительности включения его увеличение усилия сжатия деталей ведет к уменьшению размеров и прочности сварной точки. Если

увеличение $F_{св}$ сопровождается соответствующим увеличением $I_{св}$ и $t_{св}$, так что размеры сварной точки не уменьшаются, то прочность тохек с увеличением $F_{св}$ становится более стабильной.

При соблюдении геометрического подобия деталей (их формы) и граничных условий, в частности подобия рабочих поверхностей электродов, процессы точечной сварки детали разных толщин подобны [3]. При этом режим, заданный для деталей одной толщины, может быть пересчитан для деталей другой толщины на основе следующих критериев подобия:

K_2 — критерий геометрического подобия,

$$K_2 = \frac{d}{X} = \frac{d_2}{S}, \text{ откуда } d \propto S \text{ и } d_2 \propto S;$$

K_T — критерий гомохронности — подобия температур в сходственных точках во времени (критерий Фурье F_0),

$$K_T = F_0 = \frac{a \cdot t_{св}}{X^2} = \frac{a \cdot t_{св}}{S^2}, \text{ откуда } t_{св} \propto S^2;$$

K_1 — критерий подобия тепловыделения,

$$K_1 = \frac{T_{св}^2 \cdot \rho \cdot t_{св}}{c \cdot \gamma \cdot T_{III} \cdot d^2}$$

K_F — критерий подобия пластической деформации сварочного контакта.

$$K_F = \frac{F_{св}}{\sigma_{деф}^* \cdot d^2}, \text{ откуда } F_{св} \propto S^2.$$

Здесь X — координата сходственной точки, м;

S — толщина детали, м;

a — коэффициент температуропроводности детали, м²/с;

$t_{св}$ время сварки — время прохождения сварочного тока, с;

$I_{св}$ - действующее значение сварочного тока, А;

$\rho_{г}$ - удельное электрическое сопротивление детали при температуре $T_{пл}$, Ом.м;

c - удельная теплоемкость детали, Дж/кг. К;

γ -плотность материала детали, кг/м³;

$T_{пл}$ -температура плавления детали, К;

$F_{св}$ - усилие сжатия детали, Н;

$\sigma_{ДЕФ}^*$ -сопротивление деформации сварочного контакта, Па.

Соединения, выполненные контактной точечной сваркой, согласно ГОСТ 6996—66 [4], испытываются на срез путем растяжения образца (рисунок 2) или на отрыв растяжением образца (рисунок 3). Размеры образцов зависят от толщины материала S (таблица 3, рисунок 2 и 3).

Таблица 3

Толщина материала $S=S1$, мм	Ширина образца b , мм
До 1 включительно	20
Более 1 до 2 включительно	25
Более 2 до 3 включительно	30

Минимально допустимые усилия среза на одну точку $F_{срез}$ приведены в табл. 2.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАШИНЫ МТП-75-9

Машина предназначена для точечной сварки деталей и титановых сплавов (рисунок 4). Она состоит из сварочного трансформатора 1, переключателя ступеней 2, прерывателя сварочного тока 3, регулятора времени 4,

механизма сжатия деталей 5, электродержателей 6 и электродов 7.

Сварочный трансформатор броневого типа; первичная обмотка секционирована (рисунок 5) [5] с возможностью включения от 64 до 112 битков; вторичная обмотка содержит один виток. Напряжение холостого хода трансформатора изменяется ступенчато с помощью трех вильчатых переключателей; всего ступеней — 8.

Числа витков первичной обмотки трансформатора ω_1 , напряжения холостого хода и сварочные токи $I_{св}$ по ступеням регулирования приведены в таблица 4.

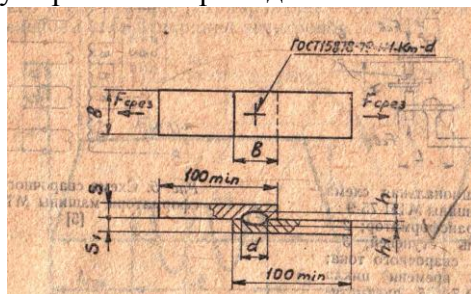


Рисунок 2 - Образец для испытания сварного соединения на срез

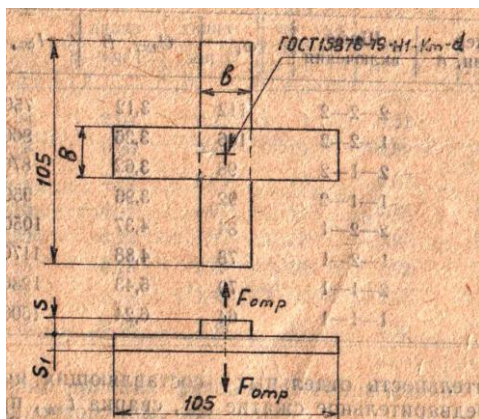


Рисунок 3 - Образец для испытания сварного соединения на отрыв

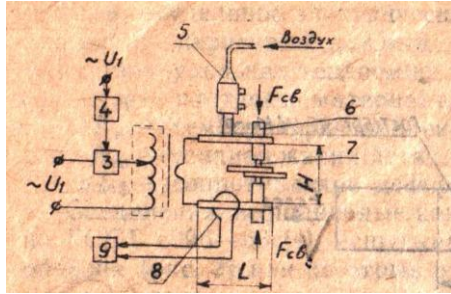


Рисунок 4 - Функциональная схема сварочной машины МТП-75-9 :

- 1-сварочный трансформатор; 2- переключатель ступеней;
 3-прерыватель сварочного тока;4-регулятор времени цикла сварки РВЭ-7;
 5-пневматический механизм сжатия деталей;
 6-электрододержатель; 7- электрод;8 - тороид-датчик прибора ДТС;
 9—прибор ДТС; L—вылет машины, H—раствор машины

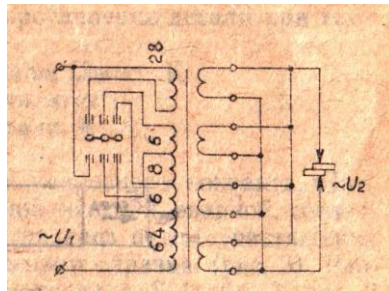


Рисунок 5 - Схема сварочного трансформатора машины МТП 75-9 [5]

Таблица 4

Номер ступени, n	Шифр включения	ω_1	$U_{2XX}, В$	$I_{св}, А$
1	2-2-2	112	3,12	7500
2	1-2-2	106	3,36	8000
3	2-1-2	98	3,62	8700
4	1-1-2	92	3,96	9500
5	2-2-1	84	4,37	10500
6	1-2-1	78	4,88	11700
7	2-1-1	70	5,43	12800
8	1-1-1	64	6,24	15000

Продолжительность отдельных составляющих цикла сварки (рисунок 6)—предварительное сжатие $t_{сж}$, сварка $t_{св}$, проковка t_K и пауза $t_{п}$ —задаются настройкой регулятора времени РВЭ-7 (таблица 5).

Если машина укомплектована синхронным прерывателем сварочного тока, например типа ПИТ (прерыватель игнитронный для точечной сварки), то длительность протекания сварочного тока $t_{св}$ и действующее значение сварочного тока $I_{св}$ в каждом полупериоде устанавливаются соответствующей регулировкой. При этом кроме ступенчатого регулирования тока путем изменения числа витков первичной обмотки сварочного трансформатора машины возможно и его плавное регулирование — регулирование «нагрева» — изменением угла отпираания игнитронов.

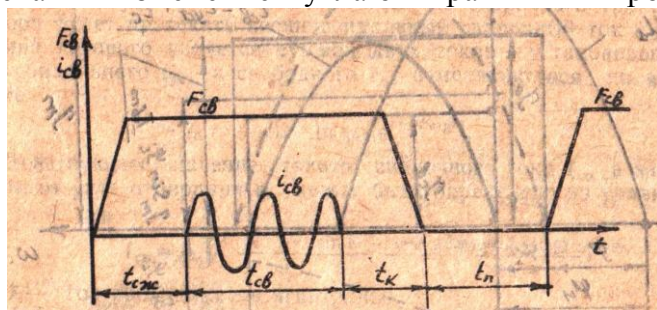


Рисунок 6 - Циклограмма точечной сварки

Таблица 8

Положе- ние указателя	$t_{сж}, t_K$, тп, с	$t_{св}$, с		Положе- ние указателя	$t_{сж}$, t_K , тп, с	$t_{св}$, с	
		Диапа- зон 1	Диапа- зон 2			Диапа- зон 1	Диапа- зон 2
0	0,04	0,04	0,23	8	0,51	0,51	2,68
1	0,06	0,06	0,44	9	0,59	0,59	3,10
2	0,10	0,10	0,75	10	0,67	0,67	3,47
3	0,15	0,15	1,07	11	0,78	0,78	4,02
4	0,22	0,22	1,32	12	0,90	0,90	4,47
5	0,28	0,28	1,58	13	1,02	1,02	5,04
6	0,36	0,36	1,98	14	1,15	1,15	5,80
7	0,48	0,48	2,36	15	1,40	1,40	6,75

Рассмотрим принцип фазового регулирования действующего значения сварочного тока (рисунок 7).

Угол отпирания ψ представляет собой запаздывание момента начала прохождения тока через игнитроны по отношению к нулю напряжения U_1 питающей сети на их анодах. Так как сварочный трансформатор машины обладает значительным индуктивным сопротивлением, то между током и напряжением сети имеет место коэффициент номинальной мощности $\cos\varphi_n = 0,4 - 0,6$.

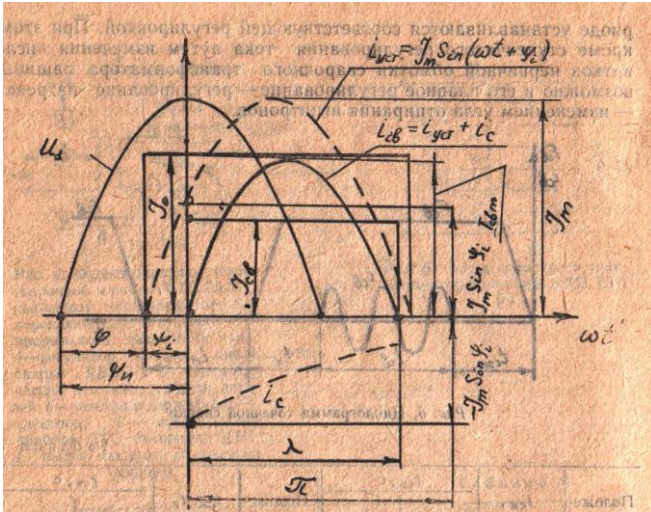


Рисунок 7 - Форма полуволны сварочного тока $i_{св}$ при включении игнитроном RL—цепи сварочного трансформатора на синусоидальное напряжение U , при $\psi_u \varphi$; ($\varphi = \pi / 3$; $\psi_i = \pi / 6$; $\psi_u = \pi / 2$; $K_1 = 0,62$)

При равенстве углов ψ_u и φ переходные процессы отсутствуют, по первичной и вторичной обмоткам сварочного трансформатора протекает установившийся синусоидальный ток, мгновенные значения которого могут быть найдены из соотношения

$$i_{ycm} = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i),$$

где I_m — максимальное значение установившегося тока, $\psi_i = \psi_u - \varphi$ — начальная фаза тока.

В рассматриваемом случае $\psi_u = \varphi, \psi_i = \psi_u - \varphi = 0$,
отсюда $i_{уст} = I_m \sin \omega t$.

Как известно, действующее значение полнофазного синусоидального тока определяется из соотношения

$$I_0 = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Для регулирования нагрева угол отпирания игнитронов ψ обычно устанавливают превышающим угол φ на величину ψ_i при $\psi_u < \varphi$ возникает аварийный режим работы трансформатора из-за резкой асимметрии токов на разных полярностях [3].

В случае по первичной обмотке сварочного трансформатора будет протекать несинусоидальный сварочный ток $i_{св}$, величина которого является суммой двух токов — установившегося синусоидального и свободного i_c , изменяющегося по экспоненте

$$i_c = -I_m \cdot \sin \psi_i \cdot e^{-\omega t \operatorname{ctg} \varphi}$$

Действующее значение такого сварочного тока $I_{св}$, в зависимости от угла отпирания ψ_u может быть определено из уравнения [6]

$$I_{св} = I_0 \sqrt{\frac{\lambda}{\pi} - \frac{\sin \lambda \cos(2\psi_u + \lambda + \varphi)}{\pi \cos \varphi}},$$

где λ — угол проводимости игнитронов.

Углы отпирания и проводимости связаны между собой соотношением

$$\operatorname{tg}(\psi_u - \varphi) = \frac{\sin \lambda}{e^{-\lambda \operatorname{ctg} \varphi} - \cos \lambda}$$

Игнитронные прерыватели позволяют регулировать $I_{св}$ в пределах 40—100% от I_0 .

Зависимость действующего значения сварочного тока от угла отпирания игнитронов используется и для автоматического регулирования «нагрева», в частности, для его стабилизации при изменении условий сварки — изменении напряжения питающей сети, введении во вторичный контур сварочной машины переменной магнитной массы изделия и др.

Необходимо отметить, что с увеличением угла отпирания ψ и эквивалентный коэффициент мощности $\cos\varphi_3$ сварочного трансформатора уменьшается, что снижает характеристики сварочной машины как потребителя электрической энергии.

Эквивалентный коэффициент мощности может быть определен из соотношения

$$\cos\varphi_3 = K_1 \cdot \cos\varphi,$$

где $K_1 = \frac{I_{св}}{I_0} < 1$ - коэффициент кратности по действующему значению тока,

$\cos\varphi$ — коэффициент мощности, определяемый только параметрами сварочного трансформатора (т. е. при $\psi_n = \varphi$ и $\psi_i = 0$).

Так, при $\cos\varphi = 0,5$ и $\psi_n = \pi/2$ эквивалентный коэффициент мощности $\cos\varphi_3$ — 0,38, а при $\psi_n = 2/3\pi$ он уменьшается до значения 0,20 [7].

Техническая характеристика сварочной машины дана в табл. 6

Таблица 6

Параметры	Единица измерения	Величина показателя
Электрические		
Первичное напряжение	В	380
Номинальная мощность	кВА	75
Номинальное ПВ	%	20
Номинальный ток в первичной цепи	А	197
Число ступеней регулирования	шт.	8
Предел регулирования вторичного напряжения	В	3,12-6,24
Ориентировочный наибольший сварочный ток	А	1200
Тип контактора	-	Игнитронный, асинхронный или синхронный
Продолжительность включения сварочного тока	с	От 0,04 до 6,75 при асинхронном контакторе и от 0,02 до 0,38 при синхронном контакторе
Механические		
Характер действия машины	-	Автоматический
Полезный вылет	мм	500
Ход верхнего электрода	мм	80
Вид привода механизма сжатия	-	Пневматический
Максимальное усилие сжатия	Н	5400
Технологические		
Максимальная толщина свариваемых деталей при автоматической работе с асинхронным прерывателем	мм	2,5+2,5
То же при работе с синхронным прерывателем	мм	2+2
Производительность при автоматической работе	Точек в час	4200
Геометрические		

<i>Продолжение табл. 6</i>		
Габаритные размеры Высота Длина Ширина	мм	2120
	мм	680
	мм	1370
Масса машины	кг	650

Действующее значение тока при коротком замыкании $I_{кз}$ и сварке образцов $I_{св}$, а также длительность протекания сварочного тока измеряются прибором ДТС [8] (см. рисунок 4, поз. 9), датчик которого — тороид 8 одевается на вторичный контур сварочной машины.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

К работе допускаются студенты, которые прошли инструктаж по правилам техники безопасности и ответили на контрольные вопросы о подготовке к выполнению лабораторных работ [9].

1. Ознакомиться с конструкцией сварочной машины. Опробовать работу сварочной машины без включения сварочного тока, включить и отрегулировать контрольные приборы.

2. По таблице 2 выбрать режим сварки образцы заданной марки материала и толщины.

3. Провести настройку сварочной машины на выбранный режим сварки, сварить образцы для испытаний соединения на срез или на отрыв.

4. Сварить образцы для испытаний соединений на срез или на отрыв на режимах, отличающихся от выбранного, изменяя величину сварочного тока, длительность его протекания или усилие сжатия деталей.

5. Испытать сварные образцы на срез или отрыв, определить разрушающее усилие на точку,

установить характер разрушения соединения. Каждый студент сваривает и испытывает один-два образца. В отчете следует обобщить данные, полученные всеми студентами бригады.

6. Занести табличные и фактические данные в бланк отчета.

7. Выключить электрическое питание сварочной машины и приборов, перекрыть трубопроводы воздуха и воды, убрать рабочее место.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Упрощенная схема сварочной машины с обозначением основных узлов, циклограмма ее работы (Рисунок 4, 6).

2. Эскизы образцов для испытаний соединения на срез или отрыв до сварки и после испытаний (Рисунок 2 или 3).

3. График зависимости разрушающего усилия от величины исследуемого параметра режима сварки.

4. Краткие выводы по работе, в которых необходимо отметить влияние параметров режима сварки на прочность соединений, описать характер разрушения сварных соединений при испытаниях, сопоставить требуемую и фактическую прочность сварных соединений.

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 04.39

Кафедра производства двигателей летательных аппаратов	Наименование работы	Лаборатория сварки
Дата	Группа	Фамилия студента

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИБОРОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

1. Машина МТП-75-9
2. Прибор ДТС
3. Машина для механических испытаний
4. Штангенциркуль

Схема установки выполняется студентами по Рисунок 4

*КРАТКИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ ПОМЕЩАЮТСЯ НА
ОБОРОТЕ ЛИСТА*

Подпись студента

Работа зачтена _____

Подпись преподавателя _____

Продолжение отчета по лабораторной работе № 04.39

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ВЫЧИСЛЕНИЯ

Задано		Табличные данные						Фактические данные					
S, мм	S1, мм	dэ, мм	dэл, мм	Iсв, А	tсв, с	Fсв, Н	Fсре з, Н	dэ, мм	dэл, мм	Iсв, А	tсв, с	Fсв, Н	Fсре, Н

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 2601-84. Сварка металлов. Термины и определения основных понятий. Введ. с 01.07.85.
2. ГОСТ 15878-79. Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры. Введ. с 01.07.85.
3. Технология и оборудование контактной сварки /Под ред. *Б. Д. Орлова* —М.: Машиностроение, 1985. 352 с.
4. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств. Введ. с 01.01.67.
5. *Бобринский Ю. Н., Сергеев Н. П.* Устройство и наладка контактных сварочных машин. М.: Машиностроение, 1967.
6. *Аксельрод Ф. А., Донской А. В.* Определение угла зажигания вентилях по заданной программе изменения тока // Автоматическая сварка, 1967, № 1. С. 9-10.
7. *Гульденбалк А. П.* К расчету действующих значений токов и коэффициентов мощности контактных машин с игнитронными прерывателями // Автоматическая сварка. 1965. № 4. С. 38—41.
8. *Рудман М. Д., Ивахин А. С.* Прибор ДТС-2 для одновременного измерения длительности и величины тока при точечной сварке. // Сварочное производство, 1965, № 11. С. 44—45.
9. Контрольные вопросы для самостоятельной подготовки студентов лабораторным работам по сварке,— Куйбышев: КуАИ, 1986. С: 28—32.

Рудман Меер Давидович

*ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА
КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ НА
ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИИ*

Редактор Т. К. К р е т и н и н а
Техн. редактор Н. М. К а л е н ю к
Корректор Н. С. К у п р и я н о в а

Сдано в набор 23.02.89 г. Подписано в печать 15.05.89 г.
Формат 60x84 1/16. Печать высокая. Гарнитура литературная.
Усл. п. л. 0,9. Уч.-изд. л. 0,8. Т. 600 экз. Заказ 226.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени акад. С. П. Королева
443001 г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. ЭОЗ Куйбышевский авиационный институт, 443001 г.
Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.