

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 08.10.2023 14:48:13
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)
Кафедра машиностроительных технологий и оборудования

УТВЕРЖДАЮ

проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2017 г.



ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ

Часть 2

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки 15.03.01 Машиностроение
профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

Курск 2017

УДК 621.791

Составитель Н.И. Иванов

Рецензент

к.т.н., профессор ЮЗГУ *Ю.Н. Селезнев*

Технология и оборудование сварки давлением [Текст]: методические указания по выполнению лабораторных работ: в 2 ч. Ч.2 / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Н.И. Иванов. – Курск: ЮЗГУ, 2017. 83 с., ил. 17, табл. 16, прилож. 1. Библиогр.: с. 81.

Содержат сведения по вопросам технологии и оборудования сварки давлением, необходимые при выполнении лабораторных работ. Указывается необходимое оборудование, материалы, порядок выполнения и оформления отчетов по лабораторным работам.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС ВПО по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение профиль «Оборудование и технология сварочного производства».

Работа предназначена для студентов дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 3.03.17. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 4,5. Уч. - изд. л. 4,1. Тираж 50 экз. Заказ 800. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 7. Изучение устройства и принципа действия конденсаторных машин	4
Лабораторная работа № 8. Изучение технологических основ обеспечения качества точечной сварки деталей малых толщин и сечений	15
Лабораторная работа № 9. Знакомство с особенностями конструкции и технологическими возможностями переносных ручных аппаратов для контактной сварки	29
Лабораторная работа № 10. Знакомство с технологиями стыковой сварки и исследование влияния параметров режима на качество соединений	39
Лабораторная работа № 11. Изучение конструкции и принципа действия оборудования для холодной стыковой сварки и получение навыков работы на нем	51
Лабораторная работа №12. Изучение технологических основ процесса холодной сварки	65
Список использованных источников	81
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	82

Лабораторная работа № 7. Изучение устройства и принципа действия конденсаторных машин

7.1 Общие сведения

7.1.1 Основные преимущества и область применения конденсаторных машин.

Машины контактной сварки по принципу электропитания можно разбить на две группы: машины, потребляющие энергию в процессе сварки непосредственно из электросети, и машины, использующие для сварки предварительно накопленную энергию. Применение в машинах второй группы накопителей энергии обусловило основную особенность их работы – разделение во времени операций потребления энергии из электросети и выделения ее при сварке. Указанные особенности устройства и работы конденсаторных машин определяют их энергетические и технологические характеристики.

В настоящее время конденсаторные машины (КМ) являются практически единственным видом оборудования для контактной сварки запасенной энергией, применяемым в промышленности. Однако, это не исключает освоения в будущем других известных способов сварки энергией, запасенной в магнитопроводах сварочных трансформаторов, в электрохимических аккумуляторах, во вращающихся маховиках.

Накопление энергии (т. е. заряд батареи конденсаторов) – наиболее длительная операция цикла работы КМ, а импульсное выделение энергии в момент сварки (разряд батареи) является наиболее кратковременной операцией цикла. Благодаря сравнительно большому времени заряда ($t_3 = 0,5 \div 1,5$ с) обеспечивается существенное снижение потребляемой КМ мощности и точное дозирование запасаемой энергии. По сравнению с машинами аналогичного назначения, КМ имеют меньшую установленную мощность. Например, при сварке легких сплавов толщиной (1,5+1,5) мм машины переменного тока потребляют мощность около 300 кВА, а КМ – не более 20 кВА. При этом, КМ практически не снижают коэффициент мощности сети, так как являются для нее преимущественно активно-емкостной нагруз-

кой.

Точное дозирование энергии для сварки осуществляется в КМ благодаря стабилизации рабочего (заданного) напряжения на накопительных конденсаторах. Ввиду того что заряд батареи конденсаторов происходит в течение длительного времени (за 20÷70 периодов напряжения электросети), удастся стабилизировать напряжение батареи конденсаторов U_c с большей точностью, чем напряжение в машинах с непосредственным питанием от электросети.

Особенности КМ обусловили области их основного применения:

а) сварка деталей малых толщин и диаметров (КМ являются одним из основных видов оборудования контактной сварки в электронике и приборостроении);

б) сварка изделий, не допускающих коробления вследствие нагрева или содержащих элементы, температура нагрева которых ограничена, например сварка корпусов интегральных схем и полупроводниковых приборов, сварка металлических листов с декоративным покрытием из пластика и т. п.;

в) сварка материалов с высокой тепло- и электропроводностью, например, сварка легких сплавов на основе алюминия и магния и т. п.;

г) сварка материалов с различными физико-химическими свойствами;

д) сварка деталей неравной толщины, причем соотношение толщин при сварке может быть наибольшим по сравнению с другими способами контактной сварки.

При прочих равных условиях применение КМ оказывается предпочтительным в большинстве тех случаев, когда требуется высокая стабильность качества сварных соединений (например, при изготовлении изделий ответственного назначения), а также при перегруженной или маломощной электросети.

7.1.2 Устройство и принцип работы типовой конденсаторной машины.

В состав конденсаторной машины, как и любой другой машины контактной сварки, входят две основные части – электрическая и ме-

ханическая.

Механическая часть КМ по своим функциональным узлам не отличается принципиально от контактных машин других видов. Следует лишь отметить, что в КМ применяются, как правило, приводы сжатия электродов с улучшенными динамическими характеристиками, обеспечивающие высокую подвижность электрода, в условиях более кратковременного процесса формирования сварного соединения.

Силовая электрическая часть КМ отличается большим разнообразием как схемных, так и конструктивных решений. Однако большинство узлов являются общими. Аппаратура управления КМ отличается от аппаратуры других контактных машин наличием системы управления зарядным выпрямителем, обеспечивающей регулирование, стабилизацию и контроль рабочего напряжения на конденсаторах. Остальные цепи управления КМ аналогичны цепям других контактных машин.

Как известно, основным принципом работы конденсаторной машины является разряд батареи конденсаторов на первичную обмотку сварочного трансформатора. Упрощенная принципиальная электрическая схема машины представлена на рисунке 7.1.

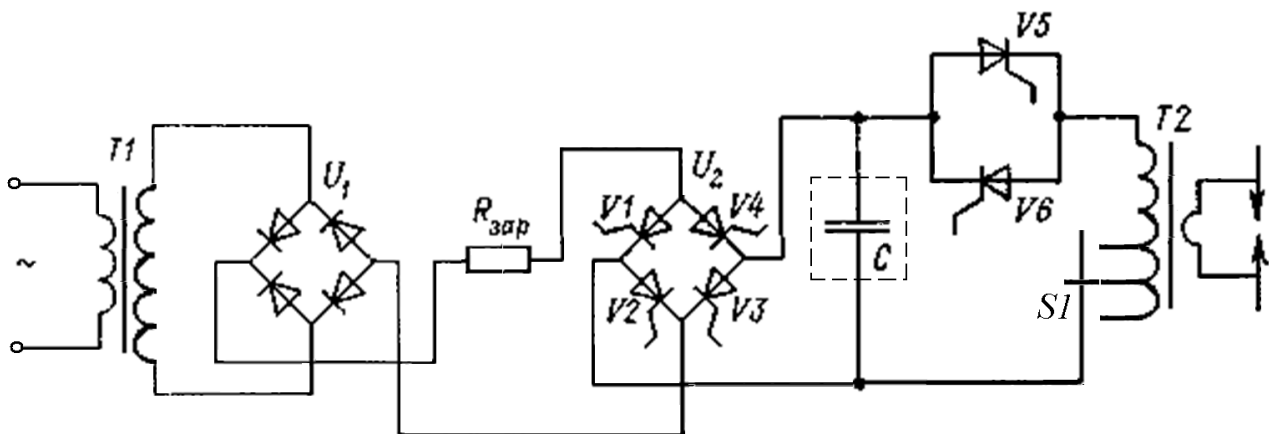


Рисунок 7.1 – Схема силовой части конденсаторной машины: $T1$ – повышающий трансформатор; U_1 – неуправляемый выпрямитель; U_2 – управляемый выпрямитель; $R_{зар}$ – балластные резисторы; C – батарея конденсаторов; $V5, V6$ – разрядные тиристоры; $T2$ – сварочный трансформатор; SI – переключатель ступеней

Напряжение из сети через повышающий трансформатор $T1$ подаётся на неуправляемый выпрямитель U_1 и, далее, через балластный резистор, служащий для ограничения тока заряда, на тиристоры распределителя полярности, позволяющие менять полярность напряжения на батарее конденсаторов C после каждого цикла сварки. Разряд батареи конденсаторов C на первичную обмотку сварочного трансформатора $T2$ происходит через соответствующий разрядный тиристор $V5$ и $V6$, чередуясь по циклам сварки. Чередование полярности необходимо для предотвращения намагничивания трансформатора $T2$ при сварке однополярными импульсами тока.

Энергия (в Дж), накапливаемая батареей конденсаторов, равна

$$W = \frac{CU_3^2}{2}, \quad (7.1)$$

где C – ёмкость батареи конденсаторов, Ф ;

U_3 – напряжение зарядки конденсаторов, В .

Время заряда конденсаторов определяется по формуле

$$t_{\text{зар}} = 3R_{\text{зар}} C \quad (7.2)$$

где $R_{\text{зар}}$ - токоограничивающее сопротивление, Ом.

В зависимости от электрических параметров трансформатора и сварочного контура разряд конденсаторов может быть апериодическим или колебательным.

Параметры импульса сварочного тока, а соответственно и его энергия регулируются с помощью ёмкости и напряжения заряда батареи конденсаторов, а также изменением коэффициента трансформации $K_{\text{тр}}$ сварочного трансформатора.

С увеличением ёмкости конденсаторов растёт амплитуда и длительность импульса сварочного тока. Увеличение напряжения заряда конденсаторов приводит к увеличению амплитуды импульса тока, но его длительность практически не изменяется. С уменьшением $K_{\text{тр}}$ увеличивается амплитуда, а длительность импульса соответственно уменьшается.

В связи с существенной дороговизной конденсаторных дозировщиков сварочной энергии для машин средней и большой мощно-

сти, наибольшее применение получили КМ малой мощности, широко используемые в производстве изделий электроники, прецизионного приборостроения и электрохимической промышленности. Поэтому, в качестве типовой рассмотрим КМ небольшой мощности типа ТКМ-14 (рисунок 7.2), основные технические данные которой приведены в таблице Б.1 приложения Б.

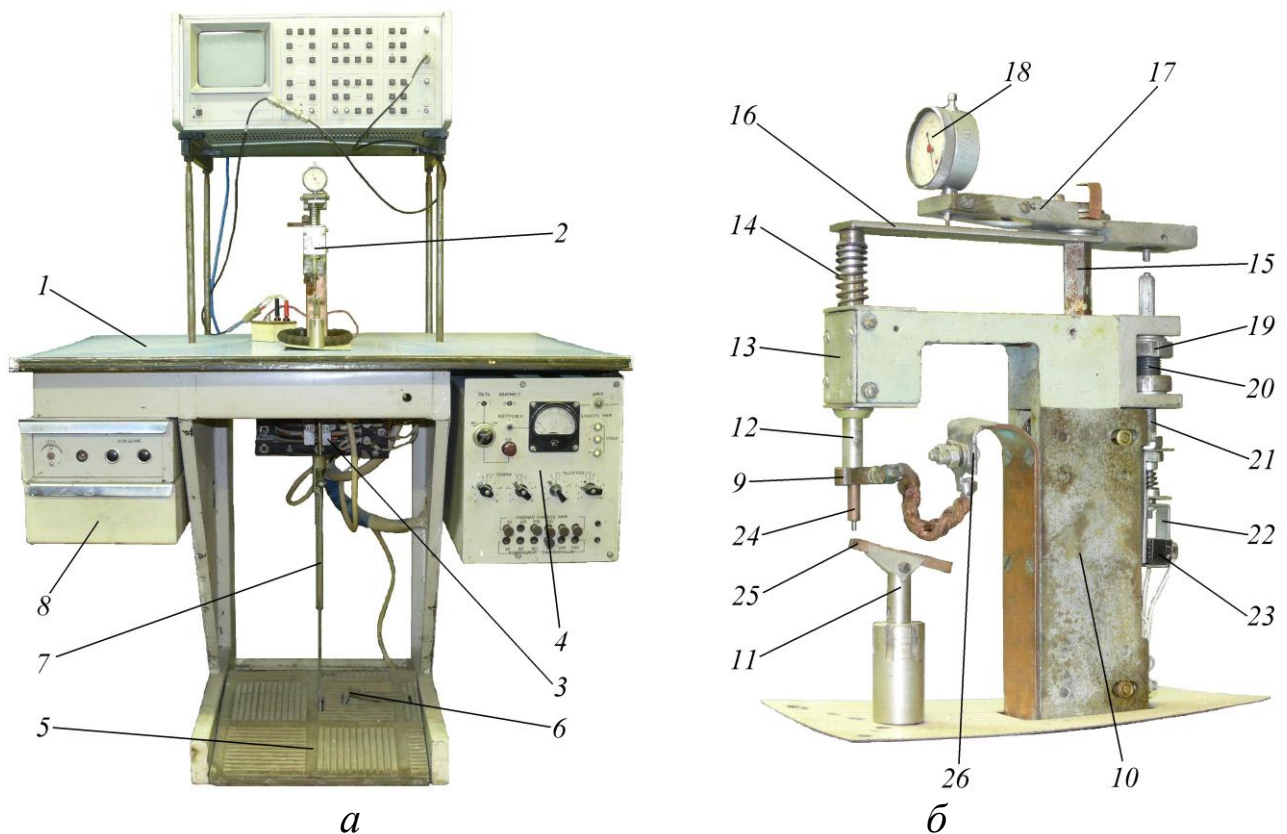


Рисунок 7.2 – Конденсаторная машина ТКМ-14: *а* – общий вид; *б* – сварочная головка; 1 – монтажный стол; 2 – сварочная головка; 3 – сварочный трансформатор; 4 – конденсаторный дозировщик энергии; 5 – педаль; 6 – переключатель режимов; 7 – тяга; 8 – ящик для инструмента; 9 – верхний электрододержатель; 10 – корпус механизма, создающего сварочное давление; 11 – нижний электрододержатель; 12 – шток; 13 – крышка направляющих с шариками; 14 – возвратная пружина; 15 – шток; 16 – плоская пружина; 17 – кронштейн; 18 – индикатор сварочного давления; 19 – регулировочная гайка; 20 – винт; 21 – штифт; 22 – скоба; 23 – микровыключатель; 24 – электрод верхний; 25 – электрод нижний; 26 – токоподводящая шина

Машина предназначена для микросварки изделий из никеля,

платинита, вольфрама, алюминированного железа, низкоуглеродистых и нержавеющей сталей, жаропрочных и легких сплавов и т.д. толщиной $0,01 \div 0,2$ мм и диаметром $0,02 \div 0,8$ мм.

Устройство машины ТКМ-14. В электрическую часть машины входят (рисунок 7.2, а) сварочный трансформатор 3, элементы вторичного контура сварочной головки 2, конденсаторный дозировщик сварочной энергии 4, состоящий из следующих функциональных узлов: зарядного устройства, блока конденсаторов, разрядного устройства, блока управления зарядным и разрядным устройствами, измерительной цепи для контроля напряжения на конденсаторах блока аварийной сигнализации.

В механическую часть, осуществляющую непосредственно сварку входят: монтажный стол 1, сварочная головка 2, рычажно-педальный механизм, включающий педаль 5, переключатель режимов 6 и тягу 7.

В корпусе 10 сварочной головки (рисунок 7.2, б) размещены узлы механизма, создающего сварочное давление. Верхний электрододержатель 9 смонтирован на штоке 12, перемещающемся в направляющих с шариками, закрытых крышкой 13. Направляющие с шариками смонтированы в корпус так, что одна из них поджимается к штоку 12 и фиксируется винтами. Это необходимо для того, чтобы обеспечить перемещение штока 12 в вертикальном направлении без колебаний, смещений и поворотов. В верхней части штока 12 имеется цилиндрическая возвратная пружина 14, один конец которой упирается в корпус, а другой конец – в полукруглую головку штока 12. Механизм, создающий сварочное давление, состоит из системы рычагов, связанных с педалью, и штока 15, перемещающегося в роликовых направляющих, смонтированных в корпус 10. В нижней части штока 15 имеется возвратная пружина, упирающаяся одним концом в выступ штока 15, а другим концом – в основание корпуса 10.

В верхней части штока 15 одним концом жестко прикреплена плоская пружина 16, которая другим концом свободно опирается на головку штока 12 и передает сварочное давление. В этой же части штока 15 укреплен кронштейн 17 с индикатором 18 сварочного давления.

Сварочное давление регулируют при помощи гайки 19, которая перемещает вверх-вниз винт 20, имеющий по оси отверстие для штифта 21. Нижний конец этого штифта касается через скобу 22 кнопки микровыключателя 23, связанного с источником питания устройства, а верхний конец выступает из винта 20. Электроды 24 и 25 укреплены, соответственно, в электрододержателях 9 и 11. При этом нижний электрод 25 имеет возможность поворачиваться на требуемый для сварки угол относительно оси штока 11. От трансформатора 3 к электрододержателю 9 подведена токоподводящая шина 26.

Рычажно-педальный механизм состоит из тяг, шарниров, возвратной пружины и собственно педали с ножным переключателем на две позиции (имеется возможность настройки машины одновременно на два различных режима).

Работа машины ТКМ-14 по циклу сварки. В электрододержателях 9 и 11 устанавливаются соответствующие свариваемому изделию электроды 24 и 25. С помощью гайки 19, перемещают винт 20 вверх или вниз, меняя зазор между штифтом 21 и регулировочным винтом в кронштейне 17, и тем самым устанавливают требуемое в соответствии с технологией сварки давление. На передней панели конденсаторного дозировщика энергии устанавливают необходимые электрические параметры режима сварки (величину коэффициента трансформации, напряжения зарядки и емкости конденсаторов).

При нажатии на педаль шток 15 в роликовых направляющих перемещается вниз до упора кронштейна 17 в штифт 21. В это время плоская пружина 16, жестко укрепленная одним концом к штоку 15, через полукруглую головку штока 12, перемещает последний в направляющих с шариками до упора электрода 24 в свариваемое изделие, установленное на нижнем электроде 25. В процессе перемещения штока 12 цилиндрическая пружина 14 сжимается, а плоская пружина 16 прогибается на величину, определяемую расстоянием между кронштейном 17 и штифтом 21. Прогиб плоской пружины 16, соответствующий заданному по режиму сварки давлению устанавливается гайкой 19 и контролируется индикатором 18.

При перемещении штифта 21 кронштейном 17 вниз штифт 21 через скобу 22 отжимает кнопку микровыключателя 23, в результате

чего включается источник питания устройства, обеспечивающий нагрев и сварку деталей. Поскольку токоподводящая шина 26 в месте подхода ее к верхнему электрододержателю 9 расположена перпендикулярно корпусу нижнего электрододержателя 11, исключается действие электродинамических сил на зону образования сварного соединения.

После окончания сварки отпускается педаль и шток 15 с плоской пружиной 16, кронштейном 17 и индикатором 18 под действием пружины возвращается вверх, в исходное положение. При этом штифт 21 поднимается вверх, утапливая черен скобу 22 кнопку микровыключателя 23, и шток 12 под действием пружины 14 также возвращается в исходное положение. Сварочная головка готова для следующей сварки.

7.2 Цель и задачи работы

Изучение устройства и принципа действия конденсаторных машин на примере типовой машины ТКМ-14. Исследование влияния параметров настройки режима на осциллограммы импульсов сварочного тока.

7.3 Оборудование, приборы и материалы

7.3.1. Установка ТКМ-14.

7.3.2 Электроннолучевой осциллограф с запоминанием С9-8 с комплектом соединительных кабелей.

7.3.3 Индукционный датчик тока с интегрирующей RC-цепочкой.

7.3.4 Пассатижи.

7.3.5 Медная пластинка толщиной $1,5 \div 2,0$ мм.

7.3.6 Плоский надфиль.

7.3.7 Цифровой фотоаппарат.

7.4 Порядок выполнения работы

7.4.1 Изучить конструкцию, назначение, размещение и взаимодействие основных элементов и узлов машины ТКМ-14 и ответить на контрольные вопросы.

7.4.2 Проверить исправность источника питания машины. Перед такой проверкой следует ознакомиться с назначением органов контроля и регулирования, расположенных на лицевой панели конденсаторного дозировщика сварочной энергии (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Назначение органов контроля и регулирования машины ТКМ-14

№№ п/п	Обозначение ручек управления	Назначение ручек управления
1	«5»	Включение токоограничивающего конденсатора: 5 мкФ
2	«10»	10 мкФ
3	«20»	20 мкФ
4	«Контроль»	Кнопка включения контрольного вольтметра
5	«Сварка»	Переключатели регулировки напряжения заряда рабочих конденсаторов основного сварочного импульса.
6	«Цикл»	Переключатель цикла работы (левое положение соответствует двух импульсному циклу, правое - одно импульсному).
7	«Подогрев»	Переключатели регулировки напряжения заряда рабочих конденсаторов подогревного импульса.
8	«Емкость конденсаторов» «Коэффициент трансформации»	Переключатели соответственно рабочих конденсаторов и коэффициента трансформации сварочного трансформатора.

Для проверки исправности электрической схемы источника питания следует:

- включить вилку шнура питания в сеть 220 В;
- установить переключатели «сварка-подогрев» в крайнее правое положение;
- при двухимпульсном цикле сварки тумблер «цикла» переключить в положение «Работа»;
- электроды сварочной головки должны быть разомкнуты, что

соответствует исходному состоянию микровыключателя сварочной головки;

- в гнезда переключателя ступеней блока конденсаторов вставить все штеккеры;

- в гнездо переключателя «240» переключателя коэффициента трансформации сварочного трансформатора вставить один штеккер;

- тумблер «сеть» поставить в верхнее положение;

- убедиться в том, что светится сигнальная лампа «Сеть»;

- поставить ножной переключатель режима сварки в одно из двух положений;

- установить на механизме сжатия по индикатору усилие не менее $30 \div 50$ Н;

- вставить между электродами пластину из меди толщиной $1,5 \div 2,0$ мм;

- нажать кнопку «контроль V»;

- нажать на педаль и убедиться по индикатору в том, что на электроды прикладывается сварочное давление, а стрелка вольтметра «V» отклонилась от нулевого положения;

- переключением ручки «сварка», соответствующей положению ножного переключателя режима сварки, убедиться по шкале вольтметра, в том, что напряжение зарядки конденсаторов изменяется от минимального значения 220 В до максимального 400 В (**Следует помнить! В момент переключения ручки «сварка» педаль должна находиться в не нажатом состоянии**);

- переключатель «цикл» поставить в положение «подогрев»;

- переключением ручки «подогрев», соответствующей положению нижнего переключателя режима сварки, убедиться по шкале вольтметра в том, что напряжение зарядки конденсаторов изменяется от минимального (190 В) до максимального (300 В) значения.

7.4.3 Установить органы регулировки и переключатели в положения, соответствующие циклу сварки одним импульсом тока. При этом:

- напряжение зарядки установить $U_{св} = 350$ В;

- коэффициент трансформации $K_{тр} = 160$;

- емкость конденсаторов $C_p = 500$ мкФ;

- емкость токоограничивающих конденсаторов C_3 в соответствии с таблицей 7.2.

Таблица 7.2 – Сведения для выбора емкости токоограничивающих конденсаторов C_3

C_3 , мкФ	C_p , мкФ
5	100, 150
10	200, 250, 300
15	350, 400
20	450, 500

7.4.4 Подключить машину к сети, нажать поочередно на кнопки «Пуска» и убедившись, что светится сигнальная лампа «Сеть» нажать кнопку «контроль». Проконтролировать по вольтметру правильность установки напряжения.

7.4.5 Вставить между электродами медную пластину толщиной $2 \div 3$ мм, нажать педаль до упора и зафиксировать с помощью осциллографа форму импульса тока, соответствующую базовому режиму.

7.4.6 Изменить поочередно один из установочных электрических параметров режима. При этом емкость токоограничивающих конденсаторов выбирать в соответствии с таблицей 2.

7.4.7 Сфотографировать и сравнить кривые сварочного тока в режиме короткого замыкания.

7.4.9 Снять кривые тока и усилия при сварке, на режимах с непроваром, выплеском и хорошим качеством. Результаты представить в виде осциллограмм, на которых указать фактические значения всех параметров, характеризующих форму кривых импульса тока и усилия.

7.5 Содержание отчета по работе

- название работы, ее цель и задачи;
- краткая характеристика машины ТКМ-14 (ее назначение, состав и технические данные);

- кинематическая схема механизма сжатия, описание его работы и настройки;
- осциллограммы сварочного тока, снятые при различных установочных параметрах режима и объяснения влияния этих параметров на характер изменения тока;
- выводы по результатам проведенных опытов.

7.6 Контрольные вопросы

7.6.1 Перечислите технико-экономические преимущества конденсаторной сварки.

7.6.2 Назовите основные узлы электрической части конденсаторных машин и их назначение.

7.6.3 Перечислите установочные параметры режима сварки.

7.6.41 Охарактеризуйте контрольно-измерительные средства исследования процесса.

7.6.5 Какими параметрами характеризуются импульс сварочного тока и усилие в зоне сварки?

7.6.6 Как влияют установочные электрические параметры на геометрию импульса тока?

7.6.7 Каков принцип работы механизма сжатия и синхронизации приложения усилия с включением тока?

Лабораторная работа № 8. Изучение технологических основ обеспечения качества точечной сварки деталей малых толщин и сечений

8.1 Общие сведения

Самое широкое применение контактная сварка деталей толщиной от 0,01 до 0,3 мм и в диапазоне диаметров от 0,05 до 2 мм нашла в производстве изделий электроники и прецизионного приборостроения.

Сварка таких деталей имеет ряд особенностей, создающих дополнительные проблемы в технологии и выборе оборудования, к ко-

торым относятся:

- относительно малое собственное сопротивление деталей и обоснованное технологией сварочное усилие определяют резко возрастающую роль контактных сопротивлений как источника теплоты;

- существенное выделение теплоты в контактах «электрод-деталь», соизмеримое с тепловыделением в сварочном контакте;

- исключительная жесткость режима сварки, повышающая чувствительность процесса к выплескам, массопереносу, увеличению рассеяния показателей прочности;

- большое разнообразие форм, размеров, сочетаний толщины материалов деталей, создающие сложности металлургического порядка и затрудняющие нахождение оптимальных режимов сварки;

- более резкое влияние различных переменных факторов на качество сварных соединений (состояния поверхности, усилия сжатия деталей, диаметра электродов, времени сварки, перекоса электродов, их неточной установки и взаимного сдвига, массопереноса, большой крутизны нарастания сварочного тока, инерционности механизма сжатия, изменения сопротивления сварочного контура машины и др.).

Всё вышперечисленное усложняет получение высококачественных соединений миниатюрных узлов. Высокую устойчивость качества сварки удастся обеспечить лишь при ужесточении требований:

- к машине – в отношении постоянства параметров, малой инерционности механизма сжатия, достаточной жесткости сварочного контура;

- к технологии – в отношении тщательной отработки всех элементов технологического процесса, выбора оптимального режима, широкого использования контрольных приборов;

- к квалифицированному обслуживанию машин – в отношении регулярной проверки состояния сварочного контура, особенно его контактов, механизмов сжатия и других систем.

Режим сварки выбирают преимущественно жесткий (обычно время сварки не более 0,01 с) с использованием, как правило, кон-

денсаторных машин. Находят применение также машины переменного тока обычной и повышенной частоты. Часто применяют предварительный подогрев дополнительным или модулированным сварочным импульсом тока при постоянном усилии сжатия. Это позволяет стабилизировать электрический контакт и уменьшить склонность к выплескам.

8.1.1 Методика определения параметров режима точечной сварки малогабаритных деталей.

Режим точечной сварки определяется величиной сварочного тока, временем его протекания и усилием сжатия электродов. Режим конденсаторной сварки может быть подобран регулированием следующих параметров: ёмкости батареи конденсаторов; напряжения заряда конденсаторов; коэффициента трансформации; усилия сжатия электродов; формы и размеров контактных поверхностей электродов.

На практике параметры режима конденсаторной сварки подбираются опытным путем или определяются по немногочисленным справочным таблицам, полученным по результатам сварки различных материалов на машинах конкретного типа.

Отсутствие данных о теплофизических свойствах свариваемых материалов в функции от температуры, нелинейный характер изменения источников нагрева и теплоотвода, различная конфигурация свариваемых деталей не позволяют выполнить точный математический расчет основных электрических и механических параметров режима конденсаторной сварки. Однако в ряде случаев с достаточной для практики точностью значения параметров могут быть определены по эмпирическим формулам, полученным различными авторами по результатам статистической обработки данных многочисленных экспериментов.

Усилие сжатия электродов $P_э$, определяет условия формирования начального контакта «деталь-деталь» и «электрод-деталь», а также условия упруго-пластического деформирования металла в зоне сварки. Для точечной микросварки оно может быть определено по формуле:

$$P_э = 0,75d_э^2\sigma_к \quad , \quad (8.1)$$

где d_3 – диаметр контактной поверхности электрода, мм;

σ_k – давление в контакте, равное $(5 \div 10)$ даН/мм² для пластичных материалов и $(10 \div 30)$ даН/мм² для жаропрочных сплавов и упрочненных материалов.

Длительность импульса сварочного тока $t_{св}$, определяющая степень жесткости режима сварки, а следовательно, интенсивность нарастания температуры в зоне сварки, оказывает существенное влияние на формирование литой зоны и условия деформирования металла соединения. На основании изучения влияния $t_{св}$ на характер формирования тепловых полей сварных точек предложено следующее соотношение предельных значений длительности мягкого ($t_{св.м}$), оптимального ($t_{св.о}$) и жесткого ($t_{св.ж}$) режимов

$$t_{св.м} : t_{св.о} : t_{св.ж} = 3 : 1 : \frac{1}{3} \quad . \quad (8.2)$$

При ширине зоны термического влияния (ЗТВ), соответствующей режиму средней интенсивности или оптимальности ($ЗТВ \leq \delta$), оптимальное значение $t_{св}$ (в мс) может быть определено по эмпирической формуле

$$t_{св} = K_T \frac{\delta^2}{a} + K_\delta \delta, \quad (8.3)$$

где K_T – коэффициент, принимаемый для металлических чистых поверхностей в пределах $(2 \div 2,5)$, а для окисленных – $(4 \div 5)$;

δ – толщина более тонкой детали, мм;

a – температуропроводность свариваемого материала, см²/с;

K_δ – коэффициент, принимаемый равным 5,0 для диапазона свариваемых толщин $(0,05 \div 0,5)$ мм.

Амплитуда импульса тока $I_{св}$ определяет, наряду с $t_{св}$, величину тепловложения и, следовательно, размеры литой зоны соединения. Для определения амплитуды сварочного тока $I_{св}$ различными авторами предложены эмпирические формулы. Однако на практике ток $I_{св}$ наиболее целесообразно корректировать по данным металлографического анализа (так как указанные выше формулы получены с учетом ряда допущений). Следует также учитывать, что с увеличением $I_{св}$ глубина проплавления свариваемого металла увеличивается. При

глубоком проплавлении (порядка $0,6 \div 0,8 \delta$) прочность сварных соединений, при прочих равных условиях, повышается, что связывают с отсутствием локально распределенных окисных пленок и неметаллических включений в плоскости сопряжения деталей.

Характер формирования соединений, от которого в значительной мере зависит их качество, определяется соотношением тепловыделения и теплоотвода в зоне контактной сварки. Интенсивность протекания этих процессов в большой степени зависит от площади физического контакта «деталь-электрод» и материала рабочей части последнего. При оптимальной интенсивности нагрева зоны сварки для получения качественного соединения диаметр контактной (рабочей) поверхности электрода $d_э$ должен составлять:

$$6 \div 5 \delta \leq d_э \leq 10 \delta \quad (8.4)$$

Если $d_э < 3\delta$, то, наряду с уменьшением прочности, возрастает вероятность образования выплесков и подплавления поверхностей деталей и электродов из-за недопустимого повышения плотности тока в контакте «электрод-деталь» и недостаточного отвода тепла в электроды.

В случае $d_э > (10 \div 15)\delta$ и оптимальной интенсивности нагрева, линии тока концентрируются по периферии контактной поверхности электрода (вследствие проявления скин-эффекта), а выравнивание температур в зоне сварки не успевает завершиться. Литое ядро образуется в виде тороида. В данном случае, хотя и обеспечивается высокая прочность, но герметичность соединения при шовной сварке не гарантируется, так как распределение плотностей линий тока носит случайный характер. Исключить образование тороидального ядра сварной точки при вынужденном использовании электродов с соотношением $d_э/\delta > (10 \div 15)$ можно лишь при увеличенной длительности импульса сварочного тока.

8.1.2 Особенности контроля качества точечных соединений.

Качество точечных сварных соединений в изделиях радиоэлектронной промышленности (РЭП) определяется их прочностью при низких и высоких температурах, статических и вибрационных нагрузках, ударах и больших ускорениях. Поэтому значительная деформация соединяемых деталей (рисунок 8.1, а), непровар (рисунок

8.1, б), малая площадь схватывания в зоне соединения (рисунок 8.1, г), прожог даже одной из деталей (рисунок 8.1, д) являются недопустимыми дефектами при микросварке.

Кроме того, условия работы, назначение, эксплуатационные параметры изделий определяют во многих случаях ряд специфических требований к качеству. К таким требованиям относятся:

- отсутствие в зоне сварки деталей раковин (рисунок 8.1, д) и пор (рисунок 8.1, в);

- при выполнении сварочной операции не должны образовываться выплески жидкого металла (рисунок 8.1, ж), которые остаются в зоне сварки или прилипают к окружающим деталям;

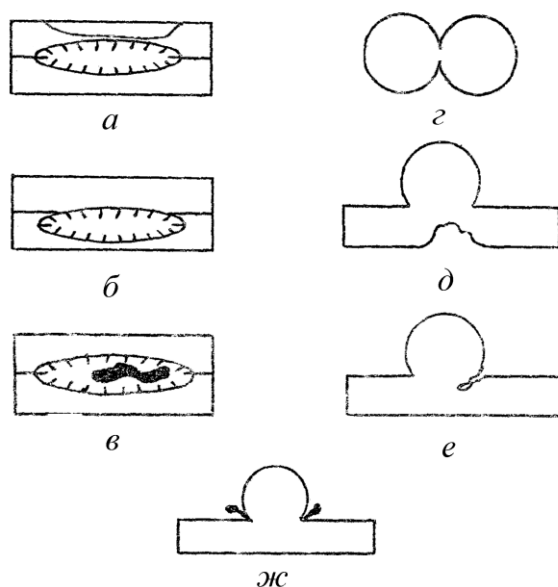


Рисунок 8.1 – Точечные микросварные соединения с различными видами брака: а, б, в – при сварке деталей типа лист+лист; г – провод+провод; д, е, ж – провод+лист

- на поверхности зоны соединения не должно быть следов электродного материала (медь и её сплавы), способного при испарении ухудшить служебные свойства прибора;

- необходимо обеспечение заданной точности размеров и взаимного расположения свариваемых деталей;

- ЗТВ должна быть минимальной в связи с необходимостью выполнения сварки вблизи сая металла со стеклом или полупровод-

никовым элементом;

- сварные соединения должны иметь хороший внешний вид и др.

Таким образом, качество точечных сварных соединений изделий РЭП является обобщенным показателем, определяемым перечисленными выше требованиями.

Стремительные темпы развития и усложнение электронной аппаратуры обуславливают всё более высокие требования к надежности изделий. Поэтому повышение качества миниатюрных соединений, выполненных контактной точечной сваркой является очень важной задачей.

В заводской практике прочностные характеристики сварных соединений обычно определяют выборочными испытаниями на срез или отрыв, а также путем легкого натяжения в каждом изделии одной из свариваемых деталей относительно другой с помощью пинцета.

Низкие прочностные характеристики трудно поддаются сплошному контролю каждого соединения (натяжение одной детали относительно другой не позволяет установить истинные прочностные характеристики соединений), поэтому значительная часть такого брака может пройти все стадии технологического цикла изготовления изделия и проявиться только в процессе эксплуатации прибора.

Наличие выплесков определяется внешним осмотром сварного соединения и близлежащих деталей визуально или с применением оптических средств при небольшом увеличении.

Также внешним осмотром выявляется наличие на поверхности деталей в зоне сварки пор, трещин, окисленных участков, следов, электродного материала и других загрязнений, прожога, значительной деформации зоны сварки (более 60 % толщины или диаметра одной из деталей), точность размеров и взаимного расположения свариваемых деталей.

Наличие внутренних раковин и трещин в сварных соединениях в настоящее время можно обнаружить только с помощью металлографического анализа.

Как показывает производственный опыт, значительная часть брака по микросварке обнаруживается только при испытаниях и эксплуатации готовых изделий.

Так как невысокая надежность изделий РЭП во многом обусловлена низким качеством сварных соединений, в настоящее время в нашей стране и за рубежом интенсивно ведутся исследовательские работы по изысканию неразрушающих способов сплошного (100 %) контроля качества сварных соединений по обобщающим параметрам, тесно коррелирующим с различными показателями качества этих соединений.

8.1.3 Оборудование для сварки малогабаритных деталей.

Прецизионная точечная сварка малогабаритных деталей, используемая в производстве изделий РЭП, предъявляет жесткие требования к сварочному оборудованию, которое, вмонтировано в конструкцию монтажного стола и, независимо от конструктивного исполнения, представляющее единый механизм – монтажно-сварочный стол. Монтажно-сварочные столы универсальны по применению и, обычно, рассчитаны на сварку всех металлов, применяющихся в РЭП в различных сочетаниях. Рассмотрим устройство универсальной сварочной установки УС.КТОП-6000, также являющейся монтажно-сварочным столом.

Установка предназначена для двухсторонней контактной точечной сварки деталей и сборочных единиц в диапазоне толщин (по никелю) от 0,01 до 0,3 мм и в диапазоне диаметров от 0,05 до 2 мм с контролем энергетических параметров режима сварки. Основные характеристики установки приведены в таблице Б.3 приложения Б.

Установка обеспечивает усилие сжатия электродов механизмом с комбинированным приводом: пневматическим и пружинным, а ее комбинированный источник сварочного тока позволяет работать по трем независимым режимам:

- 1) сварка током источника промышленной частоты;
- 2) сварка током конденсаторного источника;
- 3) сварка током конденсаторного источника с предварительным подогревом зоны сварки током источника промышленной частоты.

Контроль параметров режимов сварки в установке осуществля-

ется прибором ЦИЭ-1.

Принцип работы установки заключается в сжатии свариваемых деталей заданным усилием электродами сварочной головки и подачи на свариваемые детали импульсов сварочного тока заданной амплитуды, длительности и их количества.

Установка (рисунок 8.2, *а*) представляет собой монтажно-сборочный стол 3, с размещенными на нем сварочным блоком 1 и цифровым измерителем энергии ЦИЭ-1 2.

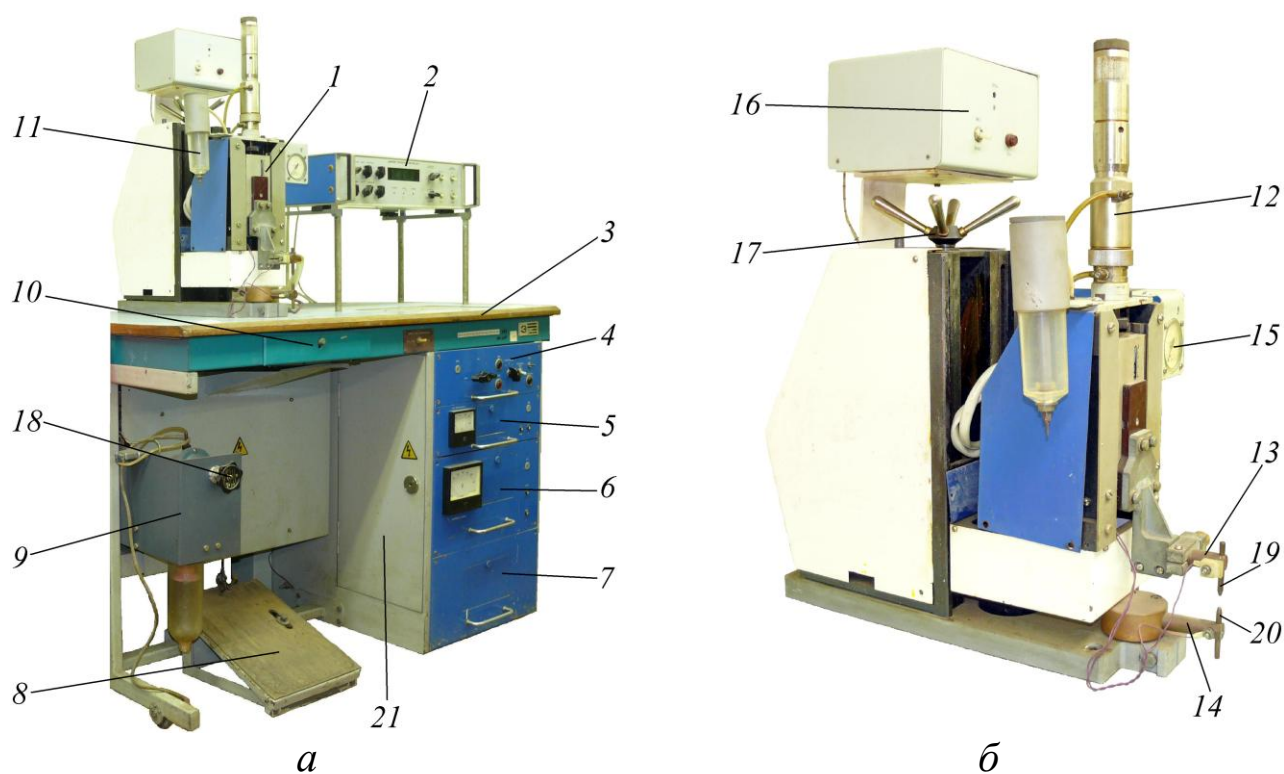


Рисунок 8.1 – Установка УС.КТОП-6000: *а* – внешний вид; *б* - сварочная головка; 1 – блок сварочный; 2 – цифровой измеритель энергии ЦИЭ-1; 3 – стол монтажно-сборочный; 4 – блок включения; 5 – блок управления импульсом переменного тока; 6 – блок управления конденсаторным и комбинированным импульсами тока; 7 – блок конденсаторов; 8 – педаль; 9 – пневмопанель; 10 – коммутатор; 11 – капельница; 12 – пневмоцилиндр; 13 – электрододержатель верхний; 14 – электрододержатель нижний; 15 – манометр; 16 – блок управления капельницей; 17 – маховичок пружинного привода сжатия; 18 – регулятор (редуктор) давления воздуха; 19 – электрод верхний; 20 – электрод нижний; 21 – шкаф

Усилие сжатия свариваемых деталей передается от ноги оператора через педаль 8 на электроды 19, 20 (рисунок 8.2, б). При этом включается подача воздуха в пневмоцилиндр 12, создающий заданное усилие сжатия электродов, при котором срабатывает микропереключатель, включенный в цепь управления источником сварочного тока, что обеспечивает подачу импульса тока на свариваемые детали.

Электрическая часть установки состоит из комбинированного источника сварочного тока, сварочного трансформатора и элементов сварочного контура.

Конструктивно источник сварочного тока включает в себя четыре блока, размещенные в шкафу 21 (рисунок 8.2, а): блок включения 4; блок управления 5 источника промышленной частоты; блок управления 6 конденсаторного источника и блок конденсаторов 7.

Блок включения 4 предназначен для включения и отключения установки, включения и отключения источника сварочного тока и установки режима его работы, а также для управления работой капельницы. Включение и отключение установки производится пакетным выключателем СЕТЬ. При включении установки загорается сигнальная лампа СЕТЬ. Включение и отключение источника сварочного тока производится, соответственно, кнопками ВКЛ и ОТКЛ.

Выбор режима работы источника сварочного тока осуществляется переключателем РЕЖИМ РАБОТЫ. Положениям «1», «2» и «3» переключателя соответствуют:

«1» – сварка током промышленной частоты (конденсаторный источник отключен);

«2» – сварка импульсом конденсаторного источника (источник промышленной частоты отключен);

«3» – сварка импульсом конденсаторного источника с предварительным подогревом зоны сварки током источника промышленной частоты (оба источника включены).

Блок управления источника промышленной частоты 5, представляющий собой тиристорный регулятор цикла сварки, позволяет дискретно регулировать длительность серии импульсов сварки (количество импульсов) в пределах от одного до десяти полупериодов напряжения сети, а также плавно регулировать величину сварочного

тока путем изменения угла включения силовых тиристорov. Индикация величины угла (в процентах от $\varphi_{\max}=180^\circ$) осуществляется микроамперметром – большим значениям микроамперметра соответствуют меньшие значения величины сварочного тока. На клемму СИНХР. выведен синхроимпульс, предназначенный для синхронизации осциллографа при визуальном контроле импульсов сварочного тока.

Блок управления конденсаторного источника б (рисунок 8.2, а) функционально объединяет в себе устройство для заряда конденсаторной батареи и разрядное устройство. Зарядное устройство обеспечивает заряд батареи конденсаторов до заданного уровня за время, не превышающее 0,5 с, и поддержание с высокой точностью напряжения заряда батареи в течение неограниченного интервала времени. Установка уровня напряжения заряда батареи конденсаторов в пределах от 150 до 500 В осуществляется двумя потенциометрами – ГРУБО и ПЛАВНО. Непрерывная индикация напряжения заряда батареи осуществляется вольтметром.

Штеккерный коммутатор «300 В/500 В», расположенный на левой боковой стенке блока, предназначен для переключения напряжения вторичной обмотки зарядного трансформатора в соответствии с диапазоном регулирования напряжения заряда батареи конденсаторов (для доступа к коммутатору необходимо выключить установку и открыть боковую дверцу шкафа 21, закрывающую зону межблочных соединений). При положении «500 В» коммутатора обеспечивается весь диапазон регулирования заряда батареи конденсаторов. Однако, при заряде батареи до напряжений менее 300 В рекомендуется устанавливать переключатель в положение «300 В», чем обеспечивается уменьшение импульсной токовой нагрузки на питающую сеть, т.е. улучшение энергетических характеристик установки.

Разрядное устройство обеспечивает получение импульса сварочного тока путем разряда батареи конденсаторов через первичную обмотку сварочного трансформатора. Сварочный импульс формируется с задержкой, регулируемой дискретно в пределах от 1 до 50 мс, относительно запускающего сигнала. Переключателем «ЗАДЕРЖКА×10» устанавливается задержка в пределах от 0 до 40

мс ступенями по 10 мс. Переключателем «ЗАДЕРЖКА×1» устанавливается дополнительная задержка от 1 до 10 мс с дискретностью 1 мс.

Блок конденсаторов 7 (рисунок 8.2, а) является составной частью конденсаторного источника сварочного тока и представляет собой батарею конденсаторов общей емкостью 1200 мкФ с коммутатором, позволяющим изменять емкость используемой части батареи в пределах от 100 до 1200 мкФ с дискретностью 100 мкФ. Кроме того, блок конденсаторов содержит в своем составе батарею токоограничивающих резисторов, являющуюся в функциональном отношении составной частью зарядного устройства конденсаторного источника. В случае, когда все штекеры коммутатора вынуты из гнезд, емкость используемой части батареи конденсаторов равна 100 мкФ.

Сварочный трансформатор броневого типа с регулируемым коэффициентом трансформации и его коммутатор 10 размещены под столешницей установки.

Устройство контроля параметров режима сварки состоит из цифрового измерителя энергии ЦИЭ-1 2 (см. рис. 1) и преобразователей тока ИПТ-1 и ИПТ-2, надетых на токоподводящие шины, идущие с колодок сварочного трансформатора к электрододержателям 13 и 14 (рисунок 8.2, б).

8.2 Цель работы

Знакомство с особенностями устройства универсальной установки для контактной сварки малогабаритных деталей. Освоение техники настройки оборудования на режим и выполнение сварки различными по форме импульсами тока. Приобретение навыков практического использования контрольно-измерительных приборов при точечной сварке малогабаритных деталей.

8.3 Оборудование и материалы

8.3.1 Установка УС.КТОП-6000 с цифровым измерителем энергии ЦИЭ-1.

8.4.3 В режиме короткого замыкания сварочного контура установки (через медную пластину) исследовать с помощью осциллографа характер изменения мгновенных значений импульсов тока различной формы (при регулировании емкости и напряжения зарядки батареи конденсаторов, коэффициента трансформации, угла фазовой регулировки, задержки импульса переменного тока относительно конденсаторного – по указанию преподавателя). Кривые тока фотографировать с экрана осциллографа.

8.4.4 Подготовить к работе прибор ЦИЭ-1. Измерить электрические характеристики (энергию, интеграл тока и интеграл напряжения) импульсов тока с экстремальными значениями длительности и амплитуды.

8.4.5 Сварить образцы на различных режимах (по указанию преподавателя), проводя при этом осциллографирование импульса сварочного тока и измерение одной из электрических характеристик с помощью ЦИЭ-1.

8.4.6 Путем внешнего осмотра (с помощью микроскопа) и механических испытаний на срез или отрыв оценить качество сварки каждого сварного соединения.

8.4.7 Сопоставить результаты оценки качества соединений с результатами измерения по ЦИЭ-1.

8.4.8 Сделать выводы по работе.

8.5 Содержание отчета по работе

- Цель и задачи работы;
- конструкционные особенности и технологические возможности машины УС.КТОП-6000;
- осциллограммы импульсов сварочного тока различной формы;
- таблица с данными измерений и наблюдений;
- схема нагружения образцов при механических испытаниях;
- анализ полученных результатов и выводы по работе.

8.6 Контрольные вопросы

8.6.1 Назовите основные узлы установки УС.КТОП-6000.

8.6.2 Как осуществляется сжатие деталей на установке?

8.6.3 Какие импульсы тока могут быть получены на установке?

8.6.4 Каковы преимущества конденсаторной сварки перед сваркой на переменном токе?

8.6.5 Какие особенности создают дополнительные проблемы в технологии и выборе оборудования при сварке миниатюрных прецизионных деталей?

8.6.6 При выполнении каких условий удастся получить высококачественные соединения при сварке малогабаритных деталей?

8.6.7 Как определяются параметры режима контактной точечной сварки малогабаритных деталей?

8.6.8 Какую роль в получении качественного сварного соединения играют размеры и материал электродов?

8.6.9 Назовите виды дефектов точечных соединений и возможные причины их образования при сварке малогабаритных деталей.

8.6.10 Почему при контактной микросварке особенно остро ощущается отсутствие 100%-ного неразрушающего контроля?

Лабораторная работа № 9. Знакомство с особенностями конструкции и технологическими возможностями переносных ручных аппаратов для контактной сварки

9.1 Общие сведения

С развитием малых промышленных предприятий, мелкосерийного производства, небольших частных авторемонтных мастерских и других сервисных предприятий, а также фермерских хозяйств, садово-огородных и дачных участков возникла необходимость соединения металлов относительно небольших толщин (до $1,0 \div 1,5$ мм) и сечений (диаметром до 6 мм). Реализовать эту потребность во многих случаях можно с помощью переносных ручных аппаратов для контактной сварки небольшой мощности, имеющих малые габариты и вес, питающиеся от бытовой электрической сети 220 В, и позволяющих быстро и качественно выполнять сварочные работы.

Переносными ручными аппаратами могут успешно выполняться различные типы соединений:

- нахлесточные соединения тонколистовых деталей между собой и с деталями большой толщины;
- соединения деталей типа «проволока» или «пруток» между собой в крест и с листовыми деталями в нахлестку и др.;
- соединения крепежа с листовыми деталями в нахлестку и в тавр.

В отличие от обычных стационарных сварочных машин, переносные ручные аппараты представляют собой компактное устройство, выполненное в виде ручных клещей для контактной сварки, состоящих из корпуса с трансформатором и присоединенными к нему в виде щипцов держателями для электродов. В верхней части обычно имеется рычаг, который регулирует ширину раскрытия электрододержателей и является элементом привода механизма сжатия электродов. Усилие сжатия электродов создается рукой сварщика при помощи рычажной системы, нередко через силовую пружину цилиндрического или тарельчатого типа.

Достоинством конструктивного исполнения клещей с встроенным сварочным трансформатором является относительно небольшая потеря мощности во вторичном контуре, а недостатком – ощутимое увеличение веса клещей, удерживаемых в процессе работы рукой сварщика. При сварке на переменном токе масса клещей составляет не менее 10÷13 кг.

Значительно уменьшить массу клещей можно при использовании для питания сварочного трансформатора тока повышенной частоты. Трансформаторы в контактных машинах, питаемые током частотой 700÷1500 Гц, имеют массогабаритные характеристики в несколько раз меньшие, чем трансформаторы, питаемые напряжением промышленной частоты.

9.1.1 Конструктивные особенности ручного аппарата Telwin Digital Modular 230.

Telwin Digital Modular 230 – однофазный ручной аппарат контактной сварки (клещи), предназначенный для промышленного и профессионального использования. Управление клещами осуществ-

ляется благодаря микропроцессору «Fuzzy logic», который дает возможность установить необходимые параметры – толщину изделия, время и режим работы.

Все переносные клещи, также как и стационарные машины контактной сварки, состоят из двух основных частей – электрической и механической.

Механическая часть (рисунок 9.1, *а*) состоит из корпуса *1*, в котором размещаются все остальные элементы механической и электрической частей, пружинного механизма сжатия с рычагом *2* ручного привода, верхнего *3* и нижнего *4* электрододержателей, верхнего *5* и нижнего *6* электродов и ручки *7* для удержания клещей другой рукой в процессе сварки.

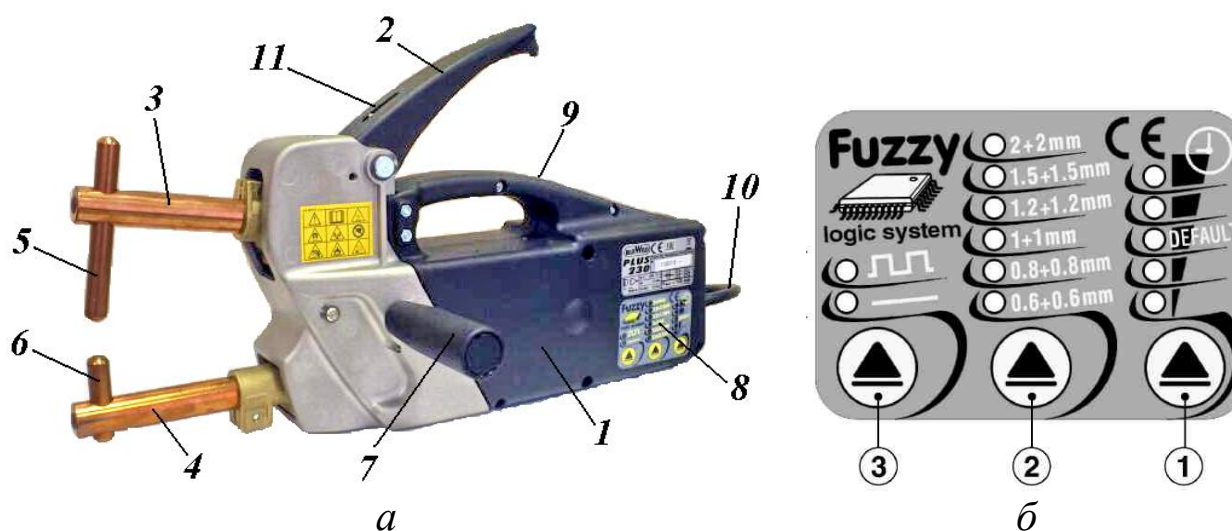


Рисунок 9.1 – Ручной переносной аппарат Telwin Digital Modular 230: *а* – внешний вид; *б* – органы управления панели настройки режима сварки (обозначения в тексте); *1* – корпус; *2* – рычаг; *3*, *4* – верхний и нижний, соответственно, электрододержатели; *5*, *6* – верхний и нижний, соответственно, электроды; *7* – ручка; *8* – панель настройки режима; *9* – микровыключатель; *10* – кабель питания; *11* – шкала индикатора настройки усилия

Электрическая часть клещей включает сварочный трансформатор, встроенный в корпус *1*, элементы вторичного контура – верхние *3*, *5* и нижние *4*, *6* электрододержатели и электроды, соответственно,

панель настройки режимов сварки 8, микровыключатель 9 и кабель питания 10, для подключения аппарата к питающей сети.

На панели настройки режимов (рисунок 9.1, б) имеются кнопка 1, используемая для настройки времени точечной сварки, кнопка 2 – для выбора толщины свариваемых листов, и кнопка 3 – для выбора импульсного или непрерывного протекания сварочного тока.

Режим импульсного протекания тока применяется для материалов, имеющих высокий предел текучести, или для сварки металлических листов с различными технологическими покрытиями. Для сварки обычных конструкционных сталей используется режим непрерывного протекания тока.

Аппарат имеет электронную защиту от перегрева. При ее срабатывании на панели настройки режимов будут мигать по очереди два сигнальных диода, а остальные сигнальные диоды на панели не горят. При этом аппарат автоматически блокируется от возможности выполнения сварочных точек, до надлежащего его остывания.

9.1.2 Переносной аппарат с источником тока повышенной частоты.

В лаборатории контактной сварки ЮЗГУ разработан переносной ручной аппарат с питанием сварочного трансформатора током повышенной частоты, в котором для формирования импульсов сварочного тока используется схема автономного резонансного инвертора тока. В разработанном аппарате с инверторным источником, при питании от бытовой электрической сети 220 В, формируются импульсы тока частотой не менее 1000 Гц, что позволило за счет снижения габаритов и массы сварочного трансформатора уменьшить массу клещей до 7 кг. Снижение массы клещей создает благоприятные условия для расширения их технологических возможностей и снижения трудоемкости эксплуатации.

Переносной ручной аппарат ((рисунок 9.2, а)) состоит из двух частей, связанных между собой электрически – инверторного блока питания и сварочных клещей с ручным приводом механизма сжатия электродов. Для переноски клещи 2 с токоподводящим силовым кабелем укладываются в ниши корпуса блока питания 1, который закрывается поворотной крышкой.

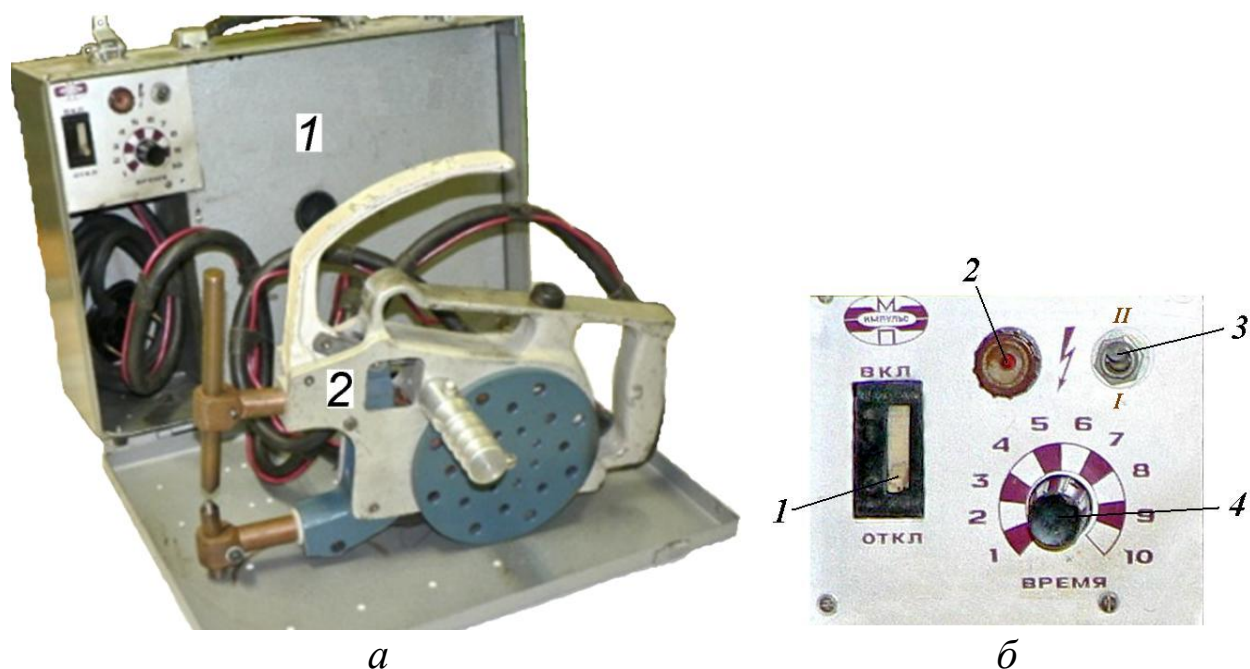


Рисунок 9.2 – Универсальный переносной ручной аппарат для контактной сварки с инверторным источником питания: *а* – внешний вид; *б* – панель настройки режима сварки (обозначения в тексте); 1 – инверторный блок питания; 2 – клещи

Включение аппарата осуществляется автоматическим выключателем 1 (рисунок 9.2, б), расположенным на панели инверторного источника питания. На этой же панели размещены элементы сигнализации 2 наличия зарядного напряжения на конденсаторах силового выпрямителя и настройки аппарата на требуемый режим сварки. Тумблером 3 осуществляется переключение ступеней малого (I) и большого (II) сварочного тока и ручка регулятора времени 4 протекания тока.

Устройство клещей показано на рисунке 9.3. При сварке с двусторонним подводом тока клещи работают следующим образом.

К собранным внахлестку (двум листам или листа со стержнем) или в крест (двум стержням) деталям, помещенным между нижним 2 и верхним 3 электродами, нажатием на рукоятку 4 до упора 5 прикладывается усилие через серьгу 6 и кронштейн 7. Нажатием пусковой кнопки 8, вмонтированной в ручку 9 включается сварочный ток от вторичной обмотки трансформатора 10 через нижний 11 и верхний 12 электрододержатели. Отпуская рукоятку 4, она под действием

пружины *13* через толкатель *14* возвращается в исходное положение, разжимая сваренные детали.

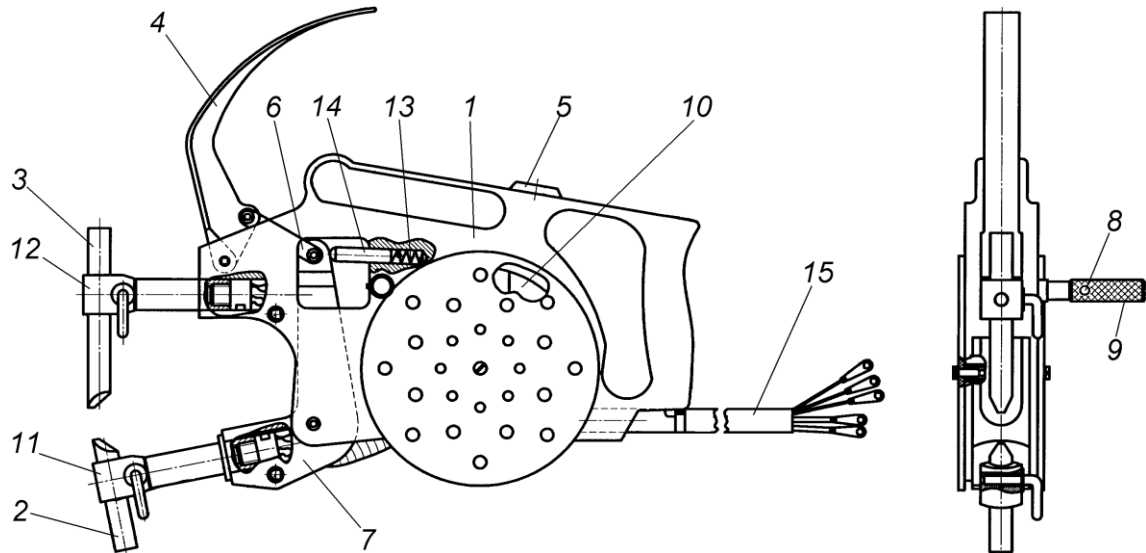


Рисунок 9.3 – Клещи переносного ручного аппарата для контактной сварки: *1* – корпус; *15* – соединительный кабель с блоком питания (остальные обозначения в тексте)

Для выполнения сварки с односторонним подводом тока предусмотрено, взамен прямых электродов, в клещах применять фасонные электроды Г-образной формы (рисунок 9.4, *а*).

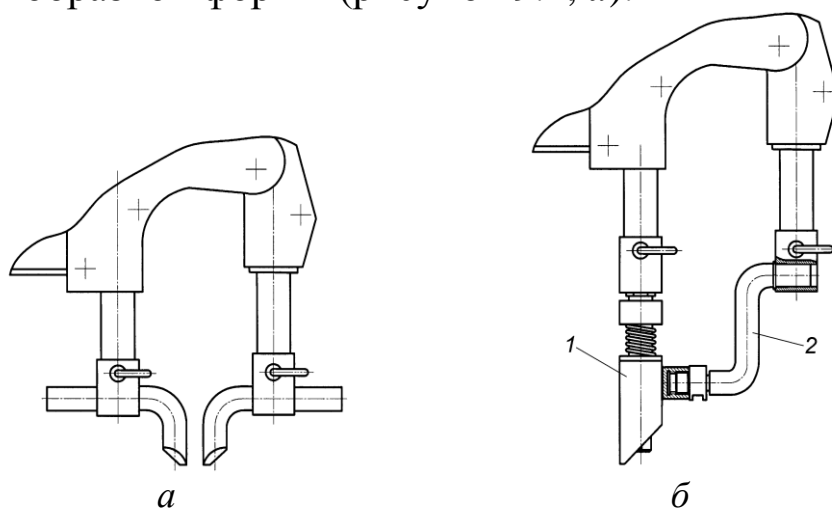


Рисунок 9.4 – Крепление в клещах электродов для сварки с односторонним подводом тока (*а*) и специальной насадки для Т-образной сварки крепежа (*б*): *1* – насадка; *2* – гибкий токоподвод

В этом случае усилие к свариваемым деталям прикладывается только нажатием на клещи двумя руками. Требуемое расстояние между сварными точками настраивается соответствующей установкой электродов в электрододержателях.

Аналогично прикладывается усилие к соединяемым деталям при сварке Т-образных соединений крепежа с поверхностью плоской детали, осуществляемой с применением в качестве электродов специальной насадки, показанной на рисунке 9.4, б.

Аппарат имеет следующие основные технические характеристики:

Напряжение и частота питающей сети, В / Гц	220 ±10% / 50
Частота вторичного тока, Гц	1200±15%
Вторичный ток (амплитудное значение), А	
максимальный	6000
минимальный	1500
Вторичное напряжение холостого хода, В	2,2
Кратковременная мощность, потребляемая в момент сварки (не более), кВт·А	12
Максимально допустимое усилие сжатия электродов, даН	130
Диапазон толщин свариваемых листов из низкоуглеродистой стали:	
при двустороннем подводе тока, мм	от 0,5+0,5 до 1,2+1,2
при одностороннем подводе тока (толщина листа со стороны электродов), мм	от 0,5 до 1,5
Диаметр свариваемой стальной проволоки, мм	от 1,5+1,5 до 6,0+6,0
Диаметр привариваемого в тавр крепежа, мм	3,0 ÷ 4,0
Диапазон плавного регулирования времени сварки, с	0,1 ÷ 1,0
Габаритные размеры аппарата, мм (длина × ширина × высота)	440×180×340
Масса аппарата, кг (не более)	25
в том числе клещи	7
инверторный блок питания	18

9.2 Цель работы

Знакомство с особенностями устройства переносных ручных аппаратов для контактной сварки – Telwin Digital Modular 230 и ап-

парата с инверторным источником питания (конструкции ЮЗГУ). Освоение техники настройки аппаратов на режим и исследование технологических характеристик импульсов сварочного тока по их осциллограммам.

8.3 Оборудование и материалы

9.3.1 Переносной аппарат Telwin Digital Modular 230.

9.3.2 Переносной аппарат с инверторным источником тока.

9.3.3 Универсальный прибор для измерения тока АСУ-1М.

9.3.4 Электроннолучевой осциллограф с запоминанием С9-8.

9.3.5 Индуктивный датчик тока с интегрирующей RC-цепочкой.

9.3.6 Пассатижи.

9.3.7 Медная пластина толщиной $1,5 \div 2,0$ мм.

9.3.8 Пластина из низкоуглеродистой стали толщиной $2,0 \div 3,0$ мм.

9.3.9 Цифровой фотоаппарат.

9.4 Порядок выполнения работы

9.4.1 Знакомство с особенностями устройства переносного ручного аппарата Telwin Digital Modular 230 и исследование технологических характеристик импульсов сварочного тока.

9.4.1.1 Ознакомиться с теоретическим материалом и особенностями устройства и работы Telwin Digital Modular 230.

9.4.1.2 Установить требуемое (по указанию преподавателя) усилие сжатия, для этого необходимо:

- тщательно заблокировать нижний электрод в наиболее удобном для выполнения работы положении;

- ослабить винт крепления верхнего электрода в электрододержателе и, сместив электрод в отверстии электрододержателя, установить катушку индуктивности (датчик тока) во вторичном контуре аппарата;

- поместив между электродами медную пластину, и, поджимая ее рычагом, заблокировать в правильном положении верхний электрод.

трод, тщательно затянув винт крепления;

- регулировочным винтом в рычаге, по индикатору на шкале, установить требуемое усилие сжатия цилиндрической силовой пружины механизма сжатия аппарата.

9.4.1.3 В режиме короткого замыкания сварочного контура клещей (через медную пластину) исследовать с помощью прибора АСУ-1М и осциллографа характер изменения мгновенных значений импульсов тока при различных параметрах настройки аппарата. Результаты измерений занести в таблицы 9.1 и 9.2.

Таблица 9.1 – Исследование параметров непрерывного тока

Позиция времени	Заданная толщина листов, мм					
	0,6+0,6	0,8+0,8	1,0+1,0	1,2+1,2	1,5+1,5	2,0+2,0
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 9.2 – Исследование параметров импульсно протекающего тока

Позиция времени	Заданная толщина листов, мм					
	0,6+0,6	0,8+0,8	1,0+1,0	1,2+1,2	1,5+1,5	2,0+2,0
1						
.....						
5						

9.4.2 Знакомство с особенностями устройства переносного ручного аппарата с инверторным источником питания и исследование технологических характеристик импульсов сварочного тока.

9.4.2.1 Ознакомиться с теоретическим материалом и особенностями устройства и работы ручного аппарата с инверторным источником питания.

9.4.2.2 Установить требуемое (по указанию преподавателя) усилие сжатия, для этого необходимо:

- выставить в электрододержателях верхний и нижний электроды так, чтобы длина их токоподводящих частей равнялась 60 мм и 25 мм, соответственно. Такие установочные размеры являются условием создания усилия сжатия, не превышающего предельно допустимое значение с точки зрения целостности и работоспособности клещей (~ 120 даН) при сварке листов с суммарной толщиной до 3 мм. Если суммарная толщина свариваемого изделия превышает установочную длину (при сварке проволок), то установочную длину электродов следует уменьшить на суммарную толщину свариваемого изделия;

- проверить и, при необходимости, отрегулировать соосность электродов – при нажатой рукоятке один электрод должен быть как бы продолжением другого, т.е. диаметры рабочих поверхностей электродов должны совпадать.

9.4.2.3 В режиме замыкания сварочного контура клещей через пластину из низкоуглеродистой стали исследовать с помощью прибора АСУ-1М и осциллографа характер изменения мгновенных значений импульсов тока при различных параметрах настройки аппарата. Результаты измерений занести в таблицу 9.3.

Таблица 9.3 – Исследование параметров сварочного тока на первой и второй ступенях (малых и больших токов)

Ступень	Позиция времени									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>I</i>										
<i>II</i>										

98.5 Содержание отчета по работе

- Цель и задачи работы;
- конструкционные особенности и технологические возможности переносных аппаратов Telwin Digital Modular 230 и с инверторным источником питания;
- характерные осциллограммы импульсов сварочного тока переносных аппаратов;

- таблица с данными измерений;
- графики зависимости параметров тока от параметров настройки аппаратов;
- анализ полученных результатов и выводы по работе.

9.6 Контрольные вопросы

9.6.1 Основные достоинства переносных ручных аппаратов для контактной сварки?

9.6.2 Какие типы соединений могут успешно выполняться переносными ручными аппаратами для контактной сварки?

9.6.3 В чем отличие переносных ручных аппаратов для контактной сварки от обычных стационарных сварочных машин?

9.6.4 Достоинства и недостатки конструктивного исполнения клещей с встроенным сварочным трансформатором?

9.6.5 Чем может быть достигнуто значительное уменьшение массы клещей?

9.6.6 Для каких целей в аппарате Digital Modular 230 предусмотрен режим импульсного протекания тока?

9.6.7 Почему необходима в переносном ручном аппарате электронная защита от перегрева?

Лабораторная работа № 10. Знакомство с технологиями стыковой сварки и исследование влияния параметров режима на качество соединений

10.1 Общие сведения

10.1.1 Сварка сопротивлением

Этот способ обычно применяют при сварке деталей небольших поперечных сечений из чёрных и цветных металлов и их сплавов: сталей (до 200 мм²), меди, латуни, бронзы, алюминия (до 100 мм²).

Подготовка торцов деталей под сварку сопротивлением состоит в ровной обработке и тщательной зачистке до металлического блеска. Подготовку можно осуществлять на токарных станках, дисковы-

ми пилами, наждачными кругами и т.д. Основное условие качественной сварки – плотное прилегание свариваемых торцов по всему сечению. Учитывая это, стыковую сварку сопротивлением не применяют для деталей сложной конфигурации, а также с большой площадью поперечного сечения. В этих случаях даже при хорошей обработке торцов невозможно добиться равномерного разогрева по всему сечению, в результате чего, как правило, в стыке образуются непровары.

Поверхность деталей для лучшего электрического контакта с токоподводящими электродами должна быть зачищена от ржавчины, масла и других загрязнений по всей длине заготовки, зажимаемой в электроды (губки). Мелкие детали (звенья цепей, заготовки инструмента и т.д.) зачищают в галтовочных барабанах с кварцевым песком и сухими древесными опилками. Крупные детали в местах токоподвода зачищают ручным электроинструментом (например, наждачными кругами).

В массовом производстве широко применяется травление в кислоте с последующей нейтрализацией в щелочи.

Процесс сварки сопротивлением выполняют в следующей последовательности:

- детали с ровно обрезанными и хорошо зачищенными торцами зажимают в электродах (губках) машины и сдавливают;
- включают сварочный ток и торцевые поверхности деталей разогреваются до температуры близкой к температуре плавления ($0,8-0,9 T_{пл}$) материала свариваемых деталей;
- под действием приложенного усилия автоматически происходит осадка разогретых торцов;
- выключают сварочный ток и детали вынимают из зажимов.

К основным параметрам стыковой сварки сопротивлением относятся: сварочный ток; длительность нагрева (время сварки); величина давления осадки; установочная длина (т.е. длина концов деталей, выступающих из электродов); величина осадки.

Сварочный ток оказывает большое влияние на качество сварки. При малом токе могут появиться непровары и включения окислов. Слишком большой ток может привести к перегреву или пережогу

металла. Величину тока подсчитывают как произведение необходимой плотности тока на площадь поперечного сечения заготовок. Плотность тока, в зависимости от материала и сечения свариваемых деталей лежит в довольно широких пределах от 10 до 200 А/мм². С увеличением площади поперечного сечения деталей плотность тока следует уменьшать. Цветные металлы и их сплавы сваривают на токах больших плотностей. Сварочный ток регулируют переключателем ступеней мощности.

Длительность нагрева или время прохождения тока через детали в основном зависит от выбранной плотности тока и площади поперечного сечения свариваемых деталей. Она обычно составляет от десятых долей секунды до нескольких секунд. С увеличением площади поперечного сечения длительность нагрева увеличивается. При слишком длительном нагреве возможно образование в стыке окислов и малопластичной перегретой структуры металла. Время прохождения тока регулируют специальными устройствами или вручную нажатием на пусковую кнопку.

Давление осадки выбирают в зависимости от площади поперечного сечения, температуры нагрева и марки металла. При недостаточном давлении может появиться непровар, а при чрезмерном давлении возможно образование трещин. Давление осадки подсчитывают как произведение удельного давления на площадь поперечного сечения заготовок. Удельное давление, применяемое при сварке цветных металлов и сплавов составляет 10÷15 МН/м², а при сварке сталей 20÷50 МН/м². Для ускорения нагрева в начале сварки прикладывается небольшое давление, а к концу сварки, т.е. в момент осадки, его увеличивают. Механизм регулировки величины давления осадки у машин различных типов не одинаковый: пружинный, кулачковый, пневматический и т.д.

Установочная длина оказывает большое влияние на нагрев свариваемых деталей. При небольшой установочной, длине стык нагревается плохо вследствие усиленного отвода тепла в медные электроды (губки), обычно охлаждаемые водой. При большой установочной длине в хорошо нагреваемом стыке образуется слишком большое утолщение, кроме того, возможна потеря устойчивости и искривле-

ние свариваемых деталей. Обычно установочная длина принимается равной $0,5 \div 2$ диаметра стержня. При сварке разнородных металлов их установочная длина различна.

Величину осадки выбирают в зависимости от поперечного сечения свариваемых деталей в пределах $2 \div 10$ мм. Общая осадка распределяется на осадку под током и осадку без тока. При недостаточной осадке в стыке возможны непровары, окислы и шлаковые включения. При завышенной величине осадки возможно искривление волокон и образование трещин.

10.1.2 Сварка оплавлением

Этот способ применяется при сварке деталей из углеродистых и легированных сталей с большим поперечным сечением, тонкостенных деталей с развитым сечением, при сварке разнородных металлов (сталь с медью, медь с алюминием и т.п.).

При сварке оплавлением к подготовке торцов деталей особых требований не предъявляют. В процессе оплавления все неровности на поверхности стыка оплавляются и выравниваются. На сварку могут поступать детали непосредственно после рубки или газовой резки с окалиной и даже ржавчиной на поверхности торцов. Единственное требование к заготовкам - это хорошая зачистка их поверхностей в местах токоподвода.

Сущность сварки оплавлением состоит в том, что между торцами деталей при медленном их сближении под током в одной или нескольких точках возникает электрический контакт. В результате незначительного давления, развиваемого в контакте, его переходное сопротивление будет значительным. В контакте выделяется большое количество тепла и между торцами деталей образуется перемычка жидкого металла. Эта перемычка под действием раскаленных газов взрывается, и жидкий металл выбрасывается из стыка в виде искр, брызг и паров. При дальнейшем медленном сближении деталей в соприкосновение входят следующие части металла, которые также расплавляются и взрываются. Когда вся поверхность торцов оплавится и покроется тонким слоем жидкого металла, детали резко сдавливают и выключают ток. При сдавливании жидкий металл вытесняется вместе с окислами из стыка, образуя так называемый грат, а рас-

положенный под ним твердый металл сваривается.

Сварку оплавлением можно осуществлять непрерывным оплавлением или оплавлением с предварительным подогревом.

Процесс сварки непрерывным оплавлением протекает в следующей последовательности:

- детали зажимают в электроды (губки) машины с небольшим зазором;

- подают напряжение на первичную обмотку сварочного трансформатора и начинают сближать соединяемые детали, возбуждается процесс оплавления;

- дают осадку под током;

- ток выключают и производят окончательную осадку без тока;

- детали освобождают из зажимов.

Процесс сварки оплавлением с предварительным подогревом протекает аналогично, только перед началом оплавления детали подогревают непосредственно в машине. Подогревать можно методами сопротивления или прерывистого оплавления.

При подогреве методом сопротивления детали сближают при включенном сварочном токе и выдерживают в сомкнутом состоянии $0,2 \div 5,0$ с (в зависимости от сечения). Затем их разводят и снова сводят. Общее число таких смыканий может быть от 3 до 30. После нагрева торцов до температуры ($800 \div 1100$) °С возбуждается процесс непрерывного оплавления.

При подогреве методом прерывистого оплавления детали периодически смыкаются и размыкаются под током. Торцы при этом разогреваются с обильным выбрасыванием искр из стыка. После последнего размыкания начинается процесс оплавления. В дальнейшем в обоих случаях процесс сварки протекает также, как и при непрерывном оплавлении.

Для возбуждения и поддержания устойчивого процесса оплавления необходимо повышенное (по сравнению со сваркой сопротивлением) напряжение на электродах машины.

К основным параметрам стыковой сварки оплавлением относятся: сварочный ток; установочная длина; скорость оплавления и скорость осадки; давление осадки.

Сварочный ток устанавливают в зависимости от необходимой плотности тока. Плотность тока при сварке непрерывным оплавлением углеродистых сталей должна быть меньше, чем при сварке сопротивлением ($10 \div 50 \text{ А/мм}^2$). При сварке с предварительным подогревом плотность тока может быть уменьшена до $3 \div 10 \text{ А/мм}^2$. При сварке цветных металлов и сплавов плотность тока увеличивают до $100 \div 150 \text{ А/мм}^2$.

Установочная длина при сварке оплавлением оказывает такое же влияние на качество соединения, как и при сварке сопротивлением.

Скорость оплавления оказывает большое влияние на нагрев деталей. При небольшой скорости оплавления увеличивается глубина прогрева. Обычно в начале процесса скорость оплавления небольшая, особенно при сварке деталей с большим поперечным сечением. Перед осадкой, во избежание окисления торцов деталей, скорость оплавления увеличивают.

Скорость осадки в несколько раз превышает скорость оплавления и растет с увеличением склонности металла к окислению. При небольшой скорости осадки частицы окислов и загрязнений не успевают выдавиться из стыка, а следовательно, прочность его снижается.

Давление осадки выбирают по площади поперечного сечения заготовок и необходимому удельному давлению, зависящему от способа сварки и металла.

В результате оплавления и осадки размер деталей уменьшается. Это необходимо учитывать при разметке и резке заготовок. Для получения готовых сварных изделий необходимой длины заготовки должны быть изготовлены с определенным припуском на оплавление и осадку.

Правильно установленный режим обеспечивает хорошее качество сварного стыка. Возможные дефекты, связанные с нарушением режима сварки, а также причины их возникновения приведены в таблице 10.1.

10.1.3 Особенности оборудования для стыковой сварки.

Конструктивные особенности стыковых машин рассмотрим на примере маломощной машины МС-301 (рисунок 10.1).

Таблица 10.1 – Дефекты при стыковой сварке

Вид дефекта	Возможные причины образования дефекта
Шлаковые включения в стыке	Неустойчивое оплавление. Малая величина осадки.
Непровар	Преждевременное выключение тока. Малая мощность машины. Низкое давление осадки.
Перегрев металла	Плохая подготовка торцов. Недостаточный припуск на оплавление и осадку.
Трещины в зоне сварки	Большой сварочный ток. Велик припуск на оплавление и осадку. Завышена установочная длина.
Смещение торцов заготовок	Большое давление осадки. Недостаточный предварительный нагрев. Малая установочная длина. Перегрев металла.
Подгары поверхности заготовок в местах токоподвода	Недостаточная жесткость зажимов. Плохая подготовка торцов. Большая установочная длина. Плохая зачистка поверхности заготовок. Загрязнены электроды. Малое усилие зажатия. Плохое охлаждение электродов.

Машина Мс-301 состоит из стального сварного корпуса 8, на верхней плите которого закреплен неподвижный зажим 3. Подвижный зажим 4 установлен на качающемся рычаге 2, эксцентриковая ось которого закреплена в отверстиях на передней и задней стенках корпуса 8. Зажимы – ручные, эксцентриковые, с радиальным ходом верхних подвижных губок, снабжены регулировочными винтами, с помощью которых регулируется расстояние между нижними и верхними губками и, соответственно, – усилие зажатия деталей. Зажимные устройства одновременно предназначены для подвода сварочного тока к свариваемым деталям. Регулировку расстояния между подвижным и неподвижным зажимами производят винтом 1, через который передается усилие осадки, создаваемое силовой пружиной 7 привода подачи. Полное усилие осадки, регулируемое величиной предварительного сжатия силовой пружины 7, создается поворотом до упора рычага 6 с кривошипом.

Внутри корпуса машины установлены сварочный трансформатор 5 броневого типа с переключателем ступеней, блок управления 9 с электромагнитным контактором.

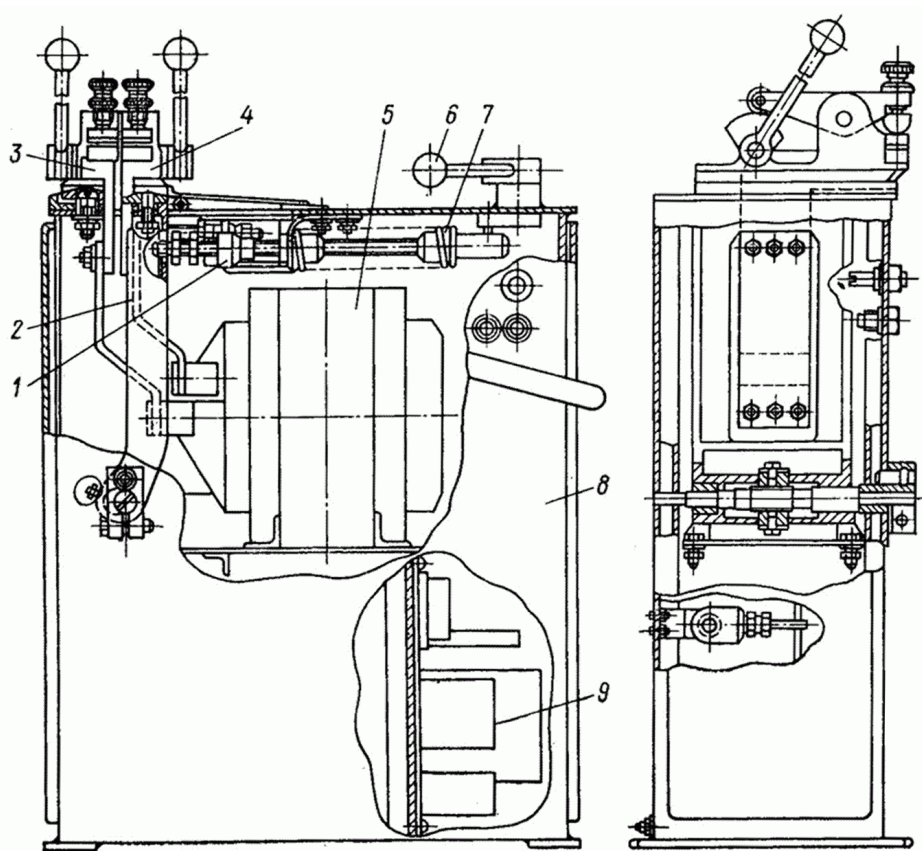


Рисунок 10.1 – Машина МС-301 для сварки сопротивлением и оплавлением: 1 – регулировочный винт; 2 – рычаг; 3 – неподвижный зажим; 4 – подвижный зажим; 5 – сварочный трансформатор; 6 – рычаг привода осадки; 7 – силовая пружина; 8 – корпус; 9 – блок управления с электромагнитным контактором

На передней стенке корпуса 8 размещаются сигнальная лампочка, кнопки управления и отрезное устройство дискового типа для обрезки торцов свариваемых деталей. Отрезное устройство состоит из неподвижного и подвижного ножей – дисков с отверстиями.

Команда на включение сварочного тока подается пусковой кнопкой, размещенной на рукоятке рычага 6 с кривошипом или кнопкой «ОТЖИГ» на передней стенке корпуса машины.

Команда на выключение сварочного тока подается:

- конечным выключателем, установленным на внутренней поверхности верхней плиты;

- при включенном «РЕЛЕ ВРЕМЕНИ» – по окончании установленного времени;

- в любом случае – нажатием кнопки «СТОП» на передней стенке корпуса.

10.2 Цель работы

Изучить особенности конструкции и принцип действия оборудования для контактной стыковой сварки. Исследовать влияние основных параметров режима на качество стыкового соединения.

10.3 Оборудование и материалы

10.3.1 Машина для стыковой сварки типа МС-301.

10.3.2 Машина для испытания проволоки и полос на изгиб типа МГ-1.

10.3.3 Электромеханический секундомер типа ПВ-53Щ.

10.3.4 Осциллограф электронный запоминающий типа С9-8.

10.3.5 Индуктивный датчик тока с интегрирующей RC-цепочкой.

10.3.6 Миллиметровая линейка.

10.3.7 Штангенциркуль.

10.3.8 Цифровой фотоаппарат.

10.3.9 Стержни из низко- или среднеуглеродистой стали диаметром от 3 до 8 мм (по указанию преподавателя).

10.4 Порядок выполнения работы

10.4.1 Изучить особенности конструкции и принцип действия машины для контактной стыковой сварки МС-301.

10.4.2 Получить практический навык работы на машине МС-301:

а) с помощью рычага с кривошипом привода перемещения подвижный зажим отвести в крайнее правое положение. Регулировочной гайкой установить необходимое усилие сжатия пружины;

б) проверить состояние поверхностей и установку зажимных устройств, которые должны обеспечивать совмещение свариваемых

деталей по вертикали и горизонтали. Зажимные устройства должны зажимать свариваемые детали с усилием, исключая возможность проскальзывания последних при осадке, создавать надежный контакт для подвода сварочного тока, однако они не должны деформировать свариваемые детали;

в) закрепить пробные образцы в губках, обеспечив установочную длину выступающих частей, равную диаметру стержней;

г) переключателями установить требуемую ступень трансформатора;

д) сблизив губки до контакта торцовых поверхностей свариваемых стержней, отрегулировать их соосность;

е) для сварки сопротивлением, с помощью рычага с кривошипом привода перемещения, сжать свариваемые детали усилием силовой пружины;

ж) штангенциркулем замерить начальное расстояние между губками;

з) выполнить регулировку концевого выключателя, для чего необходимо поворачивать регулировочную гайку до его «щелчка» (переключения), а затем отвести гайку по резьбе назад на $1 \div 1,5$ оборота;

и) подключить стыковую машину автоматическим выключателем к питающей сети;

к) кнопкой на рычаге привода сжатия включить электромагнитный контактор. При этом сетевое напряжение подается на первичную обмотку трансформатора, по вторичной обмотке которого и, соответственно, через соединяемые образцы будет протекать сварочный ток. После нагрева до пластического состояния детали автоматически свариваются под действием сжимающего усилия осадки, создаваемого пружинным приводом перемещения.

л) штангенциркулем замерить конечное расстояние между губками;

м) для сварки оплавлением предварительно выполняются пункты а) ÷ д);

н) сблизив губки до контакта торцовых поверхностей свариваемых стержней, выполнить регулировку концевого выключателя, для

10.4.5 Методом сопротивления сварить требуемое количество стыков стержней (по указанию преподавателя) из низкоуглеродистой стали, изменяя при этом поочередно установочную длину, ступень трансформатора и усилие осадки.

10.4.6 Сфотографировать вид выполненных стыков.

10.4.7 Оценить качество сварных стыков по внешнему виду и образцы испытать на машине МГ-1, определяя количество перегибов до разрушения.

10.4.8 Построить графики зависимости прочности сварных соединений от параметров режима.

10.5 Содержание отчета

- Цель и задачи работы;
- характеристика материалов образцов для сварки (свариваемость);
- результаты опытов (таблица 10.2);
- фото стыков сваренных сопротивлением и оплавлением с анализом их внешнего вида;
- осциллограммы тока, полученные при сварке сопротивлением и оплавлением;
- методика испытания сварных соединений на изгиб;
- выводы по работе.

10.6 Контрольные вопросы

10.6.1 Назовите технологические методы стыковой сварки.

10.6.2 Опишите технику ведения процесса сварки сопротивлением и непрерывным оплавлением.

10.6.3 Как производится подогрев деталей при сварке оплавлением с предварительным подогревом?

10.6.4 Назовите основные параметры режима стыковой сварки сопротивлением?

10.6.5 Основные параметры режима стыковой сварки оплавле-

нием?

10.6.6 Каково влияние параметров режима стыковой сварки на внешний вид и качество сварного стыка?

Лабораторная работа № 11. Изучение конструкции и принципа действия оборудования для холодной стыковой сварки и получение навыков работы на нем

11.1 Общие сведения

Холодная сварка является одним из наиболее рациональных способов получения неразъемного соединения пластичных металлов и сплавов. Она обладает рядом особенностей, которые отличают её от всех остальных видов сварки.

Наиболее важной особенностью холодной сварки является отсутствие нагрева деталей внешним источником тепла, что позволяет:

- сваривать термически разупрочняемые металлы без снижения их механических свойств в околошовной зоне;
- сваривать электрические изолированные провода;
- вести процесс сварки в огне- и взрывоопасной среде (например, в угольной шахте);
- герметизировать изделия, нагрев которых недопустим.

Достоинствами холодной сварки, кроме того, являются малая энергоёмкость процесса, гигиеничность, высокая производительность, простота процесса и оборудования, возможность механизации и автоматизации процесса. При её осуществлении отсутствуют газовые выделения, брызги расплавленного металла, световое излучение и шум.

Оборудование для холодной сварки значительно проще в эксплуатации любых машин и установок для других видов сварки.

11.1.2 Требования к основным узлам и элементам машин для холодной сварки.

При создании оборудования для холодной сварки исходят из основных особенностей самого процесса. В основе холодной сварки

лежит совместная пластическая деформация соединяемых металлов, которая осуществляется под действием внешнего давления.

Для осуществления стыковой холодной сварки детали (круглые, прямоугольные или сложного профиля) с определенным вылетом зажимают соосно в специальных губках, после чего к ним прикладывают осевое усилие. Давление, создаваемое этим усилием, вызывает пластическую деформацию (осадку) концов деталей, выступающих из губок. В конце осадки, для формирования качественного соединения, сварочное давление должно значительно превышать предел текучести соединяемого металла. В связи с этим в оборудовании для холодной сварки используются, как правило, пневматические, пневмогидравлические или гидравлические силовые приводы.

К оборудованию для холодной сварки предъявляются следующие общие требования: надежность в работе; высокая производительность; минимальные энерго- и металлоемкость; максимальное удобство эксплуатации; максимально возможная унификация основных узлов и элементов.

Принципиальная кинематическая схема машины для стыковой холодной сварки представлена на рисунке 11.1.

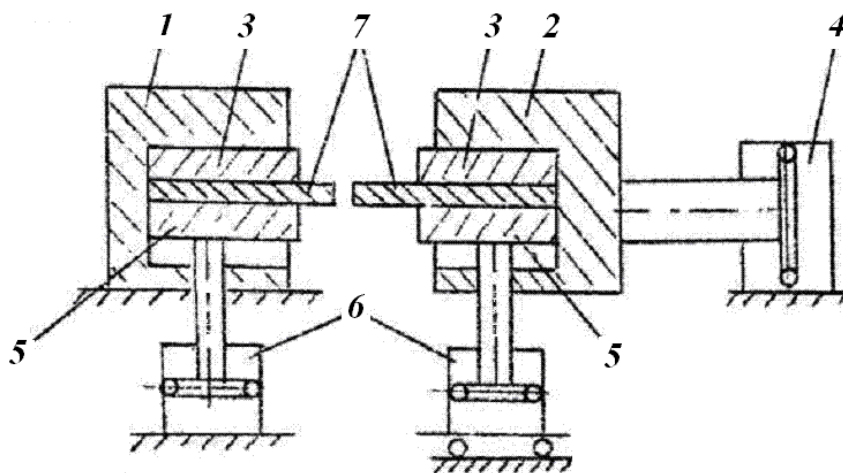


Рисунок 11.1 – Принципиальная кинематическая схема машины для стыковой сварки: 1 – неподвижная плита; 2 – подвижная плита; 3 – сменная зажимная губка неподвижная; 4 – механизм осадки с цилиндром силового привода; 5 – сменная зажимная губка подвижная; 6 – механизм зажатия с цилиндрами привода; 7 – свариваемые детали

Основным узлом машины является сварочная головка, состоящая из двух плит – неподвижной 1 и подвижной 2. С плитами связаны механизм осадки с цилиндром силового привода 4, механизм зажатия с цилиндрами 6 привода, сменные зажимные губки – неподвижные 3 и подвижные 5, в которых зажимаются свариваемые детали 7. Неподвижная плита сварочной головки крепится обычно на корпусе машины, на котором (или внутри которого) располагаются: обрезающее устройство (резак) для подготовки торцов деталей к сварке (на рисунке не показан) и элементы системы силового привода.

Механизм осадки. Для обеспечения стабильного качества сварки механизм осадки должен удовлетворять следующим требованиям:

- равнодействующая усилия осадки должна совпадать с продольной осью выступающих концов свариваемых деталей;
- соосность деталей должна сохраняться в течение всей осадки – изгиб их концов при осадке, т.е. потеря устойчивости, не допускается (отклонение от соосности может быть только в допустимых пределах);
- конструкция механизма осадки должна позволять сваривать детали как ограниченной, так и неограниченной длины;
- величина усилия привода должна быть достаточной для полной осадки деталей максимального (для данной машины) сечения при оптимальном вылете.

Подвижная плита, как это показано на рисунке 11.1, закреплена на штоке поршня цилиндра 4. При сварке она сближается с неподвижной плитой, а после сварки отводится в исходное положение.

Усилие от силового цилиндра 6 может передаваться подвижной плите, и, следовательно, соединяемым деталям 7, как непосредственно, так и через систему рычагов. При передаче усилия через рычаг плечи рычага выбирают из расчета получения требуемого выигрыша в усилие. Такую схему обычно применяют в машинах небольшой мощности с пневматическим приводом, где потеря времени за счёт применения рычага мала и не имеет практического значения.

Механизм зажатия. К механизму зажатия предъявляется ряд требований, основным из которых является обеспечение надежности

зажатия установленных в губках деталей, их проскальзывание при осадке недопустимо.

Наиболее простой является схема механизма зажатия, обеспечивающая передачу развиваемого цилиндром привода усилия к губкам напрямую (рисунок 11.1). При этом для надежного зажатия деталей в губках машины и исключения их проскальзывания при осадке необходимо, чтобы усилие зажатия (даже при наличии насечки на губках) не менее чем в 1,6 раза превышало усилие осадки. Однако для выполнения такого условия цилиндры зажатия должны иметь чрезмерно большой диаметр, что существенно увеличивает габаритные размеры и массу сварочной машины.

Не оправдала себя и схема передачи усилия губкам от штока цилиндра через рычаг. Усилие зажатия в этом случае оказывается недостаточным.

В реальных машинах процесс осадки сопровождается возникновением достаточно ощутимой составляющей осевого усилия, которая стремится раскрыть губки (за счет неизбежных люфтов, появляющихся из-за допусков при изготовлении деталей механизмов осадки и зажатия). Предотвратить раскрытие губок и, соответственно, проскальзывание деталей во время осадки удастся при использовании, так называемого, «замкового механизма». Раскрыть «замок» можно только под действием усилия, противоположного усилию зажатия. Под действием иных усилий, в частности составляющих усилия осадки, «замок» не раскроется. Для надежного зажатия деталей механизмом, работающим по такой схеме, достаточно начального усилия, величина которого не превышает половины усилия осадки. Механизм, в котором «замок» обеспечен эксцентриком, применяется в стыковых машинах типа МСХС-5-3.

Достаточно широкое применение в машинах для стыковой сварки нашла также схема с клиновой системой механизма зажатия (усилие зажимным губкам передается от штока цилиндра через клин, имеющий угол самоторможения, равный 10°). Применение клина, также как и эксцентрика, обеспечивает «замок» и позволяет снизить усилие привода зажатия до половины усилия осадки.

Зажимные губки. Зажимные губки является одним из наиболее ответственных элементов машины для стыковой сварки. Они устанавливаются в пазах неподвижной и подвижной (при осадке) плит сварочной головки. К зажимным губкам предъявляются следующие основные требования:

- обеспечение надежного закрепления свариваемых деталей, исключающего их проскальзывание в процессе осадки;
- минимальная трудоемкость замены губок;
- обеспечение благоприятных условий течения металла в зоне сварки при осадке и формирования твердофазного соединения.

В комплект сварочной машины входят четыре губки – две неподвижные и две подвижные. Они связаны с приводом механизма зажатия. В сомкнутом положении губки имеют сквозное продольное отверстие, форма и размеры которого соответствуют форме и размерам свариваемых деталей. Для устранения проскальзывания деталей при осадке пазы зажимных губок в передней части имеют насечки глубиной от 0,1 до 0,4 мм, в зависимости от диаметра (толщины) деталей.

Выполнение требования по обеспечению благоприятных условий течения пластически деформируемого металла прямо связано с геометрией рабочего торца губок. Дело в том, что деформирование металла при стыковой сварке сопровождается выдавливанием его наружу в виде грата (облой). При этом характер течения металла должен быть таков, чтобы разрушенные в процессе сварки поверхностные пленки были наиболее полно удалены из зоны контакта. С этой точки зрения целесообразно рассмотреть два типа губок, определяющих различные схемы стыковой сварки (рисунок 11.2).

Для того, чтобы с помощью губок с плоскими торцами (рисунок 11.2, а) осуществить требуемую для сварки осадку, необходимо непрерывно расплющивать образующийся облой. А так как по мере роста деформации площадь облоя увеличивается, то большая часть приложенного усилия в конце осадки тратится бесполезно. Облой сдавливается опорными поверхностями (рабочими торцами) губок и препятствует полному вытеснению поверхностных пленок из стыка, ухудшая условия сварки.

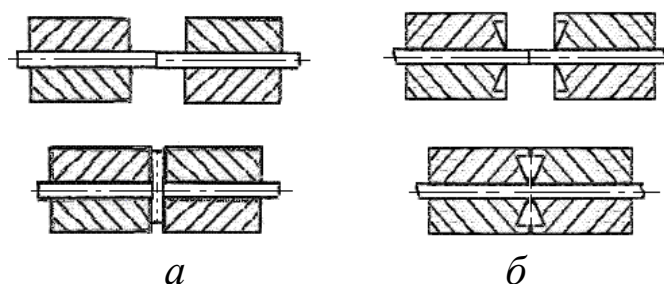


Рисунок 11.2 – Схемы сварки в зажимных губках: *а* – с плоскими торцами; *б* – с заостренными торцами (вверху – до сварки, внизу – после сварки)

Губки с заостренной в осевой части рабочих торцов формой (рисунок 11.2, *б*) создают наиболее благоприятные условия для образования сварного соединения. При этом в процессе осадки деформируемый металл относительно свободно вытесняется из стыка. Образующийся облой подрезается заостренными частями губок и затем легко удаляется. По периферии торцов губки имеют плоскую опорную поверхность, предохраняющую заостренную часть от поломки. Заостренные торцы губок, по сравнению с плоскими торцами, позволяют существенно снизить величину необходимого для сварки усилия осадки (например, при сварке алюминия в 1,8 раза, а меди – в 1,5 раза).

Обрезное устройство. Подготовка деталей к сварке производится путем обрезки концов с помощью специального резака гильотинного типа. У серийных машин резак расположен вне сварочной головки. Полуавтоматы имеют встроенное устройство обрезки, производящее обрезку непосредственно в зоне выполнения сварки.

К устройству обрезки предъявляются требования обеспечения чистого и ровного среза, перпендикулярного к продольной оси детали, исключаящего ее перекося и изгиб при сварке.

Простейший тип обрезного устройства показан на рисунке 11.3.

Его основными элементами являются ножи *1*. «Обратный» угол заточки ножа обеспечивает необходимую чистоту среза, так как плоская часть ножа не касается срезанной поверхности. Боковые щеки *2* имеют сквозные отверстия, в которые вставляют заготовки *3* и *4*. Затем под действием силы *P* ножи *1* поднимаются и обрезают концы заготовок под сварку.

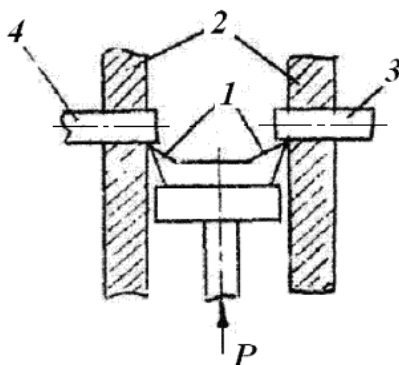


Рисунок 11.3 – Схема обрезки деталей перед сверкой: 1 – ножи; 2 – боковые щеки; 3 и 4 – заготовки

Аналогичен принцип действия и более сложного гидравлического обрезного устройства полуавтомата для холодной стыковой сварки.

11.1.2 Конструкция и принцип действия машины МСХС-5-3 (рисунок 11.4).

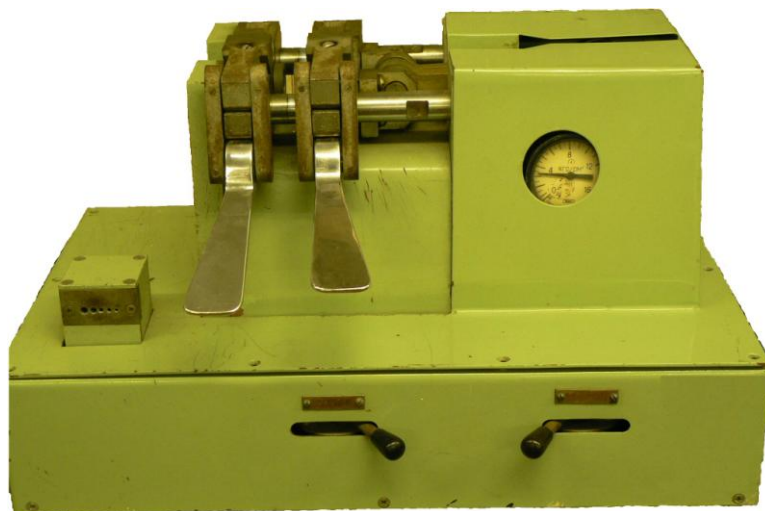


Рисунок 11.4 – Внешний вид машины типа МСХС-5-3

Машина для стыковой холодной сварки типа МСХС-5-3 нашла широкое промышленное применение. Она предназначена для сварки алюминиевых проводов сечением от 2 до 30 мм², медных, а также алюминиевых проводов с медными сечением от 2 до 20 мм². Основные характеристики машины приведены в таблице 11.1.

Таблица 11.1 – Основные технические данные машины МСХС-5-3

Рабочее давление сжатого воздуха, МПа	0,4
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	1,0
Номинальное сварочное усилие осадки, кН	50
Максимальное расстояние между рабочими торцами зажимных губок, мм	11
Производительность машины, сварок/час	до 200
Габаритные размеры, мм	85×320×300
Масса, кг	62

Машина состоит (рисунок 11.5) из корпуса, сварочного устройства, содержащего механизмы зажатия и осадки, обрезного устройства, средств управления, регулирования и контроля подачи сжатого воздуха в цилиндры механизмов обрезки и осадки.

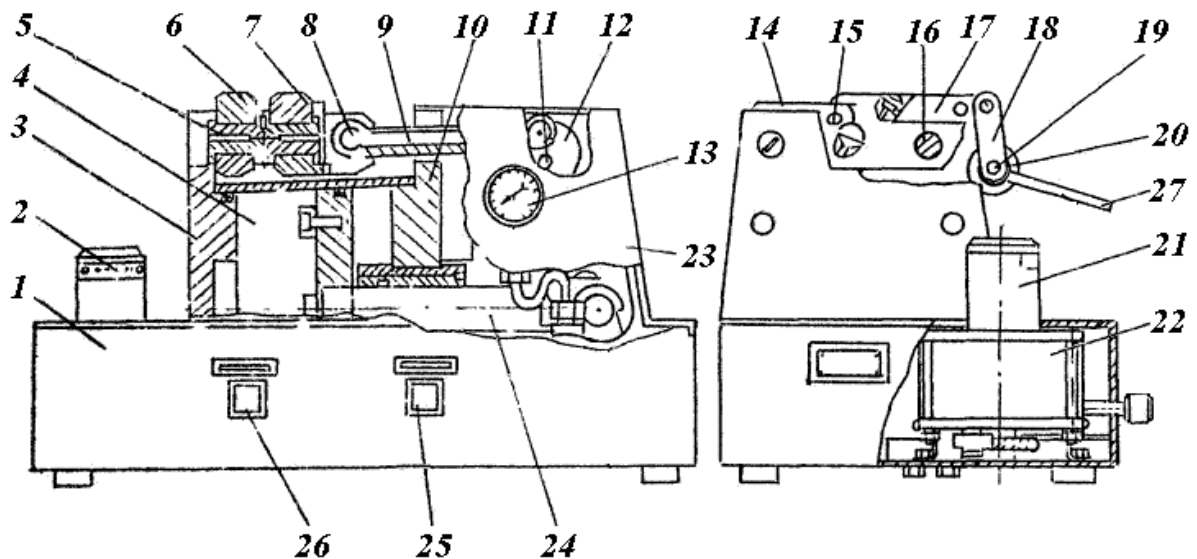


Рис. 1.5. Конструктивная схема машины МСХС-5-3: 1 – корпус; 2 – сменная планка; 3 – крышка пневмоцилиндра; 4 – пневмоцилиндр; 5 – зажимные губки; 6 – неподвижный зажим; 7 – подвижный зажим; 8 – ось; 9 – тяга; 10 – крышка пневмоцилиндра; 11 – ось; 12 – рычаг; 13 – манометр; 14 – основание зажима; 15 – ось; 16 – направляющая; 17 – рычаг; 18 – тяга; 19 – ось; 20 – эксцентрик; 21 – механизм обрезки; 22 – пневмоцилиндр; 23 – кожух; 24 – шток; 25 – кран механизма осадки; 26 – кран механизма обрезки; 27 – рукоятка эксцентрика

На корпусе машины 1 размещены механизмы обрезки заготовок, зажатия и осадки деталей; внутри корпуса – цилиндр механизма обрезки, трехходовые пневматические краны переключения подачи и выпуска воздуха из цилиндров обрезки и осадки, а также редуктор, регулирующий давление сжатого воздуха в цилиндре механизма осадки деталей при сварке. Давление контролируется с помощью манометра 13.

Механизм осадки машины рычажно-пневматический.

Сварочное устройство закреплено на двух крышках 3 и 10 пневмоцилиндра 4 механизма осадки.

Зажимной механизм имеет неподвижный 6 и подвижный (при сварке) 7 зажимы. Основания 14 зажимов сидят на направляющих 16. С основаниями зажимов шарнирно соединены при помощи осей 15 рычаги 17. В гнездах оснований 14 и рычагов 17 крепятся сменные зажимные губки 5. К передним концам рычагов 17 шарнирно прикреплены тяги 18, на осях 19 которых сидят эксцентрики 20 с рукоятками 27. Когда рычаг 17 опущен, зажимные губки смыкаются, а эксцентрики, подвешенные на тяге 18, подводятся под передние выступы оснований 14. При повороте эксцентрики упираются в эти выступы и надежно зажимают детали в губках.

Основание зажима 6 неподвижно при сварке и прижато к левой крышке 3 (стенке). Основание зажима 7 скользит по направляющим 16. Оно соединено с левым концом тяги 9. Правый конец этой тяги шарнирно соединен с концом короткого плеча рычага 12, сидящего на оси 11. Нижний конец этого рычага (конец его длинного плеча) шарнирно соединен с концом штока 24 поршня цилиндра 4. Все соединения рычажной системы с зажимом 7 – шарнирные. Для того, чтобы можно было производить сварку проводов неограниченной длины, ось 8 и тяга 9 имеют паз. Правая часть сварочного устройства закрыта съемным кожухом 23.

Обрезное устройство (механизм обрезки) 21 состоит из корпуса, внутри которого помещен подвижный нож, соединенный со штоком поршня пневмоцилиндра 22. К боковым стенкам корпуса 21 крепится сменная стальная планка 2, имеющая отверстия, размеры которых

соответствуют размерам проводов, подлежащих сварке. Нож прижат к задней (внутренней) плоскости планки 2.

Перед обрезкой провода нож должен быть опущен в крайнее нижнее положение, чтобы его режущая кромка находилась под отверстиями планки 2. Для этого надо рукоятку 26 крана, управляющего воздухом в цилиндре 22, перевести в крайнее правое положение. В результате нижняя камера пневмоцилиндра сообщается с атмосферой, а сжатый воздух поступает в верхнюю камеру и перемещает поршень со штоком и ножом резака вниз.

Подготовка к сварке механизма осадки осуществляется следующим образом. При переводе рукоятки 25 крана распределения воздуха в пневмоцилиндре механизма осадки в крайнее правое положение сжатый воздух поступает в правую камеру цилиндра 4, а левая его камера сообщается с атмосферой. Поршень со штоком 25 передвигаются влево и через рычаг 12 и тягу 9 переводят подвижный зажим 7 вправо в исходное положение.

Работа на машине МСХС-5-3 производится в следующей последовательности. Подлежащие сварке заготовки вставляют в соответствующее отверстие планки резака и переводят рукоятку соответствующего крана влево. При этом происходит обрезка конца провода. Подготовленные детали устанавливают в губках зажимов с требуемым для сварки вылетом. Поворотом рукоятки эксцентрика зажимают детали в губках. Затем переводят влево до упора рукоятку крана механизма осадки. При этом свариваемые детали сближаются, осаживаются и происходит сварка. По окончании осадки открывают зажимы и откидывают рукоятки эксцентриков, после чего поворотом рукоятки вправо разводят зажимы.

Как отмечалось выше, одним из важных требований к механизму зажатия является обеспечение надежного зажатия деталей в губках, предотвращающего раскрытие губок и проскальзывание в них свариваемых заготовок при осадке. Наиболее полно этому требованию удовлетворяет механизм «замкового» типа, применяемый в машине МСХС-5-3 (рисунок 11.6).

В устройстве применена система двух механизмов, связанных между собой тягой 3. При повороте рукоятки 5 вниз происходит по-

ворот эксцентрика 4, который через тягу 3 заставляет подвижный зажим 1 сближаться с неподвижным зажимом 6, при этом губки 2 и 7 смыкаются и зажимают свариваемые детали. «Замок» обеспечивается эксцентриком.

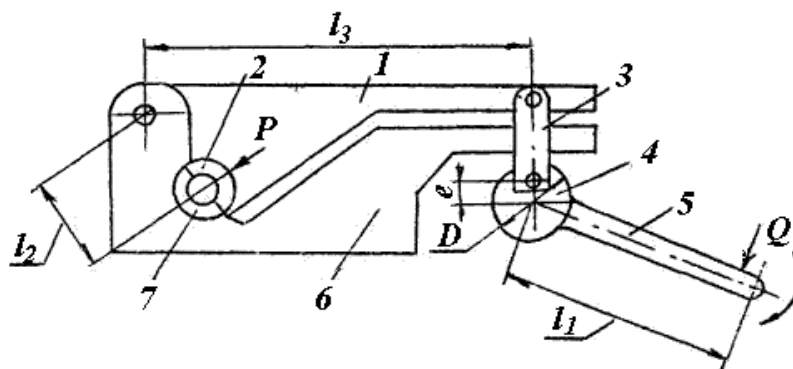


Рисунок 11.6 – Схема зажимного механизма: 1 – подвижный зажим; 2 и 7 – губки; 3 – тяга; 4 – эксцентрик; 5 – рукоятка; 6 – неподвижный зажим

Усилие, передаваемое через эксцентрик на зажимы при повороте рукоятки 5, рассчитывается по формуле

$$F_3 = \frac{Ql_1}{a \left[g \left(\alpha + \varphi \right) + \operatorname{tg} \varphi_1 \right]}, \quad (11.1)$$

где F_3 – усилие, передаваемое эксцентриком, Н;

Q – усилие поворота рукоятки, Н (при расчетах эта сила обычно принимается равной 150 Н);

l_1 – плечо приложения силы Q , мм;

$a = \frac{D}{2} - l$ – расстояние от оси вращения эксцентрика до точки соприкосновения его с неподвижным зажимом, мм;

D – диаметр эксцентрика, мм;

e – эксцентриситет, мм;

φ – угол трения между эксцентриком и подвижным зажимом, град;

φ_1 – угол трения на оси эксцентрика, град;

α – угол подъема кривой эксцентрика, град.

Углы φ и φ_1 , выбираются из условия самоторможения: $\varphi = \varphi_1 = 5^\circ 43'$.

Угол α определяется из условия

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2e}{D}. \quad (11.2)$$

Усилие зажатия деталей в губках определяется из соотношения:

$$\frac{F_3}{F_2} = \frac{l_3}{l_2} \rightarrow F_3 = \frac{F_2 l_3}{l_2}. \quad (11.3)$$

11.2 Цель работы

Изучить особенности конструкции и принцип действия оборудования для стыковой холодной сварки на базе машины типа МСХС-5-3. Получить навыки инженерного подхода к расчету и проектированию силовых элементов и узлов сварочного оборудования. Освоить приемы подготовки сварочного оборудования к работе, настройки на режим сварки и выполнения сварного соединения.

11.3 Оборудование, инструменты и материалы

11.3.1 Машина для холодной стыковой сварки МСХС-5-3 с набором сменных зажимных губок.

11.3.2 Машина МГ-1 для испытания образцов на перегибы.

11.3.3 Инструменты (металлическая линейка, штангенциркуль, плоскогубцы, тиски, отвертка).

11.3.4 Свариваемые материалы (медные или алюминиевые проволоки).

11.3.5 Шаблоны для контроля длины вылета проволоки при установке в губках.

11.3.6 Цифровой фотоаппарат.

11.4 Методика выполнения работы

11.4.1 Сделать эскиз конструктивной схемы компоновки и взаимосвязи основных элементов и узлов машины МСХС-5-3.

11.4.2 Составить пневматическую схему машины.

11.4.3 Начертить кинематическую схему механизма осадки машины.

11.4.4 Составить расчетную схему, измерить геометрические параметры механизма и сделать расчет усилия осадки.

11.4.5 Измерить геометрические параметры механизма и сделать расчет усилия зажатия деталей в губках.

11.4.6 Сделать эскиз (без указания размеров) зажимных губок, раскрывающий их функции.

11.4.7 Провести опыты по сварке проволок. Для реализации опытов необходимо:

а) установить на машине зажимные губки, соответствующие сечению (диаметру) свариваемых проволок;

б) установить рукоятки кранов механизма обрезки и осадки в среднее положение, при котором сжатый воздух не поступает ни в одну из камер цилиндров;

в) открыть вентиль подачи воздуха из магистрали к машине и проверить работоспособность обоих механизмов, обеспечив холостой ход резака и подвижного зажима; привести механизмы обрезки и осадки в исходное положение;

г) обрезать концы проволок и визуально проверить качество подготовки торцов;

д) Зажать заготовки в губках машины, установив по шаблону необходимый вылет, который должен быть равен при сварке:

алюминиевых проволок	~ диаметру;
медных проволок	~ 1,3 диаметра;
алюминиевых проволок с медными	~ соответственно, диаметру и 1,3 диаметра;

е) установить с помощью редуктора по манометру требуемое давление сжатого воздуха, которое по рекомендациям завода-изготовителя оборудования должно быть:

для проволок диаметром до	2,5 мм	- 0,2 МПа;
от	3,5 до 5 мм	- 0,4 МПа;
более	5 мм	- 0,5 МПа;

- ж) произвести сварку образцов;
- з) освободить сваренные детали;
- и) отвести подвижный зажим в крайнее правое положение и извлечь сварной узел.

11.4.8 Проверить качество сварного соединения:

- а) сфотографировать стыки соединений;
- б) путем визуального осмотра характера (симметрии) высаженного металла (облоя);
- в) путем перегибов зоны сварки под углом 90° (перед этим удалить облой).

11.4.9 Занести результаты опытов в таблицу 11.1.

Таблица 11.2 – Результаты экспериментов

№ опытов	Свариваемые заготовки		Вылет проволоки, мм	Давление воздуха, МПа	Результаты оценки качества		
	материал	диаметр, мм			вид облоя	число перегиб.	характер разруш.
1...3	<i>Al+Al</i>						
4...6	<i>Cu+Cu</i>						
7...9	<i>Al+Cu</i>						

11.5 Содержание отчета

- Цель и задачи работы;
- технологические возможности и основные технические данные машины МСХС-5-3;
- конструктивная схема компоновки в машине элементов и узлов, обеспечивающих выполнение сварного соединения, с обозначением позиции и указанием их функционального назначения;
- кинематическая схема механизма осадки и описание его работы;
- кинематическая схема механизма зажатия и расчет усилия зажатия, сравнительная оценка его с номинальным усилием осадки;
- эскиз зажимных губок с обоснованием их конструктивных элементов;

- таблица результатов опытов по сварке;
- фото стыков сварных образцов;
- общие выводы по работе.

11.6 Контрольные вопросы

11.6.1 Дайте физическое объяснение необходимости применения при холодной сварке больших усилий осадки.

11.6.2 Перечислите основные элементы и узлы машины МСХС-5-3.

11.6.3 Каковы требования к механизмам зажатия оборудования для стыковой сварки и как они реализуются в машине МСХС-5-3?

11.6.4 Каковы требования к зажимным губкам и как они реализуются в машине МСХС-5-3?

11.6.5 Дайте объяснение результатов опытов по сварке проволок.

Лабораторная работа №12. Изучение технологических основ процесса холодной сварки

12.1 Общие сведения

Холодная сварка отличается от других способов сварки давлением значительной объемной деформацией и малой степенью её локализации в зоне контакта соединяемых материалов. Формирование соединения при холодной сварке осуществляется в твердой фазе на воздухе при комнатной температуре, которая для большинства металлов значительно ниже температуры рекристаллизации. Исходя из этого, наиболее рациональной областью применения способа соединения материалов за счёт их глубокой пластической деформации является сварка высокопластичных металлов. Холодной сваркой чаще всего соединяют алюминий и медь, как в однородном, так и разнородном сочетаниях, а также другие металлы: серебро, свинец, никель, кадмий, цинк, олово и др. Все перечисленные материалы плохо свариваются традиционными методами, использующими нагрев.

Холодная сварка позволяет получать соединения различных типов при разнообразном конструктивном исполнении. Внахлестку детали могут соединяться как точечной сваркой – в одной или нескольких точках одновременно или последовательно, так и шовной сваркой – непрерывным герметичным или прерывистым швом, кроме того сварка может осуществляться по контуру. Встык свариваются проволоки, прутки, стержни и полосы круглого или прямоугольного сечения.

Диапазон размеров сечений и толщин свариваемых деталей достаточно широк: листы толщиной $0,08 \div 10$ мм внахлест, проволоки и прутки круглого сечения диаметром от 0,8 до 50 мм, полосы прямоугольного сечения площадью до 1500 мм^2 встык. Возможно получение стыковых соединений трубчатых деталей при определенном соотношении толщины стенки и диаметра трубы.

Для холодной сварки характерен интенсивный наклеп металла в зоне соединения. В силу этого прочность сварного соединения, выполненного без нарушения технологии, как правило, выше, чем у основного металла. Отсутствие значительного нагрева исключает возможность появления хрупких интерметаллидных прослоек, обеспечивая тем самым высокую пластичность и прочность соединения. Сварной шов не загрязняется посторонними примесями, обладает высокой химической однородностью и поэтому имеет высокую коррозионную стойкость и стабильность электрического переходного сопротивления.

Однако большие возможности холодной сварки используются еще недостаточно. Узок диапазон металлов и сплавов, соединяемых этим методом. Холодная сварка пока не относится к основным методам в производстве многих изделий из пластичных металлов.

Дальнейшее развитие холодной сварки во многом зависит от вклада инженеров сварочного производства в решение вопросов разработки рациональной технологии сварки. Одним из таких вопросов является изыскание путей уменьшения деформации и усилия, обеспечивающих образование высококачественного соединения.

Технологический процесс холодной сварки включает следующие операции:

- подготовку соединяемых поверхностей;
- сборку;
- собственно сварку;
- удаление облоя (в случае стыковой сварки);
- контроль сварного соединения.

Как известно, поверхность металла в обычных условиях покрыта различного рода пленками. Окисная пленка после удаления образуется вновь практически мгновенно. Поэтому ее целесообразно удалять только непосредственно при сварке. Установлено, что в процессе пластической деформации окисная пленка металлов, соединяемых холодной сваркой, разрушается и выносится из зоны соединения. Поэтому, удаление окисной пленки не входит в задачи предварительной подготовки деталей к холодной сварке.

Главным препятствием холодной сварки, не устраняемым в процессе деформации, являются жировые пленки, которые возникают, например, как результат контакта рук с соединяемыми поверхностями. Если жировая пленка не удалена или удалена недостаточно полно, то при деформировании металла она растягивается, утоняется, но не теряет сплошности. Не удаляются полностью под действием внешнего усилия различные загрязнения и влага. Они также препятствуют образованию сварного соединения.

Следовательно, удаление жировых пленок, загрязнений, влаги с соединяемых поверхностей является главной целью подготовки деталей к холодной сварке.

На производстве подготовку деталей осуществляют одним из перечисленных ниже способов:

а) механической зачисткой стальными вращающимися щетками при сварке полос и листов внахлестку, а также при стыковой сварке больших сечений после механической резки. Этот способ достаточно прост, технологичен, производителен и получил наибольшее практическое применение, особенно при точечной и шовной сварке. Вращающаяся щетка (стационарная или переносная) снимает тонкий слой металла вместе с находящимися на нём пленками. Образующаяся пыль удаляется сильной воздушной струей, возникающей при быстром вращении щетки. Зачистку производят до получения ровной

матовой поверхности;

б) прокаливанием заготовок при температуре $350 \div 400$ °С со свободным доступом воздуха. Термический способ подготовки применяется для мелких деталей из различных материалов, кроме медных. При прокаливании происходят одновременно три процесса, благоприятно влияющие на холодную сварку: выгорание жировых пленок; образование тонкой и большей частью твердой и хрупкой окисной пленки; отжиг металла, уменьшающий его твердость относительно оксидной пленки;

в) нанесением на соединяемые поверхности твердых пленок толщиной $6 \div 10$ мкм, почти не деформирующихся при растекании поверхностного металла, например, на алюминий электролитически наносят слой окисла, а на медь, олово и свинец – гальванический слой никеля или хрома. Большое значение этого метода заключается в том, что детали, покрытые тонкими пленками, не нуждаются в дополнительной специальной подготовке, что особенно важно в условиях крупносерийного и массового производства. Одновременно, сами пленки являются защитными антикоррозионными покрытиями;

г) обрезкой свариваемого конца заготовок (стыковая сварка), при которой необходимо обеспечить ровный срез, без сколов и изломов. Поверхность должна быть перпендикулярна к продольной оси соединяемых деталей.

12.1.1 Технологические параметры холодной сварки

Технологические параметры точечной сварки. Параметром процесса сварки, характеризующим свариваемость материалов, является степень деформации, определяемая в процентах отношением глубины вдавливания h пуансонов к толщине δ соединяемых деталей (рисунок 12.1, а).

Чем меньше степень деформации $\varepsilon = (h/d) \cdot 100$ % необходима для получения прочного соединения, тем лучше свариваемость материалов.

Минимальная степень деформации (%), необходимая для точечной холодной сварки различных материалов следующая приведена в таблице 12.1.

Таблица 12.1 – Минимальная степень деформации (%) различных металлов, необходимая для точечной холодной сварки

Металл	Степень деформации	Металл	Степень деформации	Металл	Степень деформации
<i>In</i>	10÷15	<i>Al</i>	60÷70	<i>Cu</i>	85÷90
<i>Au</i>	30÷35	<i>Ti</i>	70÷75	<i>Sn</i>	86÷88
<i>Pb</i>	55÷85	<i>Cd</i>	80÷86	<i>Fe</i>	85÷92
<i>Ag</i>	50÷86	Алюминиевые сплавы	75÷90	<i>Ni</i>	85÷90

На рисунке 12.1 приведена простейшая схема сварки деталей путем их двустороннего деформирования. Пуансон имеет рабочий выступ, вдавливаемый непосредственно в толщу материала и опорную часть. Последняя служит для ограничения глубины вдавливания рабочего выступа и повышает прочность соединения в периферийной зоне (рисунок 12.1, б). В случае пуансонов с рабочими выступами цилиндрической формы внутренняя зона имеет форму круга, а периферийная – кольца, охватываемого этот круг.

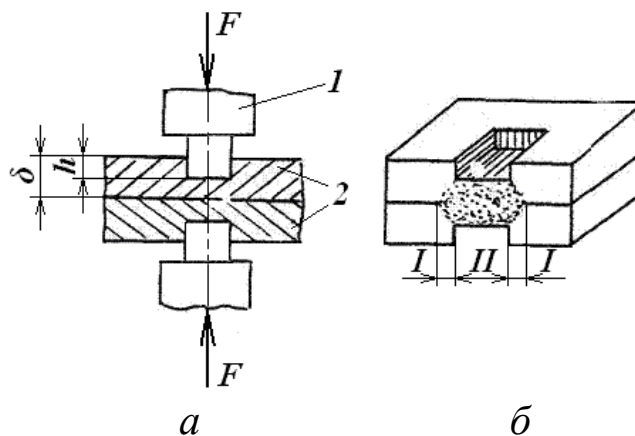


Рисунок 12.1 – Схема сварки (а) и вид соединения (б): 1 – пуансоны; 2 – детали; I – внутренняя зона; II – периферийная зона.

Прочность точечного соединения, полученного при минимальной степени деформации, определяется главным образом прочностью внутренней зоны. Если удалить металл из этой зоны (например, высверлить), прочность соединения резко снизится или оно сразу

разрушится. С увеличением деформации прочность соединения будет больше зависеть от периферийной зоны. Так, например, при увеличении степени деформация алюминия до 90% удаление металла из внутренней зоны сварного соединения почти не сказывается на его прочности. Не разрушая соединение, о наличии или отсутствии периферийной зоны можно косвенно судить по характеру распределения твердости в обеих зонах. Деформация металла и образование прочного соединения на периферии характеризуется повышением твердости в этой зоне.

Одним из технологических параметров, характеризующих режим сварки, является форма и размеры сечения рабочих выступов пуансонов. Наиболее часто применяют пуансоны, имеющие прямоугольную или цилиндрическую форму.

При вдавливании рабочего выступа течение металла в объеме и приконтактной поверхности происходит в соответствии с законом наименьшего сопротивления. Поэтому при прямоугольном выступе пуансона течение металла происходит в основном в две противоположные стороны по ширине выступа. Такие пуансоны рекомендуется применять с шириной выступа, равной $1 \div 3$ толщинам свариваемых деталей. Причем, для меньших толщин ширина выступа должна иметь большее соотношение. Длину рабочего выступа выбирают обычно в $5 \div 7$ раз больше его ширины.

При точечной сварке алюминия применяют пуансоны, имеющие цилиндрические рабочие выступы. Такие пуансоны просты в изготовлении, легко центрируются, обеспечивают равномерное распределение деформации по всему периметру сварного соединения. Диаметр, выступа рекомендуется брать равным $3 \div 5$ толщинам свариваемых деталей. Чем больше твердость свариваемого материала, тем меньше должен быть диаметр (ширина) рабочего выступа пуансона.

Основным технологическим параметром холодной сварки является давление осадки. В общем случае оно определяется величиной усилия и зависит от механических свойств свариваемых материалов (твердости, прочности) и степени их деформации. При точечной сварке давление осадки зависит также от толщины деталей и диаметра (или ширины) рабочего выступа пуансона.

В расчёте на площадь торца рабочего выступа пуансона без учета влияния опорной части сварочное давление к концу осадки определяют по эмпирической формуле

$$P_{св} = A \left[1 - e^{-\beta} \sqrt[3]{\frac{\varepsilon \cdot \delta}{\pi d}} \right], \quad (12.1)$$

где ε – степень деформации;

δ – толщина детали;

d – диаметр пуансона;

A, β – коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств материала.

Для алюминия, например, $A = 650$ МПа, $\beta = 2,22$, тогда формула (12.1) приобретает вид:

$$P_{св} = 650 \left[1 - e^{-2,22} \sqrt[3]{\frac{\varepsilon \cdot \delta}{\pi d}} \right]. \quad (12.2)$$

По этой формуле удовлетворительные результаты получены в диапазоне толщин от 1 до 5 мм.

Если известна степень деформации металла под опорной частью пуансона, по этой же формуле можно рассчитать давление, приходящееся на опорную часть.

При реализации процесса сварки, в зависимости от необходимого сварочного давления, устанавливают и контролируют в машине усилие осадки. Его назначают с учетом того, что качественное соединение при сварке по простейшей схеме получается после обжатия материала в периферийной зоне сварной точки опорной частью инструмента. Однако это не должно вызывать появления значительных вмятин в металле. Площадь торца рабочего выступа пуансона всегда намного меньше площади опорной части, и поэтому усилие, рассчитанное на обжатие точки, достаточно для обеспечения вдавливания в металл рабочего выступа на заданную глубину. При сварке алюминия давление, передаваемое через опорную часть пуансона, лежит в пределах 110÷120 МПа.

Рекомендуемые режимы точечной сварки однородных материалов и прочностные характеристики соединений приведены в таблице 12.2.

Таблица 12.2 – Режимы точечной сварки одноименных материалов и прочностные характеристики соединений

Свариваемые металлы	Размеры сечения рабочего выступа пуансона, мм	Степень деформации, %	Усилие сварки, кН	Давление, МПа	Разрушающее усилие при срезе, Н
<i>Al+Al</i>	1,6 × 8,2	70	4,95	378,0	840
<i>Pb+Pb</i>	1,6 × 8,2	70	1,0	71,4	144
<i>Cd+Cd</i>	1,6 × 8,2	84	5,06	386	920
<i>Zn+Zn</i>	1,6 × 8,2	84	1,4	106,8	240
<i>Cu+Cu</i>	1,6 × 8,2	89	13,0	999,4	1310
<i>Ni+Ni</i>	0,8 × 8,2	94	22,9	3490	1135
<i>Fe+Fe</i>	1,6 × 8,2	92	22,0	1680	1220

Технологические параметры стыковой сварки. Одним из основных технологических параметров процесса стыковой холодной сварки является величина деформации концов деталей, выступающих из зажимных губок. Ее характеризуют величиной относительного вылета, т.е. отношения вылета к диаметру или толщине свариваемых деталей (рис. 2.2).

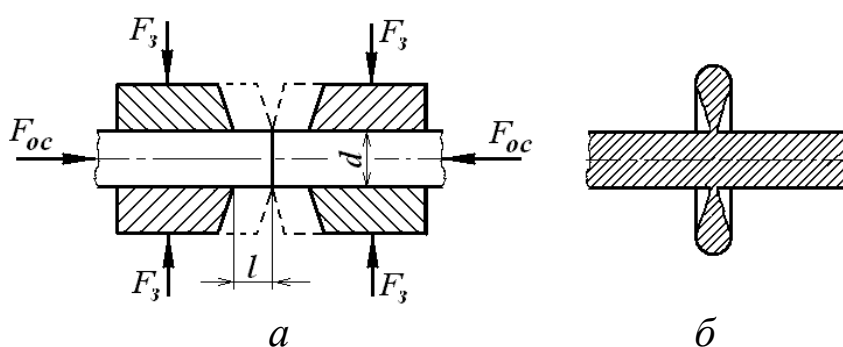


Рисунок 12.2 – Схема процесса стыковой сварки (а) и вид соединения (б)

Деформация объема металла, определяемого вылетом, необходима для разрушения и удаления из зоны стыка поверхностных слоев, что позволяет выходить на поверхность и вступать в контакт све-

жим слоям «чистого» металла. Очевидно, что необходимая величина деформации зависит от размеров поверхности, с которой надо вытеснить разрушенные слои.

Деформация деталей круглого сечения должна происходить симметрично, поэтому её величина зависит от диаметра детали. В процессе деформации деталей прямоугольного сечения (при условии, что ширина заметно больше толщины) металл течет симметрично относительно продольной оси сечения детали. С увеличением диаметра или толщины детали требуется соответственно бóльшая величина деформации, а, следовательно, и бóльшая установочная длина вылета заготовки.

Для удовлетворительной сварки одноименных алюминиевых и медных проводов необходимо соблюдение следующих условий:

- суммарный вылет обоих проводов одинакового диаметра должен быть не менее диаметра провода в случае сварки алюминия и 1,6 диаметра – при сварке меди;
- вылет одного из соединяемых проводов разного диаметра должен быть не меньше 0,3 диаметра провода для алюминия и не менее 0,8 – для меди.

Несоблюдение любого из этих условий затрудняет получение прочного соединения. Если же вылет слишком велик, конец провода при осадке теряет устойчивость и изгибается, что также препятствует образованию прочного соединения. Поэтому величина максимального вылета также должна быть ограничена. Рекомендуемые абсолютные и относительные значения вылетов для сварки алюминиевых и медных проволок приведены в таблице 12.3.

Таблица 12.3 – Значения вылетов для получения соединений проволок, выдерживающих без разрушения испытания на растяжение и изгиб

Материалы	d , мм	l , мм	l/d , %	Материалы	d , мм	l , мм	l/d , %
<i>Al+Al</i>	1,81	1,8	100	<i>Cu+Cu</i>	1,81	2,0	110
	2,44	2,4	100		2,44	2,7	110
	2,83	2,8	100		2,83	3,1	110
	3,53	3,5	100		3,53	5,5	110

При сварке алюминиевых проводов с медными одинакового диаметра необходимо соблюдение следующих условий:

- суммарный вылет обоих проводов должен быть не менее 1,6 диаметра;
- вылет медного провода – не менее 0,8 диаметра, алюминиевого – не менее 0,3 диаметра провода.

Нарушение хотя бы одного из этих условий также затрудняет получение прочного соединения. Рекомендуемые значения вылетов при сварке алюминиевых проводов с медными, обеспечивающие при соблюдении технологии получение высококачественного соединения, приведены в таблице 12.4.

Таблица 12.4 – Рекомендуемые значения вылетов при сварке алюминиевых проводов с медными

Диаметр провода, мм	по алюминию		по меди		суммарная	
	l , мм	l/d , %	l , мм	l/d , %	L , мм	L/d , %
1,81	1,8	100	2,4	130	4,2	230
2,44	2,4	100	3,2	130	5,6	230
2,83	2,8	100	3,7	130	6,5	230
3,53	3,5	100	4,6	130	8,1	230

Вторым основным параметром стыковой холодной сварки является давление осадки. Оно должно обеспечить заданную пластическую деформацию (осадку) деталей по всей длине вылета.

Поскольку по мере осадки деталей происходит упрочнение металла и сопротивление его деформированию увеличивается, давление осадки, необходимое для поддержания процесса деформации, должно расти. Кроме того, осадка сопровождается выдавливанием металла в уменьшающийся зазор между сближающимися губками. Это приводит к нарастанию объемного сжатия, и к концу осадки напряжения в металле во много раз превышают предел текучести свариваемого материала.

На основе многочисленных экспериментальных данных для сварки одноименных металлов одинакового диаметра, и в частности

алюминия и меди, получена эмпирическая формула для расчёта давления, необходимого для полной осадки деталей:

$$P = 3,25\sigma_T \sqrt{\frac{L}{d} \operatorname{tg} \alpha}, \quad (12.3)$$

где σ_T – предел текучести деформированного металла с учетом его упрочнения при деформации ($\sigma_T = 1,4 \div 1,8 \sigma_s$, где σ_s - предел текучести металла в исходном состоянии), МПа;

L – суммарный вылет, мм;

d – диаметр провода, мм;

α – угол скоса зажимных губок;

3,25 – безразмерный коэффициент для алюминия и меди.

Для случая сварки разноименных металлов (алюминия с медью) одинакового диаметра - это выражение приобретает вид.

$$P = 3,25 \sqrt{\frac{L}{d} \left(\frac{1 + l_2 \sigma_{T2}}{l_1 \sigma_{T1}} \right) \operatorname{tg} \alpha}, \quad (12.4)$$

где σ_{T1} и σ_{T2} – пределы текучести деформированных металлов в состоянии упрочнения, МПа;

l_1 и l_2 – соответствующие вылеты деталей, мм.

Расчеты по этим формулам дают удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными для алюминия и меди сечением до 1000 мм².

Рекомендуемое давление осадки для сварки алюминия при $\frac{l}{d} = 1$ составляет 750 ÷ 800 МПа, а для сварки меди при $\frac{l}{d} = 1,3$ равно 1450 ÷ 1500 МПа.

Важным условием осуществления стыковой холодной сварки является правильный выбор величины усилия зажатия соединяемых деталей в губках сварочной машины. Это усилие должно быть достаточным для того, чтобы полностью исключить проскальзывание деталей в губках с учетом нарастания усилия во время осадки. Поэтому теоретически усилие зажатия должно быть не меньше конечной величины усилия осадки. Но, поскольку сварочное давление, а, следовательно, и усилие осадки к концу процесса сварки является довольно значительным и намного превышает предел текучести соединяе-

мых материалов, такое же или большее значение усилия зажатия в губках приводит к расплющиванию заготовок, особенно из таких высокопластичных металлов, как медь и алюминий. В связи с этим, с целью уменьшения усилия зажатия в пазах губок наносится насечка, а губки выполняют из стали. При такой конструкции губок для полного исключения проскальзывания деталей достаточно, чтобы усилие зажатия составляло примерно половину от конечной величины усилия осадки.

12.1.2 Контроль качества сварных соединений.

Методы неразрушающего контроля. Для выявления дефектов сварки, оценки герметичности, электрических и других служебных свойств соединения без его разрушения применяют методы неразрушающего контроля.

Основным методом неразрушающего контроля нахлесточных соединений, выполненных точечной (шовной) сваркой, является внешний осмотр, позволяющий проверить отсутствие надрывов основного металла по периметру точки, наличие на деталях отпечатков от опорных частей пуансонов. Причиной надрывов часто является недостаточное притупление кромок рабочего выступа пуансона. Отпечаток глубиной $0,1 \div 0,3$ мм свидетельствует о достаточном усилии, передаваемом опорной частью пуансона свариваемым деталям, что обеспечивает высокое качество сварной точки.

При помощи контрольных приборов проверяется глубина вдавливания рабочих выступов пуансонов, определяющая величину деформации, необходимую для надежной сварки данных деталей.

При стыковой сварке неразрушающие методы контроля качества соединений включают как внешний осмотр, так и механические испытания на изгиб с выпрямлением.

При внешнем осмотре проверяют соосность сваренных деталей и форму облоя. Отклонение от соосности не должно превышать 0,1 мм. При сварке круглых проводов облой должен иметь симметричную кольцевую форму, при сварке деталей прямоугольного сечения он должен быть симметричен по отношению к большей стороне сечения детали. Асимметрия свидетельствует о плохом качестве сварки.

Механическое испытание производят путем изгиба вручную провода в месте соединения, с последующим выпрямлением: провод сечением до 10 мм^2 – под углом 45° , сечением более 10 мм^2 – под углом 90° . Сварной стык при таких испытаниях не должен разрушаться.

Методы разрушающего контроля. Когда с помощью неразрушающего контроля невозможно достаточно полно оценить качество соединения, применяют методы разрушающего контроля. Их осуществляет выборочно на специально изготовленных образцах-свидетелях.

Основными методами такого контроля соединений, выполненных точечной сваркой, являются механические испытания образцов на срез или отрыв.

Основными методами разрушающего контроля стыковых соединений является испытание на растяжение и изгиб. При этом разрушение должно происходить вне зоны сварки. Если соединение не разрушается при растяжении, то это совсем не означает, что оно выдержит испытание на изгиб, так как последнее является более «жесткой» оценкой качества сварки.

При изгибе испытывают пластические свойства самого соединения, а также близлежащего упрочненного металла. Если в соединении имеются микродефекты, они становятся концентраторами напряжений при изгибе, вызывающими разрушение соединения. Поэтому образцы, выдерживающие испытание на изгиб без разрушения стыка, обязательно выдерживают испытание на растяжение. Рекомендуется проводить испытание на перегибы под углом 90° в противоположные стороны.

Выполнение требований по механической прочности автоматически обеспечивает необходимую электропроводность в зоне стыка, и контроль электрических характеристик соединения проводится только в исключительных случаях.

12.2. Цель работы

Изучить технологические основы точечной и стыковой холодной сварки. Исследовать влияние параметров режима на прочность сварных соединений.

12.3 Оборудование, приборы, инструменты и материалы

12.3.1 Машина для холодной стыковой сварки МСХС-5-3 с набором сменных зажимных губок и пуансонов.

12.3.2 Машина РТ-250М для испытания образцов на срез и растяжение.

12.3.3 Машина МГ-1 для испытания образцов на перегибы.

12.3.4 Верстак, инструменты (металлическая линейка, штангенциркуль, молоток, гаечные ключи, плоскогубцы, тиски, отвертка).

12.3.5 Цифровой фотоаппарат.

12.3.6 Образцы для холодной стыковой и точечной сварки.

12.3.7 Шаблоны для контроля длины вылета провода в губках и глубины отпечатков.

12.3.8 Растворитель, наждачная бумага.

12.4 Методика выполнения работы

12.4.1 Выполнить все практические рекомендации по технологическим параметрам и подготовке деталей из заданных материалов к точечной и стыковой холодной сварке.

12.4.2 Определить для конкретных пар свариваемых материалов величину усилия осадки $F_{ос}$, требуемую для создания заданного по режиму сварочного давления $P_{св}$.

12.4.3 По кинематической схеме механизма осадки (см. лабораторную работу №1) определить рабочее давление воздуха в пневмоцилиндре, обеспечивающее расчетное усилие осадки.

12.4.4 Составить таблицы 12.5 и 12.6, занести в них рекомендуемые и расчетные данные параметров точечной и стыковой сварки.

12.4.5 Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации машины МСХС-5-3.

12.4.6 Произвести подготовку свариваемых поверхностей заго-

ТОВОК.

Таблица 12.5 – Экспериментальные данные по холодной точечной сварке

№ опыта	Детали		Параметры режима					Оценка качества			
	материал	δ , мм	$d_{оп}$, мм	$d_{в}$, мм	$P_{св}$, МПа	$F_{ос}$, кН	P , атм	h/δ , %	h/δ , %	$F_{ср}$, даН	прим.

В таблице: $d_{оп}$, $d_{в}$ – диаметр опорной части и выступа рабочей части пуансона. В примечании отмечается внешний вид соединения и характер разрушения. В графы h/δ заносят для сравнения рекомендуемое и фактическое значения.

Таблица 12.6 – Экспериментальные данные по холодной стыковой сварке

№ опыта	Детали		Параметры режима				Оценка качества			
	материал	d , мм	l , мм	$P_{св}$, МПа	$F_{ос}$, кН	P , атм	l/d	$n_{из}$	$F_{ср}$, даН	прим.

В таблице: $n_{из}$ – количество перегибов до разрушения; P – давление воздуха в пневмоцилиндре. В графы l/d заносятся рекомендуемое и фактическое значения. В примечании отмечается характер внешнего вида (облоя) и разрушения при обоих видах испытания.

12.4.7 Установить соответствующие этим заготовкам рабочий инструмент (губки, пуансон) и параметры режима сварки.

12.4.8 Произвести сварку деталей внахлестку и встык, внешним осмотром оценить качество сварки и провести механические испытания. Результаты опытов занести в соответствующую таблицу.

12.4.9 Проанализировать результаты экспериментов и сделать выводы.

12.4.10 Ответить на контрольные вопросы.

12.6 Содержание отчета

- Цель и задачи работы;
- краткие теоретические сведения;
- методики проведения экспериментов по сварке:
 - определение и контроль в сварочной машине параметров режима сварки;
 - оценка качества соединений;
- таблицы исходных данных и результатов оценки качества сварки;
- анализ результатов опытов;
- общие выводы по работе.

12.6 Контрольные вопросы

12.6.1 Какова последовательность операций технологического процесса холодной сварки?

12.6.2 Перечислите способы подготовки деталей к сварке, в чём они заключаются и почему для сварки меди не применим термический способ?

12.6.3 Как оценивается степень пластической деформации при холодной точечной и стыковой сварке, и от каких факторов зависит выбор её величины?

12.6.4 От каких факторов зависит сварочное давление, и как рассчитывается усилие, необходимое для его создания?

12.6.5 Какие методы контроля качества соединения применяются при точечной и стыковой сварке? Какие дефекты они способны выявлять?

Список использованной литературы

1 Технология и оборудование контактной сварки. / Б.Д.Орлов, А.А.Чакалев, Ю.В.Дмитриев и др.; Под. общ.ред. Б.Д.Орлова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Машиностроение, 1986. – 352 с.

2 Глебов Л.В. Филиппов Ю.И., Чулошников П.Л. Устройство а эксплуатация контактных мдшин. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 312 с.

3 Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением [Текст]: Учебное пособие / Под ред. Г.Г. Чернышова и Д.М. Шашина. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 464 с.

4 Климов А.С., Смирнов И.В., Кудинов А.К., Кудинова Г.Э. Основы технологии и построения оборудования для контактной сварки [Текст]: учебное пособие. – 3-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 336 с.

5 Аксельрод Ф.А., Миркин А.М. Оборудование для сварки давлением. Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1975. – 240 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 – Основные технические данные машины ТКМ-14

Потребляемая мощность, Вт	800
в том числе потребляемая мощность блока питания, Вт	400
Пределы регулирования емкости рабочих конденсаторов (через каждые 50 мкФ), мкФ	50÷750
Пределы регулирования напряжения зарядки конденсаторов, В: цикл сварки цикл подогрева	от 220 ± 10 до 400 ± 5 от 190 ± 10 до 300 ± 5
Регулирование усилия сжатия электродов, даН	0,1÷7
Максимальная накопленная энергия, Дж	60
Число ступеней сварочного трансформатора	6
Рабочий ход электродов, мм	20
Питание от сети переменного тока, В	220±30
Производительность, сварок в сек.	2
Габаритные размеры машины, мм (длина × ширина × высота)	900×1010×1515
Масса, не более, кг	150

Таблица Б.2 – Основные технические характеристики переносного аппарата Digital Modular 230

Максимальная потребляемая мощность, кВт	13
Кратковременная мощность сварки, кВт, 50%	2,3
Напряжение и частота сети, В/Гц	220/50
Максимальный первичный ток, А	25
Вторичное напряжение холостого хода, В	2,5
Максимальный ток короткого замыкания, А	6300
ПВ, %	1,5
Максимальное усилие, развиваемое на электродах, даН	120
Свариваемые стальные листы, мм	2+2
Габаритные размеры, мм (длина×ширина×высота)	440× 100×185
Вес, кг	11

Таблица Б.3 – Основные технические данные и характеристики установки УС.КТОП-6000

Питание от однофазной сети переменного тока, В/Гц	220/50
Напряжение заряда батареи конденсаторов, В	150÷500
Максимальная длительная (за цикл работы) потребляемая мощность, кВА (не более)	5
Емкость батареи конденсаторов, мкФ (с дискретностью 100 мкФ).	100÷1200
Наибольшее амплитудное значение сварочного тока источника промышленной частоты, кА (не менее)	3,2
Коэффициент трансформации сварочного трансформатора (с дискретностью 25)	50÷200
Усилия сжатия электродов, Н	от 10 до 300
Длительность сварки током промышленной частоты (с дискретностью, равной одному полупериоду сетевого напряжения)	от 1 до 10
Расстояние между рабочими поверхностями электродов сварочной головки, мм	от 0 до 250
Вылет электродов, мм (не менее)	100
Диапазон фазовой регулировки сварочного тока промышленной частоты	(70° ÷ 160°) ±10 %
Диапазон задержки сварочного импульса конденсаторного источника, мс (с дискретностью 10 мс)	от 1 до 50 мс
Дополнительная задержка сварочного импульса конденсаторного источника, мс (с дискретностью 1 мс и погрешностью не более 20 % ±0,3 мс)	от 1 до 10 мс
Наибольшее амплитудное значение сварочного тока конденсаторного источника, кА (не менее)	7
Производительность установки, сварок/час (не менее)	6000
Сопротивление постоянному току сварочного контура со вторичной обмоткой сварочного трансформатора, мкОм (не более)	500
Амплитуда синхроимпульсов, формируемых каждым из источников сварочного тока, при длительности импульсов не менее 10 мкс, В (не менее)	5
Подача спирта из капельницы, на 1 сварочную точку	от 0,05 до 0,2 г
Габаритные размеры, мм длина×ширина×высота	1150×670×1350
Масса, кг	(не более) 320