

УДК 621.791(075.8)

ББК 34.641

У 912

Рецензенты: *Ф.Х. Буружкулов, Э.Л. Макаров*

Авторы: Д.В. Апраксин, Р.Н. Астахова, Л.Д. Варламова, В.Г. Вялков, В.С. Гаврилюк, С.Н. Глазунов, Б.М. Захаров, В.С. Дрижов, В.П. Морозов, Д.Б. Слинко, Н.Е. Чижова, Б.Ф. Якушин

Учебно-технологический практикум по сварочному производству У 912 **изданию:** Учеб. пособие: — Ч. II: Сварка давлением. Термомеханические и механические способы / Д.В. Апраксин, Р.Н. Астахова, Л.Д. Варламова и др.; Под ред. В.С. Гаврилюка. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. — 44 с.: ил.

ISBN 978-5-7038-3006-2

В первой части пособия рассмотрены способы сварки давлением, особенности технологии и оборудования, приведены методические указания к лабораторным работам № 1—3. Во второй части изложена физическая сущность наиболее распространенных в промышленности и перспективных способов сварки давлением. Рассмотрены особенности технологии сварки и сварочного оборудования. Даны методические указания по выполнению лабораторных работ № 4—7.

Для студентов 1-го и 2-го курсов.

УДК 621.791(075.8)

ББК 34.641

Учебное издание

УЧЕБНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ ПО СВАРОЧНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

ЧАСТЬ II

СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ.

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ

Редактор *О.М. Королева*

Корректор *Л.И. Малютина*

Компьютерная верстка *В.И. Товстоног*

Подписано в печать 25.10.2007. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Печ. л. 2,75. Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,45. Тираж 500 экз. Изд. № 1а.
Заказ 831

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5

ISBN 978-5-7038-3006-2

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сварка давлением осуществляется за счет пластической деформации свариваемых заготовок при температуре ниже температуры плавления металла (для сталей менее 1100...1200 °С).

Сущность получения неразъемного соединения двух заготовок в твердом состоянии состоит в сближении соединяемых поверхностей на расстояние 20...40 нм, при котором возникают межатомные силы притяжения и происходит пластическая деформация поверхностей.

Строение и состояние реальных поверхностей соединяемых заготовок характеризуются наличием большого количества дефектов, неровностей, оксидных пленок, загрязнений. Поверхность даже тщательно отполированного твердого тела всегда имеет множество микроскопических выступов, высота каждого из которых на несколько порядков больше, чем расстояния, необходимые для возникновения сил межатомного взаимодействия. Кроме того, практически после любой обработки поверхности заготовок мгновенно покрываются тонкой пленкой оксидов, а также слоем адсорбированных молекул воды и жировых веществ. Удалить слой не представляется возможным, так как этому препятствует возникшая между слоем и поверхностью заготовки электрическая связь. Даже между абсолютно плоскими поверхностями не могут возникнуть межатомные связи вследствие наличия оксидов, масляных пленок, адсорбированных примесей.

Таким образом, получить прочное неразъемное соединение можно при условиях удаления со свариваемой поверхности загрязнений и сближения поверхностных атомов по всей соединяемой

плоскости за счет совместной пластической деформации поверхностей заготовок. На рис. 1, *а* представлено исходное состояние поверхностей 1 свариваемых заготовок 2, а на рис. 1, *б* показаны пластическая деформация заготовок в зоне соединения и образование межзатомных связей.

Под действием давления площадь контактирования поверхностей увеличивается. Вследствие большой плотности контакта соединяемые поверхности не сообщаются с атмосферой, поэтому новые оксидные пленки не образуются, а имевшиеся до этого частично выдавливаются из зоны соединения наружу, частично диффундируют в глубь металла и не препятствуют образованию металлических связей. При этом сварка давлением возможна лишь при условии, что материал способен воспринимать значительные местные пластические деформации без разрушения.

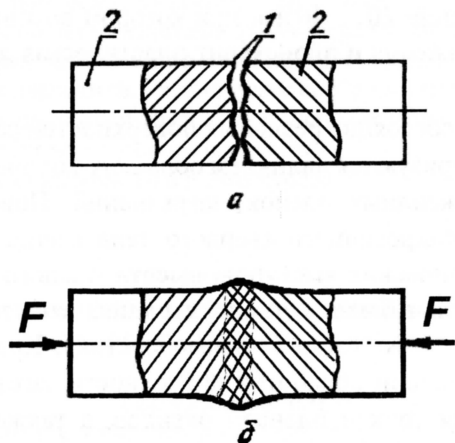


Рис. 1. Формирование сварного соединения:
а – исходное состояние поверхностей; *б* – пластическая деформация заготовок в зоне соединения и образование межзатомных связей

Используемое в большинстве случаев при сварке давлением термическое воздействие позволяет повысить пластичность материалов в зоне соединения, активировать поверхности свариваемых заготовок, а также уменьшить сварочное давление.

В процессе образования сварного соединения обычно выделяют три основные стадии.

1. Формирование физического контакта (т. е. устранение неровностей и поверхностных пленок и обеспечение плотного контакта по всей поверхности соединяемых заготовок).

2. Активация поверхностных атомов в результате нагрева и упругопластических деформаций.

3. Образование межзатомных связей и формирование неразъемного монолитного соединения.

Переход от одной стадии к другой происходит не мгновенно, а в течение некоторого временного промежутка. Величина этого промежутка зависит от способа активации поверхностных атомов, свойств металлов, режимов сварки. При механической активации он обычно значительно больше, чем при термической.

По физическим признакам сварку давлением можно подразделить на два класса: механический и термомеханический (рис. 2).



Рис. 2. Классификация сварки давлением

К механическому классу относятся холодная сварка, сварка взрывом, ультразвуковая, трением и др.; к термомеханическому — контактная, диффузионная, газопрессовая и т. д. В промышленности наиболее широкое применение находят электроконтактные способы сварки: точечная, шовная, и стыковая и конденсаторная.

Контактная сварка. Контактная сварка — это сварка с применением давления, при которой используется теплота, выделяющаяся в контакте свариваемых заготовок при прохождении электрического тока.

Для осуществления контактной сварки к заготовкам 1 прикладывается внешняя сила сжатия F и через токоподводящие контакты-электроды 2, выполненные из медного сплава, подводится электрический ток (рис. 3). При прохождении тока через свариваемые заготовки выделяется теплота в соответствии с законом Джоуля — Ленца

$$Q = I^2 R t; \quad R = R_{1-1} + 2R_{1-2} + 2R_1,$$

где Q определяется в Дж; I — сварочный ток, А; R — полное электросопротивление сварочного контура, Ом; t — время пропускания тока, с.

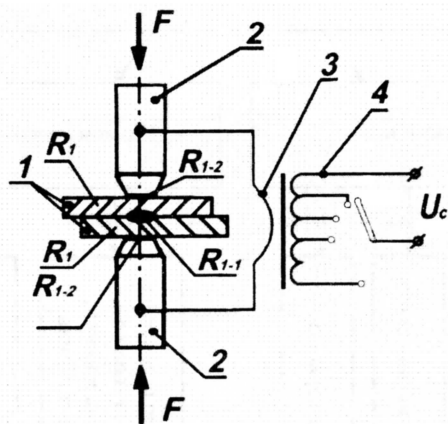


Рис. 3. Схема контактной сварки: 1 — свариваемые заготовки; 2 — электроды; 3 — вторичная обмотка трансформатора; 4 — первичная обмотка трансформатора

Максимальное количество теплоты выделяется в зоне контакта заготовок, что определяет их быстрый нагрев до температуры пла-

стического состояния или в некоторых случаях до оплавления металла. Это происходит вследствие того, что контактное сопротивление между заготовками R_{1-1} в начальный момент сварки значительно превосходит сопротивление всех других участков цепи, а именно: R_{1-2} — электросопротивление в контактах электрод-заготовка и R_1 — электросопротивление заготовок.

Сопротивление R_{1-1} является максимальным в электрической цепи вследствие того, что, во-первых, сопротивление токоподводящих медных контактов-электродов ниже сопротивления свариваемых заготовок, во-вторых, на свариваемых поверхностях имеются пленки оксидов и загрязнения с малой электропроводимостью, которые также увеличивают электросопротивление контакта, в-третьих, контактирующие поверхности соприкасаются только по микровыступам даже после тщательной обработки заготовки. В связи с этим действительное сечение металла, через которое проходит ток, резко уменьшается.

По мере повышения температуры и под действием внешней силы сжатия происходит пластическая деформация, в результате которой неровности сглаживаются, оксидные пленки разрушаются и вместе с загрязнениями вытесняются из зоны сварки. Однако сопротивление R_{1-1} остается более высоким по сравнению с сопротивлениями других ненагретых участков цепи из-за увеличения удельного сопротивления контакта в связи с повышением температуры. Таким образом, в месте контакта заготовок в течение всего процесса сварки происходит интенсивное выделение теплоты.

Оборудование для контактной сварки. Контактную сварку осуществляют на специальных машинах, обеспечивающих необходимый ток нагрева, сжатие заготовок, а также регулирование всего процесса во времени. В связи с этими основными функциями в составе контактной машины можно выделить три основных узла: источник тока — сварочный трансформатор с прерывателем тока; механизм сжатия; сварочный узел, включающий токоподводящие контакты-электроды (см. рис. 3).

Источник тока контактных машин должен обеспечивать пропускание через заготовки больших токов (от тысяч до сотен тысяч ампер) и возможность их регулирования. В качестве источника тока

применяют сварочный трансформатор, первичная обмотка 4 (см. рис. 3) которого состоит из большого количества витков и имеет ряд отводов (ступеней мощности). Вторичная обмотка 3, как правило, имеет один виток (вторичное напряжение равно 1...12 В). При изменении числа витков в первичной обмотке меняется коэффициент трансформации K_T , определяемый выражением:

$$K_T = W_1/W_2; U_1/U_2 = W_1/W_2 = I_2/I_1,$$

где W_1 и W_2 — число витков первичной и вторичной обмоток; U_1 и U_2 — первичное и вторичное напряжение, В; I_1, I_2 — первичный и вторичный ток, А. Вторичное напряжение находят по формуле $U_2 = (U_1 W_2)/W_1$, где U_1 — постоянное напряжение сети, В; $W_2 = 1$. Следовательно, $U_2 = U_1/W_1$, $I_2 = I_1 W_1/W_2 = I_1 W_1$.

Таким образом, контактные способы сварки характеризуются небольшим значением напряжения сварки и высокими значениями сварочного тока.

Для включения и отключения сварочного тока в нужный момент цикла сварки используется прерыватель тока. Прерыватель устанавливают в первичной цепи. Он может быть механическим, электромагнитным, электронным и т. п.

Механизм давления служит для сжатия заготовок. Он может быть рычажно-педальным, механическим, пневматическим или гидравлическим.

Комплекс основных контролируемых параметров процесса сварки называют режимом сварки.

РАБОТА № 4. КОНТАКТНАЯ СТЫКОВАЯ СВАРКА

Цель работы — получить практическое представление о контактной стыковой сварке, изучить сущность процесса сварки сопротивлением и сварки оплавлением, ознакомиться с оборудованием и технологическими возможностями способов сварки, а также с областями их применения.

Физическая сущность процесса

При контактной стыковой сварке соединение свариваемых частей происходит по поверхности стыкуемых торцов (рис. 4.1). Различают стыковую сварку сопротивлением и оплавлением. Изменение основных параметров режима сварки во времени называют циклами контактной сварки или циклограммами.

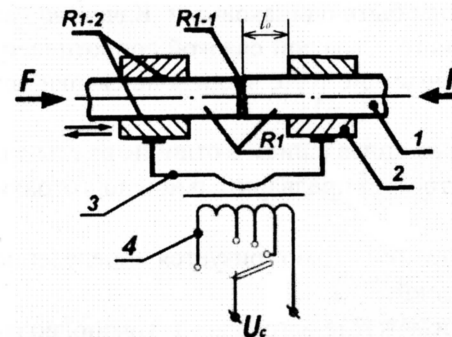


Рис. 4.1. Схема контактной-стыковой сварки: 1 — свариваемые заготовки; 2 — электроды; 3 — вторичная обмотка трансформатора; 4 — первичная обмотка трансформатора

Стыковая сварка сопротивлением характеризуется определенной последовательностью операций:

- 1) зачистка контактных поверхностей заготовок (токоподвод — заготовка, заготовка — заготовка) от оксидных пленок и загрязнений и закрепление их в токоподводах машины;
- 2) обеспечение контакта соединяемых поверхностей путем приложения предварительной силы сжатия $F_{сж}$;
- 3) включение тока сварки и нагрев стыка заготовок до температуры, близкой к температуре плавления (1100...1200 °С);
- 4) осадка заготовок при увеличении силы подачи $F_{п}$ с целью смятия неровностей и разрушения оксидных пленок в зоне соединения; при этом из зоны сварки частично выдавливаются поверхностные пленки, образуется физический контакт и формируется сварное соединение. В процессе осадки происходит выключение сварочного тока.

Стыковую сварку сопротивлением применяют для соединения однородных металлов из низкоуглеродистых, низколегированных

конструкционных сталей сечением до 200 мм² и цветных металлов и сплавов сечением до 100 мм².

На рис. 4.2, *а* представлена циклограмма процесса, где $I_{св}$ — значение сварочного тока, А; $F_{сж}$ — сила сжатия, Н; $F_{п}$ — сила подачи; t — время сварки, с. На рис. 4.2, *б* изображен внешний вид сварного шва, а на рис. 4.2, *в* — характерные типы сварных соединений. Размеры и конфигурация свариваемых заготовок в месте соединения должны быть одинаковыми. Качество сварного соединения, выполненного стыковой сваркой сопротивлением, является нестабильным вследствие того, что в зоне сварки возможно наличие оксидов.

Стыковая сварка оплавлением в отличие от стыковой сварки сопротивлением не требует предварительной подготовки места соединения.

Сварка оплавлением характеризуется определенной последовательностью операций:

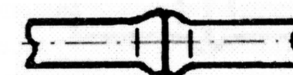
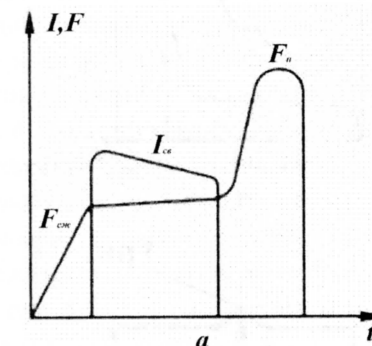
1) установка и зажатие заготовок в токоподводящих зажимах сварочной машины;

2) включение сварочного тока и сближение при малой силе подачи торцов соединяемых заготовок;

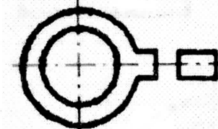
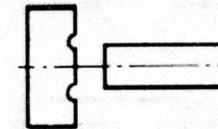
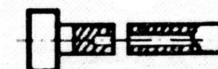
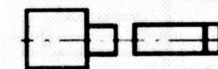
3) нагрев и оплавление заготовок. В результате соприкосновения соединяемых поверхностей образуются электрические контакты-перемычки, которые быстро расплавляются, так как подвергаются воздействию тока повышенной плотности. При многократном непрерывном повторении этого процесса место контакта заготовок полностью оплавляется. Часть расплавленного металла выбрасывается из стыка в виде мелких капель и искр. В результате оплавления свариваемые поверхности очищаются от оксидов и загрязнений и сближаются;

4) осадка заготовок при увеличении силы подачи (силы осадки). При осадке из стыка выдавливается жидкий и полурасплавленный окисленный металл вплоть до соприкосновения поверхностей, нагретых до значений температуры, близких к температуре плавления. Выдавленный металл образует утолщение — грат. Сварочный ток выключается в процессе осадки.

На рис. 4.3, *а* представлена циклограмма процесса непрерывной стыковой сварки оплавлением, где $I_{св}$ — значения тока сварки на



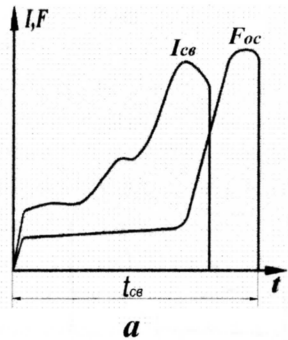
б



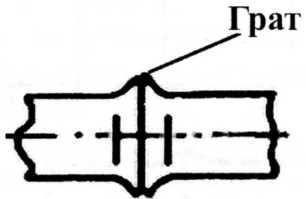
в

Рис. 4.2. Стыковая сварка сопротивлением:

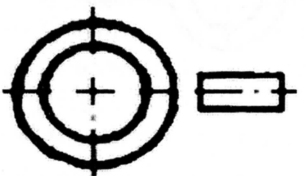
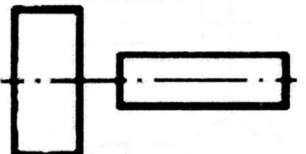
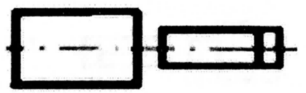
а — циклограмма процесса; *б* — внешний вид сварного шва; *в* — характерные типы сварных соединений



a



б



в

Рис. 4.3. Стыковая сварка оплавлением:
a – циклограмма процесса ; *б* – внешний вид сварного шва (*грат* – вытесненный из зоны соединения металл, содержащий оксидные пленки и загрязнения); *в* – характерные типы сварных соединений

различных стадиях оплавления, A ; $F_{ос}$ — значения силы осадки на различных стадиях процесса оплавления, H ; $t_{св}$ — общее время сварки, c .

Стыковая сварка оплавлением применяется для соединения однородных металлов из низко-, средне- и высокоуглеродистых сталей, низко-, средне- и высоколегированных сталей сечением до 1000 мм^2 , а также цветных металлов и сплавов. Возможна сварка разнородных металлов. На рис. 4.3, *б* изображен внешний вид сварного шва, а на рис. 4.3, *в* — характерные типы сварных соединений, аналогичные типам сварных соединений при стыковой сварке сопротивлением, но без предварительной обработки.

Одним из важных параметров режима стыковой сварки является установочная длина l_0 — вылет (см. рис. 4.1), т. е. расстояние от торца заготовки до внутреннего края токоподводов стыковой машины, измеренное до начала сварки. При большом значении l_0 возможно искривление нагретых деталей в процессе осадки. При малой установочной длине наблюдается интенсивное охлаждение деталей за счет теплоотвода в контактные зажимы. Это затрудняет пластическую деформацию и требует значительного увеличения сил осадки. Установочная длина l_0 зависит от теплофизических свойств металла, конструкции стыка и размеров заготовки и для каждого сплава выбирается из специальных таблиц.

В табл. 4.1 приведены значения l_0 и $F_{ос}$ для различных материалов в зависимости от диаметра заготовки d_3 применительно к стыковой сварке сопротивлением.

Таблица 4.1

Материал	d_3 , мм	l_0 , мм	$F_{ос}$, Н
Сталь	0,8	1,5	20
Сталь	2,0	3,0	80
Сталь	3,0	4,0	140
Сталь	4,0	5,5	200
Сталь	5,0	6,5	260
Медь	2,0	3,5	100
Алюминий	2,0	2,5	50

Параметрами режима контактной стыковой сварки являются: j ($j = I/S$) — плотность тока, А/мм² (или I — ток сварки, А), $F_{ос}$ — сила подачи (сила осадки), Н; t — время сварки, с.

Контактная стыковая сварка выполняется на специализированных машинах.

На рис. 4.4 представлена схема машины для стыковой сварки МСР-25, которая предназначена для контактной стыковой сварки заготовок из сталей и цветных металлов и их сплавов сечением до 50 мм² методом сопротивления. Номинальная мощность машины 25 кВ·А, сварочный ток до 14 000 А, вторичное напряжение регулируется с помощью восьми ступеней мощности в диапазоне 1,8...3,6 В. Максимальная сила осадки 8 000 Н.

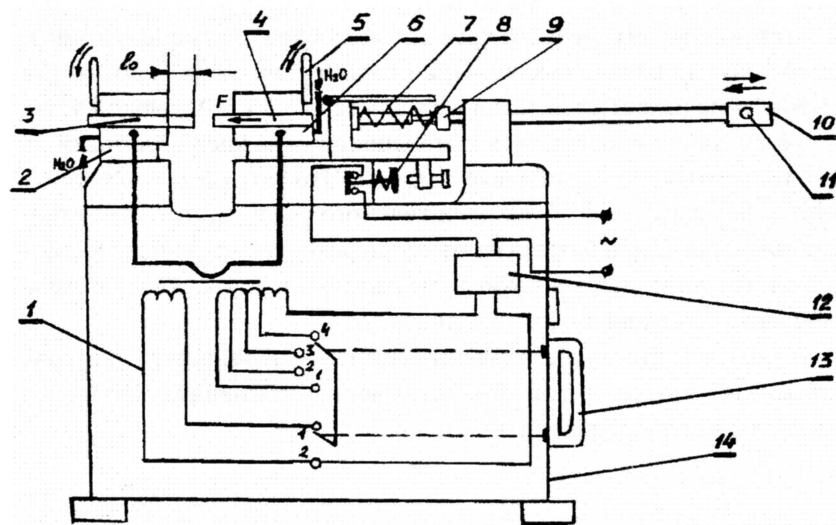


Рис. 4.4. Электрокинематическая схема машины для стыковой сварки МСР-25:

1 — источник тока (сварочный трансформатор); 2 — неподвижный контактный зажим; 3, 4 — заготовки; 5 — эксцентрик; 6 — подвижный зажим; 7 — пружина; 8 — концевой выключатель; 9 — регулировочная гайка; 10 — рычаг; 11 — кнопка включения; 12 — контактор; 13 — ножи переключения степеней мощности; 14 — рама

В качестве источника тока машины МСР-25 используется сварочный трансформатор 1. Включение сварочного тока осуществляется с помощью кнопки 11, находящейся на ручке рычага 10, при этом срабатывает контактор 12. Выключение тока происходит в

процессе осадки с помощью концевого выключателя 8. Переключение ступеней мощности осуществляется с помощью ножей 13.

Механизм давления — ручной рычажный, смонтирован на жесткой раме 14. На направляющих крепятся левый неподвижный контактный зажим 2 и подвижный зажим 6. Заготовки 3 и 4 зажимаются вручную с помощью эксцентриков 5. Осадка в процессе сварки выполняется вручную с помощью рычага 10. Сила осадки регулируется путем поджатия пружины 7 гайкой 9.

Порядок выполнения работы

1. Изучить физическую сущность процесса, принципиальные различия контактной стыковой сварки сопротивлением и оплавлением.

2. Ознакомиться с конструкцией машины и приемами регулирования основных параметров сварочного процесса — тока, силы осадки, времени протекания тока.

3. Сварить серию опытных образцов методом сопротивления под руководством учебного мастера.

4. Испытать сваренные образцы на угол изгиба.

5. Определить режимы сварочного процесса, обеспечивающего получение качественного сварного соединения.

6. Зачистить контактные и свариваемые поверхности заготовок.

7. Зажать заготовки 3, 4 в эксцентриках 5 (см. рис. 4.4), соблюдая необходимый вылет l_0 (см. табл. 4.1) и обеспечить соосность свариваемых заготовок (осевое смещение заготовок не должно превышать 0,05...0,07 от диаметра d_3 заготовки).

8. По таблице ступеней мощности (показана на машине) установить минимальную ступень мощности с помощью ножей 13 (см. рис. 4.4).

9. С помощью рычага 10 обеспечить контакт соединяемых поверхностей (см. рис. 4.4).

10. Включить кнопку 11 (см. рис. 4.4) и нагревать заготовки 3, 4 до искрения (для стали $T = 1100 \dots 1200^\circ\text{C}$).

11. Не выключая кнопку 11, с помощью рычага 10 осуществить осадку (см. рис. 4.4).

12. Зафиксировать время сварки.

13. Снять полученное сварное соединение и испытать его на угол изгиба.

14. При неудовлетворительном качестве полученного сварного соединения (разрушение по стыку) изменить время пропускания тока и повторно осуществить процесс сварки.

15. Для качественного сварного соединения определить параметры сварочного процесса:

- а) время пропускания тока t , с;
- б) площадь поперечного сечения свариваемых заготовок S , мм²;
- в) значение силы подачи (силы осадки) $F_{ос}$ — по табл. 4.1 в зависимости от материала и диаметра заготовки;
- г) напряжение сварки $U_{св} = U_2$, В;
- д) сварочный ток I , А. Предварительно рассчитать рекомендуемую плотность тока по эмпирической зависимости $j = -1,6S + 250$, где j определяется в А/мм². Эта зависимость справедлива для заготовок с площадью $S \leq 75$ мм². Определить сварочный ток I по формуле

$$I = jS.$$

16. Полученные данные занести в табл. 4.2.

17. Оформить отчет.

Таблица 4.2

Материал заготовки	d_3 , мм	S , мм ²	I , А	$U_{св}$, В	t , с	l_0 , мм	$F_{ос}$, Н

Содержание отчета

Отчет о работе должен включать следующее:

- 1) описание сущности, процесса контактной стыковой сварки;
- 2) схему и циклограммы процесса стыковой сварки сопротивлением и оплавлением;
- 3) технические возможности способов стыковой сварки сопротивлением и оплавлением и характерные для них типы сварных соединений;

4) исходные данные, результаты замеров и расчетов основных параметров режима сварки;

5) таблицу с результатами расчетов.

Контрольные вопросы

- 1. Почему контактное сопротивление R_{1-1} является в сварочном контуре максимальным и от каких факторов оно зависит?
- 2. Объясните последовательность технологических операций при стыковой сварке методом сопротивления.
- 3. Объясните последовательность технологических операций при стыковой сварке методом оплавления.
- 4. Из каких основных частей состоит машина для контактной стыковой сварки?

РАБОТА № 5. КОНТАКТНАЯ ТОЧЕЧНАЯ И ШОВНАЯ СВАРКА

Цель работы — получить практическое представление о контактной точечной и шовной сварке, изучить физическую сущность процессов, ознакомиться с типовым оборудованием и технологическими возможностями способов сварки и областью их применения.

Физическая сущность процесса. Сварочное оборудование

Точечная сварка

Точечная сварка — способ контактной сварки, при котором сварное соединение получается в контакте между свариваемыми пластинами, находящимися под торцами электродов, передающих силу сжатия.

Точечная сварка может быть двухсторонней (рис. 5.1, а) и односторонней (рис. 5.1, б). При двухсторонней сварке нагрев заготовок 1 и 2 осуществляется током, протекающим между электродами 5, расположенными по обе стороны свариваемых заготовок. При односторонней сварке ток проходит между верхней 1 и нижней 2 заготовками и медной подкладкой 4. Медная подкладка применяется

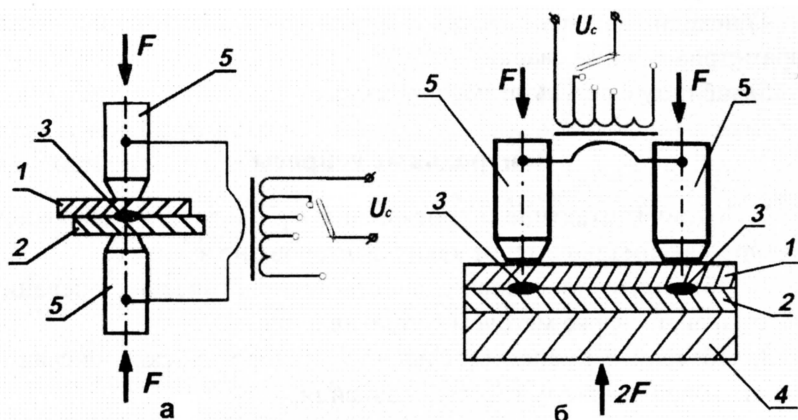


Рис. 5.1. Схема точечной сварки:
a – двухсторонняя; *б* – односторонняя; 1 – верхняя заготовка; 2 – нижняя заготовка; 3 – сварочная точка; 4 – медная подкладка; 5 – электрод

для прохождения тока в точках касания свариваемых заготовок, а также играет роль опоры.

Для правильного формирования сварной точки 3 процесс сварки проводят в определенной последовательности: перед сваркой место соединения зачищают или протравливают до полного удаления оксидной пленки. Процесс образования сварного соединения происходит в три этапа:

- 1) сжатие заготовок для обеспечения плотных контактов «электрод — заготовка» и «заготовка — заготовка»;
- 2) включение тока сварки и выдержка его в течение времени t для нагрева металла в зоне контакта заготовок до $T = 1000 \dots 1200 \text{ }^\circ\text{C}$;
- 3) выключение тока, образование сварной точки, охлаждение зоны сварки.

Циклограмма процесса точечной сварки представлена на рис. 5.2. В ряде случаев после выключения тока силу сжатия увеличивают (проковка точки), что предотвращает появление трещин и раковин (пустот) в сварном соединении.

Расстояние между двумя соседними точками должно составлять не менее $2,5 d_T$, где d_T — диаметр сварной точки. При меньшем расстоянии возможно шунтирование тока; при большем — прочность

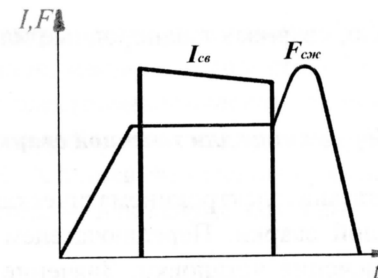


Рис. 5.2. Циклограмма процесса точечной сварки

соединения в целом уменьшается. При точечной сварке заготовки в основном соединяют внахлестку. Типы соединений представлены на рис. 5.3.

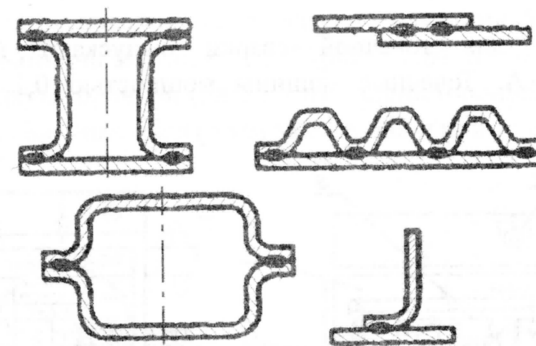


Рис. 5.3. Виды соединений заготовок точечной сварки

Основными параметрами режима точечной сварки являются: $F_{сж}$ — сила сжатия, Н; j — плотность тока, $\text{A}/\text{мм}^2$, или $I_{св}$ — сварочный ток, А; t — время протекания тока, с. Эти параметры подбирают в зависимости от толщины и марки свариваемого металла.

Точечную сварку применяют для изготовления изделий из низкоуглеродистых, углеродистых, низколегированных конструкционных и легированных сталей, алюминиевых сплавов. Средние пределы свариваемых толщин составляют $0,5 \dots 5 \text{ мм}$. Точечной

сваркой, как правило, сваривают однородные материалы одинаковой толщины.

Оборудование для точечной сварки

На рис. 5.4 показана электрокинематическая схема машины МТ-601 для точечной сварки. Переключателем 4 осуществляют включение и выключение установки. Значение сварочного тока регулируют с помощью ступеней мощности в первичной цепи сварочного трансформатора 5. Сжатия свариваемых заготовок 1 электродами 3 осуществляется при нажатии на педаль 16. Регулируют ее путем поджатия пружины 7 гайкой 9. Необходимая сила сжатия F зависит от марки и толщины свариваемых материалов. Время протекания тока задается нажатием на педаль 16 или с помощью реле времени 2. Дверцы корпуса машины 6 открываются с помощью защелки 8.

Машины для точечной сварки выпускают мощностью 0,1...250 кВ·А. Точечные машины мощностью 0,1...25 кВ·А

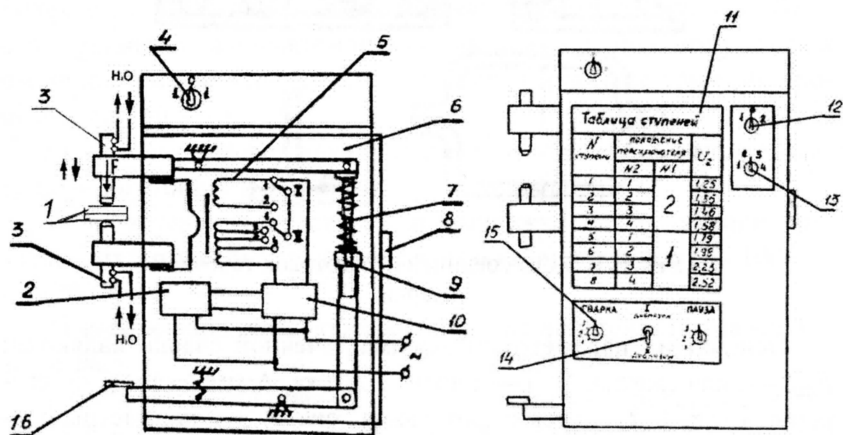


Рис. 5.4. Электрокинематическая схема машины для точечной сварки МТ-601:

1 – свариваемые заготовки; 2 – реле времени; 3 – электрод; 4 – переключатель; 5 – сварочный трансформатор; 6 – корпус; 7 – пружина; 8 – защелка; 9 – регулировочная гайка; 10 – электромагнитный прерыватель тока; 11 – таблица ступеней мощности; 12, 13 – переключатель ступеней мощности; 14 – переключатель диапазонов силы тока; 15 – регулятор времени импульса сварочного тока; 16 – педаль

применяют для сварки заготовок толщиной 0,1...2 мм из сталей и цветных металлов; машины мощностью 25...100 кВ·А с пневматическим или электромеханическим приводом сжатия — для автоматической сварки в массовом производстве; машины мощностью 75...250 кВ·А с пневматическим приводом и электронными прерывателями тока — для сварки заготовок толщиной от 2 мм и выше.

Современные точечные машины, предназначенные для массового производства, иногда являются частью робототехнических комплексов, управляемых ЭВМ.

Шовная сварка

Шовная сварка — это контактная сварка, при которой соединение нагретых проходящим током заготовок происходит между вращающимися дисковыми электродами — роликами 5, передающими силу сжатия на заготовки 1 и 2 (рис. 5.5, а). Шовная сварка может быть двухсторонней (рис. 5.5, а) и односторонней (рис. 5.5, б). Сварное соединение образуется так же, как и при точечной сварке.

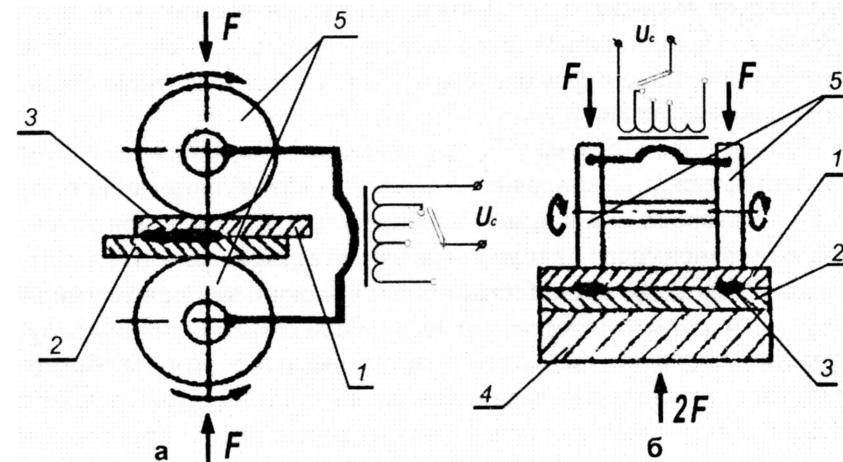


Рис. 5.5. Схема шовной сварки:

а – двухсторонняя; б – односторонняя; 1 – верхняя заготовка; 2 – нижняя заготовка; 3 – сварочная точка; 4 – медная подкладка; 5 – электрод-ролик

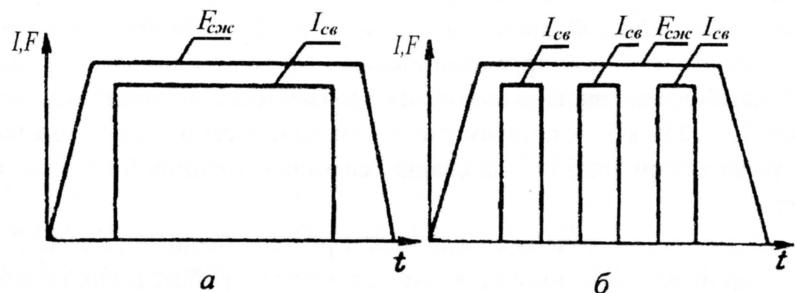


Рис. 5.6. Циклограмма процесса шовной сварки:
a — с непрерывным включением тока; *б* — с импульсным включением тока

На рис. 5.6 представлены циклограммы процесса шовной сварки с непрерывным (*a*) и импульсным (*б*) включением тока. На рисунке *I* — ток сварки, *A*, *F* — сила сжатия, *H*, *t* — время сварки, *с*.

Шовная сварка с непрерывным включением тока предназначена для сварки коротких швов и сварки металлов и сплавов, не склонных к росту зерна и не претерпевающих заметных структурных превращений при нагреве в околошовной зоне (низкоуглеродистые и низколегированные стали). Импульсное включение тока используется для сварки длинных швов и сварки металлов и сплавов, для которых опасен перегрев околошовной зоны (нержавеющие стали, алюминиевые сплавы).

Режим шовной сварки ($F_{сж}$ — сила сжатия, *H*; j — плотность тока, A/mm^2 , или $I_{св}$ — сварочный ток, *A*; *t* — время протекания тока, *с*; $V_{св}$ — скорость сварки, *м/ч*) подбирают так же, как и при точечной — в зависимости от толщины и свойств свариваемого металла. Однако сварочный ток выбирают более высокий, чем при точечной сварке. Это объясняется тем, что при шовной сварке часть тока шунтируется через ранее сваренный участок шва, и поэтому для обеспечения достаточного прогрева места сварки общий ток должен быть больше. Для обеспечения более плотных контактов «электрод — заготовка» и «заготовка — заготовка» давление при шовной сварке несколько выше, чем при точечной.

Шовную сварку применяют для получения герметичных соединений, например, при изготовлении резервуаров, различных емко-

стей и т. д. Свариваемые металлы и сплавы те же, что и при точечной сварке. Толщина свариваемых изделий составляет 0,5...3 мм. Шовной сваркой, как правило, свариваются однородные материалы одинаковой толщины, собранные внахлестку.

Оборудование для шовной сварки

На рис. 5.7 представлена электрокинематическая схема машины МШМ-25М мощностью 25 $kB \cdot A$ с максимальным сварочным током 14 000 *A*. Восемь ступеней регулирования мощности обеспечивают напряжение во вторичной цепи от 1,8 до 3,5 *B*.

Основные части машины смонтированы на верхней плите корпуса 2. На ней находятся: хоботы 5 и 8, кулачковый механизм давления и привод вращения электродов в виде роликов 6. В корпусе помещен сварочный трансформатор, регулятор мощности которого выведен на боковую панель 3. Запуск машины в работу осуществляется пакетным выключателем 7, находящимся на правой боковой стенке машины. При этом включаются двигатель 4 привода вращения ролика, механизм сжатия 12 и прерыватель сварочного тока 13. При сварке свариваемые пластины-заготовки устанавливаются на нижний ролик 6. При нажатии на педаль 1 и удержании ее в нажатом положении эксцентриковый палец выходит из зацепления с винтовым выступом ведомой полумуфты 11 и происходит соединение муфты. Кулачковые механизмы 12 и 14 начинают вращаться. Кулачок 12 взаимодействует с задней частью подвижного хобота 8 и через пружину 10 передает давление на свариваемые заготовки. Кулачок 14 в определенный момент включает и выключает прерыватель тока 13, что обеспечивает получение непрерывного герметичного сварного шва за счет постоянного перекрытия расположенных друг за другом точек. Скорость сварки регулируют с помощью сменных шестерен 15, расположенных на боковой стенке редуктора 9. Давление может изменяться в зависимости от степени поджатия пружины 10.

Шовные машины выпускают мощностью 25...200 $kB \cdot A$. В зависимости от способа шовной сварки (непрерывное или прерывистое включение тока) их снабжают механическими или электронными прерывателями тока.

Порядок выполнения работы

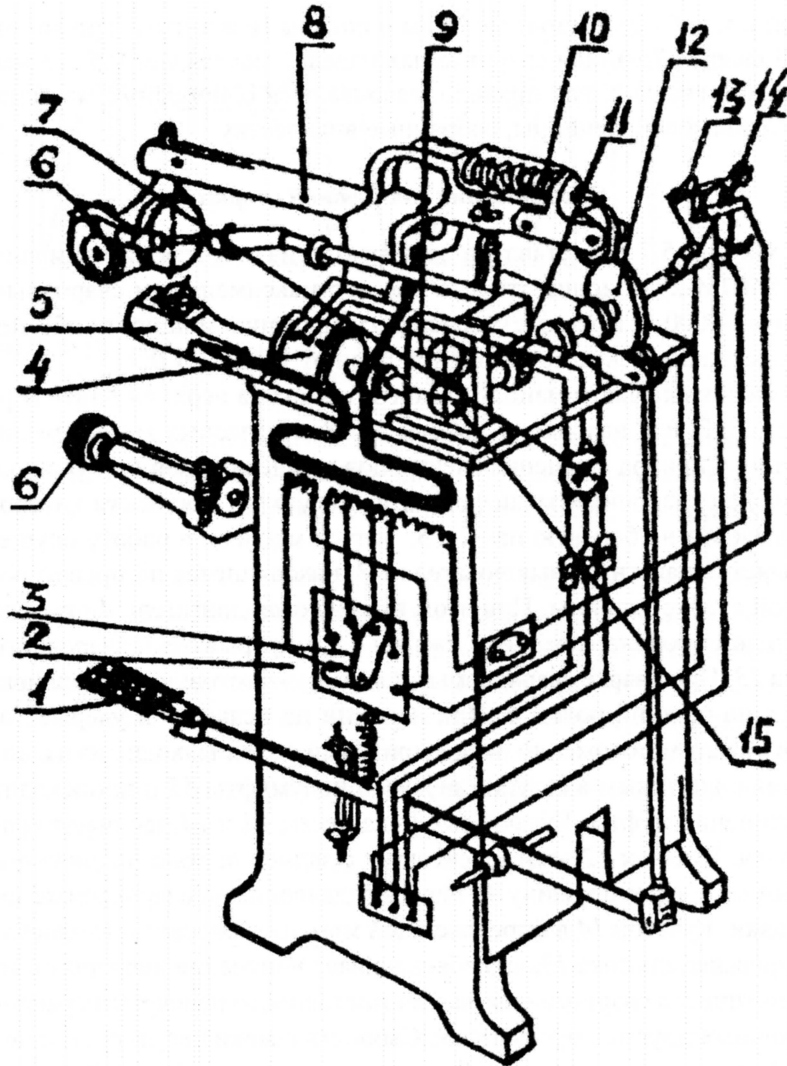


Рис. 5.7. Электрокинематическая схема машины для шовной сварки МШМ-25М:

1 – педаль; 2 – корпус; 3 – регулятор мощности; 4 – двигатель привода вращения ролика; 5 – неподвижный хобот; 6 – электрод-ролик; 7 – пакетный выключатель; 8 – подвижный хобот; 9 – редуктор; 10 – пружина; 11 – муфта; 12, 14 – кулачок; 13 – прерыватель тока; 15 – сменные шестерни

1. Изучить сущность контактной точечной и шовной сварки.
 2. Ознакомиться с конструкцией сварочных машин и приемами регулирования основных параметров режимов точечной и шовной сварки (см. рис. 5.4 и 5.7).
 3. Сварить серию опытных образцов под руководством учебного мастера.
 4. Испытать сварные образцы на прочность.
 5. Определить режимы сварочного процесса, обеспечивающие получение качественного сварного соединения.
 6. Выполнить контактную точечную сварку на точечной машине (см. рис. 5.4).
 - 6.1. Открыть боковую крышку корпуса точечной машины, находящуюся под выключателем 4 (см. рис. 5.4).
 - 6.2. Установить рабочую ступень мощности, переведя переключатели 12 и 13 в положение 1.
 - 6.3. Перевести тумблер 14 в положение диапазон II.
 - 6.4. Проверить состояние рабочих поверхностей электродов.
 - 6.5. Установить переключатель 15 реле времени в положение 1, соответствующее времени 1 с.
 - 6.6. Тщательно зачистить заготовки.
 - 6.7. Включить сварочную машину, переведя переключатель 4 в положение 1.
 - 6.8. Заготовки, собранные внахлестку, поместить между электродами 3 сварочной машины.
 - 6.9. При нажатой педали 16 осуществить сварку заготовок.
- ВНИМАНИЕ!** Электроды сварочной машины без заготовок, помещенных между ними, не сводить.
- 6.10. Снять полученное соединение с электродов сварочной машины.
 - 6.11. Испытать сварное соединение на прочность.
 - 6.12. При неудовлетворительном качестве сварки изменить время протекания тока или ступень мощности (меняя положения переключателей 12, 13 и 15 соответственно), добиваясь получения качественного сварного соединения.

6.13. Зафиксировать напряжение сварки $U_{св} = U_2$, В; время пропускания тока t , с; замерить диаметр полученной сварной точки d_T в каждом эксперименте.

6.14. Для получения качественного сварного соединения стальных заготовок толщиной $\delta \leq 3$ мм и диаметра рабочей части электрода $d_s = 3 \dots 10$ мм определить:

F — силу сжатия, Н (в зависимости от толщины свариваемых заготовок), $F = 25,5 - 3,5\delta$;

I — сварочный ток, А; $I = jS$;

j — плотность тока, А/мм²; $j = -250\delta + 950$;

S — площадь поперечного сечения точки, мм²; $S = \pi d_T^2/4$.

6.15. Полученные результаты занести в табл. 5.1.

6.16. Оформить отчет о работе.

Таблица 5.1

Материал заготовок	δ , мм	d_T , мм	S , мм ²	$t_{св}$, с	j , А/мм ²	$I_{св}$, А	$U_{св}$, В	F , Н

7. Выполнить контактную шовную сварку на шовной машине (см. рис. 5.7).

7.1. Проверить состояние рабочих поверхностей электродов.

7.2. Установить первую степень мощности.

7.3. Включить шовную машину с помощью переключателя 7.

7.4. На нижний ролик установить тщательно зачищенные заготовки.

7.5. Нажать на педаль I и сварить заготовки.

ВНИМАНИЕ! Электроды сварочной машины без заготовок, помещенных между ними, не сводить.

7.6. Зафиксировать напряжение сварки $U = U_2$, В (по таблице степеней мощности, указанных на машине), время пропускания тока или время сварки $t_{св}$, с, замерить ширину шва $b_{ш}$, мм и длину шва L , мм.

7.7. Визуально оценить качество полученного сварного соединения.

7.8. При неудовлетворительном качестве сварки изменить степень мощности и повторно осуществить сварку заготовок, добиваясь получения герметичного сварного соединения.

7.9. Для получения качественного сварного соединения стальных заготовок толщиной $\delta \leq 3$ мм определить:

$V_{св} = L/t_{св}$ — скорость сварки, м/ч;

F — силу сжатия, Н; $F = 30,6 - 4,2\delta$;

$I = jS$ — сварочный ток, А/мм².

При этом так же, как и при точечной сварке, необходимо предварительно рассчитать плотность тока $j = -385\delta + 1425$ и определить площадь поперечного сечения шва под электродами в единицу времени S , мм², принимая, что $S = \pi b^2/4$, где b — ширина шва, мм.

7.10. Полученные данные занести в табл. 5.2.

7.11. Оформить отчет о работе.

Таблица 5.2

Материал заготовок	δ , мм	$b_{ш}$, мм	$S_{ш}$, мм ²	J , А/мм ²	$I_{св}$, А	$U_{св}$, В	L , м	$t_{св}$, с	$V_{св}$, м/ч	F , Н

Содержание отчета

Отчет о работе должен включать следующее:

- 1) описание физической сущности процессов контактной точечной и шовной сварки, схемы и циклограммы;
- 2) назначение основных узлов машин для контактной точечной и шовной сварки;
- 3) характеристику свариваемых материалов;
- 4) область применения точечной и шовной сварки;
- 5) исходные данные, результаты замеров, математические расчеты;
- 6) таблицы с результатами расчетов.

Контрольные вопросы

1. Почему контактное сопротивление R_{1-1} является в сварочном контуре максимальным и от каких факторов оно зависит?

2. В какой последовательности при точечной сварке следует снимать силу сжатия и отключать ток?

3. Можно ли сваривать на точечных машинах между собой листы, существенно различные по толщине, например 5 и 1 мм?

4. Можно ли качественно сварить между собой на точечной машине проволоки одного диаметра, но существенно различные по химическому составу, например из нержавеющей и низкоуглеродистой стали?

5. Можно ли при шовной сварке получить качественное соединение заготовок: а) существенно различных по толщине; б) различных по теплофизическим свойствам?

6. Из каких основных частей состоят машины для контактной точечной и шовной сварки?

РАБОТА № 6. КОНДЕНСАТОРНАЯ СВАРКА

Цель работы — получить практическое представление о конденсаторной сварке и ее технологических возможностях, изучить физическую сущность процесса, ознакомиться с типовым оборудованием.

Физическая сущность процесса

Для контактной сварки заготовок малой и сверхмалой толщины от 0,1 мм и меньше, а также для получения сварных соединений из разнородных сплавов, обладающих существенно различными теплофизическими свойствами, обычные способы контактной сварки (стыковая, точечная и шовная) малопригодны или непригодны вовсе.

Причина заключается в следующем: для контактной сварки очень малых толщин требуется особо точная дозировка энергии нагрева Q (в Дж), что, как известно, обеспечивается точно заданными величинами силы сварочного тока I (в А) и временем его протекания t (в с):

$$Q = I^2 R t,$$

где R — сопротивление контакта между свариваемыми заготовками.

Если постоянство значений R и I при сварке обеспечить достаточно просто, то соблюдение точного времени t протекания тока I в обычных контактных машинах сложно. Разброс времени срабатывания силовых электромагнитных контакторов, применяемых в этих машинах, достаточно велик — десятые доли секунды.

Если учесть, что при сварке заготовок, имеющих малые толщины, время протекания тока должно быть очень малым — около сотых секунды, а при сварке заготовок из разнородных материалов время протекания тока должно быть еще меньше — тысячные доли секунды, то становится понятным, что электромагнитные прерыватели тока в этих случаях не пригодны. Поэтому в машинах для контактной сварки заготовок очень малых толщин энергию, необходимую для разогрева места сварки, заранее дозируют, например, заряжая конденсаторы строго определенной для сварки заготовок емкостью, а затем после их полной зарядки разряжают на свариваемое изделие.

Запасать энергию, необходимую для сварки, можно не только в электрических конденсаторах, но и в электромагнитных, инерционных, аккумуляторных системах. Накопление энергии происходит соответственно в батарее конденсаторов, в магнитном поле специального сварочного трансформатора, во вращающихся частях генератора или в аккумуляторной батарее.

Конденсаторная сварка относится к одной из разновидностей сварки запасенной энергией. Сущность этого вида сварки заключается в том, что энергия накапливается в конденсаторе, а затем непосредственно или через сварочный трансформатор кратковременно расходуется на свариваемые изделия.

Наибольшее промышленное применение получила конденсаторная сварка — технологический процесс, при котором неразъемное соединение металлических заготовок осуществляется за счет выделения теплоты в месте контакта от протекающего тока при разряде конденсаторов и при сопутствующем сжатии зоны сварного соединения. Из зоны сварки с помощью сжимающей силы F удаляются на периферийные области частично расплавленные оксидные

пленки, грязь, различные включения, устраняются неровности, после чего возникают межзатомные связи между свариваемыми чистыми поверхностями.

Энергия в конденсаторах накапливается при их зарядке от источника постоянного тока (генератора или выпрямителя). Накопленную в конденсаторах энергию можно регулировать путем изменения емкости и напряжения зарядки:

$$A = 0,5CU^2, \text{ Дж},$$

где C — емкость конденсаторов, Ф; U — напряжение зарядки конденсаторов, В.

Существуют два вида конденсаторной сварки: 1) бестрансформаторная сварка и 2) трансформаторная сварка.

При бестрансформаторной сварке конденсаторы разряжаются непосредственно на свариваемое изделие (рис. 6.1), причем в данном случае могут быть две схемы зарядки конденсаторов:

а) конденсаторы емкостью до 1000 мкФ заряжаются на напряжение до 1000 В с помощью повышающего трансформатора, сварочный ток имеет значения от 10 до 100 А, время сварки менее 0,005 с. Сварку осуществляют по типу ударно-стыковой на специальных автоматах без участия человека из-за опасного высокого напряжения;

б) конденсаторы емкостью от 40 000 до 400 000 мкФ заряжаются на низкое напряжение (до 60 В) с помощью понижающего трансформатора. Сварочный ток имеет значения от 1000 до 2000 А, время сварки составляет от 0,1 до 0,6 с.

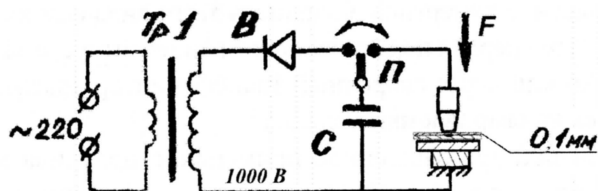


Рис. 6.1. Схема конденсаторной бестрансформаторной сварки

При трансформаторной сварке конденсатор разряжается на первичную обмотку сварочного трансформатора, а заготовки находятся в сварочном контуре, связанном со вторичной обмоткой трансформатора (рис. 6.2).

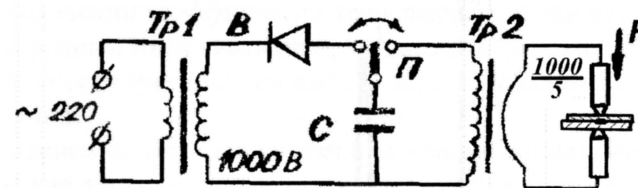


Рис. 6.2. Схема конденсаторной трансформаторной сварки

Трансформаторную сварку используют как микросварку со следующими параметрами режима сварки: емкость конденсаторов — до 1000 мкФ, напряжение зарядки — до 1000 В, сварочный ток — до 5000 А, время сварки — до 0,001 с. При сварке относительно крупных заготовок, имеющих толщину до 1,5 мм, параметры режима сварки меняются: емкость конденсаторов — до 100 000 мкФ, напряжение зарядки — до 450 В, сварочный ток — 60 000 А, время сварки — до 0,01 с.

В данной работе рассматривается конденсаторная трансформаторная сварка, схема которой приведена на рис. 6.2. При левом положении переключателя Π конденсатор заряжается до определенной энергии. Если перевести переключатель Π в правое положение, то происходит разряд конденсаторов на первичную обмотку сварочного трансформатора. Во вторичной обмотке трансформатора индуцируется ЭДС, которая определяет значение тока в сварочной цепи. Сила сжатия заготовок составляет 20...200 Н и зависит от свойств материала и толщины свариваемых заготовок.

Режим конденсаторной сварки определяется следующими параметрами: сварочным током I , А, временем разряда конденсатора (временем сварки) t , с, силой сжатия свариваемых деталей F , Н (рис. 6.3). Ток, время сварки и силу сжатия можно регулировать. Сварочный ток зависит от емкости конденсаторов и коэффициента трансформации и может быть определен по графику, представленному на рис. 6.4. Время сварки

$$t = 0,5CU_1K_T/I,$$

где C — емкость батареи конденсаторов, Ф; U_1 — напряжение зарядки конденсаторов, В (в данном случае 1000 В); K_T — коэффици-

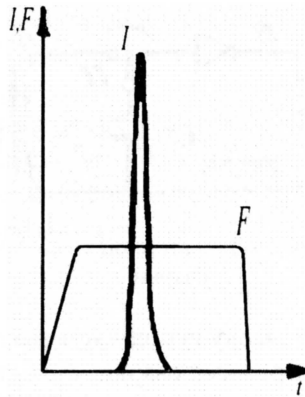


Рис. 6.3. Циклограмма процесса конденсаторной сварки

ент трансформации, т. е. отношение числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной обмотки сварочного трансформатора (число витков во вторичной обмотке равно единице); I — сварочный ток, А.

При увеличении емкости сила тока меняется незначительно, но заметно увеличивается длительность разряда, т. е. время сварки.

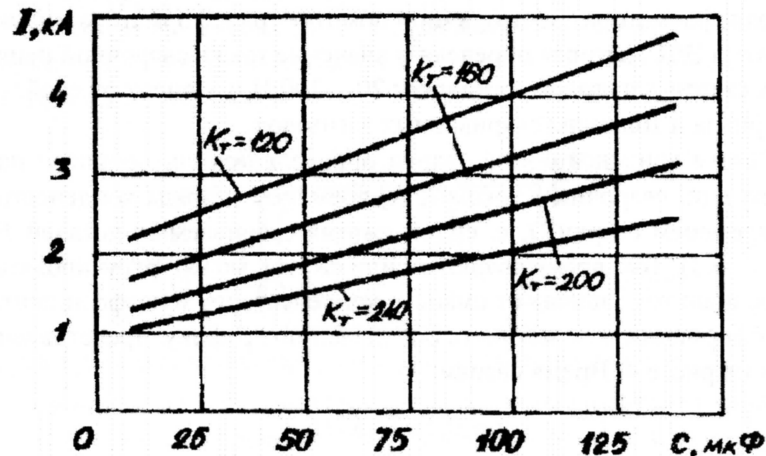


Рис. 6.4. График зависимости сварочного тока от емкости конденсаторов и коэффициента трансформации

При увеличении коэффициента трансформации заметно уменьшается сварочный ток и увеличивается время сварки. При увеличении индуктивности (увеличении вылета электродов) уменьшается сварочный ток.

Конденсаторная сварка имеет следующие достоинства.

Для каждого сварочного цикла расходуется постоянное и точно контролируемое количество электроэнергии, что обеспечивает стабильность результатов сварки.

Очень малое время процесса конденсаторной сварки (10^{-3} с) и высокие плотности сварочного тока способствуют концентрированному выделению теплоты в местах соединения и обеспечивают быстрое расплавление незначительных объемов металла, что позволяет получать изделия с хорошим внешним видом без дополнительной обработки и сваривать между собой металлы и сплавы, обладающие различными теплофизическими свойствами — температурой плавления и теплопроводностью.

Вследствие строгой дозировки количества энергии в месте соединения достигается качественная сварка элементов очень малой толщины, которые другими методами сварить не удается.

В связи с незначительным временем процесса сварки и относительно большой паузой между соединением двух точек точечную конденсаторную сварку возможно выполнять при естественном (воздушном) охлаждении электродов.

Потребляемая из сети мощность невысока, что обусловлено постепенным отбором ее при зарядке конденсаторов.

Конденсаторная сварка легко механизуется и автоматизируется.

Конденсаторную сварку целесообразно применять для соединения однородных металлов: сталей различных классов, листовых заготовок из латуни, бронзы, тугоплавких металлов, никеля, титановых, алюминиевых сплавов толщиной от 0,001 до 2 мм и стержневых заготовок сечением до 20 мм, а также для приварки тонких пластин к более толстым, для сварки разнородных металлов, например константана и низкоуглеродистой стали, константана и нержавеющей стали, латуни и нихрома, бронзы и серебра и др.

Бестрансформаторный способ целесообразно применять для стыковой сварки нитей накала, спиралей (диаметром менее одного

миллиметра), для соединения термопар (получения спая). Этот способ широко используют в часовой промышленности и для сварки перьев самопишущих ручек (приварка шариков из твердого сплава к остову из нержавеющей стали).

Трансформаторную конденсаторную сварку применяют при изготовлении сильфонов, мембран, реле, металлических игрушек, для сварки серебряных контактов, микросхем в радиопромышленности, многослойных пакетов из медной фольги, внутренней арматуры миниатюрных приемно-усилительных спиралей с ножками низковольтных ламп накаливания, катодов приемно-усилительных ламп и т. д.

К недостаткам конденсаторной сварки относят необходимость использования высокого напряжения, а также ограничение толщины свариваемых заготовок.

Сварочное оборудование

В зависимости от типа получаемых сварных соединений машины для конденсаторной сварки классифицируют на стыковые, точечные и шовные. Основными элементами машин (рис. 6.5, а) является батарея конденсаторов *C*, зарядный трансформатор *Tr1*, повышающий напряжение до 400...1000 В, сварочный трансформатор *Tr2* и механизм давления. В конденсаторную машину входит выпрямительное устройство *B*, переключатели *П*, *ПШ1* и *ПШ2*. Все перечисленные части машины монтируются на специальной станине.

Для точечной сварки изделий из различных металлов и сплавов предназначена конденсаторная машина ТКМ-7. На этой машине можно сваривать заготовки из низкоуглеродистой и высоколегированной стали, меди и алюминия, никеля и титановых сплавов, а также тугоплавкие металлы, такие, как тантал, вольфрам и т. д. Толщина свариваемых заготовок от 0,02 до 0,7 мм. Металлы толщиной 0,02...0,4 мм можно приваривать к металлической пластине толщиной до 50 мм. На машине можно сваривать различные сочетания металлов и сплавов.

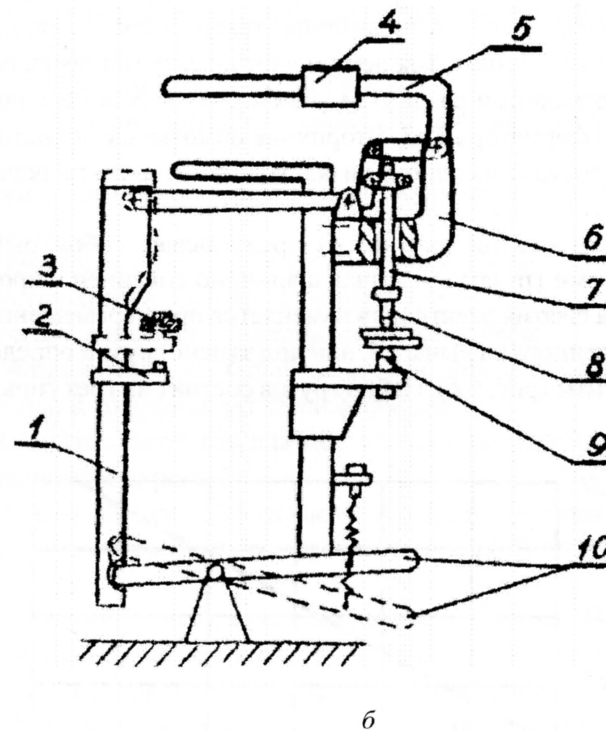
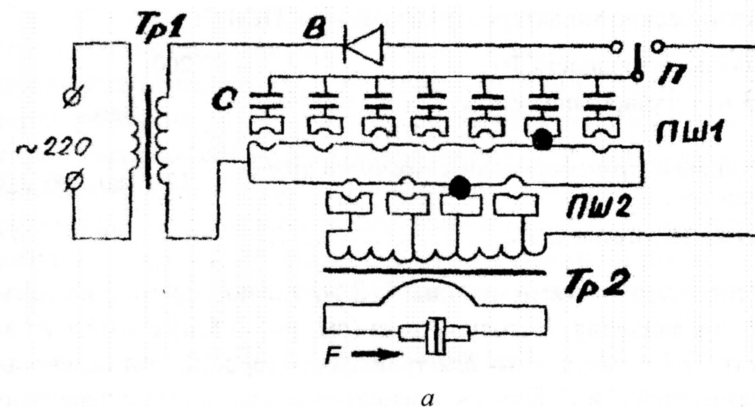


Рис. 6.5. Устройство машины для конденсаторной сварки ТКМ-7: а – принципиальная электрическая схема машины; б – кинематическая схема машины; 1 – тяга; 2 – толкатель; 3 – шток; 4 – груз; 5 – рычаг; 6 – кронштейн; 7 – шток; 8 – верхний электрод; 9 – нижний электрод; 10 – педаль

Технические характеристики машины ТКМ-7:

Номинальная мощность, Вт	200
Пределы регулирования емкостей конденсаторов, мкФ	10...140
Коэффициент трансформации сварочного трансформатора	120, 160, 200, 240
Сила сжатия заготовок, Н	10...560

Основными частями машины ТКМ-7 являются источник тока и механизм давления. Источник тока (см. рис. 6.5, а) состоит из зарядного $Tr1$ и разрядного $Tr2$ трансформаторов, блока селеновых выпрямителей B и C , блока конденсаторов, связанных с первичной обмоткой сварочного трансформатора $Tr2$. Количество заряженных конденсаторов зависит от положения штекера переключателя $ПШ1$ в штепсельных гнездах. Ток регулируют штекерами переключателя $ПШ2$, включающими различное количество витков первичной обмотки трансформатора $Tr2$. Вторичная обмотка сварочного трансформатора состоит из одного витка, концы которого подключены к электродам.

Механизм сжатия (рис. 6.5, б) представляет собой рычаг 5 с передвижными грузами 4. Рычаг шарнирно соединен с кронштейном 6. Сила сжатия электродов изменяется при перемещении груза 4, расположенного на рычаге 5, или при замене груза и определяется по номограмме (рис. 6.6). Набор грузов состоит из трех гирь массой

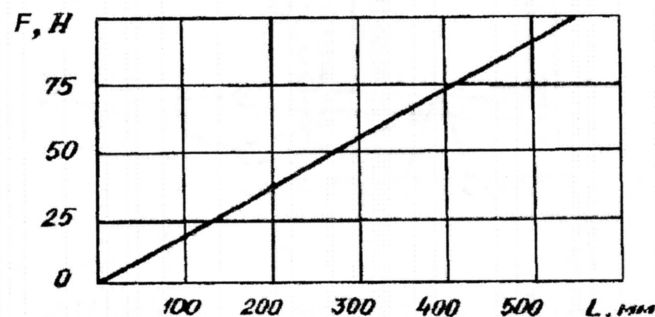


Рис. 6.6. Номограмма зависимости силы сжатия электродов от расположения грузов на рычаге

1, 2 и 4 кг. Сжатие электродов грузом 4 после установки заготовок и его снятие осуществляют с помощью педального механизма 10. При нажатии на педаль происходит подъем тяги 1, при этом шток 7 с верхним электродом 8 свободно опускается вниз и сжимает заготовки, расположенные на нижнем электроде 9. При дальнейшем нажатии на педаль 10 до конца ее рабочего хода осуществляется переключение механического переключателя $П$ (см. рис. 6.5, а) с зарядки на разрядку конденсаторов путем нажатия конца толкателя 2 на шток 3, что вызывает протекание в цепи сварочного тока.

Порядок выполнения работы

- Изучить физическую сущность процесса.
- Ознакомиться с устройством и работой машины ТКМ-7 (см. рис. 6.5).
- Ответить на контрольные вопросы.
- Сварить серию опытных образцов под руководством учебного мастера.
- Осуществить сварку контрольного образца на машине ТКМ-7 (см. рис. 6.5).
 - Проверить состояние рабочих поверхностей электродов.
 - Установить и закрепить на рычаге 5 грузы 4, необходимые для получения давления на свариваемых заготовках.
 - Установить с помощью штекеров определенную емкость конденсатора и коэффициент трансформации.
 - Зачистить заготовки и поместить их на контактную поверхность нижнего электрода 9.
 - Нажать на педаль 10 (плавно) до сжатия свариваемых заготовок, затем до срабатывания переключателя $П$. В это время произойдет сварка.
 - Отпустить педаль, снять сваренные заготовки.
 - Оценить качество сварного соединения для различных коэффициентов трансформации и емкости батареи конденсаторов.
 - Для предложенных преподавателем пластин подобрать оптимальные емкость и коэффициент трансформации, при которых можно получить качественное сварное соединение.
 - Полученные данные занести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Свариваемые материалы	Толщина, мм	I , А	K_T	C , мкФ	F , Н	U_2 , В	$t_{св}$, С

5.10. Оформить отчет о работе.

Содержание отчета

Отчет должен включать следующее:

- 1) описание физической сущности и схему процесса конденсаторной сварки;
- 2) характеристики свариваемых материалов;
- 3) области применения конденсаторной сварки;
- 4) исходные данные и результаты замеров при контрольной сварке;
- 5) таблицу с полученными результатами.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность конденсаторной сварки?
2. Чем трансформаторная конденсаторная сварка отличается от бестрансформаторной?
3. От чего зависит значение накопленной энергии в батарее конденсаторов?
4. Какие толщины заготовок можно сваривать конденсаторной сваркой?
5. Перечислите основные параметры режима сварки.
6. Какой вид примет циклограмма, если коэффициент трансформации уменьшить (напряжение разрядки конденсаторов увеличить)?
7. Как изменится время сварки при увеличении коэффициента трансформации?

РАБОТА № 7. ХОЛОДНАЯ СВАРКА

Цель работы — изучить физическую сущность процесса, ознакомиться с работой типового оборудования, получить практическое представление о технологических возможностях холодной сварки.

Физическая сущность процесса

Холодная сварка относится к способам сварки давлением при значительной пластической деформации соединяемых материалов заготовок в зоне их контакта без нагрева свариваемых частей внешними источниками тепла.

В реальных условиях все металлические поверхности имеют неровности и покрыты оксидными пленками. При холодной сварке соединяемые поверхности зачищают от жировых и оксидных пленок, заготовки помещают в специальные зажимные устройства и к ним прикладывают давление с целью осуществления пластического деформирования свариваемых поверхностей. В процессе пластического деформирования поверхности заготовок сближают на расстояния, соизмеримые с параметрами кристаллической решетки, возникают межатомные и межмолекулярные силы взаимодействия и образуются металлические связи.

Формирование сварного соединения при холодной сварке осуществляется в три этапа:

- 1) образование физического контакта (при этом происходит разрушение оставшихся пленок оксидов, возникает контакт соединяемых поверхностей заготовок в отдельных наиболее выступающих местах из зоны соединения, сглаживание поверхностных микронеровностей);
- 2) активация контактных поверхностей (возникновение активных центров в месте контакта);
- 3) объемное взаимодействие (образование зон схватывания на активных центрах).

Холодной сваркой соединяют листовые заготовки и стержни. Листовые заготовки, имеющие хорошую пластичность, соединяют внахлестку путем вдавливания пуансона 1 (рис. 7.1, а и б) в заготовки 3, предварительно зажатые прижимами 2 или незажатые. Со-

единение стержней встык осуществляют с помощью специальных зажимных приспособлений (рис. 7.1, в).

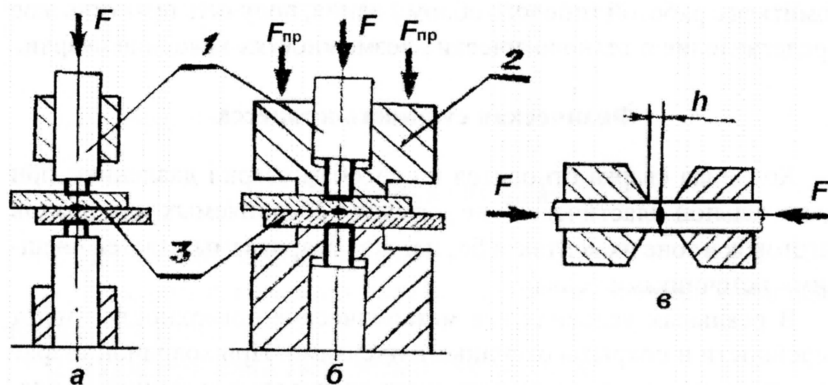


Рис. 7.1. Схема холодной сварки: а – незажатых заготовок; б – предварительно зажатых; в – стержней; 1 – пуансон; 2 – прижим; 3 – заготовки

Чтобы получить качественные соединения в месте сварки, металл подвергают значительной пластической деформации для удаления жировых и оксидных пленок из зоны контакта, снятия шероховатостей поверхности.

Степень относительной деформации ϵ_{\min} при сварке внахлестку листовых заготовок определяется отношением глубины вдавливания пуансона h , мм, к толщине заготовки δ , мм: $\epsilon_{\min} = h/\delta \cdot 100\%$. В табл. 7.1 приведены значения ϵ_{\min} для различных материалов.

Таблица 7.1

Материал	$\epsilon_{\min}, \%$	Материал	$\epsilon_{\min}, \%$
Медь	90	Свинец	55
Олово	84	Серебро	50
Алюминий	70	Золото	35

Холодную сварку выполняют на воздухе без нагрева заготовок при комнатной температуре. Холодная сварка возможна даже при температуре ниже 0°C .

Сварка внахлестку

Этим способом соединяют листы толщиной от 0,2 до 1,5 мм в отдельных точках или непрерывным швом.

При точечной сварке заготовки помещают между соосно расположенными пуансонами, состоящими из рабочего выступа круглого или прямоугольного сечения и опорной части (см. рис. 7.1, а и б). Диаметр или ширина выступа равны двум-трем толщинам свариваемых заготовок. Рабочие выступы вдавливаются в местах соединения заготовок, вызывая местную пластическую деформацию металла. Давление пуансона при сварке алюминия составляет 300...600 МПа, для меди — до 2000 МПа.

При сварке непрерывным швом деформирование и сваривание металла осуществляется за счет вдавливания в него рабочих выступов вращающихся роликов. На рис. 7.2 представлена схема сварки кольцевым замкнутым швом доньшка с цельнотянутым корпусом.

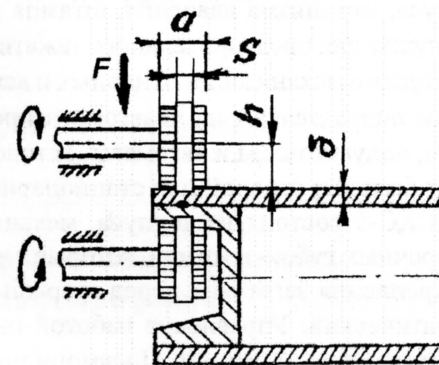


Рис. 7.2. Схема сварки кольцевым замкнутым швом

Сварка изделий встык

Этим способом соединяют заготовки (см. рис. 7.1, в), сечение которых составляет от 2 до 100 мм. При стыковой сварке заготовки помещают в зажимы и к ним прикладывают давление. Основными параметрами, определяющими прочность и надежность сварного соединения, являются давление на заготовки и вылет заготовки

(расстояние от зажима до места контакта свариваемых заготовок). При сварке алюминиевых проводов вылет составляет $1 \dots 1,2 d_3$, где d_3 — диаметр заготовки, а при сварке медных — $1,25 \dots 1,75 d_3$. Приложение давления к заготовкам приводит к пластической деформации, которая необходима при холодной сварке. Давление на заготовку при сварке алюминия с медью достигает $1500 \dots 2000$ МПа.

Холодную сварку применяют в производстве изделий домашнего обихода из алюминия и его сплавов (чайники, подставки, различного рода каркасы и т. д.), в электротехнической промышленности и транспортном машиностроении — для соединения алюминиевых и медных проводов диаметром от 1,5 до 10 мм, а также алюминиевых проводов с медными наконечниками, медно-алюминиевых шинных контактов, корпусов полупроводниковых приборов.

Сварочное оборудование

Холодную сварку осуществляют на специальных машинах, состоящих из корпуса, механизма давления, штампа и специальных губок, которые служат для предварительного зажатия заготовок перед сваркой. По степени механизации основных и вспомогательных операций машины подразделяют на неавтоматизированные с ручным управлением, полуавтоматы и автоматы. Установка для холодной сварки может быть переносной или стационарной.

Установка МСХС-5 состоит из корпуса, механизма давления, специальных сварочных губок-зажимов, которые служат для предварительного закрепления заготовок перед сваркой. Механизм давления — пневматический. Управление работой пневмоцилиндра осуществляется трехходовым краном. Пневмоцилиндр соединен с компрессором. Машина снабжена специальным ножом, работающим от пневмопривода для обрезки и зачистки заготовок.

Порядок выполнения работы

1. Изучить физическую сущность процесса.
2. Ознакомиться с конструкцией и принципом работы машины для холодной сварки.
3. Подготовить торцовые поверхности свариваемых проволок с помощью специального ножа, установленного на машине.

4. Установить алюминиевые заготовки в зажимах машины так, чтобы их вылет составлял $h = (1 \dots 1,2)d_3$, где d_3 — диаметр заготовки, мм.

5. На манометре установить значение давления равным 1 кгс/см^2 .

6. Последовательно изменяя давление домкратом ($2 \dots 4 \text{ кгс/см}$), осуществить сварку.

7. Определить степень оптимальной деформации стыковых соединений по формуле

$$\varepsilon = (2h - H)/(2h) \cdot 100 \%,$$

где H — расстояние между зажимами после сварки, мм.

8. Определить качество сварных соединений по углу изгиба.

9. Установить вылет заготовок $h = 0,5 d_3$ и повторить пп. 4—8.

10. Занести полученные данные в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Материал заготовок	d_3 , мм	h , мм	Давление, МПа	ε , %	Качество соединения

11. Зарисовать эскиз сварного соединения.

12. Оформить отчет о работе.

Содержание отчета

Отчет о работе должен включать следующее:

- 1) описание физической сущности, схемы процесса холодной сварки;
- 2) характеристики свариваемых материалов;
- 3) перечисление технологических возможностей холодной сварки;
- 4) таблицу с исходными данными и результатами контрольной сварки.

Контрольные вопросы

1. Что является основным условием получения качественного сварного соединения при холодной сварке?
2. С какой целью при холодной сварке применяют высокие значения давления на заготовки?
3. Какие металлы и сплавы можно сваривать холодной сваркой?
4. Укажите основные параметры режима холодной сварки.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Теоретические сведения	3
Работа № 4. Контактная стыковая сварка	8
Работа № 5. Контактная точечная и шовная сварка	17
Работа № 6. Конденсаторная сварка	28
Работа № 7. Холодная сварка	39