

Министерство образования и науки Российской Федерации
*Калужский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»
(Национальный исследовательский университет)
(КФ МГТУ им.Н.Э. Баумана)*

Г.В. Орлик , А.Г. Орлик

Контактная сварка

Лабораторная работа учебно-технологического практикума № 3
(Методические указания)

Калуга 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Оглавление

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	4
2. ЗАДАЧИ	4
3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ	4
4. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	4
2. КОНТАКТНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРКА.....	4
3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ	5
4. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ	6
5. КОНТАКТНАЯ СТЫКОВАЯ СВАРКА	6
6. КОНТАКТНАЯ ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА	10
7. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ	12
8. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	12
9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	13
10. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА	13
11. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	14

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с основными процессами контактной сварки и областью их применения.
2. Изучить принципиальное устройство установок стыковой и точечной контактной сварки.
3. Освоить практическую работу на установках стыковой и точечной сварки.

2. ЗАДАЧИ

Овладеть практическими операциями поддержания устойчивого горения дуги и наплавки сварного валика на поверхность пластины, рассчитать коэффициент расплавления электрода.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

- 3.1 Познакомиться с процессом полуавтоматической сварки покрытыми электродами.
- 3.2 Ознакомиться с устройством поста для полуавтоматической сварки.
- 3.3 Овладеть приемами зажигания дуги.
- 3.4 Получить практические навыки по наплавке сварного валика на поверхность образца.
- 3.5 Выполнить контрольную наплавку.
- 3.6 Определить коэффициент расплавления присадочного материала при полуавтоматической сварке α_p .

4. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2. КОНТАКТНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРКА

Контактная сварка – это сварка с применением давления, при которой используется тепло, выделяющееся в контакте свариваемых деталей при прохождении электрического тока. Для осуществления сварки двух деталей к ним прикладывается внешнее усилие сжатия и пропускается электрический ток. Схема процесса контактной сварки представлена на рис. 1. При прохождении электрического тока в зоне контакта деталей в соответствии с законом Джоуля – Ленца выделяется тепло

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

где Q – количество тепла, Дж; I – сварочный ток, А;

R – общее сопротивление зоны сварки, Ом; t – время нагрева, с.

Основное влияние на нагрев оказывает сила сварочного тока.

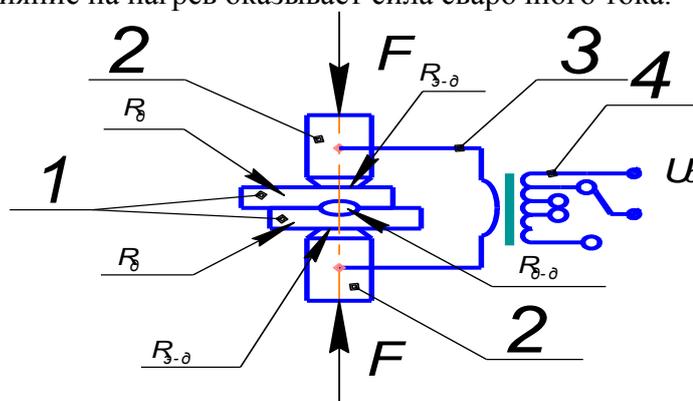


Рис. 1. Схема процесса контактной сварки.

1 – свариваемые детали; 2 – электроды;

3 – вторичная обмотка трансформатора;

4 – первичная обмотка трансформатора.

Максимальное количество теплоты выделяется в зоне контакта деталей, что определяет их быстрый нагрев до температуры пластического состояния, или в некоторых случаях до оплавления. Это происходит вследствие того, что контактное сопротивление между деталями $R_{д-д}$ в начальный момент процесса сварки значительно превосходит сопротивление всех других участков цепи, а именно, $R_{д-э}$ – сопротивление в контакте деталь – электрод, $R_д$ – сопротивление детали и $R_э$ – сопротивление электрода. Сопротивление $R_{д-д}$ является максимальным в электрической цепи вследствие того, что поверхности деталей в месте сварки имеют пленки окислов и загрязнений, обладающих высоким сопротивлением. Кроме того контактирующие поверхности соприкасаются только по микровыступам даже после тщательной подготовительной обработки.

По мере повышения температуры и под действием внешнего усилия сжатия в зоне контакта происходит пластическая деформация металла, в результате этого неровности сглаживаются, оксидные пленки разрушаются и вместе с прочими загрязнениями выдавливаются из зоны сварки. Температура контакта продолжает повышаться, так как сопротивление $R_{д-д}$ остается высоким по сравнению с сопротивлением других участков из-за увеличения его удельного сопротивления. Таким образом, в месте контакта свариваемых деталей в течение всего процесса сварки происходит интенсивное выделение теплоты.

3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Контактную сварку осуществляют на специальных машинах, обеспечивающих необходимый для нагрева ток, сжатие заготовок, а также регулирование всего процесса во времени. Для выполнения этих операций в составе контактной машины имеются три основных узла, а именно, источник тока – сварочный трансформатор, механизм сжатия и сварочный контур, включающий токоподводящие контакты – электроды (Рис. 1).

Источник тока в контактных машинах должен обеспечивать пропускание через свариваемые детали больших токов (от тысячи до сотен тысяч ампер) и возможность их регулирования. В качестве источника тока применяют сварочный трансформатор, первичная обмотка, поз. 4, которого состоит из большого количества витков и имеет ряд отводов (ступеней мощности). Вторичная обмотка поз. 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:

$$K_T = \frac{W_1}{W_2}; \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{I_2}{I_1},$$

где U_1 и U_2 - первичное и вторичное напряжение, В;

W_1 и W_2 – число витков первичной и вторичной обмоток;

I_1 и I_2 – первичный и вторичный ток, А.

$$\text{Вторичное напряжение } U_2 = \frac{U_1 \cdot W_2}{W_1},$$

где $W_2=1$, а U_1 – постоянное напряжение сети, В. следовательно,

$$U_2 = \frac{U_1}{W_1}, \quad I_2 = \frac{I_1 \cdot W_1}{W_2} = I_1 \cdot W_1.$$

Таким образом, контактные способы сварки характеризуются **невысоким** значением напряжения и **большим** значением сварочного тока.

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

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

Комплекс основных контролируемых параметров процесса сварки называют **режимом сварки**.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Контактная сварка классифицируется по следующим признакам: по роду питающего тока и по форме сварного соединения.

По **роду питающего тока** различают:

- сварку переменным током, однофазным, частотой 50 Гц;
- сварку импульсом постоянного тока, когда первичная обмотка сварочного трансформатора подключается к выпрямительному устройству, в следствие индуктивности трансформатора ток в первичной обмотке нарастает постепенно, в результате чего во вторичной обмотке индуцируется постепенно нарастающий импульс сварочного тока;

- сварку запасённой энергией, накопленной или в конденсаторах, или в магнитном поле специального сварочного трансформатора, или во вращающихся частях генератора, или в аккумуляторной батарее. Эта энергия затем непосредственно или через сварочный трансформатор быстро отдается в сварочную цепь в виде импульса большой мощности.

По **форме сварного соединения** различают:

- сварку точечную;
- сварку шовную;
- сварку стыковую (сопротивлением и оплавлением);
- сварку рельефную.

5. КОНТАКТНАЯ СТЫКОВАЯ СВАРКА

При контактной стыковой сварке соединение свариваемых деталей происходит по торцевым поверхностям. Схема процесса представлена на рис. 2. Различают контактную стыковую сварку **сопротивлением** и **оплавлением**. Изменение основных параметров режима сварки во времени называют циклом сварки, а его графическое изображение – циклограммой.

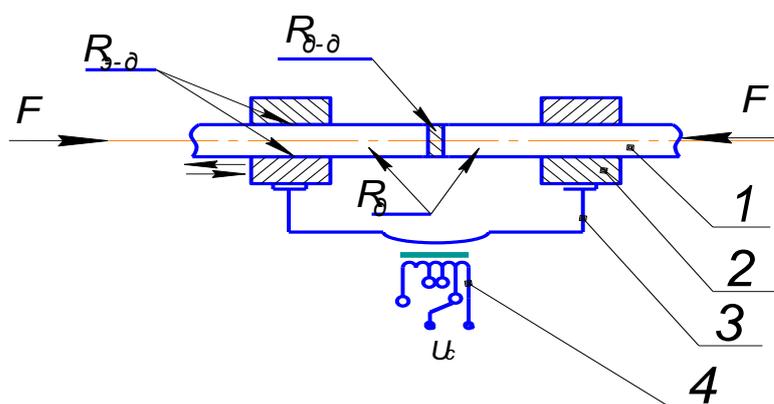


Рис. 2. Схема процесса контактной стыковой сварки.

- 1 – свариваемые детали;
- 2 – электроды (токоподводы);
- 3 – вторичная обмотка трансформатора;
- 4 – первичная обмотка трансформатора.

При сварке оплавлением допускается более грубая шероховатость поверхностей заготовок (до $Rz\ 240$), по сравнению со сваркой сопротивлением (до $Rz\ 20$).

Контактная стыковая сварка сопротивлением характеризуется следующей последовательностью операций:

1. Механообработка контактных поверхностей деталей в местах токоподвода и по торцам от оксидных пленок и загрязнений;
2. Установка и зажатие деталей в токоподводах машины;
3. Приложение предварительного усилия сжатия $F_{пред}$;
4. Включение тока и нагрев стыка свариваемых деталей до температуры близкой к температуре плавления $0,6-0,7T_{пл}$ (для сталей $\approx 1100 - 1200\ ^\circ C$);
5. Осадка деталей при увеличении усилия сжатия $F_{ос}$ с целью смятия неровностей и разрушения оксидных плёнок в зоне соединения, при этом из зоны сварки частично выдавливаются поверхностные пленки, формируется физический контакт и образуется сварное соединение. Во время осадки происходит выключение сварочного тока.

Стыковую сварку сопротивлением применяют для соединения однородных металлов, а именно, низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей сечением до $200\ мм^2$, а также цветных металлов и сплавов сечением до $100\ мм^2$. На рис. 3а представлена циклограмма процесса, где I – значение сварочного тока, А; $F_{ос}$ – усилие сжатия (осадки), Н; t – время сварки, с. На рис. 3б представлен внешний вид сварного соединения полученного при стыковой сварке сопротивлением, а на рис. 3в – примеры деталей соединяемых данным способом сварки. Размеры и конфигурация свариваемых деталей в месте соединения должны быть одинаковыми. Качество сварных соединений, выполненных данным способом, нестабильное вследствие того, что в зоне сварки возможно наличие оксидов.

Контактная стыковая сварка оплавлением, в отличие от сварки сопротивлением, не требует предварительной подготовки места соединения свариваемых деталей. Этот способ сварки характеризуется следующей последовательностью операций:

1. Установка и зажатие заготовок в зажимах сварочной машины;
2. Включение тока и сближение при малом усилии сжатия торцов свариваемых деталей;
3. Нагрев и оплавление торцов деталей. В результате соприкосновения соединяемых поверхностей образуются электрические контакты – перемычки, которые быстро расплавляются, т. к. через них проходит ток повышенной плотности. При многократном непрерывном повторении этого процесса место

- контакта свариваемых деталей полностью оплавляется. Часть расплавленного металла под действием давления образующихся паров выбрасывается из стыка в виде мелких капель и искр. В результате оплавления свариваемые поверхности очищаются от окислов и загрязнений и сближаются между собой;
4. Осадка заготовок при увеличении усилия сжатия (усилия осадки). При осадке из стыка выдавливается жидкий и полурасплавленный частично окисленный металл вплоть до соприкосновения слоев, нагретых до температур близких к температуре плавления. Выдавленный металл образует утолщение – *грам*. Сварочный ток выключается в процессе осадки.

На рис. 4а представлена циклограмма процесса непрерывной стыковой сварки оплавлением, где I – значение сварочного тока в процессе сварки, А; F_{oc} – усилие осадки на различных стадиях процесса, Н; t – время сварки, с.

Контактная стыковая сварка оплавлением применяется для соединения однородных металлов, а именно, низко- средне- и высокоуглеродистых сталей сечением до 1000 мм^2 , а также цветных металлов и их сплавов. В некоторых случаях возможна сварка и разнородных металлов (сплавов). На рис. 4б представлен внешний вид сварного соединения полученного при стыковой сварке оплавлением, а на рис. 4в – примеры деталей, соединяемых данным способом сварки. В отличие от способа сварки сопротивлением при соединении деталей контактной стыковой сваркой оплавлением не требуется соблюдения условий равенства размеров и конфигурации поперечного сечений свариваемых деталей.

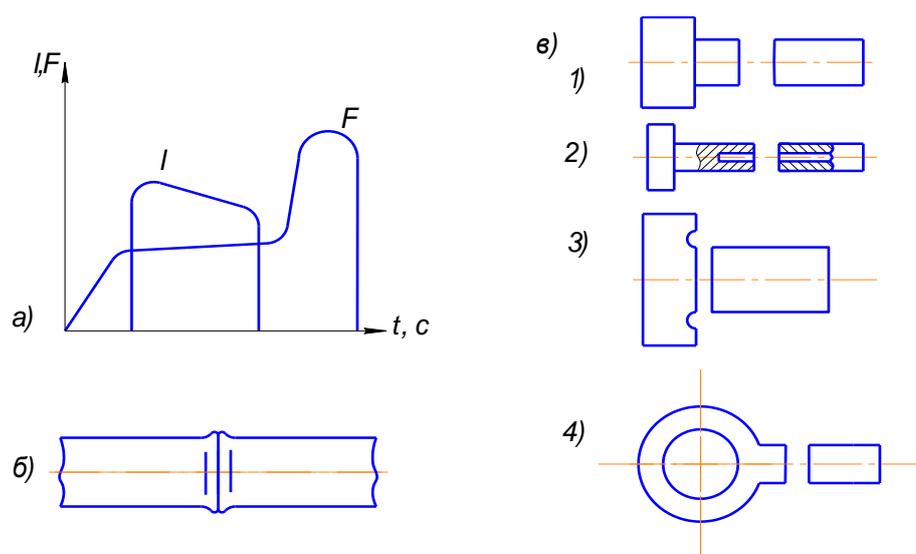


Рис. 3. Схема контактной стыковой сварки сопротивлением:

- а) – циклограмма процесса сварки;
 б) – внешний вид сварного соединения;
 в) – примеры деталей для сварки данным способом.

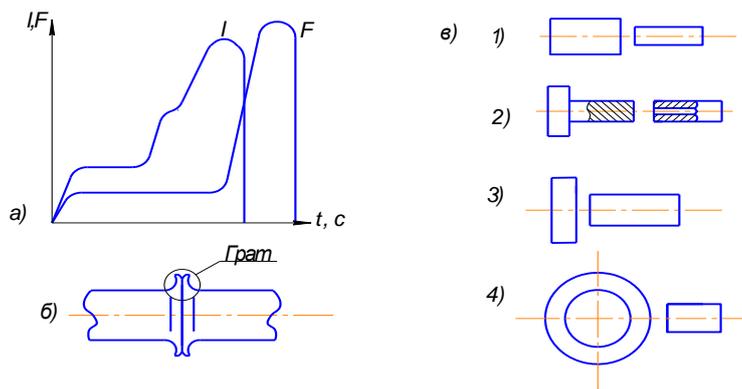


Рис.4. Схема контактной стыковой сварки оплавлением:

- а) – циклограмма процесса сварки;
 б) – внешний вид сварного соединения;
 в) – примеры деталей для сварки данным способом.

Основными параметрами режима контактной стыковой сварки являются:

- плотность тока j ($j = \frac{I}{S}$), А/мм² (или ток сварки I , А);
- усилие сжатия (осадки) $F_{ос}$, Н;
- время сварки t , с.

Важным параметром режима стыковой сварки является установочная длина l_o – **вылет**, т.е. расстояние от торца заготовки до внутреннего края токоподвода стыковой машины, измеренное до начала процесса осадки. При большом значении вылета l_o возможно искривление свариваемых деталей в процессе сварки. При малом значении вылета l_o наблюдается интенсивное охлаждение деталей за счет теплоотвода в контактные зажимы. Это затрудняет пластическую деформацию и требует значительного увеличения усилия осадки. Установочная длина вылета l_o зависит от теплофизических свойств металла, конструкции стыка и размеров детали. Для каждого сплава значение вылета l_o выбирается из специальных таблиц. При выполнении практической части лабораторной работы можно пользоваться таблицей 1, в которой приведены значения l_o и $F_{ос}$ для различных материалов в зависимости от диаметра свариваемых деталей применительно к стыковой сварке сопротивлением.

Таблица 1.
 Зависимость установочной длины и усилия осадки от свариваемых материалов и диаметра заготовок

Материал	Диаметр, Ø мм	Вылет, l_o мм	Усилие осадки, $F_{ос}$, 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

Контактная стыковая сварка выполняется на специализированных машинах.

6. КОНТАКТНАЯ ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА

Контактная точечная сварка – это способ контактной сварки, при котором сварное соединение получается в контакте между свариваемыми деталями, находящимися под торцами электродов, передающих усилие сжатия. Контактная точечная сварка может быть двухсторонней и односторонней. Схемы этих способ сварки представлены на рис. 5. При двухсторонней сварке нагрев деталей поз. 1 и поз. 2 осуществляется током, протекающим между электродами поз. 5, расположенными по обе стороны свариваемых деталей. При односторонней сварке ток проходит между верхней, поз. 1, и нижней, поз. 2, деталями и медной подкладкой, поз. 4. Медная подкладка применяется для прохождения тока в точках касания свариваемых деталей, а также выполняет роль опоры.

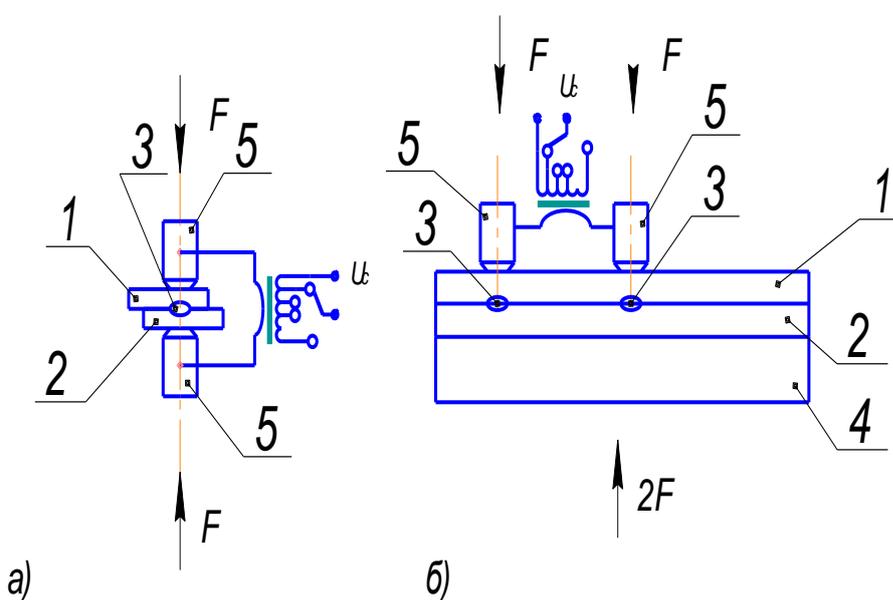


Рис. 5. Схема процесса контактной точечной сварки:

- а) – двухсторонняя;
- б) – односторонняя.
- 1 – верхняя деталь;
- 2 – нижняя деталь;
- 3 – сварная точка;
- 4 – медная подкладка;
- 5 – электрод.

Сварная точка – это сварное соединение, представляющее собой часть расплавленного и закристаллизовавшегося металла в области контакта соединяемых деталей (литое ядро).

Для правильного формирования сварной точки, поз. 3, соединяемые детали в местах сварки зачищаются или протравливаются до полного удаления оксидной пленки. Процесс образования сварного соединения проходит в четыре этапа:

1. Сжатие заготовок для обеспечения плотного контакта электрод – деталь и деталь – деталь;
2. Включение тока сварки и пропускание его в течение времени t . Детали быстро нагреваются в месте сварки, т.к. этот участок имеет повышенное сопротивление и меньше охлаждается электродами.

3. Выключение тока сварки в момент образования в зоне сварки расплавленного объема металла, называемого ядром сварной точки.
4. Проковка сварной точки с целью скорейшего её охлаждения и уменьшения усадочной раковины.

Циклограмм процесса точечной сварки представлена на рис. 6. В ряде случаев, после выключения тока, усилие сжатия увеличивают (проковка точки), что предотвращает появление трещин, раковин (пустот) и улучшения структуры литого металла в сварном соединении. Расстояние между двумя соседними точками должно составлять не менее 2,5 диаметров сварной точки d_T . При меньшем расстоянии возможно шунтирование тока, при большем – прочность соединения в целом уменьшается. Точечной сваркой детали соединяют в нахлестку. Типы соединений представлены на рис.7.

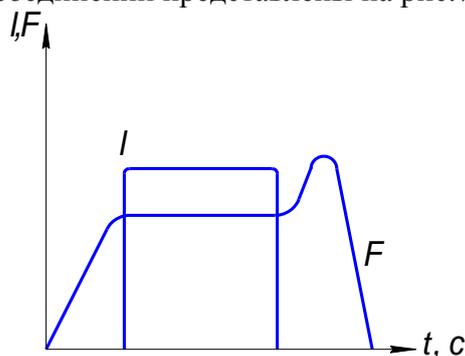


Рис. 6. Циклограмма процесса точечной сварки.

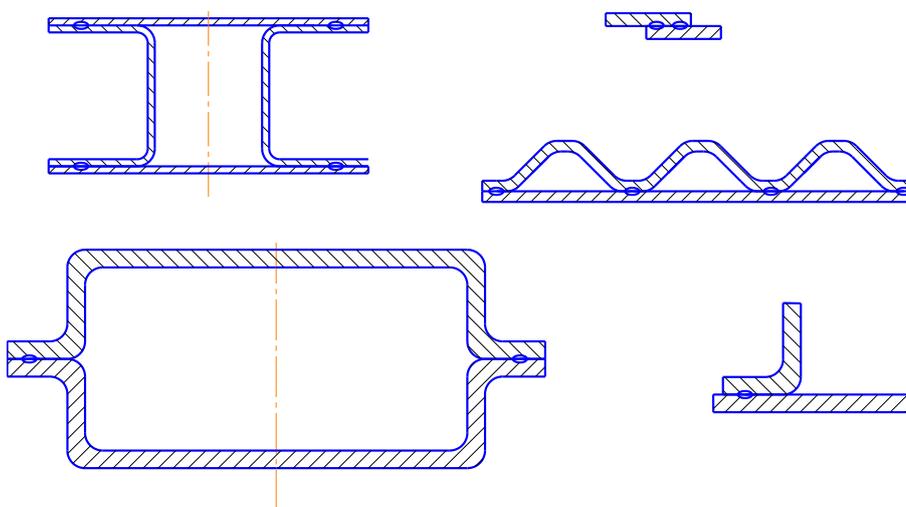


Рис. 7. Примеры свариваемых деталей с помощью точечной сварки.

Основными параметрами режима точечной сварки являются: усилие сжатия – F , Н; плотность тока – j , А/мм² или сварочный ток – I , А; время протекания тока – t , с. Эти параметры подбирают в зависимости от толщины и марки свариваемого металла.

Точечную сварку применяют для изготовления изделий из низкоуглеродистой, углеродистых, низколегированных и легированных сталей, а также алюминиевых сплавов. Толщина свариваемых деталей составляет от 0,5 до 5,0 мм. Точечной сваркой, как правило, сваривают однородные материалы одинаковой толщины.

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

7. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении сварочных работ.
2. Ознакомиться с устройством и работой машины для стыковой сварки.
3. Произвести подготовку прутков и пластин из стали, бронзы и алюминиевых сплавов.
4. Сварить прутки на машине для стыковой сварки.
5. Порядок работы на установке МСР – 50:
 - выставить усилие сжатия (сжимая или отпуская нагружающий элемент) и вторичное напряжение переключателями П1 и П2 в соответствии с диаметром и материалом свариваемых прутков;
 - зажать прутки в токоподводящих губках машины, соблюдая необходимый вылет l_0 согласно таблице №1, обеспечивая соосность прутков (осевое смещение не должно превышать 0,05 – 0,07 диаметра прутка);
 - сжать заготовки, переместив рычаг давления влево;
 - включить сварочный ток на заданном;
 - выключить ток;
 - произвести осадку.
6. Сварить пластины на машине для точечной сварки. Порядок работы на установке АТП – 10:
 - зачистить рабочие поверхности электродов;
 - выбрать оптимальную ступень мощности;
 - пластины собрать в нахлестку и поместить между электродами машины;
 - нажимая на педаль, сжать пластины предварительным усилием;
 - переведя педаль в крайнее положение, включить ток;
 - сделать выдержку на осадку и плавно опустить педаль, включая ток и снимая давление.**ВНИМАНИЕ!** Электроды машины без заготовок **НЕ СВОДИТЬ!**
7. Визуально оценить качество полученного сварного соединения. При неудовлетворительном качестве сварного соединения скорректировать режим и повторно выполнить сварку.
8. Определить оптимальную плотность тока для каждой марки и диаметра свариваемых прутков и толщины пластин.

8. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Контактная сварка металлов сопровождается наличием ряда вредных и опасных производственных факторов, а именно:

- повышенная температура поверхности отдельных частей оборудования и свариваемых заготовок;
- повышенная температура воздуха в рабочей зоне;
- опасный уровень напряжения в электрической цепи;
- твердые и газообразные токсические вещества в составе сварочного аэрозоля;
- искры, брызги и выбросы расплавленного металла;
- шум, и т.д.

Электросварщик (далее студент) на контактных машинах обязан выполнять требования безопасности:

- к работе допускаются студенты прошедшие инструктаж на рабочем месте, ознакомленные с правилами пожарной безопасности и усвоившие безопасные приемы работы;
- студенту разрешается выполнять только ту работу, которая поручена ему преподавателем или учебным мастером;
- основными средствами индивидуальной защиты студента при сварки являются рукавицы, защитные очки (щиток) и спецодежда;
- об обнаруженных до начала работ неисправностях и нарушениях требований безопасности студент обязан сообщить о них преподавателю или учебному мастеру;
- после завершения работы студент обязан выключить машину;
- студенту запрещается открывать крышки на машинах;
- в случае появления аварийной ситуации опасной для своего здоровья или здоровья окружающих людей следует отключить источник тока, покинуть опасную зону и сообщить об опасности преподавателю или учебному мастеру. При несчастном случае необходимо сообщить преподавателю или учебному мастеру, или другому студенту, принять меры по оказанию первой помощи пострадавшему;
- при возникновении очагов пожара студенту необходимо выключить вентиляцию, источник тока и немедленно сообщить о случившемся учебному мастеру;
- после завершения работы студент обязан убрать рабочее место.

10. форма отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Определения изученных способов контактной сварки, схемы процессов и основные параметры режима.
2. Описание основных узлов машин для контактной сварки, используемых в настоящей работе.
3. Характеристику свариваемых деталей.
4. Оптимальный режим сварки прутков и пластин.
5. Оценку качества полученных соединений.

9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему контактное сопротивление $R_{\text{с-с}}$ является в сварочном контуре максимальным и от каких факторов оно зависит?
2. В чём заключается процесс стыковой сварки?
3. Назовите факторы, обуславливающие повышенное сопротивление в месте контакта свариваемых деталей.
4. Назовите разновидности контактной сварки по способу питания.
5. Виды сварных соединений по форме.
6. В чём заключается процесс точечной сварки?
7. Назовите дефекты сварного соединения, возникающие при точечной сварке и способы их устранения.
8. Назовите область применения точечной сварки.
9. Назовите основные параметры режима точечной сварки.
10. Можно ли точечной сваркой соединять разные материалы?
11. Можно ли точечной сваркой соединять детали разной толщины?
12. В чём заключается процесс стыковой контактной сварки?
13. В чём отличие стыковой сварки сопротивлением от стыковой сварки оплавлением?

14. Почему стыковая сварка сопротивлением не применяется для разных сплавов, деталей большого сечения и разного диаметра?
15. Почему при сварке оплавлением окисление металла в стыке незначительно?

11. Литература

1. Солнцев Ю.П. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс]: учебник для вузов/ Ю.П. Солнцев, Б.С. Ермаков, В.Ю. Пирайнен.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: ХИМИЗДАТ, 2014.— 504 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22545>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю (Федеральное агентство по образованию РФ)
2. Технология конструкционных материалов. Основные понятия, термины и определения. [Электронный ресурс] : Учебные пособия — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 103 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/52195> — Загл. с экрана
3. Алексеев А.Г. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.Г. Алексеев, Ю.М. Барон, М.Т. Коротких.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Политехника, 2012.— 596 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/15915>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
4. Стрелкина Т.П. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс]: лабораторный практикум. Учебное пособие/ Т.П. Стрелкина, Е.В.Шопина, А.А. Стативко.— Электрон. текстовые данные.— Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2014.— 87 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49724>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю