

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ КОНТАКТНАЯ СВАРКА

**Методические указания
к лабораторной работе**

УДК 621.791

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент *В.В. Каратыш*
(Пермский государственный технический университет)

Губарева Э.М.

Электрическая контактная сварка: Методические указания к лабораторной работе / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2004. – 30 с.

Описаны способы электроконтактной сварки, оборудование для точечной сварки, приведены режимы точечной сварки и выбор их в зависимости от различных параметров. Показаны различные схемы циклограмм при точечной сварке и возможные варианты точечной сварки.

УДК 621.791



Пермский государственный
технический университет, 2003

Лабораторная работа
«ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ КОНТАКТНАЯ СВАРКА»

Цель работы: Ознакомление с электрической контактной сваркой, оборудованием и технологией электрической точечной сварки; определение оптимального режима точечной сварки для различных материалов.

Материалы и оборудование

1. Образцы для сварки из стали марки Ст 3.
2. Образцы для сварки из стали марки X18H10T.
3. Контактная сварочная машина.
4. Электроды.
5. Разрывная машина для испытания прочности сварного соединения.
6. Микроскоп для изучения микроструктуры сварного шва и зоны термического влияния.

Содержание работы

1. Ознакомиться с машиной для точечной сварки и её работой.
2. Измерить толщину деталей из стали Ст 3 и X18H10T.
3. Выбрать диаметр электрода $d_э$, мм для сварки пластин.
4. Рассчитать силу сварочного тока для сварки стали Ст 3 и X18H10T.
5. Выбрать время сварки образцов и силу сжатия при сварке.
6. Провести сварку образцов при различных силах тока $I_{св}$, А, времени $t_{св}$, с и давлении $P_{св}$, кГс.
7. Провести испытания сварных соединений на растяжение. Все расчётные и экспериментальные данные занести в таблицу.
8. Изучить микроструктуру сварного шва и зоны термического влияния.
9. Оценить характер разрушения сварного соединения и зарисовать эскиз разрушения.
10. По полученным данным определить оптимальный режим сварки для стали Ст 3 и X18H10T.

Теоретические основы работы

Электрическая контактная сварка – один из видов сварки. Она основана на нагреве и пластической деформации свариваемых заготовок в месте их контакта. Место соединения разогревается проходящим по металлу электрическим током, причём максимальное количество теплоты выделяется в месте сварочного контакта (рис. 1). Количество выделяемой теплоты определяется законом Джоуля-Ленца:

$$Q \approx I^2 R t, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, выделяемое в сварочном контуре, Дж;

I – сварочный ток, А;

R – полное электросопротивление сварочного контура, Ом;

t – время протекания тока, с.

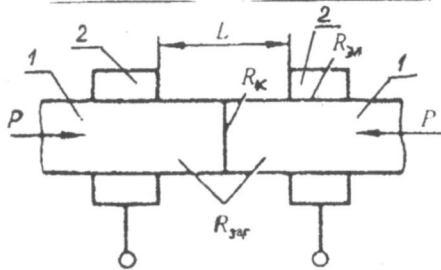


Рис. 1. Схема контактной сварки: 1 – заготовки;

2 – электроды; P – усилие сжатия, даН;

R_k – электросопротивление сварочного контакта, Ом;

$R_{эл}$ – электросопротивление выступающих концов

Полное электросопротивление сварочного контура R состоит из электросопротивления выступающих концов L свариваемых заготовок $R_{эл}$, сварочного контакта R_k и электросопротивления между электродами и заготовками $R_{эл}$:

$$R \approx R_{эл} + R_k + R_{эл} \quad (2)$$

Электросопротивление R_k имеет наибольшее значение, так как из-за неровностей поверхности стыка даже после тщательной обработки заготовки соприкасаются только в отдельных точках. В связи с этим действительное сечение металла, через которое проходит ток, резко уменьшается. Кроме того, на поверхности металла имеются плёнки оксидов и загрязнения с малой электропроводностью, которые также увеличивают электросопротивление контакта. В результате в точках контакта металл нагревается до термомолекулярного состояния или до оплавления.

При непрерывном сдавливании нагретых заготовок пластичный металл в местах контакта деформируется, поверхностные оксидные плёнки разрушаются и удаляются к периферии стыка. В соприкосновение приходят совершенно чистые слои металла, образующие сварное соединение.

Таким образом, с физической точки зрения, соединение при контактной сварке образуется за счёт сил межатомного взаимодействия.

Величина сварочного тока может достигать более 100 000 А, напряжение меньше 12 В. Сварочные установки включают в общую сеть напряжением 220 или 380 В, поэтому, чтобы получить сварочный ток с заданными параметрами, вторичную обмотку изготавливают из одного или двух витков, а величину рабочего тока изменяют подключением различного числа секций (витков) первичной обмотки.

Контактные машины состоят из понижающего трансформатора, механизмов, обеспечивающих закрепление, сжатие и перемещение свариваемых деталей, и устройств, обеспечивающих заданный электрический режим сварки.

Режимы контактной сварки характеризуют следующими главными параметрами: силой и плотностью тока, временем включения или длительностью нагрева (0,001–3 сек), усилием сжатия. Различают мягкие и жёсткие режимы: первые характеризуются большой длительностью при относительно небольших величинах силы и плотности тока и усилия сжатия, вторые наоборот. Формирование сварного соединения (кристаллизация металлов) происходит под давлением: сначала выключают ток, затем снимают нагрузку.

Усилие сжатия создают педальными, моторно-кулачковыми, пневматическими и гидравлическими приводами. Время нагрева (пропускания тока) регулируют прерывателями тока: механическими, индукционными и электронными. Режимы контактной сварки описывают графически в координатах «давление P – сила тока I – время t ». Эти графики называют циклограммами.

Существует 4 вида контактной сварки по типу соединения:

1. *Точечная*, рис.2, а, когда детали свариваются не по всей поверхности контакта, а в отдельных точках, соответствующих контактам с электродами, имеющими форму заострённых стержней.

2. *Рельефная*, рис.2, б, когда детали свариваются аналогично точечной сварке – в отдельных точках. Положение этих точек соответствует выступам – рельефам – на одной или обеих свариваемых поверхностях. Усилие на детали передаётся через электроды-плиты, между которыми зажимаются свариваемые изделия.

3. *Шовная*, рис.2, в, когда детали соединяются швом, состоящим из отдельных сварных точек, перекрывающих одна другую. Шовная сварка выполняется с помощью одного или двух вращающихся электродов, через которые передаётся ток и усилие осадки.

4. *Стыковая сварка*, рис.2, з, когда детали свариваются по всей поверхности контакта под воздействием нагрева электрическим током и сжимающего усилия.

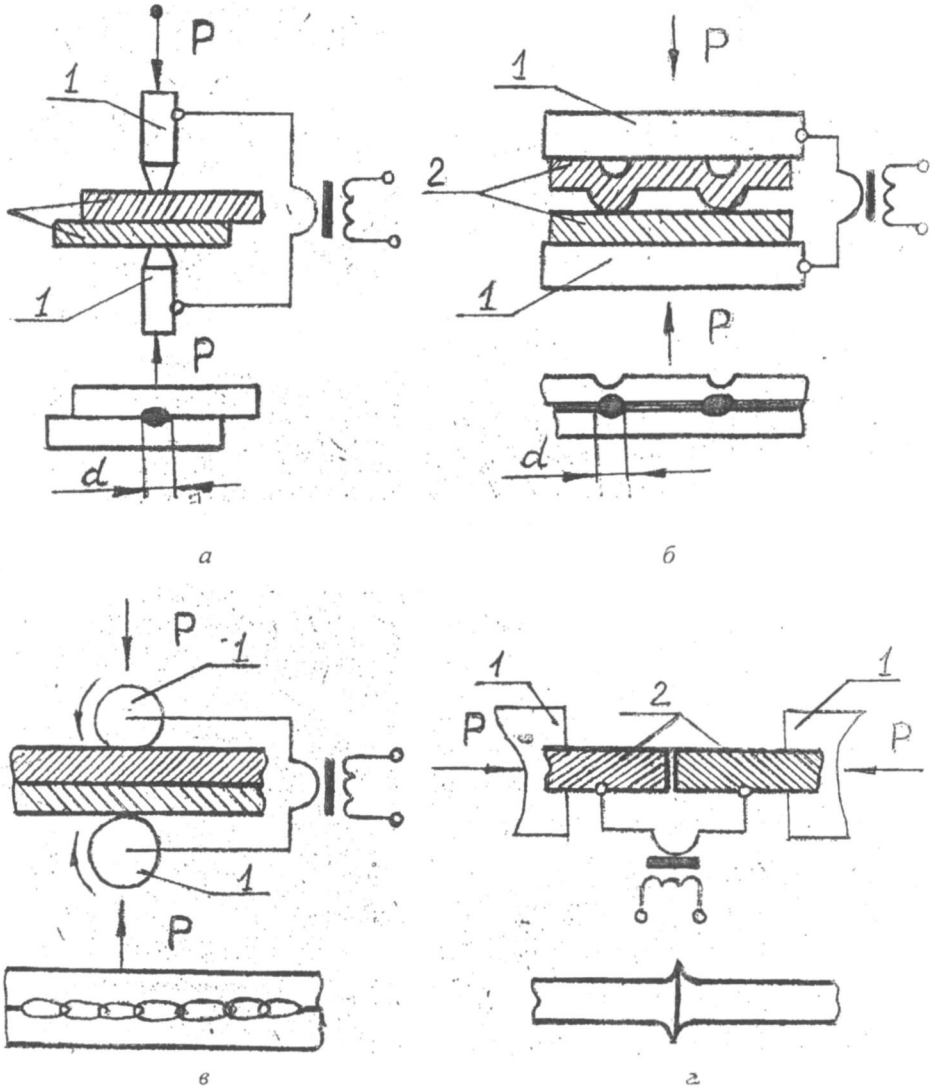


Рис. 2. Схемы процессов и швов:

а - точечная сварка; б - рельефная сварка; в - шовная сварка; з - стыковая сварка;
1 - электрод; 2 - свариваемое изделие; d - сечение сварной точки

Стыковая сварка

Контактную стыковую сварку (рис. 3) применяют, главным образом, для соединения деталей в виде прутков различного профиля, труб.

Различают 3 вида стыковой сварки: сварку сопротивлением (рис. 4, а), сварку оплавлением (рис. 4, б), сварку прерывистым оплавлением.

При сварке сопротивлением детали, закреплённые в зажимах, приводят в плотное соприкосновение и затем включают ток. После нагрева свариваемых торцов до пластического состояния, ток выключают и производят осадку. Циклограмма сварки сопротивлением показана на рис. 5. Сварку сопротивлением применяют для соединения деталей из малоуглеродистых сталей и цветных металлов площадью соединяемых деталей до 1000 мм^2 . При этом способе сварки свариваемые поверхности должны быть одинаковой площади сечения, очищены, параллельны друг другу.

Определённую трудность при сварке сопротивлением представляет удаление из стыка оксидных плёнок, без чего невозможно получение качественного соединения. В связи с этим важная роль принадлежит процессу пластического деформирования торцов свариваемых деталей, в результате чего часть оксидов может выдавливаться в образующееся утолщение.

При сварке методом оплавления нагрев металла сопровождается оплавлением соединяемых торцов. Зажатые в губках машины детали сближают при включённом сварочном трансформаторе. Процесс сварки в этом случае начинается с оплавления отдельных контактных точек, выступающих над поверхностью торцов, сопровождается интенсивным искрообразованием и заканчивается полным оплавлением всей поверхности стыка. Затем производят осадку, в результате которой оксиды вместе с жидким металлом вытесняются наружу. Циклограмма стыковой сварки оплавлением показана на рис. 6.

При стыковой сварке оплавлением в свариваемом стыке образуется большое количество паров металла и химических соединений, например CO и CO_2 (при сварке сталей), что снижает количество кислорода, взаимодействующего с расплавленным металлом. Таким образом, металл шва получается более чистым, чем при сварке сопротивлением, если она осуществляется без защиты каким-либо способом свариваемого стыка от окисления.

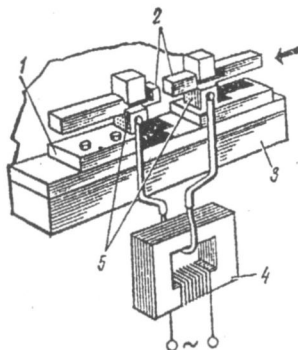


Рис. 3. Схема контактной стыковой сварки: 1 - контактная плита; 2 - свариваемые заготовки; 3 - станина; 4 - трансформатор; 5 - электроды

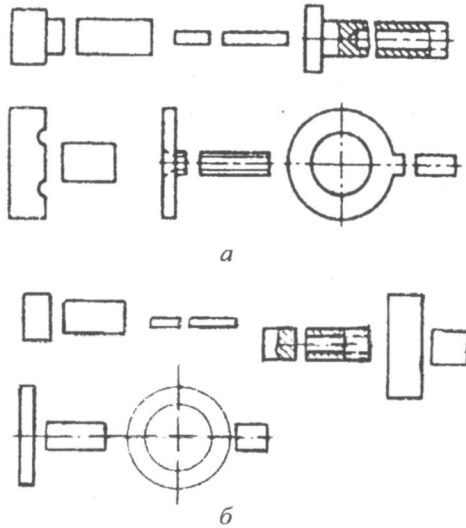


Рис. 4. Типы сварных соединений, выполняемых стыковой сваркой: *а* – сопротивлением; *б* – оплавлением

Сварку оплавлением рекомендуют для соединения деталей с повышенной площадью поперечного сечения, сложной конфигурацией, а также для сплавов с высокой тепло- и электропроводностью, например алюминиевых.

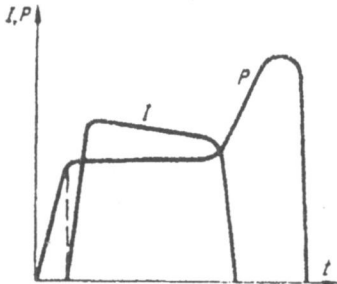


Рис. 5. Циклограмма контактной стыковой сварки сопротивлением: *I* – сила сварочного тока, А; *P* – усилие сжатия, Н; *t* – время протекания тока, с

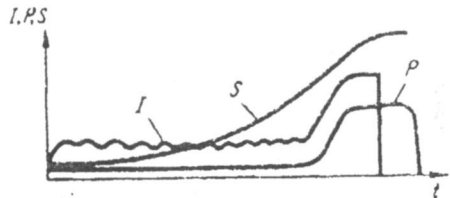


Рис. 6. Циклограмма контактной стыковой сварки оплавлением: *S* – перемещение плиты, мм; *P* – сила сжатия заготовок, Н; *I* – сварочный ток, А; *t* – время, с

Конструкции сварных соединений для стыковой сварки должны максимально удовлетворять требованию равномерного нагрева обеих деталей. Это достигается при сварке деталей с одинаковым сечением из одного и того же металла, см. рис. 4, б. Если детали имеют разное сечение, необходимо изменением конструкции одной из них добиться более близких по характеру условий тепловода при сварке.

Большие затруднения возникают при сварке деталей из разнородных металлов, особенно при существенных различиях их тепло- и электропроводности. В таком случае лучше использовать сварку оплавлением.

Стыковая сварка применяется для изготовления деталей из сталей, алюминиевых, титановых, медных сплавов и некоторых тугоплавких металлов. Ею можно соединять детали, как с компактными, так и с развитыми, сложными сечениями. Стыковая сварка весьма перспективна при замене дуговых методов, тем более что производительность её существенно выше.

Недостатками метода являются сильное разбрызгивание и потери металла.

Сварку *прерывистым оплавлением* производят чередованием плотного и неплотного контакта свариваемых торцов с их разведением. Когда торцы нагреваются до определённой температуры, электрический разряд вызывает оплавление кромок. При достижении требуемой величины оплавления производят резкое сжатие свариваемых концов. Сварку прерывистым оплавлением рекомендуют в тех случаях, когда мощность машин недостаточна для сварки оплавлением. Мощность стыковых машин выбирают из расчёта 6–15 кВт на 1 см² свариваемого сечения детали, а при сварке изделий с замкнутым контуром мощность повышают вдвое. В зависимости от назначения стыковые машины бывают ручного и автоматического действия.

Контактная шовная сварка

Контактную шовную сварку применяют для получения герметичного соединения. На рис. 7 приведена простейшая схема шовной сварки: собранные внахлёстку свариваемые детали 2 зажимают роликовыми электродами 1, подключёнными к сварочному трансформатору 3. Сварка происходит по линии качения. Различают непрерывную и прерывистую сварку.

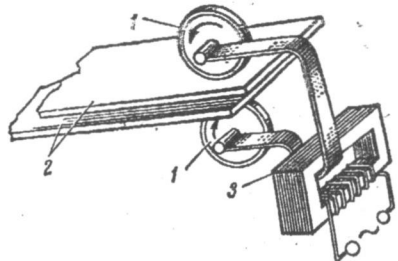


Рис. 7. Схема шовной контактной сварки:
1 – ролик (электрод); 2 – свариваемые детали; 3 – трансформатор

Непрерывной шовной сваркой получают швы длиной не более 300 мм при соединении стальных листов толщиной до 1 мм, при больших размерах происходит перегрев и быстрый износ роликов. Циклограмма непрерывной сварки приведена на рис.8, а.

При прерывистой сварке (циклограмма на рис.8, б) прерыватели периодически выключают ток, при этом сварка осуществляется, как точечная, но режим рассчитан так, что каждая последующая точка перекрывает предыдущую не менее чем на 1/5, что обеспечивает плотный непрерывный шов и уменьшает перегрев и износ роликов. Прерывистая сварка обеспечивает высокое качество сварного соединения, однако, шов получается меньшей чистоты, чем при непрерывной сварке.

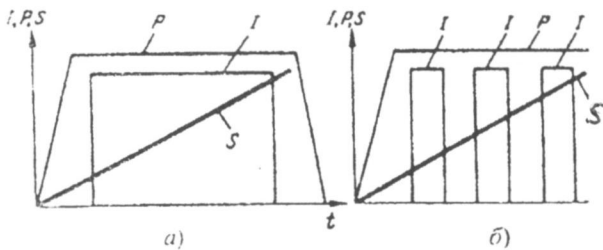


Рис. 8. Циклограммы шовной сварки: а – непрерывная сварка; б – прерывистая сварка;

P – усилие сжатия, Н; S – перемещение роликов, м/мин;
 I – сварочный ток, А; t – время протекания тока, с

Ролики изготавливают из того же материала, что и электроды для точечной сварки. Диаметр роликов берут в пределах 50–350 мм, ролики большего диаметра устойчивее в работе. Во время работы ролики непрерывно охлаждаются водой. Скорость шовной сварки в пределах 0,5–3,5 м/мин. Сила сварочного тока берётся в пределах 2000–20000 А. Оптимальные суммарные толщины свариваемых листов не более 5 мм.

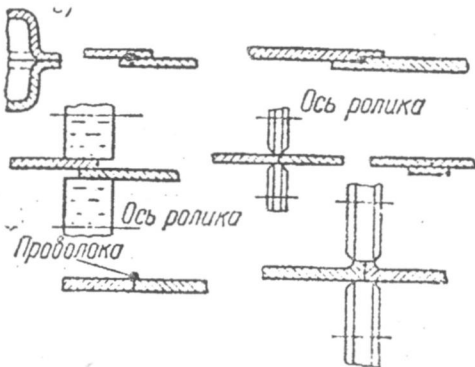


Рис. 9. Типы изделий, получаемых шовной сваркой

Шовную сварку используют при сварке масляных, бензиновых или водяных баков, труб и ряда других деталей из стали и цветных сплавов (рис.9).

Контактная рельефная сварка

Форма, размеры и число рельефов изменяются в широких пределах в зависимости от формы и толщины свариваемых заготовок, а также от их назначения. Для получения качественных соединений требуются тщательная зачистка заготовок и точная штамповка как заготовок, так и рельефов. Это обеспечивает равномерное распределение тока и усилия сжатия между рельефами. Скорость нагрева рельефов должна быть оптимальной, чтобы не возникало выплесков (если она завышена) или преждевременного расплющивания рельефов без образования литого ядра (если она занижена). Для предупреждения выплесков целесообразно также постепенное нарастание тока. Применение ковочного усилия обеспечивает получение более устойчивых результатов.

Точечная контактная сварка

Точечная сварка (рис.10) является одним из наиболее широко применяемых видов контактной сварки. Свариваемые детали соединяются внахлест. Точечной сваркой можно сваривать листовые заготовки одинаковой и

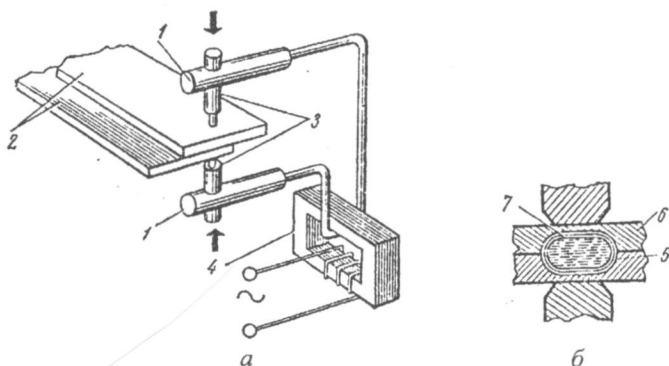


Рис. 10. Схема контактной точечной сварки:

- 1 – хобот; 2 – свариваемые детали; 3 – электродержатель;
 4 – трансформатор; 5 – зона термического влияния;
 6 – пластичная зона; 7 – расплавленное ядро

разной толщины, пересекающиеся стержни, листовые заготовки со стержневыми или профильными заготовками (уголками, швеллерами, таврами и т.п.), заготовки из разнородных металлов, из сталей различных марок (углеродистой, легированной, коррозионно-стойкой, жаропрочной и др.), а также из цветных металлов и их сплавов, рис. 11.

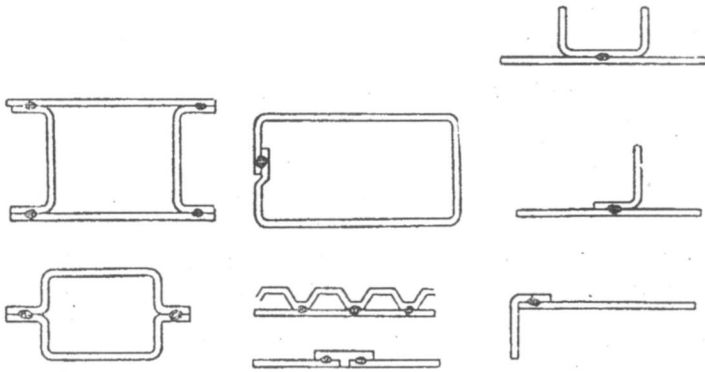


Рис. 11. Типы изделий, получаемых точечной сваркой

Так как необходимое давление быстро возрастает с увеличением толщины деталей, а прочность электродов, передающих давление, ограничена, точечная сварка применяется, в основном, для деталей небольшой толщины.

Точечную сварку применяют в нескольких вариантах, в зависимости от конструкции изделий.

Для получения сварной точки детали (см. рис.10, б) помещают между электродами. При нажатии на педаль, верхний хобот машины опускается и зажимает детали. Через определённое время, необходимое для создания плотного контакта между деталями, включается сварочный ток, который доводит металл между электродами до плавления, а прилегающую к ядру *7* зону *б* до пластического состояния. После кристаллизации расплавленного ядра давление снимается.

Электроды должны обладать высокой электропроводностью и теплопроводностью, сохранять необходимую прочность до 400 °С. Электроды изготавливают полыми из холоднокатаной электролитической меди и сплавов на её основе. Во время сварки электроды охлаждают водой.

Для повышения производительности труда при массовом производстве применяют многоточечную сварку. Точечная сварка может быть *двусторонней* (см. рис. 10, а) и *односторонней* (см. рис.12).

При двусторонней сварке две или более заготовок *1* сжимают между электродами *2* точечной машины. При односторонней сварке ток распределяется между верхним и нижним листами *1* и *2*, причём нагрев осуществляется только частью тока, протекающей через нижний лист. Для того чтобы увеличить ток, проходящий через нижний лист, применяют медную прокладку *3*.

Односторонней точечной сваркой можно соединять заготовки одновременно двумя точками (см. рис. 12). По принципу односторонней точечной сварки работают многоточечные машины, которые могут иметь до 50 пар электродов.

Для получения соединения хорошего качества необходимо строго выдерживать заданные параметры режима: усилие сжатия, ток и время протекания тока. Сварка в простейшем случае производится по циклу, изображённому на рис. 13.

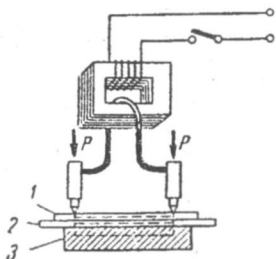


Рис. 12. Схема односторонней многоточечной сварки

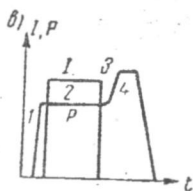


Рис. 13. Циклограмма точечной сварки: I – сила тока, А; P – усилие сжатия, Н; t – время, с

Весь цикл сварки состоит из четырех стадий: 1 – сжатие свариваемых заготовок между электродами; 2 – включение тока и разогрев места контакта до температуры плавления, сопровождающееся образованием литого ядра точки; 3 – выключение тока и усиление сжатия с целью улучшения структуры сварной точки; 4 – снятие усилия с электродов. Предварительно свариваемые поверхности очищают наждачным кругом, пескоструиванием или травлением.

Точечная сварка может производиться на мягких и жестких режимах. Мягкие режимы характеризуются большей продолжительностью времени сварки, плавным нагревом, уменьшенной мощностью и силой тока. Эти режимы применяются для сварки углеродистых, конструкционных, низколегированных сталей и сталей, склонных к закалке. Значения основных параметров мягких режимов могут изменяться в следующих диапазонах: плотность тока J от 80 до 160 А/мм²; усилие на электродах P от 1,5 до 4 Кг/мм² (14,7–39 Мн/м²); время протекания тока t от 0,5 до 2–3 с.

Жесткие режимы характеризуются повышенной производительностью в связи с уменьшением времени сварки, увеличением усилия сжатия и силы тока, концентрированным нагревом. Эти режимы применяются:

а) для сварки нержавеющей сталей, так как при сварке на мягких режимах возможно выпадение карбидов в околошовной зоне, приводящие к потере коррозионной стойкости;

б) для сварки алюминия, меди и медных сплавов, так как они обладают высокой теплопроводностью и для них недопустим перегрев околошовной зоны;

в) для сварки ультратонкого металла толщиной до 0,1 мм.

Диапазоны значений параметров жёстких режимов: I от 120 до 360 А/мм²; усилие на электродах P от 4 до 10 Кг/мм² (39–98 Мн/м²); время протекания тока t от 0,001 до 0,1 с.

Силу тока и сжатия заготовок устанавливают постоянной или меняют по определённому графику в течение цикла сварки одной точки. Характер их изменения определяется толщиной и материалом свариваемых заготовок. Наиболее распространённые схемы циклов точечной сварки приведены в табл.1.

Свариваемость различных металлов и сплавов

Наиболее хорошую свариваемость при контактной сварке имеют стали и сплавы со следующими свойствами: высоким удельным электрическим сопротивлением и низкой теплопроводностью (для сварки таких материалов требуются машины меньшей мощности); отсутствием или малой склонностью к нежелательным структурным превращениям в процессе нагрева и охлаждения в зоне сварки; низкой химической активностью при нагреве.

В наибольшей мере этим требованиям отвечают низкоуглеродистые стали, которые хорошо свариваются всеми способами контактной сварки, как на жёстких, так и на мягких режимах без дополнительных технологических мер. Среднеуглеродистые и низколегированные стали склонны к закалке, трещинообразованию. Поэтому необходима термическая обработка всего изделия в печи, или, что производительнее и экономичнее, сварка по двухимпульсному циклу с термической обработкой зоны соединения непосредственно под электродами контактной машины (см. табл.1).

Коррозионно-стойкие стали, например 12Х18Н9Т, вследствие высокого удельного электрического сопротивления и низкой теплопроводности сваривают при относительно низких плотностях тока и малом времени сварки. В связи с повышенной прочностью при высоких температурах требуются повышенные усилия сжатия заготовок.

Алюминий и его сплавы обладают высокой электропроводностью и теплопроводностью, поэтому при их сварке требуются большие токи при малом времени их протекания. Значительным препятствием для протекания тока является тугоплавкая плёнка Al_2O_3 на поверхности заготовок.

Схемы циклов точечной сварки

Вид сварки	Схема цикла	Свариваемый материал
Одноимпульсная при постоянном давлении		Низкоуглеродистая сталь толщиной до 3–4 мм
При постоянном давлении с последующей термической обработкой		Закаливающиеся стали
Многоимпульсная с переменным давлением		Сталь толщиной более 3–5 мм
С предварительным обжатием и последующей проковкой		Стали толщиной более 5 мм или конструкции с повышенной жесткостью
Импульсом модулированного тока с проковкой		Сплавы алюминия толщиной более 1,5 мм

Обозначения. I – сила сварочного тока, А; P – усилие сжатия заготовок, МПа; I_n – сила тока подогрева при термической обработке, А; t – время, с

Подготовка заготовок к сварке

Перед сваркой производят правку и взаимную подгонку заготовок, а также очистку их поверхности от окалины, ржавчины, смазки, пыли и других загрязнений. При сварке неочищенных заготовок заметно снижается качество соединений и увеличивается износ электродов контактных машин.

Способ очистки выбирают в зависимости от размера и материала заготовок, характера загрязнений и типа производства. Заготовки из горячекатаной стали очищают в дробеструйных установках, металлическими щётками, абразивными кругами. В массовом производстве их очищают травлением в растворе кислот с последующей нейтрализацией в щелочной ванне, промывкой проточной водой и сушкой горячим воздухом.

Алюминиевые сплавы подвергают специальной химической обработке, после которой они пригодны для сварки в течение пяти суток. Качество подготовки поверхности контролируют измерением общего электрического сопротивления двух сжатых деталей, сравнением с эталонными образцами или визуально.

Торцы заготовок, соединяемые стыковой сваркой сопротивлением, обрабатывают до получения ровной поверхности, перпендикулярной к оси заготовок. При сварке оплавлением к подготовке торцов предъявляются меньшие требования (пригодны заготовки после резки на прессах, ножницах, механических пилах, а также после газовой резки с очисткой поверхности от шлака). При всех способах стыковой сварки необходимо очищать поверхности заготовок, соприкасающиеся с токопроводящими губками.

Выбор режимов сварки

Под режимом сварки следует понимать совокупность параметров данного способа сварки, задаваемых сварочной машиной, а также форму и размеры электродов. Режим сварки зависит от физических свойств свариваемого металла и размеров деталей. Основными параметрами режимов точечной сварки являются сила тока $I_{св}$, длительность его протекания τ и усилие P .

Для получения максимального теплового эффекта согласно формуле (1) следует обеспечить в установке максимальную силу тока, что достигается с помощью трансформатора.

Основные параметры процесса (P и $I_{св}$) выражаются во времени циклограммой определенного типа для каждого вида сварки, см. табл. 1.

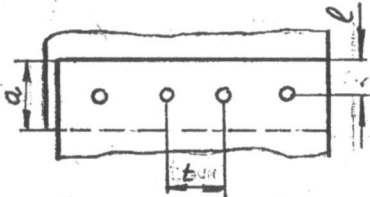
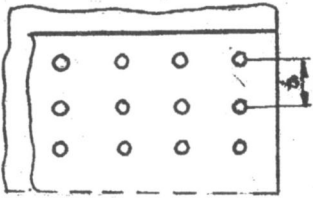
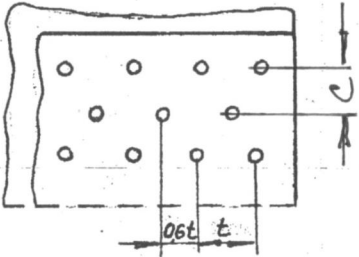
а) самая типичная точечная сварка всегда начинается с предварительного сжатия деталей для обеспечения хорошего контакта. Ток и давление во время сварки постоянны. Давление снимается несколько позже включения тока, чтобы успела затвердеть и охладиться точка в сжатой оболочке;

б) сварка с проковкой заключается в том, что после выключения тока давление возрастает еще больше; точка формируется в силовом поле, поэтому имеет лучшую структуру литого ядра и выше прочность;

в) циклограмма, применяющаяся при сварке толстых листов, показывает, что сначала они обжимаются повышенным давлением для тесного контакта, затем давление снижается до рабочего для усиления теплового эффекта в контакте и на деталях; после выключения тока – проковка (дополнительное сжатие).

Расчетные методы определения основных параметров режимов контактной сварки разработаны недостаточно полно. Поэтому режим сварки конкретных деталей определяют опытным путем. Так установлено, что сила тока, время сварки, усилие меняются линейно в зависимости от толщины деталей.

Таблица 2
Параметры нахлесточных соединений при точечной сварке

Тип шва	Вид сварного соединения	Условные обозначения
Однорядный		Н1
Многорядный с цепным расположением точек		Н4
Многорядный с шахматным расположением точек		Н5

Размеры точечных соединений характеризуются следующими параметрами (табл. 2):

d – диаметр литой зоны точки;

a – ширина нахлестки; l – расстояние точек от края;

t – расстояние между точками в ряду – шаг.

Рекомендуемые размеры точечных соединений приведены в табл. 3.

Таблица 3

Конструктивные элементы соединений, выполняемых
точечной сваркой, мм

Толщина заготовок	Диаметр точки (ядра)		Величина нахлестки	l	Шаг точек (минимальный)	C
	номинальный	предельное отклонение				
0,3	2,5	+ 1	6	3	8	8
0,4–0,6	3,0		8	4	10	8
0,7–0,8	3,5		10	5	13	11
0,9–1,1	4,0		12	6	14	12
1,2–1,4	5,0		13	6,5	15	13
1,3–1,6	6,0		14	7,5	18	15
1,8–2,2	7,0	+ 1,5	16	8,0	24	20
2,5–2,8	8,0		18	9,0	30	25
3,0–3,2	9,0		20	10,0	36	30
3,5–3,8	10,0		23	11,5	40	34
4,0	11,0	+ 2,0	26	13,0	45	38
4,5	12,0		30	15,0	50	43
5,0	13,0		34	17,0	55	47
5,5	14,0		38	19,0	60	52
6,0	15,0		42	21,0	65	55

Обозначение. l – расстояние от кромки заготовки до центра точки; C – расстояние между осями рядов при шахматном расположении точек

Точки диаметром d не должны размещаться ближе, чем на $1,5d$ от края детали во избежание выдавливания горячего металла.

Точечная сварка всегда начинается с предварительного сжатия деталей для обеспечения хорошего контакта.

Детали нагреваются теплом, выделяющимся в контакте и в них самих. Наиболее интенсивно нагревается столбик d_3 (рис. 14), где наибольшая плотность тока, и особенно – слои деталей, прилегающие к контакту, так как с ростом температуры растет их удельное электросопротивление. В результате металл плавится, образуя чечевицеобразную точку. Ее жидкое ядро удер-

живается окружающим кольцом уплотненного продеформированного металла. Если мало давление P или слишком быстрый нагрев, и кольцо не успело образоваться, или слишком сильный нагрев, и кольцо не может удержать большой объем жидкого ядра, то возможен выплеск – частичный выброс жидкого металла. Размеры ядра (его диаметр d и проплавление $2h$), определяющие прочность соединения, зависят от температурного поля, а, следовательно, от технологических параметров процесса: толщины свариваемых листов S , диаметра электрода $d_э$, усилия P , электрических параметров,

Диаметр ядра d приблизительно зависит от толщины деталей следующим образом (для $S > 0,5$ мм):

$$d = 2S + 3 \text{ мм}, \quad (3)$$

где S – толщина в мм более тонкой из свариваемых деталей.

Обычно он близок к диаметру контактной поверхности $d_э$ и составляет 0,5...20 мм.

Структура зоны шва определяется условиями нагрева металла и его пластической деформации.

Структура точки формируется при кристаллизации жидкого металла. При этом теплопровод в толщу деталей, т.е. примерно равномерно во все стороны, приводит к формированию столбчатой структуры в ядре. В результате усадки в ядре возможно образование усадочной рыхлости и раковин.

Давление электродов, если оно достаточно велико, вызывает пластическую деформацию в кристаллизующемся ядре и уплотняет его.

В околошовной зоне, не расплавляющейся при сварке, под действием высокой температуры ($T < T_{пл}$) и давления могут происходить как процессы наклепа, закалки (упрочнения), так и разупрочнения. Это зависит от состава стали, ее теплофизических свойств и от технологических параметров. Ширина околошовной зоны (зоны термического влияния) тем больше, чем мягче режим, т.е. чем длительнее нагрев при сварке.

Электроды контактных машин

Стойкость электродов, от которой в значительной мере зависят производительность сварки и качество сварных соединений, определяется материалом электродов, их конструкцией, условиями охлаждения, режимов сварки и чистотой поверхности свариваемых заготовок.

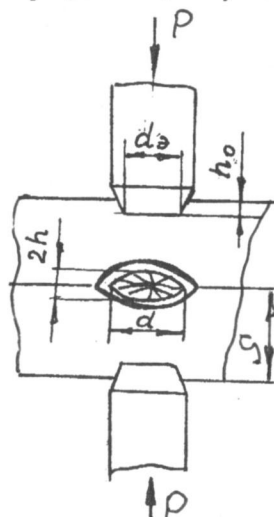


Рис. 14. Схематический разрез сварной точки

Технические характеристики сплавов для электродов контактных машин

Марка сплава, содержание легирующих элементов	Электропроводность, % (медь-100 %)	Твердость, НВ	Температура разупрочнения, °С	Сортамент	Способ сварки и свариваемые материалы (изделия)
Кадмиевая бронза, БрКд1 (МК); 0,9-1,2 % кадмия	85-95	95-115	350	Прутки тянутые диаметром 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 26, 30 мм; прессованные диаметром 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 мм	Точечная и шовная. Легкие сплавы.
Хромовая бронза, БрХ; 0,4-1,0 % хрома	82-85	130-150	420	Полосы термообработанные толщиной 10-30 мм и шириной 100-400 мм	Шовная. Углеродистые, низколегированные стали и титан
Хромовая бронза, БрХ; 0,4-0,7 % хрома	82-85	120-140	400	Прутки тянутые диаметром 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40 мм; прессованные диаметром 45, 50, ... 170 мм	Точечная. Углеродистые, низколегированные стали и титан
Медь с присадкой серебра МС-1; 0,07-0,12 % серебра	97-99	95-100	360	Прутки диаметром 20, 25, 32, 40 мм. Квадрат 80×80 мм	Точечная. Легкие сплавы.
Никельбериллиевая бронза БрНБТ; 1,4-1,6 % никеля, 0,2-0,4 % бериллия, 0,05-0,15 % титана	50-55	170-240	510	Плиты толщиной 14, 16, 20, 24, 29 мм; прутки диаметром 16, 20, 25 мм	Точечная и шовная. Коррозионно-стойкие стали, титан

20

Окончание табл.4

Марка сплава, содержание легирующих элементов	Электропроводность, % (медь-100 %)	Твердость, НВ	Температура разупрочнения, °С	Сортамент	Способ сварки и свариваемые материалы (изделия)
Никелекремниевая бронза БрНК; 1,5-0,5; 1,2-2,3 % никеля 0,3-0,9 % кремния	40	До 200	450	Слитки диаметром 175 и 200 мм, длиной 1200 мм	Консоли точечных и шовных машин, губки стыковых машин
Хромоциркониевая бронза; 0,3-0,5 % хрома; 0,2-0,35 % циркония	80-85	135-145	500	Прутки круглые и плиты разной толщины и ширины	Точечная и шовная. Углеродистые, низколегированные стали и титан
Элконайт ВМ; 20-30 % меди, 70-80 % вольфрама	20-25	Св. 200	-	Цилиндрические заготовки диаметром 8,28, 36 мм и высотой 20-30 мм; пластины 40×40×50; 15×15×15 мм	Вставки и электроды точечных и шовных машин и в губки стыковых машин

21

Электроды прямые для контактных точечных машин (ГОСТ 14111-77)

Тип	Характеристика рабочей поверхности электрода	Обозначение электрода	Диаметр, мм	Длина, мм	Диаметр контактной поверхности, мм	Применение для сварочных машин
1	Плоская	0821-0001÷ ÷0821-0072	10, 12, 16, 20, 25, 32, 40	29-130	4, 5, 6, 8, 10, 12	С прямолинейным ходом электродов
2	Плоская, конец электрода конический	0821-0101÷ ÷0821-0112	10, 12, 16, 20	38-88	4, 5, 6, 8	С прямолинейным ходом электрода для сварки низкоуглеродистых и легированных сталей в ограниченно доступных местах
3	Смещенная плоская	0821-0151+ +0821-0202	10, 12, 16, 20, 25	29-112	4, 5, 6, 8, 10	С прямолинейным ходом для сварки низкоуглеродистых сталей вблизи отбортованных кромок
4	Плоская увеличенная	0821-0251÷ ÷0821-0280	16, 20, 25, 32, 40	32-72	-	С прямолинейным ходом электрода для сварки арматуры железобетона
5	Сферическая	0821-0301÷ ÷0821-0372	10, 12, 16, 25, 32, 40	29-130	8, 10, 12, 14, 16, 18, 25, 50, 100* ¹	С радиальным и прямолинейным ходом электрода для сварки легких сплавов, низкоуглеродистых и легированных сталей
6	Сферическая, конец электрода конический	0821-0401÷ ÷0821-0412	10, 12, 16, 20	38-88	8, 10, 12, 14* ¹	С прямоугольным ходом электрода для сварки низкоуглеродистых и легированных сталей в ограниченно доступных местах
7	Сферическая смещенная	0821-0451÷ ÷0821-0479	10, 12, 16, 20, 25	29-112	8, 10, 12, 14, 16* ¹	С прямолинейным и радиальным ходом электрода при сварке низкоуглеродистых сталей вблизи отбортованных кромок

*¹ Указан радиус сферы контактной поверхности. Другие параметры электрода, а также рекомендации по применению даны в ГОСТ 14111-77

22

Материал электродов (приведен в табл. 4) должен иметь высокие тепло- и электропроводность, температуру разупрочнения, а также достаточную прочность и твердость. Стойкость электродов, изготовленных из специальных сплавов на основе меди, значительно выше медных.

Электроды для точечной сварки (сменные вставки), предназначенные для использования на серийных точечных машинах, приведены в табл. 5. Рекомендуемые размеры электродов для точечной сварки различных материалов даны в табл. 6.

23

Рекомендуемые размеры электродов в зависимости от толщины свариваемых заготовок для точечной сварки, мм

Таблица 6

Размеры и форма электродов	Толщина заготовок					
	0,5+0,5	1+1	1,5+1,5	2+2	2,5+2,5	3+3
<i>Низкоуглеродистые и низколегированные стали</i>						
Прямые электроды:						
диаметр электрода	12	12	16	20	20	25
диаметр контактной поверхности	4	5	7	8	9	10
радиус сферы	25-50	75-100	100-150	100-150	150-200	200-250
<i>Жаростойкие и коррозионно-стойкие стали</i>						
Прямые электроды:						
диаметр электрода	12	12	16	20	20	25
диаметр контактной поверхности	4	5	7	8	9	10
радиус сферы	25-50	75-100	100-150	100-150	150-200	200-250
<i>Легкие сплавы</i>						
Прямые электроды:						
диаметр электрода	12	16	20	25	25	30
радиус сферы	50	75	100	100	150	150

Режимы точечной сварки

Режимы точечной сварки d ; $I_{св}$; t ; R в зависимости от толщины свариваемых изделий и материала заготовок приведены в табл. 7-10.

Таблица 7

Режимы точечной сварки углеродистой стали

Толщина заготовок, мм	Сила тока, кА	Длительность тока, с	Усилие сжатия, даН
0,5+0,5	6,0-6,5	0,08-0,10	120-180
1,0+1,0	7,0-8,0	0,12-0,16	250-300
1,5+1,5	9,0-10,0	0,16-0,22	400-500
2,0+2,0	10,0-11,5	0,18-0,24	600-700
3,0+3,0	11,5-14,0	0,24-0,30	900-1000
4,0+4,0	17,0-19,0	0,40-0,56	1300-1500

Таблица 8

Режимы точечной сварки коррозионно-стойких сталей

Толщина заготовок, мм	Сила тока, кА	Длительность тока, с	Усилие сжатия, даН
0,5+0,5	4,5-5,0	0,08-0,12	250-300
0,8+0,8	4,5-5,0	0,12-0,16	300-400
1,0+1,0	5,0-5,7	0,16-0,18	350-450
1,2+1,2	5,5-6,0	0,18-0,20	450-550
1,5+1,5	6,0-7,5	0,20-0,24	500-650
2,0+2,0	7,5-8,5	0,24-0,30	800-900
2,5+2,5	9,0-10,0	0,30-0,34	1000-1100
3,0+3,0	10,0-11,0	0,34-0,38	1200-1400

Таблица 9

Режимы точечной сварки закаливающих низколегируемых сталей

Толщина каждой заготовки, мм	Сварка		Длитель- ность пау- зы $t_{п}$, с (см. табл.2)	Термическая обработка		Усилие сжатия, даН
	Сила тока, кА	Длитель- ность тока, с		Сила тока, кА	Длитель- ность тока, с	
0,5+0,5	5,0-6,0	0,32-0,40	0,3-0,5	4,0-5,0	0,5-0,6	200-300
0,8+0,8	5,5-6,2	0,36-0,44	0,4-0,6	4,5-5,2	0,6-0,74	250-350
1,0+1,0	6,2-6,7	0,42-0,50	0,6-0,7	4,8-5,5	0,68-0,78	400-500
1,2+1,2	7,2-7,7	0,46-0,54	0,7-0,9	5,0-6,0	0,72-0,86	500-600
1,5+1,5	8,7-9,2	0,5-0,64	0,8-1,1	6,2-7,4	0,86-0,96	600-800
2,0+2,0	10,0-11,0	0,74-0,84	1,0-1,4	7,0-8,0	1,10-1,30	800-1000
2,5+2,5	11,5-12,0	1,00-1,10	1,1-1,5	8,0-9,0	1,30-1,90	1000-1200
3,0+3,0	13,0-14,0	1,20-1,40	1,3-1,6	9,0-10,0	1,80-2,20	1100-1400

Таблица 10

Режимы точечной сварки титановых сплавов

Толщина заготовок, мм	Сила тока, кА	Длительность тока, с	Усилие сжатия, даН
0,5+0,5	4,0-5,0	0,08-0,10	100-150
0,8+0,8	4,5-5,0	0,12-0,14	150-200
1,0+1,0	5,0-5,5	0,14-0,16	200-250
1,2+1,2	5,5-6,0	0,16-0,18	250-300
1,5+1,5	6,5-7,5	0,18-0,22	300-350
2,0+2,0	8,0-9,0	0,24-0,26	400-550
2,5+2,5	8,5-9,5	0,28-0,30	600-750
3,0+3,0	10,0-11,0	0,32-0,34	800-1000

Дефекты точечной сварки и их причины

Дефект	Причина
Перегрев наружных поверхностей заготовок, выплеск	Плохая очистка заготовок; включение тока при недостаточном усилии на электродах; завышены сила тока или время включения; не очищены электроды
Трещины и раковины в ядре точки	Недостаточны время включения, время проковки и усилии на электродах; с запозданием осуществляется проковка повышенным давлением после выключения тока; плохая очистка заготовок
Хрупкость сварного соединения	Интенсивное охлаждение места сварки в результате недостаточного времени включения тока или завышенного времени пребывания детали под электродами после выключения тока
Недостаточная герметичность шовного соединения	Недостаточны ток или время сварочного импульса; большое время паузы между импульсами тока; уменьшение тока вследствие введения в контур машины заготовок из магнитных материалов; плохая очистка заготовок
Глубокие вмятины на поверхности заготовок	Завышена сила сварного тока или время его включения; недостаточные размеры контактной поверхности электродов
Непровар (отсутствие или малые размеры литого ядра)	Недостаточные сила тока или время включения; плохая сборка и очистка заготовок; завышены контактная поверхность электродов или давление; большое шунтирование тока из-за малого шага точек, плохой сборки и очистки заготовок или случайного касания заготовок с токоведущими частями машины

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Контактные машины изготавливаются для стыковой, точечной и шовной сварки. Функциями сварочных машин являются:

- создание усилия осадки при стыковой сварке или давления между электродами при точечной и шовной сварке;
- подвод тока к свариваемым деталям;
- управление последовательностью операций цикла процесса сварки.

Серийные машины для точечной сварки выпускаются мощностью 50, 75, 150 и 200 кВА. Механизм сжатия может быть как электромоторный, так и пневматический. На рис. 15 приведена типовая схема машины для точечной сварки. Машина имеет пневматический механизм сжатия. Машины с пневматическим механизмом сжатия применяются в массовом производстве для сварки однотипных изделий из малоуглеродистых сталей. Однако они могут успешно применяться и в индивидуальном производстве.

Машины снабжаются электронным регулятором времени, управляющим последовательностью работы машины. Управление ходом верхнего электрода, а также создание давления осуществляются пневматическим цилиндром 1, установленном на верхнем, изолированном от корпуса машины, кронштейне 2. Цилиндр имеет два поршня. Штоком нижнего поршня, связанного с ползуном верхнего электрода, осуществляется подъем и опускание электрода, а также создание давления. С помощью верхнего поршня осуществляется регулирование рабочего хода электрода. Регулирование рабочего хода осуществляется подъемом или опусканием верхнего поршня с помощью гаек 3. Давление сжатого воздуха регулируется редуктором давления 4. Управление подачей воздуха в среднюю и нижнюю камеру пневматического цилиндра производится электропневматическим клапаном 5. Дополнительный ход осуществляется ручным клапаном 6 путем подачи или выпуска сжатого воздуха из верхней камеры цилиндра. Для смягчения удара верхнего электрода при его соприкосновении с изделием предусматривается дросселирующий клапан 7. Все токоведущие детали вторичного контура, так же как и вторичный виток сварочного трансформатора, охлаждаются проточной водой. Машины управляются переносной педальной кнопкой 8. При нажатии на педальную кнопку включается электронный регулятор времени, управляющий циклом работы машины, заключающемся в опускании верхнего электрода и сжатии свариваемых деталей, в прохождении тока через детали, выключении тока по окончании установленного промежутка времени, и выдержки деталей под давлением без тока и возвращении электрода в исходное положение. При удержании кнопки в нажатом положении рабочий цикл повторяется, и машина продолжает работать автоматически. Для получения одной сварочной точки педальная кнопка отпускается сразу же после нажатия.

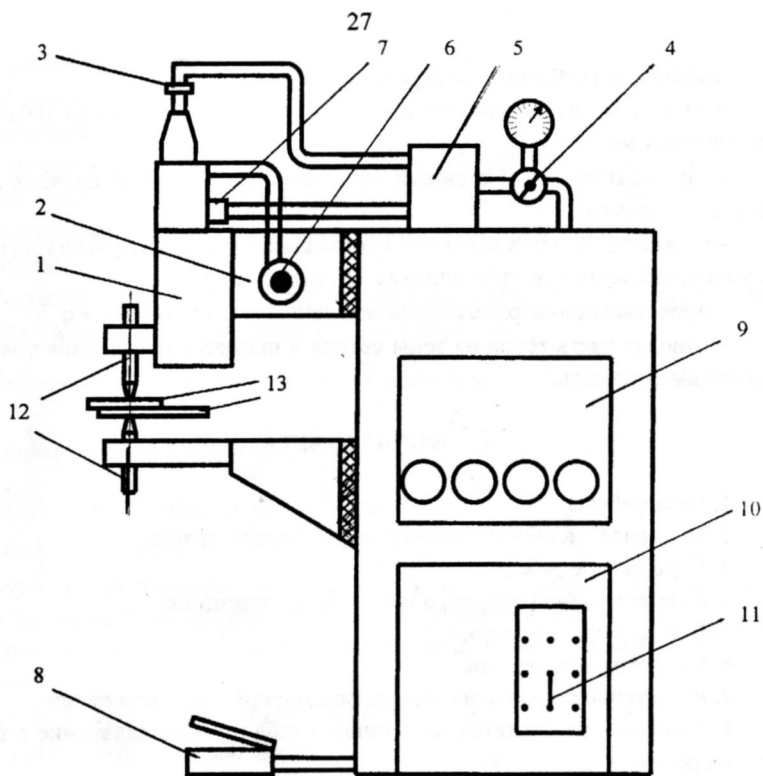


Рис. 5. Типовая схема машины для точечной сварки:

1 – пневматический цилиндр; 2 – изолированный от корпуса кронштейн; 3 – гайка для регулирования хода верхнего поршня; 4 – регулятор давления; 5 – электропневматический клапан; 6 – ручной клапан; 7 – дросселирующий клапан; 8 – pedalная кнопка; 9 – пульт управления; 10 – трансформатор; 11 – регулятор ступени трансформатора; 12 – электроды; 13 – свариваемые детали.

По конструктивному оформлению стандартные машины для шовной сварки близки к машинам для точечной сварки и отличаются от них электродами, выполняемыми в виде роликов, приводимых во вращение с помощью специальных механизмов.

Электроды и ролики контактных машин являются рабочим инструментом. Стойкость электродов и роликов контактных машин определяется материалом и конструкцией инструмента, режимом сварки и условиями охлаждения электродов.

Электроды выполняют следующие функции:

- сжимают детали, обеспечивая надежный контакт между ними перед включением тока;
- подводят ток, необходимый для сварки (в отдельных случаях для подогрева и отпуска);
- сжимают детали в процессе протекания тока и образования литого ядра точки, оказывая при этом влияние на диаметр ядра;
- проковывают сварное соединение после выключения тока;
- отводят часть тепла из зоны сварки в процессе протекания тока и после его выключения.

ФОРМА ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Материалы и оборудование для контактной сварки.
3. Содержание работы.
4. Схема точечной сварки, объяснение ее принципа.
5. Выбор режимов сварки.
6. Циклограмма режима.
7. Испытание прочности сварных соединений при растяжении.
8. Занесение результатов испытаний в таблицу 12 и сравнение с табличными данными (табл. 3–11).
9. Изучение микроструктуры сварного шва и зоны термического влияния и их зарисовка.
10. Выводы о качестве сварных соединений.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Расчет параметров режимов сварки

Диаметр ядра d мм при конической заправке электрода определяется из соотношения

$$d = (2\delta + 3), \text{ мм},$$

а при сферической заправке – диаметр сферы определяется

$$d = (50 \dots 100)\delta, \text{ мм},$$

где δ – толщина более тонкой из свариваемых деталей, мм.

Сила сварочного тока $I_{\text{св}}$ подсчитывается как произведение площади контактной поверхности $F_{\text{эл}}$ на плотность тока j

$$I_{\text{св}} = F_{\text{эл}} \cdot j$$

Плотность тока при сварке малоуглеродистой стали

на жестких режимах $j = 200 \div 400 \text{ А/мм}^2$;

на мягких режимах $j = 80 \div 120 \text{ А/мм}^2$.

Аустенитная нержавеющая сталь типа X18Н9Т лучше сваривается на жестких режимах. Из-за низкой электропроводности плотность тока и сила сварочного тока на 30–40 % ниже, чем при сварке углеродистых сталей той же толщины.

Необходимое усилие сжатия P растет с увеличением толщины деталей S .

Для малоуглеродистой стали $P = (60 \div 20)S$, кг.

Отношение $\frac{P}{S}$ ниже при мягких режимах и малых толщинах.

Удельное давление $p = \frac{P}{F_3}$, кг/мм².

На жестких режимах $p = 5 \div 12 \text{ кг/мм}^2$,

на мягких режимах $p = 3 \div 6 \text{ кг/мм}^2$.

Аустенитная нержавеющая сталь вследствие жаропрочности сваривается при большем удельном давлении на электродах (до 16 кг/мм²).

Время сварки t (с) для малоуглеродистой стали определяется по соотношениям

$t = (0,15 \dots 0,3)\delta$ – при жестких режимах,

$t = (0,8 \dots 1,0)\delta$ – при мягких режимах.

Время сварки t (с) для коррозионно-стойких сталей в два раза меньше, чем при сварке углеродистых сталей.

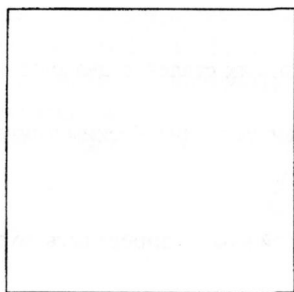
Для алюминиевых сплавов, чувствительным к термическим циклам

$$t_c = (0,15 \div 0,20)\delta, \text{ с}$$

Величину нахлестки свариваемых деталей можно определить по табл. 3.

Результаты исследований

Номер режи- ма сварки	Марка сваривае- мого ма- териала	Тол- щина образ- ца, мм	Режимы сварки					Разру- шающее усилие, σ_B	Характер разруше- ния
			$I_{св},$ кА	$t_{св},$ с	$d_{эл},$ мм	$P_{св},$ кГс	$U_{св},$ В		
	Ст3								
1									
2									
3									
4									
5									
	X18H10T								
1									
2									
3									
4									
5									



Микроструктура сварного шва
и зоны термического влияния

Выводы о качестве сварного соединения:

Работу выполнил студент _____