Контактная сварка

Сущность процесса и разновидности контактной сварки.
Область применения.
Оборудование для точечной, роликовой и стыковой сварки.
Технология контактной сварки.

Контактная сварка относится к способам сварки давлением также как газопрессовая, диффузионная, ультразвуковая, сварка взрывом, трением, холодная сварка.

Контактная сварка – способ соединения деталей путем нагрева их проходящим током до пластического или жидкого состояния с последующей осадкой – сдавливанием заготовок.

Контактная сварка — один из наиболее распространенных и быстро развивающихся способов получения неразъемных соединений самых разнообразных конструкционных материалов в широком диапазоне толщин и сечений.

Широкое использование и перспективы контактной сварки в промышленности, особенно в массовом производстве, обусловлены следующими причинами:

1. Высокой технико-экономической эффективностью и, в частности, очень высокой производительностью процесса, намного превышающей производительность других способов сварки.

2. Возможностью легкой механизации, автоматизации и роботизации процесса сварки

3. Весьма благоприятным термодеформационным циклом, обеспечивающим достаточно высокое качество соединений большинства конструкционных материалов.

4. Высокой культурой и хорошими гигиеническими условиями технологического процесса.

Согласно ГОСТ 2601—84 контактная сварка принадлежит к термомеханическому (термодеформационному) классу способов сварки. Соединение в этом случае, как и при других способах сварки, образуется за счет формирования металлических связей между атомами в зоне контакта соединяемых деталей. При этом затрачивается тепловая и механическая энергия для обеспечения физического контакта и активации соединяемых поверхностей.

Контактная сварка — электротермодеформационный процесс (ГОСТ 2601—84), так как нагрев осуществляется проходящим током за счет выделения теплоты на электрических сопротивлениях разных участков соединения, в частности в общем случае и на контактных сопротивлениях, что послужило причиной появления термина «контактная сварка».

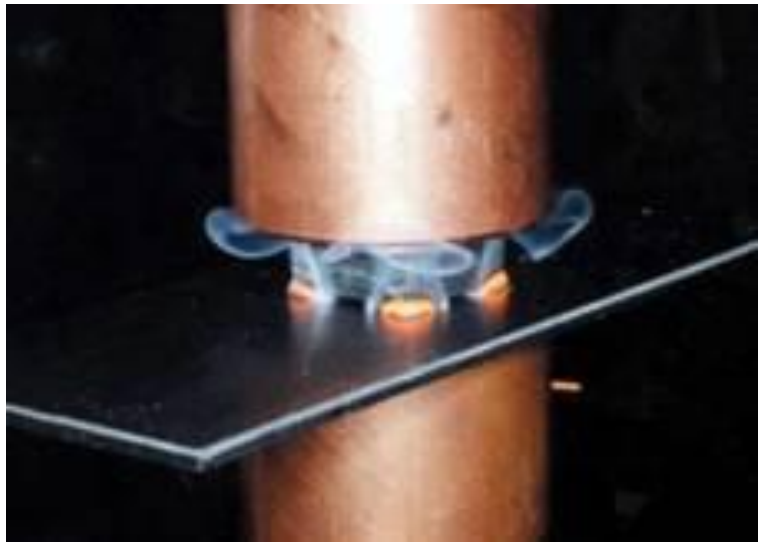
В других странах (США, Япония, Великобритания) для определения этого способа получения соединений используют термин «сварка сопротивлением», который также подразумевает нагрев металла импульсным проходящим током — за счет действия внутренних источников теплоты. Как и при большинстве других наиболее распространенных способах сварки, например дуговой, металл нагревают до расплавления (точечная сварка, стыковая сварка оплавлением и т. п.), что гарантирует удаление поверхностных пленок и образование физического контакта по заданной площади.

Значительная пластическая деформация зоны сварки позволяет получать высокие механические свойства соединений разных конструкционных металлов, обеспечивает надежный электрический контакт между деталями, устойчивость процесса расплавления металла и защиту его от взаимодействия с окружающей средой (контактная точечная и шовная сварка).

Контактная сварки классифицируется по ряду технических и технологических признаков (ГОСТ 19521—74):

- по форме сварного соединения – точечная, рельефная, шовная, стыковая;
- по конструкции соединения (нахлесточное или стыковое);
- по состоянию металла в зоне сварки – с расплавлением металла и без расплавления;
- по способу подвода тока – одно- и двусторонняя;

- по роду сварочного тока и форме импульса тока (переменный – промышленной, повышенной и пониженной частоты, постоянный, униполярный – ток одной полярности с переменной силой в течение импульса);
- по числу одновременно выполняемых соединений – одноточечная, двухточечная, многоточечная, сварка одним или несколькими швами и т.д.;
- по наличию дополнительных связующих компонентов (клея, грунта, припоя и др.);
- по характеру перемещения роликов при шовной сварке – непрерывная (с постоянным вращением роликов) или шаговая (с остановкой роликов на время сварки).



Контактная сварка: принцип работы

Способ работы электрической контактной сварки основан на разогреве металла проходящим по нему током. Количество тепла, выделяемого в металле, определяется законом Джоуля — Ленца:

$$Q = 0{,}24I^2Rt$$

где Q — количество тепла, кал;
I — ток, А;
R — сопротивление на пути тока, Ом;
t — время прохождения тока, сек.

При контактной сварке путь тока неоднороден, особенно большое сопротивление возникает в контакте между свариваемыми частями, поэтому путь тока и прилегающая к нему зона металла разогреваются особенно быстро, интенсивно; в дальнейшем, в ходе контактной сварки и соединения деталей в одно целое, сопротивление контакта постепенно исчезает.

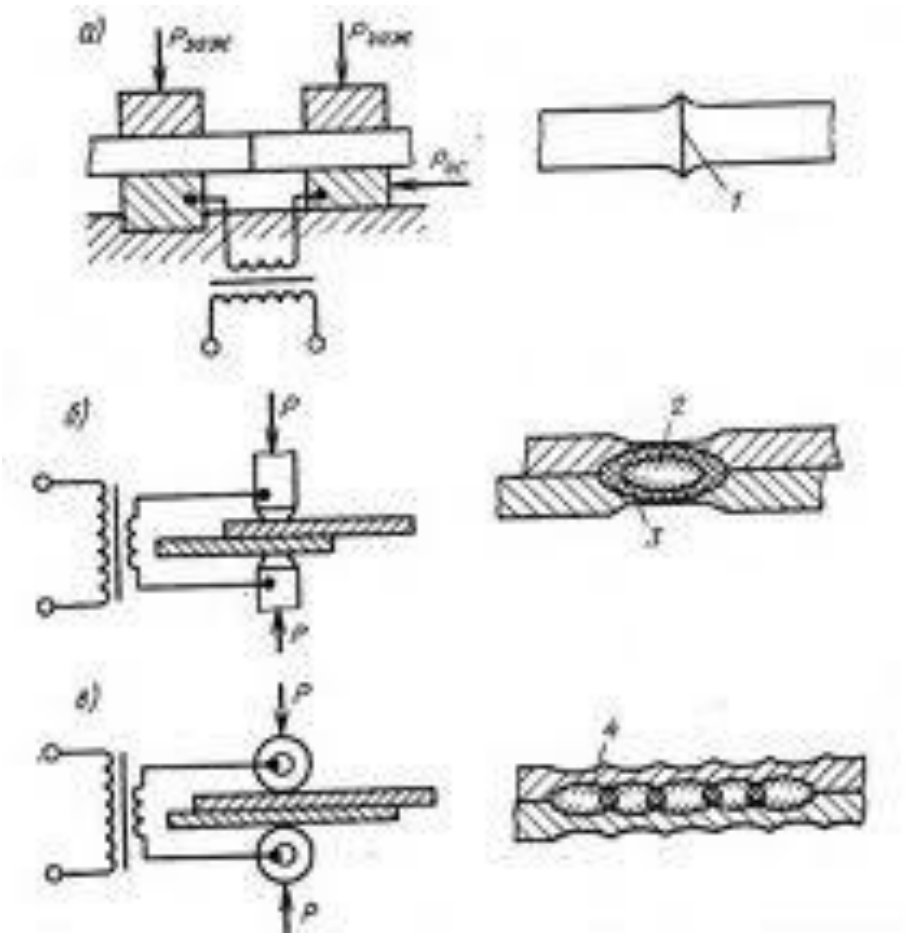
Контактная сварка требует более мощных источников питания

В контактной сварке уже в малых контактных машинах ток измеряется тысячами ампер, а в более крупных — десятками тысяч. В то же время необходимое для контактной сварки напряжение U = JR очень мало и составляет обычно всего несколько (2— 6) вольт. Дело в том, что все металлы имеют большую электропроводность и малое удельное сопротивление, поэтому для быстрого нагрева металла и компенсации потерь тепла необходимо пользоваться большими сварочными токами. Для получения сварочного тока с такими необычными параметрами нужны специальные источники питания. Обычно в подобных случаях пользуются понижающим трансформатором, являющимся источником питания, с большим коэффициентом трансформации, и имеющим всего один виток во вторичной обмотке. При коэффициенте трансформации, равном, например, 100, примерно в 100 раз уменьшается напряжение и во столько же раз увеличивается ток во вторичной обмотке трансформатора, по сравнению с первичной.

Принцип работы сварочного трансформатора в контактной сварке

В сварочном трансформаторе величина сварочного тока может изменяться регулятором, меняющим число включенных витков первичной обмотки и тем самым — коэффициент трансформации и сварочный ток. Включение и выключение сварочного тока производится в первичной цепи прерывателем, такие прерыватели часто имеют сложное устройство, поскольку требуемая точность момента включения достигает сотых и даже тысячных долей секунды. Сварочный трансформатор с регулятором обычно встраивается в корпус машины для контактной сварки и конструктивно составляет с ней одно целое.

Контактная сварка как сварка давлением. Виды контактной сварки

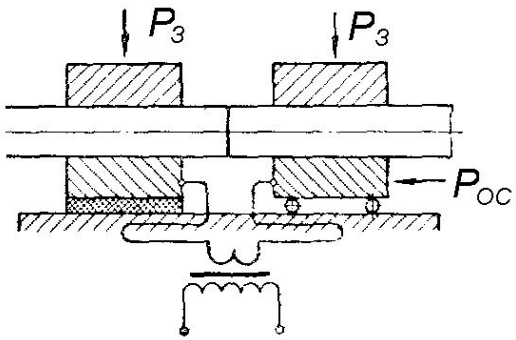


По форме соединения различают такие виды контактной сварки:
стыковую (а),
точечную (б),
шовную (роликовую) (в).

1 – сварной стык; 2 - литое ядро точки; 3 – периферийная зона; 4 – литая зона шва.

Стыковая сварка

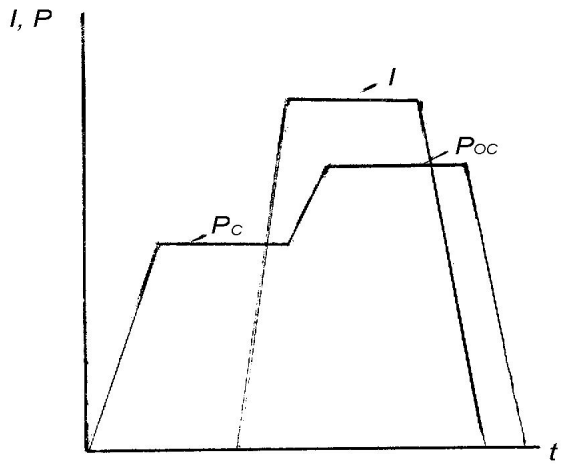
Стыковая сварка – вид контактной сварки, при которой заготовки свариваются по всей поверхности соприкосновения. Применяется при сварке деталей круглого, квадратного, трубчатого поперечного сечения из углеродистых и нержавеющих сталей, меди, латуни.



Свариваемые детали закрепляют в медных зажимах стыковой машины с усилием $P_з$. Один из зажимов установлен на подвижной плите, перемещающейся по направляющим станины, а второй зажим на неподвижной плите. Вторичный виток сварочного трансформатора (вторичная обмотка состоит из одного или двух витков) соединен с зажимами медными гибкими шинами. Питание трансформатора осуществляется от сети переменного тока. Перемещение плиты и сжатие свариваемых деталей осуществляется механизмом осадки $P_{ос}$.

Различают стыковую сварку сопротивлением и стыковую сварку оплавлением.

Стыковая сварка сопротивлением **.**



Циклограмма стыковой сварки сопротивлением

Торцы заготовок тщательно зачищают, заготовки прижимают одна к другой усилием P_C, обеспечивающим образование физического контакта свариваемых поверхностей, и включают ток. После нагрева металла в месте контакта до пластического состояния усилие прижима заготовок повышают до значения P_{OC} – происходит осадка. Осадку начинают при включенном токе и завершают при выключенном. Место соединения после сварки имеет заметное утолщение – грат. Оно получается в результате пластического деформирования металла стыка

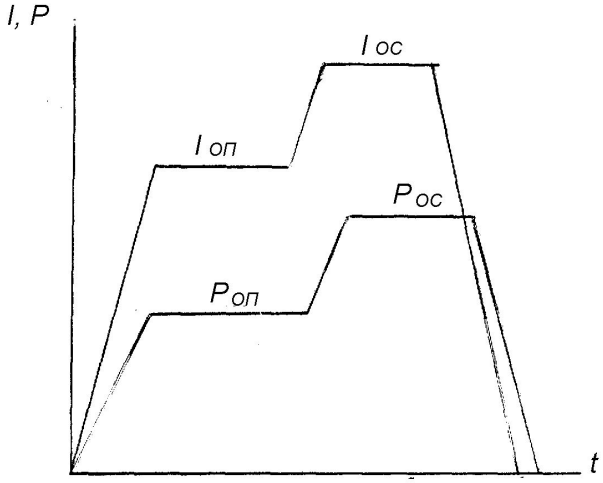
Напряжение колеблется от 5 до 15 В. Давление, создаваемое при осадке P_{OC}=30–50 МПа, рабочий ток 40–50 А/мм^2, вылет заготовок (l) для стали 0,5d, для цветных металлов 2d.

При сварке сопротивлением требуется тщательная подготовка свариваемых поверхностей с обеспечением плотного прилегания одной поверхности к другой.
При сварке сопротивлением обеспечивают равновеликие площади деталей в месте сваривания. Это обеспечивает равномерный нагрев стыка в месте сварки и получение качественного сварного соединения.

Стыковая сварка

Применяется **непрерывное** и прерывистое оплавление.

Стыковая сварка с непрерывным оплавлением. Состоит из двух стадий: оплавления и осадки.

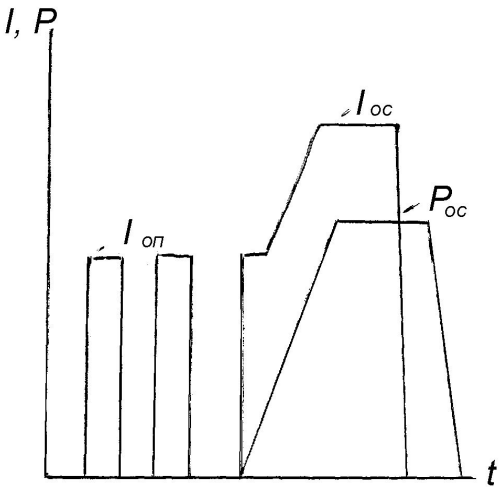


Циклограмма стыковой сварки непрерывным оплавлением

Включают ток $I_{ОП}$ и заготовки медленно сближают. При этом торцы заготовок касаются в нескольких точках. В результате прохождения тока высокой плотности через микронеровности, они мгновенно расплавляются, выбрасывая из стыка мелкие капли расплавленного металла. При дальнейшем сближении заготовок на их торцах возникает тонкий слой расплавленного металла. Затем производят осадку усилием $P_{ОС}$ при токе $I_{ОС}$ и завершают

$I_{ОП}$=10–25 А/мм^2, $I_{ОС}$ в 2–3,5 раза больше. Скорость сближения деталей 0,8–2,5 м/сек, $P_{ОС}$=30–50МПа.

Стыковая сварка с прерывистым оплавлением. Применяют в том случае, когда мощность оборудования недостаточна для сварки непрерывным оплавлением. Свариваемые заготовки периодически замыкают и размыкают при включенном токе $I_{ОП}$, добиваясь оплавления всего сечения торцов. Выдержка при замыкании 0,5–3 сек, при размыкании 2–6 сек. Затем включают ток осадки $I_{ОС}$ и ведут осадку с усилием $P_{ОС}$. В конце процесса сварки ток выключают, давление снимают.



Стыковая сварка с прерывистым оплавлением

При стыковой сварке оплавлением поверхности стыка не требуют особой подготовки, в процессе оплавления выравниваются все выступы и неровности стыка, окислы и загрязнения удаляются вместе с расплавленным металлом. Недостатком способа сварки оплавлением является повышенный расход материалов на оплавление и осадку (припуск 4–18 мм), а также загрязнение машины окислами металлов и шлаком. Трудно наблюдать за процессом из-за сильного искрообразования.

Области применения различных способом стыковой сварки

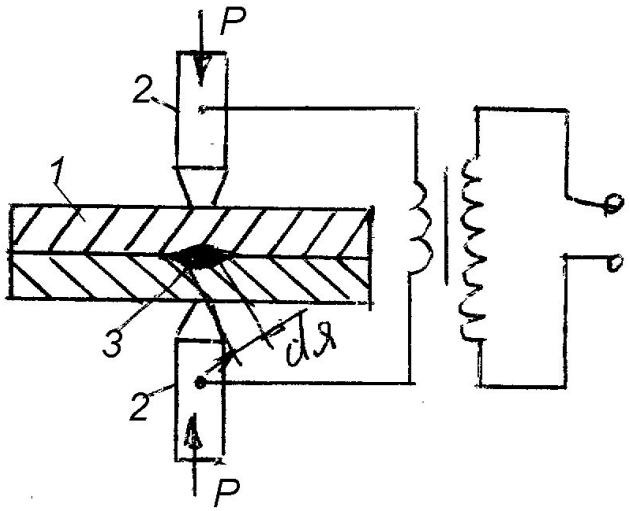
Способ сварки	Металл	Форма сечения	Размеры сечения
Сопротивлением	Сталь, медь, алюминий, их сплавы, нихром	Компактное (круглое, квадратное)	Менее 250 $мм^2$
Непрерывным оплавлением	Сталь, медь, алюминий, их сплавы, др. Ме	Стержни, трубы, уголки и другой профильный прокат, поковки, штамповки	Компактные сечения до 1000$мм^2$; развитые сечения до 4000$мм^2$
Прерывистым оплавлением	Сталь	Стержни, трубы, толстостенный прокат	До 10000 $мм^2$

Сварной стык

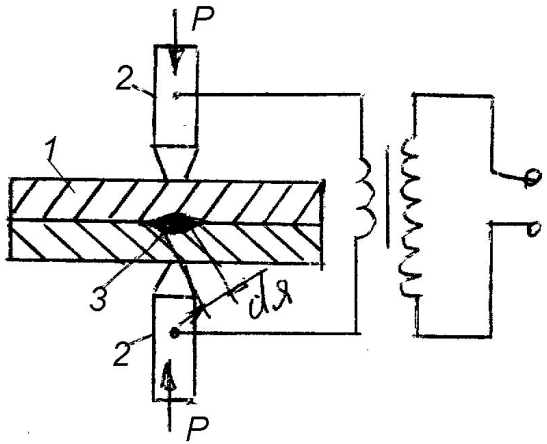
Точечная сварка

Точечная сварка – вид контактной сварки, при котором изделия, наложенные одно на другое, свариваются в отдельных точках. Применяется для изделий, где не требуется герметичность конструкции (для сварки арматуры – каркасы, сетки, кузовов автомашин, листовых конструкция и др.

Толщина каждой из заготовок, соединяемых точечной сваркой, может быть от сотых долей миллиметра до 30 мм.



Свариваемые поверхности очищаются наждаком, травлением и другие способами. Детали 1 устанавливают внахлестку и зажимают с некоторым усилием Р между двумя медными электродами 2. При протекании тока через электроды и свариваемые детали происходит быстрый нагрев металла деталей. Это объясняется тем, что контактное сопротивление между электродом и деталью меньше контактного сопротивления между деталями



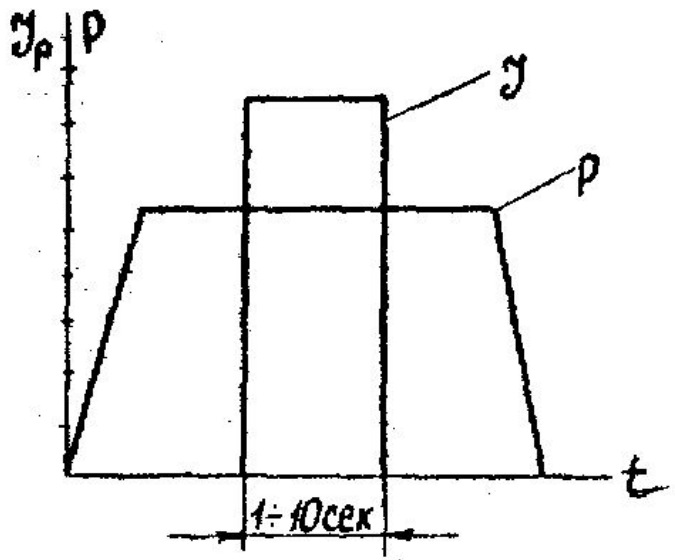
Кроме того, медные электроды охлаждаются водой и интенсивно отводят теплоту от места их контакта с деталью. Нагрев продолжают до пластического состояния внешних слоев и до расплавления внутренних слоев.

. Нагрев деталей заканчивается образованием ядра 3 из расплавленного металла.

После выключения тока заготовки кратковременно выдерживают между электродами под действием усилия. Происходит охлаждение зоны сварки, кристаллизация расплавленного металла.

Наиболее распространены следующие схемы циклограмм точечной сварки.

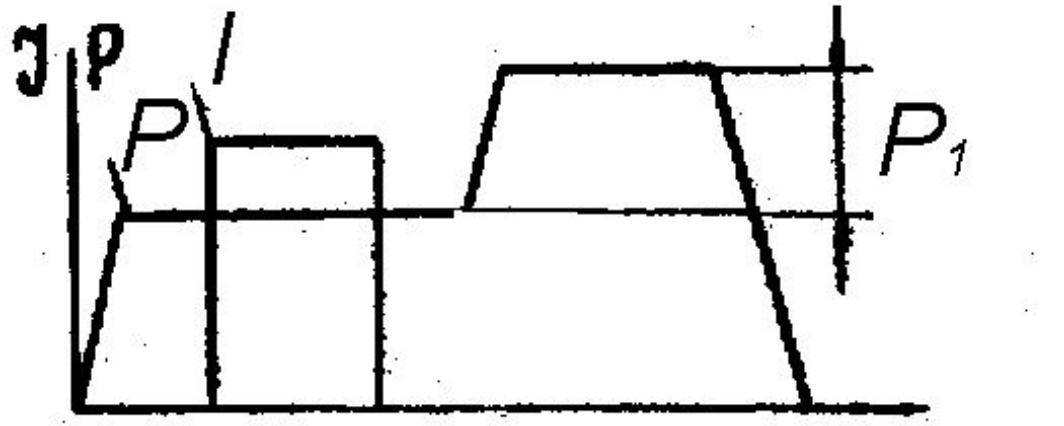
1.Одноимпульсная сварка с постоянным давлением.



одноимпульсная сварка с постоянным давлением

Применяется для сварки низкоуглеродистой стали толщиной до 4–6 мм.

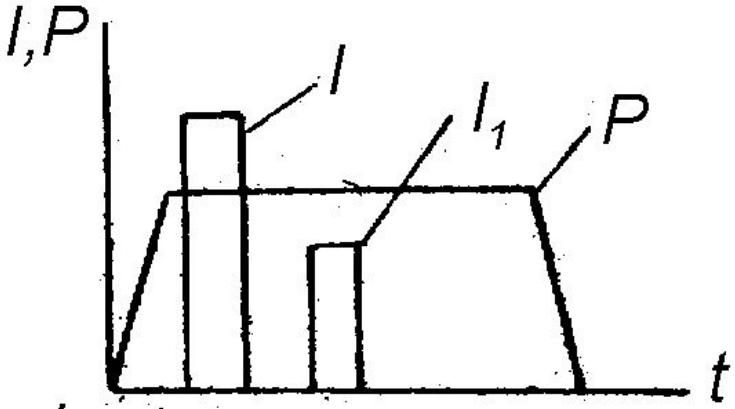
2. *Точечная сварка с применением ковочного давления*. При сварке металлов, склонных при нагреве к росту зерна точечную сварку производят с применением ковочного давления. В этом случае после сваривания деталей давление на электродах повышается и, благодаря этому, происходит дробление зерен металла сварной точки.



P_1- ковочное давление

3. Точечная сварка при постоянном давлении с последующей термообработкой

Применяется для сварки закаливающихся сталей. В этом случае после сварки через детали пропускается еще один импульс тока, который вызывает лишь повторный нагрев сварной точки – термообработку



I - ток сварки

I_1- ток термообработки

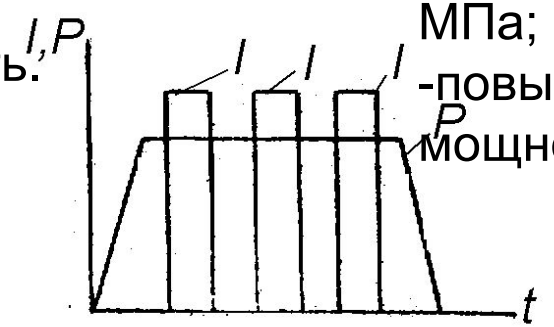
4. Многоимпульсная сварка с постоянным давлением.

Применяется для сварки горячекатаных сталей (покрытых окалиной) толщиной более 5 мм.

Режим точечной сварки может быть мягким или жестким.

Для мягких режимов характерно:
-большая продолжительность протекания сварочного тока 0,2–3 сек;
-небольшая плотность тока 80–160 А/мм^2;
-давление на электроды 15–40 МПа;
-относительно малая потребляемая мощность.

Для жестких режимов характерно:
-малая продолжительность протекания сварочного тока 0,001–0,1 сек;
-большая плотность тока 150–350А/мм^2;
-давление на электроды 40–100 МПа;
-повышенная потребляемая мощность.



многоимпульсная сварка с постоянным давлением

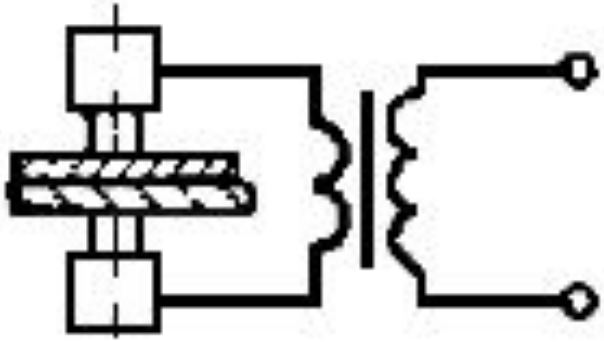
Жесткие режимы используют для сварки высоколегированных (нержавеющих) сталей, цветных металлов и сплавов.

При сварке высоколегированных сталей на мягких режимах возможно выпадение карбидов хрома и потеря коррозионно-стойких свойств металла шва и околошовной зоны. Сварка алюминия и меди на мягких режимах невозможна вследствие большой тепло- и электропроводности этих металлов и неизбежного перегрева околошовной зоны.

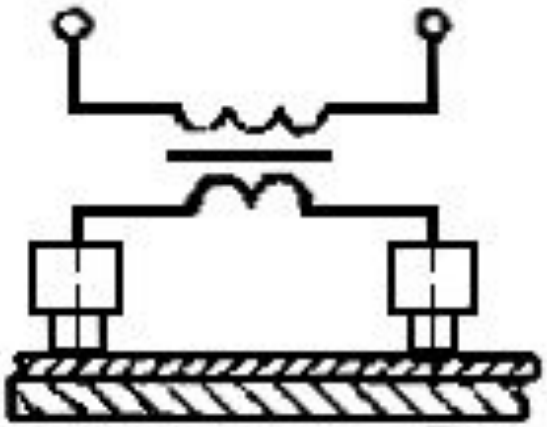
Для повышения производительности в массовом производстве применяют многоточечную сварку.

Способы точечной сварки и их применение

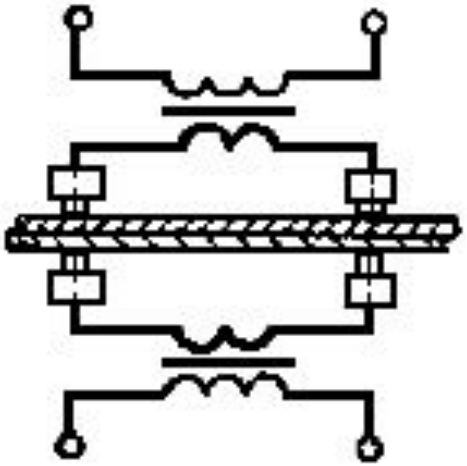
Одноточечная двусторонняя. Наиболее универсальный способ. Сварка различного проката, штамповок из черных и цветных металлов



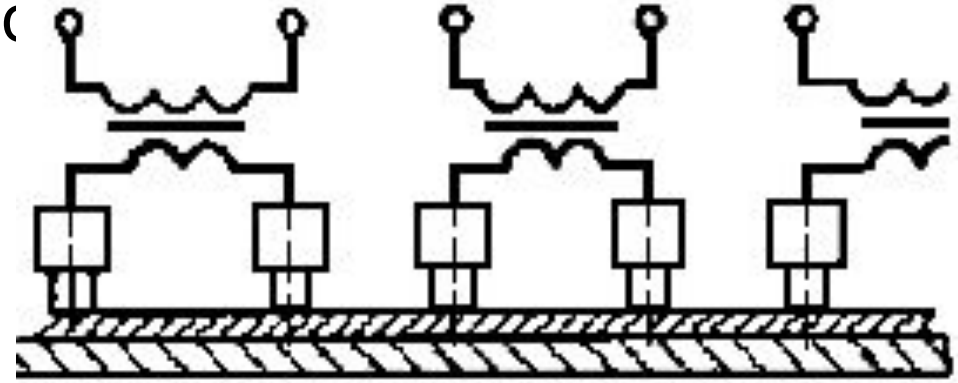
Двухточечная односторонняя. Сварка крупногабаритных изделий; приварка листовой обшивки к каркасу. Часть тока шунтируется через в



Двухточечная двусторонняя. Сварка ответственных крупногабаритных узлов с повышенной толщиной заготовок



Многоточечная односторонняя. Высокопроизводительный способ; применяют в массовом пр



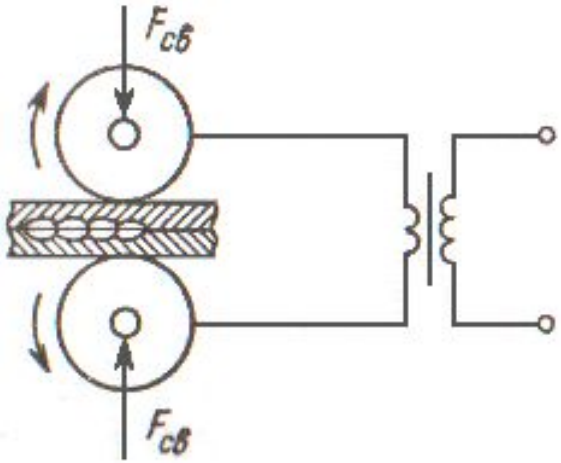
При точечной сварке могут применяться комбинированные соединения (клеесварные и сварно-паяные). Клей и припой вводят под нахлестку для повышения прочности и коррозионной стойкости соединений.

Точечной сваркой можно сваривать листовые заготовки одинаковой или разной толщины, пересекающиеся стержни, листовые заготовки со стержнями или профильными заготовками (уголками, швеллерами, таврами и т.п.).

Точечную сварку применяют для соединения заготовок из сталей различных марок (углеродистой, легированной, нержавеющей, жаростойкой и др.), а также из цветных металлов и их сплавов. Точечной

Шовная сварка

Шовная сварка или роликовая применяется для получения прочных и плотных швов при изготовлении тонкостенных сосудов, предназначенных для хранения жидкостей, газов и других продуктов, а также в производстве тонкостенных труб.



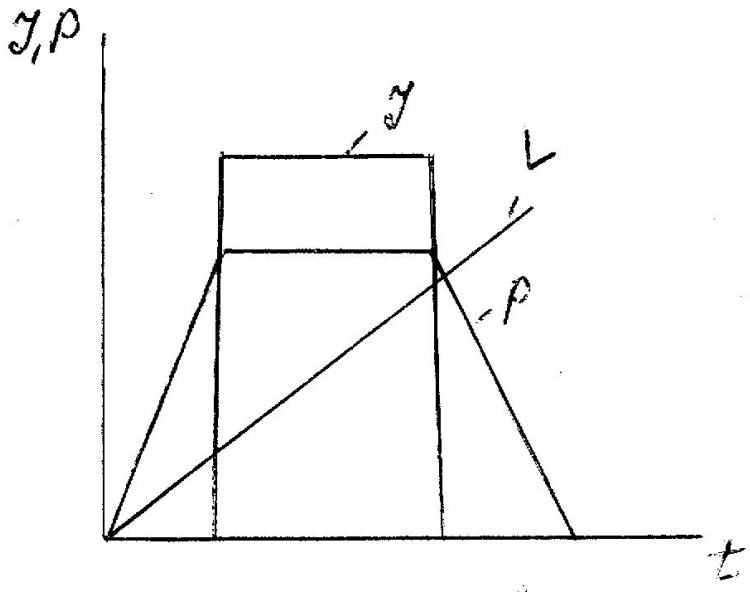
Листы 1 толщиной 0,3–3 мм собирают внахлестку и затем зажимают усилием *P* между двумя медными роликами 2 (электродами), к которым подводят электрический ток от сварочного трансформатора. При протекании тока в сварочной цепи и отсутствии вращения роликов образуется сварная точка. Если роликам сообщить вращательное движение, то точка будет превращаться в сплошной герметичный шов.

Шовную сварку осуществляют на переменном токе силой 2000–5000 А. Диаметр роликов равен 40–350 мм. Усилие сжатия свариваемых деталей достигает 6кН, скорость сварки 0,5–3,5 м/мин.

В практике находят применение следующие способы шовной сварки:

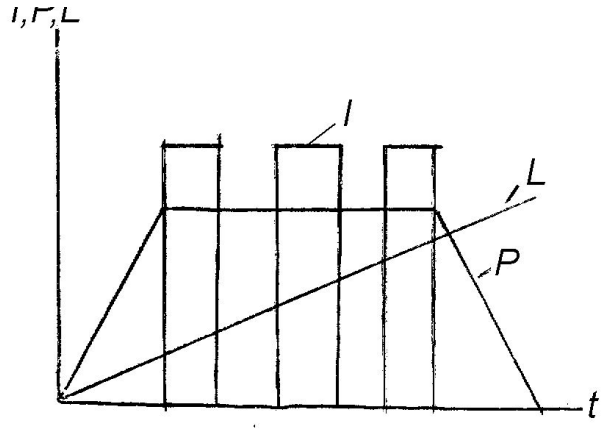
1 *Непрерывная шовная сварка.* Подача тока на ролики и вращение роликов непрерывны (*L*–перемещение роликов).

Такой вид сварки применяют при изготовлении изделий из низкоуглеродистых сталей с толщиной до 1мм. Имеет место перегрев роликов, невысокое качество сварки.

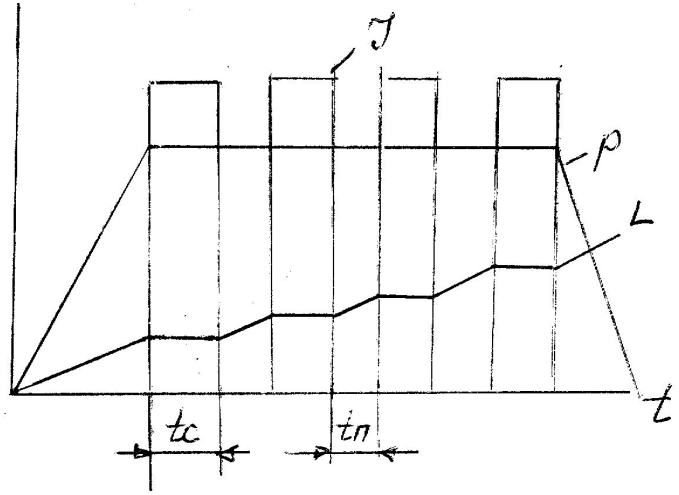


2. *Шовная сварка с прерывистым протеканием тока.* Ролики вращаются непрерывно, а ток подается прерывисто. Вследствие этого в месте сварного соединения образуется ряд непрерывных точек, из которых каждая предыдущая перекрывается последующей.

Применяется при сварке длинных швов на заготовках из нержавеющих сталей, цветных металлов при толщине заготовки не более 3 мм. Продолжительность включения тока составляет 0,02–0,12 сек; время перерывов между включениями 0,02–0,35 сек.



3. *Шаговая шовная сварка*. Вращение роликов осуществляется при выключенном токе, а включение тока – при неподвижных роликах. Применяется при сварке алюминия и его сплавов с толщиной листа до 3 мм, а также плакированных металлов. Сваривают стальные листы с покрытием – оцинкованные, луженые, освинцованные и др.

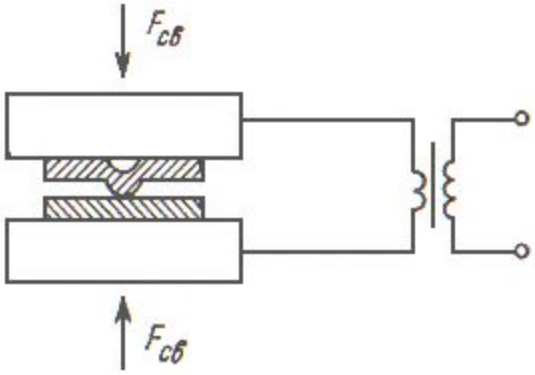


tc - время включения тока, сек
tп - время раузы, сек

Контактная рельефная сварка

Рельефная сварка – способ контактной сварки, при котором соединение деталей происходит на отдельных участках по заранее подготовленным или естественным выступам.

При рельефной сварке на поверхности одной из свариваемых деталей предварительно формируют выступ (рельеф) круглой, продолговатой, кольцевой или иной формы, который ограничивает начальную площадь контакта деталей, в результате чего при сварке в этой зоне повышаются плотность тока и скорость тепловыделения. При нагреве рельеф постепенно деформируется; на определенной стадии формируется ядро (точка), как при обычной точечной сварке. Часто на поверхности детали выполняют несколько рельефов.



Спасибо за внимание!