Глава 24. Термомеханические методы сварки

24.1. Контактная сварка

Контактная сварка относится к одному из наиболее распространенных видов сварки. Различают несколько способов контактной сварки: точечная, шовная, стыковая, рельефная.

Точечная сварка. При этой сварке детали собираются внахлестку и свариваются по отдельным ограниченным участкам касания, называемым точками. Для производства сварки детали плотно прижимаются между электродами сварочной машины (рис. 24.1), затем нагреваются кратковременным импульсом электрического тока. Часть металла под влиянием давления электродов вытесняется в зазор, создавая уплотняющий поясок. В последующем образуется расплавленное ядро, оксидные пленки разрушаются и перемешиваются с жидким металлом. Дальнейшее пластическое истечение металла в зазор увеличивает уплотняющий поясок вокруг жидкого ядра и препятствует его выдавливанию, а также защищает расплавленный металл от взаимодействия с атмосферой.

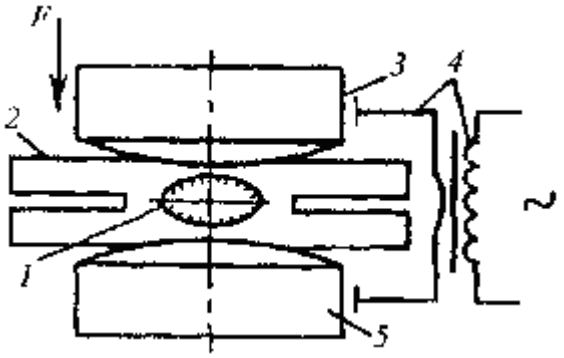

Рис. 24.1. Схема точечной сварки:
1— литое ядро, *2* — свариваемые детали, *3* — верхний электрод, *4* — трансформатор, *5* — нижний электрод

После выключения сварочного тока происходит интенсивная кристаллизация ядра, завершающаяся образованием монолитного соединения обеих деталей в точке касания.

Для того чтобы в период кристаллизации непрочная точка не была разрушена вследствие упругих сил конструкции, давление с электродов не снимается, причем чем больше толщина металла и жесткость свариваемого узла, тем больше время выдержки точки под давлением.

Кроме того, при кристаллизации происходит усадка металла и в нем могут образовываться усадочная рыхлость и раковины. В это же время в ядре возникают растягивающие напряжения, которые могут стать причиной образования трещин. Создание в центре ядра за счет давления электродов зоны сжимающих напряжений позволяет снизить вероятность образования трещин. Она еще более снизится в случае приложения ковочного усилия, т. е. резкого (в 2—3 раза) увеличения давления на электродах на завершающей стадии сварки.

Последовательность включения и выключения сварочного тока и давления составляет цикл сварки. Простейший цикл изображен на рис. 24.2, *а*, цикл с проковкой — на рис. 24.2, *б*.

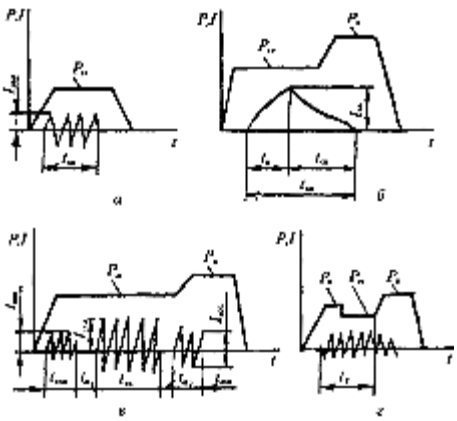

Рис. 24.2. Циклограммы точечной сварки:
а — простейший цикл; б — с проковкой; в — трехимпульсный цикл, г — с увеличением давления в начальный период или уменьшением давления в момент протекания тока; $I_{св.д}$— действующее значение тока, $I_{под}$ — ток импульсного подогрева; $I_{доп}$— ток дополнительного импульса, $t_н$— длительность нарастания импульса, $t_{под}$ — длительность импульса подогрева; $t_{сп}$ — длительность спада импульса, tn_1 и tn_2 — длительность пауз; $P_{св}$ — длительность сварочного импульса, $P_н$ — начальное усилие; $P_к$ — ковочное усилие

Существуют и более сложные циклы. Так, для уменьшения скорости охлаждения металла при сварке сталей, склонных к закалке, во избежание образования трещин применяют двух- и трехимпульсную сварку. При двухимпульсной сварке первый импульс служит для подогрева металла в месте контакта. Это снижает скорость охлаждения металла и повышает его пластичность. Кроме того, в результате нагрева улучшается прилегание свариваемых деталей друг к другу. Возможна двух-импульсная сварка, когда первый импульс является сварочным, а второй — дополнительным для термообработки сварной точки. Высокого качества можно достичь применяя трехимпульсную сварку, при этом последовательно осуществляются подогрев, сварка и после нее термообработка (рис. 24.2, *в)*.

Значения силы тока, давления и характер их изменения являются важнейшими параметрами режимов сварки. Так, например, между количеством выделяемой теплоты на основании закона Джоуля—Ленца и силой тока имеется квадратичная зависимость. Поэтому даже небольшие колебания силы сварочного тока существенно изменяют количество выделяемой в сварочном контакте теплоты.

На силу сварочного тока, проходящего через место сварки, оказывает влияние шунтирование тока через соседние, уже сваренные точки. Чем меньше расстояние между точками, которое назначает конструктор исходя из требуемой прочности сварного узла, и чем толще свариваемые детали, тем больше потери на шунтирование. Они возрастают и в случае повышенного контактного сопротивления из-за плохой подготовки поверхности деталей под сварку или при малом давлении на электроды. Существуют рекомендации по минимально допустимой величине расстояния между точками в зависимости от марки и толщины свариваемых материалов. Ориентировочно можно считать, что минимальное расстояние между точками для деталей из низколегированных сталей должно быть равно 3—4 диаметрам точки, из хромоникелевых сталей — на 15—20% меньше, из алюминиевых—на 25—30% больше.

На силу сварочного тока влияет введение в сварочный контур больших магнитных масс, особенно в случае сварки крупногабаритных изделий. Индуктивное сопротивление сварочного контура определяют по уравнению

$$X_L = 2\pi fL,$$

где f— частота тока, Гц; $L = (\mu_0/\pi)k$ — индуктивность контура, Гн;

μ_0 = 1,256·10^6 Г/см — магнитная проницаемость воздуха; k — величина, определяемая геометрическими параметрами.

Так как магнитная проницаемость стали $\mu > \mu_0$, то с введением в контур магнитных масс индуктивность L начнет возрастать, а вместе с этим увеличиваться и индуктивное сопротивление X_L. Следовательно, по мере перемещения свариваемых деталей внутрь контура сварочный ток будет уменьшаться, что приведет к снижению прочности точек. Избежать последнего можно соответствующим увеличением потребляемой электрической мощности из сети. Следует так проектировать сварные конструкции, чтобы в процессе сварки их можно было перемещать поперек сварочного контура, тогда изменение индуктивности будет незначительным.

Снижение индуктивного сопротивления вторичной цепи достигается применением трехфазной низкочастотной сварки. Как видно из формулы индуктивного сопротивления, уменьшение частоты f приводит к уменьшению индуктивного сопротивления.

Значительно уменьшаются потери на индуктивность, а значит, и потребляемая мощность при сварке на постоянной силе тока, вследствие включения во вторичный контур сварочной машины полупроводниковых выпрямителей.

На образование соединения оказывает существенное влияние общее сопротивление R зоны сварки на участке электрод—электрод (см. рис. 24.1). Его можно представить как

$$R = R_п + R_п^1 + R_д + R_д^1 + R_к,$$

где $R_п$, $R_п^1$ — переходное сопротивление соответственно между верхней деталью и электродом и нижней деталью и электродом; $R_д$, $R_д^1$ — сопротивление верхней и нижней деталей соответственно; $R_к$ — сопротивление контакта между деталями. Если свариваются одинаковые толщины и материалы, то

$$R = 2R_п + 2R_д + R_К.$$

Установлено, что основная роль в выделении теплоты принадлежит сопротивлению деталей $R_д$,и $R_д^1$ (кроме микросварки, где сопротивление деталей и контактное сопротивление соизмеримы).

Если сопротивление деталей является величиной постоянной, то сопротивление контакта между деталями RK, оказывающее определенное влияние на процесс сварки, зависит от многих факторов, в том числе от физических свойств металла, состояния поверхности деталей в месте их контакта, давления на электродах, их формы.

При сварке сплавов, обладающих высокой электро- и теплопроводностью, например алюминиевых, необходимо увеличить тепловыделение в зоне контакта при прохождении электрического тока, чего можно добиться уменьшением в этот момент давления на электродах и увеличением таким образом контактного сопротивления (рис. 24.2, г). Такой характер изменения давления способствует также увеличению эффекта проковки.

Чтобы уменьшить вредное влияние переходного сопротивления Rп, торцы электродов периодически защищают, с поверхности свариваемых деталей оксиды и различного рода загрязнения удаляют механической зачисткой или химическим травлением. Электроды изготавливают из сплава, хорошо проводящего электрический ток, позволяющего получить малую величину сопротивления в контакте электрод—деталь. Для повышения стойкости электроды изнутри охлаждают водой.

Режим точечной сварки выбирают на основании отраслевых стандартов, инструкций и рекомендаций. На практике он корректируется в зависимости от влияния ряда факторов.

Довольно распространенным случаем при точечной сварке является сварка двух деталей разных толщин. Неодинаковая толщина свариваемых деталей приводит к смещению ядра точки к центру деталей. Для обеспечения минимальной глубины проплавления более тонкой детали, составляющей не менее 15% ее толщины, следует принимать меры к увеличению ее нагрева. Это достигается применением со стороны тонкой детали (или детали с меньшим электросопротивлением) электрода из менее теплопроводного материала или подбором специальных прокладок между электродом и указанными деталями, а также размещением между деталями прокладок из материала с более высоким электросопротивлением.

Некоторые изменения режимов точечной сварки, ее технологии приходится

осуществлять при использовании клеесварных соединений. Применяются клеи, которые могут наноситься как после, так и до сварки. При сварке по клею следует помнить, что сварка и исправление дефектных точек должны быть закончены до затвердения клея, т. е. в течение нескольких часов. Клеи могут быть холодного или горячего отверждения. Последние требуют после завершения сварки специальной термообработки для протекания полимеризации клея. Указанные клеи более долговечны и надежны, чем клеи холодного отверждения, и поэтому нашли большее применение.

Основным типом соединения при точечной сварке является нахлесточное. В соответствии с особенностями технологии точечной сварки и применяемым оборудованием необходимо проектировать сварные узлы так, чтобы магнитные массы, вводимые в контур, были минимальными. С этой точки зрения конструкция а целесообразнее конструкции б (рис. 24.3), так как во втором случае изделие при сварке обязательно должно вводиться внутрь сварочного контура, тогда как в первом имеется возможность перемещения свариваемых деталей поперед сварочного контура. Конструкция узла г менее распространена, чем конструкция в, из-за необходимости применения электрода сложной формы, более трудоемкого в изготовлении.

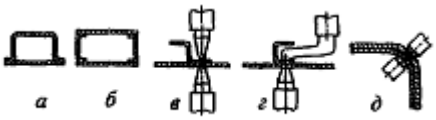

Рис. 24.3. Примеры рациональных (а, в) и нерациональных *(б, г, д)* конструкций узлов для точечной сварки

Конструкция узла *д* является типичным примером нерационального расположения сварной точки в месте, где практически невозможно обеспечить плотное прилегание свариваемых деталей.

В ряде конструкций затруднен доступ к свариваемым деталям с двух сторон. Для таких случаев применяется односторонняя точечная сварка (рис. 24.4), позволяющая не только сваривать конструкции с затрудненным доступом с двух сторон, но обладающая и другим достоинством — габариты изделия почти не влияют на размеры сварочных машин и величину индуктивного сопротивления вторичного контура, которые в процессе односторонней сварки практически постоянны.

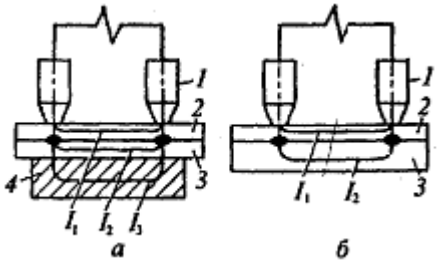

Рис. 24.4. Схема односторонней точечной сварки при одинаковой (а) и разной (б) толщине деталей: 1 — сварочные электроды; 2 — верхняя деталь; 3 - нижняя деталь; 4 — медная прокладка; I1 -шунтирования; I2— ток, проходящий через нижнюю деталь; I3 — ток, проходящий через медную шину

Двух- или многоточечная сварка способствует увеличению производительности сварки. Осуществить это можно применяя специальные машины, имеющие две (или более) пары сваривающих электродов. Сваривать ими можно с очень высокой производительностью (50 000 точек в час и выше). В многоточечных машинах прижатие электродов осуществляется последовательно или одновременно всех сразу. В последнем случае деформации сварного узла получаются меньше и такая схема более предпочтительна.

Кроме стационарного оборудования для точечной сварки применяют различные переносные устройства типа клещей и пистолетов. Основная область их использования — сварка тонколистовых конструкций в труднодоступных местах.

Разновидностью контактной точечной сварки является рельефная сварка, характер образования сварного соединения при которой во многом сходен с точечной сваркой. Сварка в

данном случае происходит по предварительно подготовленным в металлических изделиях выступам.

Обычно на поверхности деталей выполняется несколько рельефов или один выступ замкнутой формы в виде кольца. В первом случае детали соединяются одновременно в нескольких точках, во втором — образуется непрерывный герметичный шов (контурная рельефная сварка). Рельефная сварка применяется для деталей небольших размеров из-за значительной потребляемой мощности. Одним из вариантов рельефной сварки является Т-образная сварка, при этом к плоским деталям привариваются детали типа стержня с закругленным концом.

Точечная сварка широко применяется для сварки конструкций и узлов из сталей, титановых, алюминиевых и медных сплавов.

Шовная сварка обеспечивает соединение элементов внахлестку вращающимися дисковыми электродами в виде непрерывного или прерывистого шва. Принципиальные схемы двусторонней и односторонней сварки приведены на рис. 24.5. В зависимости от характера вращения роликов различают непрерывную и шаговую (прерывистую) шовную сварку.

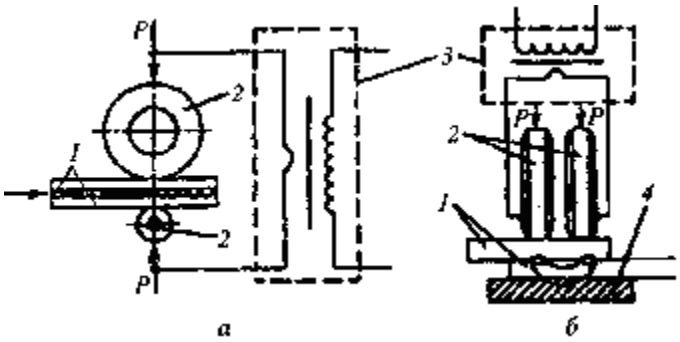

Рис. 24.5. Схема шовной двусторонней (а) и односторонней (б) сварки: 1 — свариваемые детали; 2 — сварочные ролики; 3 — сварочный трансформатор; 4 — медная прокладка

При непрерывной сварке ток подается при вращающихся роликах непрерывно или в виде импульсов при постоянном давлении на электродах.

Импульсная подача тока по ряду позиций является более оптимальной. Точка в этом случае образуется при прохождении каждого отдельного импульса. Перемещение свариваемых деталей и частоту импульсов надо подбирать так, чтобы точки перекрывали друг друга на
30—50 %, тогда соединение получится плотным. При большой скорости перемещения деталей и малой частоте импульсов можно получить прочные, но не герметичные швы, аналогичные швам, получаемым при точечной сварке.

При сварке некоторых материалов, прежде всего алюминиевых сплавов, рекомендуется шаговая (прерывистая) сварка. Она заключается в том, что в период подачи сварочного тока дисковые электроды (ролики) неподвижны относительно изделия, а перемещение изделия происходит путем периодического поворота электродов на небольшой угол в паузах между импульсами тока. Такой режим сварки ускоряет кристаллизацию точки, улучшает условия охлаждения роликов, уменьшает их износ, стабилизирует качество точки.

Давление на электродах может быть постоянным или увеличиваться в конце сварки. Последнее позволяет осуществлять проковку точки.

Из-за значительного шунтирования через ранее сваренные точки при шовной сварке требуются большие мощности, чем для точечной. С учетом более жестких режимов при шовной сварке и шунтирования сила тока по сравнению с точечной выбирается на 20—60% больше.

Типы соединений, рекомендуемые для шовной сварки, аналогичны тем, которые применяются для точечной сварки. Основное из них — нахлесточное, которое варьируется в зависимости от конструкции изделий. Некоторое ограничение в выборе вида соединения сужает область применения шовной сварки.

Шовная сварка, как и точечная, из-за использования в изделиях нахлесточных соединений приводит к увеличению расхода металла и массы конструкций.

Стыковая сварка — это контактная сварка, при которой соединение свариваемых деталей происходит по поверхности стыкуемых торцов. По характеру протекания процесса образования соединения стыковая сваркаможет быть сваркой сопротивлением или сваркой оплавлением. Последняя, в свою очередь, подразделяется на сварку с прерывистым и непрерывистым оплавлением. Принципиальная схема стыковой сварки приведена на рис. 24.6.

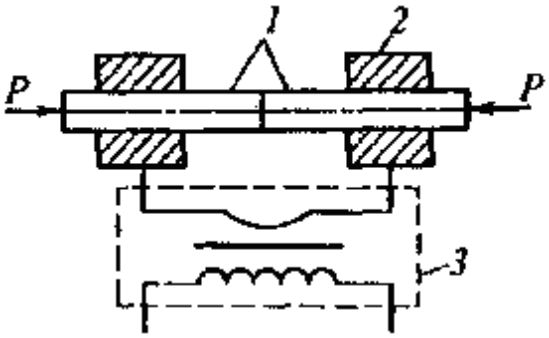

Рис. 24.6. Схема стыковой сварки:
1 — детали; *2* — зажимные губки; *3*— сварочный трансформатор

При сварке по методу сопротивле- ния нагрев металла осуществляется без оплавления соединяемых торцов, кото- рые хорошо подгоняют друг к другу по- средством механической обработки. Де- тали перед сваркой приводят в соприкосновение и пропускают через них сварочный ток. Нагревание места сварки до температуры (0,8—0,9)$T_{пл}$ происходит в основном теплотой, выделяемой в зоне контакта и в свариваемых деталях.

После нагревания сварочного стыка до пластического состояния ток выключается и производится осадка деталей, при этом скорость сближения резко увеличивается, в результате чего торцы деталей пластически деформируются и в месте их соприкосновения образуется сварное соединение в твердом состоянии.

Определенную трудность при сварке сопротивлением представляет удаление стыка из оксидных пленок, 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 включенном 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.

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.

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

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. Если детали имеют разное сечение, необходимо изменением конструкции одной из них добиться более близких по характеру условий теплоотвода при сварке.

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

Стыковая сварка в настоящее время 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 ее существенно выше.

24.2. Конденсаторная сварка

Конденсаторная сварка является разновидностью контактной сварки и отличается от рассмотренных методов источником энергии. По виду свариваемых соединений она может быть точечной, шовной и стыковой.

На рис. 24.7 приведена принципиальная схема конденсаторной точечной сварки. Схемы шовной и стыковой сварок не приводятся, так как они отличаются только рабочим инструментом. От сварочного трансформатора T_1 через выпрямитель В заряжается батарея конденсаторов С, при этом переключатель П замыкается на контакт K_1 а после зарядки конденсаторов — на контакт K_2.

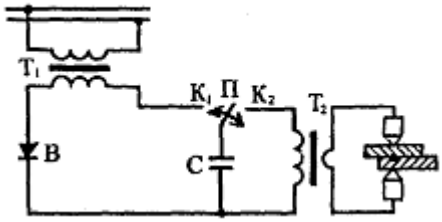

Рис. 24.7. Принципиальная схема точечной конденсаторной сварки

В результате этого происходит разрядка конденсаторной батареи на первичную обмотку сварочного понижающего трансформатора T_2. Магнитное поле, возникающее вокруг этой обмотки, пересекает витки вторичной обмотки и наводит в ней ЭДС; в сварочной цепи протекает ток в течение времени, соответствующего времени разрядки. Количество энергии $A_к$, накопленной конденсаторром, зависит от его емкости С и напряжения U:

$$A_к = \frac{CU^2}{2}.$$

При конденсаторной сварке время протекания тока измеряется сотыми и даже тысячными долями секунды.

При сварке деталей разных толщин параметры режима определяют исходя из толщины наиболее тонкой детали. Конденсаторная сварка преимущественно применяется для сварки деталей малых толщин.

Кроме сварки деталей малых толщин конденсаторные машины, работающие на принципе использования накопления энергии, оказались эффективными там, где требуются большие мощности, например при сварке алюминиевых сплавов.

24.Э. Диффузионная сварка

Диффузионная сварка деталей происходит в твердом состояний вследствие возникновения связей на атомарном уровне, появившихся в результате максимального сближения контактных поверхностей за счет локальной пластической деформации при повышенной температуре, обеспечивающей взаимную диффузию в приповерхностных слоях соединяемых материалов.

Свариваемые детали сдавливают с небольшим усилием и нагревают. Процесс сварки последовательно включает в себя возникновение и развитие физического контакта, активацию контактных поверхностей, взаимодействие атомов, в результате чего между ними устанавливаются связи, приводящие к образованию монолитного соединения.

К режимам диффузионной сварки относятся: температура нагрева, удельное давление при сварке, время выдержки, а также степень вакуумирования.

Повышение температуры сварки, как известно, способствует увеличению поверхности соприкосновения деталей из-за увеличения пластичности металла. Кроме того, с повышением температуры увеличивается скорость диффузии атомов, ускоряются процессы очистки поверхности металлов от оксидов.

Обычно температуру нагрева при диффузионной сварке выбирают в интервале $(0{,}4—0{,}8)T_{пл}$ Однако металлы, склонные к увеличению зерна при нагреве, сваривают при более низких температурах. Кроме того, стремятся снизить температуру сварки тонких деталей во избежание их

деформаций. В таком случае необходимая прочность соединения достигается увеличением продолжительности нагрева. Сварка разнородных материалов производится при температуре, выбираемой в соответствии с температурой плавления наиболее легкоплавкого материала.

Удельное давление при диффузионной сварке не должно вызывать заметных пластических деформаций деталей. Максимальное усилие *P*, с которым можно сдавливать детали, ориентировочно определяют, зная площадь соприкосновения деталей и среднее значение предела текучести при температуре сварки:

$$P = \sigma_T F.$$

Среда, в которой происходит диффузионная сварка, в значительной мере влияет на сварное соединение, поэтому она чаще всего осуществляется в вакууме, имеющем хорошие защитные свойства: не только исключается окисление и взаимодействие с азотом при сварке, но и удаляются оксидные пленки.

Преимущества диффузионной сварки определяются отсутствием плавления металла при сварке, незначительными изменениями свойств основного металла, минимальными остаточными напряжениями и деформациями; большей точностью изготовления узлов, чем при сварке плавлением; малой вероятностью образования трещин; возможностью сварки разнородных металлов.

24.4. Индукционно-прессовая (высокочастотная) сварка

Максимальную плотность переменный ток имеет на поверхности проводника, которая нагревается больше, чем внутренние слои металла. При индукционно-прессовой и радиочастотной сварке этот эффект может быть использован для местного нагрева деталей, причем чем больше частота тока, тем эффективнее поверхностный нагрев:

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \nu \mu}},$$

где Δ — глубина проникновения тока; *f* — частота тока; ν — удельная электропроводимость металла, детали; μ — магнитная проницаемость проводника.

Индукционная сварка (рис. 24.8, *а)* заключается в нагреве свариваемых кромок индуктором *2*. Частота тока в зависимости от используемых типов генератора равна 2,4—8,5 кГц. Нагретые кромки заготовки сжимаются с помощью роликов *3*, которые и завершают процесс сварки. При индукционной сварке плавления кромок не происходит, поэтому оксиды из стыка в момент сдавливания не могут удаляться, что ограничивает ее применение при сварке низкоуглеродистых сталей.

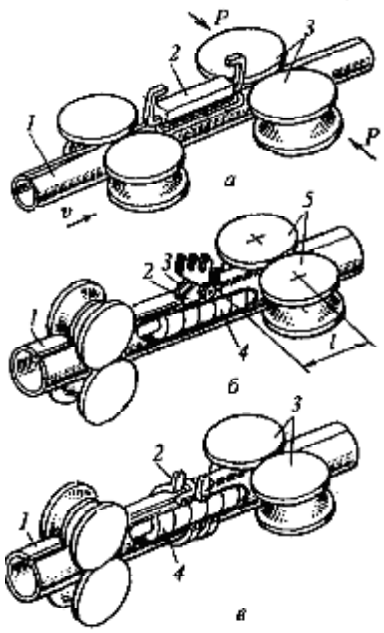

Рис. 24.8. Схема сварки труб: *а* — индукционная; *б, в* — радиочастотная

Сварка токами радиочастоты (частота 70—450 кГц) производится подводом энергии через скользящие контакты (рис. 24.8, б) или с помощью индуктора *2* (рис. 24.8, *в).*

При радиочастотной сварке (рис. 24.8, *б)* контакты *2 и 3* скользят по поверхности движущейся заготовки *1,* формируемой из ленты с помощью прижимных роликов 5 в специальной установке. Ток подводится к каждой кромке через свой скользящий контакт от генератора радиочастоты.

В заготовках ток проходит по свариваемым кромкам до места их соприкосновения, оплавляет их, обеспечивая требуемый нагрев перед осадкой кромок прижимными роликами. Другой возможный путь для тока — по окружности заготовок. Однако при малом расстоянии от токопроводов до места контакта заготовок удается добиться такого положения, при котором сопротивление току по окружности заготовок будет больше, чем по свариваемым кромкам, и потери на шунтирование оказываются незначительными.

Сварка с подводом тока через скользящие контакты применяется для тонкостенных заготовок. Недостатком ее является необходимость иметь контакты, касание которых с поверхностью движущейся заготовки может нарушаться, в результате поверхность контактов и заготовок подплавляется. Контакты, кроме того, приходится часто заменять.

При радиочастотной сварке по второй схеме (см. рис. 24.8, в) трубная заготовка *1* является как бы вторичным витком трансформатора, концы которого замыкаются через свариваемые кромки в месте их соприкосновения. Под действием высокочастотного поля индуктора *2* в заготовке наводится ЭДС и индуцируется ток. Проходя по заготовкам, ток в месте их соприкосновения оплавляет кромки, которые свариваются в результате их сближения под действием прижимных роликов *3.* Для усиления магнитного поля в заготовки может вставляться ферритовый стержень *4.*

Сварка по второй схеме применяется для толстостенных заготовок сравнительно малого диаметра, так как в противном случае возрастают потери при прохождении тока в заготовках.

Радиочастотная сварка высокопроизводительна, скорость ее достигает 0,25 м/с и более. Вследствие малой глубины проникновения тока металл расплавляется непосредственно у поверхности кромок, зона термического влияния мала и деформации в связи с этим получаются незначительными.

Радиочастотной сваркой можно сваривать низко- и высокоуглеродистые, легированные стали, алюминий, медь, латунь, титан и цирконий. Ее применяют при изготовления труб диаметром от 10—12 до 1000—1200 мм как прямым, так и спиральным швом, а также трубных заготовок для последующего получения из них сильфонов различного назначения, волноводных трактов антенных устройств и т. п. Применяется эта сварка и для изготовления изделий более сложной конфигурации.

Контрольные вопросы

1. Приведите сравнительные характеристики термических и термомеханических способов сварки.
2. Какие факторы могут повлиять на прочность точки при контактной сварке?
3. Каковы особенности технологии сварки клеесварных соединений?
4. Назовите способы повышения производительности точечной сварки.
5. Чем объяснить повышенные затраты энергии при роликовой сварке по сравнению с точечной?