МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

Абралов М.А., Дуняшин Н.С.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине «Основные способы сварки, наплавки и пайки» для подготовки бакалавров по специальности 5522700-«Машины и технология сварочного производства»

ТАШКЕНТ 2002

УДК 621.791.1

Конспект лекций по дисциплине «Основные способы сварки, наплавки и пайки» для подготовки бакалавров по специальности «Машины и технология сварочного производства»/ ТашГТУ; Абралов М.А., Дуняшин Н.С. Ташкент, 2002. 123 с.

Курс «Основные способы сварки, пайки, наплавки, напыления и склеивания» по учебному плану читается в 6 семестре бакалавриата.

В этом конспекте изложены основные вопросы теории и элементов технологии современных процессов сварки, пайки, напыления, наплавки и склеивания в объеме, необходимом для изучения студентами высшего специального заведения по специальности бакалавриата «Машины и технология сварочного производства»

Кафедра «Машины и технология сварочного производства»

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ташкентского государственного технического университета

Рецензент: главный сварщик ГАО ТАПОиЧ Сорокин Г.В.

© Ташкентский государственный технический университет, 2002

Введение

Производственное использование некоторых простейших способов сварки началось еще в глубокой древности. Уже в бронзовом веке возникает искусство соединения металлов. Способы сварки развивались очень медленно и часто трудно уловить на протяжении столетий сколько-нибудь заметные изменения методов и технических приемов сварки, применяемых приспособлений и оборудования.

Резкий перелом в этой области техники наступает лишь в конце XIX - начале XX века.

В 1802 г. русский ученый - академик В.В. Петров открыл явление электрической дуги и впервые указал на возможность при помощи ее нагревать и расплавлять металлы.

В 1882 г. русский инженер Н.Н. Бенардос изобрел способ электродуговой сварки неплавящимся угольным электродом, а в 1888 -1890 гг. другой русский инженер Н.Г. Славянов предложил выполнять дуговую сварку плавящимся металлическим электродом. Способы Н.Н. Бенардоса и Н.Г. Славянова являются основой современных видов электросварки металлов.

Особенные заслуги в области электродуговой сварки механизации и автоматизации ее процесса принадлежат русскому ученому академику Е.О. Патону. Во время Второй Мировой войны автоматическая сварка под слоем флюса была широко освоена на наших оборонных заводах и сыграла большую роль в увеличении производства танков и артиллерийского вооружения.

Быстрое развитие промышленности и всех отраслей техники вызвало появление новых средств нагрева, пригодных для сварки металлов, таких, например, как электрический ток, дуговой разряд, ацетилено-кислородное пламя, термитные смеси, электронный луч, лазер, высокотемпературная плазма, ультразвук и др. и соответственно новых эффективных способов сварки.

Лекция № 1. Классификация и характеристика способов сварки.

1.1. Сущность процесса сварки

Сварка - это технологический процесс получения неразъемных соединений металлов, сплавов и различных материалов посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании. Она широко применяется в машиностроении, металлообработке и строительной промышленности для соединения металлов и сплавов между собой и с неметаллическими материалами (керамикой, стеклом, графитом, керметами, кварцами и т.п.), а также для соединения пластических масс.

В настоящее время насчитывается несколько десятков способов сварки и их разновидностей. Все сварочные процессы можно разделить на два основных способа: 1) сварка плавлением и 2) сварка давлением.

При сварке плавлением производится расплавление кромок свариваемых заготовок и присадочного материала для заполнения зазора между ними. Подвижность атомов материала в жидком состоянии приводит к объединению частей деталей в результате образования общей сварочной ванны. В результате кристаллизации металла сварочной ванны совместно с оплавленными кромками изделия и возникновения сварного шва образуется прочное соединение.

При сварке давлением соединение заготовок достигается путем совместной пластической деформации соединяемых поверхностей, осуществляемой за счет приложения внешнего усилия; при этом материал в зоне соединения, как правило, нагревают с целью повышения его пластичности. В процессе деформации происходит смятие неровностей, разрушение окисных пленок, в результате чего увеличивается площадь соприкосновения чистых поверхностей. Возникновение межатомных связей приводит к прочному соединению деталей.

1.2. Физические основы сварки

Сваркой материалов называется процесс их соединения за счет сил взаимодействия атомов. Как известно, поверхностные атомы куска металлов имеют свободные, ненасыщенные связи, которые захватывают всякие атомы или молекулу, прибли-

зившиеся на расстояние действия межатомных сил. Если сблизить поверхности двух кусков металла на расстояние действия межатомных сил, на каком они находятся внутри металла, то получим по поверхности соприкосновения сращивание их в одно целое, равное прочности цельного металла. Процесс соединения протекает самопроизвольно без затрат энергии и весьма быстро, практически мгновенно.

Обычные металлы при комнатной температуре не соединяются не только при простом контакте, но и при сжатии значительными усилиями. Соединению твердых металлов мешает, прежде всего, их твердость, при их сближении действительный контакт происходит лишь в немногих точках, как бы тщательно она не была обработана.

На процесс соединения сильно влияют загрязнения поверхности металлов - окислы, жировые пленки и пр., а также адсорбирующие слои молекул газов, и сколько-нибудь длительно сохранить ее можно лишь в высоком вакууме (не менее $1\text{-}10^{-8}$ мм рт.ст.).

Для преодоления приведенных затруднений при сварке применяют нагрев и давление.

При нагреве с повышением температуры металл становится пластичным. Дальнейшим повышением температуры металл можно довести до расплавления; в этом случае объемы жидкого металла самопроизвольно сливаются в общую сварочную ванну.

Давление, прилагаемое к соединяемым частям, создает значительную пластическую деформацию металла, и он начинает течь подобно жидкости. Металл перемещается вдоль поверхности раздела, унося с собой поверхностный слой с загрязнениями и пленками адсорбированных газов; в тесное соприкосновение вступают выходящие на поверхность свежие слои и образуют одно целое. В зависимости от способа сварки в металле происходят процессы пластической деформации или расплавления, сопровождающиеся образованием растворов, химических соединений, процессов кристаллизации из жидкого состояния и др.

Особенностью металлургических процессов при сварке плавлением являются весьма высокие температуры и кратковременность всех процессов, что и приводит к изменению структуры металлов в зоне термического влияния.

На рис. 1.1. показана структура зоны влияния (строение сварного шва) после затвердевания и распределения температуры малоуглеродистой стали в зоне термического влияния. Наплавленный металл имеет столбчатое (дендритное) строение, характерное для литой стали при ее медленном затвердевании. Если наплавленный металл или соседний с ним участок неполного расплавления был сильно перегрет, то при сильном охлаждении на участке перегрева, зерна основного металла имеют игольчатую форму, образуя грубоигольчатую структуру. Этот участок имеет крупнозернистую структуру и обладает наибольшей хрупкостью и весьма низкими механическими свойствами. На участке нормализации температура металла не превышает 1000°С, здесь имеет место нормализация или измельчение зерна. За время нагрева не успевает произойти срастание зерен аустенита, а при последующем охлаждении происходит выпадение мелких зерен перлита и феррита. Структура получается мелкозернистой с повышенными механическими свойствами по сравнению с основным металлом.

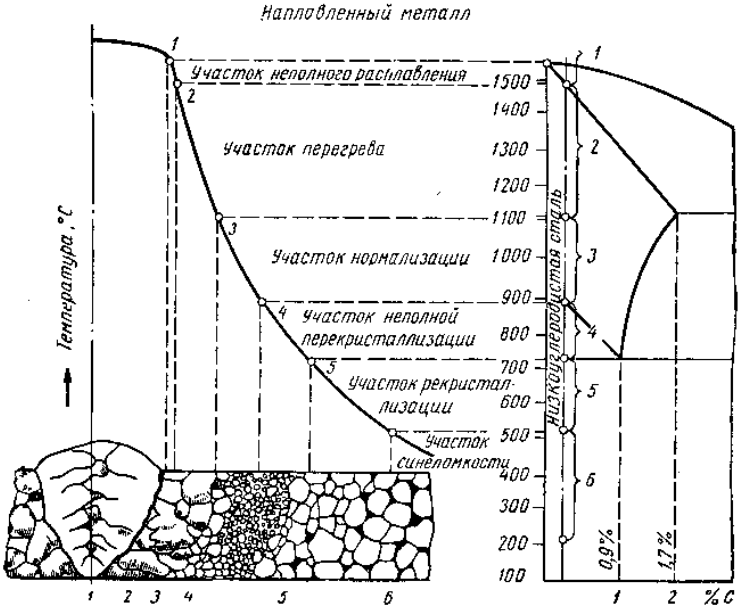


Рис. 1.1. Строение сварного шва после затвердевания и распределения температуры малоуглеродистой стали в зоне термического влияния.

На участке неполной перекристаллизации происходит неполная перекристаллизация стали, т.к. температура нагрева находится между критическими точками A_{C1} и A_{C3}. На этом участке, наряду с крупными зернами феррита, образуются и мелкие зерна феррита и перлита. На участке рекристаллизации температура нагрева не достигала точки A_{C1}, поэтому не происходило образование - железа, растворения перлита и измельчения зерна, но здесь шел процесс рекристаллизации, т.е. восстановления приблизительно равноостных зерен из деформированных зерен и их осколков, образованных в процессе прокатки металла. На участке 6 структура стали не отличается от структуры основного металла.

1.3. Классификация способов сварки

Способы сварки можно классифицировать, например, по виду энергии, используемой при сварке, по степени механизации процесса сварки, по виду свариваемого металла и т.п. Вполне совершенной системы классификации, охватывающей все способы сварки, не существует. Принято все существующие способы сварки делить на две большие группы: 1) сварка плавлением; 2) сварка давлением. В классификации (ГОСТ 2601-74 и 10521-74), показанной на рис. 1.2., каждый из методов сварки разделен на несколько способов.

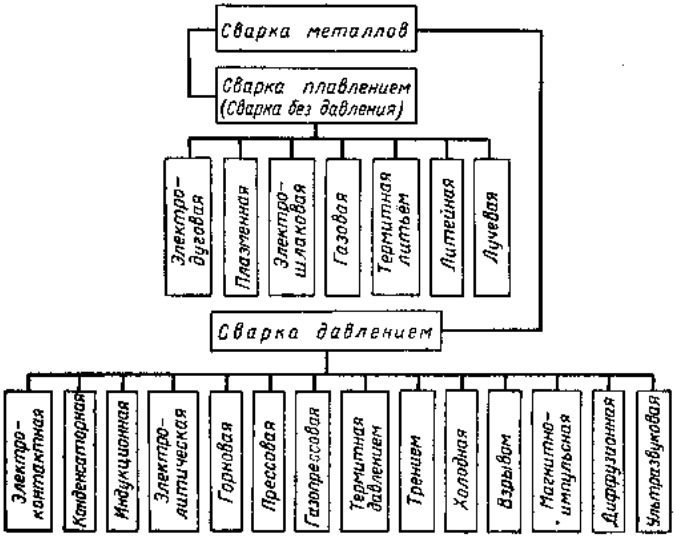


Рис. 1.2. Классификация способов сварки.

По виду энергии, применяемой при сварке, все способы сварки можно разделить на четыре группы (рис. 1.3.).

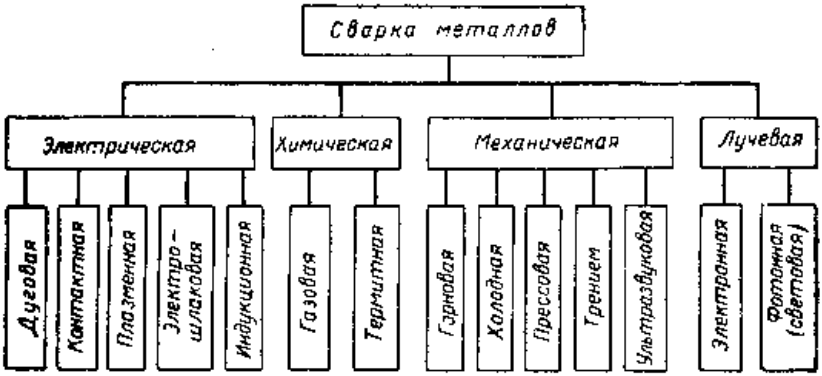


Рис. 1.3. Энергетическая классификация процессов сварки.

В зависимости от способа подачи присадочного металла и флюсов к месту сварки (соединения деталей), осадки деталей и управления источником тепла различают ручной, полуавтоматический и автоматический способ.

1.4. Понятие о свариваемости металлов и сплавов

В современном машиностроении, наряду с обычной малоуглеродистой сталью широко применяют металлы и сплавы, обладающие высокими механическими или специальными физическими свойствами, как жаропрочность, коррозионная стойкость и т.д. Несмотря на высокие эксплутационные свойства этих материалов, сварка их в большинстве случаев связана с определенными трудностями.

Под свариваемостью понимают свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Следствием плохой свариваемости металлов являются трещины в сварных соединениях, которые разделяются на горячие и холодные. Трещины образуются в результате действия сварочных напряжений в период времени, когда отдельные зоны сварного соединения находятся в разупрочненном и хрупком состоянии.

Горячие трещины образуются главным образом в сварных швах различных сплавов в процессе их кристаллизации в некотором интервале температур ($T_{ликвид}$-$T_{солид}$). Во время пребывания шва в температурном интервале кристаллизации он находится в твердожидком состоянии, т.е. состоит из твердых кристаллов, окруженных жидкими прослойками. В ряде случаев сварочные деформации и напряжения оказываются достаточными, чтобы вызвать разрушение по жидким межкристаллическим прослойкам, т.е. привести к образованию горячих трещин. Горячие трещины наблюдаются в высоколегированных сталях, алюминиевых и медных сплавах.

Холодные трещины чаще всего возникают в зоне термического влияния после полного затвердевания сварного шва в период завершения охлаждения или последующего вылеживания сварной конструкции.

Холодные трещины возникают под действием остаточных сварочных напряжений. Холодные трещины образуются в сталях перлитного и мартенситного классов, если в процессе сварки происходит частичная или полная закалка металлов в зоне термического влияния.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение процессу сварки.

2. В чем состоит принципиальное отличие сварки плавлением от сварки давлением?

3. Что мешает соединению твердых металлов при приложении к ним давления без нагрева?

4. Какой участок в зоне термического влияния сварного соединения обладает пониженными механическими свойствами по сравнению с основным металлом?

5. По каким параметрам можно классифицировать существующие способы сварки?

6. Какие факторы влияют на свариваемость металлов?

Лекция № 2. Дуговая сварка.

2.1 Ручная дуговая сварка.

Ручная дуговая сварка – дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача электрода и его перемещение проводятся вручную.

При РДС зажигание дуги, поддержание ее длины во время сварки, перемещение вдоль свариваемых кромок и подача электрода в зону горения дуги по мере его расплавления осуществляется сварщиком вручную. Качество сварки соединения во многом зависит от квалификации сварщика: умения быстро зажигать дугу, поддерживать необходимую ее длину, равномерно перемещать дугу вдоль свариваемых кромок, выполнять требуемые колебательные движения электрода при сварке, сваривать шов в разных пространственных положениях.

По количеству электродов РДС подразделяется на одно-, двух- и многоэлектродную (пучком электродов). По роду применяемого тока: на сварку при постоянном и переменном токе. Сваривать можно однофазной и трехфазной дугой.

Наиболее широкое применение получила сварка металлическим плавящимся электродом на переменном или постоянном токе.

Другие методы РДС применяются или для повышения производительности труда (например, сварка пучком электродов), или для получения определенных типов швов сварных соединений (например, при сварке с отбортовкой кромок), или при сварке легированных сталей, цветных металлов и их сплавов (например, сварка вольфрамовым электродом).

2.1.1. Свариваемые материалы.

С помощью РДС сваривают стали: углеродистые обыкновенного качества (ГОСТ 380-88), углеродистые качественные конструкционные стали (ГОСТ 1050-74), низколегированные (ГОСТ 19282-73; ГОСТ 19281-73); легированные конструкционные (ГОСТ 4543-71); высоколегированные (ГОСТ 5632-72). Кроме того, с помощью РДС возможна сварка чугуна и цветных металлов (Al, Cu и их сплавов).

2.1.2. Электроды для РДС.

Для РДС плавящимся электродом применяют электроды, представляющие собой стержни из сварочной проволоки (длиной 0,225-0,450 м) с электродным покрытием.

Покрытие наносят с целью:

1) защиты зоны сварочной дуги от воздействия O_2 и N_2 воздуха;

2) поддержания устойчивого горения дуги;

3) образование на поверхности сварочной ванны и металла шва слоя шлака, защищающего ванну от доступа воздуха и замедляющего охлаждение шлак;

4) раскисления металла шва и его легирования.

2.1.3. Режимы РДС.

При РДС режим сварки включает: $d_э$, $I_{св}$, $U_{св}$, $v_{св}$, род и полярность тока и др.

Величину $I_{св}$ выбирают в зависимости от типа сварочного соединения, марки и толщины металла, положения шва в пространстве и т.д. (25-300А)

Напряжение дуги при РДС изменяется в сравнительно узких пределах и выбирается на основании рекомендаций технической документации для данной марки электрода.

Скорость сварки выбирают с учетом необходимости получения слоя наплавленного металла, имеющего определенную площадь поперечного сечения.

Род и полярность тока зависят от толщины металла и марки электрода.

Прямая полярность – полярность, при которой электрод присоединяется к отрицательному полюсу источника питания дуги, а объект сварки – к положительному.

Обратная полярность – полярность, при которой электрод присоединяется к положительному полюсу источника питания дуги, а объект сварки – к отрицательному.

2.2. Дуговая сварка в защитных газах.

Дуговая сварка в защитном газе – дуговая сварка, при которой дуга и расплавленный металл, а в некоторых случаях, и остывающий шов, находятся в защитном газе, подаваемом в зону сварки с помощью специальных устройств.

2.2.1. Классификация процессов дуговой сварки в защитных газах.

Разновидности дуговой сварки в защитных газах можно классифицировать по следующим признакам, как:

1) по типу защитных газов:

а) в инертных газах:

- аргоне (Ar);
- гелии (He);
- смеси Ar +He;

б) в активных газах:

- CO_2;
- N_2 – используют для сварки меди, по отношение к которой азот является инертным газом;
- H_2 – используют для атомно-водородной сварки;
- H_2O;
- CO_2+O_2;

в) в смеси инертного и активного газов:

- Ar + (10 – 30 % N_2) – добавка N_2 к аргону способствует повышению проплавляющей способности дуги при сварке меди и некоторых марок аустенитной нержавеющей стали;
- Ar + до 12 % H_2;
- Ar + (1 – 5 % O_2) – при сварке малоуглеродистой и легированной стали понижает критический ток, при котором капельный перенос металла переходит в струйный, что позволяет увеличить производительность сварки и уменьшить разбрызгивание металла;

- Ar + (10 – 20 % CO_2) – при сварке малоуглеродистой и низколегированной стали способствует устранению пористости в сварных швах;

- Ar + 5 % O_2 + 20 % CO_2 – обеспечивает высокую стабильность дуги с плавящимся электродом при сварке стали, минимальное разбрызгивание металла, хорошее формирование шва, отсутствие пористости;

2) по характеру защиты зоны сварки:

а) струйная защита;

б) комбинированная струйная защита;

в) камера с контролируемой атмосферой;

3) по роду тока:

а) постоянным током;

б) переменным током;

в) трехфазным током;

4) по типу электрода:

а) неплавящимся электродом;

б) плавящимся электродом;

5) по степени автоматизации процесса сварки:

а) ручная;

б) полуавтоматическая;

в) автоматическая.

2.2.2. Преимущества сварки в защитных газах:

1) возможность металлургического воздействия на металл шва за счет регулирования состава проволоки и защитного газа;

2) широкие возможности механизации и автоматизации сварочного процесса;

3) высокая производительность сварочного процесса.

2.2.3. Способы сварки в среде защитных газов.

а) Сварка в защитных газах неплавящимся электродом– это процесс, в котором в качестве источника тепла применяют дуговой разряд, возбуждаемый между вольфрамовым или угольным (графитовым электродом и изделием.

Для сварки в среде инертных газов применяются электроды Ш 0,5-10 мм из чистого вольфрама (ЭВЧ), вольфрама с присадками: диоксида тория (ЭВТ), оксида лантана (ЭВЛ) и иттрия (ЭВИ). Диаметр вольфрамового выбирают в зависимости от величины сварочного тока. Электроды марок ЭВЛ и ЭВИ выдерживают большую токовую нагрузку и имеют повышенную эрозион-

ную стойкость при сварке по сравнению с электродами марки ЭВЧ.

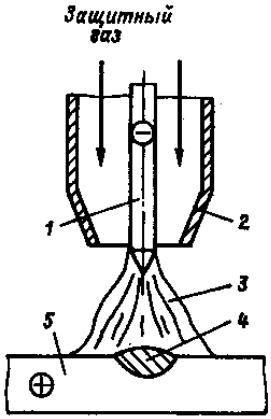


Рис. 1.Схема процесса сварки в среде защитных газов неплавящимся электродом:

1 – вольфрамовый электрод; 2 –сопло; 3 – дуга; 4 – металл шва; 5 – изделие.

б) Сварка в защитных газах плавящимся электродом – дуговая сварка, выполняемая электродом, который, расплавляясь при сварке, служит присадочным металлом.

При сварке плавящимся электродом в защитных газах дуговой разряд существует между концом непрерывно расплавляемой проволоки и изделием. Проволока подается в зону сварки с помощью механизма со скоростью равной средней скорости ее плавления; этим поддерживается постоянство длины дугового промежутка. Расплавленный металл электродной проволоки переходит в сварочную ванну и таким образом участвует в формировании шва.

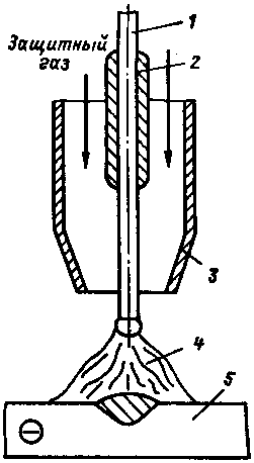


Рис 2. Схема процесса сварки в среде защитных газов плавящимся электродом:

1 – электрод; 2 – цанга; 3- сопло; 4 – дуга; 5 – металл.

К основным параметрам режима сварки плавящимся электродом относятся:

1) сварочный ток, зависящий от диаметра электрода и состава проволоки;

2) напряжение на дуге;

3) скорость сварки (обычно 15-80 м/ч) выбирают в зависимости от производительности и качества формирования шва;

4) скорость подачи сварочной проволоки;

5) расход и состав защитного газа.

Контрольные вопросы:

1. От каких факторов зависит качество сварного соединения при ручной дуговой сварке?

2. По каким параметрам можно классифицировать процессы ручной дуговой сварки?

3. Какие группы конструкционных материалов можно сваривать ручной дуговой сваркой?

4. С какой целью наносится покрытие на электроды для ручной дуговой сварки?

5. По каким признакам можно классифицировать процессы дуговой сварки в защитных газах?

6. Какие параметры входят в режим дуговой сварки в среде защитного газа?

Лекция № 3.Дуговая сварка под флюсом. Электрошлаковая сварка.

3.1. Дуговая сварка под флюсом.

Дуговая сварка под флюсом – дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса.

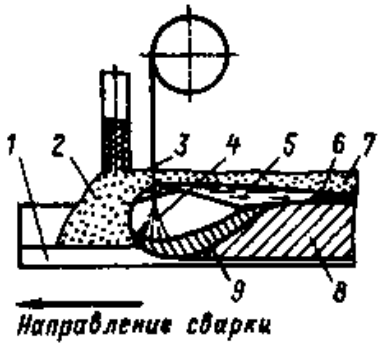


Рис. 3.1. Схема сварки под флюсом:

1 – свариваемые детали; 2 – слой флюса; 3 – сварочная проволока; 4 - сварочная дуга; 5 – расплавленный флюс; 6 – шлаковая корка; 7 – остаток флюса; 8 – сварочный шов; 9 – сварочная ванна.

Сварочная дуга 4 горит между изделием 1 и концом сварочной проволоки 3. Под воздействием дуги проволока плавится и по мере расплавления подается в зону сварки. Дуга закрыта слоем флюса 2. Сварочная проволока (а вместе с ней и дуга) перемещается в направлении сварки с помощью специального механизма (автоматическая сварка) или вручную (полуавтоматическая сварка). Под влиянием теплоты дуги плавится также основной металл и флюс. Расплавленные проволока, флюс и основной металл образуют сварочную ванну. Флюс в виде жидкой пленки 5 покрывает зону сварки, изолируя ее от воздуха. Расплавленный дугой металл сварочной проволоки каплями переносится в сварочную ванну, где смешивается с расплавленным основным металлом 9. По мере удаления дуги металл сварочной ванны начинает охлаждаться, так как поступление теплоты к нему уменьшается, а затем затвердевает, образуя шов 8. Расплавленный флюс (шлак) затвердевает, образуя на поверхности шва

шлаковую корку 6. Избыточная нерасплавленная часть флюса 7 отсасывается и используется повторно.

3.1.1. Классификация процессов дуговой сварки под слоем флюса.

Разновидности дуговой сварки под слоем флюса можно классифицировать по следующим признакам:

1) по роду тока:

- постоянным током;
- переменным током;
- трехфазным током;

2) по числу электродов:

- одноэлектродная, ведется проволокой Ш 1,6-6мм, при толщине металла до 20 мм возможна односторонняя сварка, но предпочтительней сварка с двух сторон;
- двухэлектродная сварка возможна двух вариантов: с поперечным и последовательным расположением электродов;

3) по степени автоматизации процесса сварки:

- полуавтоматическая;
- автоматическая.

3.1.2. Преимущества сварки под слоем флюса:

- возможность металлургического воздействия на металл шва за счет регулирования состава проволоки;
- широкие возможности механизации и автоматизации сварочного процесса;
- высокая производительность сварочного процесса.

3.1.3. Режим дуговой сварки под слоем флюса. К основным параметрам режима сварки под слоем флюса относятся:

1) сварочный ток, зависящий от диаметра электрода;
2) напряжение на дуге;
3) скорость сварки (обычно 15-80 м/ч) выбирают в зависимости от производительности и качества формирования шва;
4) скорость подачи сварочной проволоки;

3.2. Электрошлаковая сварка.

Электрошлаковая сварка – сварка плавлением, при которой для нагрева используется тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак.

При ЭШС электрический ток, проходя через шлаковую ванну, расплавляет основной и присадочный металл и поддерживает высокую температуру расплава. Электрошлаковый процесс

устойчив при глубине шлаковой ванны 35 – 60 мм, которую легче создать при вертикальном положении оси шва и принудительном формировании его поверхности (рис.2). Для принудительного охлаждения и формирования поверхности шва используются, как правило, медные водоохлаждаемые устройства.

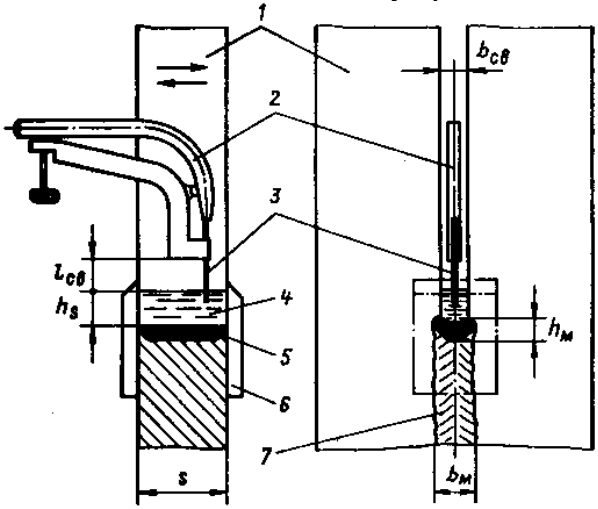


Рис. 3.2. Схема электрошлаковой сварки:

1-свариваемые детали толщиной s; 2 – мундштук для подачи электрода; 3-электрод; 4 –шлаковая ванна глубиной h_s; 5 – металлическая ванна глубиной $h_м$; 6 –формирующий ползун. Детали выбраны с зазором b_c; l_c – вылет электрода.

При ЭШС почти вся электрическая мощность передается шлаковой ванне, а от нее – электроду и свариваемым кромкам. Устойчивый процесс возможен только при постоянной температуре шлаковой ванны 1900-2000°С.

Большая часть тепла, выделяющегося в шлаковой ванне, переносится в металлическую ванну, а от нее – к кромкам соединяемых деталей через капли перегретого металла. Общее количество генерируемого в шлаковой ванне тепла, Дж/с, расходуется так: 20-25% на плавление электродной проволоки; 55-60% на плавление и нагрев основного металла, 4-6% на плавление флюса и поддержание шлаковой ванны в жидком состоянии; 12-

16% - потери тепла через ползуны и теплоотвод в массу металла.

3.2.1. Технологические возможности.

В настоящее время ЭШС применяется в тяжелом и энергетическом машиностроении, в химическом машиностроении, в судо- и авиастроении.

ЭШС соединяют стали разных классов и марок, жаропрочные и никелевые сплавы, титан, алюминий, медь и сплавы на их основе.

Диапазон толщин свариваемых металлов 2 – 300 см. Показано, что ЭШС наиболее экономична при толщине металла h > 40мм.

3.2.2. Преимущества и недостатки электрошлаковой сварки.

Преимущества:

- высокая производительность процесса, возрастающая в геометрической прогрессии в зависимости от толщины свариваемого металла.

- уменьшение расхода флюса, по сравнению с ЭДС под флюсом в 10 - 20 раз. Составляет 5% расхода электродной проволоки.

- уменьшение расхода электроэнергии, по сравнению с ЭДС под флюсом в 1,5 - 2 раза, с РДС в 4 раза.

- во много раз ниже склонность к образованию пор и других неплотностей, чем при дуговой многопроходной сварке.

Недостатки:

- необходимость последующей термической обработки сварного соединения для восстановления высоких служебных характеристик сварной конструкции из-за значительного перегрева металла шва и околошовной зоны в процессе ЭШС.

3.2.3.Режим электрошлаковой сварки.

Сварочный режим при электрошлаковой сварке включает: напряжение на участке электрод – сварочная ванна $u_{св}$, скорость подачи электродной проволоки v_e, сварочный ток $I_{св}$, скорость сварки $v_{св}$, глубину шлаковой ванны h_s, сухой вылет электродной проволоки l_c, число электродов n, зазор между кромками b, толщина свариваемого металла s.

Правильный выбор параметров электрошлаковой сварки и поддержание их на заданном уровне обеспечивает получение качественного сварного соединения.

Величину сварочного тока, А, можно ориентировочно определить по формуле:

$$I_{св} = (0{,}022v_e + 90)n + 1{,}2(v_{св} + 0{,}48\ v_п)\delta_п b_п,$$

где $v_п$ – скорость подачи пластины, см/с; $b_п$ и $\delta_п$ – ширина и толщина, см. Формула пригодна для сварки проволочным электродом (второе слагаемое превращается в нуль, т.к. нет пластин) и пластинчатыми электродами (в этом случае первое слагаемое равно нулю, т.к. нет проволоки.

Скорость подачи электродной проволоки:

$$v_e = v_{св}F_н/\Sigma F_e,$$

где $F_н = b_п s, см^2$; $\Sigma F_e = 0{,}071n, см^2$.

Опыт электрошлаковой сварки показал, что такие элементы режима, как глубина шлаковой ванны h_s и сухой вылет электродной проволоки l_c не зависят от толщины металла и имеют значения: h_s=40 - 50 мм, l_c=80 - 90 мм.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит сущность дуговой сварки под слоем флюса?
2. По каким признакам можно классифицировать процессы дуговой сварки под слоем флюса?
3. Какие параметры входят в режим дуговой сварки под слоем флюса?
4. При толщине свариваемых деталей применение процесса электрошлаковой сварки становится экономически выгодным?
5. На какие процессы расходуется теплота, генерируемая в шлаковой ванне?
6. Назовите основные преимущества и недостатки электрошлаковой сварки.

Лекция № 4. Электронно-лучевая сварка.

4.1. Сущность электронно-лучевой сварки

Электронно-лучевая сварка – сварка плавлением, при которой нагрев металла производится потоком - лучом быстродвижущихся электронов, ускоряемых электрическим полем. Попадая на поверхность изделия, электроны отдают свою кинетическую энергию, превращающуюся в тепловую и нагревают металл.

Процесс обычно ведется в герметически закрытой камере, в которой поддерживается вакуум 10^{-1}-10^{-3} Па. Вакуум необходим для свободного движения электронов, уменьшения числа их столкновения с газовыми молекулами в процессе ионизации. Вакуум также необходим для обеспечения чистоты наплавляемого металла, предупреждения его окисления и азотирования, уменьшения количества растворенных в нем газов. Вакуум поддерживается непрерывно работающими вакуумными насосами. Источником электронов служит накаливаемый катод, питаемый от низковольтного трансформатора. Электроны ускоряются от низковольтного трансформатора высоким напряжением 10-100 кВ; обычно применяют напряжения не более 30 кВ, т.к. при более высоком напряжении возникает значительное рентгеновское излучение и требуется дополнительная защита обслуживающего персонала.

Высокое напряжение создается специальным трансформатором с выпрямительным устройством: минус подается на катод, анодом служит свариваемое изделие. Поток электронов на пути от катода к аноду фокусируется электростатическими линзами в виде металлических колец и электромагнитными в форме катушек с железным каркасом. За счет фокусировки и изменения силы тока можно получить нагреваемую поверхность на изделии площадью 0,1÷20 мм^2. Катод и фокусирующие линзы конструктивно объединены в одно устройство, называемое электронной пушкой и создающее электронный луч. Электронный луч можно смещать отклоняющими устройствами и смещением электронной пушки; ему можно придать колебания вдоль и поперек сварного шва.

Перемещение по линии сварки осуществляется передвижением или поворотом изделия.

При интенсивной бомбардировке металла или какого-либо др. материала ускоренными электронами в высоком вакууме около 99% их кинетической энергии переходит в тепловую, расходуемую на нагрев.

Температура в месте бомбардировки достигает 5000-6000^{0}С, что достаточно для плавления металла при сварке и для тепловой обработки материалов.

4.1.1.Преимущество электронно-лучевой сварки:

1) Для сварки электронным лучом характерна примерно такая же концентрация энергии в пятне нагрева, что и при сварке лазером. Благодаря столь высокой концентрации количество теплоты, расходуемое на расплавление металла, при электронно-лучевой сварке в десятки раз меньше, чем при других способах. Например, для однопроходной стыковой аргонодуговой сварки стальных листов толщиной 4 мм необходима погонная энергия около 1260 кДж/м.

2) Другим положительным свойством электронного луча, выгодно отличающим его от остальных сварочных источников теплоты, является возможность глубокого проплавления металла благодаря тому, что электронный луч высокой интенсивности может проникать в металл на глубину в несколько миллиметров. При этом образуется узкий канал с достаточно высокой проницаемостью для электронов, заполненный металлическими парами. Давлением паров жидкий металл оттесняется к стенкам канала, а при включении или перемещении луча стекает в него, образуя после кристаллизации шов. Зона расплавления имеет форму вытянутого клина, а отношение глубины проплавления к ширине может достигать 26:1. Этот эффект называется кинжальным проплавлением. При дуговой сварке форма зоны расплавления приближается к полусфере. Толщина заготовок, свариваемых электронным лучом, может достигать от 0,01 до 100 мм и более.

Для ограничения размеров зоны проплавления и нагрева материала в зонах, прилегающих к месту сварки, а также при сварке легкоиспаряющихся металлов осуществляют подачу тока короткими мощными импульсами с частотой от 1 до 3000 Гц и продолжительностью от 0,01 до 0,00005 с.

3) Преимущество электронно-лучевой сварки и обработки заключается также в отсутствии загрязнений, попадающих в шов из окружающей среды.

4) Электронным лучом можно сваривать металлы без существенного изменения свойств литой структуры шва и рекристаллизированной зоны.

5) Обеспечивается возможность сварки разнородных металлов со значительной разницей толщин, температур плавления и др. теплофизических свойств. Например, при сварке алюминия и меди пятно луча на 2/3 располагается на медной детали и на 1/3 на алюминиевой. Соединение получается типа паяного, практически без расплавления меди. При сварке меди со сталью с небольшой нахлесткой необходимо сначала подогреть медную деталь, а затем производить сварку.

4.2. Устройство сварочной электронно-лучевой установки

Устройство для эмиссии электронов 1 состоит из вольфрамового катода, заключенного в кольцеобразный формирующий электрод (цилиндр Венельта), и расположенного под ним дискового анода 2 с центральным отверстием.

При нагреве катода с его поверхности излучаются электроны, формирующиеся в пучок электродом, расположенным непосредственно за катодом, и под воздействием электрического поля, создаваемого высокой разностью потенциалов между катодом и анодом, ускоряются в определенном направлении.

Магнитное поле юстировочных катушек 3, питаемых постоянным регулируемым током, направляет луч по оси катушки. Диафрагма 4 отсекает энергетически малоэффективные краевые зоны луча, а магнитная линза 5 фокусирует его в круглое пятно на поверхности заготовки. В современных установках для сварки и термической обработки электронный луч фокусируется на площади диаметром менее 0,001 см. (рис 1)

С помощью отклоняющих катушек 6 луч можно перемещать по поверхности заготовки, помещенной в вакуумную камеру. Оптическая система 7, состоящая из зеркала, объектива с осевым отверстием и микроскопа, позволяет вести наблюдение за процессом сварки при многократном увеличении. Обрабатываемая заготовка 8 устанавливается на столе 9 и перемещается с равномерной скоростью.

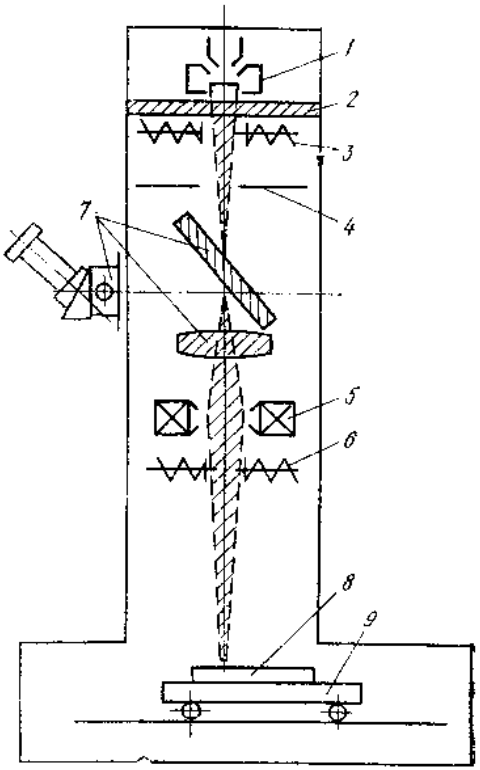


Рис. 4.1. Схема электронно-лучевой установки

Важным узлом электронно-лучевой установки является камера, в которой производится сварка. Ее конструкция и размеры определяются назначением установки. Универсальные сварочные камеры имеют относительно небольшой объем и снабжаются приводными устройствами для сварки листового металла и труб. Эти устройства должны обеспечивать плавное регулирование, стабильность скорости перемещения рабочего стола, на котором крепятся свариваемые детали, и возможность вращения трубных заготовок в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В некоторых камерах предусмотрена возможность перемещения пушки внутри камеры по горизонтали или по вертикали.

При сварке крупногабаритных заготовок, например, длинных труб, в камере с целью сокращения ее размеров предусматривают специальные вводы с вакуумными уплотнениями. Это позволяет перемещать в камере только участок стыка, в то время как обе свариваемые трубы находятся вне рабочего пространства камеры. Загрузку камеры свариваемыми заготовками можно производить с нарушением вакуума или непрерывно через шлюзовые камеры.

В зависимости от величины напряжения между катодом и анодом (ускоряющее напряжение) различают 2 типа электронно-лучевых пушек: низковольтные с ускоряющим напряжением 10÷30 кВ и высоковольтные с ускоряющим напряжением до 150 кВ. Ток электронного луча в установках для электронно-лучевой сварки невелик и составляет от нескольких миллиампер до единиц ампер.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит сущность электронно-лучевой сварки?
2. В чем состоит необходимость проведения электронно-лучевой сварки в вакуумной камере?
3. Почему напряжение, ускоряющее электроны, ограничивается 30кВ?
4. Назовите основные преимущества и недостатки электроннолучевой сварки.

Лекция № 5. Лазерная сварка.

5.1. Сущность процесса лазерной сварки.

Лазерная сварка – сварка плавлением, при которой для нагрева используется энергия излучения лазера.

Лазерное излучение обеспечивает высокую концентрацию энергии (10^7-10^8Вт/см^2), существенно превосходящую другие источники энергии, используемые для сварки, на несколько порядков. Лазерное излучение когерентно, монохроматично, обеспечивает малую расходимость. Вследствие этого возникает возможность высокой степени фокусировки для достижения больших значений концентрации энергии излучения, и на поверхности свариваемого материала происходит локальный нагрев, обеспечи-

вающий высокие скорости нагрева и охлаждения, малый объем расплавляемого металла, малые размеры околошовной зоны термического влияния. Процесс лазерной сварки осуществляется в атмосфере воздуха либо в среде защитных нейтральных газов (Ar, He), в среде углекислого газа и др. Поэтому создается возможность использования лазерной сварки для соединения элементов конструкций любых габаритов.

Преимущества лазерной сварки:

1) возможность легкой транспортировки лазерного излучения к месту сварки. С помощью зеркальных оптических систем лазерный луч можно направлять в труднодоступные места, подавать на значительные расстояния без потерь энергии, одновременно или последовательно использовать на нескольких участках;

2) простота управления энергетическими характеристиками лазерного излучения;

3) устойчивое качественное формирование сварного шва по всей длине из-за отсутствия влияния на лазерный луч магнитного поля свариваемых деталей и технологической оснастки.

5.2. Классификация технологических лазеров.

При лазерной сварке в качестве источника теплоты используют мощный концентрированный световой луч, получаемый в специальной установке, называемой технологическим лазером.

Технологические лазеры классифицируют по следующим признакам:

1) по длине волны эмитированного излучения:

а) от 740 нм (красный свет) до 400 нм (фиолетовый свет) – область видимой части электромагнитного спектра;

б) менее 740 нм – область инфракрасного излучения или радиочастот;

2) по непрерывности действия:

а) импульсно – периодического;

б) непрерывного;

3) по агрегатному состоянию:

а) твердотельные:

– с активным элементом в виде стержня из искусственного рубина, генерирующие импульсно – периодическое излучение на длине волны λ=0,69 мкм, с частотой импульсов $F_и$= 10Гц и электрооптическим КПД около 3%;

– с активным элементом в виде стержня из стекла с примесью неодима, генерирующие импульсно – периодическое излучение на длине волны λ=1,06 мкм, с частотой импульсов $F_и$= 0,05 – 50 кГц;

– с активным элементом в виде стержня из иттрий - алюминиевого граната с добавкой неодима, генерирующие импульсно – периодическое и непрерывное излучение на длине волны λ=1,06 мкм;

б) газовые

- с рабочим телом из углекислого газа, с добавками азота и гелия при давлении 2,66 – 13,3 кПа, генерирующие импульсно – периодическое и непрерывное излучение на длине волны λ=10,6 мкм с электрооптическим КПД 5 - 15%. Возбуждение рабочего тела осуществляется электрическим разрядом. Азот и гелий обеспечивают передачу энергии возбуждения молекуле углекислого газа и благоприятные условия горения разряда.

5.3. Принцип работы рубинового твердотельного технологического лазера.

Рубиновый кристалл имеет форму цилиндрического стержня; полированные и посеребренные поверхности которого являются оптическими отражателями. Выходной конец стержня частично прозрачен для световых лучей. Розовый рубин состоит из Al_2O_3 с атомами хрома, каждый из которых имеет три энергетических уровня. При вспышке ксеноновой лампы облучающей трубки, атомы хрома возбуждаются и переходят в состояние, характеризующееся повышенным энергетическим уровнем. Примерно через 0,05 мкс часть возбужденных атомов возвращается в первоначальное энергетическое состояние, беспорядочно излучая фотоны красного света. Некоторая часть этих фотонов, излучаемых вдоль оси кристалла, вызывает излучение новых фотонов. Фотоны, испускаемые в других направлениях, покидают кристалл через боковые плоскости. Поток красных фотонов вдоль оси кристаллов нарастает, отражаясь попеременно от зеркальных торцов граней, пока его интенсивность не станет достаточной, чтобы он смог пройти через полупрозрачную торцовую грань кристалла наружу. В результате через выходной конец кристалла излучается поток красного света в виде когерентного монохроматичного излучения.

5.4. Оборудование для лазерной сварки.

Оборудование для лазерной сварки состоит из технологического лазера, системы транспортировки и фокусировки излучения, системы газовой защиты изделия, системы относительного перемещения луча и изделия.

Технологический лазер состоит из «рабочего тела», системы «накачки», включающей электрической лампы, отражателя, концентрирующего световую энергию на рабочем теле и системы охлаждения.

Система транспортировки и фокусировки излучения состоит из защитных лучепроводов, отклоняющего зеркала и фокусирующего устройства. Отклоняющее зеркало изменяет ход луча и направляет его в зону обработки. Для твердотельных лазеров с этой целью используют призмы полного внутреннего отражения и интерференционные зеркала с многослойным диэлектрическим покрытием, для газовых лазеров применяют медные зеркала с водяным охлаждением.

Фокусирующее устройство – тубус, установленный с возможностью перемещения относительно поверхности обрабатываемого изделия, в котором закреплена линза из оптического стекла – для твердотельных лазеров, из хлорида калия или селенида цинка с интерференционным просветляющим покрытием – для CO_2 – лазеров. Защита линз от продуктов выделяющихся при обработке изделия, осуществляется шторкой, образуемой продуванием очищенным и осушенным воздухом.

Система газовой защиты предназначена для предотвращения окисления металла сварного шва, в том числе его корня, и включает сопла разнообразной конструкции, обеспечивающей сдув паров и брызг, образующихся при сварке, в сторону от лазерного луча.

Система относительного перемещения луча и изделия реализуется за счет движения детали, осуществляемого манипулятором с ЧПУ с разным числом степеней свободы в зависимости от требующейся сложности обработки. Скорость перемещения 40 – 400 м/ч. В случае обработки массивных и крупногабаритных изделий, рационально перемещать луч с помощью подвижных зеркал.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит сущность лазерной сварки?

2. Назовите основные преимущества и недостатки лазерной сварки.

3. По каким признакам можно классифицировать технологические лазеры?

4. Объясните принцип работы рубинового твердотельного лазера.

5. Что входит в комплект оборудования для лазерной сварки?

Лекция № 6. Точечная и шовная контактная сварка.

6.1. Контактная сварка.

Контактная сварка - это технологический процесс получения неразъемных металлических соединений деталей в результате их кратковременного нагрева электрическим током, протекающим через эти детали, и пластического деформирования усилием сжатия.

Известные способы контактной сварки классифицируют по ряду признаков (ГОСТ 19521-74):

1) по технологическому способу получения соединения:

- точечная;
- рельефная;
- шовная;
- стыковая;

2) по конструкции соединения:

- нахлесточное;
- стыковое;

3) по способу подвода тока:

- одностороняя;
- двустороняя;

4) по роду сварочного тока:

- переменным;
- постоянным;
- униполярным – ток одной полярности с переменной силой в течение импульса;

5) по числу одновременно выполняемых соединений:

- одноточечная;
- многоточечная;

6) по характеру перемещения роликов при шовной сварке:
- непрерывная (с постоянным вращением роликов);
- шаговая (с остановкой роликов на время сварки).

Преимущества контактной сварки:

1) высокая производительность процесса;

2) возможность легкой механизации и автоматизации процесса сварки;

3) благоприятный термодеформационный цикл, обеспечивающий высокое качество соединений большинства конструкционных материалов.

6.2. Точечная контактная сварка.

Точечная сварка – способ контактной сварки, при котором детали свариваются по отдельным ограниченным участкам касания (по ряду точек).

При точечной сварке детали собирают внахлестку, сжимают усилием F электродами, к которым подключен источник электрической энергии (например, сварочный трансформатор). Детали нагреваются при кратковременном прохождении сварочного тока $I_{св}$ до образования зоны взаимного расплавления деталей, называемой ядром. Нагрев зоны сварки сопровождается пластической деформацией металла в зоне контакта деталей (вокруг ядра), где образуется уплотняющий поясок, надежно предохраняющий жидкий металл от выплеска и от окружающего воздуха. Поэтому специальной защиты зоны сварки не требуется. После выключения тока расплавленный металл ядра быстро кристаллизуется и образуются металлические связи между соединяемыми деталями. Таким образом, соединения при точечной сварке происходит с расплавлением металла.

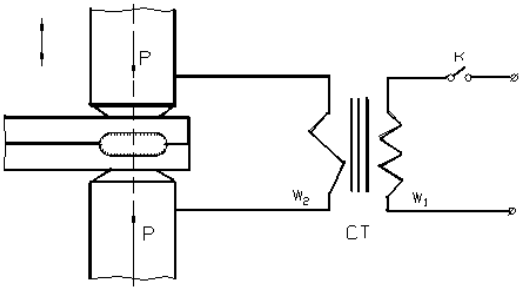


Рис. 6.1. Схема точечной контактной сварки.

Нагрев при точечной сварке проводят импульсами переменного тока промышленной частоты 50 Гц, а также импульсами постоянного или униполярного тока.

6.1.1.Область применения точечной сварки.

Точечная сварка широко применяется в штампо-сварных конструкциях, в которых две или более деталей, штампованные из листа, свариваются в жесткий узел (например, пол и кузов легкового автомобиля, кабины грузового автомобиля и т.д.).

Точками обычно свариваются каркасные конструкции (например, боковины и крыша пассажирского вагона, бункер комбайна, узлы самолета и др.). Широко применяется точечная сварка пересекающихся стержней диаметром до 25 мм, в отдельных случаях до 40 мм при изготовлении арматуры железобетона в виде сеток и каркасов.

Точечная сварка дает лучшие результаты при изготовлении узлов из

относительно тонкого металла. Важная область применения точечной сварки - соединение очень тонких деталей в электровакуумной технике, приборостроении и др.

6.3. Шовная контактная сварка.

Шовная сварка – способ получения герметичного соединения (шва) путем образования ряда перекрывающихся точек. Подвод тока и перемещение деталей осуществляют с помощью вращающихся дисковых электродов – роликов. Как и при точечной сварке, детали собирают внахлестку и нагревают кратковременными импульсами сварочного тока. Перекрытие точек достигается соответствующим выбором паузы между импульсами тока и скорости вращения роликов.

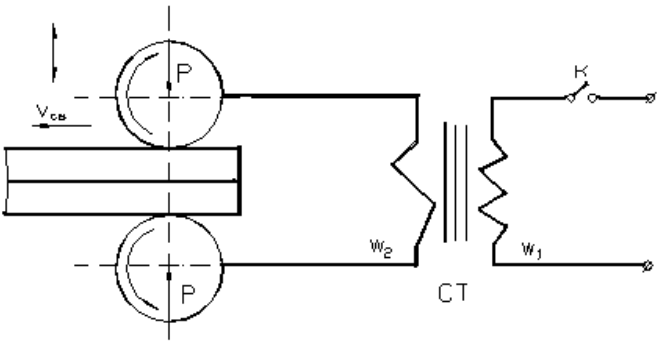


Рис. 6.2. Схема шовной контактной сварки.

Шовная сварка бывает: непрерывной, прерывистой и шаговой.

- При непрерывной роликовой сварке свариваемые детали непрерывно перемещаются с постоянной скоростью при непрерывно включенном сварочном токе.

- При прерывистой роликовой сварке кратковременные импульсы тока ($t_и$) чередуются с паузами ($t_п$) при непрерывном движении деталей.

- При шаговой роликовой сварке в момент включения сварочного тока ролики временно останавливаются - детали не перемещаются, что дает возможность уменьшить износ роликов, остаточные напряжения и склонность к образованию трещин и раковин.

Наиболее часто при шовной сварке детали собирают и сваривают внахлестку. Однако используют в некоторых случаях и шовную сварку в стык, которая обеспечивает большую циклическую прочность соединений. При этом часто используют накладки из фольги для получения полного проплавления свариваемых деталей.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит сущность контактной сварки?

2. По каким признакам можно классифицировать процессы контактной сварки?

3. Какой величиной ограничивается толщина соединяемых деталей при контактной точечной сварке?

4. По каким параметрам можно классифицировать процессы контактной шовной сварки?

Лекция № 7. Рельефная и стыковая контактная сварка.

7.1. Рельефная сварка.

Рельефную сварку можно определить как разновидность контактной сварки, при которой необходимая плотность тока в месте будущего сварного соединения создается не рабочей поверхностью электрода, а соответствующей формой свариваемых изделий. Эта форма изделия создается искусственно, путем получения местных выступов (рельефов) различной формы или является естественной в связи с конструктивными особенностями соединения.

При рельефной сварке соединяемые детали свариваются одновременно в одной или нескольких точках или по всей площади соприкосновения, определяемых специальными выступами (рельефами), предварительно изготовленными в одной из детали, или конфигураций свариваемых деталей в месте сварки.

После включения сварочного тока в месте сварки создается высокая концентрация тока, и металл быстро нагревается. Это способствует интенсивному развитию пластических деформаций.

При рельефной сварке сварное соединение формируется с образованием литого ядра или в твердой фазе. Высокое качество последнего определяется значительными пластическими деформациями.

При этом способе сварки, как правило, увеличивается производительность процесса, если за один ход машины образуется несколько сварных соединений или одно соединение большой площади.

В некоторых случаях применение этого способа позволяет улучшать внешний вид сварного соединения, расширить область применения сварки, заменить менее экономичные способы сварки плавлением и увеличить стойкость электродов.

Наиболее эффективна рельефная сварка при постановке сразу группы точек (до 10-15). Сжатые по всем рельефам с помощью массивных электродов детали нагреваются. Выступы под действием усилия сжатия одновременно оседают. Во внутреннем контакте образуется литое ядро нормальных размеров. Таким образом, за один цикл получается многоточечный свар-

ной шов без дополнительной разметки и с заданным расположением точек.

7.1.1.Преимущества рельефной сварки

- одновременная сварка нескольких точек за один ход машины, что увеличивает производительность труда. Число точек, свариваемых одновременно, определяется возможностью оборудования создать необходимый сварочный ток и усилие на электродах (на тонколистовых сталях одновременно сваривает до 20 рельефов);

- более компактное расположение сварных соединений, чем при точечной сварке на многоэлектродных машинах при сварке деталей небольших размеров из листовых металлов;

- размещение рельефов с меньшим шагом и ближе к кромке свариваемых деталей, чем при точечной сварке. Это позволяет использовать рельефную сварку для приварки различных крепежных деталей к деталям из листовой стали при их малой опорной поверхности;

- расположение точек на заранее определенных рельефами местах. Меньшие следы от сварки улучшают внешний вид соединения;

- возможность сварки листовых металлов с отношением толщин 1:6 и более;

- лучшая свариваемость листовых сталей с окисленной поверхностью, т.к. штамповка рельефа и большое давление частично разрушают пленку окислов, снижают и стабилизируют контактное сопротивление;

- оборудование для рельефной сварки менее сложное по сравнению с многоэлектродными машинами для точечной сварки.

7.1.2. Область применения рельефной сварки

Наиболее широкое применение рельефная сварка находит для соединения различных мелких деталей крепежа, втулок, скоб, осей и др. с более крупными изделиями из листовой стали. Рельефы обычно получают на мелких деталях холодной высадкой одновременно в процессе их изготовления. В зависимости от назначения и требуемой прочности эти детали имеют разную форму и число рельефов. С увеличением общей их площади увеличивается соответственно и прочность сварного соединения. В изделиях с кольцевыми рельефами возможно получение герметичных соединений.

7.2. Стыковая сварка.

Стыковой сваркой называется вид контактной сварки, при которой сваривание происходит по всей совмещаемой поверхности деталей, по всему стыку.

Для осуществления сварки детали с помощью зажимного устройства прижимаются к нижним токоведущим электродам, являющимся разноименными полюсами вторичной обмотки трансформатора контактной машины. Замыкая с помощью переключателя "К" тока цепь первичной обмотки трансформатора, пропускают через приведенные в сопротивление детали ток большой силы. Сопутствующее этому весьма интенсивное выделение тепла за счет контактного сопротивления двух деталей обеспечивает быстрый разогрев свариваемых поверхностей до температур, близких к температуре плавления металла. По достижении требуемого нагрева детали с помощью осадочного устройства сдавливаются.

Совместное действие высокой температуры и давления обеспечивает сварку деталей благодаря образованию общей кристаллической решетки из материала свариваемых частей.

По способу выполнения стыковая сварка подразделяется на 2 основные разновидности:

1) стыковая сварка сопротивлением;

2) стыковая сварка оплавлением.

При стыковой сварке сопротивлением детали предварительно сжимают усилием F и включают в сеть сварочный трансформатор. По деталям протекает сварочный ток $I_{св}$, и происходит постепенный нагрев стыка деталей до температуры близкой к температуре плавления. Затем сварочный ток выключают и резко увеличивают усилие осадки деталей, которые деформируются в стыке. При этом из зоны сварки частично выдавливаются поверхностные пленки, формируется физический контакт и образуется соединение.

При стыковой сварке оплавлением вначале на детали подают напряжение от сварочного трансформатора, а затем их сближают. При соприкосновении деталей в отдельных местах контакта вследствие большой плотности тока металл контактов быстро нагревается и взрывообразно разрушается. Нагрев торцов деталей происходит за счет непрерывного образования и разрушения контактов – перемычек, т.е. оплавление торцов. К концу процесса на торцах образуется сплошной слой жидкого металла.

В этот момент резко увеличивают скорость сближения и усилие осадки; торцы смыкаются, большая часть жидкого металла вместе с поверхностными пленками выдавливается из зоны сварки, образуя утолщение – грат. Сварочный ток выключается автоматически во время осадки.

7.2.2.Области применения стыковой сварки

Контактная стыковая сварка широко применяется:

- для получения из проката длинномерных изделий (трубчатых змеевиков поверхностей нагрева котлов, железнодорожных рельсов, арматуры железобетона, заготовок в условиях непрерывной прокатки);

- для изготовления сложных деталей из простых заготовок (элементов шасси летательных аппаратов, тяг, валов, кожухов корданных валов автомобилей и др.);

- для изготовления сложных деталей замкнутой формы (ободьев автомобильных колес, колес жесткости реактивных двигателей, шпангоутов, звеньев цепей и др.);

- с целью экономии легированных сталей (рабочую часть инструмента изготавливают из быстрорежущей стали, а хвостовую - из углеродистой или низколегированной стали).

Способ стыковой сварки выбирают в зависимости от материала, величины и формы поперечного сечения свариваемых деталей, а также с учетом имеющегося оборудования и требований к качеству соединений.

- сваркой сопротивлением соединяют в основном детали небольшого сечения (не более 250 мм^2);

- непрерывным оплавлением сваривают детали сечением до 1000 мм^2 (большее сечение невозможно из-за плохого саморегулирования процесса оплавления).

- сварка оплавлением с подогревом сопротивлением ограничивается сечениями 5000-10000 мм^2. Детали с площадью сечения более 10000 мм сваривают непрерывным оплавлением на машинах с программным управлением напряжением сварочного трансформатора и скоростью подачи подвижного зажима.

Контрольные вопросы:

1. Для чего формируются выступы на поверхности соединяемых деталей при рельефной сварке?

2. Какие факторы влияют на эффективность рельефной сварки?

3. Назовите основные преимущества рельефной сварки.

4. В чем состоит сущность стыковой контактной сварки?

5. По каким признакам можно классифицировать процессы стыковой контактной сварки?

Лекция № 8. Холодная сварка.

8.1. Сущность холодной сварки металлов.

Холодная сварка – сварка давлением при значительной пластической деформации без нагрева свариваемых частей внешними источниками тепла.

Метод холодной сварки основан на использовании пластической деформации, с помощью которой разрушают на свариваемых поверхностях хрупкую пленку окислов - основное препятствие для соединения металлов. Образование цельнометаллического соединения происходит за счет возникновения металлических связей между соединяемыми металлами. Эти связи возникают между атомами при сближении поверхностей соединяемых металлов на расстоянии порядка $(2 \div 8) \cdot 10^{-7}$ мм в результате образования общего электронного облака, взаимодействующего с ионизированными атомами обеих металлических поверхностей.

8.1.1.Преимущества холодной сварки:

- малая стоимость;
- высокая производительность;
- возможность автоматизации работ во взрыво- и огнеопасной среде;
- возможность сварки деталей с нанесенной изоляцией;
- высокая гигиеничность процесса.

8.1.2. Области применения холодной сварки.

Холодной сваркой можно сваривать металлы, имеющие высокие пластические свойства: алюминий и его сплавы, медь и ее сплавы, кадмий, никель, свинец, олово, цинк, титан, серебро и др. Этот способ сварки применяют при сварке разнородных металлов, например, меди с алюминием.

8.2. Виды холодной сварки.

В промышленности в основном применяют два вида сварки: сварка внахлестку и сварка встык.

При сварке внахлестку свариваемые детали собирают внахлестку и помещают под пресс. Сварное соединение образуется за счет пластической деформации деталей.

В практике применяют следующие виды сварки: без предварительного зажатия свариваемых деталей, с предварительным зажатием свариваемых деталей, с односторонним деформированием свариваемых деталей.

1) Точечная сварка без предварительного зажатия деталей.

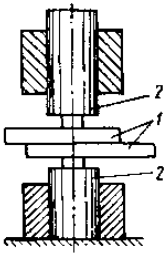


Рис. 8.1. Схема сварки без предварительного зажатия свариваемых деталей.

Детали 1, подготовленные к сварке, устанавливаются между соосно расположенными пуансонами 2. При воздействии определенного усилия рабочие выступы пуансонов вдавливаются в металл, обеспечивая необходимую для его сварки деформацию. Наиболее рациональная форма рабочих выступов пуансонов прямоугольная и круглая. Ширину или диаметр рабочего выступа пуансона берут равными 1-3 толщины свариваемых деталей в зависимости от толщины последних.

2) Точечная сварка с предварительным зажатием детали.

Этот способ сварки позволяет устранить основные недостатки, присущие способу сварки без предварительного зажатия деталей.

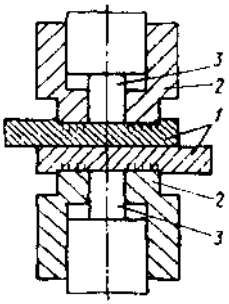


Рис. 8.2. Схема сварки с предварительным зажатием свариваемых деталей.

Зажатие деталей между опорными частями (прижимами) 2 производят до вдавливания рабочих выступов пуансонов 3 в металл (деталь) 1 или одновременно с ним. За счет этого устраняется коробление свариваемых деталей и увеличивается прочность сварного соединения. При этом способе сварки давление на прижимы рекомендуется применять 29,4-49МПа. Площадь прижима должна превышать площадь торца рабочего выступа пуансона в 15-20 раз.

При сварке полосовых материалов (рис. 8.3) рекомендуется применять зажимные плиты (кондукторы). В плитах делают сквозные калибровочные отверстия 3 по размерам и форме рабочих пуансонов 4, служащие для них направляющими.

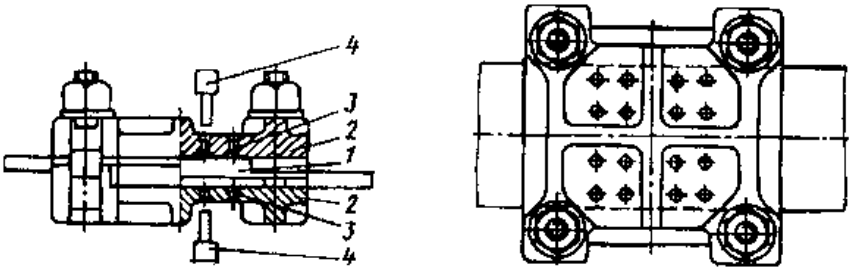


Рис. 8.3. Схема сварки с предварительным зажатием свариваемых деталей в кондукторе.

Использование этих кондукторов дает возможность уменьшить массу сварочных клешей, исключает разметку и прихватку деталей перед сваркой.

3) Точечная сварка с односторонним деформированием.

Этот способ сварки применяют в том случае, когда требуется особенно ровная поверхность сварного соединения с какой-то одной стороной соединения по техническим или эстетическим требованиям.

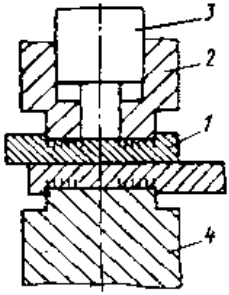


Рис. 8.4. Схема точечной сварки с односторонним деформированием свариваемых деталей.

В этом случае соединяемые внахлестку детали 1 располагаются на плоском основании 4, а рабочий пуансон 3 заданной формы и размеров вдавливается в эти детали.

Прочность сварного соединения при одностороннем деформировании достигает максимального значения при глубине вдавливания пуансона около 60% толщины свариваемых деталей.

Процесс сварки выполняют на любых механических, пневматических или гидравлических прессах, создающих необходимое давление. Рабочие части пресса - пуансоны, зажимные плиты, направляющие и фиксирующие детали - изготовляют применительно к свариваемым деталям. Пуансоны применяют различной формы: круглые (плоские и сферические), клиновидные, квадратные, прямоугольные, эллиптические, в зависимости от конфигурации изделия.

8.3. Подготовка свариваемых поверхностей

Поверхности, подлежащие сварке, должны быть тщательно очищены от любых органических пленок. Прежде всего, свариваемые детали при наличии на них слоя жира и грязи должны быть промыты и досуха вытерты.

Лучшие результаты дает механическая очистка деталей. Очистку деталей при сварке внахлестку и деталей больших сечений при сварке встык рекомендуется выполнять вращающейся стальной щеткой. Диаметр щетки при ее стационарной установке 200 мм, а диаметр проволочек 0,2-0,3 мм. В переносных установках диаметр щетки должен быть не более 100 мм. Частота вращения щетки 1500-3000 об/мин.

Подготовку стержней малых и средних сечений, а также проводов к сварке встык рекомендуется выполнять обрезкой их концов и в исключительных случаях - многократным осаживанием их вылетов в зажимных губках сварочной машины.

Мелкие алюминиевые детали можно подготавливать к сварке с помощью прокаливания при температуре 350÷400 ^{0}C при свободном доступе воздуха, а медные детали - никелированием. Химическое обезжиривание деталей не может применяться для подготовки деталей к холодной сварке.

Очищенные детали не должны загрязняться (даже прикосновение пальцами к поверхностям, подлежащим сварке, резко снижает прочность сварного соединения).

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит сущность холодной сварки?
2. Назовите основные преимущества холодной сварки.
3. Какие группы конструкционных материалов можно сваривать холодной сваркой?
4. В чем состоит преимущество холодной точечной сварки с предварительным зажатием деталей по сравнению со сваркой без предварительного зажатия деталей?
5. Какие методы подготовки поверхностей применяется при холодной сварке?

Лекция № 9. Диффузионная сварка.

9.1. Сущность диффузионной сварки.

Диффузионная сварка входит в группу способов сварки давлением, при которых соединение за счет пластической деформации свариваемых частей при температуре ниже температуры плавления, т.е. в твердой фазе. Отличительной особенностью является применение повышенной температуры при сравнительно небольшой остаточной деформации.

Процесс можно осуществлять с использованием большинства тепловых источников, известных при сварке. Наибольшее применение на практике находят индукционный, радиационный, электронно-лучевой нагрев, а также нагрев проходящим током и нагрев в расплаве солей.

Контакт соединяемых деталей при сварке выполняется либо непосредственно, либо через прослойки (фольговые или порошковые прокладки, покрытия).

Чаще всего диффузионную сварку проводят в вакууме. Однако принципиально возможно осуществление процесса в атмосфере защитных или восстановительных газов или их смесей (диффузионная сварка в контролируемой атмосфере). При сварке материалов, имеющих относительно малое сродство к кислороду, процесс можно вести даже на воздухе. В качестве среды для диффузионной сварки могут быть использованы и расплавы солей, выполняющие одновременно роль источников тепла.

Процесс сварки с помощью диффузионного соединения условно подразделяют на две стадии.

На первой стадии происходит нагрев материалов до высокой температуры и приложение давления, что вызывает пластическую деформацию микровыступов, разрушение и удаление различных пленок на контактируемых поверхностях. При этом образуются многочисленные участки непосредственного металлического контакта (металлические связи).

Вторая стадия – ликвидация оставшихся микронеровностей и образование объемной зоны взаимного соединения под действием диффузии.

9.1.1. Преимущества и недостатки диффузионной сварки.

Преимущества диффузионной сварки:

- возможность соединять разнородные материалы без каких – либо особых трудностей (сталь с чугуном, титаном, ниобием, вольфрамом, металлокерамикой; платину с титаном; золото с бронзой и т.д.);

- возможность выполнения соединений разнотолщинных деталей;

- обеспечение равнопрочности основного металла и сварного соединения;

- в процессе сварки отсутствует плавление металла, что исключает влияние неблагоприятных металлургических явлений на сварное соединение, удешевляет изготовление конструкции (за счет отсутствия флюсов, припоев)

Ограничения применения и недостатки технологии:

- низкая производительность процесса из-за высокой длительности цикла сварки;

- сложность оборудования (особенно вакуумного) и технологической оснастки, подвергающейся одновременно нагреву и нагружению;

- высокие требования к качеству контактных поверхностей.

9.2. Классификация процессов диффузионной сварки.

В практике диффузионной сварки известно применение двух технологических схем процесса, различающихся характером приложения нагрузки или напряжения действующего в течение цикла:

1) Диффузионная сварка по схеме свободного деформирования – при этом используют постоянную нагрузку по величине ниже предела текучести.

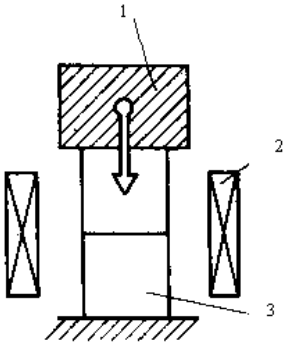


Рис. 9.1. Схема диффузионной сварки свободным деформированием:

1- система нагружения; 2 – нагреватель; 3 – детали.

2) Диффузионная сварка по схеме принудительного деформирования (ДСПД - процесс) – при этом нагрузка и пластическая деформация обеспечивается специальным устройством, перемещающимся в процессе сварки с контролируемой скоростью.

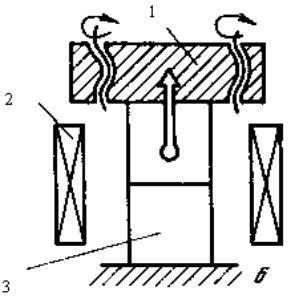


Рис. 9.2. Схема диффузионной сварки принудительным деформированием:

1 – система деформирования; 2 –нагреватель; 3 – детали.

9.3. Технология диффузионной сварки.

9.3.1. Подготовка поверхностей к сварке.

Свариваемые поверхности должны быть обработаны с чистотой поверхности Ra < 1,25 мкм. Предпочтительно применение механической обработки. Непосредственно перед сваркой детали проходят очистку от жировых и других загрязнений, а также от оксидов методами химической обработки (травление, обезжиривание).

9.3.2. Применение покрытий и промежуточных прокладок.

Покрытия наносят чаще всего гальваническим или термовакуумным методами на одну или обе свариваемые детали, но, как правило, только в пределах площади их контактирования. При сварке мелких деталей допускается нанесение покрытия на всю поверхность. Покрытия применяют для защиты от окисления в процессе нагрева при сварке сплавов, в состав которых входят активные по отношению к кислороду элементы (Cr, Al и др.). Чаще всего используют никелевое, медное или серебряное покрытие толщиной 5 – 10 мкм.

При сварке материалов, образующих в контакте при температуре процесса интерметалидные фазы, необходимо применение барьерных прослоек. Для этого могут быть использованы покрытия достаточной толщины, а также фольговые прокладки, изготавливаемые по форме площади контактирования.

9.3.3. Выбор параметров режима сварки

а) Рабочие среды.

В зависимости от свойств свариваемых материалов степень разряжения в вакуумной камере выбирают в диапазоне 1,3 – $1{,}3 \cdot 10^{-4}$ Па. При сварке малоуглеродистых сталей, меди, никеля требования к давлению наименее жесткие.

В качестве контролируемых атмосфер применяют осушенные аргон или гелий, очищенные и осушенные водород, азот или смесь азота с 6 – 8 % водорода.

На воздухе сваривают малоуглеродистые и некоторые инструментальные стали. При этом контактные поверхности заготовок после механической обработки защищают от окисления консервирующими покрытиями: эпоксидной смолой или глицерином.

Состав соляных ванн для диффузионной сварки определяется необходимой температурой, например, 850 – 870 °С при использовании NaCl, 1000 - 1150 °С – для $BaCl_2$.

б) Параметры термодеформационного воздействия.

При сварке по схеме свободного деформирования основными параметрами являются температура сварки $T_{св}$, давление p, время выдержки t (или степень остаточной деформации $\varepsilon_{св}$).

Температуру сварки выбирают в диапазоне $(0{,}7 - 0{,}8) \cdot T_{пл}$, иногда несколько ниже $0{,}5T_{пл}$.

Скорость нагрева и охлаждения зависит от источника теплоты, и в большинстве случаев их не регламентируют.

Давление выбирают в диапазоне 0,8 – 0,9 предела текучести при температуре сварки.

Время выдержки в зависимости от температуры, давления, чистоты обработки контактных поверхностей может колебаться от нескольких секунд до нескольких часов.

При ДСПД – процессе основными параметрами являются температура T, скорость роста нагрузки P, скорость деформирования ε, время деформирования t, время выдержки в режиме релаксации $t_{рел}$.

9.3.4. Оборудование, применяемое при диффузионной сварке.

Установки для диффузионной сварки в общем случае имеет рабочую камеру, механизм для создания сварочного давления

или деформирования, систему для получения рабочей среды, аппаратуру управления и контроля.

В настоящее время в эксплуатации находятся универсальные установки разных модификаций типа СДВУ, УДС, А-306, А-308, ОЗД, УДСПД и др.

Учитывая современную тенденцию применения диффузионной сварки для изготовления крупногабаритных изделий сложной формы, проводятся работы по созданию крупногабаритных установок модульного типа. Модуль такой установки снабжен автономными системами вакуумирования, нагрева и сжатия.

Контрольные вопросы:

1. Какие стадии включает процесс образования диффузионного соединения?
2. Назовите основные преимущества и недостатки диффузионной сварки.
3. По каким признакам можно классифицировать процессы диффузионной сварки?
4. Какие этапы включает подготовка поверхностей к диффузионной сварке?
5. Какие параметры входят в режим диффузионной сварки?

Лекция № 10. Ультразвуковая сварка

10.1. Сущность ультразвуковой сварки.

Ультразвуковая сварка – сварка давлением, осуществляемая при воздействии ультразвуковых колебаний. Неразъемное соединение при ультразвуковой сварке металлов получают в процессе сжатия соединяемых элементов с относительно небольшим усилием (десятые доли или единицы ньютона при соединении элементов микросхем и полупроводниковых приборов и не более 10^{4} Н, при сварке относительно толстых листов) при одновременном воздействии на зону контакта механических колебаний с частотой 15 – 80 кГц.

При ультразвуковой сварке необходимые условия для образования соединения создаются в результате наличия механических колебаний в зоне контакта соединяемых элементов. Энергия вибрации создает сложные напряжения растяжения, сжатия и среза. При превышении предела упругости соединяемых металлов

происходит пластическая деформация в зоне их контактирования. В результате пластической деформации и диспергирующего действия ультразвука происходит разрушение и удаление поверхностных пленок различного происхождения, а также образование сварного соединения. Температура нагрева в зоне контакта обычно не превышает 0,3 – 0,5 температуры плавления соединяемых металлов.

10.1.1. Преимущества ультразвуковой сварки:

- сварка осуществляется в твердом состоянии металла без существенного нагрева места сварки, что дает возможность соединять химически активные металлы и разнородные металлы, склонные к образованию хрупких интерметалидов в зоне соединения;

- возможность получения сварных соединений, которые трудно получить с помощью других видов сварки из-за больших энергетических и технологических затрат;

- возможность получения сварных соединений тонких и ультратонких деталей, возможность приварки тонких листов и фольг к деталям практически неограниченной толщины, сварки пакетов из фольг;

- снижение требований к чистоте свариваемых поверхностей дает возможность проводить сварку деталей с плакированными и оксидированными поверхностями, а также деталей, поверхности которых покрыты разными изоляционными пленками;

- незначительная деформация поверхности детали в месте их соединения вследствие применения небольших сварочных усилий;

- простота автоматизации процесса сварки.

10.1.2.Область применения и технологические возможности ультразвуковой сварки.

Ультразвуковая сварка позволяет соединять разные элементы изделий толщиной 0,005 – 3,0 мм или диаметром 0,01 – 0,5 мм. При приварке тонких листов и фольг к деталям, толщина последних практически не ограничивается. Разнотолщинность свариваемых деталей при ультразвуковой сварке может достигать 1:100.

Областями использования ультразвуковой сварки являются: производство полупроводников, микроприборов и микроэлементов для электроники, конденсаторов, предохранителей, реле, трансформаторов, нагревателей бытовых холодильников, прибо-

ров точной механики и оптики, реакторов, а также автомобильная промышленность.

10.2. Оборудование, применяемое при ультразвуковой сварке.

Сварку с помощью ультразвука осуществляют на специальных машинах, состоящих из источника генерации высокочастотных (ультразвуковых) электромагнитных колебаний, механической колебательной системы, аппаратуры управления сварочным циклом и привода сварочного усилия.

Преобразование электромагнитных колебаний в механические и введение последних в зону сварки обеспечивается в этих машинах механической колебательной системой. Типовые колебательные системы для ультразвуковой сварки приведены на рис. 10.1.

Основным звеном колебательных систем является преобразователь 1, который изготавливается из магнитострикционных или электро- стрикционных материалов (никель, перминдюр, титанат бария, ниобат свинца и д.р.). Преобразователь является источником механических колебаний. Волноводное звено 2 осуществляет передачу энергии к сварочному наконечнику и обеспечивает увеличение амплитуды колебаний по сравнению с амплитудой исходных волн преобразователя, а также трансформирует сопротивление нагрузки и концентрирует энергию в заданном участке свариваемых деталей 5. Акустическая развязка 3 от корпуса машины позволяет практически всю энергию механических колебаний трансформировать и концентрировать в зоне контакта. Сварочный наконечник 4 является согласующим волноводным звеном между нагрузкой и колебательной системой. Он определяет площадь и объем непосредственного воздействия источника ультразвуковых колебаний в зоне сварки.

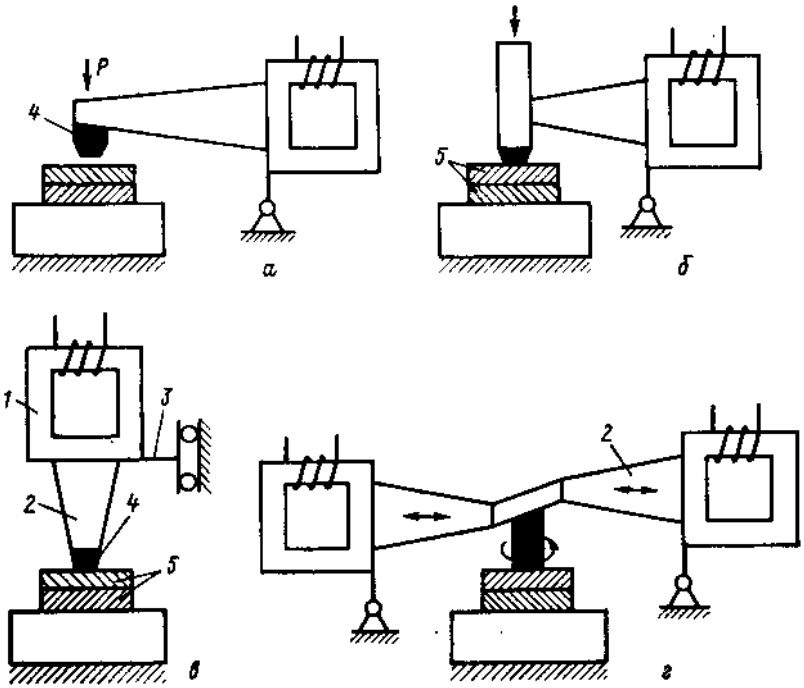


Рис. 10.1. Схема типовых колебательных систем для ультразвуковой сварки металлов:

а – продольная; б – продольно-поперечная; в – продольно-вертикальная; г – крутильная.

В зависимости от формы сварочного наконечника колебательной системы УЗС металлов может быть точечной, шовной или кольцевой.

10.3. Технология ультразвуковой сварки.

Схема типового технологического процесса при ультразвуковой сварке металлов представляет собой комплекс последовательно выполняемых операций, основными из которых являются: подготовка свариваемых поверхностей, сборка узлов, прихватка, сварка и правка. Объем работ по каждой операции определяется особенностями изготовления конкретных изделий.

10.3.1. Подготовка поверхностей к сварке.

Влияние поверхностных пленок на прочность соединений, выполняемых ультразвуковой сваркой невелико, поэтому считается, что при ультразвуковой сварке металлов можно получать сварные соединения с высокими эксплуатационными характеристиками без предварительной обработки соединяемых поверхностей.

10.3.2. Выбор параметров режима сварки.

Основными технологическими параметрами режима ультразвуковой сварки металлов являются амплитуда колебаний сварочного наконечника $\xi_{св}$, сварочное усилие $F_{св}$ и время сварки $t_{св}$.

Амплитуда колебаний сварочного наконечника является важнейшим параметром режима сварки, влияющим на создание необходимых условий для удаления поверхностных пленок, нагрев, расположение и размеры зоны пластической деформации свариваемого металла. $\xi_{св}$ назначают в зависимости от наличия оксидной пленки и ее толщины, а также от свойств (предела текучести и твердости) и толщины свариваемого металла в пределах от 0,5 до 50 мкм.

Сварочное усилие обеспечивает передачу ультразвуковых колебаний и вызывает пластическую деформацию металла в зоне соединения. С увеличением предела текучести, твердости и толщины свариваемого металла величина $F_{св}$ растет. При соединении элементов микросхем и полупроводников приборов $F_{св}$ составляет десятые доли ньютона, а при сварке относительно толстых листов превышает 10^4 Н.

Время сварки зависит от свойств и толщины свариваемого металла и устанавливается в пределах 0,1 – 4 с.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит сущность ультразвуковой сварки?

2. Какова температура в зоне нагрева при диффузионной сварке?

3. Назовите основные преимущества диффузионной сварки.

4. В каком диапазоне находится толщина соединяемых деталей при диффузионной сварке?

5. Назовите магнитострикционные материалы.

Лекция № 11. Сварка трением.

11.1. Сущность сварки трением.

Сваркой трением называют технологический процесс получения неразъемного соединения, осуществляемый за счет использования теплоты, образующейся на поверхности контакта двух заготовок, прижатых одна к другой, и участвующих в относительном движении. После прерывания или полного прекращения относительного движения сварка трением завершается приложением усилия проковки.

Как и при других способах сварки давлением, сварное соединение при сварке образуется в результате пластического деформирования приконтактных объемов свариваемых заготовок. Отличительной особенностью сварки трением является получение теплоты за счет прямого преобразования работы, затрачиваемой на преодоление сил трения, возникающих при взаимном перемещении трущихся поверхностей.

11.1.1.Преимущества и недостатки сварки трением.

Преимущества:

- высокое качество сварного соединения;
- высокая производительность процесса;
- возможность сварки металлов в однородных и разнородных сочетаниях.

Недостатки:

- масса и длина подвижной заготовки ограничена возможностями конкретной машины;
- существующие машины сварки трением не позволяют соединять заготовки с площадью поперечного сечения большей 150 мм^2.

11.1.2. Область применения сварки трения.

Сварка трением применяется в машиностроении, ядерной энергетике, в инструментальном производстве, в электротехнической промышленности, тракторо- и автомобилестроении, а также в самолетостроении, космической технике, химическом и нефтяном машиностроении.

11.2. Классификация способов сварки трением.

1) Сварка трением с непрерывным приводом впервые осуществлена в1956 г. А.И. Чулошниковым. Одной из заготовок сообщается вращательное движение. Заготовки соприкасаются и к ним прикладывается осевое усилие нагрева. Стадия нагрева в существующих машинах сварки трением регламентируется либо временем нагрева, либо степенью совместной деформации заготовок. Далее следует торможение подвижной заготовки и проковка.

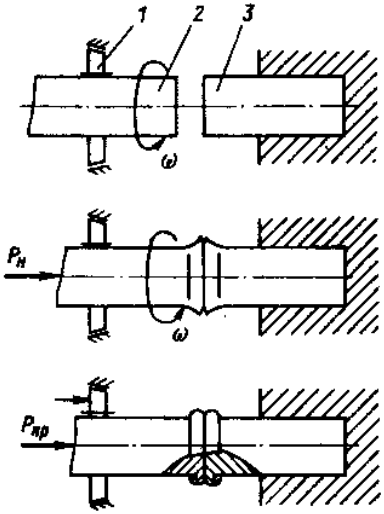


Рис. 11.1. Схема сварки трением с непрерывным приводом:

1- тормоз; 2,3 – свариваемые заготовки.

2) Инерционная сварка трением основана на использовании энергии, накопленной маховиком. Шпиндель с насаженным на него маховиком заданной массы разгоняется. По достижении определенного момента инерции вращающихся масс привод отключают и заготовки сжимают с заданным усилием. Сварка их завершается в момент остановки шпинделя.

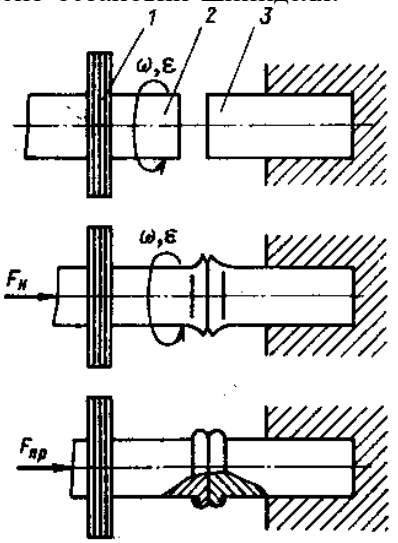


Рис 11.2. Схема инерционной сварки трением:

1- маховик; 2,3 – свариваемые заготовки.

3) Комбинированная сварка трением может осуществляться по одному из двух вариантов:

а) вначале процесс ведут с постоянной ω, а затем привод отключают и завершают сварку по инерционному циклу;

б) начало сварки ведут с постоянной ω, затем по инерционному режиму. По достижении шпинделем n = 5-6 $с^{-1}$, осуществляют его мгновенное торможение.

4) Колебательная сварка трением может выполняться за счет угловых колебаний одной или обеих заготовок или в процессе возвратно-поступательного движения (сварка вибротрени-

ем). Практическое применение получила только сварка вибротрением для соединения термопластов и реактопластов.

5) Орбитальная сварка трением осуществляется движением прижатых одна к другой заготовок, по круговой орбите без вращения вокруг собственных осей. Оси заготовок смещены во время стадии нагрева на величину эксцентриситета e, что позволяет относительно собственного временного центра круговые движения с орбитальным радиусом, равным эксцентриситету e. По завершении стадии нагрева оси совмещают, прекращая тем самым относительное движение заготовок, и выполняют проковку, формируя сварное соединение.

Орбитальная сварка трением позволяет сваривать заготовки, имеющие свариваемое сечение произвольной формы, при равномерном тепловыделении на всей свариваемой поверхности. Это делает ее перспективной для сварки заготовок с большой площадью сечения.

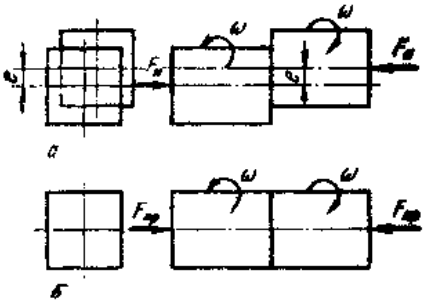


Рис. 11.3. Схема орбитальной сварки трением:

а – стадия нагрева, б – стадия проковки.

6) Радиальная сварка трением основана на использовании теплоты трения наружного или внутреннего кольца, вращающегося с заданной угловой скоростью, о скошенные концы труб, прижатых одна к другой с определенным усилием. По окончании стадии нагрева вращение кольца прекращают и его дополнительно сжимают в радиальном направлении.

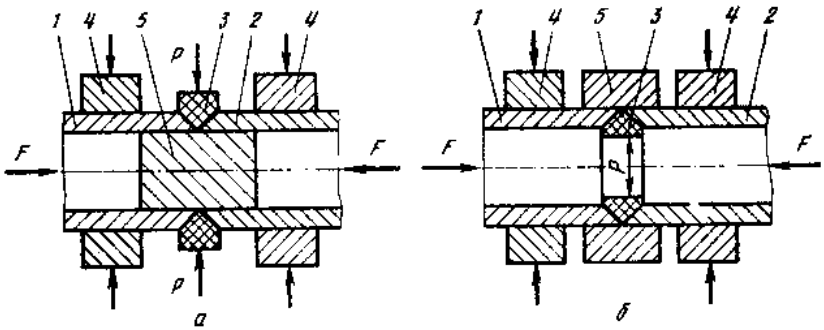


Рис. 11.4. Схема радиальной сварки трением:

а – с наружным разжимным кольцом; б – с внутренним разжимным кольцом; 1,2 – свариваемые заготовки; 3 – вращающееся кольцо из присадочного материала; 4 – зажимные элементы; 5 – оправка.

11.3. Технология сварки трением.

11.3.1. Подготовка поверхностей к сварке.

Состояние контактных поверхностей свариваемых заготовок при сварке трением влияет на качество сварных соединений в значительной меньшей степени, чем при других способах сварки давлением. Поверхности могут быть получены резкой ножницами, дисковыми пилами и даже газопламенной резкой. Влияние неровностей можно уменьшить притиркой или дополнительным временем нагрева. Небольшие очаги коррозии, грязь, масло, краска и другие загрязнения на контактных поверхностях в процессе сварки трением удаляются на стадии нагрева.

11.3.2. Режим сварки трением.

Режим сварки трением включает следующие параметры:

1) Частота вращения n является одним из главных регулируемых параметров и подсчитывается по оптимальной v,м/с, ко-

торая для черных металлов 2,6 – 3, для алюминия и меди 2, для титана 4 –5.

2) Удельное давление притирки $P_п$ назначается для улучшения условий работы машины сварки трением. Обычно $P_п$ = (0,15 – 0,2) $P_н$. Для углеродистых сталей $P_п$ = 10 МПа. Время притирки $t_п$ = 1 – 3 с.

3) Удельное давление нагрева $P_н$ при сварке трением углеродистых и низколегированных сталей выбирают в пределах 30 – 60 МПа, жаропрочных и инструментальных 60 –120 МПа, алюминиевых сплавов 7 – 23 МПа, алюминия с медью 40 –60 МПа, алюминия с коррозионно-стойкой сталью 6,4 – 12,2 МПа.

4) Удельное давление проковки назначают с учетом пластических свойств свариваемых материалов. Обычно $P_{пр}$ = (1 - 3) $P_н$. При сварке алюминия с коррозионно-стойкой сталью $P_{пр}$ = (8 - 10) $P_н$ (МПа). Время проковки $t_{пр}$ = 1,5 – 3 с.

5) Время нагрева $t_н$ оказывает решающее влияние на циклическую прочность и ударную вязкость сварного соединения. Определяется экспериментально.

6) Время торможения $t_т$ должно быть достаточно коротким, чтобы пластическое течение металла из зоны соединения не успело приобрести устойчивый характер.

11.3.3. Оборудование для сварки трением.

В состав оборудования для сварки трением могут входить: машина для сварки трением, станок для снятия грата, роботы или манипуляторы для загрузки – выгрузки и транспортирующие устройства.

Исходными данными при выборе оборудования являются: параметры режима сварки трением; потребная мощность привода шпинделя; размеры свариваемых заготовок; требуемая производительность процесса.

Мощность привода определяют по формуле $N_{дв}=N_{уд}S$, Вт (здесь S – площадь свариваемого сечения в мм^2, $N_{уд}$ = 20 Вт/мм^2).

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит сущность сварки трением?

2. Назовите основные преимущества и недостатки сварки трением.

3. Приведите классификацию процессов сварки трением.

4. Нужно ли осуществлять подготовку поверхностей к сварке трением?

5. Какие параметры входят в режим сварки трением?

Лекция № 12. Термокомпрессионная сварка.

12.1. Сущность термокомпрессионной сварки.

Термокомпрессия (микросварка давлением с подогревом соединяемых деталей) – это способ соединения металлов с металлами и неметаллами давлением с подогревом при относительно невысоких удельных давлениях.

Термокомпрессионная сварка является наиболее широко применяемым способом монтажа полупроводниковых микроприборов и интегральных схем в разнообразных корпусах с проволочными проводниками (выводами). Один из соединяемых элементов (обычно вывод) при термокомпрессионной сварке должен обладать достаточно высокой пластичностью. Температура при термокомпрессии не превышает температуры эвтектики соединяемых материалов и обычно равна температуре отпуска или отжига более пластичного металла.

Разновидностью способа сварки давлением с подогревом является сварка давлением с косвенным импульсным подогревом (СКИН). В способе СКИН в отличие от термокомпрессии инструмент импульсно нагревается проходящим по нему током. Из-за кратковременности процесса нагрева металлический проводник в месте контакта может нагреваться до более высоких температур, чем при термокомпрессионной сварке.

Это дает возможность приваривать проводники из относительно малопластичных металлов к тонким пленкам на керамических подложках, когда не допустим общий нагрев свариваемых деталей.

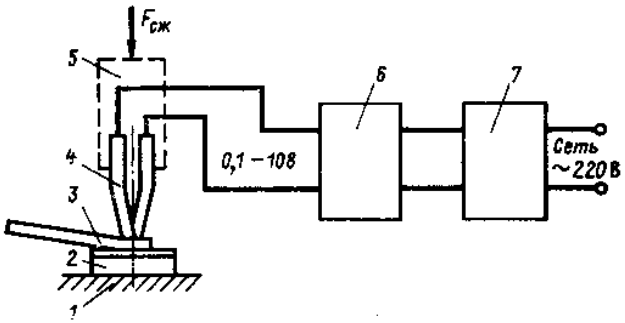


Рис. 12.1. Схема сварки давлением с косвенным нагревом:

1 – рабочий столик; 2 – подложка или полупроводниковый кристалл; 3 – проводник; 4 – пуансон; 5 – головка для крепления инструмента и создания усилия сжатия; 6 – источник питания; 7 – реле времени.

12.1.1. Область применения термокомпрессионной сварки.

В полупроводниковом производстве применяется для присоединения гибких проволочных проводников из золота, алюминия и меди к тонкопленочным площадкам, к металлизированной поверхности полупроводниковых кристаллов и выводам корпусов.

12.2. Классификация способов термокомпрессионной сварки.

Разновидности термокомпрессионной сварки могут быть классифицированы по трем основным признакам:

1) по способу нагрева;

Подвод тепла в зону сварки осуществляют тремя способами:

а) нагрев только рабочего столика;

б) нагрев рабочего инструмента;

в) одновременный нагрев рабочего столика и инструмента.

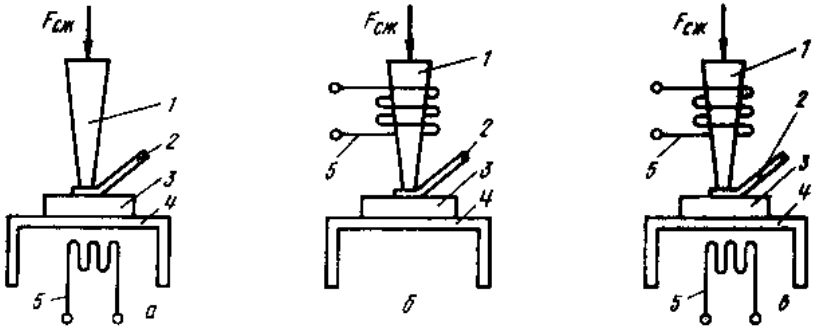


Рис. 12.2. Разновидности термокомпрессии в зависимости от способа нагрева:

а – нагрев только рабочего столика; б – нагрев рабочего инструмента; в – одновременный нагрев рабочего столика и инструмента; 1 – рабочий инструмент; 2 – присоединяемый проводник; 3 – подложка или кристалл полупроводникового прибора; 4 – рабочий столик; 5 – спираль для нагрева.

2) по способу выполнения соединения;

Применяют следующие способы выполнения соединения при термокомпрессионной сварке: внахлестку и встык.

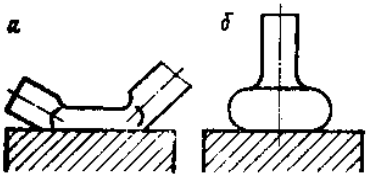


Рис. 12.3. Виды термокомпрессионной сварки по способу выполнения соединения:

а – нахлесточное; б – стыковое.

При сварке внахлестку проволочный вывод накладывают на металлизированную контактную площадку. Ось вывода располагают параллельно плоскости контактной площадки, а вывод подают под инструмент через специальную дюзу или непосредственно через рабочий инструмент.

При сварке встык конец проволочного вывода предварительно оплавляют. Диаметр образовавшегося шарика равен удвоенному диаметру предварительного вывода. Прочность сварных соединений, выполненных встык, значительно выше прочности сварных соединений внахлестку и равна при оптимальных пара-

метрах режима процесса сварки прочности привариваемого вывода;

3) по типу образовавшегося соединения, обусловленного формой применяемого инструмента.

Конфигурация нахлесточного соединения зависит от формы торца рабочего инструмента.

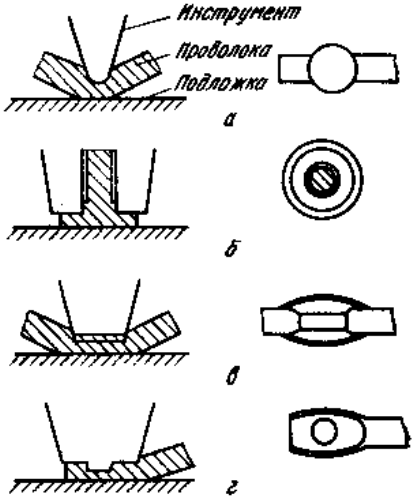


Рис. 12.4. Основные типы термокомпрессионных соединений в зависимости от формы применяемого инструмента:

а – соединение в виде плоской сварной точки (термокомпрессия клином); б – в виде шляпки гвоздя (термокомпрессия капилляром с образованием шарика); в – с ребром жесткости (термокомпрессия инструментом с канавкой); г - типа «рыбий глаз» (термокомпрессия инструментом с выступом)

12.3. Технология термокомпрессионной сварки.

12.3.1. Подготовка поверхностей к сварке.

Известны четыре основных вида возможных загрязнений свариваемых материалов:

1. Химически не связанные с поверхностью механические загрязнения (пыль и различные мелкие частицы).

2. Химически связанные с поверхностью загрязнения (оксидные, нитридные и другие пленки), образующиеся при химической и термической обработке свариваемых элементов при хранении.

3. Загрязнения в виде органических соединений (жировые пятна, остатки воска и т.п.).

4. Ионные загрязнения от предварительной химической обработки в щелочах, кислотах или солях, остатки флюса.

При термокомпрессионной сварке применяют четыре основных метода удаления загрязнения с поверхности:

1. Растворение (например, NaCl хорошо растворяется водой).

2. Эмульгирование (удаление жировой пленки с поверхности щелочью с образованием эмульсии).

3. Химическое воздействие, которое превращает загрязнения в растворимые продукты, которые затем могут быть удалены промывкой.

4. Механическое воздействие с целью удаления частиц загрязнений потоком жидкости или газа (например, удаление пылинок струей жидкости или в ванне с жидкостью при воздействии ультразвуковых колебаний).

12.3.2. Выбор параметров режима сварки.

Основными параметрами режима при термокомпрессионной сварки являются усилие сжатия P, температура нагрева соединяемых материалов или инструмента T и длительность выдержки t под давлением.

Величину усилия сжатия выбирают в зависимости от пластичности проводника, сочетания свариваемых материалов, диаметра привариваемого вывода и вида торца инструмента. При сварке алюминиевых проводников $p=(4\text{-}8)10^7 Н/м^2$, золотых проводников $p=(10\text{-}14)10^7 Н/м^2$.

Температура нагрева свариваемых материалов в контакте не должна превышать температуры образования эвтектики соединяемых материалов.

Длительность выдержки определяется экспериментально путем оценки прочности соединений и составляет от 0,1 до нескольких десятков секунд.

12.3.3. Оборудование, применяемое при термокомпрессионной сварке.

Установка для термокомпрессионной сварки содержит следующие основные узлы и элементы: рабочий столик с нагревательной колонкой или без нее; механизм сжатия; рабочий инструмент; механизм подачи и обрезки проволоки; механизм подачи корпусов; манипуляторы для совмещения соединяемых эле-

ментов; систему наблюдения; блоки питания и управления рабочими механизмами.

Контрольные вопросы:

1. Что такое термокомпрессия?
2. Назовите области применения термокомпрессионной сварки.
3. По каким признакам можно классифицировать процессы термокомпрессионной сварки?
4. Какие методы подготовки поверхностей применяется при термокомпрессионной сварке?
5. Какие параметры входят в режим термокомпрессионной сварки?

Лекция № 13. Сварка прокаткой и взрывом.

13.1. Сущность сварки прокаткой.

Сваркой прокаткой получают металлические конструкции, состоящие из двух или более слоев (компонентов), которые выполняют различные функции. Слой, выполняющий функцию силового элемента, называется основным. Слой, имеющий специальные свойства, которые определяются требованиями, предъявляемыми к конструкции, называется плакирующим. Основной слой, как правило, имеет большую по сравнению с плакирующим толщину и изготавливается из более дешевого материала.

Сварка может производиться при нагреве соединяемых материалов (горячая сварка прокаткой) и в холодном состоянии при получении многослойных материалов из пластичных металлов (холодная сварка прокаткой).

Сварка прокаткой является разновидностью сварки давлением и характеризуется тем, что соединение осуществляется в условиях принудительного деформирования при малых длительностях взаимодействия.

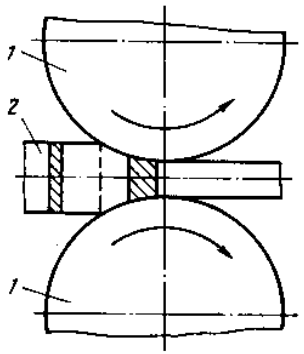
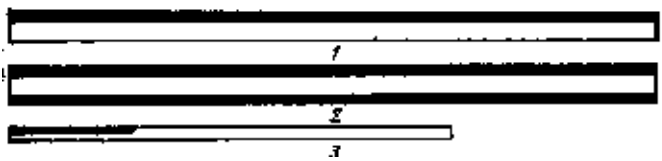


Рис. 13.1. Схема сварки прокаткой:
1 – валик; 2 – свариваемые заготовки.

Деформация свариваемых заготовок начинается при входе в валки. На выходе из валков на металл действуют сжимающие напряжения $P \sim \sigma_н$ (здесь $\sigma_н$ - начальный уровень напряжений, соответствующий начальному моменту времени релаксации). Под длительностью релаксации напряжений при сварке прокаткой понимают длительность деформации, по завершении которой $P = \sigma_н < \sigma$, где σ - уровень критических напряжений в процессе релаксации, при котором образовавшиеся в зоне соединения межатомные связи не разрушаются. Образование соединения в этом случае заканчивается схватыванием контактных поверхностей и релаксацией напряжений в той мере, в какой это необходимо для сохранения образовавшихся межатомных связей.

13.1.1. Технологические возможности.

Сваркой прокаткой получают коррозионно-стойкие, износостойкие, антифрикционные, электропроводные, инструментальные, жаростойкие, термоупругие, контактные, декоративные многослойные конструкции, поперечные сечения которых представлены на рис. 13.2.



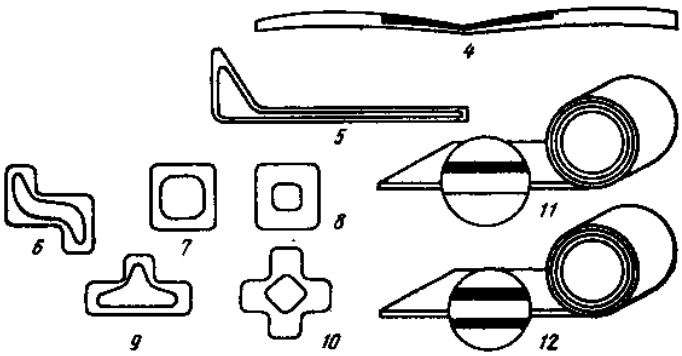


Рис. 13.2. Поперечные сечения профилей сварных конструкций:

1 – толстолистовая коррозионно-стойкая; 2 - толстолистовая трехслойная износостойкая; 3 – листовая для режущего инструмента с местной плакировкой; 4 – сдвоенная для самозатачивающихся плужных лемехов; 5-10 - фасонная коррозионно-стойкая; 11 - двухслойная лента Fe-Ni; 12 – трехслойная лента Al-Fe-Ni.

13.2. Технология сварки прокаткой.

13.2.1. Подготовка к сварке.

Исходной заготовкой служит пакет, состоящий из двух слоев металла в виде пластин. Перед сборкой в пакеты заготовки правят, а их свариваемые поверхности механически обрабатывают, зачищают стальными щетками или подвергают травлению и обезжириванию. Для предотвращения окисления поверхности заготовок при нагреве перед сваркой пакеты герметизируют по периметру.

13.2.2. Выбор параметров режима сварки прокаткой.

Основными регулируемыми параметрами сварки прокаткой являются:

1) T – температура заготовок перед сваркой, °C;

2) D – диаметр валков, мм;

3) n – число оборотов валков, мин $^{-1}$;

4) Δh - величина обжатия, %.

Производными этих параметров являются: v – скорость прокатки, мм/с; l – длина дуги захвата, мм; $t_в$ – длительность

взаимодействия; ε - скорость деформации в очаге деформации, $с^{-1}$; причем:

$$v = n\pi D,$$

$$l = \sqrt{1/2D\Delta h},$$

$$t_в = l/v$$

$$\varepsilon = (v/l)\ln(h_0/h_к),$$

где h_0 и $h_к$ – исходная и конечная толщины прокатываемого элемента.

13.2.3. Оборудование, применяемое при сварке прокаткой.

Сварку прокаткой осуществляют на обычных прокатных станах, используемых для получения однослойных заготовок аналогичного размера.

13.3. Сущность сварки взрывом.

Сварка взрывом – вид сварки давлением, осуществляемый под действием энергии, выделяемой при взрыве заряда взрывчатого вещества.

Принципиальная схема осуществления сварки взрывом приведена на рис. 13.3. Неподвижную пластину 4 и метаемую пластину 3 располагают под углом α на заданном расстоянии h от вершины угла. На метаемую пластину укладывают заряд 2 взрывчатого вещества. В вершине угла устанавливается детонатор 1. Сварка производится на опоре 5 (металл, песок). Площадь метаемой пластины, как правило, больше площади основной пластины. Нависание метаемой пластины над основой необходимо для уменьшения влияния эффекта бокового разлета продуктов взрыва при детонации плоского заряда взрывчатого вещества.

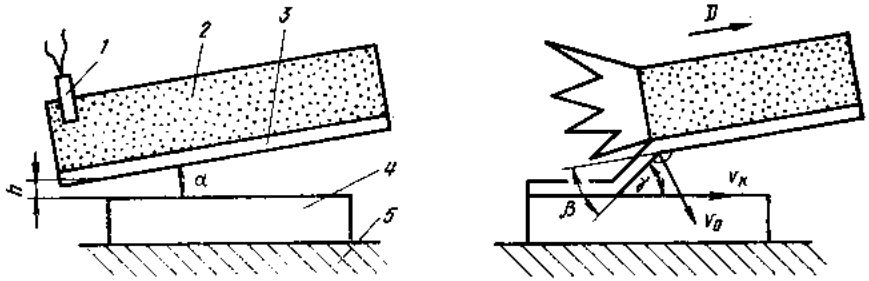


Рис. 13.3. Схема сварки взрывом под углом:

1 – детонатор; 2 - заряд взрывчатого вещества; 3 - метаемый элемент; 4 – неподвижный элемент; 5 – опора.

На практике чаще всего применяется более простая, так называемая параллельная схема, когда угол α=0.

При инициировании взрыва по заряду взрывчатого вещества распространяется детонационная волна, скорость фронта которой D измеряется тысячами метров в секунду. Под действием высокого давления расширяющихся продуктов взрыва метаемая пластина приобретает скорость v_0 порядка нескольких сотен метров в секунду и соударяется с неподвижной пластиной под определенным углом $\gamma = \alpha + \beta$. В окрестности точки соударения развиваются давления, на порядок превосходящие пределы прочности материалов, которые, согласно гидродинамической теории, текут подобно жидкостям. Течение в зоне соударения определяется углом соударения γ и скоростью точки контакта $v_к$, которые связаны с исходными параметрами соударения и позволяют изменять режим сварки. В определенном диапазоне изменения этих двух параметров впереди точки контакта возникает стационарный поток массы соединяемых материалов в виде кумулятивной струи или облака дисперсных частиц. При этом производится самоочищение свариваемых поверхностей, а за точкой контакта создаются условия для их сближения под действием высоких давлений соударения и совместного пластического течения. Длительность процесса составляет 10^{-6} – 10^{-5} с., поэтому диффузия на заметную глубину происходить не успевает. В оптимальных режимах соударения расплавы не фиксируются.

Для создания в зоне соударения свариваемых пластин необходимых условий соединения их в твердой фазе необходимо, чтобы скорость точки контакта $v_к$ была меньше скорости распространения объемных волн сжатия с; в противном случае металл не успевает деформироваться и сварка не произойдет. Это условие осуществляется применением взрывчатых веществ с соответствующей скоростью детонации.

Энергия, необходимая для сварки двух поверхностей металла и затраченная на пластическую деформацию прилегающих к ним слоев, определяется по формуле:

$$W = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} v_0^2 \left[1 - \left(\frac{v_к}{c} \right)^2 \right],$$

где m_1 и m_2 –соответственно массы метаемой и неподвижной пластин.

Скорость движения точки контакта $v_к$ определяет скорость распространения зоны высокого давления по свариваемым поверхностям. При угловой схеме сварки:

$$v_к = D\sin(\gamma - \alpha)/\sin\gamma,$$

$$\gamma = \alpha + \beta = \alpha + 2\arcsin(v_0/2D).$$

При начальном параллельном расположении пластин:

$$v_к = D,$$

$$\gamma = 2\arcsin(v_0/2D).$$

13.3.1. Преимущества сварки взрывом:

- возможность соединения между собой металлов и сплавов, образующие твердые и хрупкие интерметаллиды, например, стали с алюминием или титаном;
- возможность плакирования изделий любой формы и размеров.

13.4. Технология сварки взрывом.

13.4.1. Подготовка материалов к сварке.

Перед сваркой взрывом соединяемые материалы должны быть очищены от загрязнений масляными пленками, ржавчиной, окалиной, так как при скоростях детонации 2000-2500 м/с с контактной поверхности удаляется только тонкий слой до 12 мкм. Свариваемые поверхности должны быть зачищены до металлического блеска или протравлены и обезжирены.

13.4.2. Выбор параметров режима сварки взрывом.

Для приближенного определения нижней границы области сварки можно использовать выражение

$$\gamma_{\min} = 1{,}14\sqrt{HV/(\rho v_к^2)},$$

где HV – твердость по Виккерсу. Учитывая, что при малых углах соударения $\gamma = v_0/v_к$, минимальная скорость метания можно определить из выражения:

$$v_{\min} = 1{,}14\sqrt{HV/\rho}.$$

Максимальную скорость метания пластины оценивают по формуле:

$$v_{\max} = 1{,}2D\sqrt{1+32/27r} - 1/\sqrt{1+32/27r} + 1,$$

где r – отношение массы заряда взрывчатого вещества к массе пластины:

$$r = \rho_{ВВ} H_{ВВ} / \rho\delta \ ;$$

$\rho_{ВВ}, H_{ВВ}, \rho, \delta$ - плотность и толщина заряда взрывчатого вещества и метаемой пластины соответственно.

Для расчета угла соударения на практике применяется следующая зависимость:

$$\gamma \approx v_0 / D = 3r/(4r+9).$$

Метаемая пластина приобретает максимальную скорость на расстоянии $h = \delta$, поэтому на практике сварочный зазор выдерживают в пределах $h = (1 \div 1{,}2)\delta$.

13.4.3. Оборудование, применяемое при сварке взрывом.

Оборудование и оснастка для сварки металлов взрывом зависят от формы свариваемых деталей и места проведения работ.

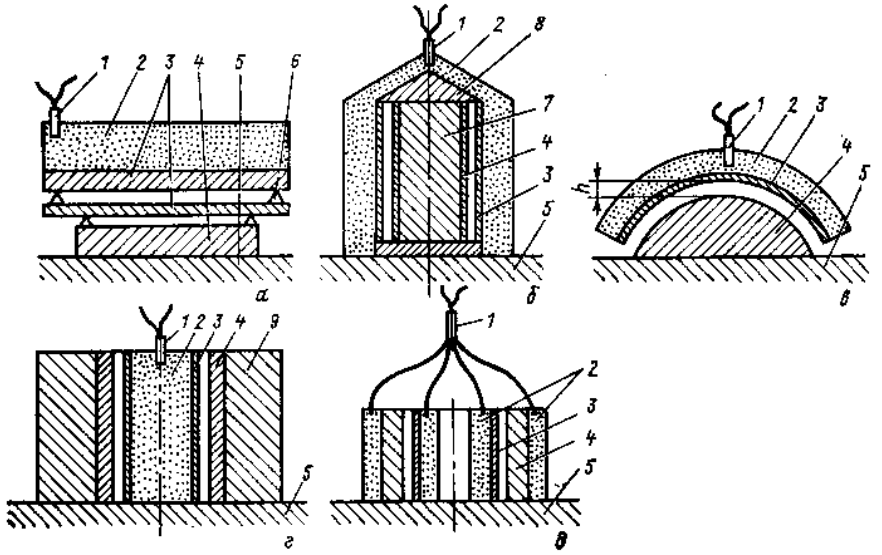


Рис. 13.4. Технологические схемы и оборудование для сварки взрывом:

а – параллельная для плоских изделий (многослойная); б – плакирование наружной поверхности труб; в – эквидистатная; г – плакирование внутренней поверхности труб; д – плакирование

крупногабаритных обечаек; 1 – детонатор; 2 заряд взрывчатого вещества; 3 метаемый элемент; 4 – неподвижный элемент; 5 – опора; 6 – установочный элемент; 7 – стержень; 8 – конус; 9 – матрица.

Контрольные вопросы:

1. Какой слой называется плакирующим?
2. Каковы технологические возможности сварки прокаткой?
3. Какие параметры входят в режим сварки прокаткой?
4. В чем состоит сущность сварки взрывом?
5. Какие методы подготовки поверхностей применяется при сварке взрывом?

Лекция № 14. Высокочастотная сварка.

14.1. Сущность высокочастотной сварки.

Высокочастотная сварка – сварка давлением, при которой для нагрева свариваемых поверхностей используются токи высокой частоты. Этот ток может подводится к свариваемым поверхностям деталей двумя способами:

- при помощи проводников (кондуктора), подключающих свариваемые детали к источнику ТВЧ (кондуктивный способ подачи энергии);
- за счет индуктирования в свариваемых деталях тока высокой частоты с помощью токопроводящего витка (индуктора), подключенного к источнику ТВЧ (индукционный способ подачи энергии).

Нагрев свариваемых поверхностей при высокочастотной сварке обеспечивается за счет использования основных эффектов, связанных с прохождением тока высокой частоты по металлическим проводникам: поверхностного эффекта и эффекта близости.

При пропускании тока высокой частоты по проводнику вокруг и внутри проводника создается магнитное поле, которое, согласно закону электромагнитной индукции, вызывает в проводнике э. д. с. самоиндукции, которая будет направлена противоположно э. д. с. источника питания. При этом э. д. с. самоиндукции, воздействующая на внутренние линии тока, будет больше,

чем э. д. с. самоиндукции, воздействующая на поверхностные линии тока. Это приводит к тому, что плотность тока на поверхности будет больше, чем во внутренней области проводника. Такая неравномерность будет увеличиваться по мере повышения частоты тока, т.е. величина э. д. с. самоиндукции пропорциональна частоте тока. Таким образом, с повышением частоты тока концентрация тока на поверхности проводника будет увеличиваться. Этот эффект называется поверхностным эффектом.

При сильном проявлении поверхностного эффекта уменьшение плотности по мере удаления от поверхности к центру проводника происходит по закону:

$$I_x = I_0 e^{-x/\Delta} \ ,$$

где I_x – плотность тока на расстоянии x от поверхности проводника; Δ - глубина проникновения тока:

$$\Delta = 503\sqrt{\rho / \mu f} \ \text{, м},$$

где ρ - удельное электросопротивление при 20°С, мкОм□м, μ - относительная магнитная проницаемость материала, f – частота тока, кГц.

При сильном проявлении поверхностного эффекта ток по центральной части проводника практически не течет, что приводит к увеличению активного сопротивления и усилению нагрева проводника.

Эффект близости заключается в перераспределении линий тока, протекающих в соседних проводниках, вследствие их взаимного влияния. Это явление имеет место только в случае достаточно сильного проявления поверхностного эффекта, т.е. при условии, что глубина проникновения тока достаточно мала по сравнению с поперечными размерами проводника и поперечное сечение проводника лишь частично занято током.

Если проводник с током высокой частоты (индуктор) расположить над проводящей пластиной, то максимальная плотность тока в пластине будет под индуктором. Ток на поверхности пластины будет как бы следовать за индуктором. Это явление позволяет управлять распределением тока в свариваемых телах и играет большую роль при высокочастотной сварке.

14.1.1. Преимущества высокочастотной сварки:

- обеспечение строгой локализации энергии в зоне сварки;

- высокая интенсивность и эффективность передачи энергии с повышением частоты тока, что упрощает устройства для передачи энергии, в частности позволяет обеспечить бесконтактную ее передачу.

14.2. Методы подвода тока при высокочастотной сварке.

При высокочастотной сварке можно выделить два механизма нагрева свариваемых поверхностей: автоконцентрацию тока и принудительную концентрацию тока.

При автоконцентрации тока по каждой из свариваемых поверхностей пропускают токи, направление которых в каждый момент времени противоположны один другому. За счет эффекта близости происходит самоконцентрация тока на свариваемых поверхностях, причем эта самоконцентрация проявляется тем сильнее, чем ближе между собой свариваемые поверхности и выше частота тока. Этот способ наиболее просто реализуется при непрерывном движении свариваемых кромок, сходящихся под некоторым углом.

При принудительной концентрации тока пропускание через индуктирующий провод тока высокой частоты вызывает в нагреваемых изделиях возникновение тока, противоположного по фазе току индуктора. Вследствие эффекта близости индуктированный ток будет протекать по зоне, определяемой конструкцией и расположением индуктора.

На описанных принципах нагрева свариваемых поверхностей базируются все методы подвода тока при высокочастотной сварке:

1) Кондуктивный токоподвод при непрерывной высокочастотной стыковой сварке наиболее широко применяется при производстве электросварных труб.

В специальном формовочном стане из непрерывной полосы формируется трубная заготовка, которая поступает в сварочные валки, обеспечивающие сжатие кромок. При этом кромки образуют щель V-образной формы. К кромкам трубной заготовки на некотором расстоянии от оси сварочных валков подводятся контакты, которые при движении заготовки скользят по ее поверхности. Контактное устройство (кондуктор) подключается к генератору высокой частоты, и по сварочному контуру, образованному кромками трубной заготовки, контактами и вторичной обмоткой сварочного трансформатора, начинает протекать ток

высокой частоты. Поскольку направление тока в каждой из кромок трубной заготовки в любой момент времени противоположны, то вследствие проявления поверхностного эффекта и эффекта близости происходит автоконцентрация тока на противоположных поверхностях кромок, т.е. распределение тока на кромках определяется в основном их взаимным расположением и практически не зависит от источника тока.

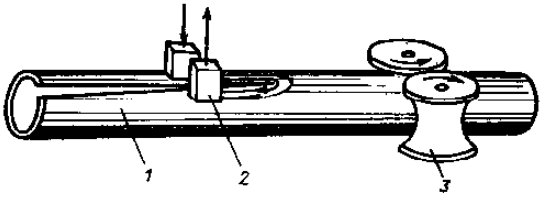


Рис. 14.1. Схема кондуктивного токоподвода при непрерывной высокочастотной стыковой сварке:

1 – трубная заготовка; 2 – контакты кондуктора; 3 – сварочные валки.

Проходя вдоль кромок, электрический ток нагревает их до температуры сварки, и сварочные валки, обеспечивают сжатие торцов кромок и их деформацию, необходимую для образования соединения.

2) Индуктивный подвод тока при непрерывной высокочастотной стыковой сварке наиболее распространен при высокочастотной сварке продольных швов труб, замкнутых профилей и изделий аналогичной формы. В зависимости от диаметра свариваемых труб применяются либо охватывающие, либо внутренние индукторы. При прохождении тока высокой частоты по катушке индуктора в теле трубной заготовки индуктируется ток, который, встречая щель, образованную кромками, замыкается через точку их соприкосновения.

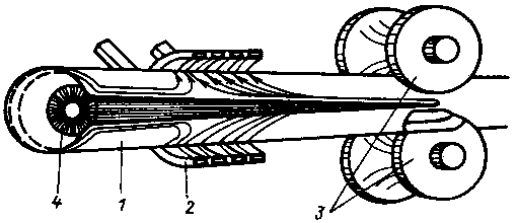


Рис. 14.2. Схема индуктивного токоподвода при непрерывной высокочастотной стыковой сварке:

1 – трубная заготовка; 2 – индуктор; 3 – сварочные валки; 4 – магнитопровод.

Энергия, передаваемая от индуктора к трубной заготовке, затрачивается на нагрев кромок до температуры сварки и на бесполезный нагрев трубной заготовки. Эффективность передачи энергии в значительной мере повышается, если внутри трубной заготовки установить магнитопровод из ферромагнитного материала.

3) Одновременная стыковая сварка основана на нагреве свариваемых стыков за счет принудительной концентрации тока. Свариваемые трубы помещаются внутри цилиндрического индуктора так, чтобы стык находился внутри цилиндрического индуктора. При пропускании через индуктор ТВЧ в свариваемых стыках индуктируется ток, обратный по фазе току индуктора. Вследствие эффекта близости индуктированный ток протекает по полосе, ширина которой зависит от ширины индуктора и величины зазора между трубой и индуктором. После нагрева стыков до сварочной температуры к ним прикладывается сварочное давление и происходит осадка.

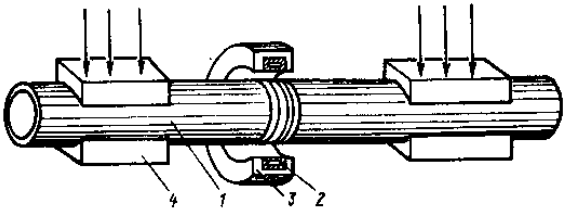


Рис. 14.3. Схема стыковой высокочастотной сварки труб:
1 – свариваемая труба; 2 – индуктор; 3 – магнитопровод; 4 – зажимы для фиксации свариваемых труб и создания осадки.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается кондуктивный подвод энергии при высокочастотной сварке?
2. В чем заключается индуктивный подвод энергии при высокочастотной сварке?
3. В чем сущность поверхностного эффекта?
4. В чем сущность эффекта близости?
5. Какие механизмы нагрева соединяемых поверхностей можно выделить при высокочастотной сварке?

Лекция № 15. Магнитно-импульсная сварка.

15.1. Сущность магнитно-импульсной сварки.

Магнитно-импульсная сварка относится к способам сварки с высокоинтенсивным силовым воздействием. Она характеризуется высокой скоростью соударения соединяемых деталей и малой длительностью процесса, стабильностью воспроизведения рабочих режимов, высокой производительностью.

Магнитно-импульсная сварка – сварка с применением давлением, при которой соединение осуществляется в результате соударения свариваемых частей, вызванного воздействием импульсного магнитного поля. Малая длительность процесса магнитно-импульсной сварки и отсутствие рекристаллизации или образования новых фаз в зоне соединения позволяет предположить, что прочность соединения определяется числом атомов, образовавших химические связи и релаксации упругих напряжения в той мере, в какой это необходимо для возникновения связей.

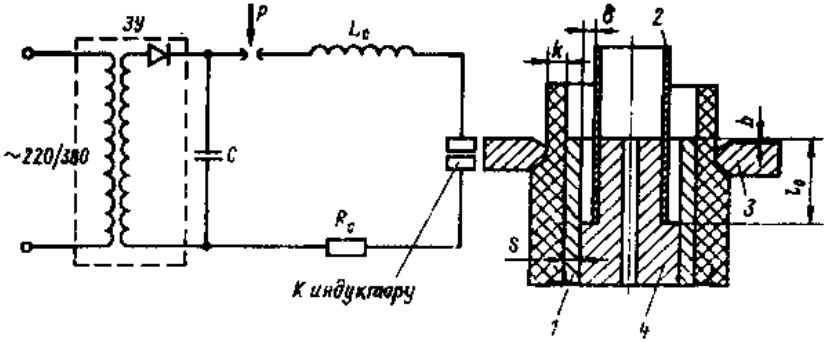


Рис. 15.1. Схема магнитно-импульсной сварки:

1 – метаемая деталь; 2 – неподвижная деталь; 3 – индуктор-концентратор; 4 – центрирующая металлическая оправка; ЗУ – зарядное устройство; С – емкость накопителя; З – разрядник.

Свариваемые метаемые 1 и неподвижные 2 детали с зазором δ вводят в рабочую зону индуктора 3, питаемого током от мощной батареи конденсаторов С. При разряде конденсаторных батарей ток, протекающий через индуктор, образует в окружающем его пространстве электромагнитное поле, которое наводит

вихревой ток в подвижной детали. Взаимодействие двух встречно-направленных токов приводит в движение метаемую деталь, которая мгновенно с большой скоростью перемещается до соударения с неподвижной деталью, обеспечивая их сварку.

Основными управляемыми параметрами магнитно-импульсной сварки является энергия магнитного импульса W, толщина метаемой детали s, зазор между неподвижной и метаемой деталями δ, а также величина ввода метаемой детали в рабочую зону индуктора b и длина ее метаемого участка l_0.

15.1. Технологические возможности.

Магнитно-импульсной сваркой соединяют трубчатые детали диаметром до 100 мм как между собой, так и с другими деталями, а также плоские детали по внутреннему и наружному контуру с толщиной метаемых деталей 0,5 – 2,5 мм при минимальной толщине неподвижных деталей 0,3 мм. Магнитно-импульсной сваркой сваривают алюминий, алюминиевые сплавы, медь, нержавеющие стали и титановые сплавы в однородном и разнородном сочетании.

15.2. Технология магнитно-импульсной сварки.

15.2.1. Подготовка поверхностей к сварке.

Очистка свариваемых поверхностей включает следующие операции: удаление внешних загрязнений, масла, краски, пыли и других; обезжиривание в бензине, ацетоне свариваемых поверхностей и инструмента; механическая зачистка специальным резаком, шабером; обезвоживание спиртом.

15.2.2. Выбор параметров режима.

В режим магнитно-импульсной сварки входят следующие параметры:

1) нормальная скорость соударения метаемой детали $v_н$:

$$v_н = (B^2 / 4\pi\gamma)^{1/2},$$

где $B = \mu \cdot H$ - магнитная индукция, Тл; γ – плотность материала, кг/м^3; μ – магнитная проницаемость, Гн/м; $H = 2I / r$ - напряжение магнитного поля, А/м; I – сила тока; r – радиус рабочей зоны индуктора.

2) скорость движения точки контакта свариваемых материалов:

$$v_к = v_н / tg\alpha ,$$

где α – угол соударения.

3) нормальное давление соударения $P_к$.

Сварное соединение при магнитно-импульсной сварке образуется при $v_н$=150-300м/с и $v_к$=1500-2400м/с независимо от начальных параметров процесса при $P_к$=400-500МПа.

15.2.3. Оборудование

Магнитно-импульсная установка представляет собой комплекс энергетического и технологического оборудования.

В настоящее время в эксплуатации находятся универсальные установки разных модификаций типа МИУ-20, МИУ-50, МИУ-100, ЭМУ-1, ЭМУ-2 и другие.

Основным узлом магнитно-импульсной установки является индуктор, состоящий из токопроводящей спирали, токоподводов, изоляции и элементов механического усилия. Индукторы делятся по назначению – для обжима, раздачи трубных и деформации плоских деталей; по принципу работы – одноступенчатые, многоступенчатые, с непосредственным подводом тока к метаемой детали.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит сущность магнитно-импульсной сварки?
2. Назовите основные управляемые параметры магнитно-импульсной сварки.
3. Каковы технологические возможности магнитно-импульсной сварки?
4. Как осуществляется подготовка поверхностей при магнитно-импульсной сварке?
5. Какие параметры входят в режим магнитно-импульсной сварки?

Лекция № 16. Наплавка.

16.1. Сущность наплавки.

Наплавка металла на поверхность детали дает возможность придать ей необходимые достаточные механические и

физико-химические свойства и тем самым повысить надежность и долговечность работы и снизить себестоимость.

Наплавочные работы применяются для создания на деталях поверхностных слоев с требуемыми свойствами, а также для восстановления исходных размеров изношенных деталей. Например, наплавку используют для изготовления деталей из конструкционных, сравнительно дешевых сталей, на рабочие поверхности которых наплавляют износостойкий, жаростойкий или иной спец. сплав.

При наплавочных работах, как правило, необходимо получать минимальное проплавление основного металла и минимальное перемешивание основного и наплавленного металла для того, чтобы сохранить механические свойства наплавленного слоя.

В то же время наплавленный металл должен прочно соединяться с металлом основы и не должен содержать пор, шлаковых включений, раковин трещин и др. дефектов.

16.2. Классификация наплавочных материалов

Для наплавочных работ создано большое количество различных сплавов, которые можно разбить на следующие основные группы:

1) литые;
2) порошковые, или зернистые;
3) керамические, или спеченные;
4) плавленые карбиды.

1) К литым сплавам относятся сормайт (2,5%C, 2,8% Si, 25% Cr, 3,5% Ni), ВК-3 (1,7% C, 28% Cr, 4% W, 58% Co) и др.

Литые сплавы обычно выпускают в виде стержней различного диаметра и их применяют главным образом для наплавки изнашивающихся рабочих поверхностей, например, штампов, матриц и пуансонов, а также машин и механизмов, работающих на трение.

2) Порошкообразные или зернистые сплавы выпускают в виде порошка или крупки с величиной зерна 1-2 мм. Зернистые сплавы представляют собой механическую смесь различных составляющих. К зернистым сплавам относятся сталинит (8% C; 13% Mn; 18% Cr и др.), вокар (0,5%C, 85% W и др), ВИСХОМ-9 (6%C, 15% Mn; 5% Cr, остальное чугунная стружка). Эти сплавы применяются при наплавке зубьев экскаваторов,

шеек камнедробилок, козырьков ковшей землечерпалок и др. деталей машин. Зернистые сплавы используют в виде присадочного порошка или как наполнители трубчатого электрода.

3) Керамические сплавы выпускают в виде пластинок и применяют главным образом для оснащения режущего инструмента. Основой этих сплавов являются карбиды вольфрама и титана. Пластинки керамических сплавов закрепляют на державках с помощью пайки.

4) Плавленые карбиды выпускают в виде кусков с острыми гранями. Они имеют очень высокую твердость и температуру плавления (около 3000 ^{0}C) и их применяют для оснащения бурового инструмента. Куски сплава вваривают в углубления на поверхности детали таким образом, чтобы режущая грань выступала над поверхностью. Пространство между кусочками сплава заполняются наплавкой другого твердого сплава, литого или зернистого. В процессе работы инструмента промежуточный твердый сплав изнашивается быстрее и режущая грань плавленых карбидов все больше выступает над поверхностью и режет горную породу.

16.3. Классификация способов наплавки.

Способы наплавки по физическому признаку (используемый источник нагрева) можно разделить на три группы:

1) термические:

а) ручная дуговая наплавка штучными электродами

Этот способ являются наиболее распространенным способом благодаря простоте и возможности наплавления любой формы детали. При этом способе используют электроды требуемого состава диаметром от 3 до 6 мм. Наплавку ведут короткой дугой на минимальном токе. Для повышения производительности можно применять наплавку пучком электродов и трехфазной дугой.

Основные достоинства метода:

- универсальность и гибкость при выполнении разнообразных наплавочных работ;
- простота и доступность оборудования;
- возможность получения наплавленного металла практически любой системы легирования.

Основные недостатки метода:

- низкая производительность;

- тяжелые условия труда;
- непостоянство качества наплавленного слоя;
- большое проплавление основного металла.

б) полуавтоматическая и автоматическая дуговая наплавка

Для наплавки применяются все основные способы механизированной дуговой сварки – под флюсом, проволоками и лентами в среде защитных газов. Наиболее широко используется наплавка под флюсом одной проволокой или лентой. Для увеличения производительности применяют многодуговую или многоэлектродную наплавку. Большое распространение получила дуговая наплавка самозащитными проволоками и лентами. Стабилизация дуги, легирование и защита расплавленного металла от азота и кислорода воздуха обеспечивается компонентами сердечника электродного материала.

Дуговая наплавка в среде защитных газов применяется относительно редко. В качестве защитных газов используются углекислый газ, аргон, гелий или смеси этих газов.

Преимущества:

- универсальность;
- высокая производительность;
- возможность получения наплавленного металла любой системы легирования.

Основной недостаток:

- большое проплавление основного металла, особенно при наплавке проволоками.

в) электрошлаковая наплавка

Электрошлаковую наплавку металла применяют, например, для наплавки больших поверхностей различными износостойкими сплавами, а также сплавами с особыми свойствами. В качестве присадочного металла, наряду с проволочными и пластинчатыми электродами, могут применяться электроды сложной формы.

Процесс наплавки начинается с зажигания и поддерживания мощной электрической дуги под слоем флюса. После образования ванны из жидкого шлака достаточной глубины процесс дуговой сварки переходит в электрошлаковый. Горение дуги прекращается, оплавление кромок изделий и расплавление электрода происходят за счет тепла, выделяющегося электрическим током в соответствии с законами Джоуля - Ленца при про-

хождении через жидкий шлак к металлу, и тепла выделяемого в контактах (жидкий шлак-металл).

Основные достоинства метода:

- высокая производительность процесса в широком диапазоне плотностей тока (от 0,2 до 300 А/мм^2), что позволяет использовать для наплавки как электродную проволоку диаметром менее 2 мм, так и электроды большого сечения (>35000 мм^2);
- производительность, достигающая сотен килограммов наплавленного металла в час;
- возможность наплавки за один проход слоев большой толщины.

Основные недостатки:

- большая погонная энергия процесса, что обуславливает перегрев основного металла в зоне термического влияния;
- сложность и уникальность оборудования;
- невозможность получения слоев малой толщины.

г) плазменная наплавка основана на использовании в качестве источника нагрева плазменную дугу. Как правило, плазменная наплавка выполняется постоянным током прямой или обратной полярности. Плазменная наплавка имеет относительно низкую производительность (4-10кг/час), но благодаря минимальному проплавлению основного металла позволяет получить требуемые свойства наплавленного металла уже в первом слое и за счет этого сократить объем наплавочных работ.

Основные достоинства метода:

- высокое качество наплавленного металла;
- малая глубина проплавления основного металла при высокой прочности сцепления;
- возможность наплавки тонких слоев.

Основные недостатки:

- относительно невысокая производительность;
- необходимость в сложном оборудовании.

д) индукционная наплавка – высокопроизводительный легко поддающийся механизации и автоматизации процесс. В промышленности применяются два основных варианта индукционной пайки: с использованием твердого присадочного материала (порошковой шихты, стружки, литых колец) расплавляемого индуктором непосредственно на наплавляемой поверхности, и жидкого присадочного металла, который выплавляется отдельно и

заливается на разогретую индуктором поверхность наплавляемой детали.

Основные достоинства метода:

- малая глубина проплавления основного металла;
- возможность наплавки тонких слоев;

Основные недостатки:

- низкий к.п.д. процесса;
- перегрев основного металла;

е) лазерная наплавка;

Применяют три способа лазерной наплавки: оплавление предварительно нанесенных паст; оплавление напыленных слоев; наплавка с подачей присадочного порошка в зону оплавления. Производительность лазерной порошковой наплавки достигает 5 кг/ч.

Основные достоинства метода:

- малое и контролируемое проплавление при высокой прочности сцепления;
- возможность получения тонких наплавленных слоев;
- небольшие деформации наплавляемых деталей;
- возможность наплавки труднодоступных поверхностей;
- возможность подвода лазерного излучения к нескольким рабочим местам, что сокращает время на переналадку оборудования.

ж) электронно-лучевая наплавка;

При электронно-лучевой наплавке электронный пучок позволяет раздельно регулировать нагрев и плавление основного и присадочного материалов, а также свести к минимуму их перемещение. Наплавка производится с присадкой сплошной или порошковой проволоки. Так как наплавка производится в вакууме, то шихта порошковой проволоки может состоять из одних легирующих компонентов.

з) газовая наплавка;

и) печная наплавка композиционных сплавов.

2) термомеханические:

а) электроконтактная наплавка

При этом способе наплавки соединение основного и присадочного металла осуществляется в результате совместной пластической деформации, протекающей при прохождении импульсов тока и действии усилия сжатия. В качестве присадочного материала используют ленту, проволоку, порошки их смеси.

б) плакирование прокаткой и экструдированием

Разнообразные способы плакирования с помощью горячей сварки прокаткой и экструдированием применяются в основном для производства толстых и тонких листов, полос, лент, фасонных профилей, прутков и проволоки.

3) механические:

а) плакирование с использованием энергии взрыва

Источником энергии при сварке взрывом служат взрывчатые вещества. Сварка взрывом применяется как для производства заготовок под последующую прокатку, так и непосредственно для плакирования деталей. Наиболее широко применяется взрывное плакирование пластичными коррозионно-стойкими сталями и сплавами.

б) наплавка трением

Суть метода заключается в быстром вращении присадочного прутка (1500-4000 об/мин), который торцом прижимается к наплавляемой поверхности. Металл нагревается, становится пластичным и как бы намазывается на поверхность изделия.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит сущность наплавки?
2. Приведите классификацию материалов, применяемых для наплавки.
3. Как можно классифицировать способы наплавки?

Лекция № 17. Напыление.

17.1. Классификация видов газотермического напыления.

Газотермическим напылением называют процесс нанесения покрытий, основанный на нагреве материала до жидкого состояния и распыление его на изделие - подложку с помощью газовой струи.

Покрытия наносят без существенного повышения температуры подложки, что исключает появление деформации напыленных деталей.

Газотермическое напыление можно разделить на две группы (рис. 17.1.):

1) газопламенное;

2) газоэлектрическое.

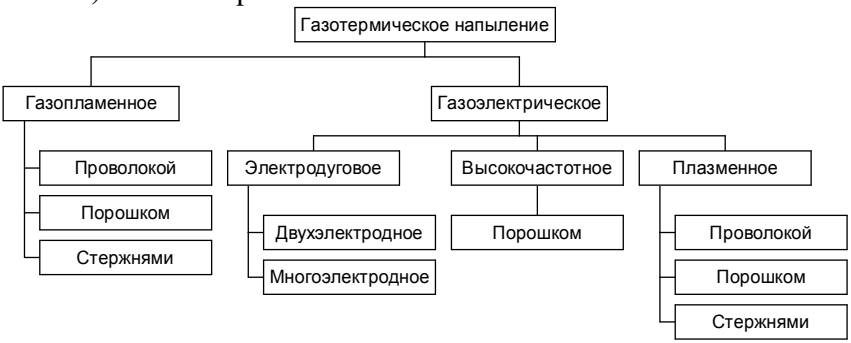


Рис. 17. 1. Классификация видов газотермического напыления.

1) Сущность газопламенного напыления заключается в расплавлении напыляемых материалов газовым пламенем и распылении их сжатым воздухом (рис. 13.2.)

В качестве напыляемого материала применяют порошок, проволоку сплошного сечения и порошковую проволоку или стрежни. В качестве горючего газа применяют ацетилен, пропан-бутан, природный газ и др. Недостатками газопламенного напыления являются низкое качество покрытий, обусловленное пониженной температурой пламени, малыми скоростями переноса частиц и большим содержанием окислов в покрытии.

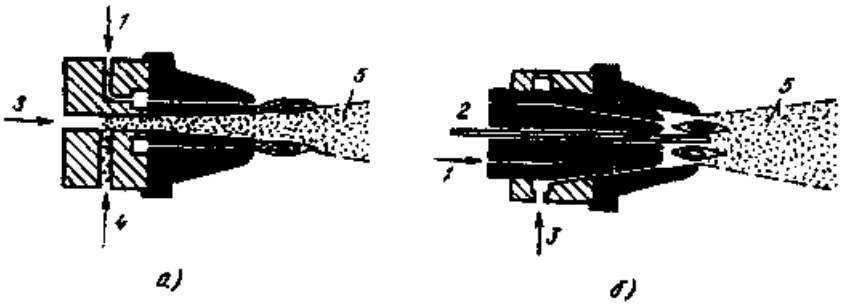


Рис 17.2. Схема напыления газовым пламенем:

1 - горючая смесь; 2 - распыляемая проволока; 3 - сжатый воздух;

4 - напыляемый порошок; 5- металлизационный факел.

2) Сущность электрометаллизационного напыления заключается в плавлении проволоки электрической дугой и распылении жидкого металла сжатым воздухом. Распыления сжатым воздухом приводит к значительному выгоранию компонентов и их окислению.

Электрометаллизаторы значительно проще в управлении в сравнении с пламенными. При электродуговом напылении в качестве исходного материала используют проволоку.

Высокочастотные металлизаторы, как и электродуговые, относятся к аппаратам проволочного типа. Нагрев проволоки осуществляют индуцированием в ней токами высокой частоты. В качестве источника питания применяют ламповые генераторы ТВЧ (70-500кГц). Производительность высокочастотных металлизаторов в 1,5-2,5 раза выше производительности электрометаллизационных. Недостатками этого способа напыления являются низкий КПД установок (15-20%), относительно низкая прочность сцепления напыленного слоя с подложкой.

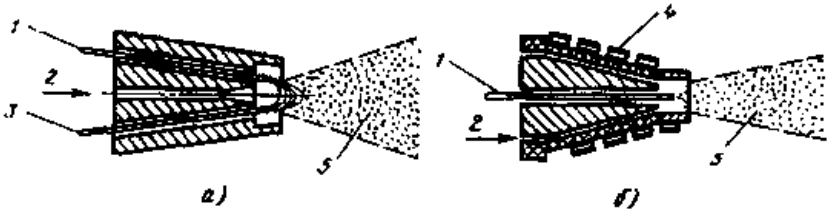


Рис. 17.3. Схема электрометаллизационного напыления:
а - электродугового, б - высокочастотного: 1,3 - напыляемая проволока; 2 - сжатый воздух; 4 - индуктор; 5 - металлизационный факел.

17.2. Сущность плазменного напыления.

Одним из высокопроизводительных способов нанесения покрытий, при котором используется низкотемпературная плазма, является плазменное напыление.

Физическое понятие “плазма” было введено в 1923 г. Лангмером для обозначения газообразного состояния, при котором газы становятся токопроводящими за счет ионизации атомов. При плазменном напылении в факеле струи встречаются электроны, ионы и нейтральные частицы. Для ионизации плазмы используют электрическую дугу, причем с целью повышения

температуры дугу сжимают, чем резко повышают ее температуру. Температура аргоновой плазмы достигает 20000-23000°С. Плазменное напыление находит широкое применение в тех отраслях машиностроения, где необходимо нанесением различных стойких сплавов защитить детали машин от интенсивного износа, увеличить работоспособность изнашивающихся частей в несколько раз, защитить детали от коррозии, эрозии, кавитации, абразивного износа, тепловых ударов и др. Толщина напыленных слоев колеблется от 0,03 мм до нескольких миллиметров.

Напыленные покрытия обладают следующими преимуществами: высокой плотностью; прочным сцеплением с основным материалом; гладкой поверхностью напыления, не требующей последующей механической обработки (шлифовки); сравнительно малым расходом напыляемого материала по сравнению с другими методами.

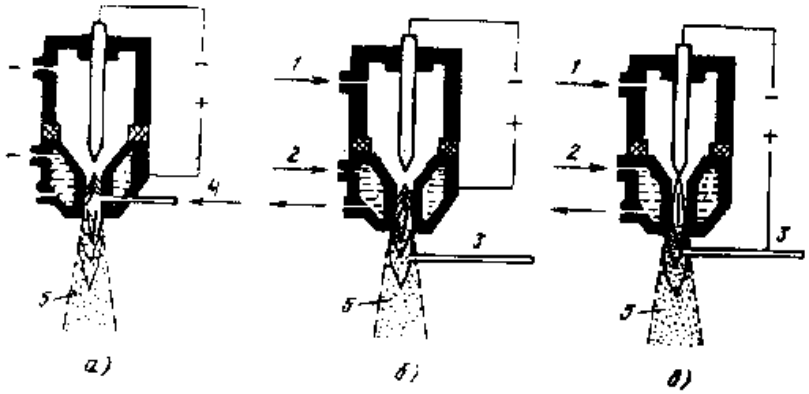


Рис 17.4. Схемы плазменного напыления.

а - подача напыляемого материала в плазменную струю через сопло; б - то же за сопловым участком; в - плазменная металлизация проволокой зависимой дуги; 1 - ввод газа; 2 - ввод воды; 3 - электродная проволока; 4 - подача порошка; 5 - металлизационный факел.

Металлизацию проволокой производят независимой или зависимой дугой.

В качестве плазмообразующих газов применяют аргон, азот, аммиак, гелий и смеси аргона с водородом. Лучшим газом, защищающим вольфрамовый электрод, является инертный газ аргон.

Напыляемые материалы изготавливают в виде порошка или проволоки. Преимущества плазменного напыления порошкообразными материалами (в сравнении с проволочными материалами) следующие: более однородная (без последующей обработки) и мелкая структура покрытия; возможность получения комбинированных покрытий и так называемых псевдосплавов смешением порошков из различных материалов; низкая стоимость.

Для плазменного напыления наиболее пригодны порошки сферической формы грануляцией 5-100 мкм.

17.3. Оборудование для плазменного напыления.

Установка предназначена для напыления покрытий с помощью плазменной струи. В комплект установки входят следующие узлы: источник постоянного тока (комплектуется выпрямителем или преобразователем), шкаф управления, плазматрон, питатель для дозирования и подачи порошка в зону напыления и соединительный кабель.

Установка обеспечивает механизированную подачу проволоки или порошка в плазматрон, маневренность и возможность нанесения покрытий в труднодоступных местах.

Напыление производится на постоянном токе от источника питания с подающей внешней характеристикой.

Установка обычно комплектуется плазматроном для ручного напыления порошком и плазматроном для металлизации проволокой.

Для напыления используется плазменная дуга косвенного действия между охлаждаемыми вольфрамовым катодом и медным соплом (анодом).

Основными деталями плазматрона являются электроды - катод и анод. При работе в инертных средах в качестве материала катода используют прутки торированного вольфрама марок ВТ 10 и ВТ 15 и марок ВТ 30, ВТ 50, ВРН лантанированного вольфрама марки ВЛ или кружки из чистого вольфрама. В случае применения кислородо- или азотосодержащих плазмообразующих сред рекомендуется в качестве материала неплавящегося электрода использовать композитные сплавы.

Плазматроны классифицируются:

1) по способу стабилизации дуги (газовая, водяная и магнитная);

2) по способу подачи газа (вдоль столба или перпендикулярно к нему) газовая стабилизация может быть аксиальной или вихревой. Наибольшее сжатие дуги достигается при вихревой стабилизации. Аксиальная система стабилизации обеспечивает ламинарный плазменный поток и удовлетворительное формирование столба плазменной дуги в канале электропроводного сопла.

3) по виду подаваемого в столб дуги материала (порошкообразный, проволочный и стрежневой материал). Наибольшее применение в практике напыления получили плазматроны, предназначенные для работы с порошкообразными материалами, что обеспечивает возможность изменения в широком диапазоне химического состава покрытия и его физико-механических свойств.

Напыляемый материал вводят в плазменный поток тремя способами (рис 17.4): до анодного пятна дуги, в области анодного пятна дуги, после анодного пятна (в плазменную струю). В каждом из вариантов подачу материала осуществляют радиально, тангенциально и в продольном направлении. Самым распространенным в настоящее время способом ввода порошка является его ввод после анодного пятна дуги (в плазменную струю).

17.4. Технология плазменного напыления.

Технология плазменного напыления включает несколько последовательных операций: подготовку порошков и напыляемой поверхности, напыление покрытия, обработку покрытия и контроль качества.

1) Подготовка порошков. Для нанесения покрытий методом напыления применяют порошки грануляцией 5-100 мкм, а в отдельных случаях до 160 мкм. Мелкие порошки обладают высокой гигроскопичностью, комкуются. Для повышения их сыпучести перед напылением сушку порошков производят в сушильном шкафу при температуре 70-200^{0}С (в зависимости от состава порошка) в течение 2 ч.

После сушки и охлаждения просеивают на механическом или вибрационном сите. Сушка порошка производится не более чем за 2-3 ч до напыления.

2) Подготовка деталей под напыление. Критерием удовлетворительной сцепляемости покрытия с подложкой является подготовка деталей перед напылением, осуществляемая одним из следующих способов: обезжириванием, травлением, пескоструйной обработкой (подогрев), механической обработкой.

Обезжиривание бензином деталей производят для удаления масла и грязи с поверхности металла.

Пескоструйная обработка очищает поверхность подложки и придает ей шероховатость в процессе обработки, что увеличивает контактную температуру под напыляемыми частицами на выступах микронеровностей.

Термическая обработка обеспечивает активацию поверхности подложки. При напылении на воздухе подогрев для большинства металлов ограничен 100-200^{0}С.

Механическая обработка предназначена для получения шероховатой поверхности подложки методом резания или шлифования.

3) Нанесение покрытий. Напыление покрытий в зависимости от назначения и напыляемых материалов производят на режимах, включающих следующие параметры: силу тока (А), напряжение (В), расход рабочего газа ($м^3$/с), размер частицы порошка (мкм), дистанцию напыления (мм).

Напыление производят за один проход плазматрона со скоростью, обеспечивающей получение толщины 15-100 мкм.

Для получения равномерной толщины покрытия на кромках деталей необходимо обеспечить выход струи за край детали на расстояние не менее половины шага напыления и каждый проход должен перекрывать предыдущий на одну четверть ширины.

В случае нанесения самофлюсующихся покрытий с целью повышения прочности сцепления покрытий с подложкой и снижения пористости производят оплавление покрытий. Оплавление напыленных покрытий может быть выполнено газовой горелкой, плазматроном, в печи, ТВЧ и в солевых расплавах.

4) Контроль качества наплавленных покрытий. Метод контроля выбирают в зависимости от свойств покрытия, вида и назначения детали:

а) метод карцевания применяют для мягких покрытий типа серебряных. Поверхность покрытия карцуют не менее 15-20 с. Для карцевания применяют латунные или стальные щетки с диаметром проволоки 0,15-0,25 мм. Скорость вращения щеток 1800-2500 об/мин. После карцевания на контролируемой поверхности не должно наблюдаться вздутия и отслаивания покрытий.

б) метод нанесения сетки царапин на напыленную поверхность острым ножом наносят несколько параллельных линий, глубиной до основного металла подложки на расстоянии 2-3 мм друг от друга и столько же параллельных линий, перпендикулярно к ним. На поверхности покрытия не должно наблюдаться вздутия и отслаивания покрытий.

в) метод нагрева. Нагревают напыленные детали в течение часа при температуре в зависимости от материала покрытия до 300°С с последующим охлаждением на воздухе. Вследствие различия коэффициентов термического расширения при слабой прочности сцепления покрытие вспучивается и частично отслаивается.

Контрольные вопросы:

1. Что такое газотермическое напыление?
2. Что применяют в качестве напыляемого материала?
3. Каковы недостатки газопламенного напыления?
4. Назовите преимущества плазменного напыления.
5. По каким признакам проводится классификация плазматронов?
6. Какие этапы включает технология плазменного напыления?

Лекция № 18. Пайка металлов.

18.1. Теоретические основы пайки металлов

Пайкой называется процесс соединения металлов в твердом состоянии припоями, которые при расплавлении смачивают паяемые поверхности, заполняют капиллярный зазор между ними и образуют паяный шов при кристаллизации.

Из определения следует, что процесс образования паяного соединения связан с нагревом. Для получения спая наряду с нагревом необходимо обеспечить еще два основных условия:

1) удалить с поверхности металла в процессе пайки окисную пленку.

2) ввести в соединительный зазор между ними расплавленный связующий металл.

При кристаллизации вступившего во взаимодействие с паяемыми металлами более легкоплавкого связующего металла, образуется паяное соединение.

Процесс пайки имеет много общего со сваркой, и, прежде всего со сваркой плавлением, но, несмотря на внешнее сходство между ними имеются принципиальные различия:

1) Если при сварке плавлением свариваемый и присадочный металл в сварочной ванне находится в расплавленном состоянии, то при пайке паяемый металл не плавится. Образование соединения без кромок паяемых деталей является основной особенностью процесса пайки.

2) При пайке формирование шва происходит путем заполнения припоем капиллярного зазора между соединяемыми деталями, т.е. процесс пайки связан с капиллярным течением присадочного материала, что не имеет места при сварке плавлением.

3) Пайка в отличие от сварки плавлением может быть осуществлена при любых температурах, лежащих ниже температуры плавления основного металла.

Эти различия имеют своим следствием иную, чем при сварке плавлением, природу процессов, протекающих при образовании паяного шва.

18.2. Классификация процессов пайки.

Пайку можно классифицировать: во-первых, по сущности физико-химических процессов, протекающих при формировании паяных швов, и, во-вторых, по разновидностям технологии пайки, связанным с применяемыми для нагрева источниками тепла или оборудованием.

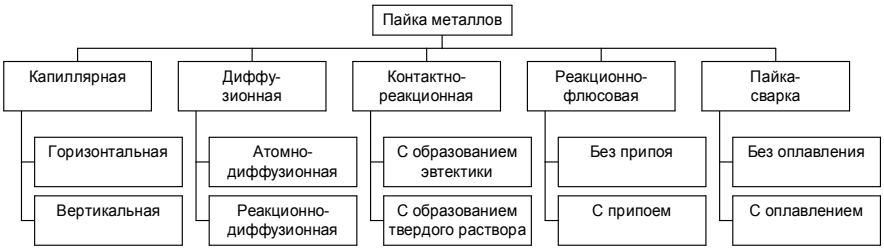


Рис. 18.1. Классификация методов пайки

По сущности физико-химических процессов к основным разновидностям или методам пайки относятся:

1) капиллярная пайка;
2) диффузионная пайка;
3) контактно-реакционная;
4) реакционно-флюсовая;
5) пайка-сварка.

1) Капиллярной пайкой называется метод пайки, при котором припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями деталей и удерживается в нем за счет капиллярных сил. Во всех случаях, когда в паяном соединении имеется перекрытие элементов детали (нахлестка) возможна капиллярная пайка. Однако капиллярные явления присущи всем методам пайки, поэтому данный термин является условным, обозначающим процессы пайки, связанные с течением припоев под действием капиллярных сил.

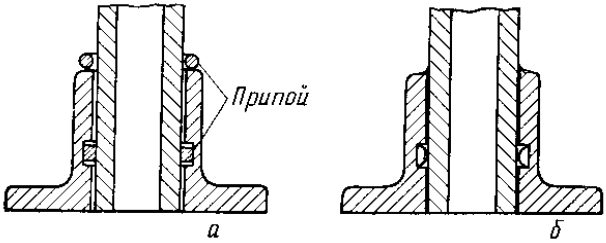


Рис. 18.2. Схема капиллярной пайки:
а - до пайки; б - после пайки.

2) Диффузионной пайкой называется метод пайки при высоких температурах, отличающийся длительной выдержкой, проводимой с целью упрочнения соединения за счет взаимной диффузии компонентов припоя и паяемых материалов.

При диффузионной пайке в зависимости от сечения основного металла и припоя, во-первых, возможно взаимное растворение припоя и основного металла с образованием в шве твердого раствора, благодаря чему существенно повышается пластичность и прочность паяного соединения - атомно-диффузионная пайка; во-вторых, в процессе диффузионной пай-

ки возможно образование в шве весьма тугоплавких, но как правило хрупких интерметаллидов, возникающих при протекании реакционной диффузии, которые приводят к повышению температуры плавления металла шва и, следовательно, к повышению жаропрочности паяемых соединений - реакционно-диффузионная пайка..

Так, например, при пайке W припоем системы Pt-B с температурой плавления 855^0C, протекает реакция:

$$3W + Pt\,B \rightarrow PtW + W_2B$$

с образованием в шве сплава с температурой плавления выше 2000^0C.

3) Контактно-реакционной пайкой называется метод пайки, при котором между соединяемыми металлами и припоем протекает активная реакция с образованием в контакте между ними нового более легкоплавкого сплава эфтектического состава или твердого раствора с минимумом на кривой Ликвидуса. Образовавшийся легкоплавкий сплав заполняет зазор и при кристаллизации образует паяное соединение. Случай взаимодействия между соединяемыми металлами имеет место, например, при пайке меди с серебром без нанесения припоя.

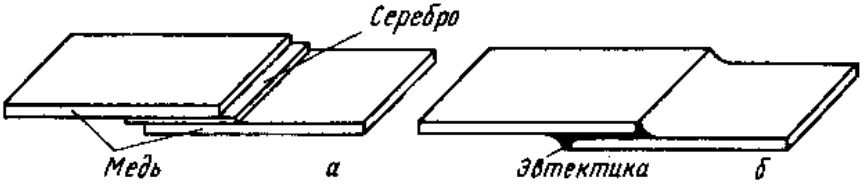


Рис. 18.3. Схема контактно-реактивной пайки:
а - до пайки; б - после пайки.

4) Реакционно-флюсовой пайкой называется метод пайки, при котором припой образуется за счет реакции вытеснения между основным металлом и флюсом. Реакционно-флюсовая пайка может осуществляться в двух вариантах: без внедрения припоя и с дополнительным введением припоя.

Реакционно-флюсовую пайку без введения припоя можно продемонстрировать на примере пайки алюминия с флюсом,

содержащим большое количество хлористого цинка. При пайке на соединяемые поверхности алюминиевых деталей наносится избыточное количество флюса. При нагреве между хлористым цинком и алюминием протекает реакция:

$$3Zn\ Cl_2 + 2Al = 2Al\ Cl_3 + 3Zn$$

Восстановленный из хлорида цинк является в данном случае припоем. Он осаждается на поверхности алюминия, затекает в зазор и соединяет паяемые детали.

5) Пайкой-сваркой называется метод пайки, при котором паяные соединения образуются способами, характерными для сварки плавлением, но с применением припоя в качестве присадочного материала. Пайка-сварка делится на пайку без оплавления кромок соединяемых деталей и с оплавлением кромок одной из соединяемых деталей, изготавливаемой из более легкоплавкого металла.

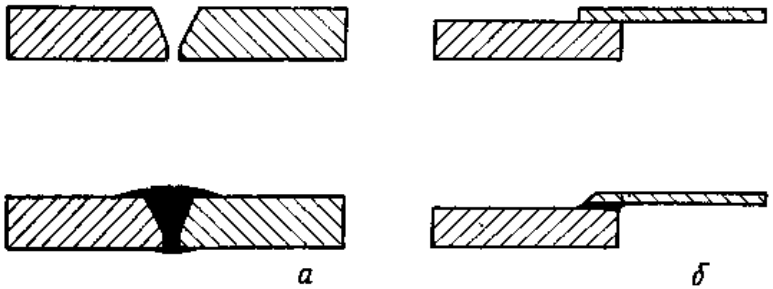


Рис. 18.4. Схема образования шва при пайке-сварке:
а – без оплавления кромок деталей; б – с оплавлением кромок одной детали.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит отличие процессов пайки от сварки?
2. В чем состоит сущность наплавки?
3. Какие условия кроме нагрева необходимо обеспечить для получения спая?
4. Как можно классифицировать пайку по сущности физико-химических процессов?
5. В чем состоит сущность диффузионной пайки?

Лекция № 19. Способы пайки.

Рассмотренные методы пайки могут быть осуществлены с применением различных способов пайки в зависимости от используемых источников нагрева.

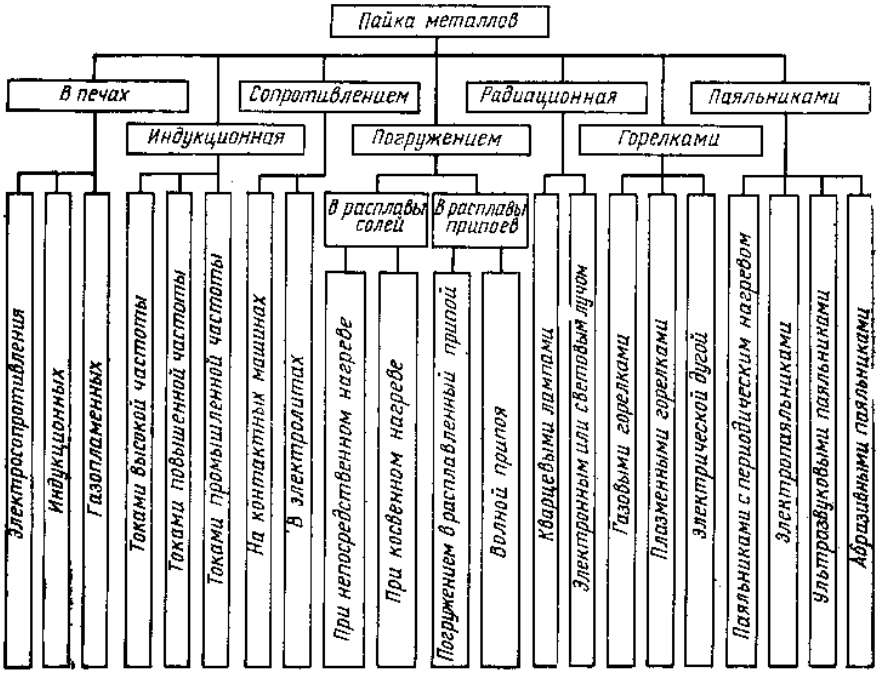


Рис 19.1 Классификация способов пайки.

1) Пайка в печах обеспечивает равномерный нагрев соединяемых деталей без заметной деформации даже при их больших габаритах и сложной конфигурации.

Для пайки применяются печи с нагревом электросопротивлением, индукционным нагревом и газопламенные печи. Пайка крупногабаритных деталей производится в камерных печах с неподвижным подом. Для массовой пайки сравнительно мелких деталей применяются печи с сеточным конвейером или ролико-

вым подом. В этих печах для предохранения деталей от окисления и повышения качества пайки создается специальная газовая атмосфера.

Пайка в печах позволяет широко применять механизацию паяльных работ и обеспечить стабильное качество паяных соединений.

2) Индукционная пайка может производиться с нагревом детали токами высокой, повышенной и промышленной частоты. В этом случае необходимое тепло выделяется за счет тока, индуктируемого непосредственно в подлежащих пайке деталей. Различают две разновидности пайки с индукционным нагревом: стационарную и с относительным перемещением индуктора или детали.

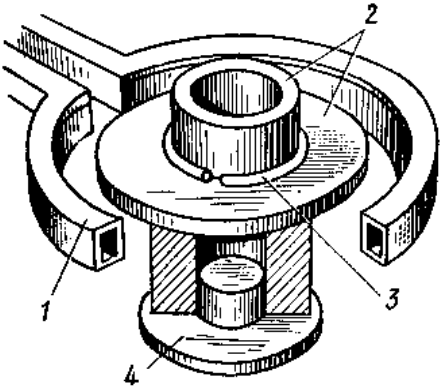


Рис. 19.2. Принципиальная схема индукционной пайки:
1 - индуктор; 2 - паяемые детали; 3 - припой; 4 - подставка

3) Пайка сопротивлением происходит за счет тепла, выделяемого при прохождении электрического тока через паяемые детали и токопроводящие элементы. При этом соединяемые детали являются частью электрической цепи. Нагрев сопротивлением осуществляется или на контактных машинах аналогичных сварочным или в электролитах. При пайке в электролитах тепловой эффект возникает за счет высокого электрического сопротивления водородной оболочки, образующейся вокруг паяемой детали (катода), погруженной в электролит.

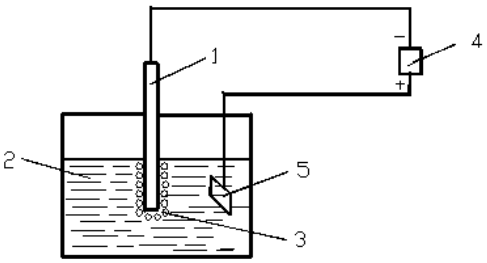


Рис. 19.3. Принципиальная схема пайки сопротивлением:

1 - паяемые детали; 2 - электролит; 3 - водородная оболочка; 4 - источник питания; 5 - анод.

4) Пайка погружением осуществляется путем нагрева деталей в ваннах с расплавами солей или припоев. При пайке в соляных ваннах нагрев может быть непосредственным или косвенным.

При пайке в соляных ваннах при непосредственном нагреве деталей, детали погружаются в расплавы солей, выполняющих роль не только источника тепла, но и флюса. Преимуществом этого способа является очень высокая скорость нагрева.

При пайке в соляных ваннах с косвенным нагревом паяемая деталь, помещенная в контейнер со спец. газовой средой или вакуумом, погружается в соляную ванну. Такой способ пайки обеспечивает несколько меньшую скорость нагрева, но качество поверхности паяемой детали получается более высокой.

При нагреве в расплавленных припоях, подготовленные к пайке детали частично или полностью погружаются в ванну с припоем. Этот способ пайки нашел широкое применение при изготовлении автомобильных и авиационных радиаторов, твердосплавного инструмента, а также в радио- и электропромышленности. Пайка в расплавленных припоях имеет две разновидности: погружением в расплавленный припой и волной припоя.

Пайка волной припоя состоит в том, что подаваемый насосом расплавленный припой образует волну над уровнем расплава. Паяемая деталь перемещается в горизонтальном направлении. В момент касания волны происходит пайка. Этот способ пайки получил большое распространение в радиоэлектрон-

ной промышленности при производстве печатного радиомонтажа.

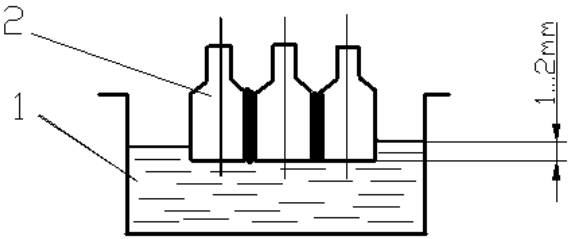


Рис. 19.4. Схема пайки погружением в расплавленный припой:
1 - припой; 2 - паяемые детали.

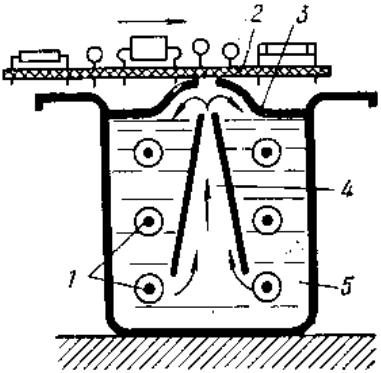


Рис. 19.5. Принципиальная схема пайки волной припоя.
1 - электронагреватель; 2 - плата; 3 - волна; 4 - сопло; 5 - припой.

5) Радиационный нагрев осуществляется за счет излучения кварцевых ламп, расфокусированного электронного луча или мощного светового потока от квантового генератора (лазера). Радиационный нагрев позволяет значительно сократить продолжительность пайки использовать точную электронную аппаратуру для регулирования температуры и времени пайки. При радиационном нагреве лучистая энергия превращается в тепловую непосредственно в материале паяемых изделий.

6) При пайке горелками местный нагрев паяемых деталей и расплавление припоя осуществляется за счет тепла, выделяющегося в газовых горелках при сгорании углеводородов, в плазменных горелках за счет тепла плазменной струи и тепла электрической дуги косвенного действия. Эти источники нагрева различны по своей природе, но применение их для пайки идентично, поэтому их можно рассматривать одновременно.

Из перечисленных способов нагрева газовые горелки обладают большей универсальностью. Применяя различные углеводороды в смеси с воздухом или кислородом можно получить необходимые для пайки металлов температуры нагрева. Питание газовых горелок горючим газом может производиться от баллонов, газовой сети или от газового генератора.

Плазменные горелки дают более высокую температуру нагрева и поэтому могут быть перспективными для пайки таких тугоплавких металлов, как W, Ta, Mo, Nb.

7) Пайка паяльниками ввиду простоты их устройства и общедоступности этого способа нашла чрезвычайно широкое применение в различных областях техники. При этом способе пайки нагрев основного металла и расплавление припоя осуществляются за счет тепла, аккумулированного в массе металла паяльника, который перед пайкой или в процессе пайки нагревается.

Паяльники можно разделить на 4 группы:

1) с периодическим нагревом;
2) с электронагревом;
3) ультразвуковые;
4) абразивные.

Паяльники с периодическим нагревом и электронагревом нашли наибольшее распространение для флюсовой пайки черных и цветных металлов при температурах ниже 300-350 ^{0}C.

В ультразвуковых паяльниках колебания ультразвуковой частоты используются для разрушения окисной пленки на поверхности паяемого металла под слоем расплавленного припоя. Паяльники для ультразвуковой пайки могут быть и без подогревателя. В последнем случае для расплавленного припоя используется посторонний источник нагрева. Основное преимущество ультразвуковых паяльников - возможность без флюсовой пайки.

Это нашло применение главным образом для пайки алюминия легкоплавкими припоями.

Абразивные паяльники, как и ультразвуковые применяются для обслуживания алюминия и алюминиевых сплавов без применения флюсов. Окисная пленка при пайке удаляется за счет простого трения паяльником по обслуживаемой поверхности. Основным достоинством этих паяльников по сравнению с ультразвуковыми является возможность лужения и пайки алюминия и алюминиевых сплавов без применения дорогостоящего оборудования.

Контрольные вопросы:

1. Какие способы пайки применяются при производстве паяных изделий?
2. На каких эффектах нагрева металлов основана индукционная пайка?
3. В чем состоит сущность пайки сопротивлением?
4. Какой способ пайки находит наибольшее промышленное применение?
5. На какие группы можно разделить паяльники, применяемые при пайке?

Лекция № 20. Процессы удаления окисной пленки при пайке.

20.1. Классификация способов удаления окисной пленки

При всех рассмотренных способах пайки нагрев основного металла и расплавление припоя должны производиться при удалении с их поверхности окисной пленки и защите от дальнейшего окисления под воздействием кислорода воздуха. С этой целью при пайке применяют флюсы, газовые среды, физико-механические способы разрушения окисной пленки и самофлюсующиеся припои.

1) Флюсами называются вещества, применяемые в процессе пайки для удаления окисной пленки с поверхности металлов и защиты их от окисления.

а) Флюсы на основе соединений бора применяются при пайке всех черных и цветных металлов.

б) Флюсы на основе фтористых соединений, применяются при пайке тех металлов и сплавов, для которых боридные

флюсы недостаточно активны и вследствие этого не обеспечивают удаление окисной пленки в процессе пайки.

в) Флюсы на основе хлористых соединений бора применяются главным образом при пайке алюминиевых и магниевых сплавов.

г) Флюсы на основе канифоли и др. органических соединений применяются только для низкотемпературной пайки меди и некоторых сплавов на ее основе.

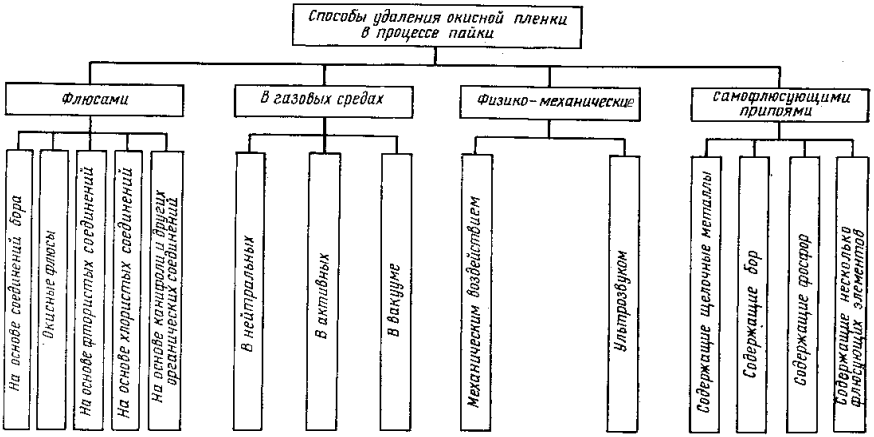


Рис. 20.1. Способы удаления окисной пленки в процессе пайки.

2) Газовые среды, применяемые при пайке делятся на нейтральные, активные и вакуумные.

Нейтральной средой называется газовая атмосфера, применяемая для защиты паяемого металла и припоя от окисления в процессе пайки (аргон, гелий).

Активной средой называется газовая атмосфера, применяемая для удаления окисной пленки с паяемого металла и припоя и для защиты их от окисления в процессе пайки (водород, угарный газ). Водород применяется при пайке более ответственных конструкций.

Нейтральные и активные среды, состав которых контролируется и поддерживается постоянным в процессе пайки называются контролируемыми газовыми атмосферами.

Вакуум применяется при пайке для предупреждения окисления паяемого металла и припоя, а также для удаления с поверхности некоторых металлов окисной пленки.

3) Физико-механические способы удаления окисных пленок в процессе пайки имеет две разновидности:

а) разрушение окисных пленок механическим воздействием.

б) ультразвуком под слоем нанесенного на основной металл расплавленного припоя.

4) Самофлюсующимися называются припои, содержащие компоненты, активно реагирующие с окисной пленкой паяемого металла и припоя с образованием легкоплавких шлаков, которые растекаясь по поверхности основного металла и припоя предохраняют их от окисления.

20.2. Флюсы и их роль

Процесс взаимодействия твердого паяемого металла с расплавленным припоем активно может протекать только после удаления с поверхности паяемого металла окисной пленки, которая препятствует образованию металлических связей.

Несмотря на то, что при подготовке деталей к пайке окисная пленка с них удаляется, в атмосфере воздуха металл снова окисляется. С повышением температуры процесс окисления усиливается. Окисные пленки надежно изолируют металл, поэтому взаимодействие его с расплавленным припоем возможно лишь при условии удаления пленки окислов непосредственно в процессе пайки, что достигается многими средствами, наиболее распространенными из которых является применение флюсов.

Одновременно с удалением окисной пленки и защитой основного металла и припоя от окисления флюс должен удовлетворять еще нескольким требованиям:

1) флюс должен иметь при температуре пайки достаточную жидкотекучесть;

2) способствовать формированию шва;

3) легко удаляться после пайки;

4) остатки флюса не должны оказывать коррозионного воздействия на паяемый металл;

5) нагрев флюса не должен вызывать изменения его состава и свойств;

6) флюс должен сохранять свои флюсующие свойства в течение всего процесса пайки.

Нанесенный на соединяемые поверхности паяемых металлов и краев флюс в процессе нагрева плавится, растекается, смачивает их при некоторой температуре, вступает в химическое взаимодействие, результатом которого является удаление окисной пленки. С повышением температуры интенсивность этого взаимодействия усиливается.

20.3. Композиция флюсов.

В зависимости от физико-химических свойств паяемых металлов и припоя в качестве компонентов флюсов применяются соли, кислоты, окислы, а также вещества органического происхождения.

Флюсы могут быть как однородными веществами, например, тетра-борно-кислый натрий (обезвоженная бура)- $Na_2B_4O_7$ или хлористый цинк $ZnCl_2$, так и сложными системами, состоящими из двух и более компонентов.

20.4. Механизм флюсования.

Согласно существующим представлениям механизм взаимодействия активных компонентов флюсов в процессе пайки обычно сводится к трем основным схемам:

1) химическое взаимодействие между активным флюсующим веществом и окисной пленкой - в результате чего последняя связывается в соединения, растворимые во флюсе, образуя сравнительно легкоплавкий шлак.

2) химическое взаимодействие между активным флюсующим веществом и металлом - в результате чего происходит разрушение и постепенный отрыв окисной пленки.

3) растворение окисной пленки основного металла и припоя во флюсе.

В условиях флюсовой пайки все три схемы действия флюса могут проявляться одновременно, кроме того, на протекание этих процессов определяющее влияние оказывает состав основного металла и припоя, что нельзя не учитывать, особенно при содержании в них таких активных компонентов, как Cr, Al, B, Be. При длительном взаимодействии, например, при печной пайке металлы могут частично растворяться во флюсах, особенно в тех случаях, когда в составе флюса имеются соли

основного металла. После расплавления флюса происходит смачивание им окисленной поверхности основного металла. При этом создаются условия для взаимодействия активных компонентов флюсов с поверхностью основного металла и припоя. Наиболее легко смачивают поверхность окисленного металла органические жидкости, что объясняется их низким поверхностным натяжением. Соли, входящие в состав флюсов, имеют в расплавленном состоянии также сравнительное низкое поверхностное натяжение, что способствует хорошей смачиваемости ими поверхности основного металла и припоя. С повышением температуры пайки поверхностное натяжение расплавленных солей снижается, что улучшает условия смачивания.

Контрольные вопросы:

1. Для чего необходимо удалять окисную пленку при пайке?
2. Какие способы удаления окисной пленки применяются при пайке?
3. Что такое флюсы?
4. Какие газовые среды применяются при пайке?
5. Приведите классификацию физико-механических способов удаления окисной пленки?

Лекция № 21. Полимеры.

21.1. Понятие о пластмассах и полимерах.

Пластические массы - это синтетические материалы органического происхождения, получаемые на основе высокомолекулярных природных или синтетических смол полимеров.

Часто в полимер с различной целью вводят добавки: стабилизаторы, пластификаторы, красители, наполнители.

Стабилизаторы служат для повышения стойкости полимеров при воздействии света, повышении температуры и др. факторов. Обычно они предупреждают развитие цепной реакции разложения полимеров, обеспечивая тем самым повышение долговечности пластмасс и изделий из них.

Пластификаторы облегчают переработку пластмасс. При этом повышается прочность. В качестве пластификаторов приме-

няются низкомолекулярные высококипящие и малолетучие жидкости, как дибутилфталат, трикрезилфосфат и др.

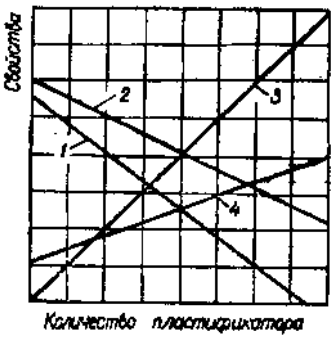


Рис. 21.1. Изменение механических свойств полимера в зависимости от количества пластификатора: 1 - прочность на сжатие, 2 - прочность на разрыв, 3 - прочность на удар, 4 - относительное удлинение.

Наполнители определяют механические свойства изделия, т.к. наполнитель играет роль своеобразного механического каркаса. В качестве наполнителей для производства пластмасс применяются материалы органического (тальк, каолин, слюды) происхождения.

Свойства пластмасс определяются главным образом их основой - полимером.

Полимерами называют вещества, молекулы которых состоят из многочисленных элементарных структурных звеньев, соединенных между собой химическими связями в длинные цепи линейного или разветвленного строения.

В самой цепи атомы соединяются прочными химическими связями, действующими на расстоянии 1-1,5 $\overset{\circ}{A}$; между цепями на расстоянии 3-4 $\overset{\circ}{A}$ действуют значительно более слабые межмолекулярные силы.

Для макромолекул линейной структуры принято обозначение:

$$(\text{-M-})_n,$$

где M - элементарное структурное звено цепи;

n - количество звеньев;

черточками показаны химические связи в макромолекулу полимера.

Название "полимер" связано с наименованием основного звена и включает приставку "поли" (от греческого слова "polis" - многий).

Например, название ”полистирол” указывает, что элементарным звеном полимера является молекула стирола C_6H_5-$CH{=}CH_2$. Формула полистирола $(C_8H_8)n$.

Мономерами называются первичные низкомолекулярные вещества, из которых образуются полимеры.

21.2. Классификация полимеров

По форме строения молекул полимеры разделяются на 3 группы:

1) линейные полимеры, состоящие из макромолекул, атомы которых соединены между собой химическими связями в длинные цепи.

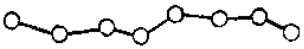


Рис. 21.2. Линейная структура макромолекулы.

Соединения, имеющие линейную структуру макромолекул характеризуются высокой прочностью, значительной упругостью и способностью к высокоэластической деформации.

Пример: полиэтилен: $(-CH_2-CH_2-)_n$.

2) разветвленные полимеры, в которых в основной цепи макромолекулы появляются ответвления, состоящие из многократно повторяющихся мономерных звеньев.

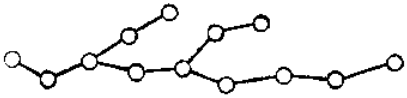


Рис. 21.3. Разветвленная система макромолекулы

Появление в макромолекулах разветвлений (боковых групп) увеличивает расстояние между отдельными макромолекулами, вследствие чего улучшается растворимость, повышается пластичность и снижается механическая прочность.

Пример: Полистирол $[-CH_2-\underset{\displaystyle C_6H_5}{\underset{|}{CH}}-]_n$

3) Сетчатые, или трехмерные полимеры, в которых цепи, составляющие макромолекулы, образуют пространственную сетку. Цепи макромолекул сетчатых полимеров связаны между собой силами основных валентностей при помощи поперечных мостиков, образованных различными атомами.

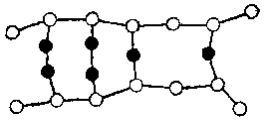


Рис. 21.4. Структура пространственного полимера

Для макромолекул с пространственной структурой характерна высокая твердость и хрупкость, отсутствие растворимости, пластичности и эластичности при повышенной температуре.

В качестве примера образования "сшитых" молекул можно указать на реакцию вулканизации каучука, при которой в результате действия серы происходит соединение отдельных цепочек между собой.

По составу основной цепи макромолекулы полимера делят на 3 класса:

1) Карбоцепные полимеры, основные цепи которых построены только из углеродных атомов. К ним относятся полиэтилен, поливинилхлорид, политетрафторэтилен, полистирол, полиметилметакрилат и т.д.

2) Гетероцепные полимеры имеют в основных цепях помимо углерода атомы кислорода, азота, серы (поликарбонаты, полиамиды, полиэфиры, полиакрилаты и др.).

3) Элементоорганические полимеры могут иметь в основных цепях атомы кремния, бора, алюминия, титана, никеля, германия.

21.3. Получение полимеров.

Полимеры получают путем соединения исходных элементарных группировок (низкомолекулярных веществ) в результате реакций полимеризации или поликонденсации.

Полимеризация - это процесс соединения отдельных молекул в одну большую молекулу без выделения каких-либо низкомолекулярных веществ, вследствие чего полимер имеет состав, одинаковый с исходным мономером.

Если полимеризуются одинаковые молекулы, то полимеризация называется гомополимеризацией и идет по схеме:

$$n \cdot A \rightarrow (-A-)_n,$$

где А - молекула мономера;

(-А-) - молекула полимера;

n - степень полимеризации, т.е. число молекул мономера, образующих одну молекулу полимера.

В случае полимеризации смеси различных мономеров процесс называется сополимеризацией и происходит по схеме:

$$n \cdot A + n \cdot B \rightarrow (-A-B-)_n.$$

Процесс полимеризации может иметь ступенчатый или цепной характер.

Ступенчатая полимеризация заключается в том, что в начале две молекулы в димер, который, присоединяя еще одну молекулу, дает тример и т.д.

Процесс цепной полимеризации состоит из трех стадий:

1) возбуждение молекул;

2) рост цепи;

3) обрыв цепи.

Важнейшими факторами, определяющими процесс полимеризации, являются температура, давление, концентрация инициатора и мономера.

В настоящее время в промышленности применяются следующие методы полимеризации:

1) Блочный метод заключается в том, что смесь мономера с другими компонентами (инициаторами) заливают в форму и прогревают в ней до определенной температуры. Полимер получается в виде сплошного блока, чаще всего имеющего форму пластины или цилиндра. В качестве инициатора применяются чаще всего перекиси, например, перекись бензоила.

2) Полимеризация в растворителях может быть проведена двумя способами. В первом случае применяют растворитель, в котором растворимы как мономер, так и образующийся полимер. Образующийся конечный продукт представляет собой раствор полимера в растворителе. Во втором случае полимеризацию проводят в таком растворителе, в котором растворим только мономер. Образующийся при этом полимер непрерывно осаждается из раствора в виде суспензии и может быть отделен фильтрацией.

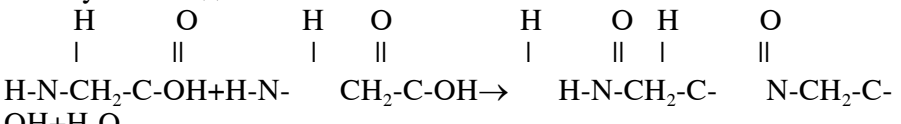
3) Полимеризация в водных эмульсиях является наиболее распространенным методом производства полимеров. При эмуль-

сионной полимеризации мономер предварительно эмульгируют путем перемешивания в водной среде с добавкой эмульгаторов и затем добавляют инициатор, растворимый в воде или мономере. При перемешивании или взбалтывании происходит полимеризация. Для выделения полимера прибавляют кислоту или соль, что приводит к разрушению коллоидного раствора и осаждению полимера.

Поликонденсация - химический процесс получения высокомолекулярных органических соединений из различных низкомолекулярных исходных веществ, сопровождающийся отщеплением различных побочных продуктов (воды, спирта, хлористого водорода и т.д.). Образующиеся в результате поликонденсации высокомолекулярные соединения отличаются по составам от исходных веществ, тогда как при полимеризации исходный мономер и образующийся полимер имеет одинаковый состав.

Реакция поликонденсации носит ступенчатый характер.

Рост цепи происходит путем взаимодействия одной молекулы с другой, полученный продукт взаимодействует с третьей молекулой и т.д.



$$H\text{-}N\text{-}CH_2\text{-}C\text{-}OH + H\text{-}N\text{-}CH_2\text{-}C\text{-}OH \rightarrow H\text{-}N\text{-}CH_2\text{-}C\text{-}N\text{-}CH_2\text{-}C\text{-}OH + H_2O$$

аминокислота.

Контрольные вопросы:

1. Что является основой пластмасс?
2. Какие компоненты входят в состав пластмасс и их назначение?
3. Как классифицируются полимеры?
4. Какие стадии включает процесс цепной поляризации?
5. Какие методы полимеризации применяются в промышленности?

Лекция № 22. Общие сведения о пластмассах

22.1. Физическое состояние полимеров

Полимеры могут быть как в аморфном, так и в кристаллическом состоянии.

Аморфное состояние полимеров характеризуется хаотическим, не имеющим определенной направленности, расположением цепей и звеньев макромолекул.

Для кристаллического состояния свойственна определенная ориентация и направленность цепей и звеньев макромолекул. Способность полимера к кристаллизации зависит от отсутствия значительного разветвления макромолекул и гибкости молекул. Кристаллизация наблюдается только у линейных полимеров или у полимеров, обладающих очень слабой сетчатой структурой. Кристаллические полимеры никогда не бывают закристаллизованными полностью и содержат обычно как кристаллическую, так и аморфную фазу.

Любой аморфный полимер в зависимости от температуры может находится в трех состояниях: стеклообразном, высокоэластическом и вязкотекучем.

Аморфное твердое состояние полимера называется стеклообразным. Колебательное движение звеньев и перемещение цепи как единого целого отсутствуют.

Высокоэластическое состояние характеризуется наличием колебательного движения звеньев или групп звеньев, вследствие которого цепь полимера приобретает способность распрямляться под воздействием нагрузки и возвращаться в первоначальное состояние после ее снятия.

В вязкотекучем состоянии макромолекулы полимера путем последовательного перемещения сегментов передвигаются относительно друг друга.

Переход полимера из одного физического состояния в другое совершается не при какой-нибудь определенной температуре, а в некотором диапазоне температур. Средние температуры областей перехода называются температурами перехода.

Температурой стеклования T_c называется температура перехода из высокоэластического состояния в стеклообразное.

Температурой текучести $T_т$ называется температура перехода из вязкотекучего в высокоэластическое.

Переработка полимеров в изделия осуществляется в вязкотекучем состоянии, поэтому интервал между температурой текучести и температурой разложения полимера определяет температурный интервал его переработки и, в частности сварки.

22.2. Классификация пластмасс.

Согласно ГОСТ 5752-51 "Пластические массы органического происхождения" пластмассы были разделены по химическому характеру связующего вещества, по характеру и структуре наполнителя. Но в силу своей сложности терминология не получила практического применения.

По классификации НИИ полимеризации пластиков в 1959 г. все пластмассы разделены на основе:

1) высокомолекулярных соединений, получаемых цепной полимеризацией;

2) высокомолекулярных соединений, получаемых поликонденсацией и ступенчатой полимеризацией;

3) химически модифицированных природных полимеров;

4) природных и нефтяных смол, полученных при деструкции различных органических веществ.

По физико-механическим свойствам при 20^0С.

1) жесткие пластмассы - твердые упругие материалы аморфной структуры с высоким модулем упругости (10^9Н/м^2) и малым удлинением;

2) полужесткие пластмассы - твердые упругие материалы кристаллической структуры со средним модулем упругости ($4\cdot10^8$ Н/м^2) и высоким относительным удлинением;

3) мягкие пластмассы - мягкие и эластичные материалы с низким модулем упругости ($2\cdot10^7$ Н/м^2) и высоким относительным удлинением.

Все пластмассы по отношению к нагреванию можно разделить на две группы:

1) Термореактивные - пластмассы, которые при повышенном нагреве не переходят через высокопластическое состояние. С повышением температуры они не изменяют своих свойств, а затем, не переходя в эластическое состояние, разлагаются. Подвергаются нагреву только один раз. К ним относятся пластмассы на основе фенол-формальдегидных смол и др. (текстолит, бакелит, эбонит).

2) Термопластические - пластмассы, которые при нагревании размягчаются и становятся пластичными, а при охлаждении возвращаются в исходное состояние. Термопластические материалы могут подвергаться многократному нагреву и охлаждению без заметного изменения структуры и свойств, при усло-

вии, если они не нагреваются выше температуры разложения. К ним относятся винипласт, полиэтилен, полиамиды, полипропилен, фторопласт и др.

Контрольные вопросы:

1. В каких физических состояниях могут находиться полимеры?
2. В чем состоит различие термореактивных и термопластичных пластмасс?
3. До каких температур нагреваются термопласты при сварке, какие процессы протекают при их нагреве?
4. Что называется температурным интервалом переработки пластмасс?
5. Возможна ли сварка термореактивных пластмасс?

Лекция № 23. Сварка пластмасс.

23.1. Особенности сварки пластмасс.

По свариваемости пластмассы, как уже упоминалось, можно разделить на 2 группы: термореактивные, которые преимущественно не свариваются, и термопластические, которые легко подвергаются сварке.

Сваркой пластмасс называется процесс образования неразъемного соединения путем доведения соединяемых поверхностей до вязкотекучего состояния с приложением давления. В результате чего частично или полностью исчезает граница раздела между соединяемыми поверхностями, и прочность материала в месте соединения, а также другие физические свойства приближают к свойствам свариваемого материала.

Процесс сварки термопластических материалов отмечается от процессов, протекающих при сварке металлов целым рядом особенностей:

1) При сварке пластмасс не образуется жидкая ванна. Процесс этот может происходить лишь при определенных условиях. Основными из них являются: повышенная температура в месте сварки (температура вязкотекучего состояния материала), наличие плотного контакта свариваемых поверхностей и определенное время протекания процесса. Пластмассы представляют собой большое количество взаимно растворенных полимеров,

построенных из одних и тех же звеньев, но отличающихся молекулярным весом, поэтому они не имеют резко выраженной точки плавления, а при нагреве постепенно переходят из твердого состояния в высокоэластичное и далее в вязкотекучее, когда материал становится липким и отдельные детали под давлением могут прочно соединяться между собой, т.е. свариваться.

2) Термопластические массы при высоких температурах начинают разлагаться. При этом степень разложения зависит как от температуры, так и от длительности воздействия этой температуры. Таким образом, при сварке термопластов нагрев материала должен быть возможно более кратковременным, а температура не должна превышать температуру разложения.

3) Пластмассы обладают высоким коэффициентом температурного расширения, в несколько раз большим, чем у металлов.

23.2. Физические основы сварки пластмасс.

Сваривание полимерных материалов осуществляется в результате протекающей взаимной диффузии и молекул полимера в контактирующих поверхностях или в результате химической реакции присоединения между звеньями молекул соединяемых полимеров. В зависимости от степени упорядоченности отдельных участков линейных молекул, полимер может находиться в кристаллическом или амфотерном состоянии.

В процессе сварки кристаллических полимеров по мере плавления полимера в нем постепенно нарушается упорядоченное разложение молекул и начинается переход из кристаллической фазы в аморфную. Температура перехода полимера из твердого состояния в жидкое может быть выше температуры плавления кристаллической фазы в нем и зависит от молекулярного веса полимера.

При большом молекулярном весе полимер, нагретый выше температуры плавления, перейдя в аморфную фазу, сохраняет еще твердое агрегатное состояние и только с дальнейшим повышением температуры постепенно переходит в вязкотекучее состояние.

Аморфное твердое состояние полимера характеризуется фиксированным, но разрыхленным расположением макромолекул относительно друг друга и лишь ограниченной подвижностью звеньев. С повышением температуры увеличивается энергия

теплового движения макромолекул. Когда эта энергия становится достаточной, чтобы появилась гибкость всей молекулы, полимер переходит в высокоэластическое состояние (температура стеклования). Переход происходит постепенно в интервале температур 15-25°С. В высокоэластичном состоянии сравнительно небольшие напряжения вызывают перемещение молекул и их ориентацию в направлении действующей силы. После снятия нагрузки молекулы постепенно приобретают форму, характерную для равновесного состояния. При дальнейшем повышении температуры энергия тепловых движений возрастает настолько, что молекулы приобретают способность перемещаться относительно друг друга (вязкотекучее состояние).

Свариваемость полимеров за счет диффузии возможна только в зоне, допускающей свободное перемещение молекул, т.е. в стадии вязкотекучего состояния. Чем ниже температура перехода полимера в эту стадию и выше его текучесть, тем быстрее удается достигнуть однородности материала в зоне сварного соединения.

23.3. Основные способы сварки пластмасс.

В настоящее время применяется целый ряд способов сварки пластмасс, осуществляющихся с нагревом зоны соединения и без него.

Способы сварки с нагревом соединения в зависимости от применяемых источников нагрева можно разделить на 2 группы. К первой группе относятся способы сварки, в которых используется энергия посторонних источников тепла:

1) газовыми теплоносителями;
2) экструдируемой присадкой;
3) нагревательными элементами.

Во всех приведенных способах тепло передается к свариваемым поверхностям пластмассы за счет конвекции, теплопроводности и частичного лучеиспускания.

Ко второй группе относятся способы сварки, в которых тепло генерируется внутри пластмассы за счет преобразования различных видов энергии. При этом используется энергия:

1) токов высокой частоты;
2) ультразвуковых колебаний;
3) трения;
4) инфракрасного излучения;

5) химических реакций;

6) лазерного излучения.

Без нагрева зоны соединения выполняется сварка с помощью растворителей.

Классификация способов сварки пластмасс приведена на рис 23.1.

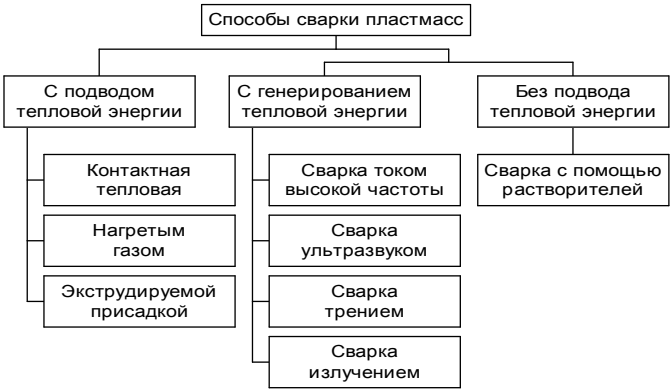


Рис. 23.1. Классификация способов сварки пластмасс.

Сварка газовыми теплоносителями относительно проста и позволяет получать разнообразные изделия при минимальных затратах на оборудование. Нагрев свариваемых кромок осуществляется за счет теплоотдачи от нагретого газа, поступающего из горелки. Применяется при изготовлении аппаратуры для химической промышленности.

Способ сварки экструдируемой присадкой дает хорошие результаты, как при сварке пленок, так и при сварке листов большей толщины. Метод основан на подаче в место сварки присадки, находящейся в вязкотекучем состоянии.

Сварка нагретым инструментом применяется при изготовлении труб, упаковочной тары, чехлов и многих других изделий. Источником нагрева служат разогретые тела, которые передают тепло путем непосредственного соприкосновения с пластмассой.

Метод сварки токами высокой частоты основан на способности некоторых пластмасс нагреваться в высокочастотном электрическом поле, возникающем между электродами, которые одновременно сжимают свариваемые поверхности.

При сварке трением нагрев осуществляется за счет тепла, получаемого в процессе трения свариваемых поверхностей при приложении к ним давления.

Способ сварки ультразвуком основан на преобразовании механических высокочастотных колебаний, возбуждаемых в пластмассе, в тепло. Тепло, развивающееся преимущественно на свариваемых поверхностях, размягчает пластмассу и при приложении давления происходит сваривание деталей. Сварка ультразвуком особенно пригодна для сварки изделий, у которых доступ к месту соединения затруднен, и свариваемый материал не допускает нагрева по всему объему.

При сварке пластмасс инфракрасным излучением нагрев осуществляется за счет источника тепла инфракрасного излучения, получаемого при накаливании стержневых кварцевых ламп и других источников. Применяется преимущественно для сварки полимерных пленок.

23.4. Химическая сварка пластмасс.

Химическая сварка пластмасс применяется для сварки термореактивных пластмасс (стеклопластиков, текстолитов, пресспорошков, феноло-формальдегидных, эпоксидных, отвержденых полиэфирных смол).

Химическая сварка пластмасс осуществляется за счет химического взаимодействия свариваемых материалов с веществом, которое вводится в сварочный шов, который играет в этом случае роль сшивающей добавки. Эти вещества, реагируют с активными группами звеньев молекул, находящихся в зоне контакта.

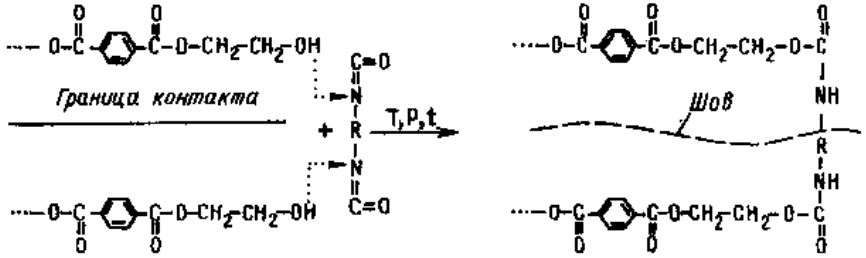


Рис 23.2. Механизм химической сварки ПЭТ при помощи диизоцианата.

Успех применения этого способа сварки зависит от многих факторов:

1) свариваемый полимер должен содержать высокоактивные функциональные группы достаточной концентрации, чтобы совокупность химических связей, возникших в месте соединения, обеспечила необходимую механическую прочность.

2) низкомолекулярное вещество, выступающее в роли мостикообразующего, не должно испаряться при температуре сварки.

3) скорость реакции должна быть достаточно высокой.

4) реакция не должна сопровождаться выделением большого количества легко испаряющегося побочного продукта, который не должен разрушать полимер, или адсорбируясь в нем, изменять его качество.

23.5. Сварка пластмасс с помощью растворителей.

Сущность сварки пластмасс с помощью растворителей заключается в том, что соединяемые поверхности смачиваются растворителем до тех пор, пока они не станут липкими, затем их складывают и выдерживают под давлением. Давление облегчает взаимную диффузию макромолекул в контактируемых поверхностях при обычной температуре.

Сварка с помощью растворителя применяется, когда полимер находится в аморфном состоянии (полиметилметакрилат, полистирол, поливинилхлорид и др). Благодаря гибкости молекул в них возникают непрерывно чередующиеся межмолекулярные пустоты, в которых диффундирует растворитель. После заполнения свободных пространств в полимере молекулы растворителя начинают раздвигать молекулы полимера, облегчая их отрыв друг от друга. Эта стадия растворения называется набуханием. Как только межмолекулярное взаимодействие уменьшится настолько, что молекулы приобретают возможность перемещаться, начинается вторая стадия растворения - диффузия молекул полимера в растворитель.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается сущность процесса сварки термопластов?
2. В чем заключается отличие процесса сварки пластмасс от сварки металлов?
3. При каких температурах наступает вязкотекучее состояние у большинства термопластов?
4. Какие способы в основном применяются для сварки пластмасс?
5. В чем состоит сущность сварки пластмасс токами высокой частоты?

Лекция № 24. Склеивание пластмасс и металлов.

24.1. Механизм процесса склеивания.

В последние годы все более широкое распространение получают клеевые неразъмные соединения элементов конструкций из пластмасс и металлов. В ряде случаев склеивание является единственно возможным способом соединения материалов с точки зрения технологии и требуемой прочности.

Прочность клеевого соединения характеризуется силами адгезии и когезии. Адгезия представляет собой сцепление между частицами самого клея. В зависимости от соотношения сил когезии и адгезии разрыв клеевого соединения может происходить по массе клеящего вещества или по поверхности раздела клей-подложка. Разрыв по поверхности раздела указывает на неудачный выбор клея для данной подложки или же на плохую подготовку ее поверхности. Разрыв по массе клеящего вещества

объясняется значительной толщиной клеевого слоя и его недостаточной механической прочностью. Кроме того, на клеящие вещества полимера значительное влияние оказывают величина молекулярного веса, структура молекулы, плотность упаковки и др. факторы.

Адгезию чаще всего определяют эмпирической величиной работы, затрачиваемой для разъединения склеенных поверхностей. Известны следующие теории адгезии клеящего состава: адсорбционная, электрическая, диффузионная и химическая.

Электрическая теория адгезии предполагает наличие двойного электрического слоя, образующегося при контакте двух различных субстрактов. Согласно этой теории соединение является конденсатором, различно заряженные пластины которого притягиваются. Если их разделить, то конденсатор заряжается, причем должна наблюдаться электронная эмиссия.

Согласно диффузионной теории, адгезия полимеров происходит вследствие диффузии линейных молекул в склеиваемый материал и образования тем самым прочной связи между клеем и материалом. Отправная точка диффузионной теории - линейное строение высокополимеров и гибкость их молекул, позволяющая им микробрауновское движение. Способность к диффузии характерна только для адгезивов (клеев). Однако в случае нанесения клеящих материалов из растворов, сами склеиваемые материалы могут набухать или растворяться под действием растворителя, вследствие чего молекулы основного материала приобретают значительную подвижность, а отсюда возможна диффузия молекул свариваемого материала в клей.

Адсорбционная теория адгезии рассматривает адгезию как поверхностный процесс воздействия на поверхности раздела клей - склеиваемый материал межмолекулярных сил Ван-дер-Ваальса. Адсорбционные силы отличаются от других видов молекулярного взаимодействия тем, что они происходят на поверхности раздела фаз между разными молекулами. Основой адсорбиционной теории адгезии является представление о молекулярном взаимодействии субстрата и клея при условии, что они имеют функциональные группы, способные к взаимодействию. Процесс возникновения адгезионных связей происходит в два этапа: транспортировка молекул клея к поверхности субстрата и межмолекулярные взаимодействия после сближения молекул клея и субстрата на расстояние меньше 0,5 нм.

В соответствии с химической теорией адгезии для получения прочного соединения необходимо, чтобы соединяемые материалы взаимодействовали между собой с образованием химических связей через границу раздела фаз.

24.2. Классификация и основные компоненты клеев

Склеивание производится специальными веществами - клеями, представляющими собой вещества или смеси веществ органического происхождения, которые благодаря сочетанию в них таких свойств как хорошее прилипание, механическая прочность в требуемом интервале температур, отсутствие хрупкости и т.д., пригодны для прочного соединения пластмасс и др. материалов.

К основным компонентам клеев относятся связующие, носитель, катализаторы и отвердители, ингибиторы и замедлители, модифицирующие добавки.

Связующие - это основа клея, свойства которой обуславливают свойства клеевого соединения. Прочность, долговечность, химическая стойкость клеевого соединения зависят от химической структуры, молекулярной массы, степени кристалличности, растворимости клея.

Носителем клея может быть растворитель, пленка, бумага, различные ткани. В случае жидких клеев растворитель обеспечивает требуемую вязкость, возможность нанесения равномерного слоя.

Катализаторы и отвердители - компоненты, обеспечивающие протекание реакций отверждения, при которой катализаторы остаются без изменения, а отвердители вступают во взаимодействие со связующими и способствуют образованию сетчатой структуры.

Ускорители, ингибиторы и замедлители - вещества которые контролируют процесс отверждения клея. Ускоритель убыстряет реакцию отверждения под действием катализатора, ингибитор ее тормозит и прекращает, а замедлитель замедляет, тем самым, обеспечивая сохранение готового клея вплоть до момента его использования.

К модифицирующим добавкам относятся наполнители, разбавители, пластификаторы, пигменты, красители, стабилизаторы. Одни модификаторы добавляют для снижения стоимости клеев (разбавители), другие для повышения стойкости к дейст-

вию окружающей среды (стабилизаторы), для изменения внешнего вида клея (красители), для снижения хрупкости клеевого соединения (пластификаторы).

Широкое распространение клеевых соединений в различных отраслях техники привело к созданию большого количества марок клея и необходимости их классификации:

а) по химической природе основных компонентов клеев их можно разделить на природные и синтетические.

Синтетические клеи подразделяются в основном на две группы:

1) клеи, изготовленные из термопластических полимеров;

2) клеи, изготовленные из термореактивных полимеров, при изготовлении или перед употреблением которых вводят отвердитель.

Основа клея	Природные клеи	Синтетические клеи	
		Термопластичные	Термореактивные
Клеи	Органические: кровяной альбумин, казеин, крахмал, декстрин, асфальт, канифоль, каучук. Неорганические: жидкое стекло, гипс, цемент.	На основе ПВА и его дисперсии, акрилатов, поливинилбутираля, производных нитрата целлюлозы, полистирола, полисульфонов.	Фенольные, карбамидные, резорциновые, эпоксидные, меламиновые, алкидные, полиэфирные, изоцианатные, полиамидные
Физическое состояние и вид	Жидкости, пасты, порошки	Жидкости, пленки, гранулят	Жидкости, порошки, пленки
Основная характеристика	Широкий интервал прочности, относительно хорошая теплостойкость, ограниченная водостойкость	Хорошая прочность, склонность к ползучести, низкая химическая стойкость, хо-	Высокая прочность,отличная водостой-кость и химическая стойкость, хорошая тепло-

		рошая водостойкость, теплостойкость до 85 ^{0}C	стойкость, часто образуется хрупкий шов
Применение	Бумажная промышленность, делопроизводство, использование в быту	Игрушки, тара, приборы, автомобильная промышленность, машиностроение	Сложные строительные и химически стойкие конструкции, самолетостроение.
Типичные субстраты	Древесина, бумага, пробка, кожа, керамика	Пластики, металлы, древесина, стекло и их комбинации	Металлы, древесина, стекло, пластики, кожа

б) в зависимости от способности выдерживать тепловые нагрузки:

- клеи, выдерживающие длительное воздействие температур порядка 60-80^{0}C;
- теплостойкие клеи, выдерживающие длительное или кратковременное воздействие температур порядка 160-350^{0}C;
- высокотеплостойкие клеи, выдерживающие кратковременное воздействие температур до 1000^{0}C;

в) в зависимости от температуры склеивания клеи можно разделить на 2 группы:

- клеи, склеивание которыми можно производить без подогрева, т.к. при введении специальных отвердителей и катализаторов, химические реакции протекают быстро;
- клеи, которыми можно склеивать, подогревая соединения до 150-250^{0}C;

г) в зависимости от агрегатного состояния клеев в процессе их нанесения на материал клей можно разбить на 4 группы:

- жидкие;
- пастообразные;
- пленочные;
- твердые и порошкообразные, наносимые только на предварительно подогретые поверхности соединяемых деталей.

Жидкие и пастообразные клеи, делятся на:

1) клеи, остающиеся жидкими и хорошо текучими в начале прессования;

2) клеи, подвергающиеся с целью удаления растворителя предварительной сушке до получения твердого клеевого слоя и размягчающиеся при подогреве в процессе склеивания до состояния большей или меньшей текучести.

24.3. Подготовка поверхностей к склеиванию.

Прочность клеевого соединения, помимо правильного выбора типа клея, зависит от соответствующей подготовки поверхности. Подготовка поверхности к склеиванию предусматривает тщательную подгонку склеиваемых деталей друг к другу, очистку от масла, жиров и других загрязнений. Это необходимо для получения тонкой равномерной по толщине клеевой прослойки без разрывов. Адгезия клеев с пластмассами, металлами и др. материалами есть результат сложных физико-химических процессов, происходящих при взаимодействии клея со склеиваемыми поверхностями, что может быть только при хорошем контакте между ними, т.е. когда поверхности совершенно чистые. При склеивании материалов рекомендуемая чистота поверхности должна соответствовать шестому или восьмому классу.

В основном применяются три способа подготовки поверхности изделий:

1) химический;

2) физический;

3) механический.

Химический способ заключается в обработке поверхностей пластмасс или металлов растворами спец. состава или растворителями. Для обезжиривания рекомендуется применять бензин или ацетон. Очень эффективно омывание металлических заготовок горячими парами растворителей.

В ряде случаев для получения прочных клеевых соединений обезжиривание металлов недостаточно. Помимо обезжиривания, поверхности подвергают травлению в водных растворах серной кислоты при температуре 60-70^{0}С, в растворе хромового ангидрида при той же температуре, в водном растворе фосфорной кислоты, а также в смесях минеральных кислот и их солей.

Физический способ подготовки поверхности предусматривает создание спец. промежуточных слоев на деталях,

подлежащих склеиванию, которые имеют повышенное сцепление с поверхностью материала и к которым клеи имеют более высокую адгезию. Такие слои, как анодное, оксидное покрытие, увеличивают коррозионную стойкость металла.

При механическом способе подготовки увеличивается площадь склеивания, способность материалов к адгезии. Это достигается пескоструйной, дробеструйной или механической обработкой, а также протиранием наждачной бумагой или шкуркой.

24.4. Технологический процесс склеивания.

Технологический процесс склеивания состоит из следующих операций:

1) выбор клеевого соединения, зависящий от назначения детали, условий ее работы, вида нагрузки на шов и т.д.

2) подготовка поверхности под склеивание;

3) тщательная подгонка обработанных поверхностей друг к другу;

4) нанесение тонкого равномерного слоя клея на обе склеиваемые поверхности, производимое с помощью кисти, шпателя или пульверизатора;

5) открытая выдержка на воздухе поверхностей с нанесенным клеем, чтобы удалить растворители из нанесенного слоя клея, т.к. при прессовании с подогревом они вызывают вспенивание клея и образование клеевой прослойки с пористой структурой;

6) сборка склеиваемых деталей и выдержка под прессом;

7) выдержка после соединения склеиваемых поверхностей в течение определенного времени в зависимости от вида клея;

8) термообработка клеевых соединений с целью полного отверждения клеевого слоя;

9) испытание клеевого соединения.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит механизм процесса склеивания?

2. Какими силами характеризуется прочность клеевого соединения?

3. Перечислите и охарактеризуйте основные теории адгезии.

4. Какие компоненты входят в состав клея?

5. Какие способы применяются при подготовке поверхностей к склеиванию?

6. Из каких операций состоит типовой технологический процесс склеивания?

ЛИТЕРАТУРА

1. Хренов К.К. Сварка, резка и пайка металлов. М.: Машиностроение, 1973. 408 с.

2. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.Л. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977. 366с.

3. Технология и оборудование контактной сварки. Под. ред. В.Д. Орлова, М.: Машиностроение, 1986. 325 с.

4. Справочник «Сварка в машиностроении». Том 2. Под ред. А.И. Акулова. Том 2. М.: Машиностроение, 1978. 462 с.

5. Ерохин. А.А. Основы сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1973. 447 с.

6. Технология и оборудование сварки плавлением. Под ред. Г.Д. Никифорова, М.: Машиностроение, 1978. 327 с.

7. Гуляев А.И. Технология точечной и рельефной сварки сталей. М.: Машиностроение, 1978. 244с.

8. Лашко С.В., Лашко Н.Ф. Пайка металлов. М.: Машиностроение, 1988. 376 с.

Оглавление

Введение..... 3
Лекция № 1. Классификация и характеристика способов сварки..... 4
1.1. Сущность процесса сварки..... 4
1.2. Физические основы сварки..... 4
1.3. Классификация способов сварки..... 7
1.4. Понятие о свариваемости металлов и сплавов..... 8
Лекция № 2. Дуговая сварка..... 10
2.1. Ручная дуговая сварка..... 10
2.2. Дуговая сварка в защитных газах..... 11
Лекция № 3. Дуговая сварка под флюсом. Электрошлаковая сварка..... 15
3.1. Дуговая сварка под флюсом..... 15
3.2. Электрошлаковая сварка..... 17

Лекция № 4. Электронно-лучевая сварка..... 20
4.1. Сущность электронно-лучевой сварки..... 20
4.2. Устройство сварочной электронно-лучевой установки..... 22
Лекция № 5. Лазерная сварка..... 24
5.1. Сущность процесса лазерной сварки..... 24
5.2. Классификация технологических лазеров..... 25
5.3. Принцип работы рубинового технологического лазера.... 26
5.4. Оборудование для лазерной сварки..... 27
Лекция № 6. Точечная и шовная контактная сварка..... 28
6.1. Контактная сварка..... 28
6.2. Точечная контактная сварка..... 29
6.3. Шовная контактная сварка..... 30
Лекция № 7. Рельефная и стыковая контактная сварка.... 31
7.1. Рельефная сварка..... 31
7.2. Стыковая сварка..... 33
Лекция № 8. Холодная сварка..... 35
8.1. Сущность холодной сварки металлов..... 35
8.2. Виды холодной сварки..... 36
8.3. Подготовка свариваемых поверхностей..... 39
Лекция № 9. Диффузионная сварка..... 40
9.1. Сущность диффузионной сварки..... 40
9.2. Классификация процессов диффузионной сварки..... 41
9.3. Технология диффузионной сварки..... 42
Лекция № 10. Ультразвуковая сварка..... 45
10.1. Сущность ультразвуковой сварки..... 45
10.2. Оборудование, применяемое при ультразвуковой сварке. 46
10.3. Технология ультразвуковой сварки..... 48
Лекция № 11. Сварка трением..... 49
11.1. Сущность сварки трением..... 49
11.2. Классификация способов сварки трением..... 50
11.3. Технология сварки трением..... 53
Лекция № 12. Термокомпрессионная сварка..... 54
12.1. Сущность термокомпрессионной сварки..... 54
12.2. Классификация способов термокомпрессионной сварки.. 55
12.3. Технология термокомпрессионной сварки..... 57
Лекция № 13. Сварка прокаткой и взрывом..... 59
13.1. Сущность сварки прокаткой..... 59
13.2. Технология сварки прокаткой..... 61
13.3. Сущность сварки взрывом..... 62
13.4. Технология сварки взрывом..... 64

Лекция № 14. Высокочастотная сварка..... 66
14.1. Сущность высокочастотной сварки..... 66
14.2. Методы подвода тока при высокочастотной сварке..... 68
Лекция № 15. Магнитно-импульсная сварка..... 71
15.1. Сущность магнитно-импульсной сварки..... 71
15.2. Технология магнитно-импульсной сварки..... 72
Лекция № 16. Наплавка..... 73
16.1. Сущность наплавки..... 73
16.2. Классификация наплавочных материалов..... 74
16.3. Классификация способов наплавки..... 75
Лекция № 17. Напыление.....79
17.1. Классификация видов газотермического напыления..... 79
17.2. Сущность плазменного напыления..... 81
17.3. Оборудование для плазменного напыления..... 83
17.4. Технология плазменного напыления..... 84
Лекция № 18. Пайка металлов..... 86
18.1. Теоретические основы пайки металлов..... 86
18.2. Классификация процессов пайки.....87
Лекция № 19. Способы пайки..... 91
Лекция № 20. Процессы удаления окисной пленки при пайке..... 96
20.1. Классификация способов удаления окисной пленки..... 96
20.2. Флюсы и их роль..... 98
20.3. Композиция флюсов..... 99
20.4. Механизм флюсования..... 99
Лекция № 21. Полимеры..... 100
21.1. Понятие о пластмассах и полимерах..... 100
21.2. Классификация полимеров..... 102
21.3. Получение полимеров..... 103
Лекция № 22. Общие сведения о пластмассах..... 105
22.1.Физическое состояние полимеров..... 105
22.2.Классификация пластмасс..... 106
Лекция № 23. Сварка пластмасс..... 108
23.1. Особенности сварки пластмасс..... 108
23.2. Физические основы сварки пластмасс..... 109
23.3. Основные способы сварки пластмасс..... 110
23.4. Химическая сварка пластмасс..... 112
23.5. Сварка пластмасс с помощью растворителей..... 113
Лекция № 24. Склеивание пластмасс и металлов.....114
24.1. Механизм процесса склеивания..... 114

24.2. Классификация и основные компоненты клеев..... 115
24.3. Подготовка поверхностей к склеиванию..... 118
24.4. Технологический процесс склеивания..... 119

Литература..... 120

Редактор Ахметжанова Г.М.