

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

З.Д. Эрматов

СВАРОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

ТАШКЕНТ 2018

УДК 621.791.1

Конспект лекций по дисциплине «Сварочные технологии»/ Эрматов З.Д. - Т.:ТашГТУ, 2018 - 160 с.

Курс «Сварочные технологии» по учебному плану читается в 6 семестре.

В данном конспекте изложены основные вопросы теории и элементов технологии современных процессов сварки, пайки, напыления и наплавки в объеме, необходимом для изучения студентами дисциплины по направлению образования 5320300 – Технологические машины и оборудование (горное).

Рецензенты:

главный металлург Сафаров Г. (АО «Ташкентский механический завод»);

доц., к.т.н. Дуняшин Н.С. (ТашГТУ).

Печатается по решению научно-методического совета Ташкентского государственного технического университета.

© Ташкентский государственный технический университет,
2018

Введение

Резкий перелом в машиностроении наступает в конце XIX - начале XX века. В 1802 г. русский ученый академик В.В. Петров впервые открыл и исследовал явление дугового разряда. Среди других явлений в классическом труде «Известие о гальвани-вольтовых опытах», опубликованного им в 1803 г., описано плавление металла дуговым разрядом. Дуговой разряд, как источник тепла высокой температуры и света высокой яркости, не сразу получил практическое применение из-за отсутствия достаточных мощных и экономичных источников тока для питания дуги. Такие источники появились лишь в конце XIX века.

К моменту открытия дугового разряда электротехника только начинала создаваться, электротехнической промышленности не было.

Выдающийся английский физик М. Фарадей, экспериментально изучая электромагнетизм, открыл явление электромагнитной индукции и отсюда вывел принципы устройства электродвигателя (1821 г.) и электрического генератора.

Английский физик Д. Максвелл провел математическую обработку исследований и вывел уравнения, характеризующие электромагнитные поля и происходящие в них процессы.

В 1870 г. французский ученый З.Т. Грамм создал кольцевой якорь для электромагнитной машины, которая может быть электрическим генератором, превращающим механическую энергию в электрическую.

В 1882 г. русский инженер Н.Н. Бенардос изобрел способ электродуговой сварки неплавящимся угольным электродом. Своему изобретению Н.Н. Бенардос дал название «Электрогефест». В 1886 г. он получил русский патент на «Способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока». Н.Н. Бенардос разработал технологию дуговой сварки и типы сварных соединений, применяемых и в настоящее время (встык, внахлестку и др.);

при сварке металла значительных толщин он применял скос кромок. Подготовка кромок при сварке тонких листов заключалась в отбортовки их краев. Для улучшения качества сварки им применялись флюсы: при сварке сталей – кварцевый песок, мрамор, при сварке меди – бура и нашатырь.

В 1888 -1890 гг. другой русский инженер Н.Г. Славянов предложил выполнять дуговую сварку плавящимся металлическим электродом. В начале XX века дуговая электросварка постепенно стала ведущим промышленным способом соединения металлов.

Значительные заслуги в области электродуговой сварки, механизации и автоматизации ее процесса принадлежат украинскому ученому - академику Е.О. Патону. Во время Второй Мировой войны автоматическая сварка под слоем флюса была широко освоена на 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, как термитные смеси, электронный луч, лазер, высокотемпературная плазма, ультразвук и других новых эффективных способов сварки.

Лекция № 1. Классификация и характеристика способов сварки

План:

- 1.1. Сущность процесса сварки.
- 1.2. Классификация способов сварки.
- 1.3. Образование и строение сварного шва и зоны термического влияния.

Основные термины и определения: сварка, сварка плавлением, сварка давлением, сварной шов, участок нормализации, зона термического влияния.

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.

Если сблизить поверхности двух металлических деталей 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 адсорбированные слои молекул газов, и сколько-нибудь длительно сохранить ее чистоту можно лишь в высоком вакууме (не менее 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.

Во время сварки жидкий металл энергично взаимодействует с азотом и кислородом воздуха, что снижает прочность шва и приводит к образованию дефектов. Чтобы изолировать зону сварки от окружающего воздуха, а иногда для того, чтобы ввести в шов элементы, улучшающие его качество, на поверхность металлического стержня наносят специальные вещества или запрессовывают их в порошкообразном состоянии внутрь полого стержня. Для защиты зоны сварки от окружающего воздуха широко используют инертные и активные газы и их смеси. Для этой же цели вокруг электрода плотным слоем наносят зернистый материал – флюс. Расплавляясь в процессе сварки, флюс или специальные вещества создают шлаковый покров, надежно изолирующий расплавленный металл от окружающего воздуха.

1.2. Классификация способов сварки

Схема классификации основных способов сварки плавлением приведена на рис. 1.1.

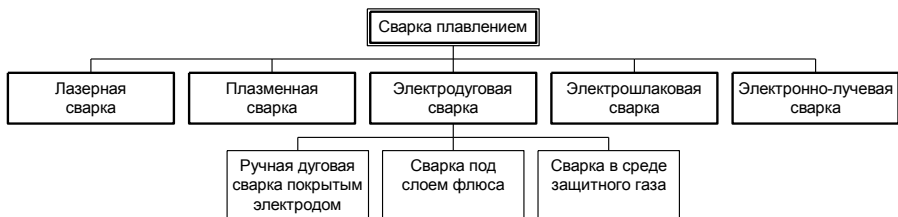


Рис. 1.1. Классификация способов сварки плавлением.

Схема классификации основных способов сварки давлением приведена на рис. 1.2.

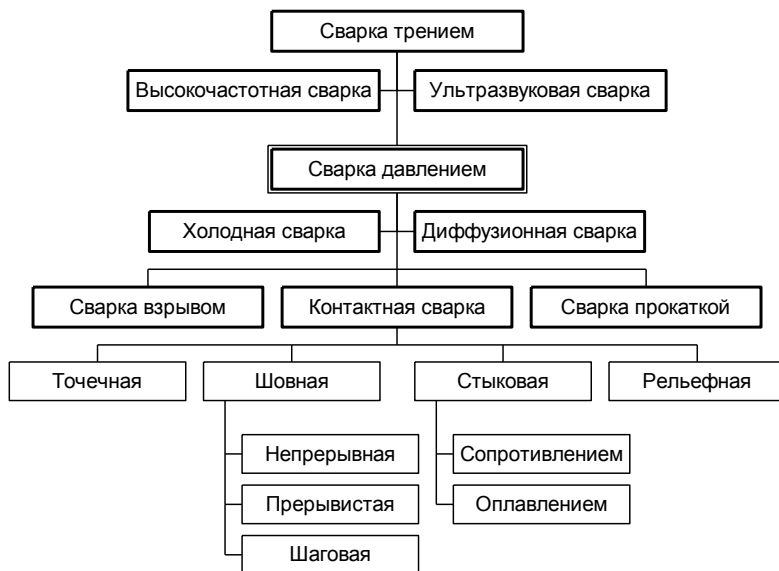


Рис. 1.2. Классификация способов сварки давлением.

1.3. Образование и строение сварного шва и зоны термического влияния

С затвердеванием металла шва структурные превращения в нем не заканчиваются. Например, при сварке стали первичные кристаллиты сразу после их образования состоят из

аустенита - твердого раствора углерода и легирующих элементов в γ -железе, существующего при высоких температурах (750...1500 °C). В процессе охлаждения аустенит распадается, превращаясь в зависимости от состава стали и скорости охлаждения в другие фазы: пластичный феррит, более прочный перлит и прочный, но малопластичный мартенсит. Скорость охлаждения зоны сварки обычно велика, и структурные превращения не успевают произойти до конца. Следовательно, меняя скорость охлаждения сварного соединения, подогревая или искусственно охлаждая его, можно в некоторых пределах управлять вторичной кристаллизацией металла шва и его механическими свойствами. Теплота, выделяемая источником нагрева, при сварке распространяется в основной металл. Его участки нагреваются до температуры плавления на границе сварочной ванны и имеют температуру окружающей среды вдали от нее. Это не может не сказаться на структуре металла. Зону основного металла, в которой в результате нагрева и охлаждения металла происходят изменения структуры и свойств, называют зоной термического влияния (ЗТВ). Каждая точка в ЗТВ в зависимости от расстояния до оси шва достигает различной максимальной температуры, нагревается и охлаждается с различными скоростями. Изменение температуры данной точки во времени называют термическим циклом. Каждая точка ЗТВ имеет при сварке свой термический цикл. Значит, металл в ЗТВ подвергается в результате сварки нескольким видам термической обработки. Поэтому в ЗТВ наблюдаются четко выраженные участки с различной структурой и свойствами.

У каждого свариваемого материала в ЗТВ будут свои, характерные для этого материала, структурные участки. Наиболее наглядна эта структурная неоднородность ЗТВ при сварке плавлением низкоуглеродистой стали (рис. 1.3). Непосредственно к металлу шва примыкает участок неполного расплавления 1. Это тонкая (в несколько микрон) переходная полоска от металла шва к основному металлу, состоящая из

частично оплавленных зерен основного металла. Металл участка неполного расплавления химически неоднороден, в нем концентрируются напряжения. Этот участок сильно влияет на свойства соединения в целом. За ним следует участок перегрева 2. В нем металл нагревается до температуры выше 1130 °С, зерно успевает сильно вырасти и при охлаждении не измельчается. Здесь возможно выделение пластичной фазы - феррита — не по границам зерен, а внутри их в виде иголок или пластинок. Такая структура называется видманшtedтовой. Она обладает плохими механическими свойствами, в частности низкой ударной вязкостью. Участок неполного расплавления и участок перегрева вместе называют околосшовной зоной. При температуре 900...1100 °С образуется участок нормализации (полной перекристаллизации) с мелкозернистой структурой. В этом участке длительность пребывания металла при высокой температуре невелика, зерно не успевает вырасти, а при охлаждении - измельчается. Поэтому металл здесь имеет самые высокие механические свойства. Участок 4 неполной перекристаллизации определяется диапазоном температуры 723...900 °С. Конечная структура на этом участке состоит из крупных зерен, не успевших пройти перекристаллизацию, и расположенных между ними мелких зерен, образовавшихся при перекристаллизации. По механическим свойствам металл здесь хуже, чем на участке нормализации 3, но лучше, чем на участке перегрева.

На участке рекристаллизации 5 металл нагревается до температуры 500...723 °С. Структура его не изменяется, но если сваривался металл, подвергавшийся холодной прокатке, или легированный металл после термообработки (например, закалки), то на этом участке восстановится исходная структура металла. При этом несколько уменьшится прочность, но возрастет пластичность металла.

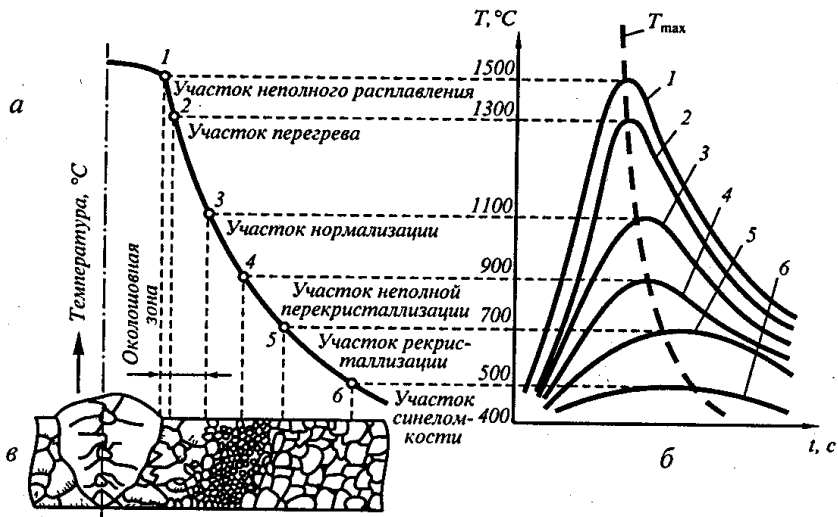


Рис. 1.3. Структура зоны термического влияния при сварке плавлением низкоуглеродистой стали:

а - распределение максимальной температуры; б - термические циклы точек ЗТВ; в - структурные участки ЗТВ

На участке 6, нагреваемом до температуры ниже 500°C, видимых изменений структуры не происходит. Однако металл здесь охлаждается очень медленно, подогреваясь от соседних участков, и поэтому вплоть до температуры 100°C по границам зерен могут выделяться микроскопические частицы примесей. Это явление называют старением металла. В результате старения снижается вязкость, чему также способствуют образующиеся в процессе сварки пластические деформации металла вследствие его теплового расширения. Охрупчивание металла, нагревавшегося до температуры, при которой образуются синие цвета побежалости (200...400°C), называют синеломкостью, а участок 6 — участком синеломкости.

Ширина зоны термического влияния зависит от количества тепловой энергии, приходящейся на единицу длины шва,

- погонной энергии. При ручной дуговой сварке, например, стали ширина ЗТВ составляет 5...6 мм, при газопламенной сварке она доходит до 25 мм.

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?

Лекция № 2. Ручная дуговая сварка

План:

- 2.1. Сущность ручной дуговой сварки.
- 2.2. Оборудование сварочного поста при ручной дуговой сварке.
- 2.3. Сварочные покрытые электроды для ручной дуговой сварки.
- 2.4. Режимы ручной дуговой сварки.
- 2.5. Техника ручной дуговой сварки.

Основные термины и определения: ручная дуговая сварка, электрод для ручной дуговой сварки, шлакообразующие компоненты, газообразующие компоненты, легирующие компоненты.

2.1. Сущность ручной дуговой сварки

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. Нормальная длина дуги не превышает 0,5 – 1,1 диаметра электрода. Диаметр электрода обычно составляет 3 – 6 мм. Основной объем сварочных работ выполняется при токе 90-350 А и напряжении 18-30 В.

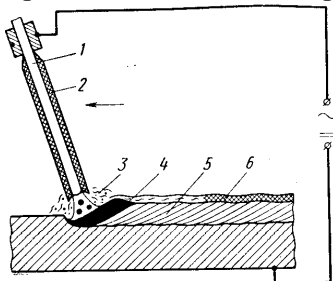


Рис. 2.1. Схема поста для ручной дуговой сварки:

1 – стержень электрода; 2 – покрытие электрода; 3 – газовая или газосшлаковая защита; 4 – сварочная ванна; 5 – сварочный шов; 6 – шлаковая корка

2.2. Оборудование сварочного поста при ручной дуговой сварке

В зависимости от вида выполняемых работ, размеров изделия и типа производства рабочее место сварщика может быть организовано по-разному. Это может быть стационарная сварочная кабина или временный сварочный пост для монтажа или изготовления крупногабаритного изделия, сооружения.

Если свариваемое изделие невелико и изготавливается большими сериями, то рабочее место организуют в стационарных сварочных кабинах размерами для одного сварщика

не менее чем 2,0х2,5 м, высотой не менее 2,0 м. Чтобы кабина лучше вентилировалась за счет естественного движения воздуха, ее стены не доводят до пола на 200...250 мм. В дверном проеме подвешивают на кольцах брезентовый занавес. Стены кабины делают из огнестойкого материала, чаще из металла. С внутренней стороны на стены наносят огнестойкое покрытие или краску светлых тонов, дающую матовую поверхность, исключаяющую блики. Обязательна общая и местная вытяжная вентиляция. В кабине устанавливают источник питания сварочной дуги, рубильник или магнитный пускатель для его подключения к питающей электрической сети. Если используется сварочный преобразователь, то его устанавливают за пределами кабины в помещении с хорошей звукоизоляцией.

Питание сварочных постов переменным током осуществляют от специальных трансформаторов, а постоянным током—от преобразователей и выпрямителей.

2.3. Сварочные покрытые электроды для ручной дуговой сварки

Покрытый металлический электрод для ручной дуговой сварки представляет собой металлический стержень, на поверхность которого нанесено специальное покрытие.

Основными требованиями для всех типов электродов являются:

- 1) обеспечение стабильного горения дуги и хорошего формирования шва;
- 2) получение металла сварного шва заданного химического состава;
- 3) спокойное и равномерное расплавление электродного стержня и покрытия;
- 4) минимальное разбрызгивание электродного металла и высокая производительность сварки;
- 5) легкая отделимость шлака и достаточная прочность покрытий;

6) сохранение физико-химических и технологических свойств электродов в течение определенного промежутка времени.

Свойства электродов определяются химическим составом электродного стержня и покрытия, а также диаметром стержня и весом покрытия. Наиболее сильно влияет на состав наплавленного металла и его механические свойства состав электродного стержня.

Компоненты электродных покрытий. Электродные покрытия (обмазки) состоят из шлакообразующих, газообразующих, раскисляющих, легирующих, стабилизирующих и связующих (клеящих) компонентов.

Шлакообразующие компоненты защищают расплавленный металл от воздействия кислорода и азота воздуха и частично рафинируют (очищают) его. Они образуют шлаковые оболочки вокруг капель электродного металла, проходящих через дуговой промежуток, и шлаковый покров на поверхности металла шва, шлакообразующие составляющие уменьшают скорость охлаждения металла и способствуют выделению из него неметаллических включений. Шлакообразующие компоненты могут включать титановый концентрат, марганцевую руду, полевой шпат, каолин, мел, мрамор, кварцевый песок, доломит.

Газообразующие компоненты при сгорании создают газовую защиту зоны сварки, которая также предохраняет расплавленный металл от кислорода и азота воздуха. Газообразующие компоненты состоят из древесной муки, хлопчатобумажной пряжи, крахмала, пищевой муки, декстрина и целлюлозы.

Раскисляющие компоненты необходимы для раскисления расплавленного металла сварочной ванны. К ним относятся элементы, которые обладают большим сродством к кислороду, чем железо, например, марганец, кремний, титан, алюминий и др. Большинство раскислителей вводится в электродное покрытие в виде ферросплавов.

Легирующие компоненты необходимы в составе покрытия для придания металлу шва специальных свойств: жаростойкости, износостойкости, сопротивляемости коррозии и повышения механических свойств. Легирующими элементами служат марганец, хром, титан, ванадий, молибден, никель, вольфрам и некоторые другие элементы.

Стабилизирующими компонентами являются те элементы, которые имеют небольшой потенциал ионизации, например, калий, натрий и кальций.

Связующие компоненты применяют для связывания составляющих покрытия между собой и со стержнем электрода. В качестве них применяют калиевое или натриевое жидкое стекло, декстрин, желатин и другие. Основным связующим веществом служит жидкое стекло. Жидкое стекло является силикатом — солью кремниевой кислоты щелочных металлов (натрия или калия). Обычно используют натровое жидкое стекло — силикат натрия, химическая формула которого

$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$. Отношение $m = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$ называется модулем жид-

кого стекла. Чем выше модуль, тем больше клейкость жидкого стекла. Для электродных покрытий применяется жидкое стекло с модулем от 2,2 до 3. Калиевое жидкое стекло вводится в некоторые покрытия для повышения устойчивости горения дуги.

Типы электродных покрытий. Покрытия принято классифицировать по виду основных веществ, входящих в них и определяющих действие покрытия на металл сварочной ванны. По этому признаку все покрытия делят на 4 группы: кислые, основные, рутиловые и целлюлозное.

Кислое покрытие (АНО-1, СМ-5) содержит окислы железа и марганца (преимущественно в виде руд), кремнезем, титановый концентрат и большое количество ферромарганца. Газовую защиту расплавленного металла обеспечивают разложением органических составляющих покрытия (целлюлозы,

древесной муки, декстрина, крахмала). Металл, наплавленный электродами с кислым покрытием, по своему составу чаще всего соответствует кипящей стали и содержит от 0,12% С, 0,10% Si, 0,6—0,9% Mn до 0,05% S и P каждого. Electroды этой группы пригодны для сварки во всех пространственных положениях переменным и постоянным током и характеризуются достаточно большой скоростью расплавления. Их не рекомендуется применять для сварки сталей, которые имеют повышенное содержание серы и углерода, так как металл шва, выполненный этими электродами, чувствителен к образованию кристаллизационных трещин. Electroдами с кислым покрытием можно сваривать металл с ржавыми кромками, окалиной (при значительном напряжении дуги), получая при этом плотные швы. Поры в швах при сварке электродами с рудно-кислым покрытием образуются:

- из-за высокого содержания марганца в покрытии;
- при применении ферромарганца с большим содержанием углерода и кремния;
- при сварке металла с высоким содержанием кремния.

Недостатками этих электродов являются пониженная стойкость против образования кристаллизационных трещин, повышенное разбрызгивание металла и выделение в процессе сварки марганцовистых соединений, вредно влияющих на организм человека.

Основное покрытие (УОНИИ-13/45, ДСК-50) состоит из карбонатов кальция (CaCO_3), магнезия (мрамор, мел, доломит, магнезит) и плавикового шпата (CaF_2), а также из ферросплавов (ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и др.). Расплавленный металл защищается углекислым газом и окисью углерода, которые образуются вследствие диссоциации карбонатов. Electroды с основным покрытием применяют преимущественно при сварке постоянным током обратной полярности во всех пространственных положениях. Металл, наплавленный такими электродами, чаще всего соответствует спокойной стали и содержит незначительное количество кис-

лорода, водорода и азота. Содержание серы и фосфора в нем обычно не превышает 0,035% каждого, а содержание марганца и кремния зависит от назначения электродов (от 0,5 до 1,5% Mn и от 0,3 до 0,6% Si). Металл шва, стойкий против образования кристаллизационных трещин, старения, имеет достаточно высокие показатели ударной вязкости как при положительных, так и при отрицательных температурах. Электроды с основным покрытием применяют для сварки металлов большой толщины, для изделий, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях или транспортирующих газы, а также для сварки литых углеродистых, низколегированных высокопрочных сталей и сталей с повышенным содержанием серы и углерода. Электроды с основным покрытием весьма чувствительны к образованию пор во время сварки, если кромки свариваемых изделий покрыты окалиной, ржавчиной, маслом, а также, если электродное покрытие увлажнено и большая длина дуги. Механические свойства металла шва регулируют введением в покрытие хрома, молибдена, ферромарганца и ферросилиция.

Рутильное покрытие (АНО-3, АНО-4, МР-3, ОЗС-4) содержит концентрат природного минерала рутила, кремнезем, карбонаты кальция, магния и ферромарганец. Концентрат рутила состоит в основном из двуокиси титана TiO_2 . Кремнезем в состав покрытия вводится в виде гранита, полевого шпата и слюды. Содержание водорода в металле шва зависит от присутствия в покрытии органических веществ. Стойкость металла шва против образования кристаллизационных трещин такая же, как у электродов с кислым покрытием. Электроды этой группы при сварке мало склонны к образованию пор при изменении длины дуги или по окисленным поверхностям, а также по металлу, наплавленному ранее электродами со стабилизирующим покрытием. В процессе сварки рутильное покрытие обеспечивает устойчивое горение дуги, хорошее формирование шва, а также минимальное разбрызгивание металла. Выделение вредных газов при сварке небольшое. Электрода-

ми с рутиловым покрытием можно сваривать изделия во всех пространственных положениях как переменным, так и постоянным током. Металл, наплавленный электродами с рутиловым покрытием, содержит до 0,12% С; 0,4—0,7% Мп; 0,10—0,30% Si; 0,04% S и P каждого.

Целлюлозное покрытие (ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОМА-2) состоит главным образом из горючих органических материалов (целлюлозы, крахмала), которые в процессе разложения в дуге обеспечивают газовую защиту расплавленного металла. Шлакообразующими являются рутил, титановый концентрат, марганцевая руда и силикаты, а раскислителем — ферромарганец. Эти электроды обеспечивают небольшое разбрызгивание металла и малое количество шлака. Они пригодны для сварки во всех пространственных положениях как переменным, так и постоянным током.

Типы электродов. Ввиду большого разнообразия применяемых покрытий электроды по ГОСТ делятся на типы не по составу покрытий, а по назначению электродов и механическим свойствам металла шва и сварного соединения, получаемых при сварке электродами данного типа. Каждому типу электрода соответствует несколько марок. Например, типу Э42 соответствуют электроды ОМА-2, АНО-6 и др. Марка электрода — это его промышленное обозначение, как правило, характеризующее стержень и покрытие.

Согласно ГОСТ 9467-75 «Электроды покрытые, металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы» для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей предусмотрены 9 типов электродов: Э38, Э42, 42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55 и Э60; для сварки легированных конструкционных сталей повышенной и высокой прочности 5 типов: Э70, Э85, Э100, Э125, Э150. Кроме того, предусмотрены 9 типов электродов для сварки теплоустойчивых сталей: Э09М, Э09МХ, Э09Х1М, Э05Х2М, Э09Х2М1, Э09Х1МФ, Э10Х1М1НФБ, Э10Х3М1БФ, Э10Х5МФ.

Тип электрода для конструкционных сталей обозначаются буквой Э и цифрой, указывающей гарантируемый предел прочности металла шва 10^{-1} МПа. Буква А в обозначении указывает, что металл шва, наплавленный этим электродом, имеет повышенные пластические свойства. Такие электроды применяются при сварке наиболее ответственных швов.

Для изготовления стержней большинства электродов, предназначенных для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей, применяют проволоку Св-08 и Св-08А

Маркировка электродов. Полное условное обозначение электродов должно содержать следующие данные (рис. 2.2):

- 1 - тип;
- 2 - марка;
- 3 - диаметр;
- 4 - назначение;
- 5 - обозначение толщины покрытия;
- 6 - группа электродов;
- 7 - группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла шва по ГОСТ 9467-75, ГОСТ 10051-75 или ГОСТ 10052-75;
- 8 - обозначение вида покрытия;
- 9 - обозначение допустимых пространственных положений сварки или наплавки;
- 10 - обозначение рода тока, полярности и номинального напряжения холостого тока;
- 11 - обозначение стандарта ГОСТ 9466-75;
- 12 - обозначение стандарта на типы электродов.

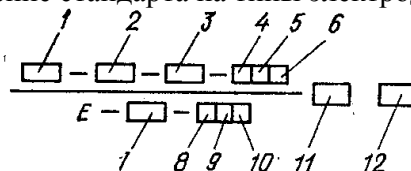


Рис. 2.2. Условное обозначение электродов.

Например, для электродов типа Э46А (ГОСТ 9467-75), марки УОНИ-13/45, диаметром 3 мм, для сварки углеродистых и низкоуглеродистых сталей «У», с толстым покрытием «Д», 2-й группы с установленной по ГОСТ 9467-75 группой индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, с основным покрытием Б, для сварки во всех пространственных положениях 1, на постоянном токе обратной полярности полное обозначение будет иметь следующий вид:

Э46А – УОНИ – 13 / 45 – 3,0 – УД2 ГОСТ9466 – 75, ГОСТ9467 – 75
Е – 432(5) – Б10

2.4. Режимы ручной дуговой сварки

Под режимом сварки понимают совокупность условий протекания процесса сварки. Параметры режима сварки подразделяют на основные и дополнительные. К основным параметрам режима сварки при ручной сварке относят величину, род и полярность тока, диаметр электрода, напряжение, скорость сварки и величину поперечного колебания конца электрода, а к дополнительным — величину вылета электрода, состав и толщину покрытия электрода, начальную температуру основного металла, положение электрода в пространстве (вертикальное, наклонное) и положение изделия в процессе сварки.

Диаметр проволоки электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла (табл. 2.2.)

Таблица 2.2.

Зависимость диаметра проволоки электрода от толщины свариваемого металла при сварке стыковых соединений

Толщина свариваемого металла, мм	0,5—1,5	1,5—3	3—5	6—8	9—12	13—20
Диаметр проволоки электрода, мм	1,5—2,0	2—3	3—4	4—5	4—6	5—6

При большом диаметре электрода повышается производительность сварки, но возможно проплавление свариваемого металла, затрудняется выполнение швов в вертикальном и потолочном положениях, возможен непровар корня шва. Поэтому первый слой многослойного шва всегда сваривается электродом диаметром 4—5 мм, за исключением швов с U-образной подготовкой, где весь шов можно сваривать электродами одного (максимально допустимого) диаметра.

Вертикальные и потолочные швы свариваются электродами диаметром не более 5 мм. Прихваточные швы и наплавка валиками небольшого сечения выполняются электродами диаметром не более 5 мм.

Сварочный ток выбирается в зависимости от диаметра электрода и марки электродного покрытия. При выборе величины тока для сварки встык низкоуглеродистой стали в нижнем положении можно пользоваться формулой акад. К. К. Хренова

$$I_{св}=(20+6d)d,$$

где $I_{св}$ — сварочный ток, А;

d — диаметр металлического стержня электрода, мм.

При толщине металла менее $1,5 d$ ток уменьшают на 10—15%, а при толщине более $3 d$ — увеличивают на 10—15% по сравнению с полученным по формуле. При сварке на вертикальной плоскости ток уменьшают на 10—15%, а при сварке потолочных швов — уменьшают на 15—20% по сравнению с током, выбранным для сварки в нижнем положении металла той же толщины.

Для сварки соединений внахлестку и тавровых можно применять больший ток, так как в этом случае опасность сквозного проплавления меньше.

Род и полярность тока также влияют на форму и размеры шва.

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.

Напряжение при ручной дуговой сварке на глубину провара оказывает незначительное влияние, которым можно пренебречь. Ширина шва связана с напряжением на электродах прямой зависимостью. При увеличении напряжения ширина шва увеличивается.

2.5. Техника ручной дуговой сварки

Для возбуждения дуги сварщик концом электрода прикасается к металлу, а затем быстро отводит его на 2–4 мм. В этот момент образуется дуга, постоянную длину которой поддерживают во время сварки путем постепенного опускания электрода по мере его расплавления.

Другой способ заключается в следующем: сварщик проводит (чиркает) по поверхности свариваемого металла концом электрода и затем быстро отводит его на небольшое расстояние, возбуждая дугу.

Дугу необходимо поддерживать возможно короткой. При короткой дуге около шва образуется небольшое количество мелких капель металла, электрод плавится спокойно, давая равномерный пучок искр, глубина проплавления свариваемого металла получается больше.

При перемещении электрода прямолинейно вдоль шва без колебательных движений наплавляется узкий (ниточный) валик. Сварку можно выполнять вертикально расположенным электродом или при его наклоне относительно шва углом вперед или назад (рис. 2.3).

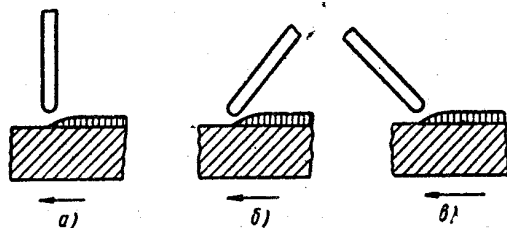


Рис. 2.3. *Различные положения электродов при сварке:*

а – вертикальное, б – углом вперед; в – углом назад

При наложении валика электрод следует держать наклонно, под некоторым углом к вертикальной линии, чтобы капли металла, перемещающиеся при расплавлении конца электрода в направлении его оси, попадали в расплавленный металл ванны.

Узкий валик накладывают при проваре корня шва, сварке тонких листов, сварке горизонтальных и потолочных швов (независимо от числа слоев). Чем медленнее сварщик перемещает электрод вдоль шва, тем шире получается валик. В узком, но высоком валике объем наплавленного металла невелик, такой валик застывает быстрее, и растворенные в металле невыделившиеся газы могут вызвать пористость шва. Поэтому чаще применяют уширенные валики, которые также менее склонны к образованию кристаллизационных трещин. При выполнении их сварщик сообщает электроду колебательные движения поперек шва, причем конец электрода должен совершать три движения (рис. 2.4): поступательное 1 вдоль оси электрода сверху вниз, поступательное 2 вдоль линии шва и колебательное 3 поперек шва, перпендикулярно его оси. Колебательные движения электрода способствуют прогреву кромок и замедляют остывание сварочной ванны.

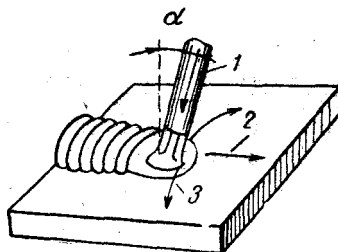


Рис. 2.4. *Перемещение электрода в трех направлениях.*

Схемы движений конца электрода при наплавке уширенных валиков показаны на рис. 2.5.

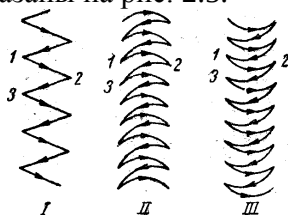


Рис. 2.5. *Колебательные движения концом электрода при наплавке уширенных валиков:*

I - прямолинейное, II — криволинейное, выпуклостью в сторону сваренного участка, III— криволинейное, выпуклостью в сторону несваренного участка.

В точках 1, 2 и 3 скорость перемещения электрода уменьшается, что способствует прогреванию кромок.

Лучшее качество имеют валики шириной, равной 2,5—3 диаметрам электрода. В этом случае все кратеры расплавленного металла 1, 2, 3 сливаются в одну ванну и обеспечивается наилучшее сплавление основного и наплавленного металла.

При слишком большой ширине валика металл в точке 1 затвердеет к тому моменту, когда дуга возвратится в точку 3, и в этом месте может образоваться непровар. Кроме того, понижается производительность сварки. На рис. 2.6, а показаны движения концом электрода, необходимые для прогревания обеих кромок, на рис. 2.6, б—для прогревания только одной кромки (например, при сварке листов разной толщины). Для

прогрева́ния середи́ны шва электрод перемещают по схеме, данной на рис. 2.6, в.

Наплавляя валик, сварщик может находиться сбоку от шва и перемещать электрод слева направо или располагаться по оси шва и вести электрод «на себя» или «от себя».

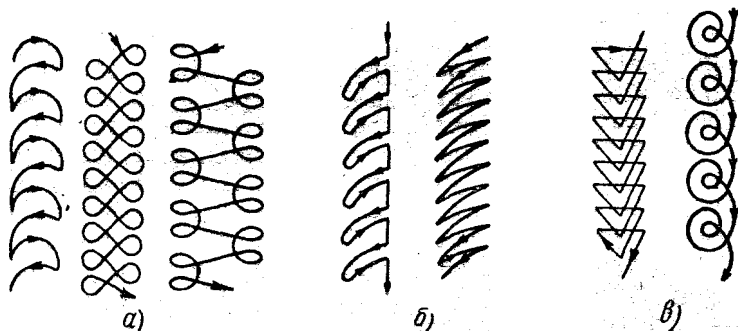


Рис. 2.6. *Особые случаи движения электрода:*

а — при усиленном прогревании обеих кромок, б — при большем прогревании одной кромки, в — при прогревании середины шва.

После окончания наплавки валика остающийся в конце его кратер должен быть тщательно заварен, чтобы в этом месте не появилась трещина.

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?

Лекция № 3. Дуговая сварка под флюсом

План:

- 3.1. Сущность сварки под слоем флюса.
- 3.2. Сварочные материалы, применяемые при сварке под слоем флюса.
- 3.3. Оборудование, применяемое при сварке под слоем флюса.

Основные термины и определения: дуговая сварка под слоем флюса, свариваемые детали, сварочная проволока, сварочная дуга, сварочный шов, сварочная ванна.

3.1. Сущность сварки под слоем флюса

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

Способ сварки под флюсом разработан в 1939 в Институте электросварки АН Украины при участии Е.О. Патона на основе идей, выдвинутых Н.Г. Славяновым, и получил тогда название «скоростная автоматическая сварка голым электродом под слоем флюса».

При сварке под слоем флюса сварочная дуга горит между изделием и концом сварочной проволоки. Под воздействием дуги проволока плавится и по мере расплавления подается в зону сварки. Дуга закрыта слоем флюса. 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 плавятся также основной металл и флюс. Расплавленные проволока, флюс и основной металл образуют сварочную ванну. Флюс в виде жидкой пленки покрывает зону сварки, изолируя ее от воздуха. Расплавленный дугой металл сварочной проволоки каплями переносится в сварочную ванну, где смешивается с расплавленным основным ме-

таллом. По мере удаления дуги металл сварочной ванны начинает охлаждаться, так как поступление теплоты к нему уменьшается, а затем затвердевает, образуя шов. Расплавленный флюс (шлак) затвердевает, образуя на поверхности шва шлаковую корку. Избыточная нерасплавленная часть флюса отсасывается и используется повторно.

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.

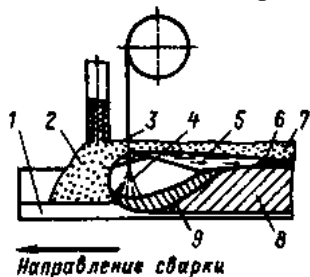


Рис. 3.1. *Схема сварки под флюсом:*

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.

3.2. Сварочные материалы, применяемые при сварке под слоем флюса

Сварочная проволока. При сварке под флюсом сварочная проволока используется в качестве плавящегося электрода без покрытия.

Согласно ГОСТ 2246—70 «Проволока стальная сварочная» сварочная проволока выпускается диаметром 0,3; 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 2; 2,5; 3,0; 4; 5; 6; 8; 10 и 12 мм. Проволока первых семи диаметров предназначена в основном для полуавтоматической и автоматической сварки в защитном газе.

Для автоматической и полуавтоматической сварки под слоем флюса применяют проволоку диаметром 2 – 6 мм. Проволока диаметром 1,6 – 12,0 мм предназначена для изготовления стержней электродов. Проволока поставляется в мотках (бухтах) весом 1,5—40 кг.

ГОСТ предусматривает выпуск проволоки из сталей 77 марок, различных по химическому составу:

а) низкоуглеродистых, содержащих до 0,12% углерода и предназначенных для сварки мало- и среднеуглеродистых, а также некоторых низколегированных - сталей; это проволоки марок Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2;

б) легированных марганцем, кремнием, хромом, никелем, молибденом, титаном и ванадием, применяемых для сварки низколегированных сталей соответствующих марок; к ним относятся проволоки Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС и др., всего 30 марок;

в) высоколегированных, для сварки специальных сталей и наплавки; это проволоки Св-12Х11НМФ, Св-12Х13, Св-08Х14ГНТ и др.; всего 41 марка.

Обозначение сварочной проволоки состоит из букв Св (сварочная) и буквенно-цифрового обозначения ее состава. Первые две цифры указывают на содержание в проволоке углерода в сотых долях процента. Затем буквой и цифрой (цифрами) поочередно указываются наименование и содержание в процентах легирующих элементов. При содержании легирующего элемента в проволоке менее 1 % ставится только буква этого элемента. Условное буквенное обозначение легирующих элементов приведено в табл. 3.1.

Буква А в конце обозначения марки указывает, что проволока имеет пониженное содержание серы и фосфора; ее применяют для сварки ответственных конструкций.

Пример: 3 Св10Г2СМА ГОСТ 2246-70 – сварочная проволока диаметром 3 мм, содержащая 0,10% углерода, 2% марганца, до 1% кремния и молибдена, с пониженным содержанием серы и фосфора.

Поверхность проволок должна быть чистой и гладкой, без окалины, ржавчины и масла. Проволока для механизированных способов сварки может поставляться с омедненной поверхностью.

Таблица 3.1

Обозначение легирующих элементов

Наименование	Условное обозначение элемента по таблице Менделеева	При маркировке металла
Азот	N	A*
Ниобий	Nb	Б
Вольфрам	W	В
Марганец	Mn	Г
Медь	Cu	Д
Селен	Se	Е
Кобальт	Co	К
Молибден	Mo	М
Никель	Ni	Н
Бор	B	Р
Кремний	Si	С
Титан	Ti	Т
Ванадий	V	Ф
Хром	Cr	Х
Алюминий	Al	Ю

* Нельзя ставить в конце обозначения

Флюс. Сварочными флюсами называют спец. приготовленные металлические гранулированные порошки с размером отдельных зерен 0,25-4 мм. При механизированных дуговых способах сварки под флюсом защита сварочной ванны и ее металлургическая обработка осуществляются сварочными флюсами. Флюсы расплавляясь, создают газовый и шлаковый купол над зоной сварочной дуги, а после химико-металлургического воздействия в дуговом пространстве и сварочной ванне образуют на поверхности шва шлаковую корку, в которую выводятся окислы, сера, фосфор и газы.

К флюсам для автоматической и полуавтоматической сварки плавящимся электродам предъявляются ряд общих требований:

- обеспечение стабильности горения дуги и процесса сварки;

- получение заданного химического состава металла сварочных швов и их свойств;

- обеспечение хорошего формирования металла шва;

- получение швов без дефектов (шлаковых включений, пор и трещин);

- легкая отделяемость шлаковой корки от поверхности швов;

- стабильность горения дуги обеспечивается за счет ионизируемых компонентов, которые введены в состав флюса.

Заданный химический состав металла шва обеспечивается за счет основного и электродного металла, учитывая их изменения вследствие взаимодействия с флюсом.

Хорошее формирование металла шва и легкая отделяемость шлаковой корки обеспечиваются путем регулирования физико-химических свойств флюса (температур плавления, жидкотекучесть шлака и др). Трещины, шлаковые включения и пористость металла швов подавляются за счет рафинирующих, раскисляющих, легирующих компонентов, которые введены в состав флюса.

Классификация флюсов. Флюсы принято подразделять по следующим признакам:

1. По способу их изготовления:

- а) Плавленные

- б) Керамические

- в) Флюс-пасты.

2. По назначению:

- а) для определенного способа сварки (флюсы для дуговой сварки, для электрошлаковой сварки);

б) для сварки определенных металлов (флюсы для сварки стали, для сварки алюминия, для сварки титана, для сварки меди, для сварки магния и т.д.).

3. По химическому составу:

а) Окислительные флюсы, содержащие в своем составе MnO и SiO_2 . Чем больше содержится во флюсе MnO и SiO_2 , тем сильнее флюс может легировать металл кремнием и марганцем, но одновременно тем сильнее он окисляет металл. Окислительные флюсы преимущественно применяют при сварке углеродистых и низколегированных сталей.

б) Безокислительные флюсы, практически не содержащие окислы кремния и марганца или содержащие в небольших количествах. В основном содержат окислы CaO , MgO , Al_2O_3 , и фтористый кальций (CaF_2). Их преимущественно используют для сварки высоколегированных сталей.

в) Безкислородные флюсы, состоящие из фторидных и хлоридных солей щелочных и щелочно-земельных металлов, а также других составляющих, не содержащих кислород. Их используют для сварки химически активных металлов (алюминия, магния, титана).

Плавленные флюсы получают сплавлением его составляющих компонентов. Плавленные флюсы являются основными при автоматической сварке металла. Флюсы типов АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-В, АН-348-ВМ, АН-60 и ФЦ-9 предназначены для механической сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой. Флюс марки АН-8 применяют при электрошлаковой сварке углеродистых и низколегированных сталей и сварке низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой. Флюсы марок АН-15М, АН-18, АН-20, АН-20СМ и АН-20П служат для дуговой автоматической сварки и наплавки высоколегированных сталей и среднелегированных сталей. Флюс марки АН-22 предназначен для электрошлаковой сварки и дуговой

автоматической наплавки и сварки низко- и среднелегированных сталей.

Химический состав сварочных плавяных флюсов приведен в таблице 3.2

Таблица 3.2

Состав сварочных плавяных флюсов, %

Марка флюса	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	Fe ₂ O ₃	S	P
							не более		
АН-348-А	41,0-44,0	34,0-38,0	≤ 6,5	5,0-7,5	≤ 4,5	4,0-5,5	2,0	0,15	0,12
ОСЦ-45	38,0-44,0	38,0-44,0	≤ 6,5	≤ 2,5	≤ 5,0	6,0-9,0	2,0	0,15	0,15
АН-348-АМ	41,0-44,0	34,0-38,0	≤ 6,5	≤ 4,5	≤ 4,5	3,5-4,5	2,0	0,15	0,12
ОСЦ-45М	38,0-44,0	38,0-44,0	≤ 6,5	≤ 2,5	≤ 5,0	6,0-9,0	2,0	0,15	0,10
АН-60	42,5-46,5	36,0-41,0	3,0-11,0	0,5-3,0	≤ 5,0	5,0-8,0	1,5	0,15	0,15
ФЦ-9	38,0-41,0	38,0-41,0	≤ 6,5	≤ 2,5	10,0-13,0	2,0-3,0	2,0	0,10	0,10
АН-8	33,0-36,0	21,0-26,0	1,0-7,0	5,0-7,5	11,0-15,0	13,0-19,0	1,5-3,5	0,15	0,15
АН-20С, АН-20СМ, АН-20П	19,0-24,0	≤ 0,5	3,0-9,0	9,0-13,0	27,0-32,0	25,0-33,0	1,0	0,08	0,05
АН-22	18,0-21,5	7,0-9,0	12,0-15,0	11,5-15,0	19,0-23,0	20,0-24,0	1,0	0,05	0,05
АН-26С, АН-26СП, АН-26П	29,0-33,0	2,5-4,0	4,0-8,0	15,0-18,0	19,0-23,0	20,0-24,0	1,5	0,10	0,10

Примечание: Индексы в наименовании марки флюса имеют следующие значения: С – стекловидный; П – пемзовидный; М – мелкий

Флюсы АН-26С, АН-26СП и АН-26П применяют при автоматической и полуавтоматической сварке нержавеющей, коррозионностойких и жаропрочных сталей. Флюсы марок АН-17М, АН-43 и АН-47 предназначены для дуговой сварки и

наплавки углеродистых, низко- и среднелегированных сталей повышенной и высокой прочности.

Преимущества плавленных флюсов:

- равномерность флюса по химическому составу;
- высокая механическая прочность, что облегчает транспортировку.
- относительно высокая влагуостойчивость.

Основным недостатком плавленных флюсов является то, что он не может содержать легирующих элементов в чистом виде, т.к. в процессе выплавки они неизбежно окисляются. Легирование плавленными флюсами происходит путем восстановления элементов из окислов, находящихся во флюсе

Производство плавленных флюсов. Изготовление флюса включает следующие процессы: размалывание до необходимых размеров сырьевых материалов (марганцевая руда, кварцевый песок, мел, плавиковый шпат, глинозем и др.); перемешивание их в определенных массовых соотношениях; плавка в газопламенных или электродуговых печах; грануляция с целью получения флюса определенных размеров зерен. Грануляцию можно осуществлять сухим и мокрым способами.

При сухом способе флюс выливают в металлические формы, после остывания отливку дробят в валках до крупки размером 0,1-4 мм, затем просеивают. Сухую грануляцию применяют для гигроскопичных флюсов.

При мокром способе грануляции выпускаемый из печи тонкой струей жидкий флюс направляют в бак с проточной водой (рис. 3.2). В некоторых случаях струю флюса дополнительно над поверхностью воды разбивают сильной струей воды.

После сушки при температуре 250-350°C массу дробят и пропускают через проходное и непроходное сита.

Строение зерна флюса зависит от состава расплава флюса и от степени перегрева в момент выпуска в воду. Поэтому флюс может получиться плотным, с прозрачными зернами "стекловидный", или пористым, рыхлым - "пемзо-

видным". Пемзовидный флюс при том же составе имеет в 1,5-2 раза меньший удельный вес. Эти флюсы хуже защищают металл от действия воздуха, но обеспечивают лучшее формирование швов при большой силе тока и скорости сварки.

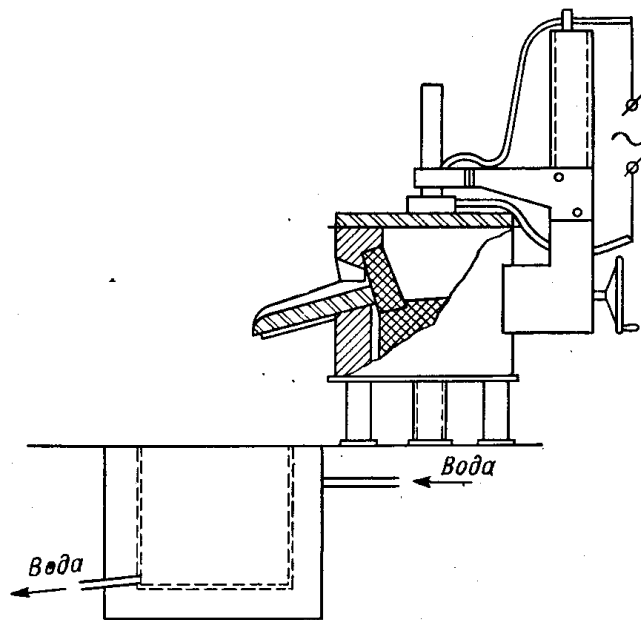


Рис. 3.2. Электрическая печь для плавки флюса с баком для грануляции по мокрому способу.

Строение и цвет, размер зерен и объемная масса сварочных плавяных флюсов приведены в таблице 3.3

Таблица 3.3

**Строение, цвет, размер зерен и объемная масса сварочных
плавленных флюсов**

Марка флюса	Строение зерен	Цвет зерен	Размер зерен, мм	Объемная масса, кг/дм ³
АН-348-А	Стекло-видное	Желтый и коричневый цвет всех оттенков	0,35-3,0	1,3-1,8
АН-348-АМ			0,25-1,60	
ОСЦ-45		Светло-серый, желтый и коричневый всех оттенков	0,35-3,00	
ОСЦ-45М			1,25-1,60	
ФЦ-9		Светло-желтый и коричневый всех оттенков	0,25-1,60	
АН-60	Пемзо-видное	Белый, желтый всех оттенков и светло-коричневый	0,35-4,00	0,7-1,0
АН-20П		Белый и светло-серый	0,35-4,00	
АН-26П		Светло-серый	0,35-3,00	
АН-8	Стекло-видное	Желтый и коричневый всех оттенков	0,25-2,50	1,5-1,8
АН-20С		Светло-серый и светло-голубой	0,35-3,00	1,2-1,7
АН-20СМ			0,25-1,60	
АН-22		Желтый всех оттенков и светло-коричневый	0,25-2,50	1,5-1,8
АН-26С		Серый всех оттенков и светло-зеленый	0,25-2,50	1,3-1,8

Хранят и транспортируют флюсы в стальных бочках, полиэтиленовых мешках и др. герметичной таре.

Керамические флюсы представляют собой механическую смесь различных природных материалов и ферросплавов.

Используются флюсы марок АНК-35 (для сварки низкоуглеродистых сталей низкоуглеродистой проволокой Св-08 и Св-08А), АНК-46 (для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей), АНК-47 и АНК-30 (для сварки швов высокой хладостойкости), АНК-45 (для сварки высоколегированных сталей), АНК-40, АНК-18, АНК-19 (для наплавочных работ низкоуглеродистой сварочной проволокой Св-08 и Св-08А).

Преимущества керамических флюсов. Технология изготовления керамических флюсов позволяет вводить в состав легирующие и микролегирующие добавки, что обеспечивает керамическим флюсам высокую универсальность. В связи с этим керамические флюсы находят все большее применение для сварки высоколегированных сталей и сплавов, а также для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

Недостатки керамических флюсов:

- трудность получения равномерного химического состава (т.к. вследствие разных плотностей отдельных составляющих может произойти их сепарация);
- малая механическая прочность флюса и низкая влагонепроницаемость.

Производство керамических флюсов. Исходные материалы (кремнезем, марганцевую руду, плавленый шпат, ферросплавы и др.) дробят, измельчают, дозируют и полученную смесь тщательно усредняют. Затем замешивают в строго определенных соотношениях с водным раствором жидкого стекла и, пропустив через гранулятор (рис. 3.3), получают шарообразные гранулы (соединения). Сырые гранулы (соединения) поступают на сушку и прокатку.

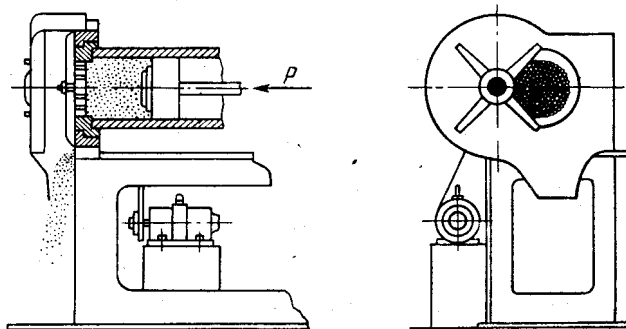


Рис. 3.3. Гранулятор для изготовления керамических флюсов.

3.3. Оборудование, применяемое при сварке под слоем флюса

Для выполнения механизированной дуговой сварки под флюсом необходим комплекс оборудования: источник питания, сварочный аппарат, механическое оборудование и приспособления, обеспечивающие необходимую точность сборки изделия и получение качественного сварного соединения. Этот комплекс технологически связанного между собой оборудования называют *сварочной установкой*.

Сварочным аппаратом называют комплекс механизмов и электрических приборов, необходимых для механизации и автоматизации приемов и операций при выполнении сварного соединения. Процесс выполнения сварного соединения можно расчленить на следующие приемы и операции: возбуждение сварочной дуги и поддержание устойчивого горения дуги на заданных режимах (токе и напряжении), подача электрода в зону сварки, направление электрода по оси шва, перемещение дуги по заданному направлению вдоль свариваемых кромок с заданной скоростью, подача флюса в зону сварки, сбор неиспользованного флюса, прекращение процесса сварки и заварка кратера.

Устройство, осуществляющее возбуждение дуги, подачу электродной проволоки, поддержание режима и прекращение процесса сварки, называют *сварочной головкой*.

Если сварочная головка с системой механизмов корректировок, бункером для флюса, кассетой для проволоки смонтированы на самоходной тележке, то это устройство называется *самоходным сварочным автоматом* (рис. 3.4).

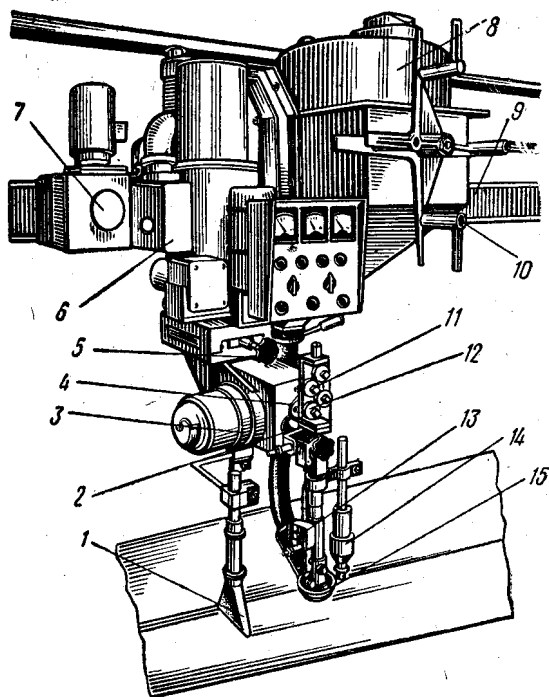


Рис. 3.4. Автомат для электродуговой сварки:

1 – флюсоотсос; 2 – механизм подачи электрода; 3 – двигатель механизма подачи; 4 – редуктор; 5 – поперечный корректор; 6 – механизм подъема; 7 – ходовой механизм; 8 – флюсоаппарат; 9 – рельсовый путь; 10 – крестовина; 11 – механизм правки проволоки; 12 – подающий ролик; 13 – мундштук; 14 – световой указатель; 15 – воронка для флюса

Самоходные сварочные автоматы перемещаются по специально установленным направляющим и предназначены для сварки одного или группы однотипных изделий.

Техническая характеристика самоходных сварочных автоматов для дуговой сварки под флюсом приведена в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Техническая характеристика автоматов для дуговой сварки под флюсом

Тип	Номинальный сварочный ток	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, 10^{-2} м/с	Скорость сварки, 10^{-2} м/с	Тип источника питания
Самоходные головки					
А-1401	1000	2-5	1,5-14,8	0,3-3,3	ТДФ-1001
А-1416	1000	2-5	1,4-13,9	0,3-3,3	ТДФ-1001
А-1425	1000	4-5	1,4-13,9	0,3-3,3	ТДФ-1601
АБСК	1000	3-6	1,2-3,9	0,6-2	ТДФ-1001
Подвесные головки					
А-1423	315	1,6-3	1,3-12,5	-	ВДУ-504
ГДФ-1001	1000	3-5	1,5-14,8	-	ВДУ-1001

Сварочный аппарат, перемещающийся в процессе выполнения сварного соединения вдоль кромок или непосредственно по поверхности изделия, или по переносному пути, называют *сварочным трактором* (рис. 3.5).

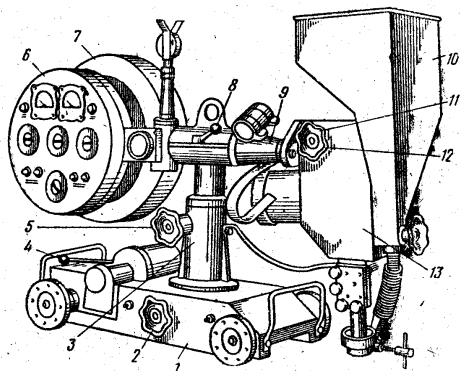


Рис. 3.5. Сварочный трактор:

1 – тележка, 2 – поперечный корректор, 3 – стойка, 4 – рукоятка муфты, 5 – маховик фиксатора, 6 – пульт управления, 7 – кассета, 8 – рукоятка, 9 – коромысло, 10 – бункер для флюса, 11 – рукоятка, 12 – вертикальный корректор, 13 – сварочная головка.

Техническая характеристика сварочных тракторов приведена в табл. 3.5

Таблица 3.5

Техническая характеристика сварочных тракторов для дуговой сварки под флюсом

Тип	Номинальный сварочный ток	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, 10^{-2} м/с	Скорость сварки, 10^{-2} м/с	Тип источника питания
АДФ-501	500	1,6-2	0,8-2,0	0,4-1,9	ВДУ-504
ТС-17М-1	1000	1,6-5	1,4-11,1	0,4-3,5	ТДФ-1001
АДС-1000-4	1000	2-5	1,7-10	0,3-3,3	ТДФ-1001
АДС-1000-5	1000	2-5	1,7-10	0,3-3,3	ВДУ-1001
АДФ-1001	1000	2-5	0,4-10	0,3-3,3	ТДФ-1001
АДФ-1004	1000	2-5	0,5-10	0,3-3,3	ВДУ-1001
АДФ-1602	1600	3-6	0,5-10	0,3-3,3	ВДУ-1601

Сварочную головку с системой механизмов корректировок, бункером для флюса и с кассетой для проволоки, за-

крепленной неподвижно над свариваемым изделием, называют *подвесным сварочным аппаратом*. При использовании подвесных сварочных аппаратов в установках перемещается само изделие с помощью механического оборудования (манипуляторов, вращателей, роликовых стенов), а дуга остается неподвижной. Подвесные сварочные аппараты устанавливают и на тележки, когда, например, необходимо выполнить длинные прямолинейные швы или переместить сварочный аппарат с одной позиции на другую и т. д. Техническая характеристика подвесных сварочных аппаратов приведена в табл. 3.4.

Устройство, в котором механизирована только подача электродной проволоки, а перемещение дуги вдоль свариваемых кромок выполняет сварщик вручную, называют *шланговым полуавтоматом* (рис. 3.6).

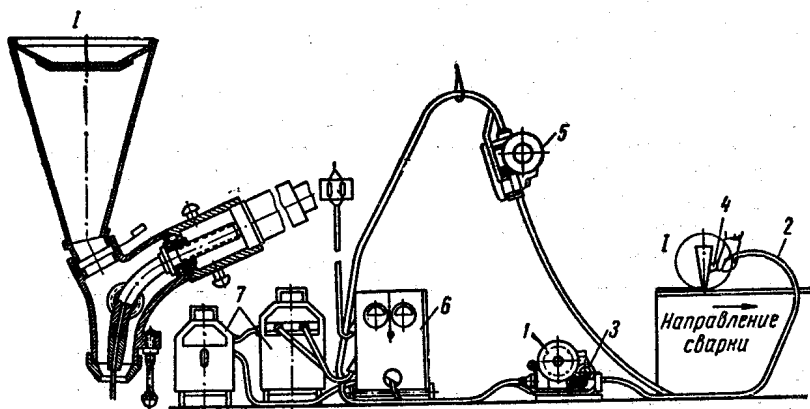


Рис. 3.6. Полуавтомат для сварки под флюсом:

1 — кассета подающего механизма, 2 — гибкий шланг для подачи электродной проволоки и электрического тока, 3 — ролики подающего механизма, 4 — держатель, 5 — подающий механизм, 6 — аппаратный ящик с электрооборудованием полуавтомата, 7 — сварочный трансформатор

При полуавтоматической сварке под флюсом (рис. 3.6) сварочная проволока малого диаметра из кассеты 1 по специальному гибкому шлангу 2 передвигается подающим меха-

низмом 3 к держателю 4, из которого она поступает в зону сварки. Сварочный ток подводится к держателю через гибкий шланг 2. Флюс в зону сварки подается либо пневматически сжатым воздухом по шлангу, либо за счет собственного веса из воронки держателя 4.

Техническая характеристика полуавтоматов для дуговой сварки под флюсом приведена в таблице 3.6

Таблица 3.6.

Техническая характеристика полуавтоматов для дуговой сварки под флюсом

Тип	Сварочный ток, А		Скорость подачи электродной проволоки, 10^{-2} м/с	Тип источника питания
	номинальный	пределы регулирования		
ПШ-5-1	630	80-630	2,2-16,7	ТД-500
А-1197Ф	500	-	3,3-20	ВДУ-504

3.4. Расчет режимов сварки под слоем флюса

К основным параметрам режима сварки под слоем флюса относятся: сварочный ток, напряжение на дуге, скорость сварки, скорость подачи сварочной проволоки.

1. Силу сварочного тока определяют по формуле:

$$I_{св} = (80 - 100)h_1,$$

где h_1 — расчетная глубина проплавления, мм.

При односторонней односторонней сварке принимают $h_1 = s$, при двусторонней сварке $h_1 = (0,6 — 0,7)s$ (сборка без зазора, без разделки кромок), где s — толщина свариваемых деталей. При сварке угловых швов расчет ведется как для сварки стыкового соединения с углом раскрытия кромок 90° .

2. Диаметр электродной проволоки, мм

$$d_э = 1,13\sqrt{I_{св} / j},$$

где j — допустимая плотность тока, А/мм².

Допустимая плотность тока для различных диаметров электрода зависит от диаметра электрода (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Зависимость допустимой плотности тока от диаметра электрода

$d_э$, мм	2	3	4	5	6
j , А/мм ²	65-200	45-90	35-60	30-50	25-45

3. Скорость сварки:

$$v_{св} = A/I_{св}, \text{ м/ч},$$

где коэффициент A выбирают в зависимости от диаметра электрода (табл. 3.7):

Таблица 3.7

Зависимость коэффициента A от диаметра электрода

$d_э$, мм	2	3	4	5	6
$A \cdot 10^{-3}$, А·м/ч	8-12	12-16	16-20	20-25	25-30

4. Напряжение на дуге:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_э}} \pm 1, \text{ В}.$$

3.5. Технология автоматической сварки под слоем флюса

Сварку под флюсом выполняют переменным и постоянным током. Металл сварного шва, выполненного под флюсом, состоит примерно из 1/3 расплавленного присадочного металла и 2/3 переплавленного основного металла. Отношение веса расплавленного флюса к весу расплавленного присадочного металла составляет 1:1.

Подготовку кромок и сборку изделия при сварке под флюсом производят более точно, чем при ручной сварке. Настроенный под определенный режим автомат точно выполняет установленный процесс сварки и не может учесть и выправить отклонения в разделке кромок и в сборке изделия.

Перед сваркой детали закрепляют на стендах или иных устройствах с помощью различных приспособлений или прихватывают ручной сваркой электродами с качественным покрытием. Прихватки длиной 50—70 мм располагают на расстоянии не более 400 мм друг от друга, а крайние прихватки — на расстоянии не менее 200 мм от края шва. Прихватки должны быть тщательно очищены от шлака и брызг металла.

При сварке продольных швов для ввода электрода в шов и вывода его из шва за пределы изделия по окончании сварки к кромкам приваривают вводные и выводные планки. Форма разделки планок должна соответствовать разделке кромок основного шва.

Автоматическую сварку стыковых швов выполняют с разделкой и без разделки кромок. При этом шов может быть одно- и двусторонним, а также одно- и многослойным (рис. 3.7).

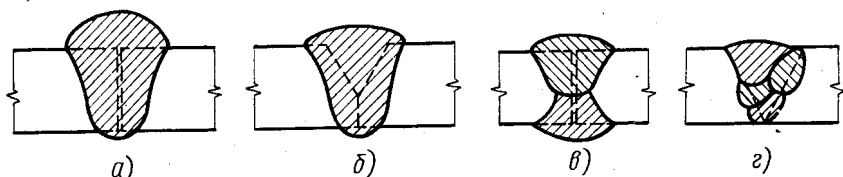


Рис. 3.7. Виды стыковых швов, выполненных под флюсом:

а — односторонний (соединение без разделки кромок), б — односторонний (соединение с разделкой кромок), в — двусторонний (соединение без разделки кромок); г — односторонний многопроходной (соединение с разделкой кромок)

Автоматическую сварку по ручной подварке применяют в тех случаях, когда автоматическая подварка невозможна, например, при сварке кольцевых швов цилиндрических изделий небольшого диаметра.

Медную удаляемую подкладку (рис. 3.8, а) применяют при сварке тонких листов, при этом требуются достаточно точная сборка и надежное прижатие кромок к медной подкладке по всей длине шва (максимальный зазор 0,25—0,5 мм).

Для получения валика в зоне корня шва в медной подкладке делают канавку, иногда ее засыпают флюсом.

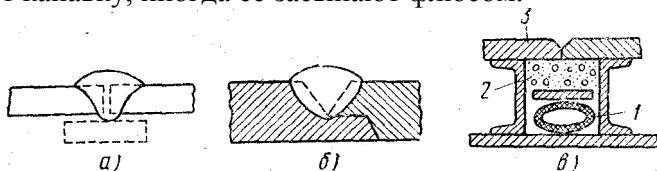


Рис. 3.8. Схема автоматической сварки под флюсом:

а — на медной или на стальной подкладке, б — при соединении «в замок», в — на флюсовой подушке, (1—резиновый шланг, 2—флюс, 3—изделие)

Стальную остающуюся подкладку (см. рис. 3.8, а) применяют при сварке тонких листов, причем допускается больший зазор между стыкуемыми элементами, чем при сварке на медной подкладке, а зазоры между подкладкой и изделием должны быть не больше 1 мм. Разновидностью сварки на остающейся стальной подкладке является сварка в замок (рис. 3.8,б), которая применяется при наложении кольцевых швов на толстостенных цилиндрах малого диаметра.

При использовании флюсовой подушки (рис. 3.8, в) требуется меньшая точность сборки, чем при сварке на медной подкладке; хорошие результаты получаются как при односторонней сварке с полным проваром всей толщины листа, так и при подварке с обратной стороны двустороннего стыкового шва. Флюсовая подушка прижимается к свариваемым кромкам под действием собственной массы изделия или с помощью резинового шланга, наполненного воздухом. Давление воздуха в зависимости от толщины свариваемых кромок изделия для тонких кромок составляет 0,05—0,06 МПа и 0,2—0,25 МПа — для толстых кромок.

Стыковая сварка двусторонняя дает более высококачественный шов, обеспечивая хороший провар шва даже при некотором смещении свариваемых кромок. При изготовлении строительно-монтажных конструкций двусторонний способ является основным. Стыковое соединение сваривают автома-

том сначала с одной стороны так, чтобы глубина проплавления составляла 60—70% толщины металла шва.

При зазоре между кромками менее 1 мм сварку «в лодочку» выполняют на весу. При больших зазорах сварку производят на флюсовой подушке (рис. 3.9, а, б) или на подкладках (рис. 3.9, д). Допускается заделка зазора асбестовым уплотнением (рис. 3.9, в) или подварка шва с обратной стороны (рис. 3.9, г). Сварка «в лодочку» обеспечивает равномерное проплавление свариваемых кромок и получение качественного шва большого сечения за один проход.

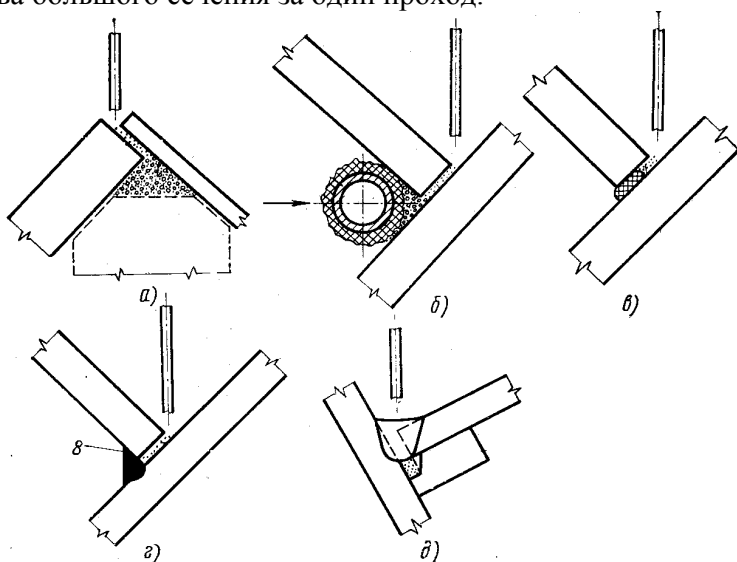


Рис. 3.9. Схема способов сварки под флюсом угловых и тавровых швов:

а — на флюсовой подушке без принудительного поджатия флюса, б — на флюсовой подушке с принудительным поджатием флюса, в — с заделкой зазора асбестом, г — с ручной подваркой, д — с полным проваром на флюсо-медной подкладке.

Сварку тавровых и нахлесточных соединений при горизонтальной или вертикальной полке производят наклонным электродом с углом наклона к горизонтальной полке 20—30°. Недостатком такого способа сварки является невозможность

получить шов с катетом более 16 мм, что иногда приводит к необходимости многослойной сварки.

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. Что называется сварочным автоматом?
5. Что называется сварочным полуавтоматом?
6. Что такое сварочный трактор?

Лекция № 4. Сварка в среде защитного газа

План:

- 4.1. Сущность сварки в среде защитного газа.
- 4.2. Сварка в защитных газах неплавящимся электродом.
- 4.3. Сварка в защитных газах плавящимся электродом.
- 4.4. Защитные газы.
- 4.5. Оборудование для сварки в среде защитных газов.

Основные термины и определения: сварка в среде защитного газа, неплавящийся электрод, плавящийся электрод, защитный газ, инертный газ, активный газ.

4.1. Сущность сварки в среде защитного газа

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.

Идея сварки в защитном газе предложена в конце XIX века Н.Н. Бенардосом. В 20-х годах XX века в США инженер Александер и физик Лэнгмюр осуществили сварку стержневым электродом в смесях газов. В 1925 г. Лэнгмюр разработал сварку дугой косвенного действия с неплавящимся вольфрамовым электродом и применением в качестве защитной среды водорода – метод атомно-водородной сварки. В конце 40-х годов XX века в НИАТ была разработана сварка в инертном газе вольфрамовым электродом. В 1949 г. в Институте электросварки была разработана сварка в углекислом газе угольным электродом.

Дуговая сварка в защитных газах имеет высокую производительность, легко поддается автоматизация и позволяет выполнять соединение металлов без применения электродных покрытий и флюсов. Этот способ сварки нашел широкое применение при изготовлении конструкций из сталей, цветных металлов и их сплавов.

4.2. Сварка в защитных газах неплавящимся электродом

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.

Условием стабильного горения дуги при дуговой сварке в защитной среде инертных газов на переменном токе является регулярное восстановление разряда при смене полярности. Потенциал возбуждения и ионизации инертных газов аргона и гелия выше, чем у кислорода, азота и паров металла, поэтому для возбуждения дуги переменного тока требуется источник питания с повышенным напряжением холостого хода. Сварочная дуга в среде инертных газов (аргоне или гелии) отличается высокой стабильностью и для ее поддержания требуется небольшое напряжение. Высокая подвижность электронов

обеспечивает достаточное возбуждение и ионизацию нейтральных атомов при столкновении с ними электронов.

В том случае, когда катодом является вольфрам, дуговой разряд происходит главным образом за счет термоэлектронной эмиссии благодаря высокой температуре плавления и относительно низкой теплопроводности вольфрама, что обуславливает неодинаковые условия горения дуги при прямой и обратной полярности. При обратной полярности (изделие является катодом — минус) напряжение при возбуждении дуги должно быть больше, чем при прямой полярности. Поэтому из-за значительной разницы в свойствах вольфрамового электрода и свариваемого металла кривая напряжения дуги имеет не симметричную форму, а в ней появляется постоянная составляющая, которая вызывает появление в сварочной цепи постоянной составляющей тока. Постоянная составляющая тока, в свою очередь, создает постоянное магнитное поле в сердечнике трансформатора и дросселя, что приводит к уменьшению мощности сварочной дуги и ее устойчивости. Появление в цепи постоянной составляющей тока не обеспечивает нормального ведения процесса сварки и особенно при сварке алюминиевых сплавов, так как сварочная ванна даже при небольшом содержании кислорода и азота покрывается тугоплавкой пленкой окислов и нитридов, которые препятствуют сплавлению кромок и формированию шва.

Очищающее действие сварочной дуги при сварке переменным током проявляется в те полупериоды, когда катодом является изделие благодаря катодному распылению, так как в этом случае происходит разрушение окисной и нитридной пленок.

При обратной полярности применяют низкие плотности тока, а практически такая дуга не применяется. При прямой полярности тепла выделяется меньше на электроде, так как его значительная часть расходуется на плавление свариваемого металла.

4.3. Сварка в защитных газах плавящимся электродом

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.

При дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитных газов геометрическая форма сварного шва и его размеры зависят от мощности сварочной дуги, характера переноса металла через дуговой промежуток, а также от взаимодействия газового потока и частиц металла, пересекающих дуговой промежуток, с ванной расплавленного металла.

В процессе сварки на поверхность сварочной ванны оказывает давление столб дуги за счет потока газов, паров и капель металла, вследствие чего столб дуги погружается в основной металл, увеличивая глубину проплавления. Поток газов и паров металла, направляемый от электрода в сварочную ванну, создается благодаря сжимающемуся действию электромагнитных сил. Сила воздействия сварочной дуги на ванну расплавленного металла характеризуется ее давлением, которая будет тем больше, чем концентрированнее поток газа и металла. Концентрация потока металла увеличивается с уменьшением размера капель, который определяется составом металла, защитного газа, а также направлением и величиной сварочного тока.

Сварочная дуга, образованная в результате плавления электрода в среде инертных газов, имеет форму конуса, столб

которой состоит из внутренней и внешней зоны. Внутренняя зона имеет яркий свет и большую температуру.

Во внутренней зоне происходит перенос металла и ее атмосфера заполнена светящимися парами металла. Внешняя зона имеет менее яркий свет и представляет собой ионизированный газ.

4.4. Защитные газы

Защитные газы делятся на две группы: химически инертные и активные.

Инертные защитные газы. Химически инертные газы не взаимодействуют с нагретым и жидким металлом и практически не растворяются в сварочной ванне. Поэтому одним из широко распространенных способов сварки является сварка в атмосфере инертных газов. Защиту сварочной ванны можно осуществить либо струей защитного газа, либо сваркой в специальных камерах.

К химически инертным газам, используемым при сварке, относятся аргон и гелий. Аргон в основном получают из воздуха методом ректификации в разделительных колонках, т.к. объемное содержание аргона в воздухе 0,9325%. Гелий добывается из природных газов посредством их сжижения после предварительной очистки от примесей.

Аргон - газообразный чистый поставляется по ГОСТ 10157-79 двух сортов:

- высший сорт - содержание аргона не менее 99,993%;
- первый сорт – содержание аргона не менее 99,987%.

В чистом аргоне в качестве примесей остаются небольшие количества азота, кислорода и влаги.

Аргон высшего сорта предназначен для сварки химически активных металлов и сплавов на их основе (Ti, Zr, ниобий и т.п.). Аргон первого сорта применяется при сварке неплавящимся электродом алюминия и магния, а также нержавеющей сталей.

Гелий газообразный чистый поставляется по техническим условиям ТУ 51-689-79 двух сортов:

- гелий особой частоты - содержание гелия не менее 99,995 %;

- гелий высокой частоты - гелий не менее 99,985%.

В составе гелия в качестве примесей находится в небольшом количестве CO_2 , CO , CH_4 и другие углеводороды.

При применении гелия в качестве защитного газа проплавляющая способность дуги резко увеличивается. Поэтому целесообразно применять гелий там, где необходима меньшая ширина и большая глубина проплавляемого шва.

Аргон и гелий хранятся и транспортируются в газообразном виде в стальных баллонах (водяной емкостью 40 л) под давлением 15 МПа. Баллоны для аргона окрашены в серый цвет, надпись зеленого цвета ("Аргон чистый"). Баллоны для гелия - цвет коричневый, надпись белого цвета ("Гелий"). Часть верхней сферы баллона не окрашивается и на ней выбивают паспортные данные баллона.

Активные защитные газы защищают зону сварки от воздуха, но сами либо растворяются в жидком металле, либо вступают с ним в химическое взаимодействие. Наиболее распространенным защитным газом является углекислый газ - " CO_2 ".

При применении углекислого газа, сварочная проволока должна содержать дополнительное количество легирующих элементов. Наиболее широко применяется сварочная проволока Св-08Г2С, которая в своем составе содержит кремний и марганец.

Иногда в углекислый газ добавляется небольшое количество кислорода (2 - 5%). В этом случае уменьшается разбрызгивание и улучшается формирование металла шва.

Плотность углекислого газа в 1,5 раза больше плотности воздуха, что позволяет обеспечивать защиту расплавленного металла от воздуха.

Углекислый газ имеет следующие особенности:

- при повышении давления превращается в жидкость;
- при охлаждении без давления переходит в твердое состояние — сухой лед;
- сухой лед при повышении температуры переходит непосредственно в газ, минуя жидкое состояние.

Углекислый газ поставляется по ГОСТ 8050-85 трех сортов:

- высшего сорта – содержание CO_2 99,8%
- 1-го сорта - содержание CO_2 99,5%
- 2-го сорта - содержание CO_2 98,8%

Углекислоту транспортируют и хранят в стальных баллонах или цистернах большой емкостью в жидком состоянии с последующей газификацией на заводе, с централизованным снабжением сварочных постов.

4.5. Оборудование для сварки в среде защитных газов

Сварка в среде защитных газов плавящимся электродом осуществляется полуавтоматическим или автоматическим способом.

Шланговые полуавтоматы, предназначенные для сварки в защитных газах (рис. 4.1), содержат следующие основные элементы: горелку 1 с держателем, шланг для подвода к горелке электродной проволоки, механизм подачи проволоки 2 с кассеты 3 и блок управления полуавтоматом.

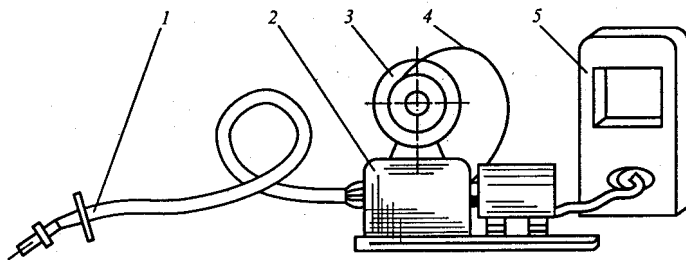


Рис. 4.1. Схема шлангового полуавтомата:

1 – горелка; 2 – механизм подачи проволоки; 3 – катушка; 4 – электродная проволока; 5 – блок управления полуавтоматом

Эти элементы, отличающиеся конструктивными особенностями, входят во все разновидности полуавтоматов.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается сущность дуговой сварки в защитных газах?
2. Как классифицируются способы сварки в защитных газах?
3. Как осуществляют местную защиту зоны дуговой сварки газами?
4. Что входит в комплект оборудования и аппаратуры для дуговой сварки в защитных газах?

Лекция № 5. Электрошлаковая сварка

План:

- 5.1. Сущность электрошлаковой сварки.
- 5.2. Классификация способов электрошлаковой сварки.
- 5.3. Оборудование для электрошлаковой сварки.
- 5.4. Режимы электрошлаковой сварки.

Основные термины и определения: электрошлаковая сварка, свариваемые детали, мундштук для подачи электрода, электрод, глубина сварочной ванны.

5.1. Сущность электрошлаковой сварки

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

Способ электрошлаковой сварки был разработан в 50-е годы 20 века в Институте электросварки АН Украины. Впервые электрошлаковую сварку электродными проволоками

осуществил в 1949г. Г.З. Волошкевич. Электрошлаковую сварку пластинчатыми электродами в промышленных условиях впервые удалось осуществить Ю.А. Стеренбогену на Новокраматорском машиностроительном заводе в 1955г.

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. Для принудительного охлаждения и формирования поверхности шва используются, как правило, медные водоохлаждаемые устройства. 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. Диапазон толщин свариваемых металлов 20 – 3000 мм.

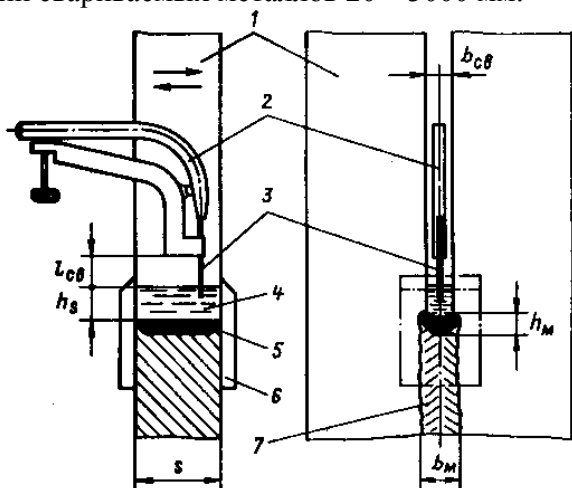


Рис. 5.1. Схема электрошлаковой сварки:

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

5.2. Классификация способов электрошлаковой сварки

Электрошлаковую сварку можно выполнить тремя способами, имеющими каждый свои особенности и область применения.

1) Сварка проволочными электродами диаметром 3...5 мм, подаваемыми в сварочный зазор специальными мундштуками с медными токосъемными наконечниками (рис. 5.2, а). При этом одновременно подается в шлаковую ванну до трех электродных проволок, что позволяет применять трехфазные источники питания.

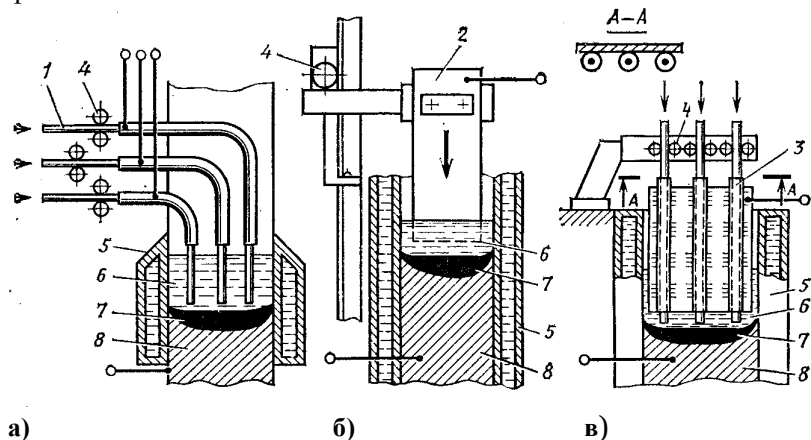


Рис. 5.2. Способы электрошлаковой сварки:

а - проволочными электродами; б - пластинчатыми электродами; в - плавящимся мундштуком;

1 - электродная проволока; 2 - пластинчатый электрод; 3 - плавящийся мундштук; 4 - механизм подачи; 5 - формирующее устройство; 6 - шлаковая ванна; 7 - ванна расплавленного металла; 8 - свариваемый металл.

Так как выделение теплоты в шлаковой ванне происходит в основном в области электрода, максимальная толщина свариваемого металла при использовании одной электродной проволоки обычно составляет 60 мм, трех - до 200 мм. Если

мундштукам в зазоре придают возвратно-поступательное движение со скоростью V_k , тогда толщина свариваемых кромок может быть в 2,5 раза больше.

2) Сварка электродами большого сечения, подаваемыми в сварочный зазор (рис. 5.2, б). Электродами могут быть ленты толщиной 1...1,2 мм или пластины толщиной 10...12 мм и длиной, равной утроенной длине шва. Одновременно применяться для сварки могут не более трех электродов при использовании трехфазных источников тока. Одним пластинчатым электродом сваривают металл толщиной до 200 мм, а тремя - до 800 мм, при $V_3 = 1,2...3,5$ м/ч.

Оба эти способа применяются при сварке деталей относительно небольшой толщины. Наличие подвижных мундштуков или пластин в сварочном зазоре может приводить к коротким замыканиям их на кромки детали, что нарушает стабильность процесса сварки. Быстрый износ токосъемных трубок мундштуков усложняет и удорожает обслуживание сварочной установки, а также отрицательно влияет на стабильность процесса. Небольшая длина пластинчатых электродов ограничивает длину сварных швов.

3) Сварка плавящимся мундштуком при его неподвижном положении в сварочном зазоре (рис. 5.2, в). Нехватку присадочного материала, необходимого для формирования шва, компенсируют за счет подачи электродных проволок диаметром 3 мм через каналы, выполняемые из тонкостенных трубок или в виде плотно навитых спиралей из сварочной проволоки. Одновременно подаваться через один мундштук могут до шести электродных проволок. Таким мундштуком сваривают металл толщиной до 500 мм, двумя мундштуками - до 1000 мм, тремя - до 1500 мм и т.д. Этот способ расширяет возможности ЭШС, устраняя недостатки двух предыдущих. При использовании ЭШС плавящимися мундштуками можно соединять детали любой толщины и сложной формы сечения.

5.3. Оборудование для электрошлаковой сварки

Для формирования наружной поверхности шва применяют медные водоохлаждаемые ползуны или неподвижные накладки.

Ползуны применяют при ЭШС проволочными электродами и устанавливают их на подвесках сварочных аппаратов, а переставные накладки - при сварке пластинчатыми электродами и плавящимся мундштуком. Медные накладки крепят и поджимают к свариваемым кромкам с помощью электромагнитов или с помощью клиньев и Г-образных планок из листа толщиной 10...15 мм, привариваемых к изделию по всей длине стыка через 250...400 мм.

Наиболее ответственным элементом аппаратуры для сварки проволокой является мундштук (или мундштуки), с помощью которого (которых) осуществляют направление электродной проволоки в шлаковую ванну и подводят к проволоке сварочный ток.

По типу применяемого электрода различают аппараты для ЭШС электродными проволоками, пластинчатыми и ленточными электродами, а также плавящимся мундштуком. По числу электродов и способу их подключения к источнику питания аппараты могут быть одно- или многоэлектродными, однофазными или трехфазными. По наличию устройств для перемещения вдоль свариваемых кромок аппараты делятся на самоходные (рельсовые и безрельсовые) и подвесные (рис. 5.3).

В зависимости от способа принудительного формирования шва бывают аппараты со скользящими ползунами или с переставляемыми накладками.

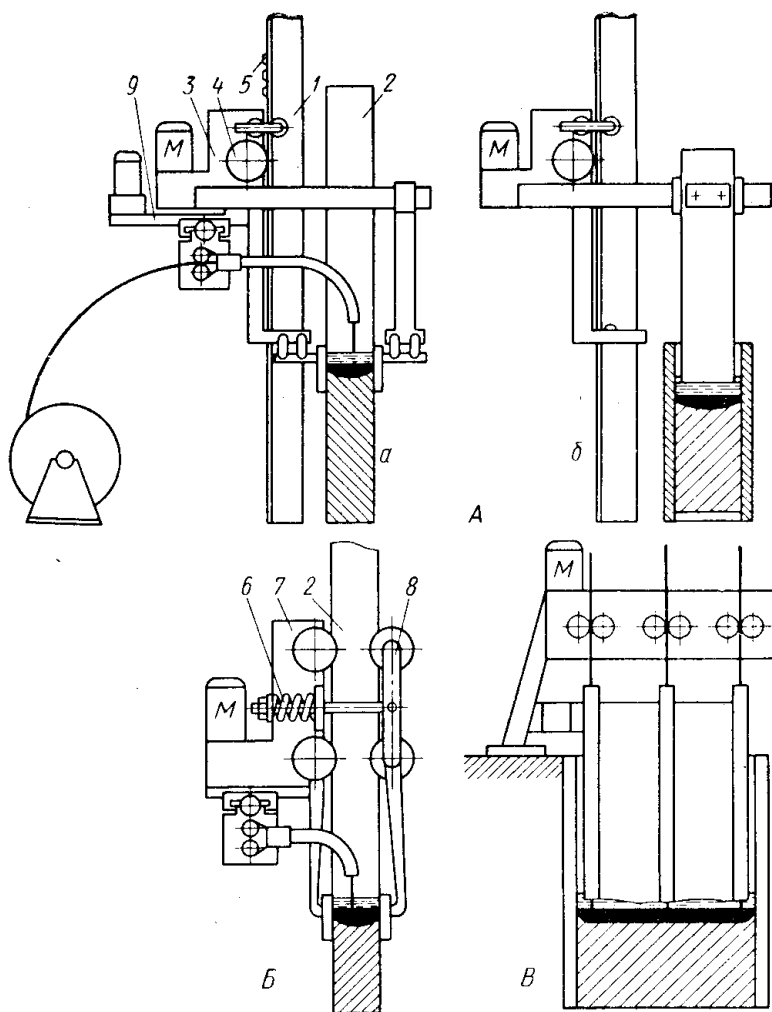


Рис. 5.3. Аппараты для электрошлаковой сварки:

А – рельсовые аппараты для сварки проволочными (а) или пластинчатым (б) электродами; Б – безрельсовый; В – подвесной аппарат для сварки плавящимся мундштуком

1 – рельсовый путь; 2 – свариваемые детали; 3, 7 и 8 – тележка аппарата; 4 – приводная шестерня; 5 – рейка рельса; 6 – пружина

5.4. Режимы электрошлаковой сварки

Интенсивность металлургических процессов зависит от режима ЭШС. 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 обеспечивают получение качественного сварного соединения.

Величину сварочного тока $I_{св}$, А можно ориентировочно определить по формуле:

$$I_{св} = (0,022 \cdot v_e + 90) \cdot n + 1,2(v_{св} + 0,48 v_n) \delta_n \cdot b_n,$$

где v_n – скорость подачи пластины, см/с; b_n и δ_n – 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:

$$v_e = v_{св} \cdot F_n / \Sigma F_e,$$

$$\text{где } F_n = b_n \cdot s, \text{ см}^2; \Sigma F_e = 0,071 n, \text{ см}^2.$$

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 отличие дугового и электрошлакового процесса?
2. Какие существуют способы электрошлаковой сварки и в чем их различие?
3. Что такое режим электрошлаковой сварки?

4. Какие параметры входят в режим электрошлаковой сварки?

Лекция №6. Электронно-лучевая сварка

План:

- 6.1. Сущность электронно-лучевой сварки.
- 6.2. Оборудование, применяемое при электронно-лучевой сварке.

Основные термины и определения: электронно-лучевая сварка, электронный луч, катод, анод, кинжальное проплавление.

6.1. Сущность электронно-лучевой сварки

Электронно-лучевая сварка – сварка плавлением, при которой нагрев металла производится потоком - лучом быстро движущихся электронов, ускоряемых электрическим полем. Попадая на поверхность изделия, электроны отдают свою кинетическую энергию, превращающуюся в тепловую и нагревают металл до температуры 5000-6000°С. Процесс обычно ведется в герметически закрытой камере, в которой поддерживается вакуум. Толщина заготовок, свариваемых электронным лучом, может достигать от 0,01 до 100 мм и более.

В 1879 г. Крукс показал возможность нагрева и плавления платины катодными лучами. В 1897 г. Томпсон установил, что катодные лучи являются электрически заряженными частицами. Милликен в 1905-1917 гг. окончательно доказал особую природу электронов и установил их заряд. Разработка техники и технологии электронно-лучевой сварки связывается с именем Д.А. Стора, который работал во французской комиссии по атомной энергии и опубликовал результаты работы в 1957 г.

Процесс электронно-лучевой сварки 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.

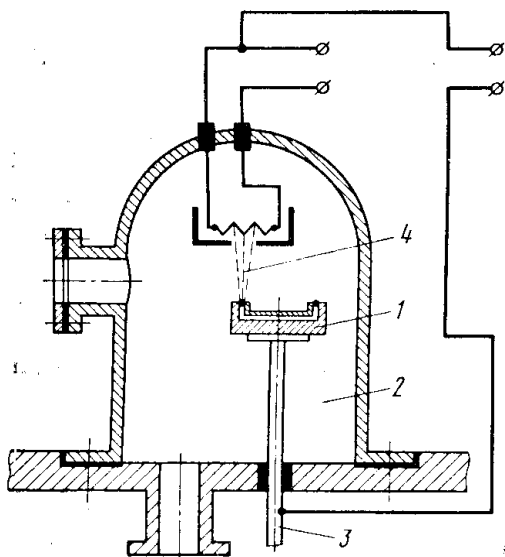


Рис. 6.1. Схема электронно-лучевой сварки:

1 – свариваемые детали; 2 – камера; 3 – перемещающий механизм; 4 – электронный луч.

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.

Сварку тонколистового металла ($s \leq 1 - 3$ мм) обычно выполняют расфокусированным пучком электронов при небольших значениях удельной мощности в пятне нагрева (рис. 6.2, а). При сварке толстолистового металла используют острофокусированные пучки электронов (рис. 6.2, б)

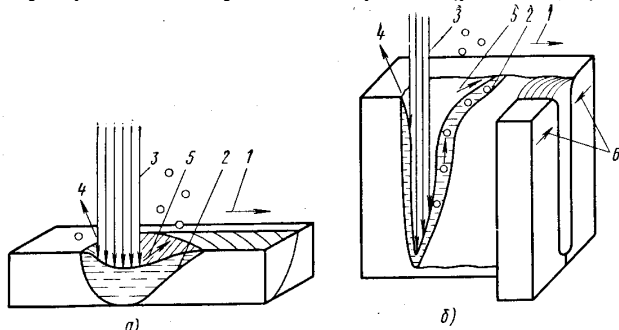


Рис. 6.2. Схема электронно-лучевой сварки металлов малой (а) и большой (б) толщины:

1 – направление перемещения изделия; 2 – фронт кристаллизации; 3 – пучок электронов; 4 – направление испарения металла; 5 – направление выноса металла в верхней части сварочной ванны; 6 – поперечная усадка металла сварного шва

Преимущество электронно-лучевой сварки:

1) Для сварки электронным лучом характерна высокая концентрация энергии, поэтому количество теплоты, расходуемое на расплавление металла, в десятки раз меньше, чем при других способах.

2) Зона расплавления при электронно-лучевой сварке имеет форму вытянутого клина, а отношение глубины проплавления к ширине может достигать 26:1. Этот эффект называется кинжальным проплавлением.

3) Отсутствие загрязнений, попадающих в шов из окружающей среды.

4) Возможность сварки разнородных металлов со значительной разницей толщин.

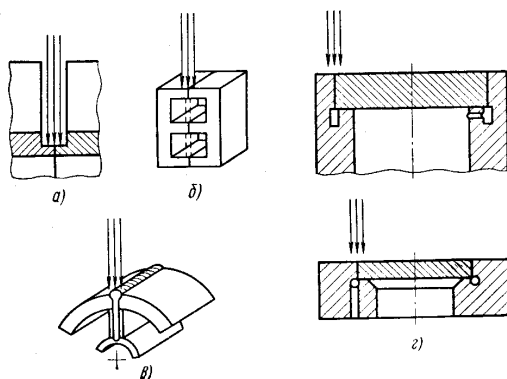


Рис. 6.3. Некоторые типы соединений при электронно-лучевой сварке:

а – сварка в труднодоступных местах; б – однопроводная сварка проникающим лучом; в – сварка через ребро жесткости; г – сварка заглушек

6.2. Оборудование, применяемое при электронно-лучевой сварке

Комплекс устройств, служащих для формирования и фокусировки электронного луча, называют сварочной электронной пушкой. Техническая характеристика некоторых сварочных пушек приведена в табл. 6.1.

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.

Таблица 6.1

**Техническая характеристика электронных сварочных
пушек**

Параметр	ПЛ-100	ПЛ-101	ПЛ-101-01	У-858
Напряжение, кВ:				
максимальное ускоряющее	60	12	12	120
электродной бомбардировки	1	0,8-1	-	1
Сила тока пучка, А	1	0,25	0,002	1
Потребляемая мощность, кВА	60	3	0,18	120

Магнитное поле 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.

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. 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.

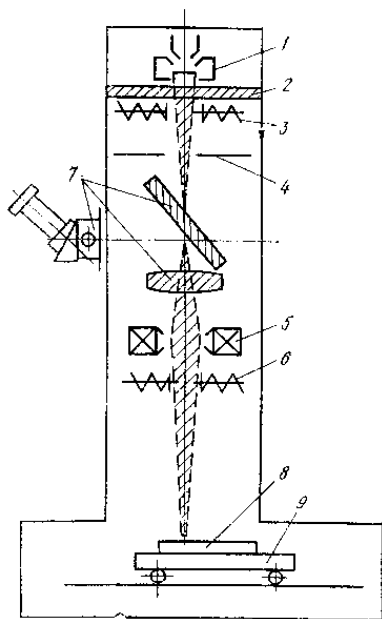


Рис. 6.4. *Схема установки электронно-лучевой сварки:*

1 — вольфрамовый катод; 2 — дисковый анод; 3 — катушки, фокусирующие электронный луч вдоль оси; 4 — диафрагма, отсекающая энергетически малоэффективные краевые зоны луча; 5 — магнитная линза, фокусирующая луч в круглое пятно на поверхности детали; 6 — отклоняющие катушки, перемещающие луч по поверхности детали; 7 — система наблюдения за процессом сварки; 8 — свариваемые детали; 9 — стол для фиксации и перемещения деталей.

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 $10 \div 30$ 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 необходимость проведения электронно-лучевой сварки в вакуумной камере?
2. Почему напряжение, ускоряющее электроны, ограничивается 30 кВ?
3. В чем заключается сущность электронно-лучевой сварки?
4. Объясните схему электронно-лучевой сварки.

Лекция № 7. Лазерная сварка

План:

- 7.1. Сущность лазерной сварки.
- 7.2. Классификация технологических лазеров.
- 7.3. Оборудование для лазерной сварки.

Основные термины и определения: лазерная сварка, технологический лазер, длина волны имитированного излучения, твердотельный лазер, газовый лазер.

7.1. Сущность лазерной сварки

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

В начале 60-х годов 20 века на основе работ физиков Н.Г. Басова и А.М. Прохорова и американского физика Ч. Таунса были созданы оптические квантовые генераторы или лазеры. Первые сообщения о лазерной сварке металлов относятся к 1962 г. В 1964 – 1966 гг. вскоре после создания руби-

нового твердотельного лазера были разработаны лазерные установки.

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

Твердотельный технологический лазер - 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 монохроматического излучения.

Лазерное излучение обеспечивает высокую концентрацию энергии (10^7 - 10^8 Вт/см²), 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, обеспечивающий 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.

7.2. Классификация технологических лазеров

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 $\lambda=0,69$ мкм, с частотой импульсов $F_{и}=10$ Гц и электрооптическим КПД около 3%;

- с активным элементом в виде стержня из стекла с примесью неодима, генерирующие импульсно – периодическое излучение на длине волны $\lambda=1,06$ 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 $\lambda=1,06$ 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 $\lambda=10,6$ 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.

7.3. 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» 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 внут-

ренного отражения и интерференционные зеркала с многослойным диэлектрическим покрытием, для газовых лазеров применяют медные зеркала с водяным охлаждением.

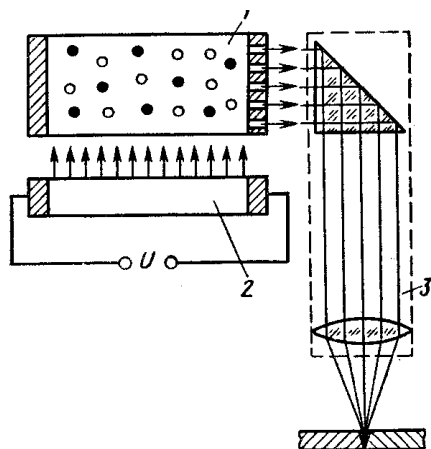


Рис. 7.1. Схема установки для лазерной сварки с твердотельным лазером:

1 – рабочее тело; 2 – лампа накачки; 3 – оптическая система

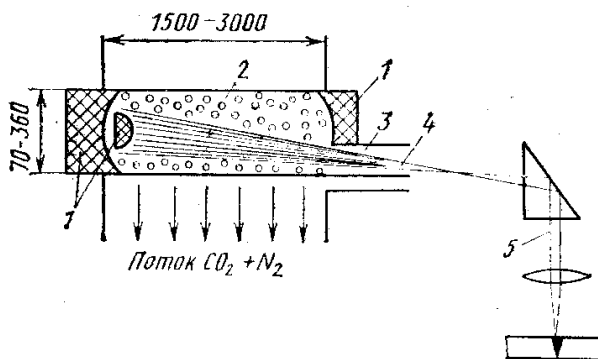


Рис. 7.2. Схема установки для лазерной сварки с газовым лазером:

1 – сферические зеркала; 2 – полость резонатора; 3 – выходное отверстие; 4 – луч лазера; 5 – преломленный луч лазера

Фокусирующее устройство – тубус, установленный с возможностью перемещения относительно поверхности обра-

батываемого 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 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. Назовите основные преимущества и недостатки лазерной сварки.
2. По каким признакам можно классифицировать технологические лазеры?
3. Что входит в комплект оборудования для лазерной сварки?

Лекция № 8. Контактная сварка

План:

- 8.1. Контактная сварка.
- 8.2. Точечная контактная сварка.
- 8.3. Шовная контактная сварка.
- 8.4. Рельефная контактная сварка.
- 8.3. Стыковая контактная сварка.

Основные термины и определения: контактная сварка, точечная контактная сварка, шовная контактная сварка, рельефная контактная сварка, стыковая контактная сварка, сварочная точка, уплотняющий поясок.

8.1. 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.

Контактная сварка производится с местным нагревом соединяемых деталей до температуры, лежащей ниже или выше точки плавления свариваемого материала.

При контактной сварке соединение осуществляется за счет действия сил межатомного сцепления. Для проявления этих сил между двумя металлическими деталями или для сварки необходимо сблизить их на расстояние, сравнимое с параметром кристаллической решетки. Например, холодная сварка высокопластичных металлов: алюминия, меди и её сплавов. Менее пластичные материалы, например, сталь, в холодную практически не сваривается, так как значительные упругие напряжения, возникающие при сжатии деталей, разрушают при снятии внешнего усилия образовавшиеся в отдельных точках элементарные соединения.

Контактная сварка отличается от холодной сварки главным образом тем, что при нагреве увеличивается подвижность атомов, уменьшается необходимая для сварки степень пластической деформации. Деформация горячего металла осуществляется при меньших удельных давлениях и устраняет затрудняющие сварку упругие силы.

Контактная сварка даже с расплавлением без приложения давления невозможна. Роль давления состоит в:

1) сближении свариваемых деталей до плотного соприкосновения, позволяющего регулировать состояние образующегося между ними контакта, влияющего на интенсивность тепловыделения в зоне сварки;

2) уплотнении металла, кристаллизующегося в замкнутом объёме без образования литейных пороков (рыхлости, усадочных раковин и т.д.);

3) удалении из зоны сварки загрязнённого и окисленного металла.

Известные способы контактной сварки классифицируют по ряду признаков:

1) по технологическому:

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

2) по конструкции соединения:

- нахлесточное;
- стыковое;

3) по предельному состоянию металла в зоне сварки:

- с расплавлением;
- без расплавления;

3) по способу подвода тока:

- контактный;
- индукционный;

4) по роду сварочного тока:

- переменным;

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

5) по числу одновременно выполняемых соединений:

- однотоочечная и многотоочечная;
- одним швом или многошовная;
- одновременная сварка одного или нескольких стыков;

6) по характеру перемещения роликов при шовной сварке:

- непрерывная (с постоянным вращением роликов);
- шаговая (с остановкой роликов на время сварки).

Преимущества контактной сварки:

- высокая производительность процесса;
- возможность легкой механизации и автоматизации процесса сварки;

- благоприятный термдеформационный цикл, обеспечивающий высокое качество соединений большинства конструкционных материалов;

- хорошие гигиенические условия технологического процесса.

8.2. 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 $F_{св}$ 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 пояс, надежно предохраняющий жидкий металл от выплес-

ка 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, соединение при точечной сварке происходит с расплавлением металла.

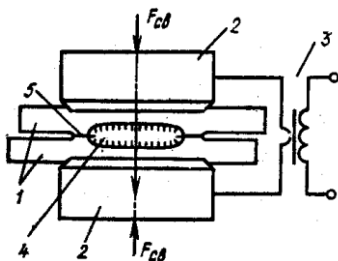


Рис. 8.1. *Схема точечной контактной сварки:*

1 – свариваемые детали; 2 – электроды; 3 – трансформатор; 4 – ядро; 5 – уплотняющий пояс.

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

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.).

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.

8.3. 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.

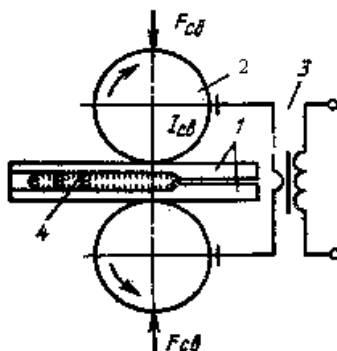


Рис. 8.2. Схема шовной контактной сварки:

1 – свариваемые детали; 2 – ролики; 3 – трансформатор; 4 – ядро.

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_n) чередуются с паузами (t_p) 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 встык, которая обеспечивает большую циклическую прочность соединений. При этом часто используют накладки из фольги для получения полного проплавления свариваемых деталей.

8.4. 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.

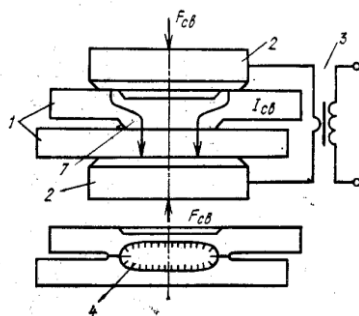


Рис 8.3. Схема рельефной сварки:

1 – свариваемые детали; 2 – токоведущие электроды; 3 – трансформатор; 4 – ядро; 5 – рельеф.

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.

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 улучшить 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 сварной шов без дополнительной разметки и с заданным расположением точек.

8.5. Стыковая сварка

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

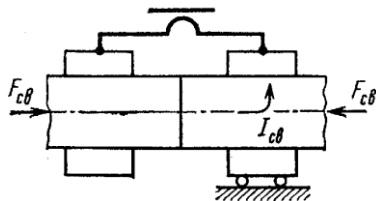


Рис. 8.4. *Схема стыковой сварки.*

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 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 две основные разновидности:

1) стыковая сварка сопротивлением

При стыковой сварке сопротивлением детали предварительно сжимают усилием F_n 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.

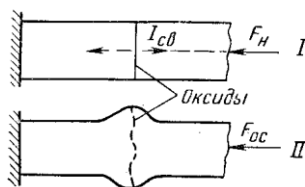


Рис. 8.5. Схема образования соединения при стыковой сварке сопротивлением (F_H – начальное усилие; $F_{ос}$ – усилие осадки).

2) стыковая сварка оплавлением.

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. оплавления 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.

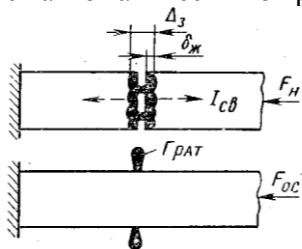


Рис. 8.6. Схема образования соединения при стыковой сварке оплавлением (F_H – начальное усилие; $F_{ос}$ – усилие осадки; $\Delta_з$ – зазор между деталями; $\delta_{ж}$ – слой расплавленного металла).

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?
5. Для чего формируются выступы на поверхности соединяемых деталей при рельефной сварке?
6. Какие факторы влияют на эффективность рельефной сварки?
7. Назовите основные преимущества рельефной сварки.
8. В чем состоит сущность стыковой контактной сварки?

Лекция № 9. Холодная сварка

План:

- 9.1. Сущность холодной сварки металлов.
- 9.2. Виды холодной сварки.

Основные термины и определения: холодная сварка, пластическая деформация, свариваемые детали, пуансон.

9.1. 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 ме-

таллами. 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.

Преимущества холодной сварки:

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

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.

9.2. 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.

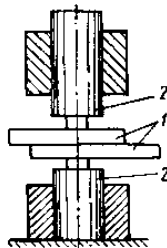


Рис. 9.1. Схема сварки без предварительного зажатия свариваемых деталей.

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.

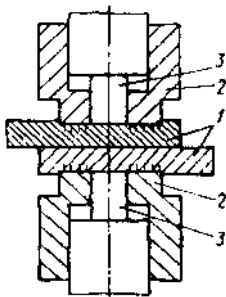


Рис. 9.2. Схема сварки с предварительным зажатием свариваемых деталей.

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 29,4-49 МПа. Площадь прижима должна превышать площадь торца рабочего выступа пуансона в 15-20 раз.

3) Точечная сварка с односторонним деформированием.

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

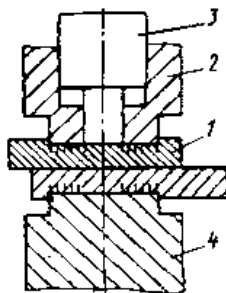


Рис. 9.3. *Схема точечной сварки с односторонним деформированием свариваемых деталей.*

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 - изготавливают применительно к свариваемым деталям. Пуансоны применяют различной формы: круглые (плоские и сферические), клиновидные, квадратные, прямоугольные, эллиптические, в зависимости от конфигурации изделия.

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 применяются при холодной сварке?

Лекция № 10. Диффузионная сварка

План:

- 10.1. Сущность диффузионной сварки.
- 10.2. Виды диффузионной сварки.

Основные термины и определения: диффузионная сварка, пластическая деформация, свариваемые детали, пуансон, нагреватель, система нагружения.

10.1. 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 осо-

бенностью 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.

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.

10.2. Виды 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.

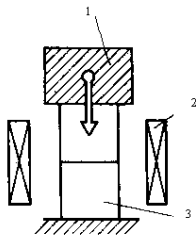


Рис. 10.1. Схема диффузионной сварки свободным деформированием:

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

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

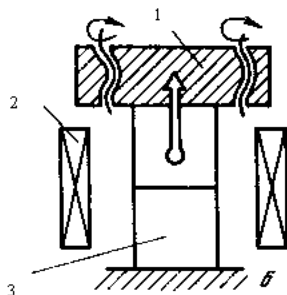


Рис. 10.2. Схема диффузионной сварки принудительным деформированием:

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

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?

Лекция № 11. Ультразвуковая сварка

План:

- 11.1. Сущность ультразвуковой сварки.
- 11.2. Оборудование, применяемое при ультразвуковой сварке.

Основные термины и определения: ультразвуковая сварка, преобразователь, колебательное звено, электрострикционный материал, акустическая развязка.

11.1. 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 происходят 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.

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 интерметаллидов 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 фольги к деталям практически неограниченной толщины, сварки пакетов из фольги;

- 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.

11.2. 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. 11.1.

Основным звеном колебательных систем является преобразователь 1, который изготавливается из магнитострикционных или электрострикционных материалов (никель, перминдюр, титанат бария, ниобат свинца и др.). Преобразователь является источником механических колебаний. Волно-

водное 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.

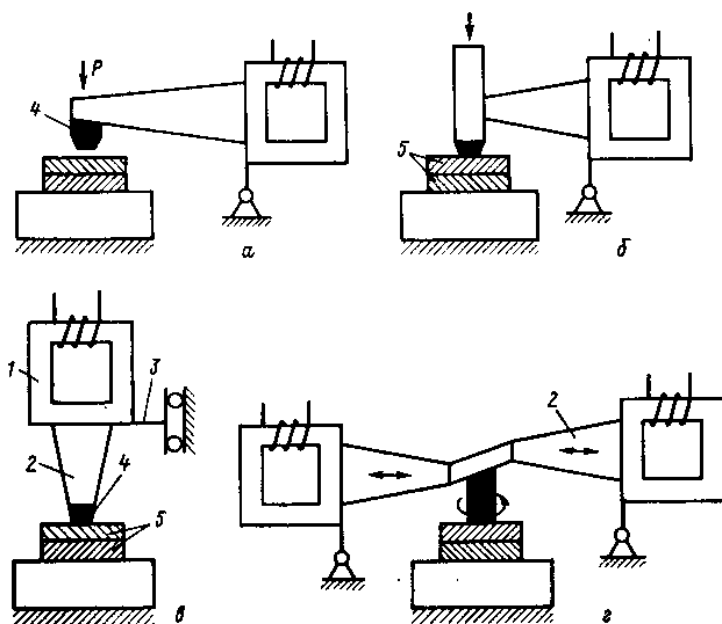


Рис. 11.1. Схема типовых колебательных систем для ультразвуковой сварки металлов:

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.

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?

Лекция № 12. Сварка трением

План:

- 12.1. Сущность сварки трением.
- 12.2. Виды сварки трением.

Основные термины и определения: сварка трением, пластическая деформация, свариваемые детали, трение, инерционная сварка трением.

12.1. 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.

Преимущества сварки трением:

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

Недостатки сварки трением:

- масса и длина подвижной заготовки ограничены возможностями конкретной машины;
- существующие машины сварки трением не позволяют соединять заготовки с площадью поперечного сечения большей 150 мм².

12.2. Виды сварки трением

1) Сварка трением с непрерывным приводом впервые осуществлена в 1956 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.

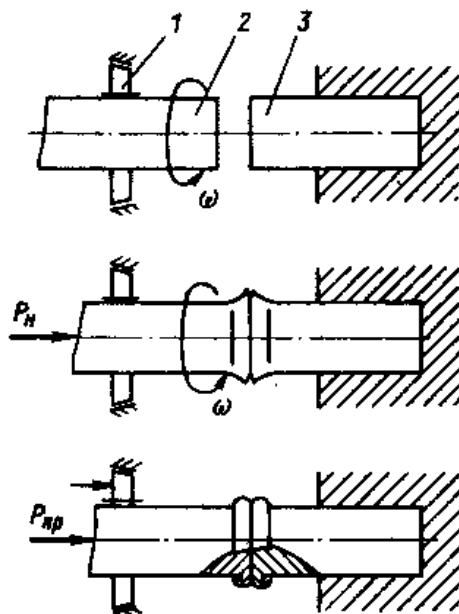


Рис. 12.1. Схема сварки трением с непрерывным приводом:
1- тормоз; 2,3 – свариваемые заготовки.

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.

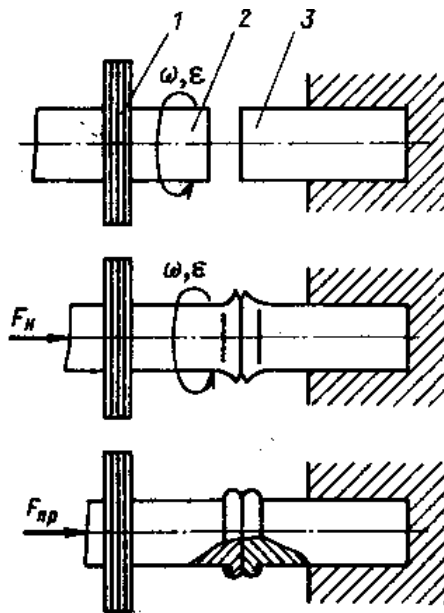


Рис 12.2. Схема инерционной сварки трением:
1- маховик; 2,3 – свариваемые заготовки.

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 $n = 5-6 \text{ с}^{-1}$, осуществляют его мгновенное торможение.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит сущность сварки трением?
2. Назовите основные преимущества и недостатки сварки трением.
3. Приведите классификацию процессов сварки трением.

Лекция № 13. Термокомпрессионная сварка. Сварка прокаткой

План:

- 13.1. Сущность термокомпрессионной сварки.
- 13.2. Виды термокомпрессионной сварки.
- 13.3. Сущность сварки прокаткой.

Основные термины и определения: термокомпрессионная сварка, термокомпрессия, рабочий инструмент, сварка прокаткой.

13.1. 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.

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.

13.2. Виды термокомпрессионной сварки

Разновидности термокомпрессионной сварки могут быть классифицированы по трем основным признакам:

1) по способу нагрева;

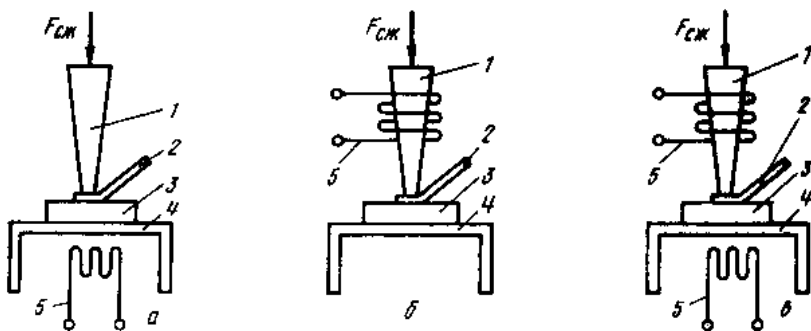


Рис. 13.1. Разновидности термокомпрессии в зависимости от способа нагрева:

а – нагрев 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.

Подвод тепла в зону сварки осуществляют тремя способами:

- а) нагрев только рабочего столика;
- б) нагрев рабочего инструмента;
- в) одновременный нагрев рабочего столика и инструмента.

2) по способу выполнения соединения;

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

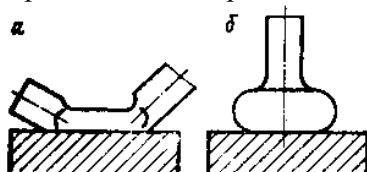


Рис. 13.2. Виды термокомпрессионной сварки по способу выполнения соединения:

а – нахлесточное; б – стыковое.

При сварке внахлестку проволоочный 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 проволоочного 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 параметрах режима процесса сварки прочности привариваемого вывода;

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

Конфигурация нахлесточного соединения зависит от формы торца рабочего инструмента.

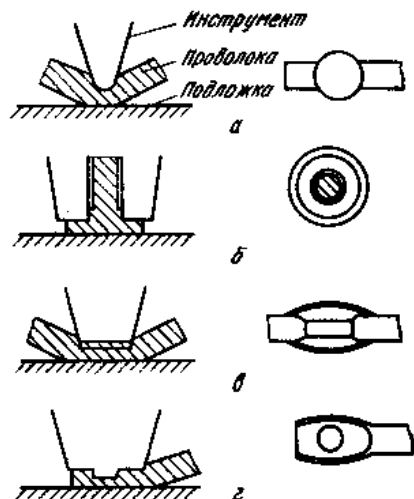


Рис. 13.3. Основные типы термокомпрессионных соединений в зависимости от формы применяемого инструмента:

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)

13.3. 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 состоя-

нии 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.

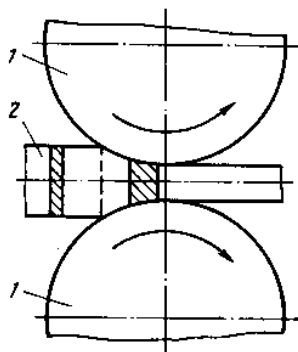


Рис. 13.4. Схема сварки прокаткой:
1 – валик; 2 – свариваемые заготовки.

Деформация свариваемых заготовок начинается при входе в валки. На выходе из валков на металл действуют сжимающие напряжения $P \sim \sigma_n$ (здесь σ_n - начальный уровень напряжений, соответствующий начальному моменту времени релаксации). Под длительностью релаксации напряжений при сварке прокаткой понимают длительность деформации, по завершении которой $P = \sigma_n < \sigma$, 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.

Сваркой прокаткой получают коррозионностойкие, износостойкие, антифрикционные, электропроводные, инструментальные, жаростойкие, термоупругие, контактные, декоратив-

ные многослойные конструкции, поперечные сечения которых представлены на рис. 13.5.

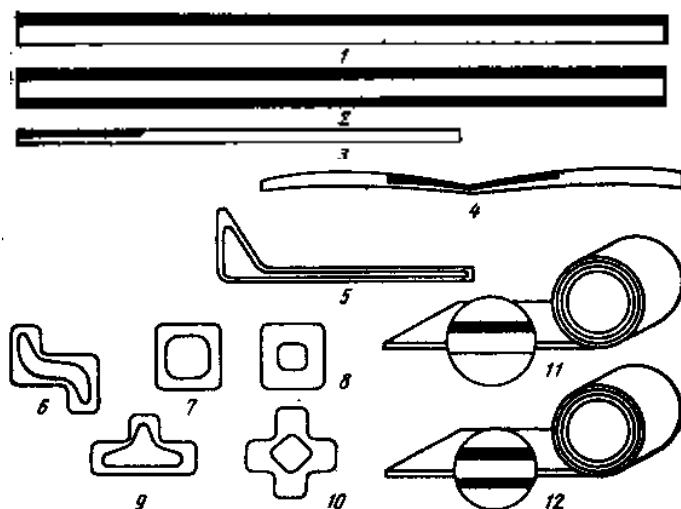


Рис. 13.5. Поперечные сечения профилей сварных конструкций:

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

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 применяются при термокомпрессионной сварке?
5. Какие параметры входят в режим термокомпрессионной сварки?

Лекция № 14. Сварка взрывом, высокочастотная и магнитно-импульсная сварка.

План:

- 14.1. Сварка взрывом.
- 14.2. Высокочастотная сварка.
- 14.3. Магнитно-импульсная сварка.

Основные термины и определения: сварка взрывом, взрыв, высокочастотная сварка, эффект близости, поверхностный эффект, магнитно-импульсная сварка.

14.1. Сварка взрывом

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

Принципиальная схема осуществления сварки взрывом приведена на рис. 14.1. 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.

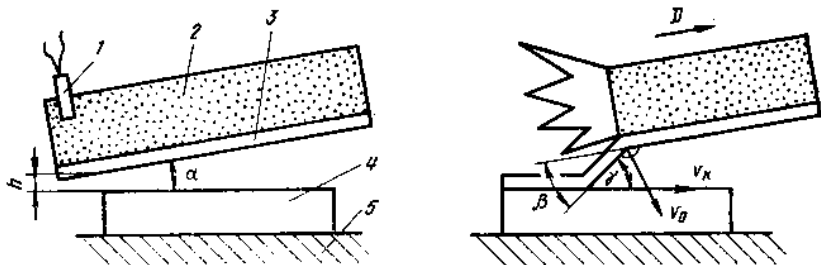


Рис. 14.1. Схема сварки взрывом под углом:

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

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

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 μεταаемая 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_k , 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_k была меньше скорости распространения объемных волн сжатия c ; 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:

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

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

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

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

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

При начальном параллельном расположении пластин:

$$v_k = D,$$

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

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.

14.2. Высокочастотная сварка

Высокочастотная сварка – сварка давлением, при которой для нагрева свариваемых поверхностей используются токи высокой частоты. Этот ток может подводиться 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, действующая на внутренние линии тока, будет больше, чем э. д. с. самоиндукции, действующая 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°C, 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.

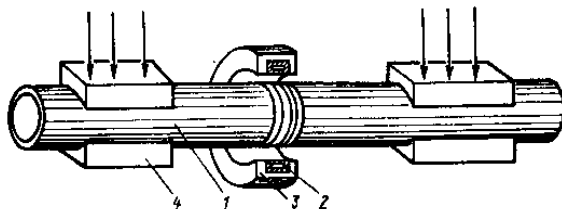


Рис. 14.2. Схема стыковой высокочастотной сварки труб:

1 – свариваемая труба; 2 – индуктор; 3 – магнитопровод; 4 – зажимы для фиксации свариваемых труб и создания осадки.

14.3. Магнитно-импульсная сварка

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.

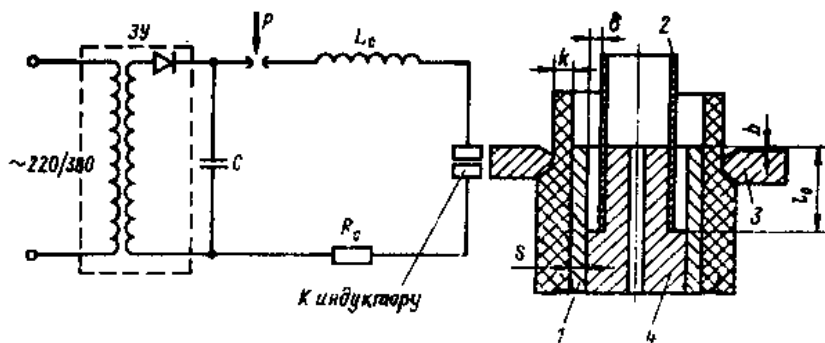


Рис. 14.3. Схема магнитно-импульсной сварки:

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

Свариваемые metaемые 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 metaемую 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 metaемой детали s , зазор между неподвижной и metaемой деталями δ , а также величина ввода metaемой детали в рабочую зону индуктора b и длина ее metaемого участка l_0 .

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 metaемых 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.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит сущность сварки взрывом?
2. Какие методы подготовки поверхностей применяются при сварке взрывом?
3. Какие механизмы нагрева соединяемых поверхностей можно выделить при высокочастотной сварке?
4. В чем состоит сущность магнитно-импульсной сварки?
5. Каковы технологические возможности магнитно-импульсной сварки?

Лекция № 15. Наплавка

План:

15.1. Классификация способов наплавки.

15.2. Материалы для наплавки.

Основные термины и определения: наплавка, плазменная наплавка, наплавочная проволока, электроды для наплавки.

16.1. Классификация способов наплавки

Наплавкой называют процесс наплавления на поверхности изделия слоя металла для изменения размеров или придания специальных свойств (твердости, антикоррозионности, износоустойчивости и т. д.).

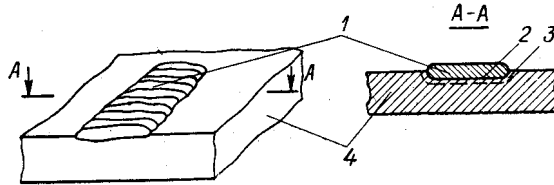


Рис. 15.1. Схема наплавки на деталь:

1 — наплавляемый слой; 2 — зона сплавления; 3 — зона термического влияния; 4 — основной металл

Наплавка износостойкими сплавами повышает твердость и износоустойчивость деталей. Применение наплавки снижает расход дорогих и дефицитных легированных сталей. Для получения ровной хорошей наплавки, без трещин, отслоений и пор необходимо, чтобы наплавляемый сплав имел более низкую температуру плавления, чем основной металл, а коэффициент его линейного расширения был близок к таковому для основного металла.

В настоящее время в промышленности используется большое количество различных способов наплавки.

1. Ручная дуговая наплавка металлическими плавящимися одиночными электродами, пучком электродов, лежащими пластинчатыми электродами, трубчатыми электродами, дугой прямого и косвенного действия и трехфазной дугой. Наплавку электродами можно выполнять во всех пространственных положениях. Она выполняется путем последовательного наложения валиков, наплавляемых при расплавлении электрода, на поверхность изделия. Наплавляемая поверхность при этом должна быть чистой (до металлического блеска). Поверхность каждого наложенного валика и место для наложения следующего валика также тщательно зачищают от шлака, окалины и брызг.

Для получения сплошного монолитного слоя наплавленного металла каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий на $1/3$ — $1/2$ своей ширины. Толщина однослойной наплавки составляет 3—6 мм. Если необходимо наплавить слой толщиной более 6 мм, перпендикулярно первому наплавляют второй слой валиков. При этом первый слой валиков должен быть тщательно очищен от брызг, окалины, шлаковых включений и других загрязнений.

2. Дуговая наплавка под флюсом, которая может по способу выполнения быть автоматической или полуавтоматической, а по количеству применяемых проволок — одноэлектродной и многоэлектродной. Применяемые для наплавки под флюсом наплавочные проволоки по конструкции разделяют на сплошные и порошковые, а по форме — на круглые или ленточные (рис. 15.2).

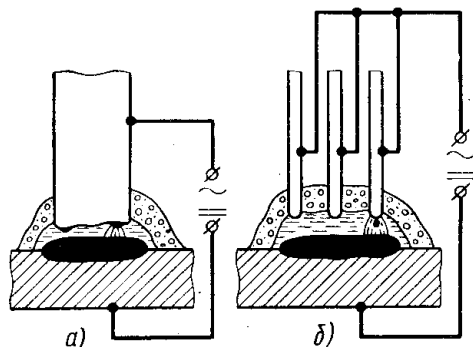


Рис. 15.2. Наплавка под флюсом:

а – электродной лентой; б – многоэлектродная

3. Дуговая наплавка в защитных газах вольфрамовым (неплавящимся) и проволочным металлическим (плавящимся) электродом. Для защиты дуги используются аргон и углекислый газ.

4. Вибродуговая наплавка выполняется специальной автоматической головкой, обеспечивающей вибрацию и подачу электродной проволоки в зону дуги. Амплитуда вибрации электродной проволоки находится в пределах 0,75 – 1,0 диаметра электрода (рис. 15.3).

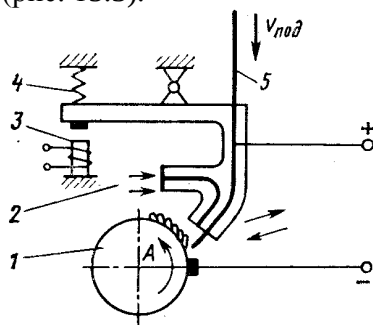


Рис. 15.3. Вибродуговая наплавка:

1 – наплавляемая деталь, 2 – подача охлаждающей жидкости, 3 – электромагнит вибратора, 4 – пружина, 5 – электродная проволока.

5. Электрошлаковая наплавка характеризуется высокой производительностью. Способ позволяет получать наплавленный металл любого химического состава на плоских поверхностях и на поверхностях вращения (рис. 15.4). Наплавка выполняется за один проход независимо от толщины наплавляемого слоя. Electrodes применяются практически любого сечения: прутки, пластины и т.п. Глубину проплавления основного металла можно регулировать в широких пределах.

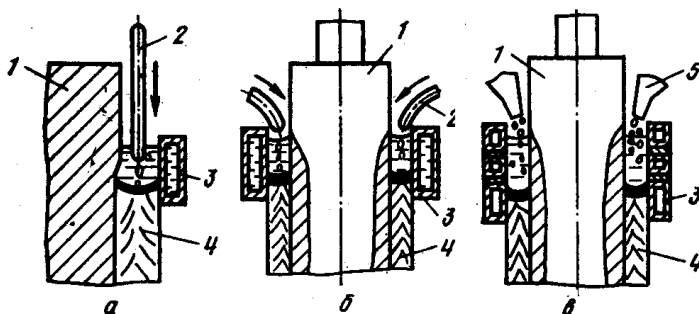


Рис. 15.4. Схемы электрошлаковой наплавки:

а – плоской поверхности в вертикальном положении; б – цилиндрической детали проволоками; в – цилиндрической детали зернистым присадочным материалом.

6. Газовая наплавка. Для получения требуемой глубины проплавления при наплавке необходимо регулировать степень нагрева основного и присадочного металлов. Это облегчается при использовании газового пламени, что является существенным преимуществом данного способа (рис. 15.5). Газокислородное пламя также защищает наплавляемый металл от окисления кислородом окружающей среды и от испарения элементов, входящих в состав наплавляемого металла и придающих ему заданные свойства. Недостаток газовой наплавки — более низкая ее производительность по сравнению с электрическими способами нагрева и большее термическое воздействие на основной металл.

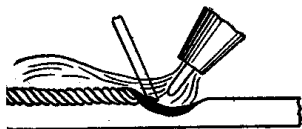


Рис. 15.5. Газовая наплавка.

7. Плазменная наплавка производится плазменной дугой прямого или косвенного действия. Присадочным материалом служат наплавочная проволока и порошкообразные смеси (рис. 15.6, 15.7). При плазменной наплавке получают гладкую поверхность и высокое качество наплавленного слоя.

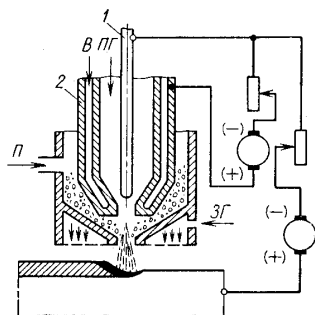


Рис. 15.6. Плазменно-порошковая наплавка:

1 – электрод; 2 – сопло; ПГ – плазмообразующий газ; ЗГ – защитный газ; В – вода; П – присадочный порошок.

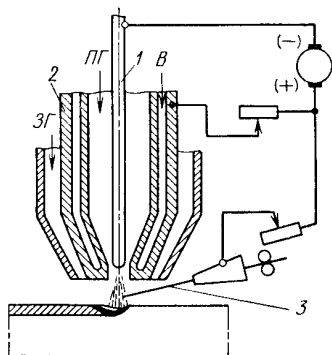


Рис. 15.7. Плазменно-порошковая наплавка с токоведущей присадочной проволокой:

1 – электрод; 2 – сопло; 3 – присадочная проволока; ПГ – плазмообразующий газ; ЗГ – защитный газ; В – вода.

Производительность труда при наплавке оценивается весом или площадью (размерами) наплавленного металла (табл. 15.1).

Таблица 15.1

Производительность различных способов наплавки

Способ наплавки	Производительность, кг/ч
Ручная дуговая покрытыми электродами	0,8 - 3
Автоматическая под флюсом одной проволокой	2 - 12
Автоматическая под флюсом много-электродная	5 - 40
Автоматическая под флюсом лентой	5 - 40
Плавящимся электродом в защитном газе	1,5 - 9,0
Аргоно-дуговая неплавящимся электродом	1,0 - 7,0
Вибродуговая	1,2 – 3
Электрошлаковая электродными проволоками	20 - 60
Электрошлаковая зернистым присадочным материалом	20-200
Плазменная порошком	0,8 – 12
Плазменная с токоведущей присадочной проволокой	2 - 12

15.2. Материалы для наплавки

Для наплавки применяют стальную наплавочную проволоку, металлические электроды с легирующим покрытием, зернистые и порошковые наплавочные смеси, литые сплавы в виде прутков, порошковую проволоку, флюсы.

Наплавочная проволока. Для автоматической электродуговой наплавки применяют стальную наплавочную проволоку по ГОСТ 10543—98 диаметром от 0,3 до 8 мм. Для этой проволоки принято условное обозначение «Нп» с указанием диаметра и марки стали. Например, проволока диаметром 3 мм из стали 30ХГСА имеет следующее условное обозначение; проволока 3Нп-30ХГСА, ГОСТ 10543—98. Для изготовления металлических электродов данная проволока не применяется.

Таблица 15.2

Краткая характеристика наплавочной проволоки

Марка проволоки	Твердость наплавленного металла, НВ	Типичные объекты наплавки
Нп-25 Нп-30	160-220	Оси, шпиндели, валы
Нп-35 Нп-40 Нп-45	170-230	Оси, шпиндели, валы
Нп-50	180-240	Натяжные колеса, скаты тележек, опорные ролики
Нп-65	220-300	Опорные ролики, оси
Нп-80	260-340	Коленчатые валы, крестовины карданов
Нп-40Г	180-240	Оси, шпиндели, ролики, валы
Нп-50Г	200-270	Натяжные колеса, опорные ролики гусеничных машин
Нп-65Г	230-310	Крановые колеса, оси опорных роликов
Нп-10ГЗ	250-330	Железнодорожные бандажи, крановые колеса
Нп-30ХГСА	220-300	Обжимные прокатные валки, крановые колеса
Нп-14СГ Нп-19СГ	240-260 300-310	Трефы прокатных валков, детали автосцепки, щлицевые валы
Нп-30Х5	370-240	Прокатные валки сортопро-

		катных станов
--	--	---------------

Продолжение таблицы 15.2

Нп-20Х14	320-380	Уплотнительные поверхности задвижек для пара и воды
Нп-30Х13	380-450	Плунжеры гидравлических прессов, шейки коленчатых валов, штампы
Нп-40Х13 Нп-35Х6М2	450-520 480-540	Опорные ролики тракторов и экскаваторов, детали конвейера
Нп-Г13А	230-270	Крестовины рельсов
Нп-30Х10Г10Т Нп-12Х12Г12С Нп-Х15Н60 Нп-Х20Н80Т Нп-03Х15В5Г7М8Б	180-200	При высокой температуре, выхлопные конуса и др. Корпуса сосудов высокого давления
Нп-40Х3Г2ВФМ	380-440	Тяжелонагруженные крановые колеса, ролики роликового конвейера
Нп-40Х2Г2М	540-560	Детали, испытывающие удары и абразивный износ
Нп-30ХНМ Нп-30ХФА	400-500	Штампы горячей штамповки, валки ковочных машин
Нп-35В9Х3СВ	440-500	Валки листо- и сортопрокатных станов, штампы горячей штамповки
Нп-45В9Х3СФ	440-500	Ножи для резки горячего металла, прессовый инструмент
Нп-45Х2В8Т Нп-45Х4В3ГФ	400-600 280-450	Валки трубо- и сортопрокатных станов, штампы горячей штамповки
Нп-35ХНФМС	420-480	Шлицевые валы, коленчатые валы двигателей внутреннего сгорания
Нп-105Х Нп-50Х3СТ	320-380 450-510	Обрезные штампы холодной штамповки, валы смесителей

Углеродистая проволока содержит от 0,27 до 0,70% углерода, от 0,5 до 1,2% марганца, до 0,37% кремния, до 0,25%

хрома и до 0,25% никеля; она используется для наплавки осей, валов, опорных роликов гусениц и других подобных деталей, твердость наплавки от 160 до 310 НВ.

Легированная наплавочная проволока содержит повышенные количества углерода, марганца, кремния, хрома, никеля (в зависимости от марки и назначения проволоки); некоторые марки ее легированы вольфрамом и ванадием. Эта группа проволок применяется при наплавке осей, прокатных валков, тяжело нагруженных колес, деталей, испытывающих ударные нагрузки и абразивный износ, штампов и др., когда требуется твердость 220—330 НВ или 32—40 HRC.

Высоколегированные проволоки кроме углерода, марганца и кремния содержат еще значительные количества хрома, никеля, вольфрама, ванадия и титана в различных сочетаниях. Высоколегированные проволоки применяют для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры, наплавки прокатных валков, ножей и штампов для металла, деталей, работающих при высокой температуре, железнодорожных крестовин. Высоколегированные проволоки могут давать наплавку с различной степенью твердости от 180 до 280 НВ и от 32 до 52 HRC, требуемой прочности и вязкости.

Электроды для наплавки. ГОСТ 10051—75 предусматривает 44 типа наплавочных электродов, обеспечивающих твердость наплавленного слоя от 25 до 65 HRC. Этот ГОСТ устанавливает также химический состав наплавленного металла и соответствующее обозначение для электрода каждого типа, например, ЦН-5-Э-24Х12 расшифровывается так: ЦН-5—марка электрода; буквы Э—электрод наплавочный; 24Х12 обозначает содержание в наплавке в среднем 0,24% углерода, 12% хрома

Таблица 15.3

Электроды для наплавки

Тип электрода	Марка электрода	Наплавка
Э-10Г2 Э-11Г3 Э-12Г4 Э-15Г5 Э-30Г2ХМ	ОЗН-250У ОЗН-300У ОЗН-350У ОЗН-400У НР-70	Деталей, работающих в условиях интенсивных ударных нагрузок (осей, валов, автосцепок, железнодорожных крестовин и др.)
Э-16Г2ХМ Э-35Г6 Э-30В8Х3 Э-35Х12В3СФ Э-90Х4М4ВФ	ОЗШ-1 ЦН-4 ЦШ-1 Ш-16 ОЗИ-3	Штампов для горячей штамповки
Э-37Х9С2 Э-70Х3СМТ Э-24Х12 Э-20Х13 Э-35Х12Г2С2 Э-100Х12М Э-120Х12Г2СФ	ОЗШ-3 ЭН-60М ЦН-5 48Ж-1 НЖ-3 ЭН-Х12М Ш-1	Штампов для холодной штамповки
Э-65Х11Н3 Э-65Х25Г13Н3	ОМГ-Н ЦНИИН-4	Изношенных деталей из высокомарганцевых сталей марок 110Г13 и 110Г13Л
Э-80В18Х4Ф Э-90В10Х5Ф2 Э-105В6Х5М3Ф3 Э-10К15В7М5Х3СФ Э-10К18В11М10Х3СФ	ЦИ-1М ЦИ-2У И-1 ОЗИ-4 ОЗИ-5	Металлорежущего инструмента, а также штампов для горячей штамповки
Э-95Х7Г5С Э-30Х5В2Г2СМ	12АН/ЛИВТ ТКЗ-Н	Деталей, работающих в условиях интенсивных ударных нагрузок с абразивным изнашиванием
Э-80Х4С Э-320Х23С2ГТР Э-320Х25С2ГР Э-350Х26Г2Р2СТ	13КН/ЛИВТ Т-620 Т-590 Х-5	Деталей, работающих в условиях преимущественно абразивного изнашивания

Продолжение таблицы 15.3

Э-300Х28Н4С4 Э-225Х10Г10С Э-110Х14В13Ф2 Э-175Б8Х6СТ	ЦС-1 ЦН-11 ВСН-6 ЦН-16	Деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с ударными нагрузками
Э-08Х17Н8С6Г Э-09Х16Н9С5Г2М2ФТ Э-09Х31Н8АМ2 Э-13Х16Н8М5С5Г4Б Э-15Х15Н10С5М3Г Э-15Х28Н10С3Г Э-15Х28Н10С3М2ГТ Э-200Х29Н6Г2 Э-190К62Х29В5С2	ЦН-6М, ЦН-6Л ВПИ-1 УОНИ-13/Н1-БК ЦН-12М, ЦН-12Л ЦН-18 ЦН-19 ЦН-20 ЦН-3 ЦН-2	Уплотнительных поверхностей арматуры для котлов, трубопроводов и нефтеаппаратуры

Порошкообразные твердые сплавы. Для дуговой наплавки неплавящимся электродом износостойкого слоя на детали используют механические смеси порошков марок С-2М, ФБХ6-2, БХ и КБХ по ГОСТ 11546-75.

Сталинит (С-2М) - порошкообразный применяют для наплавки электродуговым способом быстроизнашивающихся стальных и чугунных деталей. Сталинит М изготавливают из феррохрома, ферромарганца, нефтяного кокса и чугунной стружки. Химический состав сталинита М следующий: хрома 24—26%, марганца 6—8,5%, углерода 7—10%, кремния до 3%, серы до 0,4%, фосфора до 0,3%, остальное железо. Твердость наплавки сталинитом составляет не менее 54 HRC.

Боридная смесь (БХ) содержит 50 % боридов хрома и 50% железного порошка. Дает хрупкий наплавленный слой. Применяется для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного износа. Твердость наплавки боридной смесью составляет не менее 63 HRC.

Карбидно-боридная смесь (КБХ) содержит 5% карбида хрома; 5% бориды хрома; 30% железного порошка; 60% фер-

рохрома. Твердость наплавки карбидно-боридной смесью составляет не менее 60 HRC.

Литые износостойкие сплавы имеют температуру плавления 1260—1300° С и представляют собой твердый раствор карбидов хрома в кобальте (стеллиты) или в никеле и железе (сормаиты). Сплавы на железной основе более хрупки, но дешевле, чем сплавы на никелевой и кобальтовой основе. Сормайт содержит 25—31% хрома, 3— 5% никеля, 2,5—3% углерода, 2,8—3,5% кремния, до 1,5% марганца, остальное железо.

Стеллиты имеют большую вязкость, коррозионную стойкость и лучшие наплавочные свойства, чем сормаиты. Литые сплавы применяют для наплавки инструмента, ножей для резки металла, штампов, конусов, загрузочных устройств доменных печей и других подобных деталей.

По ГОСТ 21448-75 выпускают порошки для износостойкой наплавки на основе железа ПГ-С27, ПГ-С1, ПГ-УС25, ПГФБХ6-2, ПГ-АН1, и – никеля ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГСР-4

Литые прутки для наплавки. Для наплавки износостойкого слоя используют литые прутки по ГОСТ 21449-75, которые в зависимости от химического состава подразделяются на пять марок: Пр-С27, Пр-С1, Пр-С2, Пр-ВЗК и Пр-ВЗК-Р. Прутки изготавливают с номинальными диаметрами: 4 мм при длине 300 и 350 мм, 5 и 6 мм при длине 350 и 400 мм; 8 мм при длине 450 и 500 мм.

Контрольные вопросы:

1. Что называется наплавкой?
2. Для каких целей используют наплавку?
3. Какие способы наплавки вам известны?
4. Что понимают под производительностью наплавки?
5. Какие виды материалов применяют для наплавки?

Лекция № 16. Напыление

План:

- 16.1. Классификация видов газотермического напыления.
- 16.2. Сущность плазменного напыления.
- 16.3. Оборудование для плазменного напыления.
- 16.4. Технология плазменного напыления.

Основные термины и определения: напыление, плазма, газотермическое напыление, газопламенное напыление.

16.1. 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.

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

Газотермическое напыление можно разделить на две группы (рис. 16.1.):

- 1) газопламенное;
- 2) газoeлектрическое.

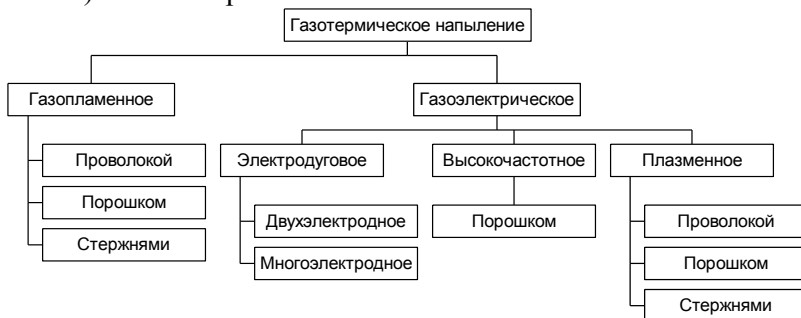


Рис. 16. 1. Классификация видов газотермического напыления.

1) Сущность газопламенного напыления заключается в расплавлении напыляемых материалов газовым пламенем и распылении их сжатым воздухом (рис. 16.2.)

В качестве напыляемого материала применяют порошок, проволоку сплошного сечения и порошковую проволоку или стержни. 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.

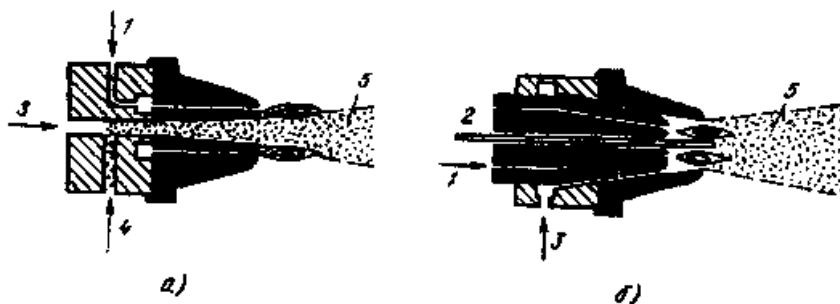


Рис 16.2. Схема напыления газовым пламенем:

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. Распыление 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.

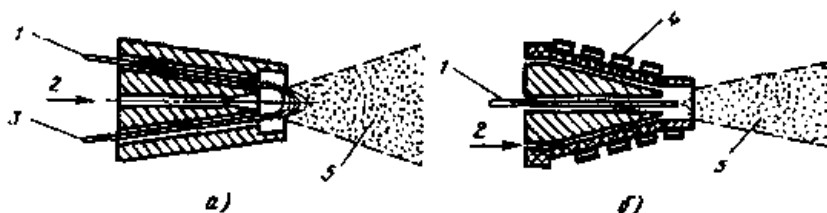


Рис. 16.3. *Схема электрометаллизационного напыления:*

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

16.2. 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 нанесе-

нием 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.

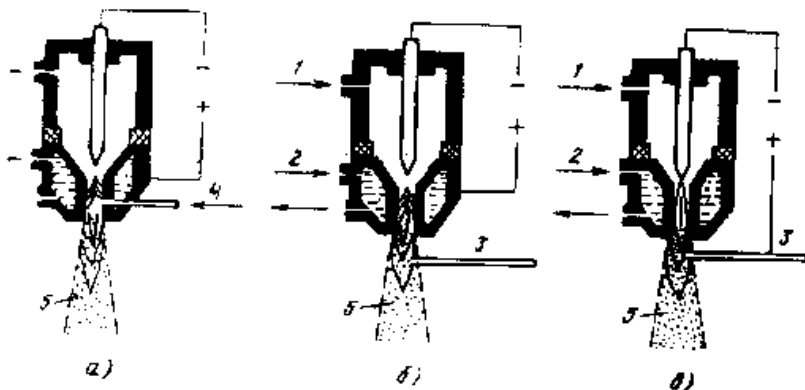


Рис 16.4. Схемы плазменного напыления:

а - подача напыляемого материала в плазменную струю через сопло; б - то же за сопловым участком; в - плазменная металлизация проволокой независимой 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 га-

зом, 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.

16.3. 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, проволоочный и стречневой 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 16.4): 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).

16.4. 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 70-200⁰С (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 100-200⁰С.

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 ($\text{м}^3/\text{с}$), 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°C 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 № 17. Пайка металлов

План:

- 17.1. Теоретические основы пайки металлов.
- 17.2. Классификация процессов пайки.
- 17.3. Классификация способов пайки.
- 17.4. Способы пайки.

Основные термины и определения: пайка, капиллярная пайка, диффузионная пайка, контактно-реакционная пайка, реакционно-флюсовая пайка, пайка-сварка, индукционная пайка, пайка сопротивлением, пайка погружением, радиационная пайка, пайка горелками, пайка паяльниками.

17.1. 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.

17.2. Классификация процессов пайки

Пайку можно классифицировать: во-первых, по сущности физико-химических процессов, протекающих при фор-

мировании паяных швов, и, во-вторых, по разновидностям технологии пайки, связанным с применяемыми для нагрева источниками тепла или оборудованием.

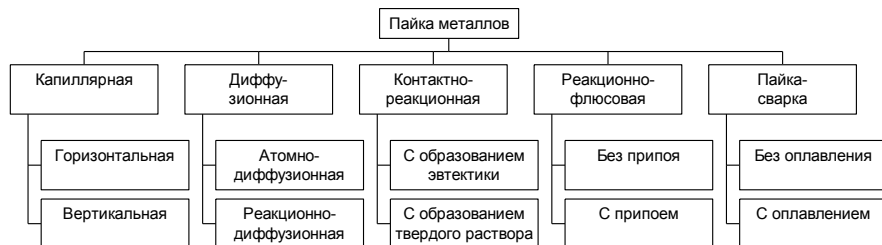


Рис. 17.1. Классификация методов пайки.

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

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

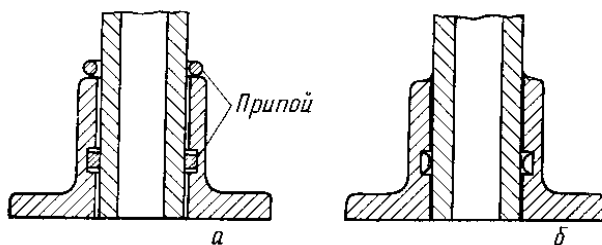
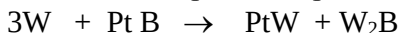


Рис. 17.2. Схема капиллярной пайки:
а - до пайки; б - после пайки.

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 повышаются пластичность и прочность паяного соединения - атомно-диффузионная пайка; во-вторых, в процессе диффузионной пайки 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-W с температурой плавления 855°C, протекает реакция:



с образованием в шве сплава с температурой плавления выше 2000°C.

3) Контактнореакционной пайкой называется метод пайки, при котором между соединяемыми металлами и при-

поем протекает активная реакция с образованием в контакте между ними нового более легкоплавкого сплава эвтектического 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.

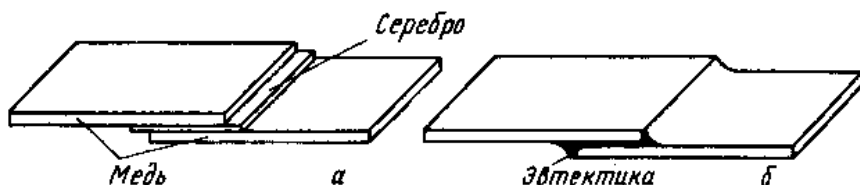
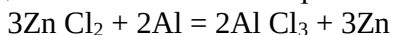


Рис. 17.3. Схема контактно-реактивной пайки:

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:



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.

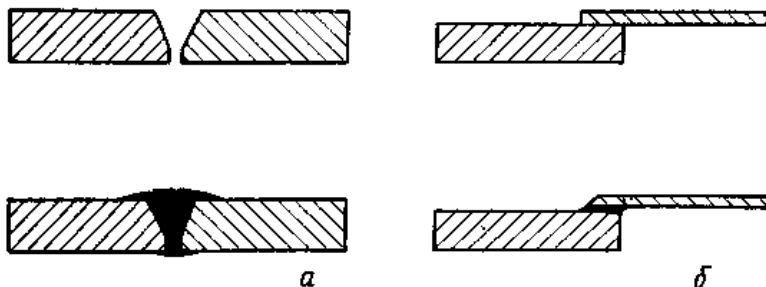


Рис. 17.4. *Схема образования шва при пайке-сварке:*

а – без оплавления кромок деталей; б – с оплавлением кромок одной детали.

17.3. Классификация способов пайки

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

- 1) пайка в печах;
- 2) индукционная пайка;
- 3) пайка сопротивлением;
- 4) пайка погружением;
- 5) радиационная пайка;
- 6) пайка горелками;
- 7) пайка паяльниками.

17.4. Способы сварки

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 роликовым 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, индуцируемого непосредственно в подлежащих пайке деталях. Различают две разновидности пайки с индукционным нагревом: стационарную и с относительным перемещением индуктора или детали.

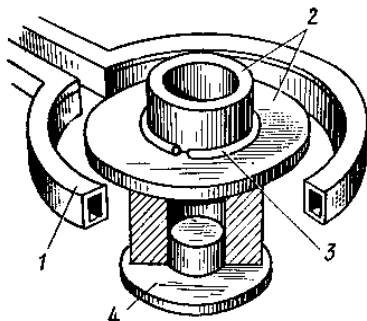


Рис. 17.5. Принципиальная схема индукционной пайки:

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.

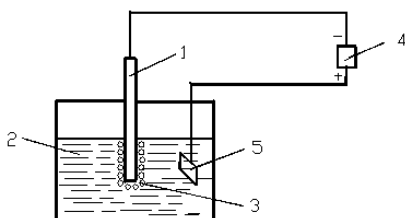


Рис. 17.6. Принципиальная схема пайки сопротивлением:

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.

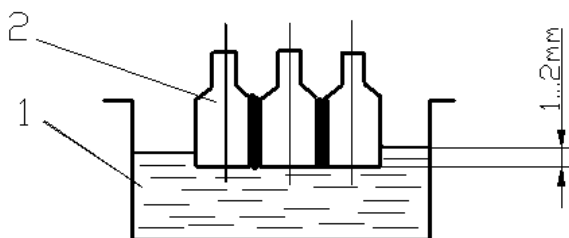


Рис. 17.7. *Схема пайки погружением в расплавленный припой:*
1 - припой; 2 - паяемые детали.

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 радиоэлектронной промышленности при производстве печатного радиомонтажа.

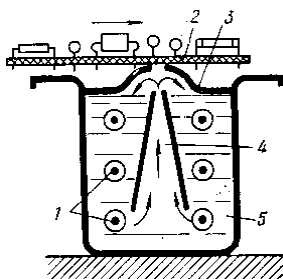


Рис. 17.8. *Принципиальная схема пайки волной припоя.*
1 - электронагреватель; 2 - плата; 3 - волна; 4 - сопло; 5 - припой.

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 осуществляются 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 °С.

В ультразвуковых паяльниках колебания ультразвуковой частоты используются для разрушения окисной пленки на поверхности паемого 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 безфлюсовой пайки. Это нашло применение главным образом для пайки алюминия легкоплавкими припоями.

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?
6. Какие способы пайки применяются при производстве паяных изделий?
7. На каких эффектах нагрева металлов основана индукционная пайка?
8. В чем состоит сущность пайки сопротивлением?

Лекция № 18. Сварка пластмасс

План:

- 18.1. Понятие о пластмассах и полимерах.
- 18.2. Классификация полимеров.
- 18.3. Получение полимеров.
- 18.4. Сущность сварки пластмасс.
- 18.5. Физические основы сварки пластмасс.
- 18.6. Основные способы сварки пластмасс.
- 18.7. Химическая сварка пластмасс.
- 18.8. Сварка пластмасс с помощью растворителей.

Основные термины и определения: полимер, пластмасса, стабилизатор, пластификатор, наполнитель, термореактивная пластмасса, термопластичная пластмасса, аморфное состояние полимеров, вязкотекучее состояние полимеров.

18.1. 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 применяются низкомолекулярные высококипящие и малолетучие жидкости, как дибутилфталат, трикрезилфосфат и др.

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.

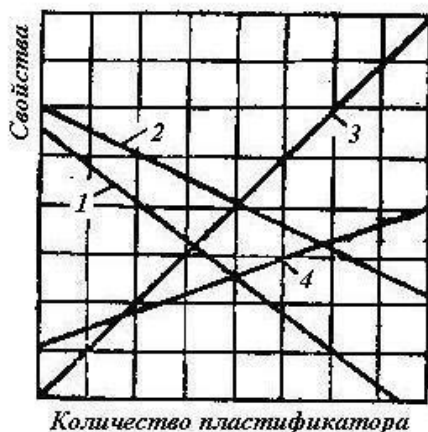


Рис. 18.1. Изменение механических свойств полимера в зависимости от количества пластификатора:

1 - прочность на сжатие, 2 - прочность на разрыв, 3 - прочность на удар, 4 - относительное удлинение.

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 $1-1,5 \text{ \AA}$; между цепями на расстоянии $3-4 \text{ \AA}$ действуют значительно более слабые межмолекулярные силы.

Для макромолекул линейной структуры принято обозначение:



где М - элементарное структурное звено цепи;

п - количество звеньев;

черточками показаны химические связи в макромолекулу полимера.

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

Например, название "полистирол" указывает, что элементарным звеном полимера является молекула стирола $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH=CH}_2$. Формула полистирола $(\text{C}_8\text{H}_8)_n$.

Мономерами называются первичные низкомолекулярные вещества, из которых образуются полимеры.

18.2. 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.

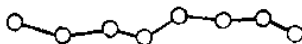


Рис. 18.2. Линейная структура макромолекулы.

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

Пример: полиэтилен: $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_{\text{п}}$.

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

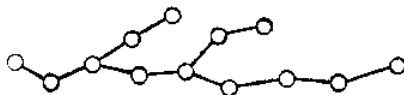


Рис. 18.3. Разветвленная система макромолекулы.

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

Пример: Полистирол $[-CH_2-CH-]_n$



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.

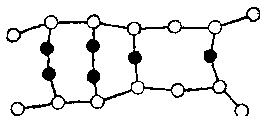


Рис. 18.4. Структура пространственного полимера.

Для макромолекул с пространственной структурой характерны 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.).

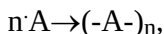
3) Элементоорганические полимеры могут иметь в основных цепях атомы кремния, бора, алюминия, титана, никеля, германия.

18.3. 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:

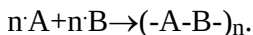


где А - молекула мономера;

(-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:



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.

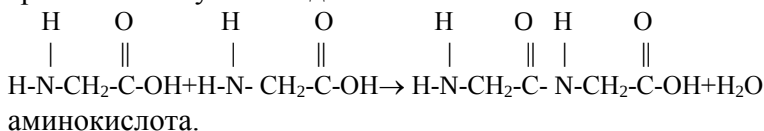
3) Полимеризация в водных эмульсиях является наиболее распространенным методом производства полимеров. При эмульсионной полимеризации мономер предварительно эмульгируют путем перемешивания в водной среде с добавкой эмульгаторов и затем добавляют инициатор, растворимый в воде или мономере. При перемешивании 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 составу от исходных веществ, тогда как при полимеризации исходный мономер и образующийся полимер имеют 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.



18.4. Сущность 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.

18.5. 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°C. 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 удастся достигнуть однородности материала в зоне сварного соединения.

18.6. 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) экструдированной 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 18.5.

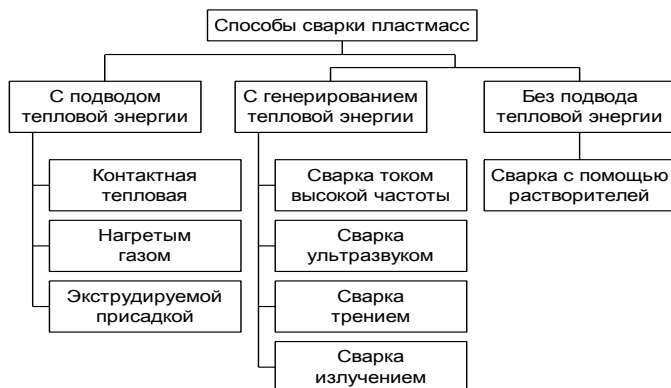


Рис. 18.5. Классификация способов сварки пластмасс.

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 экструдированной 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.

18.7. Химическая сварка пластмасс

Химическая сварка пластмасс применяется для сварки термореактивных пластмасс (стеклопластиков, текстолитов, пресспорошков, феноло-формальдегидных, эпоксидных, отвержденных 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.

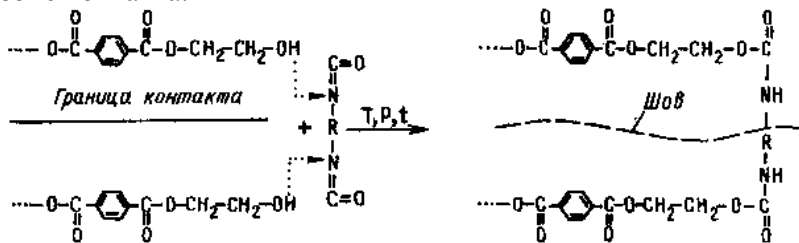


Рис 18.6. Механизм химической сварки ПЭТ при помощи диизоцианата.

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.

18.8. 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 приобре-

тают возможность перемещаться, начинается вторая стадия растворения - диффузия молекул полимера в растворитель.

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 полимеризации?
5. Какие методы полимеризации применяются в промышленности?
6. В чем заключается сущность процесса сварки термопластов?
7. В чем заключается отличие процесса сварки пластмасс от сварки металлов?
8. При каких температурах наступает вязкотекучее состояние у большинства термопластов?
9. Какие способы в основном применяются для сварки пластмасс?
10. В чем состоит сущность сварки пластмасс токами высокой частоты?

ГЛОССАРИЙ

Газовая сварка – сварка плавлением, при которой нагрев кромок соединяемых частей производится пламенем газов, сжигаемых на выходе горелки для газовой сварки.

Диффузионная сварка – сварка давлением, осуществляемая за счет взаимной диффузии атомов контактирующих частей при относительно длительном воздействии повышенной температуры и при незначительной пластической деформации.

Дуговая сварка – сварка плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой.

Индукционная сварка – сварка с применением давления, при которой нагрев осуществляется индуктором токами высокой частоты.

Контактная сварка – Сварка с применением давления, при которой нагрев производится теплом, выделяемым при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые части.

Кузнечная сварка – сварка давлением, при которой осадка выполняется ударами молота.

Лазерная сварка – сварка плавлением, при которой для местного расплавления соединяемых частей используется энергия светового луча, полученного от оптического квантового генератора.

Наплавка – нанесение с помощью сварки слоя металла на поверхность изделия.

Плазменная сварка – сварка плавлением, при которой нагрев производится сжатой дугой

Подводная сварка – дуговая сварка, при которой свариваемые части находятся под водой.

Ручная дуговая сварка – дуговая сварка штучными электродами, при которых подача электрода и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок производятся вручную.

Сварка – технологический процесс соединения твердых материалов в результате действия межатомных сил, которое происходит при местном сдавливании или совместном пластическом деформировании свариваемых частей.

Сварка взрывом – сварка, при которой соединение осуществляется в результате вызванного взрывом соударения быстро движущихся частей.

Сварка давлением – сварка, осуществляемая при температурах ниже точки плавления свариваемых металлов без использования припоя и с приложением давления, достаточного для создания необходимой пластической деформации соединяемых частей.

Сварка плавлением – сварка с местным расплавлением соединяемых частей без применения припоя.

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

Сварка прокаткой – сварка давлением, осуществляемая пластическим деформированием в прокатных валках.

Сварка трением – сварка давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызываемым вращением одной из свариваемых частей.

Стыковая контактная сварка – контактная сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит по поверхности стыкуемых торцов.

Стыковая сварка сопротивлением – стыковая контактная сварка, при которой нагрев металла выполняется без оплавления соединяемых торцов.

Стыковая сварка оплавлением – стыковая контактная сварка, при которой нагрев металла сопровождается оплавлением соединяемых торцов.

Рельефная контактная сварка – контактная сварка, при которой соединение элементов происходит на отдельных участках по заранее подготовленным выступам.

Точечная контактная сварка – контактная сварка, при которой соединение элементов происходит на участках, огра-

ниченных площадью торцов электродов, подводящих ток и передающих усилие сжатия.

Электронно-лучевая сварка – сварка плавлением, при которой для нагрева соединяемых частей используется электронный луч.

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

Ультразвуковая сварка – сварка давлением, осуществляемая при воздействии ультразвуковых колебаний.

Холодная сварка – сварка давлением при значительной пластической деформации соединяемых частей.

Шовная контактная сварка – контактная сварка, при которой соединение элементов выполняется внахлестку вращающимися дисковыми электродами в виде непрерывного или прерывистого шва.

ЛИТЕРАТУРА

1. Edward R. Bohard. Welding: Principles and Practces - American Welding Society - Connect Learn Success, 2012
2. Messler R. Principles of welding. - London: Wiley – Inter-science, 2005.
3. Абралов М.А., Дуняшин Н.С., Эрматов З.Д., Абралов М.М. Технология и оборудование сварки плавлением - Т., 2014
4. Abralov M.A., Dunyashin N.S., Abralov M.M., Ermatov Z.D. Eritib payvandlash texnologiyasi va jihozlari – T.: Voris, 2007
5. Abralov M.A., Dunyashin N.S., Ermatov Z.D. Gaz alangasi yordamida metellarga ishlov berish texnologiyasi va jihozlari – T.: Ilm ziyo, 2007
6. Abralov M.A., Dunyashin N.S. Kontaktli payvandlash texnologiyasi va jihozlari – T.: Turon-iqbol, 2006
7. Abralov M.A., Ermatov Z.D., Dunyashin N.S. Qo’lda yoyli payvandlash jihozlari – T.: O’zbekiston faylsuflari milliy jamiyati nashriyoti, 2012
8. Абралов М., Дуняшин Н. Оборудование и технология газопламенной обработки металлов – Т.: Iqtisod-moliya, 2010
9. Колганов Л.А. Сварочные работы – М.: «Дашков и К», 2004
10. www.welding.com

Содержание

Введение.....	3
Лекция № 1. Классификация и характеристика способов сварки.....	5
Лекция № 2. Ручная дуговая сварка.....	11
Лекция № 3. Дуговая сварка под флюсом.....	26
Лекция № 4. Сварка в среде защитного газа.....	47
Лекция № 5. Электрошлаковая сварка.....	54
Лекция № 6. Электронно-лучевая сварка.....	61
Лекция № 7. Лазерная сварка.....	67
Лекция № 8. Контактная сварка.....	73
Лекция № 9. Холодная сварка.....	82
Лекция № 10. Диффузионная сварка.....	86
Лекция № 11. Ультразвуковая сварка.....	89
Лекция № 12. Сварка трением.....	93
Лекция № 13. Термокомпрессионная сварка. Сварка прокаткой.....	97
Лекция № 14. Сварка взрывом, высокочастотная и магнитно-импульсная сварка.....	103
Лекция № 15. Наплавка.....	110
Лекция № 16. Напыление.....	122
Лекция № 17. Пайка металлов.....	130
Лекция № 18. Сварка пластмасс.....	141
Глоссарий.....	155
Литература.....	158

Редактор

Покачалова Н.С.

Для заметок