

621.4
045

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ СВАРКИ



ТАШКЕНТ

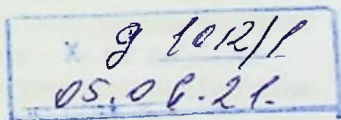
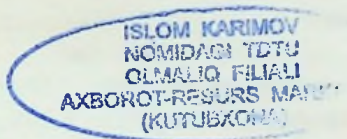
629
В-75

АПК

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ СВАРКИ

*Рекомендовано Министерством высшего и среднего
специального образования Республики Узбекистан в качестве
учебника для студентов*



ТАШКЕНТ – 2021

УДК: 621.791.1
КБК 30.61я7
О 75

О 75

Основные методы сварки. –Т.: «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi», 2021. 224 стр.

ISBN 978–9943–6975–2–2

В учебнике изложены основные вопросы истории развития и теории современных процессов сварки плавлением и давлением, наплавки и пайки. Рассмотрены различные способы сварки плавлением и давлением, а также наплавки и пайки и применяемое оборудование.

Учебник предназначен для студентов, обучающихся по направлению образования 5320300 – Технологические машины и оборудование (машиностроение и металлообработка).

УДК: 621.791.1
КБК 30.61я7

Авторы:

ДУНЯШИН Н.С., ЭРМАТОВ З.Д., ГАЛЬПЕРИН Л.В.,
ХУДОЁРОВ С.С., ЗАЙРКУЛОВ Э.Ё.

Рецензенты:

Сафаров Г. – к.т.н, главный металлург АО «Ташкентский механический завод»;

Каримов Ш.А. – к.т.н, профессор кафедры «Материаловедение» Ташкентского государственного технического университета.

ISBN 978–9943–6975–2–2

© «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi», 2021.

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 со-

единений, 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 наших оборонных заводах и сыграла большую роль в увеличении производства танков и артиллерийского вооружения.

Быстрое развитие промышленности и всех отраслей техники вызвало появление новых средств нагрева, пригодных для сварки металлов, таких, как термитные смеси, электронный луч, лазер, высокотемпературная плазма, ультразвук и других новых эффективных способов сварки.

ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ СВАРКИ

1.1. Сущность процесса сварки

Сварка – это технологический процесс получения неразъемных соединений металлов, сплавов и различных материалов посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании.

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 $1 \cdot 10^{-8}$ 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 объе-

мы 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.

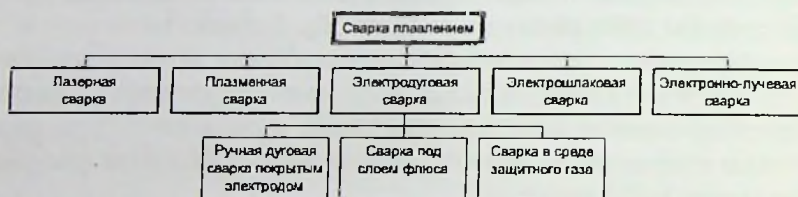


Рис. 1.1. Классификация способов сварки плавлением.

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

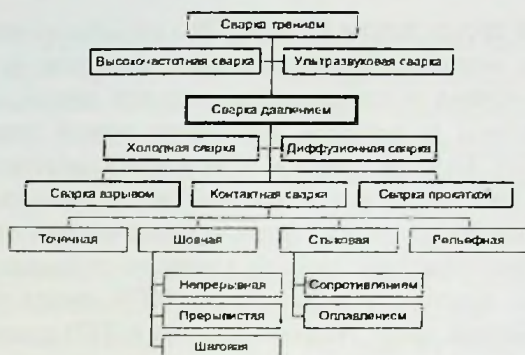


Рис. 1.2. Классификация способов сварки давлением.

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 ($750...1500^\circ\text{C}$). 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°C , 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 околошовной зоной. При температуре $900...1100^{\circ}\text{C}$ образуется участок нормализации (полной перекристаллизации) с мелко-

зернистой 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.

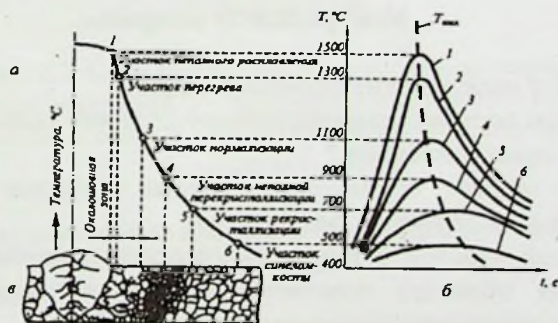


Рис. 1.3. Структура зоны термического влияния при сварке плавлением низкоуглеродистой стали:

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 ($200\ldots 400^{\circ}\text{C}$), 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 $5\ldots 6$ 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?

ГЛАВА 2. РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

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.

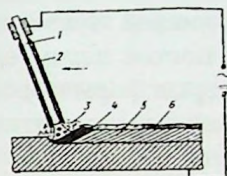


Рис. 2.1. Схема поста для ручной дуговой сварки:

- 1 – стержень электрода; 2 – покрытие электрода; 3 – газовая или газошлаковая 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, исключаящую 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 (рис. 2.2).

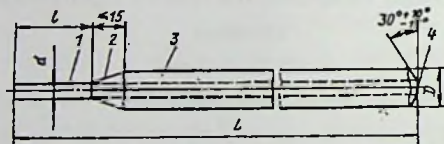


Рис. 2.2. Покрытый электрод:

- 1 — стержень; 2 — участок перехода; 3 — покрытие;
4 — контактный торец без покрытия

Металлические электроды для ручной дуговой сварки изготавливают следующих размеров (табл. 2.1)

Таблица 2.1

Размеры электродов

Диаметр, мм		1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
Длина, мм	Электроды из углеродистой и легированной проволоки	200, 250	250	250, 300	300, 350	350, 450	450				
	Электроды из высоколегированной проволоки	150, 200	200, 250	250	300, 350	350	350, 450				

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;
- 7) минимальная токсичность при изготовлении и при сварке.

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.

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 жидкого 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.

Все покрытия должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) обеспечивать стабильное горение дуги;
- 2) физические свойства шлаков, образующихся при плавлении электрода, должны обеспечивать нормальное формирование шва и удобное манипулирование электродом;
- 3) реакции между шлаками, газами и металлом, способные вызвать образование пор в сварных швах, не должны происходить;
- 4) материалы покрытия должны хорошо измельчаться и не вступать в реакцию с жидким стеклом или между собой в замесе;

5) состав покрытий должен обеспечивать приемлемые санитарно-гигиенические условия труда при изготовлении электродов и в процессе их сгорания.

Физические свойства образующихся шлаков оказывают значительное влияние на процесс сварки и формирование

сварного шва. Во всех электродных покрытиях при их плавлении плотность шлака должна быть ниже плотности металла сварочной ванны, что обеспечит его всплывание из сварочной ванны. Температурный интервал затвердевания шлака должен быть ниже температуры кристаллизации металла сварочной ванны, в противном случае слой шлака не будет пропускать выделяющиеся из сварочной ванны газы. Шлак должен покрывать сварной шов по всей поверхности ровным слоем.

Шлаки, образующиеся при плавлении электродных покрытий, бывают «длинные» и «короткие». «Длинными» называют такие шлаки, в составе которых содержится значительное количество кремнезема. Возрастание их вязкости при понижении температуры происходит медленно. Электроды, имеющие покрытия, образующие при плавлении «длинные» шлаки, не пригодны для сварки в вертикальной и потолочных плоскостях, так как сварочная ванна длительное время находится в жидком состоянии. Для сварки во всех пространственных положениях применяют электроды, покрытия которых при плавлении дают «короткие» шлаки: возрастание вязкости расплавленного шлака с понижением температуры происходит быстро, поэтому закристаллизовавшийся шлак препятствует отекающему металлу шва, находящегося еще в жидком состоянии. «Короткие» шлаки дают электроды с рутиловым и основным покрытием.

Достаточно хорошую отделимость шлаковой корки от поверхности металла получают при применении шлаков, имеющих коэффициент линейного расширения, отличающийся от коэффициента линейного расширения металла.

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 целлюлозные.

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, наплавляемый 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), магния (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 пре-

ISLOM KARIMOV
NOMIDAGI TDTU
OLMALIQ FILIALI 17
AXBOROT-RESURS MARKAZI
(KUTUBXONA)

20 1012/1
25.06.21

имущественно при сварке постоянным током обратной полярности во всех пространственных положениях. Металл, наплавленный такими электродами, чаще всего соответствует спокойной стали и содержит незначительное количество кислорода, 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.

Рутиловое 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 рутиловое покрытие обеспечивает устойчивое горение дуги, хорошее формирование шва, а также минимальное разбрызгивание металла. Выделение вредных газов при сварке небольшое. Электродами 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 (BCЦ-1, BCЦ-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, МЭЗ-04 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, Э42А, 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 обозначается буквой Э и цифрой, указывающий 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.

Механические свойства металлов шва и наплавленного при дуговой сварке металлическими электродами указаны в таблицах 2.2., 2.3

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

Наиболее распространенные марки электродов для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей приведены в таблице 2.4

Согласно ГОСТ 10052-75 «**Электроды покрытые металлическими для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы**» для сварки коррозионно-стойких, жаропрочных и жаростойких сталей предусмотрены 49 типов электродов.

Механические свойства металлов шва и наплавленного при дуговой сварке металлическими электродами для высоколегированных сталей указаны в таблице 2.5

Наиболее распространенные марки электродов для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами приведены в таблице 2.6

Таблица 2.2

**Механические свойства металла шва, наплавленного при
дуговой сварке металлическими электродами для
конструкционных сталей**

Тип электрода	Временное сопротивление разрыву, МПа	Металл шва и наплавленный		Угол загиба для металла соединения, сваренного электродами диаметрами менее 3 мм, град
		Относительное удлинение δ , МПа	Ударная вязкость, Дж/см ²	
Э38	370	14	29	60
Э42	410	18	78	150
Э46	450	18	78	150
Э50	490	16	69	120
Э42А	410	22	147	180
Э46А	450	22	137	180
Э50А	490	20	127	150
Э55	540	20	117	150
Э60	590	18	98	120
Э70	690	14	59	-
Э85	840	12	49	-
Э100	980	10	49	-
Э125	1225	8	39	-
Э150	1470	6	39	-

Таблица 2.3

**Механические свойства металла шва, наплавленного при
дуговой сварке металлическими электродами для
легированных теплоустойчивых сталей**

Тип электрода	Временное сопротивление на разрыв, МПа	Относительное удлинение δ , МПа	Ударная вязкость, Дж/см ²
Э09М	440	18	98
Э09МХ	450	18	88
Э09Х1М	470	18	88
Э05Х2М	470	18	88
Э09Х2М1	490	16	78
Э09Х1МФ	490	16	78
Э10Х1М1НФБ	490	15	69
Э10Х3М1БФ	540	14	59
Э10Х5МФ	540	14	59

Таблица 2.4

**Марки электродов для сварки конструкционных и
теплоустойчивых сталей**

Тип электродов по ГОСТ 9467-75	Марка электродов
Э42	АНО-1, АНО-5, АНО-6, СМ-5, ВСЦ-2, ВСЦ-4
Э46	ЦМ-9, АНО-4, ОЗС-12, МР-3
Э50	ВСН-3, ВСЦ-3
Э42А	СМ-11, ОЗС-2, УП-1/45, УП-2/45
Э46А	ИТС-1, УОНИИ-13/45
Э50А	УОНИИ-13/55, АНО-9, УП-2/55, ЦУ-1, ДСК-50
Э55	УОНИИ-13/55У
Э60	УОНИИ-13/65
Э70	Н-1, ЛКЗ-70
Э85	УОНИИ-13/85, ЦЛ-18
Э100	ВИ-10-6, У-340/105, ЦЛ-19
Э125	НИАТ-3М
Э150	НИАТ-3
Э09М	УОНИИ-13/45М
Э09МХ	УОНИИ-13/45МХ, ЦУ-2МХ, ЦЛ-14
Э09Х1М	ЦУ-2ХМ, ЦЛ-38, Н-3
Э05Х2М	Н-10
Э09Х2М1	ЦЛ-55
Э09Х1МФ	ЦЛ-20, Н-6
Э10Х1М1НФБ	ЦЛ-36
Э10Х3М1БФ	ЦЛ-26М
Э10Х5МФ	ЦЛ-17

Таблица 2.5

**Механические свойства металла шва, наплавленного при
дуговой сварке металлическими электродами для
высоколегированных сталей**

Тип электрода	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение δ , МПа	Ударная вязкость, Дж/см ²
Э-12Х13	590	16	49
Э-06Х13Н	640	14	49
Э-10Х17Т	640	-	-
Э-12Х11НМФ	690	15	49
Э-12Х11НВМФ	740	14	49
Э-14Х11НВМФ	740	12	39
Э-10Х16Н4Б	980	8	39
Э-08Х24Н6ТАФМ	690	15	49
Э-04Х20Н9	540	30	98
Э-07Х20Н9	540	30	98
Э-02Х21Н10Г2	540	30	98
Э-06Х22Н9	640	20	-
Э-08Х16Н8М2	540	30	98
Э-08Х17Н8М2	540	30	98
Э-06Х19Н11Г2М2	490	25	88
Э-02Х20Н14Г2М2	540	25	98
Э-02Х19Н9Б	540	30	118
Э-08Х19Н10Г2Б	540	24	78
Э-08Х20Н9Г2Б	540	22	78
Э-10Х17Н13С4	590	15	39
Э-08Х19Н10Г2МБ	590	24	69
Э-09Х19Н10Г2М2Б	590	22	69
Э-08Х19Н9Ф2С2	590	25	78
Э-08Х19Н9Ф2Г2СМ	590	22	78
Э-09Х16Н8Г3М3Ф	640	28	59
Э-09Х19Н11Г3М2Ф	570	22	49
Э-07Х19Н11М3Г2Ф	540	25	78
Э-08Х24Н12Г3СТ	540	25	88
Э-10Х25Н13Г2	540	25	88
Э-12Х24Н14С2	590	24	59

Э-10Х25Н13Г2Б	590	25	69
Э-10Х28Н12Г2	640	15	49
Э-03Х15Н9АГ4	590	30	118
Э-10Х20Н9Г6С	540	25	88
Э-28Х24Н16Г6	590	25	98
Э-02Х19Н15Г4АМЗВ2	640	30	118
Э-02Х19Н18Г5АМЗ	590	30	118
Э-11Х15Н25М6АГ2	590	30	98
Э-09Х15Н25М6Г2Ф	640	30	98
Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т	640	20	49
Э-04Х16Н35Г6М7Б	590	25	78
Э-06Х25Н40М7Г2	590	30	118
Э-08Н60Г7М7Т	440	20	98
Э-08Х25Н60М10Г2	640	24	118
Э-02Х20Н60М16В3	690	15	69
Э-04Х10Н60М24	590	15	-
Э-08Х14Н65М15В4Г2	540	20	98
Э-10Х20Н70Г2М2В	-	-	-
Э-10Х20Н70Г2М2Б2В	640	25	-

Таблица 2.6

Марки электродов для сварки высоколегированных сталей

Тип электродов	Марка электродов
Э-12Х13	УОНИИ/10Х13
Э-06Х13Н	ЦЛ-41
Э-10Х17Т	УОНИИ/10Х17
Э-12Х11НМФ	КТИ-9
Э-12Х11НВМФ	КТИ-10
Э-14Х11НВМФ	ЦЛ-32
Э-10Х16Н4Б	УОНИИ-13/ЭП-65
Э-08Х24Н6ТАФМ	08Х25Н5ТМФ/48
Э-04Х20Н9	ОЗЛ-14
Э-07Х20Н9	ОЗЛ-8, ОЗЛ-14-1
Э-02Х21Н10Г2	ОЗЛ-22
Э-06Х22Н9	ЦЛ-33
Э-08Х16Н8М2	ЦТ-26
Э-08Х17Н8М2	ЦТ-26-1

Э-06Х19Н11Г2М2	ЦЛ-4, НИАТ-1, ЭНТУ-3М
Э-02Х20Н14Г2М2	ОЗЛ-20
Э-02Х19Н9Б	АНВ-13
Э-08Х19Н10Г2Б	ЦТ-15, ЗИО-3
Э-08Х20Н9Г2Б	ЦЛ-11, ЦТ-15-1, ОЗЛ-7
Э-10Х17Н13С4	ОЗЛ-3, ОЗЛ-29
Э-08Х19Н10Г2МБ	ЭА-898/21Б
Э-09Х19Н10Г2М2Б	ЭА-400/13, ЭА-902/14, СЛ-28
Э-08Х19Н9Ф2С2	ЭА-606/11, ГЛ-2
Э-08Х19Н9Ф2Г2СМ	ЭА-606/10
Э-09Х16Н8Г3М3Ф	ЦТ-1
Э-09Х19Н11Г3М2Ф	КТИ-5
Э-07Х19Н11М3Г2Ф	ЭА-400/10Т, ЦТ-7
Э-08Х24Н12Г3СТ	М22
Э-10Х25Н13Г2	ЗИО-8, ЦЛ-25
Э-12Х24Н14С2	ОЗЛ-5, ЦТ-17
Э-10Х25Н13Г2Б	ЦЛ-9
Э-03Х15Н9АГ4	АНВ-24
Э-10Х20Н9Г6С	ЭА-478/3, СЛ-16
Э-28Х24Н16Г6	ОЗЛ-9, ОЗЛ-9А
Э-02Х19Н15Г4АМЗВ2	АНВ-20
Э-02Х19Н18Г5АМЗ	АНВ-17
Э-11Х15Н25М6АГ2	ЭА-395/9, ЦТ-10, НИАТ-5
Э-09Х15Н25М6Г2Ф	ЭА-981/15
Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т	КТИ-7
Э-04Х16Н35Г6М7Б	ЭА-855/51
Э-06Х25Н40М7Г2	АНЖР-2
Э-08Н60Г7М7Т	ЦТ-36
Э-08Х25Н60М10Г2	АНЖР-1
Э-02Х20Н60М16В3	ОЗЛ-21
Э-04Х10Н60М24	ИМЕТ-10
Э-08Х14Н65М15В4Г2	ЦТ-28
Э-10Х20Н70Г2М2В	ОЗЛ-25
Э-10Х20Н70Г2М2Б2В	ОЗЛ-25Б

Классификация электродов. Электроды для ручной дуговой сварки по ГОСТ 9466-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки и наплавки. Классификация, размеры и общие требования» классифицируются по следующим признакам:

1. По металлу, для сварки которого они предназначены:

а) для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей (условное обозначение - "У");

- б) для сварки легированных конструкционных сталей - "Л";
 в) для сварки теплоустойчивых сталей - "Т";
 г) для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами - "В";
 д) для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами - "Н".

2. По толщине покрытия в зависимости от отношения полного диаметра "D" к диаметру стержня "d" покрытие электрода разделяются на следующие виды:

- 1) $D/d \leq 1,2$ – с тонким покрытием, - "М"
- 2) $1,2 \leq D/d \leq 1,45$ - со средним покрытием, - "С"
- 3) $1,45 \leq D/d \leq 1,8$ - с толстым покрытием, - "Д"
- 4) $D/d \geq 1,8$ - с особо толстым покрытием, - "Г"

3. По качеству электродного покрытия в зависимости от содержания серы и фосфора в наплавленном металле (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Предельное содержание серы и фосфора в наплавленном металле, %

Тип элек- трода	Сера			Фосфор		
	Группа электродов					
	1	2	3	1	2	3
Э38 Э42 Э46 Э50	0,045	0,040	0,035	0,050	0,045	0,040
Э42А Э46А Э50А Э55 Э60						
Э70 Э85 Э100 Э125 Э150	0,035	0,030	0,025	0,040	0,035	0,030
						0,035

4. По виду покрытия:
- а) с кислым покрытием - "А";
 - б) с основным покрытием - "Б";
 - в) с целлюлозным покрытием - "Ц";
 - г) с рутиловым покрытием - "Р";
 - д) с покрытием смешанного типа – двойное обозначение (например, АЦ)
5. По допустимым пространственным положениям.
- а) для всех положений - "1";
 - б) для всех положений, кроме вертикального сверху вниз - "2";
 - в) для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх - "3"
 - г) для нижнего и нижнего в лодочку - "4".
6. По роду и полярности тока, а также номинальному напряжению холостого хода (таблица 2.8).

Таблица 2.8

Обозначение электродов по применяемому току и напряжению

Рекомендуемая полярность	Номинальное напряжение холостого хода U_{xx} , В	Цифровое обозначение
обратная	-	0
любая	50±5	1
прямая	50±5	2
обратная	50±5	3
любая	70±10	4
прямая	70±10	5
обратная	70±10	6
любая	90±5	7
прямая	90±5	8
обратная	90±5	9

Маркировка электродов. Полное условное обозначение электродов должно содержать следующие данные (рис. 2.3):

- 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.

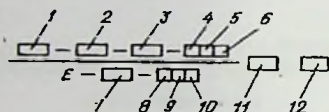


Рис. 2.3. Условное обозначение электродов

Например, для электродов типа Э46 А (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:

$$\frac{\text{Э46А} - \text{УОНИ} - 13/45 - 3,0 - \text{УД2}}{\text{Е} - 432(5) - \text{Б10}} \text{ГОСТ9466} - 75, \text{ГОСТ9467} - 75$$

Электроды для ручной дуговой сварки чугуна и цветных металлов

В таблицах 2.9 и 2.10 даны характеристики электродов для сварки чугуна, цветных металлов и их сплавов.

Таблица 2.9

Характеристика электродов для сварки и наплавки чугуна

Марка электрода	Материал сердечника	Ток и полярность	Положение сварки	Коэффициент наплавки, $\varepsilon/(A \cdot ч)$
ОМЧ-1	Прутки марки ПЧЗ	Постоянный, обратная полярность	нижнее	15,2
МНЧ-1	НМЖМц28-2,5-1,5 МНМц40-1,5		Нижнее, вертикальное и полу-потолочное	-
МНЧ-2	НМЖМц28-2,5-1,5		Нижнее, вертикальное и полу-потолочное	11-12
ОЗЧ-1	Медная проволока (ГОСТ 2112-79)		Нижнее, вертикальное и полу-потолочное	-
ОЗЧ-2	Медная проволока (ГОСТ 2112-79)		Нижнее и вертикальное	13-14
АНЧ-1	СВ-04Х19Н9в оболочке из меди М2 или М3		Нижнее и вертикальное	13-14
ЦЧ-4	Св-08 и СВ-08А		Нижнее	-
ЦЧ-3А	Св-08Н50		нижнее	-

Характеристика электродов для сварки цветных металлов

Марка электрода	Материал сердечника	Ток и полярность	Положение сварки	Коэффициент наплавки, $z/(A \cdot ч)$
Алюминий и его сплавы				
ОЗА-1	Св-А97	Постоянный, обратная полярность	нижнее	6,32
АФ-4аКр	Св-А97			7,5-7,8
А-2	Св-АМц, Св-АК5			7,5-7,8
ОЗА-2	Св-АК5			6,25-6,5
Медь и её сплавы				
К-100	Медная проволока (ГОСТ 2112-79)	Постоянный, обратная полярность	нижнее	14
МН-5	Проволока МНЖ5-1			12
АНМц/ЛКЗ-АБ	Проволока МНЖКТ5-1-0,2-0,2			16,5
Сплавы на основе никеля				
МЗОК	НМЖМц28-2,5-1,5	Постоянный, обратная полярность	нижнее	13
ХН-1	НМц5			14

Изготовление электродов. С помощью специальных станков проволока для электродов предварительно правится (рис. 2.4), рубится на стержни требуемой длины (рис. 2.5) и тщательно очищается от окалины, ржавчины, масла и других загрязнений.

Чтобы входящие в состав покрытия вещества за короткое время образования капли расплавленного металла успели вступить в химическую реакцию с жидким металлом, твердые составные части покрытия предварительно промываются (кусковое рудо-минеральное сырье), дробятся (рис. 2.6, 2.7), сушатся, а затем подвергаются тонкому измельчению в шаро-

вых, стержневых и вибрационных мельницах (рис. 2.8) и просеиваются через сита (рис. 2.9) с размером отверстий от 140 мк и менее.

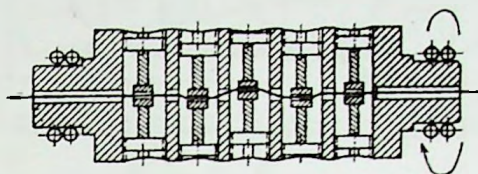


Рис. 2.4. *Схема правки электродной проволоки.*

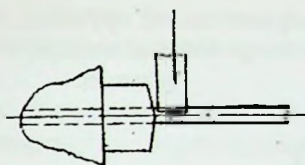


Рис. 2.5. *Схема рубки электродной проволоки гильотинными ножами*

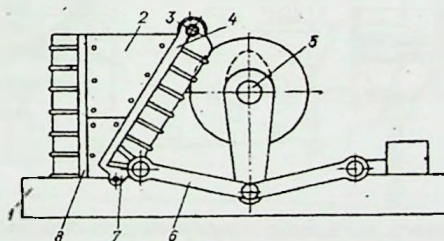


Рис. 2.6. *Щековая дробилка для крупного дробления:*
 1 – рама; 2 – броневая плита; 3 – ось подвижной щеки;
 4 – подвижная щека; 5 – эксцентриковый вал; 6 – шатун;
 7,8 – сменные дробящие плиты.

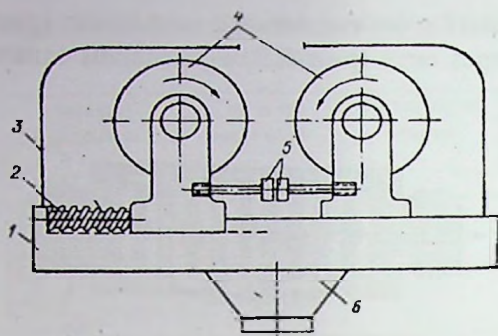


Рис. 2.7. Дробилка с гладкими валками для среднего дробления:
1 – рама; 2 – предохранительная пружина; 3 – предохранительный кожух; 4 – валки; 5 – резиновые буфера; 6 – сборник продуктов размола.

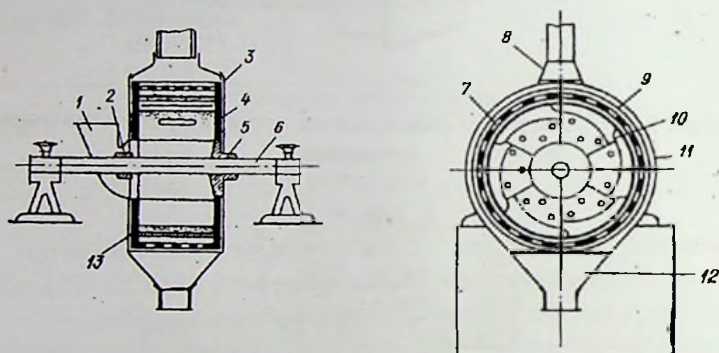


Рис. 2.8. Шаровая мельница непрерывного действия для тонкого измельчения:

- 1 – загрузочная воронка, 2 и 5 ступицы для крепления корпуса к валу, 3 – стенки, 4 и 13 – защитные плиты, 6 – вал,
7 – предохранительное сито, 8 – вентиляционный патрубок,
9 – сито, 10 – плиты, 11 – кожух, 12 – разгрузочная воронка

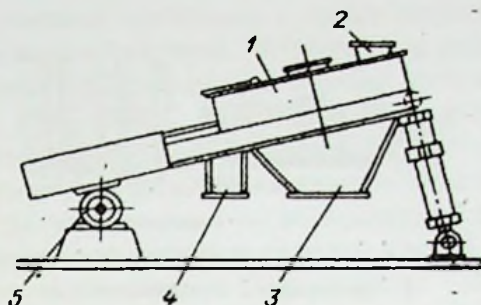


Рис. 2.9. Вибрационное сито:

- 1 – короб с сетками; 2 – труба для подачи материала на сито;
 3 – выход годного продукта, 4 – труба для выхода отсева,
 5 – электромагнитный привод.

Подготовленные составные части покрытия отвешиваются в нужной пропорции и перемешиваются в смесителе (рис. 2.10).

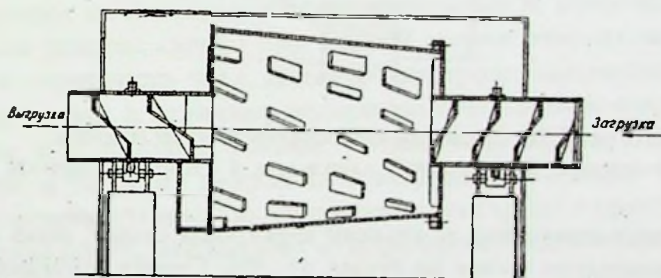


Рис. 2.10. Барабанный смеситель

В специальном отделении готовят водный раствор жидкого стекла из силикатной глыбы (рис. 2.11).

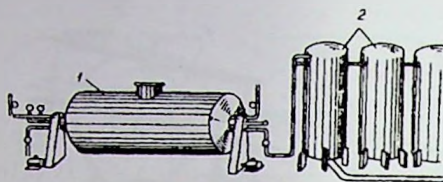


Рис. 2.11. *Схема процесса производства жидких стекол:*
1 — автоклав; 2 — отстойники

Сухие части покрытия замешивают на растворе жидкого стекла до нужной густоты и покрытие наносят на проволоку под давлением 75—100 МПа на обмазочных прессах (рис. 2.12).

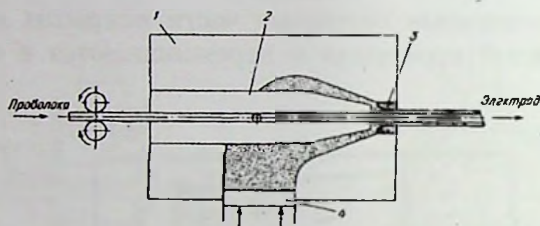


Рис. 2.12. *Схема электрообмазочной головки:*
1 — корпус; 2 — втулка; 3 — фильера; 4 — поршень пресса.

После нанесения покрытия электроды сушат, пока влажность покрытия будет не более 4—5%. Сушка производится сначала на воздухе при температуре 25—30° С в течение 12—25 ч, а затем в сушильных электрических шкафах при температуре 150—300° С в течение 1—2 ч. Электроды, содержащие органические элементы, прокаливают при температуре не выше 150—200° С во избежание выгорания органических примесей.

Хранят готовые электроды в сухих помещениях с нормальной влажностью воздуха. Электроды с отсыревшим покрытием нужно перед сваркой в течение часа прокалить при температуре 180—200°C. Качество готовых электродов проверяется наплавкой и сваркой контрольных образцов с последующим испытанием их на прочность и пластичность.

Электроды упаковывают в водонепроницаемую бумагу или полиэтиленовую пленку и пачками массой 3—8 кг укладывают в деревянные ящики. Масса ящика — от 30 до 50 кг. На каждой пачке имеется этикетка, содержащая наименование завода-изготовителя, условное обозначение электрода, область применения, режимы сварки, обработки и механические показатели сварного шва, свойства наплавленного и коэффициент наплавки.

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. 2.11.)

При большом диаметре электрода повышается производительность сварки, но возможно проплавление свариваемого металла, затрудняется выполнение швов в вертикальном и потолочном положениях, возможен непровар корня шва. По-

этому 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.

Таблица 2.11.

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

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 вертикальным расположенным электродом или при его наклоне относительно шва углом вперед или назад (рис. 2.13).

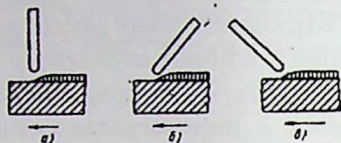


Рис. 2.13. *Различное положение электродов при сварке:*
а – вертикальное, б – углом вперед; в – углом назад

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. 2.14): 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.

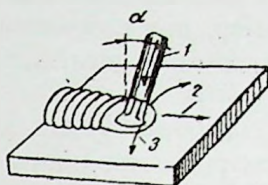


Рис. 2.14. *Перемещение электрода в трех направлениях.*

Схемы движений конца электрода при наплавке уширенных валиков показаны на рис. 2.15.

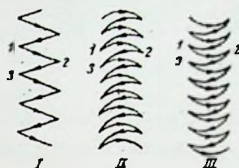


Рис. 2.15. *Колебательные движения концом электрода при наплавке уширенных валиков:*

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, по-

нижается производительность сварки. На рис. 2.16, а показаны движения концом электрода, необходимые для прогревания обеих кромок, на рис. 2.16, б—для прогревания только одной кромки (например, при сварке листов разной толщины). Для прогревания середины шва электрод перемещают по схеме, данной на рис. 2.16, 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».

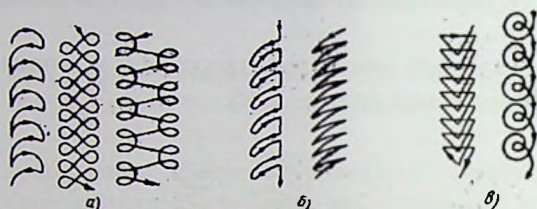


Рис. 2.16. Особые случаи движения электрода:

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?
4. Какими характеристиками определяются свойства электродов?

5. Какие компоненты входят в состав покрытия электродов?
6. Как классифицируются покрытия электродов?
7. Приведите марки электродов с кислым покрытием?
8. Каковы преимущества и недостатки кислого покрытия?
9. Приведите марки электродов с основным покрытием?
10. В чем состоит преимущество основного покрытия перед другими марками?
11. В чем состоят особенности рутилового покрытия?
12. Каково назначение электродов с целлюлозным покрытием?
13. Чем отличаются целлюлозные покрытия от других?
14. Какие вы знаете ГОСТы на электроды?
15. Чем отличаются электроды Э42А от Э42?
16. По каким признакам классифицируются электроды?
17. Как обозначаются типы покрытий электрода?

ГЛАВА 3. СВАРКА В СРЕДЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА

3.1. Сущность дуговой 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.

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.

Преимущества сварки в защитных газах следующие:

- нет необходимости применять флюсы или покрытия, следовательно, не требуется очищать швы от шлака;

- высокая производительность и степень концентрации тепла источника позволяет значительно сократить зону структурных превращений;
- незначительное взаимодействие металла шва с кислородом и азотом воздуха;
- возможность механизации и автоматизации процессов.

Классификация способов дуговой сварки в защитных газах приведена на рис. 3.1.

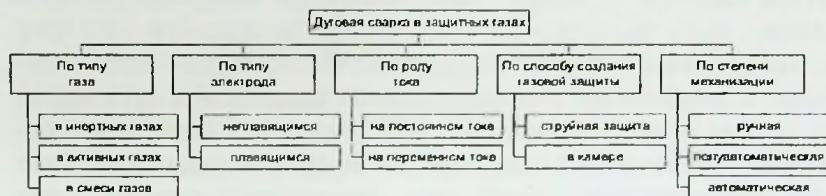


Рис. 3.1. Классификация способов сварки в защитных газах

3.2. 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 иониза-

цию 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.

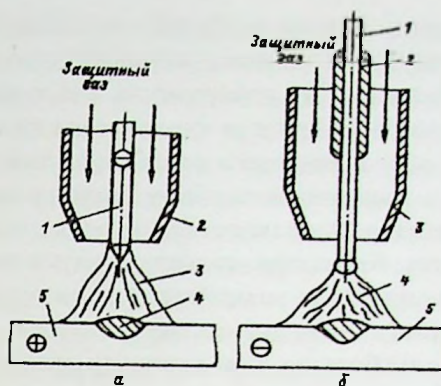


Рис. 3.2. *Схема процесса сварки в среде защитных газов:*
 а – неплавящимся электродом; б – плавящимся электродом;
 1 – электрод; 2 – сопло; 3 – дуга; 4 – металл шва; 5 – изделие.

3.3. 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 взаимо-

действия 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.

3.4. Неплавящиеся электроды

В качестве неплавящихся электродов для дуговой резки и сварки используются угольные электроды по ГОСТ 10720-75, а также графитовые и вольфрамовые.

Материал неплавящегося электрода не должен участвовать в формировании состава наплавленного металла или металла шва. Основной задачей неплавящихся электродов является обеспечение устойчивого горения дуги при минимальном их расходе.

ГОСТ 10720-75 регламентирует изготовление омеднённых и неомедненных угольных электродов, применяемых для воздушно-дуговой резки металлов, удаления прибылей и дефектов отливок, удаления прихваток и сварных швов при силе тока до 580 А, для сварки металлов и других работ. В зависимости от назначения и сечения угольных электродов ГОСТ 10720-75 предусматривает изготовление электродов трех марок: ВДК - воздушно-дуговые круглые; ВДП - воздушно-дуговые плоские; СК - сварочные круглые.

Электроды марки ВДК выпускаются с номинальными диаметрами 6, 8, 10 и 12 мм при длине 300 мм. Электроды марки ВДП выпускаются номинальным сечением 12×5 мм и 18×5 мм при длине 350 мм. Электроды марки СК выпускаются с номинальными диаметрами 4, 6, 8, 10, 15 и 18 мм при длине 250 мм. Длина неомедненной части омедненных угольных электродов всех марок не должна превышать 30 мм.

Пример: Электрод ВДК 6 ГОСТ 10720-75 - электрод воздушно-дуговой диаметром 6 мм.

Электрод ВДП 12×5 ГОСТ 10720-75 - электрод воздушно-дуговой плоский шириной 12 мм и высотой 5 мм.

Электроды изготавливаются из прессованного угля или кокса специального состава. Конец электрода затачивается на конус углом 60—70°. Электрод должен быть правильной формы, с гладкой поверхностью и не иметь трещин. Хорошо обожженный угольный электрод при ударе дает чистый металлический звук и не растрескивается во время сварки; угольный электрод, если им провести по бумаге, не оставляет черты.

Сварку угольными электродами производят на постоянном токе прямой полярности (минус на электроде). Длина дуги составляет от 6 до 15 мм. Дуга легко зажигается и обладает большой устойчивостью. При обратной полярности дуга становится неустойчивой, электрод сильно обгорает, а свариваемый металл науглераживается. Благодаря указанным при-

знакам горения дуги при использовании угольного электрода можно легко определить полярность тока в сварочной цепи.

Графитовые электроды изготавливаются из угольных посредством с дополнительной высокотемпературной обработки графитизации. Графитизация осуществляется длительной выдержкой угольных стержней при 2500° - 2600°C . Нагрев обеспечивается пропусканием по стержням тока достаточно большой силы. Эта операция является весьма энергоемкой и стоимость графитовых электродов в связи с этим значительно выше угольных. Задача такой обработки сводится к перестройке относительно хаотичного расположения атомов в атмосферном углероде в строгую кристаллическую решетку графита строение в виде правильных шестиугольников, с постоянными параметрами решетки - расстоянием между атомами в каждом слое и между слоями.

Графитовые электроды чище по химическому составу, более мягки, имеют серый с металлическим блеском цвет, на бумаге оставляют черную черту. Они лучше угольных, так как их омическое сопротивление в 4 раза ниже; поэтому графитовые электроды меньше нагреваются при дуговой сварке и резке, меньше окисляются (сгорают) и допускают применение тока большей плотности.

Вольфрамовые электроды являются более удобными для большинства сварочных работ. Вольфрам один из наиболее тугоплавких металлов. Вольфрамовые стержни изготавливаются из порошка после его просеивания и спекания.

Вольфрамовые электроды изготавливаются:

из лантанированного вольфрама (с добавкой окиси лантана до 2%);

из иттрированного вольфрама (с добавкой окиси иттрия до 2%);

из торированного вольфрама (с добавкой двуокиси тория до 1,5%);

из вольфрама без специальных добавок.

Вольфрамовые электроды при сварке используют как катод, т.к. при использовании их как анода они быстро расходуются. По этой причине сварка неплавящимся вольфрамовым электродом постоянным током обратной полярности практически не применяется. В некоторых случаях вольфрамовые электроды достаточно стойки и в дуге переменного тока.

Усиливается расход вольфрамового электрода плавлением из-за образования на его торце более легкоплавких сплавов вольфрама с составляющими свариваемого металла при:

- прямом контакте электрода со свариваемым изделием при коротких замыканиях при зажигании дуги;
- конденсация паров и попадании капель из сварочной ванны на торец электрода.

Поэтому дугу зажигают на угольной пластине или наложением в момент зажигания на дуговой промежуток высокого напряжения большой частоты, вызывающего пробой без контакта (с помощью осциллятора).

Для бесконтактного зажигания дуги и ее стабилизации в составе электрода должны быть составляющие с малой работой выхода электрона.

С этой целью в состав вольфрамового электрода вводят двуокись тория. Торированные электроды более стойкие против оплавления торца и дают в швах меньшее количество вольфрамовых включений, получающихся при падении капель с электрода в сварочную ванну. Однако торированные электроды в связи с естественной радиоактивностью тория требуют применения мер предосторожности, определяемыми санитарными правилами использования радиоактивных веществ.

Вольфрамовые электроды весьма чувствительны к окислению, даже при наличии относительно небольших количеств кислорода в газовой фазе дуги. Образующийся

окись вольфрама с низкой температурой плавления приводит к интенсивному расходованию электрода.

3.5. 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 нержавеющих 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 проплавливающая способность дуги резко увеличивается. Поэтому целесообразно применять гелий там, где необходима меньшая ширина и большая глубина проплавленного 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.

3.6. 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. 3.3), содержат следующие основные элементы: горелку 1 с держателем, шланг для подвода к горелке электродной проволоки, механизм подачи проволоки 2 с катушки 3, электродную проволоку 4 и блок управления полуавтоматом 5.

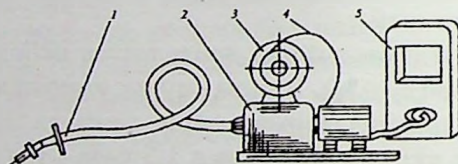


Рис. 3.3. Схема шлангового полуавтомата:

- 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. Какие газы являются инертными и какие активными?
5. Что входит в комплект оборудования и аппаратуры для дуговой сварки в защитных газах?

ГЛАВА 4. ДУГОВАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

4.1. 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 металлом. 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.

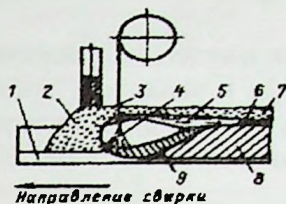


Рис. 4.1. Схема сварки под флюсом:

- 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.

4.2. 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. 4.1.

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 4.1

Обозначение легирующих элементов

Наименование	Условное обозначение элемента по таблице Менделеева	При маркировке металла
Азот	N	А*
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 плавленных флюсов приведен в таблице 4.2

Таблица 4.2

Состав сварочных плавяных флюсов, %

Марка флюса	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	Fe ₂ O	S	P
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	0,1 5	0,1 2
ОСЦ-45	38,0- 44,0	38,0- 44,0	≤6, 5	≤2,5	≤5,0	6,0- 9,0	2,0	0,1 5	0,1 5
АН-348-АМ	41,0- 44,0	34,0- 38,0	≤6, 5	≤4,5	≤4,5	3,5- 4,5	2,0	0,1 5	0,1 2
ОСЦ-45М	38,0- 44,0	38,0- 44,0	≤6, 5	≤2,5	≤5,0	6,0- 9,0	2,0	0,1 5	0,1 0
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	0,1 5	0,1 5
ФЦ-9	38,0- 41,0	38,0- 41,0	≤6, 5	≤2,5	10,0- 13,0	2,0- 3,0	2,0	0,1 0	0,1 0
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	0,1 5	0,1 5
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	0,0 8	0,0 5
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	0,0 5	0,0 5
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	0,1 0	0,1 0

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, коррозионстойких 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 плавяных флюсов:

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

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 песчах; 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. 4.2). 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 - "пемзовидным". 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.

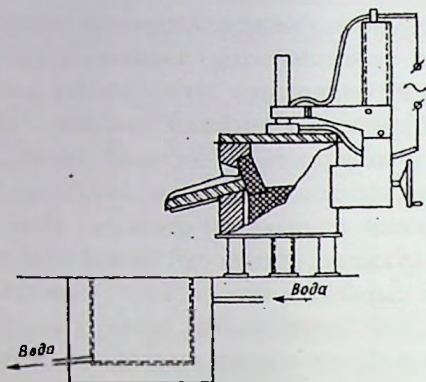


Рис. 4.2. Электрическая печь для плавки флюса с баком для грануляции по мокрому способу.

Строение и цвет, размер зерен и объемная масса сварочных плавяных флюсов приведены в таблице 4.3

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).

Таблица 4.3

Строение, цвет, размер зерен и объемная масса сварочных плавленых флюсов

Марка флюса	Строение зерен	Цвет зерен	Размер зерен, мм	Объемная масса, кг/дм ³
АН-348-А	Стекловидное	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	Пемзовидное	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	Стекловидное	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

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 влагостойкость.

Производство керамических флюсов. Исходные материалы (кремнезем, марганцевую руду, плавиковый 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. 4.3), получают шарообразные гранулы (соединения). Сырые гранулы (соединения) поступают на сушку и прокалку.

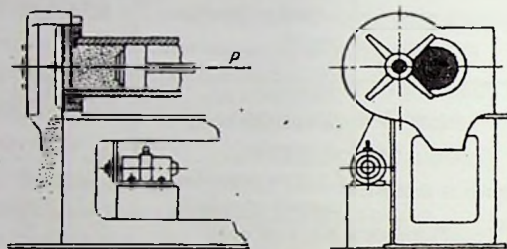


Рис. 4.3. Гранулятор для изготовления керамических флюсов.

4.3. Оборудование, применяемое при сварке под слоем флюса

Для выполнения механизированной дуговой сварки под флюсом необходим комплекс оборудования: источник пита-

ния, 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. 4.4).

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

Сварочный аппарат, перемещающийся в процессе выполнения сварного соединения вдоль кромок или непосредственно по поверхности изделия, или по переносному пути, называют *сварочным трактором* (рис. 4.5).

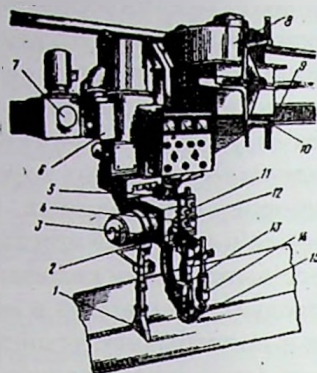


Рис. 4.4. Автомат для электродуговой сварки:

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

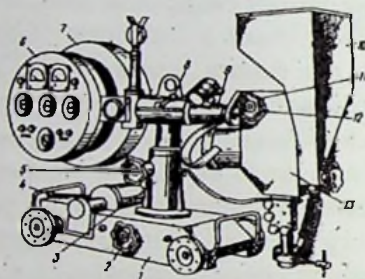


Рис. 4.5. Сварочный трактор:

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.

Сварочную головку с системой механизмов корректировок, бункером для флюса и с кассетой для проволоки, закрепленной 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.

Устройство, в котором механизирована только подача электродной проволоки, а перемещение дуги вдоль свариваемых кромок выполняет сварщик вручную, называют *шланговым полуавтоматом* (рис. 4.6).

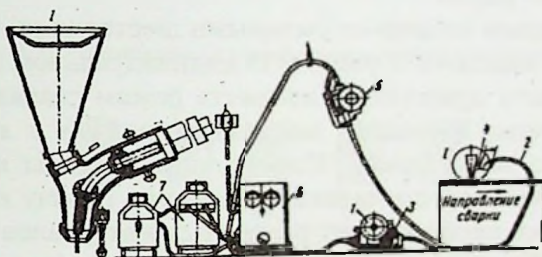


Рис. 4.6. Полуавтомат для сварки под флюсом:

- 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. 4.6) 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.

Основные элементы и узлы сварочных аппаратов.

Механизм подачи электродной проволоки состоит из привода и системы подающих роликов. Привод обеспечивает вращение подающего ролика с заданной скоростью и настройку заданной скорости подачи электродной проволоки. В качестве приводов механизмов подачи используют асинхронный двигатель и редуктор со сменными шестернями или коробкой скоростей. Аппараты с механизмами подачи со сменными шестернями широко применяют в серийном или массовом производстве, где режим сварки перестраивается относительно редко.

Механизмы подачи со сменными шестернями просты по устройству, надежны в работе. В индивидуальном производстве, где часто приходится изменять режим сварки, используют аппараты, имеющие механизмы подачи с коробками скоростей, с вариаторами. Конструкция системы подающих роликов должна обеспечивать стабильную подачу из кассеты в зону сварки проволоки из различных материалов и разных диаметров без ее значительной деформации (рис. 4.7). Используют цилиндрические ролики с насечкой, с гладкой канавкой, с канавкой и насечкой, обрешиненные ролики, шестерчатые ролики с канавкой и др. (рис. 4.8).

Токоподводящие мундштуки служат для направления электрода в зону сварки и подвода к нему тока. Мундштуки бывают роликовыми, колодочными, трубчатыми и сапожковыми (рис. 4.9). Сапожковые мундштуки обычно устанавливают на аппаратах, предназначенных для работы с проволокой малых диаметров (до 2 мм). Роликовые, колодочные и

трубчатые мундштуки применяют при сварке проволокой диаметром 3—6 мм.

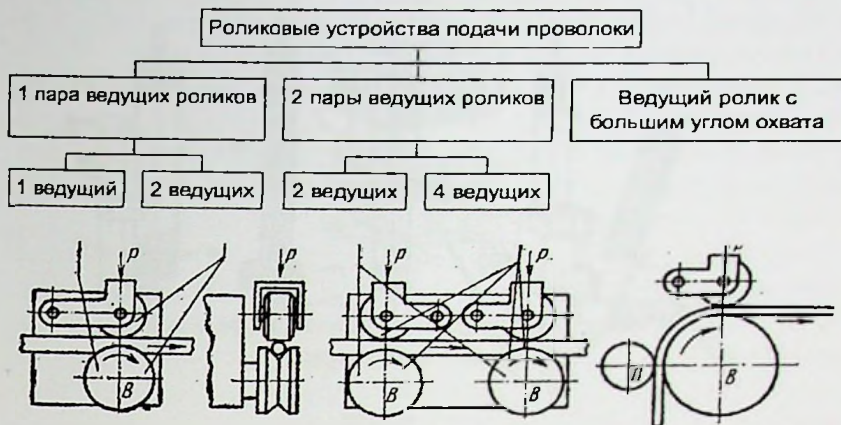


Рис. 4.7. Роликовые устройства подачи проволоки

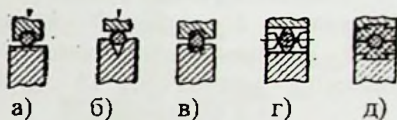


Рис. 4.8. Типы подающих роликов:

а — ролик цилиндрический с насечкой; б — гладкий ролик с канавкой; в — ролик с насеченной канавкой; г — шестеренчатый ролик с канавкой; д — ролик цилиндрический обрезиненный.

Правильные механизмы предназначены для правки электродной проволоки. Проволоку пропускают через систему свободно вращающихся роликов, расположенных таким образом, чтобы обратным изгибом проволоки компенсировать ее кривизну. В большинстве современных сварочных аппаратов установлены механизмы для правки проволоки только в

одной плоскости. Разработаны конструкции для правки в двух и более плоскостях.

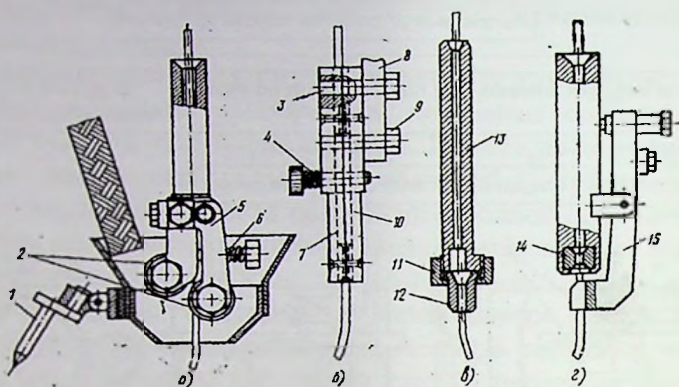


Рис. 4.9. Токоподводящие мундштуки:

а – роликовый; б – колодочный; в – трубчатый; г – сапожковый:
 1 – указатель, 2 – контактирующие ролики; 3 – направляющий штырь; 4, 6 – пружины, 5 – корпус, 7 – колодка подвижная, 8 – токоподвод, 9 – крепление токоподвода, 10 – неподвижная колодка, 11 – гайка, 12 – наконечник, 13 – трубка, 14 – вставка, 15 – токоподвод.

Кассеты для проволоки. Наибольшее распространение при сварке проволокой 3—5 мм получили кассеты закрытого типа. На шланговых аппаратах (проволока диаметром до 2 мм) устанавливают как правило кассеты открытого типа (рис. 4.10).

Механизмы перемещения служат для перемещения сварочной дуги с заданной скоростью, для возвращения сварочного аппарата в исходное положение вручную или с маршевой скоростью. В качестве механизма перемещения чаще всего используют трех- или четырехколесную тележку, перемещающуюся по специальным направляющим или по изделию.

Скорость перемещения можно настраивать сменными шестернями, сменными ходовыми колесами или изменением числа оборотов двигателя постоянного тока.

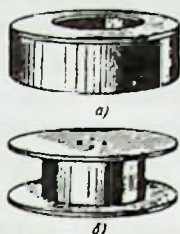


Рис. 4.10. Кассеты для сварочной проволоки:
а – закрытая; б – открытая

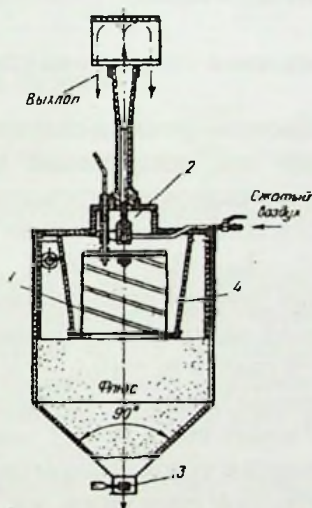


Рис. 4.11. Флюсоаппарат всасывающего действия:
1 – фильтр; 2 – вакуум – камера; 3 – ссыпной патрубок, 4 – циклон.

Флюсоаппараты служат для подачи флюса в зону сварки и сбора неиспользованного флюса после сварки. На сварочных тракторах, на держателях шланговых аппаратов устанавливают бункер для подачи флюса в зону сварки. На подвесных самоходных сварочных аппаратах смонтированы флюсоаппараты, которые служат и для подачи, и для сбора флюса. Эти флюсоаппараты бывают трех систем: всасывающие, нагнетательные и всасывающе-нагнетательные (рис. 4.11). Флюсоаппараты подключают к сети сжатого воздуха давлением 0,5—0,6 МПа.

Механизмы корректировки служат для установки до сварки и корректировки во время сварки положения сварочной дуги относительно свариваемых кромок. В зависимости от конструкции аппарата эти корректировки можно выполнять вручную или автоматически.

4.4. 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

$$d_s = 4,13\sqrt{I_{св}/j},$$

где j — допустимая плотность тока, А/мм².

Допустимая плотность тока для различных диаметров электрода зависит от диаметра электрода (табл. 4.4).

Таблица 4.4

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 4.5):

Таблица 4.5

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:

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

4.5. 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. 4.12).

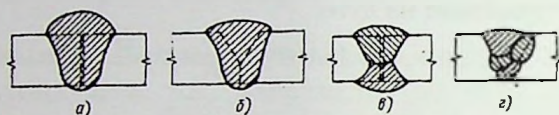


Рис. 4.12. *Виды стыковых швов, выполненных под флюсом:*

- 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. 4.13, а) применяют при сварке тонких листов, при этом требуются достаточно точная сборка и надежное прижатие кромок к медной под-

кладке 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.

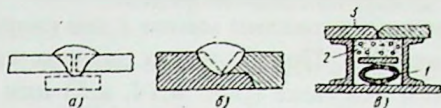


Рис. 4.13. Схема автоматической сварки под флюсом:

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. 4.13, 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. 4.13, б), которая применяется при наложении кольцевых швов на толстостенных цилиндрах малого диаметра.

При использовании флюсовой подушки (рис. 4.13, в) требуется меньшая точность сборки, чем при сварке на медной подкладке; хорошие результаты получаются как при однопроходной 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 автоматом 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. 4.14, а, б) или на подкладках (рис. 4.14, д). Допускается заделка зазора асбестовым уплотнением (рис. 4.14, в) или подварка шва с обратной стороны (рис. 4.14, г). Сварка «в лодочку» обеспечивает равномерное проплавление свариваемых кромок и получение качественного шва большого сечения за один проход.

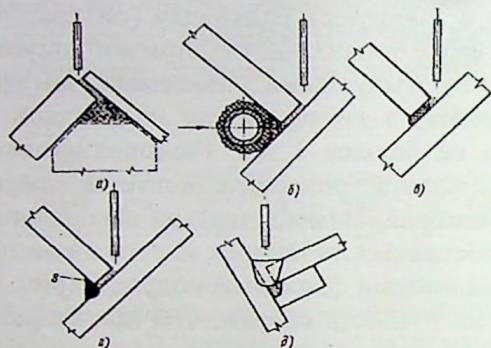


Рис. 4.14. Схема способов сварки под флюсом угловых и тавровых швов:

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?

ГЛАВА 5. ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА

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. Первые 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.

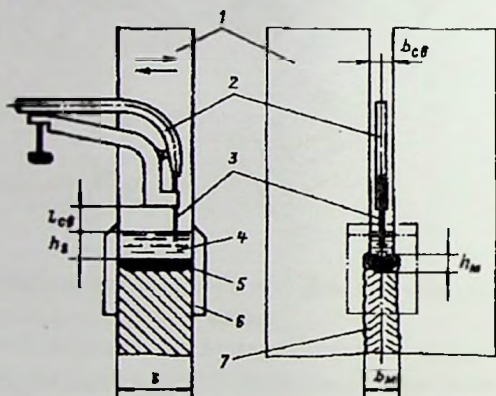


Рис. 5.1. Схема электрошлаковой сварки:

- 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_e – вылет электрода.

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.

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.

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

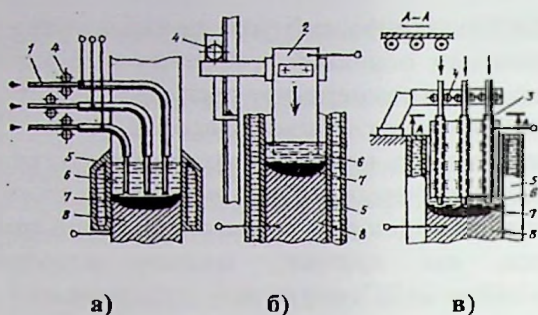


Рис. 5.2. Способы электрошлаковой сварки:

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.

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. Металлургия электрошлаковой сварки

Химический состав металла шва определяется в основном составом свариваемого металла и электрода с учетом доли их участия в образовании шва и приращением содержания отдельных элементов в результате обменных реакций между металлом и шлаком в процессе сварки.

Имеющиеся в шлаковой ванне две области: высокотемпературная, непосредственно примыкающая к оплавленной части электрода, и низкотемпературная, занимающая остальной объем шлаковой ванны, - накладывают своеобразный отпечаток на ход металлургических реакций (рис. 7.4.3).

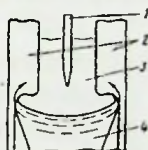
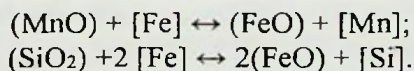


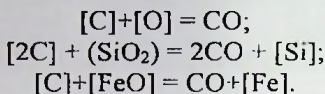
Рис. 5.3. Форма шлаковой ванны:

- 1 – электрод; 2 – кромки металла; 3 – шлаковая ванна;
4 – металлическая ванна

В высокотемпературной зоне протекают процессы восстановления кремния и марганца из их окислов, а в низкотемпературной зоне происходит окисление этих элементов по реакциям



Здесь круглые скобки означают, что данный компонент находится в шлаке, квадратные - в металле. Окисление углерода протекает за счет кислорода, содержащегося в жидкой металлической ванне, а также за счет окислов, содержащихся в шлаке:



Кроме того, в обменных реакциях участвуют водород, сера, фтор, фосфор и другие химические элементы. Поэтому в процессе сварки шлаковая ванна выделяет в атмосферу пары летучих компонентов шлаковой композиции, а также газообразных продуктов взаимодействия шлака с металлом: окиси углерода, фторидов, сернистых соединений и др. Эти пары оказывают защитное действие, предохраняя электродный металл, нагреваемый вблизи шлаковой ванны до высоких температур, от прямого контакта с воздухом.

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_e , число электродов n , зазор между кромками b , толщина свариваемого металла s .

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

Величину сварочного тока $I_{св}$, 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:

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

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: $h_s = 40 - 50 \text{ мм}$, $l_c = 80 - 90 \text{ мм}$.

5.5. Оборудование для электрошлаковой сварки

Для формирования наружной поверхности шва применяют медные водоохлаждаемые ползуны или неподвижные накладки (рис. 5.4., 5.5).

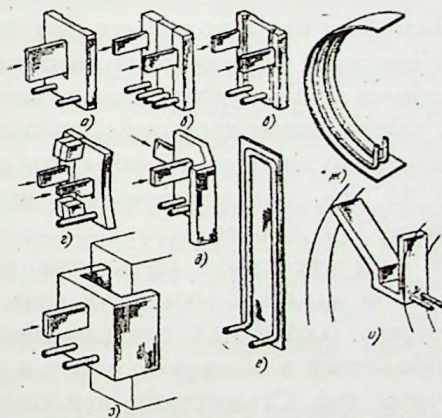


Рис. 5.4. Подвижные и неподвижные формирующие устройства для электрошлаковой сварки (ползуны):

а – жесткий; б – шарнирный; в – надрезной; г – составной; д – для угловых соединений; е, ж – гибкие подкладки; з, и – для наплавленного слоя.

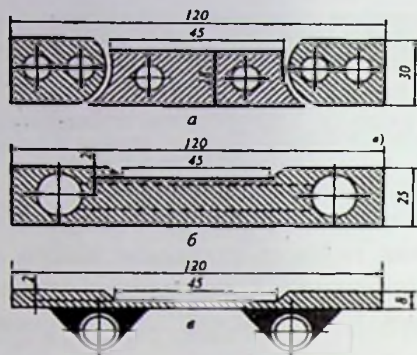


Рис. 5.5. Поперечные сечения водоохлаждаемых медных формирующих устройств:
 а – шарнирный ползун; б – жесткий ползун; в – переставная накладка

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. Существуют две конструкции мундштуков: роликовый и трубчатый (рис. 5.6).

Роликовый мундштук применяют лишь для сварки металла толщиной до 150 мм. Трубчатые мундштуки позволяют более точно регулировать положение электродной проволоки в зазоре, что обеспечивает равномерный провар кромок.

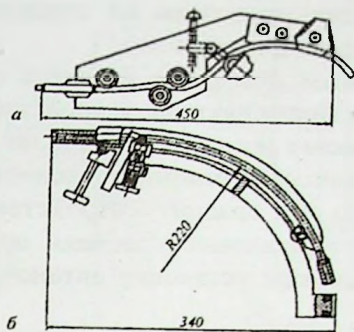


Рис. 5.6. Схемы мундштуков для электрошлаковой сварки
проволочными электродами:
а — роликового; б — трубчатого.

Существующая конструкция мундштуков не обеспечивает длительной стойкости направляющих трубок: происходит их интенсивный износ. Как правило, после 8...12 ч работы наконечник направляющей трубки прорезается проволокой, поэтому возникает необходимость замены мундштука. При более длительном времени сварки стыка обычно используют два сварочных аппарата: когда износ мундштуков достигает критического, выключают и отводят от стыка первый аппарат и быстро, пока сохраняется шлаковая ванна в жидком состоянии, подводят второй аппарат и продолжают процесс сварки.

На надежность процесса ЭШС и качество соединений влияет чистота поверхности электродной проволоки, равномерность намотки ее на катушку.

Очистку и намотку проволоки обычно совмещают в одном устройстве. Проволока из бухты, уложенной на вертушке, проходит через трубу или короб, наполненный флюсом, и с помощью электропривода наматывается на катушку. Но очистка поверхности проволоки от мыльно-графитовой смазки с помощью флюса ненадежна, поэтому лучше применять

абразивную очистку проволоки на специальных станках с гидравлическим приводом намотки.

Другим важным фактором является стабильность поступления воды в формирующие устройства. Вода для охлаждения формирующих устройств поступает из цеховой магистрали или от системы автономного водоснабжения. Расход воды 15...25 л/мин для каждого устройства. Давление воды 0,2...0,3 МПа. В монтажных условиях при отрицательной температуре применяют установки автономного охлаждения антифризом.

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. 5.7).

В зависимости от способа принудительного формирования шва бывают аппараты со скользящими ползунами или с переставляемыми накладками. Например, аппарат рельсового типа А-535 (рис. 5.8) обеспечивает вертикальное перемещение формирующих ползунов по мере образования шва и поперечные колебания электродов в сварочной ванне. Его применяют для сварки прямолинейных и кольцевых швов стыковых и угловых соединений проволочными и пластинчатыми электродами. На базе этого аппарата создан автомат АШ-112 с тремя индивидуальными приводами подачи проволоки. Он обеспечивает механизированное изменение "сухого" вылета электрода в процессе сварки и имеет систему автоматизированного контроля режимов сварки на базе микропроцессора с электронным программатором, а также индикатор уровня сварочной ванны.

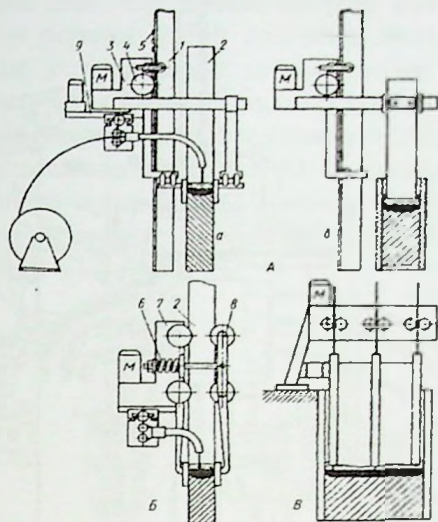


Рис. 5.7. Аппараты для электрошлаковой сварки:

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

Безрельсовые аппараты перемещаются непосредственно по поверхности свариваемых заготовок, по одной или двум кромкам.

Одноэлектродный аппарат А-612 для сварки прямолинейных швов состоит из двух тележек, расположенных по обе стороны свариваемого стыка. Тележки пружинным устройством через тягу, проходящую в зазоре между кромками, притягиваются к изделию. К тележкам подвешены ползуны. Передняя тележка - приводная. На ней закреплены механизм подачи электродных проволок с мундштуками, механизм поперечных колебаний и пульт управления.

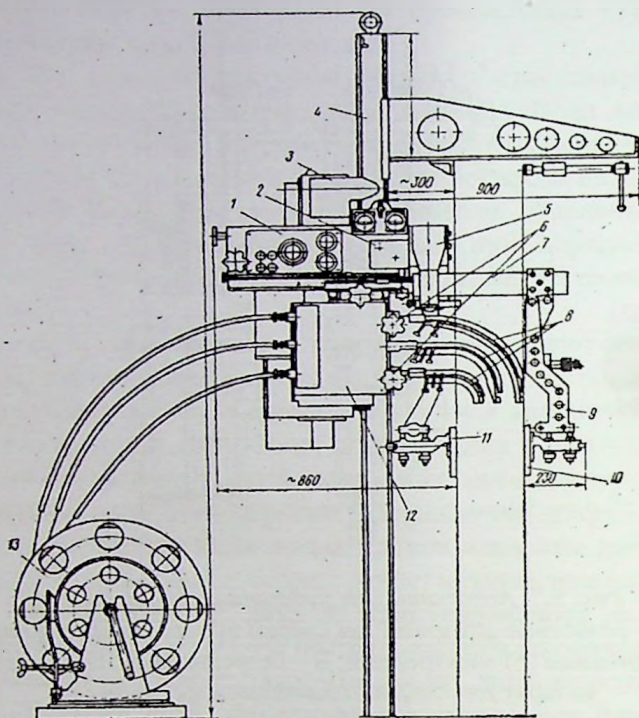


Рис. 5.8. Универсальный рельсовый аппарат А-535:

1 – пульт управления; 2 – механизм колебаний; 3 – ходовая тележка; 4 – рельс; 5 – бункер; 6 – корректор положения мундштуков; 7 – планка; 8 – мундштуки; 9 – тяга; 10, 11 – ползуны; 12 – головка; 13 – катушка.

Автомат А-550 У предназначен для сварки пластинчатым электродом большого сечения, который прикрепляют к зажиму, связанному с суппортом винтового механизма. По мере оплавления электрода кронштейн с зажимом опускается. Зажим служит сварочным токоподводом.

Аппараты для ЭШС плавящимися мундштуками содержат механизм подачи одной или нескольких проволок и токоподводящее устройство к плавящемуся мундштуку. Они предназначены для сварки стыковых соединений любой формы сечения. Аппараты крепятся непосредственно на верхней кромке свариваемого изделия или подвешиваются над стыком. Подающие механизмы аппарата А-645 обеспечивают подачу шести проволок диаметром 3 мм, А-1304 – четырех (рис. 5.9), а АШ-113 – трех.

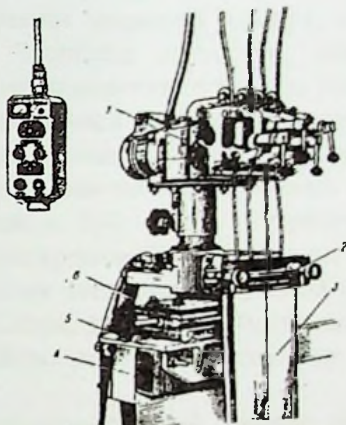


Рис. 5.9. Автомат А-1304 для электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком:

- 1 – механизм подачи; 2 – токоподвод; 3 – мундштук;
4 – свариваемое изделие; 5 – струбцина; 6 – суппорты.

Электрошлаковые аппараты комплектуются источниками питания переменного тока: трансформаторами однофазными ТШС-1000-1, ТШС-3000-1, ТШС-10000-1, ТРМК-3000-1 и трехфазными ТШС-1000-3, ТШС-3000-3. Для ЭШС на постоянном токе используют преобразователи и выпрямители с жесткой внешней вольт-амперной характеристикой.

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?

ГЛАВА 6. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА

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°C. 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.

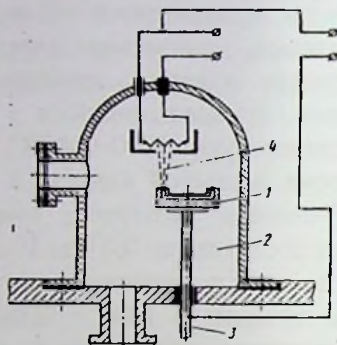


Рис. 6.1. Схема электронно-лучевой сварки:

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)

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.

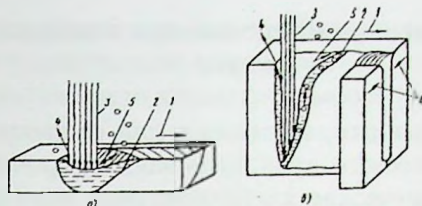


Рис. 6.2. Схема электронно-лучевой сварки металлов малой (а) и большой (б) толщины:

- 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

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.

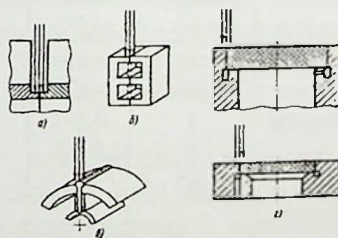


Рис. 6.3. Некоторые типы соединений при электронно-лучевой сварке:

- а – сварка в труднодоступных местах; б – односторонняя 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
	1	0,25	0,002	1
Сила тока пучка, А	60	3	0,18	120
Потребляемая мощность, кВА				

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.

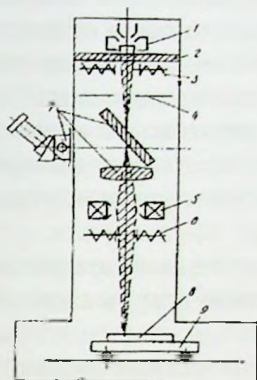


Рис. 6.4. *Схема электронно-лучевой установки:*

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.

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 кото-

рой 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.

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.

ГЛАВА 7. ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА

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 рубинового 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 оптически-ми отражателями. Выходной конец стержня частично прозрачен для световых лучей. Розовый рубин состоит из Al_2O_3 с атомами хрома, каждый из которых имеет три энергетических уровня. При вспышке ксеноновой лампы облучающей трубки, атомы хрома возбуждаются и переходят в состояние, характеризующееся повышенным энергетическим уровнем. Примерно через 0,05 мкс часть возбужденных атомов возвращается в первоначальное энергетическое состояние, беспорядочно излучая фотоны красного света. Некоторая часть этих фотонов, излучаемых вдоль оси кристалла, вызывает излучение новых фотонов. Фотоны, испускаемые в других направлениях, покидают кристалл через боковые плоскости. Поток красных фотонов вдоль оси кристаллов нарастает, отражаясь попеременно от зеркальных торцов граней, пока его интенсивность не станет достаточной, чтобы он смог пройти

через полупрозрачную торцовую грань кристалла наружу. В результате через выходной конец кристалла излучается поток красного света в виде когерентного монохроматичного излучения.

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 искусственно-го рубина, генерирующие импульсно – периодическое излучение на длине волны $\lambda=0,69$ мкм, с частотой импульсов $F_{\text{и}}=10$ 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 $F_{\text{и}}=0,05 - 50$ 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 внутреннего отражения и интерференционные зеркала с многослойным диэлектрическим покрытием, для газовых лазеров применяют медные зеркала с водяным охлаждением.

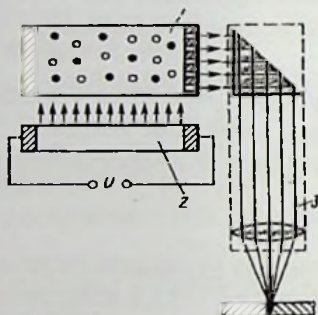


Рис. 7.1. *Схема установки для лазерной сварки с твердотельным лазером:*

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

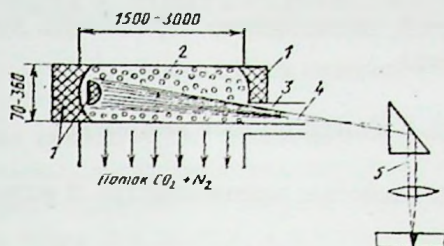


Рис. 7.2. Схема установки для лазерной сварки с газовым лазером:

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

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

Система относительного перемещения луча и изделия реализуется за счет движения детали, осуществляемого манипулятором с разным числом степеней свободы в зависимости от требуемой сложности обработки. Скорость перемещения 40 – 400 м/ч. В случае обработки массивных и крупнога-

баритных 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?

ГЛАВА 8. КОНТАКТНАЯ СВАРКА

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 образу-

ющего между ними контакта, влияющего на интенсивность тепловыделения в зоне сварки;

2) уплотнении металла, кристаллизующегося в замкнутом объеме 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 (ГОСТ 19521-74):

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 выплеска и от окружающего воздуха. Поэтому специальной защиты зоны сварки не требуется. После выключения тока расплавленный металл ядра быстро кристаллизуется и образуются металлические связи между соединяемыми деталями. Таким образом, соединение при точечной сварке происходит с расплавлением металла.

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

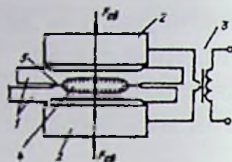


Рис. 8.1. *Схема точечной контактной сварки:*

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

При точечной сварки образование сварного соединения происходит в четыре этапа.

На первом подготовительном этапе (сжатие) свариваемые поверхности входят в соприкосновение при определенном усилии. Происходит деформация микронеровностей в местах контакта и частичное разрушение оксидных пленок. Уменьшаются и стабилизируются контактные сопротивления. Соединение готовится к включению сварочного тока.

Второй этап начинается с момента включения сварочного тока и заканчивается началом расплавления литого ядра. Во время этого этапа металл нагревается и расширяется в месте соединения. С нагревом металла развиваются пластические деформации, под влиянием которых металл вытесняется в зазор и образуется пояс, уплотняющий ядро.

Третий этап начинается с возникновения расплавленной зоны и ее увеличения до номинального диаметра литого ядра. На этом этапе происходит дробление и разрушение оксидных пленок, которые замешиваются в расплавленном металле ядра. Действие электродинамических сил способствует этому процессу и приводит к интенсивному перемешиванию жидкого металла и выравниванию состава ядра при сварке разнородных металлов. При таком перемешивании нерастворимые частицы оксидных пленок и загрязнений концентрируются на периферии расплавленного металла.

Четвертый этап начинается с момента выключения тока. Во время этого этапа происходят охлаждение и кристаллизация металла и проковка зоны сварки.

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

Точками обычно свариваются каркасные конструкции (например, боковины и крыша пассажирского вагона, бункер комбайна, узлы самолета и др.).

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.

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.

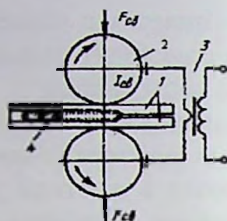


Рис. 8.2. *Схема шовной контактной сварки:*

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

- 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.

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.

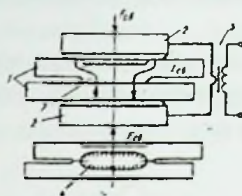


Рис 8.3. *Схема рельефной сварки:*

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

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.

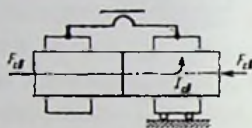


Рис. 8.4. Схема стыковой сварки.

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.

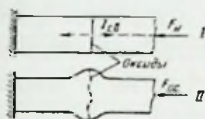


Рис. 8.5. Схема образования соединения при стыковой сварке сопротивлением (F_n — начальное усилие; $F_{ос}$ — усилие осадки).

При стыковой сварке сопротивлением на первом подготовительном этапе детали входят в соприкосновение при существенном усилии.

На втором этапе включают ток и торцовые поверхности соединения нагревают до $(0,8—0,9) T_{пл}$ основного металла. Прилегающие зоны металла прогреваются на определенную глубину, и происходит совместная пластическая деформация. При таком способе сварки во время пластической деформации происходит частичное выдавливание оксидов с торцевой поверхности. Термическая активация атомов в этот момент способствует образованию активных центров взаимодействия и окончательному формированию сварного соединения в твердой фазе.

Значительное влияние на образование сварного соединения оказывают оксидные пленки на торцевой поверхности. Во время нагрева воздух почти беспрепятственно проникает к нагретым торцевым поверхностям, окисляя их и препятствуя

образованию межзатомных связей. Применяемая защита места сварки при некоторых разновидностях этого способа замедляет процессы окисления. При стыковой сварке сопротивлением в месте соединения обычно остается часть оксидов, которые и ухудшают качество соединения.

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.

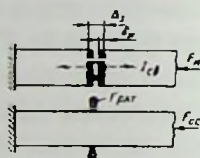


Рис. 8.6. Схема образования соединения при стыковой сварке оплавлением (F_n — начальное усилие; $F_{ос}$ — усилие осадки; Δ_z — зазор между деталями; $\delta_{ж}$ — слой расплавленного металла).

При стыковой сварке оплавлением на первом этапе происходит соприкосновение торцовых поверхностей под небольшим усилием, достаточным только для электрического контакта. Второй этап — нагрев и оплавление зоны сварки.

Между торцами возникают контакты *вначале в твердом состоянии*, затем в виде перемычек *расплавленного металла*, которые периодически разрушаются. Температура торцов при нагреве *оплавлением* близка к температуре плавления. Детали больших сечений перед этим этапом *предварительно* подогревают кратковременным замыканием торцов *или токами* высокой частоты (ТВЧ) через торцовый индуктор. На *последнем* этапе производится осадка. При быстром *бликании* торцов пленки расплавленного металла, *покрывающие торцы*, объединяются в общую жидкую прослойку и образуются *близкие* связи в жидкой фазе. При дальнейшей осадке и пластической деформации жидкий металл *выдавливается из зазора* и соединение окончательно формируется *уже в твердой фазе*. Часть расплавленного металла может остаться *не выдавленной* и в этом месте сварное соединение образуется в результате совместной кристаллизации. При сварке *оплавлением* удалить оксидные пленки значительно легче. Большинство из них находится на поверхности расплавленного металла, *покрывающего торцы* деталей, и легко удаляется при осадке *вместе с расплавленным металлом*.

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

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

- непрерывным оплавлением сваривают *детали* сечением до 1000 мм^2 (большее сечение не возможно из-за *плохого* саморегулирования процесса оплавления);

- сварка *оплавлением с подогревом* сопротивлением ограничивается сечениями $5000-10000 \text{ мм}^2$. Детали с площадью сечения *более* 10000 мм^2 сваривают непрерывным *оплавлением* на машинах с программным управлением *напряжения*

образованию межзатомных связей. Применяемая защита места сварки при некоторых разновидностях этого способа замедляет процессы окисления. При стыковой сварке сопротивлением в месте соединения обычно остается часть оксидов, которые и ухудшают качество соединения.

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.

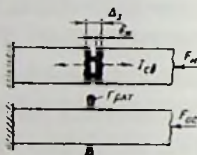


Рис. 8.6. Схема образования соединения при стыковой сварке оплавлением (F_n — начальное усилие; $F_{ос}$ — усилие осадки; Δ_z — зазор между деталями; δ — слой расплавленного металла).

При стыковой сварке оплавлением на первом этапе происходит соприкосновение торцовых поверхностей под небольшим усилием, достаточным только для электрического контакта. Второй этап — нагрев и оплавление зоны сварки.

Между торцами возникают контакты вначале в твердом состоянии, затем в виде перемычек расплавленного металла, которые периодически разрушаются. Температура торцов при нагреве оплавлением близка к температуре плавления. Детали больших сечений перед этим этапом предварительно подогревают кратковременным замыканием торцов или токами высокой частоты (ТВЧ) через торцовый индуктор. На третьем этапе производится осадка. При быстром сближении торцов пленки расплавленного металла, покрывающие торцы, объединяются в общую жидкую прослойку и образуются общие связи в жидкой фазе. При дальнейшей осадке и пластической деформации жидкий металл выдавливается из зазора и соединение окончательно формируется уже в твердой фазе. Часть расплавленного металла может остаться не выдавленной и в этом месте сварное соединение образуется в результате совместной кристаллизации. При сварке оплавлением удалить оксидные пленки значительно легче. Большинство из них находится на поверхности расплавленного металла, покрывающего торцы деталей, и легко удаляется при осадке вместе с расплавленным металлом.

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

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

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

- сварка оплавлением с подогревом сопротивлением ограничивается сечениями $5000\text{-}10000 \text{ мм}^2$. Детали с площадью сечения более 10000 мм^2 сваривают непрерывным оплавлением на машинах с программным управлением напряже-

нием сварочного трансформатора и скорости подачи подвижного зажима.

Контактная стыковая сварка широко применяется:

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

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

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

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

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?

ГЛАВА 9. ХОЛОДНАЯ СВАРКА

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 металлами. Эти связи возникают между атомами при сближении поверхностей соединяемых металлов на расстоянии порядка $(2 \div 8) \cdot 10^{-7}$ мм в результате образования общего электронного облака, взаимодействующего с ионизированными атомами обеих металлических поверхностей.

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.

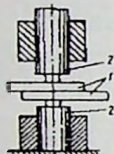


Рис. 9.1. *Схема сварки без предварительного зажатия свариваемых деталей.*

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.

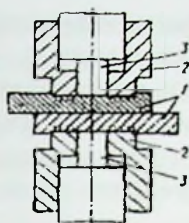


Рис. 9.2. *Схема сварки с предварительным зажатием свариваемых деталей.*

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.

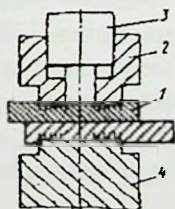


Рис. 9.3. *Схема точечной сварки с односторонним деформированием свариваемых деталей.*

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

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

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

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

Мелкие алюминиевые детали можно подготавливать к сварке с помощью прокаливания при температуре $350 \div 400^{\circ}\text{C}$ при свободном доступе воздуха, а медные детали - никели-

рованием. Химическое обезжиривание деталей не может применяться для подготовки деталей к холодной сварке.

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

Контрольные вопросы

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

ГЛАВА 10. ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА

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 особенностью является применение повышенной температуры при сравнительно небольшой остаточной деформации.

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

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

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

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

На первой стадии происходит нагрев материалов до высокой температуры и приложение давления, что вызывает пластическую деформацию микровыступов, разрушение и удаление различных пленок на контактируемых поверхностях. При этом образуются многочисленные участки непо-

средственного 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.

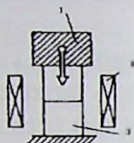


Рис. 10.1. *Схема диффузионной сварки свободным деформированием:*

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.

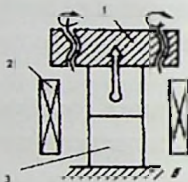


Рис. 10.2. *Схема диффузионной сварки принудительным деформированием:*

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

Технология диффузионной сварки. Свариваемые поверхности должны быть обработаны с чистотой поверхности $Ra < 1,25$ мкм. Предпочтительно применение механической обработки. Непосредственно перед сваркой детали проходят очистку от жировых и других загрязнений, а также от окси-

дов методами химической обработки (травление, обезжиривание).

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

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

Выбор параметров режима сварки

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

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

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

Состав соляных ванн для диффузионной сварки определяется необходимой температурой, например, 850 – 870°C при использовании NaCl, 1000 – 1150°C – для BaCl₂.

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

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

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

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

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

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

Установки для диффузионной сварки в общем случае имеет рабочую камеру, механизм для создания сварочного давления или деформирования, систему для получения рабочей среды, аппаратуру управления и контроля.

В настоящее время в эксплуатации находятся универсальные установки разных модификаций типа СДВУ, УДС, А-306, А-308, ОЗД, УДСПД и др. Учитывая современную тенденцию применения диффузионной сварки для изготовления крупногабаритных изделий сложной формы, проводятся работы по созданию крупногабаритных установок модульного типа. Модуль такой установки снабжен автономными системами вакуумирования, нагрева и сжатия.

Контрольные вопросы

1. Какие стадии включает процесс образования диффузионного соединения?

2. Назовите основные преимущества и недостатки диффузионной сварки.

3. По каким признакам можно классифицировать процессы диффузионной сварки?

4. Какие этапы включает подготовка поверхностей к диффузионной сварке?

5. Какие параметры входят в режим диффузионной сварки?

ГЛАВА 11. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА

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. Способы 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, пермандюр, титанат бария, ниобат свинца и др.). Преобразователь является источником механических колебаний. Волноводное звено 2 осуществляет передачу энергии к сварочному накопечнику 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.

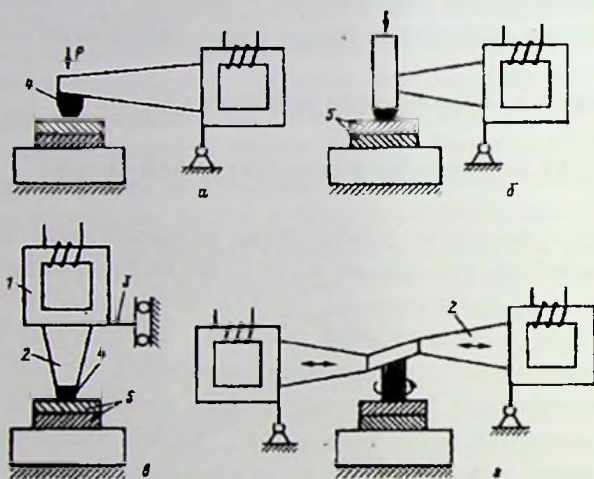


Рис. 11.1. Схема типовых колебательных систем для ультразвуковой сварки металлов:

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

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

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

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

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

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

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

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

Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность ультразвуковой сварки?
2. Какова температура в зоне нагрева при диффузионной сварке?
3. Назовите основные преимущества диффузионной сварки.
4. В каком диапазоне находится толщина соединяемых деталей при диффузионной сварке?

ГЛАВА 12. 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 заго-

товок 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.

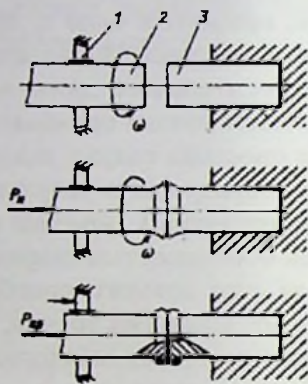


Рис. 12.1. Схема сварки трением с непрерывным приводом:
1 - тормоз; 2, 3 - свариваемые заготовки.

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.

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.

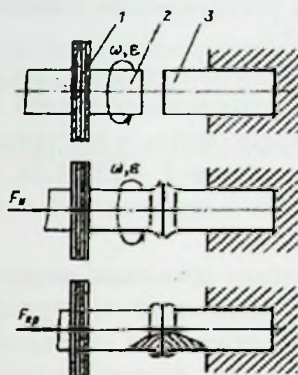


Рис 12.2. *Схема инерционной сварки трением:*
1- маховик; 2,3 – свариваемые заготовки.

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

Режим сварки трением включает следующие параметры:

1) Частота вращения n является одним из главных регулируемых параметров и подсчитывается по оптимальной

$v, \text{м/с}$, которая для черных металлов 2,6 – 3, для алюминия и меди 2, для титана 4 – 5.

2) Удельное давление притирки P_n назначается для улучшения условий работы машины сварки трением. Обычно $P_n = (0,15 - 0,2) P_n$. Для углеродистых сталей $P_n = 10 \text{ МПа}$. Время притирки $t_n = 1 - 3 \text{ с}$.

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

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

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

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

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

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

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

Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность сварки трением?
2. Назовите основные преимущества и недостатки сварки трением.
3. Приведите классификацию процессов сварки трением.
4. Нужно ли осуществлять подготовку поверхностей к сварке трением?
5. Какие параметры входят в режим сварки трением?

ГЛАВА 13. ТЕРМОКОМПРЕССИОННАЯ СВАРКА

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;

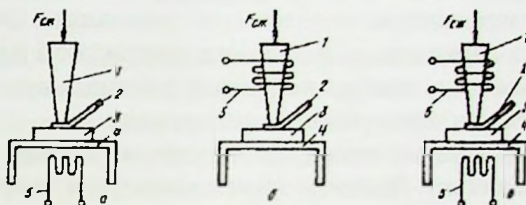


Рис. 13.1. Разновидности термокомпрессии в зависимости от способа нагрева:

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

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

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

Технология термокомпрессионной сварки. Подготовка поверхностей к сварке.

Известны четыре основных вида возможных загрязнений свариваемых материалов:

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

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

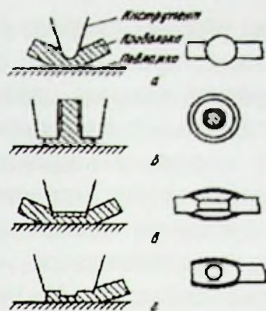


Рис. 13.3. Основные типы термокомпрессионных соединений в зависимости от формы применяемого инструмента:

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Длительность выдержки определяется экспериментально путем оценки прочности соединений и составляет от 0.1 до нескольких десятков секунд.

Оборудование, применяемое при термокомпрессионной сварке. Установка для термокомпрессионной сварки содержит следующие основные узлы и элементы: рабочий столик с нагревательной колонкой или без нее; механизм сжатия; рабочий инструмент; механизм подачи и обрезки проволоки; механизм подачи корпусов; манипуляторы для совмещения соединяемых элементов; систему наблюдения; блоки питания и управления рабочими механизмами.

Контрольные вопросы

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

ГЛАВА 14. СВАРКА ПРОКАТКОЙ

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

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

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

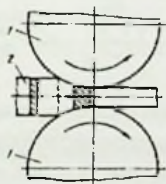


Рис. 14.1. Схема сварки прокаткой:

1 — валик; 2 — свариваемые заготовки.

Деформация свариваемых заготовок начинается при входе в валки. На выходе из валков на металл действуют сжимающие напряжения $P \sim \sigma_0$ (здесь σ_0 - начальный уровень напряжений, соответствующий начальному моменту времени релаксации). Под длительностью релаксации напряжений при сварке прокаткой понимают длительность деформации, по

завершении которой $P = \sigma_c < \sigma$, 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 коррозиестойкие, износостойкие, антифрикционные, электропроводные, инструментальные, жаростойкие, термоупругие, контактные, декоративные многослойные конструкции, поперечные сечения которых представлены на рис. 14.2.

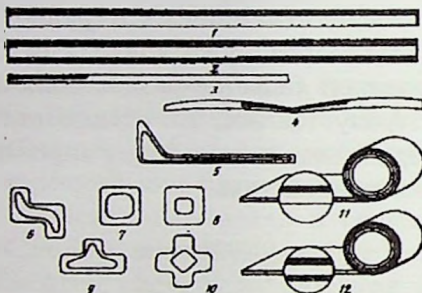


Рис. 14.2. Поперечные сечения профилей сварных конструкций:

- 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.

Технология сварки прокаткой. Подготовка к сварке. Исходной заготовкой служит пакет, состоящий из двух слоев металла в виде пластин. Перед сборкой в пакеты заготовки правят, а их свариваемые поверхности механически обрабатывают, зачищают стальными щетками или подвергают травлению и обезжириванию. Для предотвращения окисления по-

верхности заготовок при нагреве перед сваркой пакеты герметизируют по периметру.

Выбор параметров режима сварки прокаткой.

Основными регулируемыми параметрами сварки прокаткой являются:

- 1) T – температура заготовок перед сваркой, $^{\circ}\text{C}$;
- 2) D – диаметр валков, мм;
- 3) n – число оборотов валков, мин^{-1} ;
- 4) Δh – величина обжатия, %.

Производными этих параметров являются: v – скорость прокатки, мм/с; l – длина дуги захвата, мм; t_s – длительность взаимодействия; ε – скорость деформации в очаге деформации, с^{-1} ; причем:

$$\begin{aligned}v &= n\pi D, \\l &= \sqrt{1/2 D \Delta h}, \\t_s &= l/v, \\ \varepsilon &= (v/l) \ln(h_0/h_c),\end{aligned}$$

где h_0 и h_c – исходная и конечная толщины прокатываемого элемента.

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

Контрольные вопросы

1. Какой слой называется плакирующим?
2. Каковы технологические возможности сварки прокаткой?
3. Какие параметры входят в режим сварки прокаткой?
4. Каковы преимущества сварки прокаткой?
5. Как осуществляется подготовка свариваемых кромок при сварке прокаткой?

ГЛАВА 15. 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. 15.1. Неподвижную пластину 4 и μεταаемую пластину 3 располагают под углом α на заданном расстоянии h от вершины угла. На μεταаемую пластину укладывают заряд 2 взрывчатого вещества. В вершине угла устанавливается детонатор 1. Сварка производится на опоре 5 (металл, песок). Площадь μεταаемой пластины, как правило, больше площади основной пластины. Нависание μεταаемой пластины над основной необходимо для уменьшения влияния эффекта бокового разлета продуктов взрыва при детонации плоского заряда взрывчатого вещества.

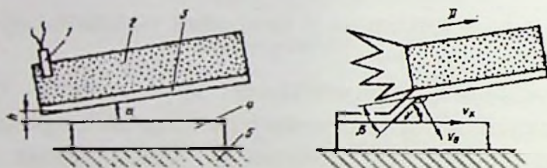


Рис. 15.1. Схема сварки взрывом под углом:

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:

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

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

При начальном параллельном расположении пластин:

$$v_r = D,$$

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

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.

Технология сварки взрывом.

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

Выбор параметров режима сварки взрывом.

Для приближенного определения нижней границы области сварки можно использовать выражение

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

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

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

Максимальную скорость метания пластины оценивают по формуле:

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

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

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

$\rho_{\text{вз}}$, $H_{\text{вз}}$, ρ , δ - плотность и толщина заряда взрывчатого вещества и метаемой пластины соответственно.

Для расчета угла соударения на практике применяется следующая зависимость:

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

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

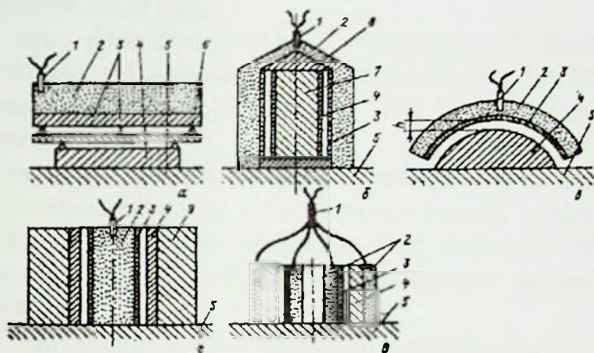


Рис. 15.2. Технологические схемы и оборудование для сварки взрывом:

- а – параллельная для плоских изделий (многослойная);
- б – плакирование наружной поверхности труб; в – эквидистантная;
- г – плакирование внутренней поверхности труб; д – плакирование крупногабаритных обечаек; 1 – детонатор; 2 заряд взрывчатого вещества; 3 метаемый элемент; 4 – неподвижный элемент; 5 – опора; 6 – установочный элемент; 7 – стержень; 8 – конус; 9 – матрица.

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

Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность сварки взрывом?
2. Каковы преимущества сварки взрывом?
3. Какие методы подготовки поверхностей применяются при сварке взрывом?
4. Какие технологические схемы при сварки взрывом?
5. Какие параметры входят в режим сварки взрывом?

ГЛАВА 16. 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.

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

Преимущества высокочастотной сварки:

- обеспечение строгой локализации энергии в зоне сварки;
- высокая интенсивность и эффективность передачи энергии с повышением частоты тока, что упрощает устрой-

ства для передачи энергии, в частности позволяет обеспечить бесконтактную ее передачу.

Методы подвода тока при высокочастотной сварке.

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

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

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

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

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

В специальном формовочном стане из непрерывной полосы формируется трубная заготовка, которая поступает в сварочные валки, обеспечивающие сжатие кромок. При этом кромки образуют щель V-образной формы. К кромкам трубной заготовки на некотором расстоянии от оси сварочных валков подводятся контакты, которые при движении заготовки скользят по ее поверхности. Контактное устройство (кон-

дуктор) подключается к генератору высокой частоты, и по сварочному контуру, образованному кромками трубной заготовки, контактами и вторичной обмоткой сварочного трансформатора, начинает протекать ток высокой частоты. Поскольку направление тока в каждой из кромок трубной заготовки в любой момент времени противоположны, то вследствие проявления поверхностного эффекта и эффекта близости происходит автоконцентрация тока на противоположных поверхностях кромок, т.е. распределение тока на кромках определяется в основном их взаимным расположением и практически не зависит от источника тока.

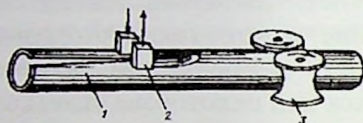


Рис. 16.1. *Схема кондуктивного токоподвода при непрерывной высокочастотной стыковой сварке:*

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

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

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

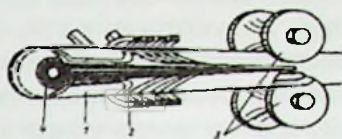


Рис. 16.2. *Схема индуктивного токоподвода при непрерывной высокочастотной стыковой сварке:*

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

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

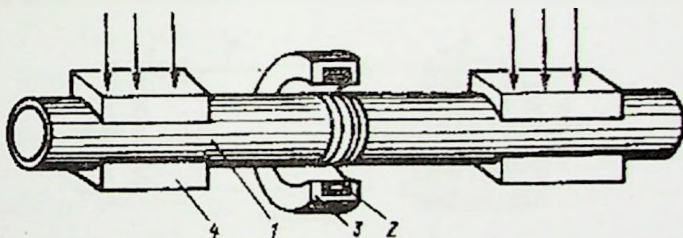


Рис. 16.3. *Схема стыковой высокочастотной сварки труб:*

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

3) Одновременная стыковая сварка основана на нагреве свариваемых стыков за счет принудительной концентрации тока. Свариваемые трубы помещаются внутри цилиндрического индуктора так, чтобы стык находился внутри цилиндрического индуктора. При пропускании через индуктор ТВЧ

в свариваемых стыках индуцируется ток, обратный по фазе току индуктора. Вследствие эффекта близости индуцированный ток протекает по полосе, ширина которой зависит от ширины индуктора и величины зазора между трубой и индуктором. После нагрева стыков до сварочной температуры к ним прикладывается сварочное давление и происходит осадка.

Контрольные вопросы

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

ГЛАВА 17. 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.

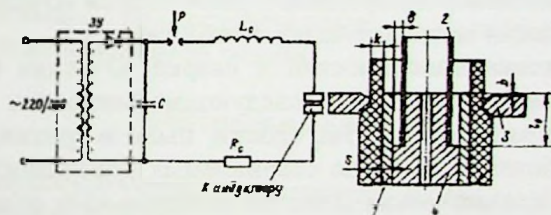


Рис. 17.1. Схема магнитно-импульсной сварки:

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

Свариваемые подвижные 1 и неподвижные 2 детали с зазором δ вводят в рабочую зону индуктора 3, питаемого током от мощной батареи конденсаторов С. При разряде конденсаторных батарей ток, протекающий через индуктор, образует в

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

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

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

Технология магнитно-импульсной сварки.

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

Выбор параметров режима. В режим магнитно-импульсной сварки входят следующие параметры:

1) нормальная скорость соударения метаемой детали v_n :

$$v_n = (B^2 / 4\pi\gamma)^{1/2},$$

где $B = \mu \cdot H$ – магнитная индукция, Тл; γ – плотность материала, кг/м³; μ – магнитная проницаемость, Гн/м; $H = 2I / r$ – напряжение магнитного поля, А/м; I – сила тока; r – радиус рабочей зоны индуктора.

2) скорость движения точки контакта свариваемых материалов:

$$v_k = v_n / \operatorname{tg} \alpha,$$

где α – угол соударения.

3) нормальное давление соударения P_k .

Сварное соединение при магнитно-импульсной сварке образуется при $v_n=150-300\text{м/с}$ и $v_k=1500-2400\text{м/с}$ независимо от начальных параметров процесса при $P_k=400-500\text{МПа}$.

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

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

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

Контрольные вопросы

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

ГЛАВА 18. ТЕХНОЛОГИЯ НАПЛАВКИ

18.1. Классификация способов наплавки

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

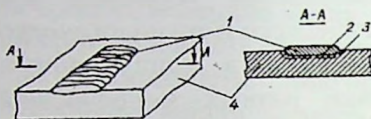


Рис. 18.1. Схема наплавки на деталь:

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

Наплавка износостойкими сплавами повышает твердость и износостойкость 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

нии 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 монокристаллического 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. 18.2).

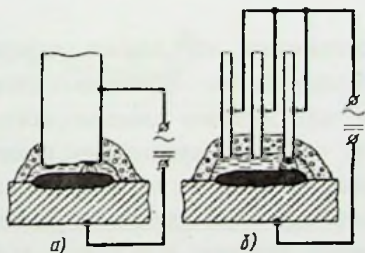


Рис. 18.2. Наплавка под флюсом:

а — электродной лентой; б — многоэлектродная

3. Дуговая наплавка в защитных газах вольфрамовым (неплавящимся) и проволочным металлическим (плавящим-

ся) 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. 18.3).

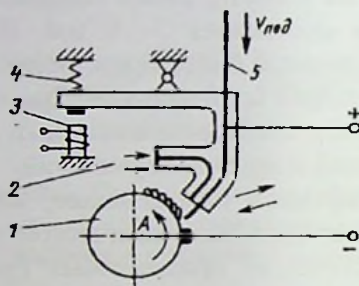


Рис. 18.3. Вибродуговая наплавка:

- 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. Электроды применяются практически любого сечения: прутки, пластины и т.п. Глубину проплавления основного металла можно регулировать в широких пределах.

6. Газовая наплавка. Для получения требуемой глубины проплавления при наплавке необходимо регулировать сте-

пень нагрева основного и присадочного металлов. Это объясняется при использовании газового пламени, что является существенным преимуществом данного способа (рис. 18.5). 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.

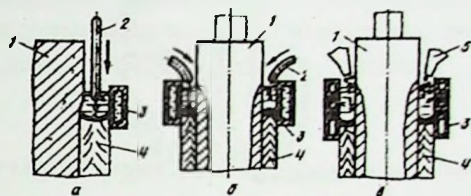


Рис. 18.4. Схемы электрошлаковой наплавки:

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



Рис. 18.5. Газовая наплавка.

7. **Плазменная наплавка** производится плазменной дугой прямого или косвенного действия. Присадочным материалом служат наплавочная проволока и порошкообразные смеси (рис. 18.6, 18.7). При плазменной наплавке получают гладкую поверхность и высокое качество наплавленного слоя.

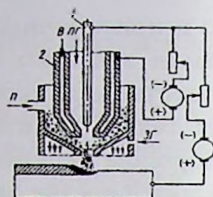


Рис. 18.6. Плазменно-порошковая наплавка:

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

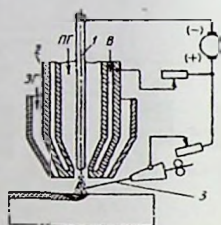


Рис. 18.7. Плазменно-порошковая наплавка с токоведущей присадочной проволокой:

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. 18.1).

Таблица 18.1

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 многоэлектродная	5 - 40
Автоматическая под флюсом лентой	5 - 40

Плавящимся электродом в защитном газе	1,5 - 9,6
Аргоно-дуговая неплавящимся электродом	1,0 - 7,0
Вибродуговая	1,2 - 3
Электрошлаковая электродными проволоками	20 - 60
Электрошлаковая зернистым присадочным материалом	20-200
Плазменная порошок	0,8 - 12
Плазменная с токоведущей присадочной проволокой	2 - 12

18.2. 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.

Таблица 18.2

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 карданных
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, шлицевые валы

Нп-30Х5	370-240	Прокатные валки сортопрокатных станов
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-03Х15В5Г7М8В	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.

Таблица 18.3

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-65Х11НЗ Э-65Х25Г13НЗ	ОМГ-Н ЦНИИН-4	Изношенных деталей из высокомарганцовых 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
Э-300Х28Н4С4 Э-225Х10Г10С Э-110Х14В13Ф2 Э-175Б8Х6СТ	ПС-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

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

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% боридов хрома; 30% железного порошка; 60% феррохрома. 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 (сормайты). 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 сормайты. 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.

18.3. Техника дуговой наплавки

Наплавляемая деталь не должна иметь трещин и других дефектов, уменьшающих ее прочность. Для устранения внутренних напряжений закаленные стали предварительно отжигают при 750—900° С. Наплавляемую поверхность зачищают до металлического блеска. Замасленные детали обжигают пламенем горелки или промывают горячим 10%-ным раствором каустика, а затем чистой водой.

При наплавке плоских поверхностей рекомендуется применение широких валиков, т.е. процесс ведется с колебательным движением электродов. Другой способ – укладка узких валиков на некотором расстоянии один от другого. При этом шлак удаляют после наложения нескольких валиков. После этого валики наплавляются и в промежутках. При нанесении наплавленного металла отдельными валиками каждый последующий валик должен расплавлять предыдущий на $1/3 - 1/2$ ширины (рис. 18.8)

Наплавку цилиндрических поверхностей выполняют винтовой линией или кольцевыми валиками (рис. 18.9). Ци-

линдрическую поверхность малого диаметра целесообразно наплавлять вибродуговой сваркой.

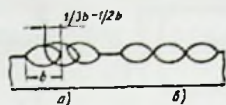


Рис. 18.8. Расположение валиков:
а – правильное, б – неправильное

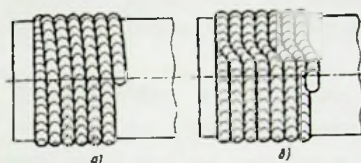


Рис. 18.9. Наплавка тел вращения:

а – по винтовой линии; б – кольцевыми валиками с прерывистым смещением на шаг.

При использовании специальных наплавочных электродов режим наплавки должен соответствовать указанному в паспорте электрода. Наплавку ведут не более чем в 3 слоя. Для восстановления первоначальных размеров детали первые несколько слоев наплавляют обычными электродами для сварки стали данной марки. Первый слой всегда содержит от 30 до 50%- основного металла и твердость его значительно ниже, чем последнего. Во избежание появления трещин кратер при наплавке металлическими электродами выводят на уже наплавленный валик.

Автоматическую наплавку порошковой проволокой производят с помощью полуавтоматов или автоматов.

Зернистые и порошковые сплавы наплавляют угольным электродом (рис. 18.10).

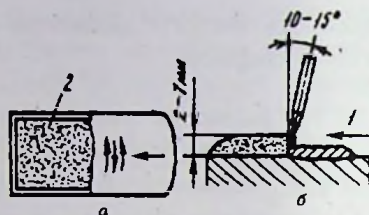


Рис. 18.10. Положение угольного электрода в процессе наплавки порошкообразных твердых сплавов:

а — перемещение электрода; б — вид сбоку

1 — общее направление сварки, 2 — слой шихты.

При наплавке образуется однородный твердый слой, проникающий в основной металл на глубину 2—3 мм. Углерод, содержащийся в сплаве, частично сгорает, образуя газы, защищающие наплавку от окисления кислородом воздуха. Наплавку лучше производить на постоянном токе, так как в этом случае она получается более плотной. Режимы наплавки приведены в табл. 18.4.

Таблица 18.4.

Режимы наплавки зернистыми и порошкообразными твердыми сплавами

Сплав	Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Длина дуги, мм	Ток, А	
				постоянный	переменный
С-2М	3—5	8—10	4—8	80—100	90—120
	6—15	10—12	4—8	120—140	140—160
	свыше 15	16—20	4—8	160—200	180—230

При наплавке сталинитом рекомендуется в ванну добавлять в качестве флюса 2—5% прокаленной буры. Для предохранения краев детали от оплавления и получения чистой, ровной кромки место наплавки обкладывают пластинками из графита. По окончании наплавки пластинки убирают. Отвер-

ствия в детали, не подлежащие заплавке, забивают чистым влажным кварцевым песком.

Для предупреждения коробления детали наплавку производят участками, предварительно нагревая деталь до 600—650°C или увеличивая отвод тепла от детали применением массивных медных подкладок и охлаждением водой.

Зернистые и порошковые сплавы насыпают на поверхность детали слоем, несколько большим, чем требуемая толщина наплавки. После расплавления высота слоя составляет: для сталинита 35—40%, и боридной смеси 20—30% от толщины первоначально насыпанного слоя. Насыпанный слой слегка утрамбовывают и выравнивают шаблоном. Сталинит насыпают полоской шириной до 60 мм. Наплавка ведут, не прерывая горения дуги. Электрод передвигают с одного края наплавки на другой в направлении от себя. Так как сплав имеет высокое электросопротивление, конец электрода должен быть направлен не на поверхность насыпанного слоя, а в его торец.

За один проход наплавляется слой толщиной не более 1,5 мм. Наплавку можно вести в несколько слоев, с тщательной зачисткой каждого предыдущего слоя. Общая толщина наплавки не должна превышать 5—6 мм для сталинита и 1,4 - 1,7 мм для боридной смеси. Для деталей, испытывающих ударной нагрузки, толщина наплавки сталинитом должна составлять 1,5 - 2,5 мм. Наплавленный слой должен быть на 1—2 мм шире рабочей поверхности детали.

Порошкообразные сплавы можно наплавлять и металлическими электродами типа Э-42. При этом улучшается формирование наплавленного слоя, уменьшается образование трещин, но снижается твердость наплавки вследствие разбавления твердого сплава металлом электродной проволоки.

После наплавки деталь охлаждают; если требуется механическая Обработка, деталь подвергают отжигу. После обработки и восстановления размеров наплавленный слой подвер-

гают закалке и отпуску на заданную твердость. Наплавку, не подвергаемую термической обработке, зачищают абразивными кругами или используют без обработки (зубья ковшей экскаваторов, щеки камнедробилок и др.).

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?

ГЛАВА 19. ТЕХНОЛОГИЯ НАПЫЛЕНИЯ

19.1. 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. 19.1.):

- 1) газопламенное;
- 2) газoeлектрическое.

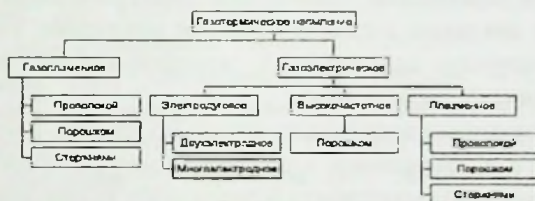


Рис. 19. 1. Классификация видов газотермического напыления.

1) Сущность газопламенного напыления заключается в расплавлении напыляемых материалов газовым пламенем и распылении их сжатым воздухом (рис. 19.2.)

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 скоро-

стями переноса частиц и большим содержанием окислов в покрытии.

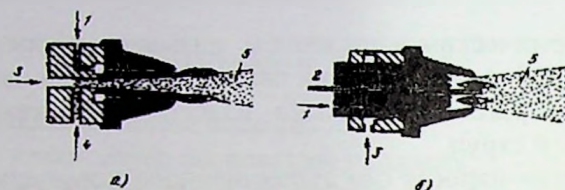


Рис 19.2. Схема напыления газovým пламенем:

- 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.

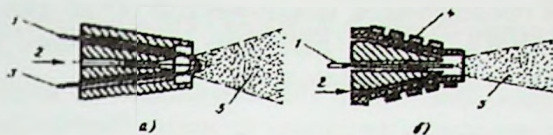


Рис. 19.3. Схема электрометаллизационного напыления:
 а - электродугового, б - высокочастотного: 1,3 - напыляемая проволока; 2 - сжатый воздух; 4 - индуктор; 5 - металлизационный факел.

19.2. Сущность плазменного напыления

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

Физическое понятие “плазма” было введено в 1923 г. Лангмером для обозначения газообразного состояния, при котором газы становятся токопроводящими за счет ионизации атомов. При плазменном напылении в факеле струи встречаются электроны, ионы и нейтральные частицы. Для ионизации плазмы используют электрическую дугу, причем с целью повышения температуры дугу сжимают, чем резко повышают ее температуру. Температура аргоновой плазмы достигает 20000-23000°С. Плазменное напыление находит широкое применение в тех отраслях машиностроения, где необходимо нанесением различных стойких сплавов защитить детали машин от интенсивного износа, увеличить работоспособность изнашивающихся частей в несколько раз, защитить детали от коррозии, эрозии, кавитации, абразивного износа, тепловых ударов и др. Толщина напыленных слоев колеблется от 0,03 мм до нескольких миллиметров.

Напыленные покрытия обладают следующими преимуществами: высокой плотностью; прочным сцеплением с основным материалом; гладкой поверхностью напыления, не

требующей последующей механической обработки (шлифовки); сравнительно малым расходом напыляемого материала по сравнению с другими методами.

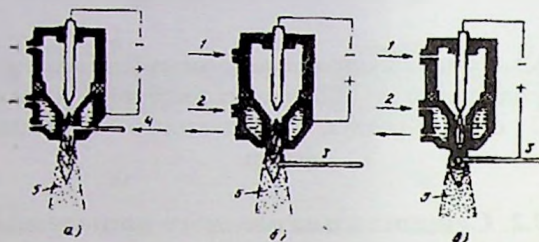


Рис 19.4. Схемы плазменного напыления:

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

Металлизацию проволокой производят независимой или зависимой дугой.

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

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

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

19.3. 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 обес-

печивает ламинарный плазменный поток и удовлетворительное формирование столба плазменной дуги в канале электропроводного сопла.

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

Напыляемый материал вводят в плазменный поток тремя способами (рис 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).

19.4. 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 100-200°C.

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?

ГЛАВА 20. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ

20.1. 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.

20.2. Классификация процессов пайки

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

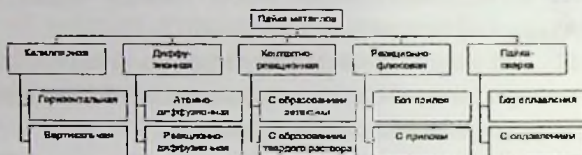


Рис. 20.1. Классификация методов пайки.

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.

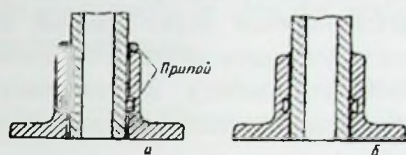
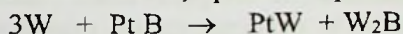


Рис. 20.2. *Схема капиллярной пайки:*
а - до пайки; б - после пайки.

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-B с температурой плавления 855°C, протекает реакция:



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

3) Контактно-реакционной пайкой называется метод пайки, при котором между соединяемыми металлами и припоем протекает активная реакция с образованием в контакте между ними нового более легкоплавкого сплава 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.

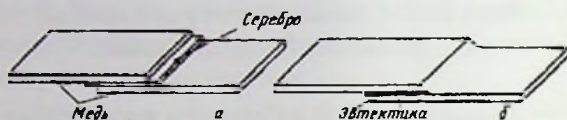
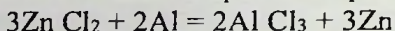


Рис. 20.3. Схема контактно-реактивной пайки:
а - до пайки; б - после пайки.

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.

ГЛАВА 21. СПОСОБЫ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ

21.1. 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.

21.2. 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.

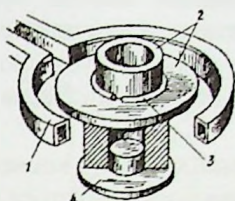


Рис. 21.1. Принципиальная схема индукционной пайки:
1 - индуктор; 2 - паяемые детали; 3 - припой; 4 - подставка.

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.

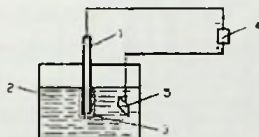


Рис. 21.2. Принципиальная схема пайки сопротивлением:
1 - паяемые детали; 2 - электролит; 3 - водородная оболочка;
4 - источник питания; 5 - анод.

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.

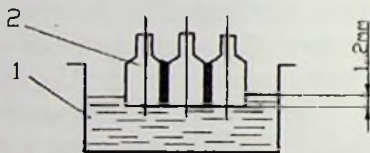


Рис. 21.4. *Схема пайки погружением в расплавленный припой:*
1 - припой; 2 - паяемые детали.

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.

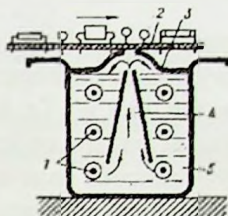


Рис. 21.5. *Принципиальная схема пайки волной припоя.*

1 - электронагреватель; 2 - плата; 3 - волна; 4 - сопло; 5 - припой.

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

6) При пайке горелками местный нагрев паяемых деталей и расплавление припоя 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°C.

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 - возмож-

ность без флюсовой пайки. Это нашло применение главным образом для пайки алюминия легкоплавкими припоями.

Контрольные вопросы

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

ГЛАВА 22. ПРОЦЕССЫ УДАЛЕНИЯ ОКИСНОЙ ПЛЕНКИ ПРИ ПАЙКЕ МЕТАЛЛОВ

22.1. Классификация способов удаления окисной пленки

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

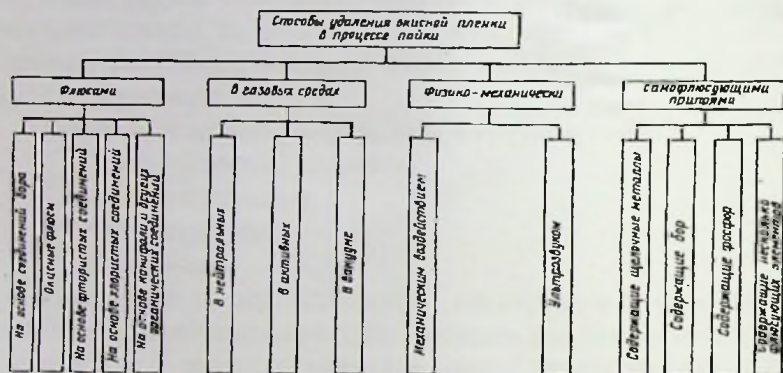


Рис. 22.1. Способы удаления окисной пленки в процессе пайки.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

а) разрушение окисных пленок механическим воздействием.

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

4) Самофлюсующимися называются припои, содержащие компоненты, активно реагирующие с окисной пленкой паяемого металла и припоя с образованием легкоплавких

шлаков, которые, растекаясь по поверхности основного металла и припоя, предохраняют их от окисления.

22.2. Флюсы и их роль

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

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

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

- 1) иметь при температуре пайки достаточную жидкотекучесть;
- 2) способствовать формированию шва;
- 3) легко удаляться после пайки;
- 4) остатки флюса не должны оказывать коррозионного воздействия на паяемый металл;
- 5) нагрев флюса не должен вызывать изменения его состава и свойств;
- 6) флюс должен сохранять свои флюсующие свойства в течение всего процесса пайки.

Нанесенный на соединяемые поверхности паяемых металлов и краев флюс в процессе нагрева плавится, расте-

кается, смачивает их при некоторой температуре, вступает в химическое взаимодействие, результатом которого является удаление окисной пленки. С повышением температуры интенсивность этого взаимодействия усиливается.

22.3. Композиция флюсов

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

Флюсы могут быть как однородными веществами, например тетра-борно-кислый натрий (обезвоженная бура) - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ или хлористый цинк ZnCl_2 , так и сложными системами, состоящими из двух и более компонентов.

22.4. Механизм флюсования

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

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

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

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

В условиях флюсовой пайки все три схемы действия флюса могут проявляться одновременно, кроме того, на протекание этих процессов определяющее влияние оказывает состав основного металла и припоя, что нельзя не учитывать,

особенно при содержании в них таких активных компонентов, как Cr , Al , V , Be . При длительном взаимодействии, например, при печной пайке металлы могут частично растворяться во флюсах, особенно в тех случаях, когда в составе флюса имеются соли основного металла. После расплавления флюса происходит смачивание им окисленной поверхности основного металла. При этом создаются условия для взаимодействия активных компонентов флюсов с поверхностью основного металла и припоя. Наиболее легко смачивают поверхность окисленного металла органические жидкости, что объясняется их низким поверхностным натяжением. Соли, входящие в состав флюсов, имеют в расплавленном состоянии также сравнительное низкое поверхностное натяжение, что способствует хорошей смачиваемости ими поверхности основного металла и припоя. С повышением температуры пайки поверхностное натяжение расплавленных солей снижается, что улучшает условия смачивания.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются способы удаления окисной пленки при пайке?
2. В чем заключается роль флюса при пайке металлов?
3. Какие требования предъявляются к флюсам при пайке металлов?
4. Что входит в состав композиции флюсов при пайке?
5. В чем заключается механизм процесса флюсования?

ГЛАВА 23. ПОНЯТИЕ О ПЛАСТМАССАХ И ПОЛИМЕРАХ

23.1. 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.

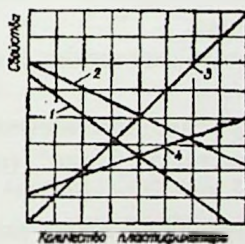


Рис. 23.1. Изменение механических свойств полимера в зависимости от количества пластификатора:

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

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

Свойства пластмасс определяются главным образом их основой - полимером.

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

В самой цепи атомы соединяются прочными химическими связями, действующими на расстоянии 1-1,5 Å; между цепями на расстоянии 3-4 Å 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 $(\text{C}_8\text{H}_8)_{\text{п}}$.

Мономерами называются первичные низкомолекулярные вещества, из которых образуются полимеры.

23.2. 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.

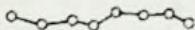


Рис. 23.2. Линейная структура макромолекулы.

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

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

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

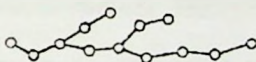


Рис. 23.3. Разветвленная система макромолекулы.

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

Пример: Полистирол $[-\text{CH}_2-\text{CH}-]_n$



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.

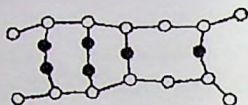


Рис. 23.4. Структура пространственного полимера.

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

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

По составу основной цепи макромолекулы полимера делят на 3 класса:

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

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

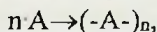
3) Элементоорганические полимеры могут иметь в основных цепях атомы кремния, бора, алюминия, титана, никеля, германия.

23.3. 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:

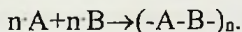


где А – молекула мономера;

(-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.

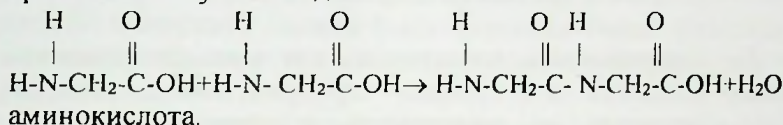
2) Полимеризация в растворителях может быть проведена двумя способами. В первом случае применяют растворитель, в котором растворимы как мономер, так и образующийся полимер. Образующийся конечный продукт представляет собой раствор полимера в растворителе. Во втором случае полимеризацию проводят в таком 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 составам 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.



Контрольные вопросы

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

ГЛАВА 24. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ ПЛАСТМАСС

24.1. 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 отличается 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.

24.2. Физические основы сварки пластмасс

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

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

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

Аморфное твердое состояние полимера характеризуется фиксированным, но разрыхленным расположением макромолекул относительно друг друга и лишь ограниченной подвижностью звеньев. С повышением температуры увеличивается энергия теплового движения макромолекул. Когда эта энергия становится достаточной, чтобы появилась гибкость всей молекулы, полимер переходит в высокоэластическое состояние (температура стеклования). Переход происходит постепенно в интервале температур 15-25°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.

24.3. Основные способы сварки пластмасс

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

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

- 1) газовыми теплоносителями;

- 2) 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 24.1.

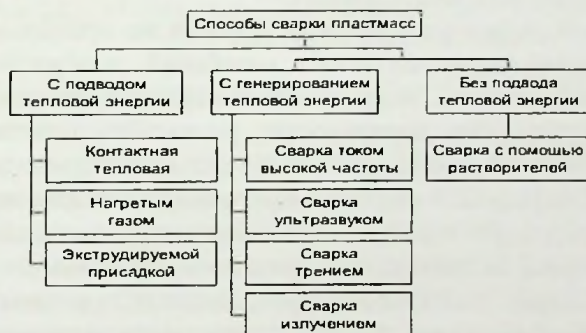


Рис. 24.1. Классификация способов сварки пластмасс.

Сварка газовыми теплоносителями относительно проста и позволяет получать разнообразные изделия при минимальных затратах на оборудование. Нагрев свариваемых кромок

осуществляется за счет теплоотдачи от нагретого газа, поступающего из горелки. Применяется при изготовлении аппаратуры для химической промышленности.

Способ сварки 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.

24.4. 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.

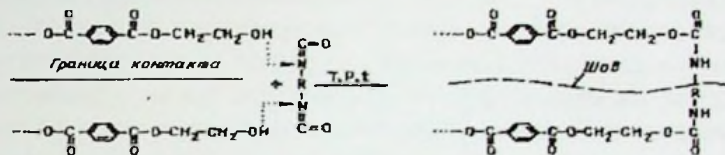


Рис 24.2. Механизм химической сварки ПЭТ при помощи диизоцианата.

Успех применения этого способа сварки зависит от многих факторов:

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

2) низкомолекулярное вещество, выступающее в роли мости-кообразующего, 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.

24.5. Сварка пластмасс с помощью растворителей

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

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

Контрольные вопросы

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

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 производится 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, ограниченных 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 Practices - American Welding Society - Connect Learn Success, 2012
2. Messler R. Principles of welding. - London: Wiley - Interscience, 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., Duniyashin N.S., Abralov M.M., Ermatov Z.D. Eritib payvandlash texnologiyasi va jihozlari – Т.: Voris, 2007
5. Abralov M.A., Duniyashin N.S., Ermatov Z.D. Gaz alangasi yordamida metallarga ishlov berish texnologiyasi va jihozlari – Т.: Ilm ziyo, 2007
6. Abralov M.A., Duniyashin N.S. Kontaktli payvandlash texnologiyasi va jihozlari – Т.: Turon-iqbol, 2006
7. Abralov M.A., Ermatov Z.D., Duniyashin N.S. Qo'lda yoyli payvandlash jihozlari – Т.: 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
ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ СВАРКИ	
1.1. Сущность процесса сварки.....	5
1.2. Классификация способов сварки.....	6
1.3. Образование и строение сварного шва и зоны термического влияния.....	7
ГЛАВА 2. РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА	
2.1. Сущность ручной дуговой сварки.....	11
2.2. Оборудование сварочного поста при ручной дуговой сварки.....	11
2.3. Покрывные электроды для ручной дуговой сварки.....	12
2.4. Режимы ручной дуговой сварки.....	35
2.5. Техника ручной дуговой сварки.....	37
ГЛАВА 3. СВАРКА В СРЕДЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА	
3.1. Сущность дуговой сварки в среде защитного газа.....	42
3.2. Сварка в защитных газах неплавящимся электродом.....	43
3.3. Сварка в защитных газах плавящимся электродом.....	45
3.4. Неплавящиеся электроды.....	46
3.5. Защитные газы.....	50
3.6. Оборудование для дуговой сварки в среде защитных газов.....	52
ГЛАВА 4. СВАРКА ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА	
4.1. Сущность сварки под слоем флюса.....	54
4.2. Сварочные материалы, используемые при сварке под слоем флюса.....	55
4.3. Оборудование, применяемое при сварке под слоем флюса.....	64
4.4. Расчет режимов сварки под слоем флюса.....	72
ГЛАВА 5. ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА	
5.1. Сущность электрошлаковой сварки.....	78
5.2. Классификация способов электрошлаковой сварки.....	79
5.3. Металлургия электрошлаковой сварки.....	81
5.4. Режимы электрошлаковой сварки.....	82
5.5. Оборудование для электрошлаковой сварки.....	83

ГЛАВА 6. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА	
6.1. Сущность электронно-лучевой сварки.....	91
6.2. Оборудование, применяемое при электронно-лучевой сварки.....	94
ГЛАВА 7. ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА	
7.1. Сущность лазерной сварки.....	92
7.2. Классификация технологических лазеров.....	99
7.3. Оборудование для лазерной сварки.....	100
ГЛАВА 8. КОНТАКТНАЯ СВАРКА	
8.1. Контактная сварка.....	103
8.2. Точечная контактная сварка.....	105
8.3. Шовная контактная сварка.....	107
8.4. Рельефная сварка.....	108
8.5. Стыковая сварка.....	110
ГЛАВА 9. ХОЛОДНАЯ СВАРКА	
9.1. Сущность холодной сварки металлов	115
9.2. Виды холодной сварки	116
ГЛАВА 10. ДИФфуЗИОННАЯ СВАРКА	
10.1. Сущность диффузионной сварки.....	120
10.2. Виды диффузионной сварки	121
ГЛАВА 11. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА	
11.1. Сущность ультразвуковой сварки.....	126
11.2. Способы ультразвуковой сварки	127
ГЛАВА 12. СВАРКА ТРЕНИЕМ	
12.1. Сущность сварки трением.....	131
12.2. Виды сварки трением.....	131
ГЛАВА 13. ТЕРМО-КОМПРЕССИОННАЯ СВАРКА	
13.1. Сущность термокомпрессионной сварки.....	136
13.2. Виды термокомпрессионной сварки.....	137
ГЛАВА 14. СВАРКА ПРОКАТКОЙ	
141	
ГЛАВА 15. СВАРКА ВЗРЫВОМ	
144	
ГЛАВА 16. ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СВАРКА	
149	
ГЛАВА 17. МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ СВАРКА	
155	
ГЛАВА 18. НАПЛАВКА	
18.1. Классификация способов наплавки.....	158
18.2. Материалы для наплавки	163
18.3. Техника дуговой наплавки	168

ГЛАВА 19. ТЕХНОЛОГИЯ НАПЫЛЕНИЯ

19.1. Классификация способов газотермического напыления.....	173
19.2. Сущность плазменного напыления.....	175
19.3. Оборудование для плазменного напыления.....	177
19.4. Технология плазменного напыления.....	178

ГЛАВА 20. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ

20.1. Теоретические основы пайки металлов	181
20.2. Классификация процессов пайки.....	182

ГЛАВА 21. СПОСОБЫ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ

21.1. Классификация способов пайки.....	186
21.2. Способы сварки.....	186

ГЛАВА 22. ПРОЦЕССЫ УДАЛЕНИЯ ОКИСНОЙ ПЛЕНКИ ПРИ ПАЙКЕ МЕТАЛЛОВ

22.1. Классификация способов удаления окисной пленки.....	192
22.2. Флюсы и их роль.....	194
22.3. Композиция флюсов.....	195
22.4. Механизм флюсования.....	195

ГЛАВА 23. ПОНЯТИЕ О ПЛАСТМАССАХ И ПОЛИМЕРАХ

23.1. Понятие о пластмассах и полимерах.....	197
23.2. Классификация полимеров.....	199
23.3. Получение полимеров	201

ГЛАВА 24. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ ПЛАСТМАСС

24.1. Сущность сварки пластмасс	204
24.2. Физические основы сварки пластмасс.....	205
24.3. Основные способы сварки пластмасс.....	206
24.4. Химическая сварка пластмасс.....	209
24.5. Сварка пластмасс с помощью растворителей.....	210
Глоссарий.....	211
Список используемой литературы.....	214

MUNDARIJA

Kirish.....	3
1-BOB. PAYVANDLASH USLUBLARI TASNIFI VA MOHIYATI	
1.1. Payvandlash mohiyati.....	5
1.2. Payvandlash uslublari tasnifi.....	6
1.3. Payvand chokning va termik ta'sir zonasining hosil bo'lishi va tuzilishi.....	7
2-BOB. YOYLI DASTAKLI PAYVANDLASH	
2.1. Yoyli dastakli payvandlash mohiyati.....	11
2.2. Yoyli dastakli payvandlash postining jihozlanishi.....	11
2.3. Yoyli dastakli payvandlash uchun qoplamali metall elektrodlar.....	12
2.4. Yoyli dastakli payvandlash rejimlari.....	35
2.5. Yoyli dastakli payvandlash texnikasi.....	37
3-BOB. HIMOYA GAZLAR MUHITIDA PAYVANDLASH	
3.1. Himoya gaz muhitida payvandlash mohiyati.....	42
3.2. Erimaydigan elektrodlar bilan payvandlash.....	43
3.3. Eriydigan elektrod bilan payvandlash.....	45
3.4. Himoyalovchi gazlar.....	46
3.5. Himoya gazlar muhitida payvandlash uchun jihozlar.....	50
4-BOB. FLYUS OSTIDA PAYVANDLASH	
4.1. Flyus ostida payvandlash mohiyati.....	54
4.2. Flyus ostida payvandlashda ishlatiladigan payvandlash materiallari.....	55
4.3. Flyus ostida payvandlash uchun jihozlar.....	64
4.4. Flyus ostida payvandlash rejimi xisobi.....	72
5- BOB. ELEKTR-SHLAK PAYVANDLASH	
5.1. Elektr-shlak payvandlash mohiyati.....	78
5.2. Elektr-shlak payvandlash usullari.....	79
5.3. Elektr-shlak payvandlash metallurgiyasi.....	81
5.4. Elektr-shlak payvandlash rejimlari.....	82
5.5. Elektr-shlak payvandlash texnologiyasi va jihozlri.....	83
6 - BOB. ELEKTRON-NURLI PAYVANDLASH	
6.1. Elektron-nurli payvandlash mohiyati.....	91
6.2. Elektron nurli payvandlashda qo'llaniladigan jihozlar.....	94
7 - BOB. LAZERLI PAYVANDLASH	
7.1. Lazerli payvandlash mohiyati.....	92

7.2. Texnologik lazerlarning klassifikatsiyasi.....	99
7.3. Lazerli payvandlash uchun jihozlar.....	100
8-BOB. KONTAKTLI PAYVANDLASH	
8.1. Kontaktli payvandlash.....	103
8.2. Nuqtali kontaktli payvandlash.....	105
8.3. Chokli kontaktli payvandlash.....	107
8.4. Relyefli payvandlash.....	108
8.5. Uchma-uch payvandlash.....	110
9-BOB. SOVUQ HOLATDA PAYVANDLASH	
9.1. Sovuq holatda payvandlash mohiyati	115
9.2. 10.2. Sovuq holatda payvandlash usullari.....	116
10-BOB. DIFFUZION PAYVANDLASH	
10.1. Diffuzion payvandlash mohiyati.....	120
10.2. Diffuzion payvandlash usullari.....	121
11-BOB. ULTRA TOVUSH YORDAMIDA PAYVANDLASH	
11.1. Ultratovush yordamida payvandlash mohiyati	126
11.2. Ultratovush yordamida payvandlash usullari.....	127
12-BOB. ISHQALAB PAYVANDLASH.....	131
13-BOB. TERMO-KOMPRESSION PAYVANDLASH.....	136
14-BOB. PROKATLAB PAYVANDLASH.....	141
15-BOB. PORTLATIB PAYVANDLASH	144
16-BOB. YUQORI CHASTOTALI PAYVANDLASH.....	149
17-BOB. MAGNIT-IMPULSLI PAYVANDLASH.....	155
18-BOB. ERITIB QOPLASH	
18.1. Eritib qoplash jarayonlarining usullari tasnifi.....	158
18.2. Eritib qoplanadigan materiallar.....	163
18.3. Eritib qoplash texnikasi.....	168
19- BOB. CHANGLATISH TEXNOLOGIYASI	
19.1. Gazotermik changlatish usullarining tasnifi.....	173
19.2. Plazmali changlatishning mohiyati.....	175
19.3. Plazmali changlatish uchun jihozlar.....	177
19.4. Plazmali changlatishning texnologiyasi.....	178
20-BOB. METALLARNI KAVSHARLASHNING NAZARIY ASOSLARI	
20.1. Kavsharlashning nazariy asoslari.....	181
20.2. Kavsharlash jarayonlarining tasnifi.....	182

21-BOB. METALLARNI KAVSHARLASHNING USULLARI	
21.1. Kavsharlash tasnifi.....	186
21.2. Kavsharlash usullari.....	186
22-BOB. ERITIB KESISH TEXNOLOGIYASI	
22.1. Kesishning yoyli usullari.....	192
22.2. Plazmali kesish.....	194
22.3. Lazerli kesish.....	195
22.4. Suv ostida elektr yoyi vositasida kesish.....	195
23-BOB. PLASTMASSALAR VA POLIMER HAKIDA TUSHUNCHA	
23.1. Polimer va plastmassalar haqida tushuncha.....	197
23.2. Polimerlarning klassifikatsiyasi.....	199
23.3. Polimerlarni ishlab chiqarish.....	201
24-BOB. PLASTMASSALARNI PAYVANDLASH	
24.1. Plastmassalarni payvandlashning mohiyati.....	204
24.2. Plastmassalarni payvandlashning fizik asoslari.....	205
24.3. Plastmassalarni payvandlashning asosiy usullari.....	206
24.4. Plastmassalarni kimyoviy payvandlash.....	209
24.5. Plastmassalarni eritmalar yordamida payvandlash.....	210
Glossariy.....	211
Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.....	214

CONTENTS

Introduction.....	3
CHAPTER 1. CLASSIFICATION OF WELDING METHODS	
1.1. The essence of welding	5
1.2. Classification of welding methods	6
1.3. The formation and structure of the weld and the thermal zone influence	7
CHAPTER 2. MANUAL ARC WELDING	
2.1. The essence of manual arc welding	11
2.2. Welding station equipment for manual arc welding	11
2.3. Covered electrodes for manual arc welding	12
2.4. Modes of manual arc welding	35
2.5. Manual arc welding technique	37
CHAPTER 3. GAS-SHIELDED WELDING	
3.1. The essence of gas-shielded arc welding	42
3.2. Non-consumable electrode welding	43
3.3. Consumable electrode welding	45
3.4. Shielding gases	46
3.5. Equipment for gas-shielded arc welding	50
CHAPTER 4. WELDING UNDER A LAYER OF FLUX	
4.1. The essence of welding under a layer of flux	54
4.2. Welding consumables used in under-layer welding flux	55
4.3. Equipment used in submerged arc welding	64
4.4. Calculation of welding modes under a layer of flux	72
CHAPTER 5. ELECTROSLAG WELDING	
5.1. The essence of electroslag welding	78
5.2. Electroslag welding methods	79
5.3. Equipment for electroslag welding	81
5.4. Modes of electroslag welding	82
5.5. Technology and equipment for electroslag welding.....	83
CHAPTER 6. ELECTRON BEAM WELDING	
6.1. The essence of electron beam welding	91
6.2. Equipment used in electron beam welding	94
CHAPTER 7. LASER WELDING	
7.1. The essence of laser welding	92
7.2. Classification of technological lasers	99

7.3. Equipment for laser welding	100
CHAPTER 8. RESISTANCE WELDING	
8.1. Contact welding.....	103
8.2. Spot resistance welding	105
8.3. Resistance seam welding	107
8.4. Embossed resistance welding	108
8.5. Butt resistance welding	110
CHAPTER 9. COLD WELDING	
9.1. The essence of cold welding	115
9.2. Cold welding methods	116
CHAPTER 10. DIFFUSION WELDING	
10.1. The essence of diffusion welding	120
10.2. Methods of diffusion welding	121
CHAPTER 11. ULTRASONIC WELDING	
11.1. The essence of ultrasonic welding	126
11.2. Ultrasonic welding methods	127
CHAPTER 12. FRICTION WELDING	131
CHAPTER 13. THERMO-COMPRESSSION WELDING	136
CHAPTER 14. ROLLING WELDING	141
CHAPTER 15. EXPLOSION WELDING	144
CHAPTER 16. WELDING WITH HIGH-FREQUENCY CURRENTS	149
CHAPTER 17. MAGNETIC-PULSE WELDING	155
CHAPTER 18. SURFACING	
18.1. Classification of surfacing methods	158
18.2. Surfacing materials	163
18.3. Surfacing technique	168
CHAPTER 19. SPRAYING TECHNOLOGY	
19.1. Classification of methods of thermal spraying	173
19.2. The essence of plasma spraying	175
19.3. Plasma spraying equipment	177
19.4. Plasma spraying technology	178
CHAPTER 20. THEORETICAL FOUNDATIONS OF METAL SOLDERING	
20.1. Theory of soldering	181
20.2. Classification of soldering processes	182

CHAPTER 21. METHODS OF SOLDERING METALS

21.1. Classification of soldering methods	186
21.2. Welding methods	186

CHAPTER 22. PROCESSES FOR REMOVING OXIDE FILM DURING SOLDERING METALS

22.1. Classification of methods for removing oxide film	192
22.2. Fluxes and their role	194
22.3. Composition of fluxes	195
22.4. Fluxing mechanism	195

CHAPTER 23. THE CONCEPT OF PLASTICS AND POLYMERS

23.1. The concept of plastics and polymers	197
23.2. Classification of polymers	199
23.3. Polymer production	201

CHAPTER 24. GENERAL INFORMATION ABOUT WELDING OF PLASTICS

24.1. The essence of plastics welding	204
24.2. Physical fundamentals of welding plastics	205
24.3. The main methods of welding plastics	206
24.4. Chemical welding of plastics	209
24.5. Welding plastics with solvents	210
Glossary	211
List of used literature	214

**ДУНЯШИН НИКОЛАЙ СЕРГЕЕВИЧ,
ЭРМАТОВ ЗИЯДУЛЛА ДОСМАТОВИЧ,
ГАЛЬПЕРИН ЛЕОНИД ВЛАДИМИРОВИЧ,
ХУДОЕРОВ САРДОР САДУЛЛАЕВИЧ,
ЗАЙРКУЛОВ ЭЛЕР ЕКУБЖОН УГЛИ**

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ СВАРКИ

Ташкент – «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi» – 2021

Редактор:	Ш.Кущербаева
Тех. редактор:	А.Мойдинов
Компьютерная вёрстка:	Ш.Миркасимова



E-mail: tipografiyacent@mail.ru Тел: 97-450-11-14, 93-381-22-07.

Разрешено в печать 20.05.2021.

Формат 60x84 ¹/₁₆. Гарнитура «Times New Roman».

Офсетная печать. Усл. печ.л. 13,75. Изд. печ.л. 14,0.

Тираж 300. Заказ № 67.

**Отпечатано в типографии
«Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi»
г. Ташкент, ул. Фозилтепа, 22 б.**