Московская Государственная Академия

Приборостроения и Информатики

Реферат по дисциплине

«Физико-химические основы соенинения металлов»

# *СХЕМА И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА*

# *МЕТОДОВ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ*

Студент: Рыжикова М.В.

МТ 1212

III курс

## Шифр: 97164

Преподаватель: Овчинников В.А.

Москва, 2000 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Сварка .................................................................... 3

Классификация методов сварки плавлением ................................... 3

Дуговая сварка ............................................................ 3

Электрошлаковая сварка .................................................... 8

Сварка электронным лучом .................................................. 9

Лазерная сварка .......................................................... 11

Свето-лучевая сварка ..................................................... 12

Плазменная сварка ........................................................ 12

Газовая сварка ........................................................... 12

*Список использованной литературы* ......................................... 14

СВАРКА

Сваркой называется процесс получения неразъемного соединения посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или при совместном действии того и другого.

Сваркой соединяют детали из металлов, керамических материалов, пластмасс, стекла и др. в однородных и разнородных сочетаниях.

Существует свыше 60 способов сварки, при которых материал в месте соединения деформируется без нагрева ⎯ *сварка давлением* (холодная, взрывом и др.), нагревается и пластически деформируется ⎯ *сварка с применением давления* (контактная, высокочастотная, газопрессовая и др.) или расплавляется ⎯ *сварка плавлением* (дуговая, электрошлаковая, электронно-лучевая, плазменная, газовая и др.).

Простейшие виды сварки плавлением известны с глубокой древности, например литейная сварка. Современная схема сварки плавлением показана на рис. 1

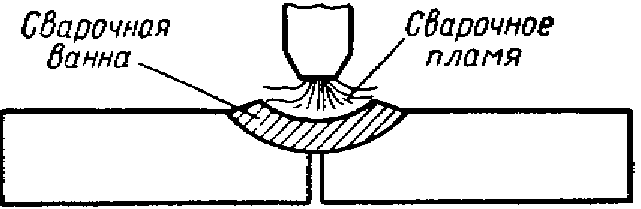


Рис. 1. Схема сварки плавлением.

К соединяемым деталям в месте сварки подводят сварочное пламя; производят местное расплавление деталей до образования общей сварочной ванны жидкого металла. После удаления сварочного пламени металл ванны быстро охлаждается и затвердевает, в результате детали оказываются соединёнными в одно целое. Перемещая пламя по линии сварки, можно получить сварной шов любой длины.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ

Существующие методы сварки плавлением могут быть классифицированы по виду источников теплоты, способы сварки – по типу защиты ванны и свариваемого металла от взаимодействия с атмосферой воздуха, особенности введения теплоты, степени автоматизации процессов и другим признакам. По виду источника теплоты могут быть выделены методы сварки плавлением: дуговая электрошлаковая; электронно-лучевая; лазерная; свето-лучевая; газовая; плазменная; термитная.

По виду защиты свариваемого металла и сварочной ванны от окружающей атмосферы могут быть выделены способы сварки со шлаковой, газошлаковой и газовой защитой.

По особенностям нагрева различают способы сварки с непрерывным нагревом и импульсным.

По степени автоматизации процесса существующие способы сварки могут быть разделены на ручную, полуавтоматическую и автоматическую.

Характеристика наиболее широко применяемых в промышленности методов и способов сварки плавлением, учитывающая отмеченные технологические признаки, приведена в табл.1.

# ДУГОВАЯ СВАРКА

## **Способы дуговой сварки.**

## В настоящее время существует большое число различных способов дуговой сварки, отличающихся принятыми при сварке средствами защиты металла от воздуха, типом электрода, особенностями горения дуги и степенью автоматизации процесса.

## По виду защиты металла от окружающей атмосферы существующие способы дуговой сварки можно разделить на две группы: со шлаковой и газошлаковой защитой; с газовой защитой. Последние можно разделить на несколько подгрупп: по виду применяемого газа ⎯ на способы с защитой инертными и активными газами; по виду защиты ⎯ на способы с местной защитой ванны и общей защитой изделия (сварка в камерах); по давлению газа в реакционной зоне ⎯ на способы сварки при нормальном внешнем давлении, в разреженном пространстве и при повышенном внешнем давлении.

По типу применяемого электрода различают способы дуговой сварки плавящимся и неплавящимся электродом.

По особенностям горения дуги могут быть выделены способы однодуговой и многодуговой сварки, трехфазной, расщепленным электродом, с непрерывным и импульсным режимами горения дуги, свободногорящей и сжатой дугой.

По степени механизации различают сварку ручную, полуавтоматическую и автоматическую.

#### Таблица 1

##### ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ И СПОСОБОВ СВАРКИ ПЛАВЛЕНЕНИЕМ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Отличительные признаки способов сварки** | **Дуговая сварка** | **Электрошла-ковая сварка** | **Электронно-лучевая сварка** | **Лазерная сварка** | **Ствето-лучевая сварка** | **Газовая сварка** | **Плазменная сварка** | **Термитная сварка** |
| **Источник нагрева** | Теплота,выделя-ющаяся при бомбардировке поверхности нагрева заряженными частицами, и теплота плазмы столба дуги | Теплота, выделяющаяся при прохождении тока через расплавленный шлак | Теплота, выделяющаяся при бомбардировке поверхности нагрева электронами, получившими ускорение в поле высокого напряжения | Теплота, выделяющаяся при поглощении поверхностью нагрева индуцированного излучения с определенной длиной волны | Теплота, выделяющаяся при поглощении светового потока с широким диапазоном длины волн | Теплота, полученная при сжигании горючего газа в кислороде | Теплота, содержащаяся в ионизированном газовом потоке, выделенном из столба дуги | Теплота, содержащаяся в перегретом жидком расплаве |
| **Вид защиты** | Газошлаковая и газовая инертными и активными газами. Местная и общая. При нормальном внешнем и повышенном давлениях и в вакууме | Шлаковая | Общая в вакууме | Газовая инертными газами. Местная и общая. При нормальном и повышенном давлениях и вакууме | | Газовая и газошлаковая | Газовая инертными и активными газами. Местная и общая | Шлаковая |
| **Характер нагрева** | Непрерывный, импульсный | Непрерывный | Непрерывный, импульсный | Непрерывный, импульсный | Непрерывный, импульсный | Непрерывный, периодический | Непрерывный | Непрерывный |
| **Вид процесса по степени автоматизации** | Ручной, полуавтомати-ческий и автоматический | Автоматиче-ский и полуавтома-тический | Автомати-ческий | Автоматический | Автоматический | Ручной | Ручной и автоматический | Ручной |

В результате различного сочетания указанных технологических особенностей получено большое число способов дуговой сварки.

Параметры режима дуговой сварки и их влияние на форму ванны и размеры швов.

Основныепараметрыдуговойсварки*.*

К основным параметрам относятся сила тока *I*д , напряжение дуги *U*д  и скорость сварки *v*св. Полная мощность сварочной дуги:

.

Тепловложение на единицу длины шва определяется погонной энергией (*q*оηи/*v*св) и условиями сварки, оказывающими влияние на ηи. Величина ηи в зависимости от условий сварки может меняться от 0,3 до 0,95.

*Ток дуги.* Этот параметр в наибольшей степени определяет тепловую мощность. При постоянном диаметре электрода с увеличением силы тока дуги возрастает концентрация тепловой энергии в пятне нагрева. Повышается температура плазмы столба дуги. Стабилизируется положение активных пятен на электроде и изделии. С увеличением силы тока дуги возрастает длина сварочной ванны, ее ширина и глубина проплавления. Особенно интенсивно растет глубина проплавления. Это обусловлено не только увеличением тепловой мощности и сосредоточенности энергии в пятне нагрева, но и значительным повышением давления дуги на ванну, которое пропорционально квадрату силы сварочного тока. В определенных пределах изменения тока глубина проплавления ванны приближенно может быть оценена зависимостью, близкой к линейной:

,

где *k* ⎯ коэффициент, зависящий от рода тока, полярности, диаметра электрода, степени сжатия дуги и др.

*Напряжение дуги.* С увеличением напряжения также возрастает тепловая мощность дуги, а, следовательно, и размеры сварочной ванны. Особенно интенсивно возрастают ширина и длина ванны. Ширина ванны связана с напряжением практически прямой зависимостью:

,

где *S* ⎯ толщина свариваемого металла.

При постоянной величине сварочного тока повышение напряжения дуги незначительно сказывается на глубине проплавления ванны. По-видимому, это обусловлено некоторым снижением эффективного КПД дуги и большими возможностями для блуждания активного пятна в сварочной ванне.

Путем медленного уменьшения длины дуги и соответственно напряжения дуги можно перейти к сварке погруженной дугой

*Скорость сварки.* При постоянной погонной энергии увеличение скорости сварки вызывает повышение термического КПД процесса, а это, в свою очередь, приводит к возрастанию глубины проплавления и снижению ширины шва. Изменение скорости сварки при постоянной тепловой мощности дуги заметно сказывается на размерах сварочной ванны и шва. Это можно видеть из уравнений для определения ширины *e* и длины *L* сварочной ванны:

.

**Дополнительные параметры режима дуговой сварки.**

Дополнительные параметры связаны с условиями ведения процесса сварки и особенностями горения дуги. Так, например, при одной и той же погонной энергии можно изменять диаметр электрода, род тока и полярность, использовать импульсный и непрерывный режимы горения дуги. В некоторых случаях применяют сжатую дуг, а иногда колебания электрода. Эти особенности процесса также сказываются на формировании ванны и конечных размерах швов.

*Диаметр электрода.* При постоянной величине сварочного тока диаметр электрода определяет плотность энергии в пятне нагрева и подвижность дуги. В связи с этим при увеличении диаметра электрода снижается глубина проплавления ванны и возрастает ее ширина.

*Род тока и полярность.* В зависимости от рода тока и полярности на изделии выделяется различное количество теплоты. Если теплоту, выделяющуюся на аноде (*W*a) и катоде (*W*к), приближенно оценивать по эффективному падению напряжений, то получим зависимости



где *U*a и *U*к ⎯ анодное и катодное падение напряжений; ϕ, *kT* ⎯ потенцаильная и термическая энергия электронов.

На катоде не вся энергия *U*к переходит в теплоту. Часть ее (ϕ+2*kT*) уносится в плазму столба дуги. На аноде выделяется энергия *U*a и прибавляется потенциальная и термическая энергия электронов. Количество теплоты, выделенное на катоде, зависит от потенциала ионизации дугового газа. Поэтому разница в тепловыделении на катоде и аноде определяется способом дуговой сварки. В реальных условиях при сварке на прямой полярности (анод на изделии) глубина проплавления оказывается меньше, чем при сварке на обратной полярности (катод на изделии). Это легко объясняется формой столба дуги. Анодное пятно занимает большую площадь по сравнению с катодным. Поэтому ширина ванны и шва при сварке на прямой полярности возрастает.

При выборе рода тока необходимо учитывать влияние магнитного поля дуги на ее отклонение (магнитное дутье). Наличие вблизи дуги ферромагнитных масс или посторонних магнитных полей усиливает это явление. Формирование сварочной ванны и шва при действии магнитного поля меняется. Наблюдается вытеснение расплавленного металла из сварочной ванны, снижение глубины проплавления и т.п.

Меры борьбы с отклонением дуги собственным магнитным полем заключаются в правильном токоподводе, устранении ферромагнитных масс вблизи дуги, ориентировании угла наклона электрода по направлению отклонения столба дуги. Полное устранение магнитного дутья достигается при питании дуги переменным током.

*Угол наклона электрода.* Изменяя наклон электрода в плоскости продольной оси шва, можно существенно влиять на размеры сварочной ванны и шва. При α<90° сварку выполняют углом вперед. Давление дуги вытесняет расплавленный металл в головную часть ванны. При этом глубина проплавления основного металла снижается. При α>90° сварку выполняют углом назад. Давление дуги способствует интенсивному вытеснению расплавленного металла из головной части ванны в хвостовую. Глубина проплавления возрастает.

Аналогичные результаты могут быть получены отклонением столба дуги магнитным полем при вертикальном расположении электрода.

*Колебание электрода.* При поперечных колебаниях электрода возрастает ширина шва и снижается глубина проплавления. Изменяются условия кристаллизации и тепловой цикл в зоне термического влияния. Колебания электрода в процессе сварки обычно осуществляют с частотой 10⎯60 Гц и амплитудой 2⎯4 мм. Для этих целей используют раздичные по конструкции и принципу действия устройства.

*Сжатие столба дуги.* При сварке сжатой дугой появляется новый дополнительный параметр режима ⎯ степень сжатия дуги. С увеличением степени сжатия дуги увеличивается температура плазмы дуги, повышается концентрация теплоты в пятне нагрева, возрастает глубина проплавления и снижается ширина сварочной ванны и шва.

*Импульсная подача тока.* При импульсном горении дуги появляются два новых дополнительных параметра процесса: время импульса *t*и и время паузы *t*п. Тепловая энергия подводится только во время импулься. Оба этих параметра оказывают влияние на размеры сварочной ванны и шва. При неизменной погонной энергии в течение цикла (*t*ц=*t*и+*t*п) увеличение времени паузы ужесточает режим. Значительно возрастает термический КПД процесса. Благодаря этому до определенных значений *t*и растет глубина проплавления основного металла и снижается ширина шва.

На размеры ванны и шва большое влияние оказывает число одновременно горящих дуг и их расположение. При сварке трехфазной дугой, путем изменения мощности в отдельных дугах, имеется возможность регулировать количество теплоты, выделяемое между электродами и на свариваемых кромках.

**Сварка плавящимся и неплавящимся электродом.**

*Плавление и перенос металла электрода в сварочную ванну.* Скорость плавления электрода жестко связана с величиной сварочного тока. При сварке различных видов сварных соединений и типов швов требуется неодинаковая скорость плавления электрода. В одних случаях она должна быть минимальной, в других, наоборот, максимальной.

При сварке стыковых соединений без разделки кромок и без зазора расплавленный металл электрода образует усиление шва. По мере увеличения толщины свариваемых элементов для полного их проплавления необходимо увеличение силы тока дуги. Одновременно с этим увеличивается и количество расплавляющегося электродного металла. В результате образуются швы с чрезмерно большим усилением. Для получения швов с нормальным усилением следует искать пути снижения скорости плавления электрода или прибегать к разделке кромок, сварке с увеличенным фиксированным зазором.

При выполнении стыковых соединений с разделкой кромок, а также при сварке угловых швов желательно увеличивать скорость плавления электрода, поскольку в этих случаях производительность процесса в значительной мере определяется количеством электродного металла, расплавляющегося в единицу времени, необходимого для заполнения разделки или формирования угловых швов с заданным катетом.

На практике используют в качестве характеристики среднюю скорость плавления электрода, определяющуюся количеством расплавленного металла:

,

где αР ⎯ коэффициент расплавления электрода, г/(А⋅ч); *I*д ⎯ сила тока дуги, А; *k* ⎯ коэффициент, зависящий от выбора единиц измерения.

Количество наплавленного металла или средняя скорость наплавки

,

где αН ⎯ коэффициент наплавки, г/(А⋅ч).

Коэффициенты расплавления электрода и наплавки зависят от способа сварки и плотности тока на электроде. Для небольших плотностей тока при ручной дуговой сварке сталей их значение не превышает 7⎯10 г/(А⋅ч). С увеличением плотности тока значение коэффициентов возрастает до 17 г/(А⋅ч) и более. Разница в коэффициентах αР и αН определяется потерями электродного металла на разбрызгивание, испарение и т.п.:

 ,

где ψ ⎯ коэффициент потерь, %.

Для различных способов дуговой сварки потери составляют 1⎯15%. С увеличением силы сварочного тока потери на разбрызгивание во многих случаях возрастают.

На формирование сварочной ванны и шва влияет характер переноса электродного металла при его плавлении. Перенос расплавленного металла с электрода в сварочную ванну осуществляется под действием электродинамических сил и газовых потоков, образующихся в столбе дуги.

*Стойкость неплавящегося электрода и плавление присадочного металла.* При сварке неплавящимся электродом отсутствует перенос расплавленного металла через дуговой промежуток. Это в значительной мере облегчает условия горения дуги и обусловливает более высокую ее стабильность. Присадочный металл по мере необходимости подается в головную часть сварочной ванны. В отличие от сварки плавящимся электродом скорость плавления присадочного металла не связана жесткой зависимостью с величиной сварочного тока. Количество присадочного металла, подаваемого в ванну, выбирают из условия обеспечения требуемой доли участия присадочного металла в образовании шва. При сварке стыковых соединений без разделки кромок присадочных металл необходим в основном для создания усиления шва.

Переход присадочного металла в сварочную ванну, минуя дуговой промежуток, исключает его разбрызгивание. Сокращаются потери на испарение и ограничивается взаимодействие расплавленного металла с газовой фазой столба дуги.

При сварке неплавящимся электродом создаются благоприятные условия для защиты ванны и формирования шва. Стойкость вольфрамового электрода в первую очередь определяется плотностью тока. Большое влияние оказывает род тока и полярность при постоянном его значении.

**Способы сварки со шлаковой и газошлаковой защитой.**

Шлаковая защита при дуговой сварке образуется за счет расплавления флюсов, электродных покрытий и сердечников порошковой проволоки. Наиболее надежна шлаковая защита при сварке под флюсом. Образование капель при плавлении электрода и их перенос происходит в объеме газового пузыря, заполненного парами металла и флюса. Взаимодействие с атмосферными газами практически исключается.

Менее надежна шлаковая защита при сварке покрытыми электродами и порошковой проволокой. Капли электродного металла проходят через открытый дуговой промежуток и взаимодействуют с атмосферой. Наличие на каплях шлаковой пленки не всегда предохраняет их от этого взаимодействия. При сварке наряду со шлаковой защитой должна создаваться и газовая защита. В электродные покрытия и сердечники порошковой проволоки в соответствии с этим вводят шлакообразующие и газообразующие компоненты.

**Способы сварки в среде защитных газов.**

При дуговой сварке применяют два способа газовой защиты: струйную местную защиту и общую защиту в камерах.

Струйная защита относится к наиболее распространенному способу местной защиты при сварке. Качество струйной защиты зависит от конструкции и размеров сопла, расхода защитного газа и расстояния от среза сопла до поверхности свариваемого металла.

На практике применяют три вида сопл: конические, цилиндрические и профилированные. Лучшая защита обеспечивается при применении профилированных сопл.

При сварке со струйной защитой обеспечивается защита только зоны расплавления. Возможен подсос воздуха в реакционную зону. Поэтому с точки зрения защиты ванны ее нельзя признать совершенной. Для улучшения защиты в ряде случаев, особенно при сварке активных металлов, применяют местные камеры.

Общая защита в герметичных камерах обеспечивает наиболее высокую степень защиты металла в процессе сварки. Это необходимо при сварке особо активных металлов и сплавов (например, титана, циркония, молибдена, тантала, ниобия и сплавов на их основе).

# ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА

Источником теплоты при электрошлаковой сварке служит расплавленный флюс. Количество теплоты, выделяющееся при прохождении тока через флюс, определяют по известному уравнению

,

где *R*В ⎯ сопротивление шлаковой ванны.

Расплавленный шлак за счет прохождения электрического тока нагревается до высокой температуры. Теплота, выделяющаяся в шлаковой ванне при прохождении тока, обеспечивает расплавление основного и присадочного металлов с образованием общей сварочной ванны.

Для удержания ванны в вертикальном положении от вытекания используют различные приспособления: передвижные медные водоохлаждаемые ползуны и т.п. По мере плавления основного и присадочного металлов металлическая и шлаковая ванны поднимаются. Процесс ведется автоматически, причем наряду с заданной скоростью подачи присадочного металла поддерживается определенная глубина шлаковой и металлической ванны.

Электрошлаковую сварку применяют главным образом для получения соединений из металла (стали, алюминия, титана и их сплавов и др.) большого сечения (свыше 40-50 мм). Преимущества процесса: высокая производительность, высокое качество сварных соединений, сравнительная простота и возможность автоматизации.

**Способы электрошлаковой сварки.**

В зависимости от типа применяемого электрода различают несколько способов процесса электрошлаковой сварки: электродной проволокой, электродной пластиной, плавящимся мундштуком. Выбор способа электрошлаковой сварки определяется сечением соединяемых элементов и их протяженностью.

**Сборка свариваемых элементов и** **формирование ванны.**

Основной вид соединения при электрошлаковой сварке ⎯ стыковое. Этим методом могут быть выполнены и другие соединения. Величину зазора между свариваемыми элементами выбирают в зависимости от толщины соединяемых кромок, способа электрошлаковой сварки и т.п. На практике зазор между свариваемыми элементами выбирают достаточным для размещения электрода (электродов) и предупреждения его замыкания на кромки. При сборке свариваемых кромок необходимо учитывать возможность их смещения. Это затрудняет удержание ванны формирующими устройствами.

При электрошлаковой сварке применяют различные способы закрепления соединяемых элементов. Для сборки стыков большой протяженности к кромкам приваривают скобы. Небольшие по высоте свариваемые элементы фиксируют при сборке устройствами, формирующими шов.

При электрошлаковой сварке формирование ванны и шва невозможно без точной подгонки формирующих устройств к поверхности кромок. При использовании жидкотекучих флюсов зазор между формирующим устройством и изделием свыше 0,5 мм практически недопустим. Если зазор превышает допустимую величину, расплавленный шлак заполняет его, кристаллизуется и постепенно расширяет щель. Создаются условия для вытекания шлаковой и металлической ванны. Подгонка формирующих устройств облегчается после механической обработки поверхности свариваемых кромок, особенно при изготовлении сварно-литых и сварно-кованых конструкций.

**Параметры режима и их влияние на размеры сварочной ванны и шва.**

Эффективная мощность, выделяемая в шлаковой ванне:

,

где *U* ⎯ падение напряжения в шлаковой ванне.

Эффективный КПД ηИ зависит от соотношения между тепловыми потоками в свариваемое изделие и формирующие устройства и составляет 0,6⎯0,9.

Основные параметры режима ⎯ сила сварочного тока, напряжение на электродах и скорость сварки. Изменением этих параметров влияют на размеры сварочной ванны и шва. Размеры ванны оцениваются ее шириной *е* и глубиной *h*.

*Сила сварочного тока.* Изменение тока наибольшее влияние оказывает на глубину металлической ванны, С увеличением силы тока глубина ванны возрастает и имеет зависимость, близкую к линейной. Ток является главным параметром, за счет которого изменяют глубину ванны в требуемых пределах. На ширину ванны изменение тока влияет незначительно.

*Напряжение на электроде.* Изменение напряжения на электроде большое влияние оказывает на ширину металлической ванны. Зависимость имеет прямолинейный характер. На практике ширину ванны и шва изменяют в требуемых пределах регулированием напряжения на электроде (электродах). С увеличением напряжения несколько возрастает также и глубина металлической ванны.

*Скорость сварки.* Изменение скорости сварки для сохранения стабильности процесса требует изменения других параметров процесса, особенно силы сварочного тока. При увеличении скорости сварки наблюдается возрастание глубины ванны. Ширина ее изменяется по более сложной зависимости, имеющей максимум. Это, по-видимому, связано с различными значениями термического КПД.

К дополнительным элементам режима электрошлаковой сварки относятся величина зазора, скорость подачи электрода, число электродов и площадь их поперечного сечения, глубина шлаковой ванны, состав флюса и др. Их влияние на размеры сварочной ванны и шва проявляются слабее. Для сохранения стабильности процесса изменение скорости подачи электрода требует и соответствующего изменения силы тока. Следовательно, с увеличением скорости подачи электрода растет и глубина металлической ванны.

Большое влияние на стабильность процесса оказывает глубина шлаковой ванны. При недостаточной глубине возрастает вероятность образования дугового разряда либо внутри ванны, либо на ее поверхности. Глубину шлаковой ванны поддерживают в пределах 30⎯90 мм. Устойчивость электрошлакового процесса зависит от свойств источника питания и совершенства исполнительных устройств электрошлаковых аппаратов.

При электрошлаковой сварке должно соблюдаться равенство мощности, выделяемой в шлаковой ванне, и мощности, необходимой для образования сварочной ванны и шва. Стабильность процесса возрастает при применении источников переменного тока с малым внутренним сопротивлением (жесткой вольт-амперной характеристикой).

Исполнительные устройства должны обеспечить в процессе сварки постоянство глубины металлической и шлаковой ванны.

**СВАРКА ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ**

**Способы электронно-лучевой сварки.**

Источником нагрева при этом методе служит концентрированный поток электронов. Зона нагрева электронным лучом в зависимости от степени фокусировки может изменяться в значительных пределах. Диаметр пятна нагрева может изменяться от 0,05 до 5 мм, плотность энергии в нем 104⎯ 106 Вт/см2 . Электронный луч позволяет проводить сварку материалов с максимальной глубиной проплавления и минимальной зоной термического влияния.

Процесс сварки осуществляется в камерах. Различают однокамерные и двухкамерные установки. В однокамерных установках вследствие ионизации паров металла при нагреве возможно появление дугового разряда, отрицательно влияющего на работоспособность электронной пушки. В двухкамерных установках рабочая камера изолирована от электронной пушки. Высокий вакуум создается только в пространстве (камере), занятом прожектором электронной пушки.

Электронно-лучевая сварка нашла большое применение при изготовлении конструкций из молибдена, вольфрама, тантала, ниобия и других тугоплавких и активных металлов, а также из высокопрочных сталей и алюминиевых сплавов.

К преимуществам метода следует отнести высокие значения эффективного (0,85⎯0,95) и термического (0,35⎯0,485) КПД, высокую производительность (скорость сварки в 1,5⎯2 раза выше, чем при дуговой); незначительную зону термического воздействия, высокую чистоту атмосферы, незначительный расход электроэнергии и т.д. Недостаток электронно-лучевой сварки ⎯ высокая стоимость оборудования и его сложность, а в некоторых случаях и опасность облучения обслуживающего персонала.

**Формирование сварочной ванны и шва.**

Электронно-лучевой сваркой могут быть получены различные виды сварных соединений и достаточно большое количество типов швов. Наибольшее распространение способ получил при выполнении стыковых, угловых и реже тавровых соединений. Технологические особенности подготовки кромок и сборки их перед сваркой связаны со специфичностью электронного луча как источника нагрева. В первую очередь необходимо учитывать малые размеры пятна нагрева. Это приводит к получению узких клиновидных швов. Отсюда вытекают высокие требования к точности сборки свариваемых элементов. Подготовка кромок должна обеспечить возможность их тщательной подготовки по всей длине с минимальным зазором и смещением по высоте.

Сварка электронным лучом осуществляется в большинстве случаев без подачи присадочного материала. Усиление шва, как правило, отсутствует. Следовательно, разделка кромок нежелательна.

При сварке стыковых соединений со сквозным проплавлением для формирования обратной стороны шва могут быть использованы остающиеся или съемные подкладки. В отличие от дуговой сварки давление потока электронов на сварочную ванну невелико. Импульс давления, передаваемый единице площади пучком электронов,

,

где *j* ⎯ плотность тока электронного луча; *U*О ⎯ ускоряющее напряжение.

Основное пространственное положение ⎯ нижнее. Допускаются значительные отклонения от нижнего с переходом в вертикальное положение по схеме формирования швов на подъем (снизу вверх). При этом создаются условия получения более глубокого проплавления, Благоприятных очертаний шва и даже небольшого усиления.

Процесс сварки электронным лучом может быть выполнен с поверхностным нагревом кромок и глубинным. В первом случае при сварке используют небольшие плотности энергии в пятне нагрева. Во втором случае применяют высокие плотности энергии в пятне нагрева. В сварочной ванне образуется кратер, который способствует глубинному проплавлению металла. Поверхностный нагрев применяют в основном при сварке тонких металлов, он способствует увеличению ширины шва и зоны термического влияния.

Часто встречающийся дефект ⎯ несплавление кромок в корне шва ⎯ связан со смещением луча относительно стыка при клиновидной форме сечения шва. С увеличением толщины свариваемых элементов вероятность несплавлений возрастает. Исходя из этого, требуется высокая точность направления луча по стыку (отклонения не более ±0,15 мм) с применением систем слежения.

**Параметры режима и их влияние на размеры ванны и шва.**

Основные параметры режима электронно-лучевой сварки ⎯ сила тока, напряжение электронного луча, скорость сварки. Ускоряющее напряжение и сила тока луча определяют мощность источника нагрева.

*Ускоряющее напряжение* в основном определяет тепловую энергию в пятне нагрева, оказывает исключительно большое влияние на глубину проплавления сварочной ванны. При сохранении постоянной удельной мощности в пятне нагрева глубина проплавления увеличивается с повышением ускоряющего напряжения. В первом приближении глубина проплавления пропорциональна квадратному корню из ускоряющего напряжения.

На практике электронно-лучевую сварку выполняют при ускоряющем напряжении 10⎯100 кВ. В процессе сварки необходима высокая стабильность ускоряющего напряжения. Колебание напряжения (±0,1%) приводит к существенному изменению диаметра пятна нагрева и отклонению электронного луча относительно свариваемого стыка.

*Ток электронного луча* оказывает большое влияние на ширину сварочной ванны и шва. Увеличение силы тока приводит к их существенному возрастанию. Глубина проплавления сварочной ванны мало зависит от величины тока. Однако общее увеличение мощности электронного луча приводит к некоторому ее возрастанию.

Для увеличения глубины проплавления при сравнительно больших ускоряющих напряжениях может быть использован способ формирования на подъем. Особенно большой эффект достигается при сварке вертикальных швов. В этом случае сила тока электронного луча значительно увеличивается и достигает 1 А и выше. На практике величину тока электронного луча выбирают от десятков миллиампер до 1 А и более.

*Скорость сварки* влияет на размеры сварочной ванны и шва, как и при дуговой сварке. Увеличение скорости сварки при сохранении постоянства погонной энергии несколько увеличивает глубину проплавления, мало влияя на ширину шва.

На размеры сварочной ванны и шва оказывают влияние и дополнительные параметры режима: величина тока в магнитной фокусирующей линзе, остаточное давление в камере; время импульса и паузы при импульсной сварке, колебания электронного луча; расстояние от пушки до свариваемого изделия и др.

Особенно большое влияние на размеры сварочной ванны и шва оказывает величина тока в магнитной фокусирующей линзе (фокусировка). Этот параметр режима определяет конфигурацию потока электронов по отношению к свариваемому изделию, форму ванны и диаметр пятна нагрева. Регулированием тока в магнитной линзе можно в широких пределах изменять концентрацию тепловой энергии в пятне нагрева. Это значит, что при одинаковом значении погонной энергии можно получать различную по форме сварочную ванну и шов. При увеличении силы тока *I*Ф в фокусирующей линзе ширина ванны *е* сначала снижается, а затем возрастает. Изменение глубины проплавления *h* при изменении силы тока в фокусирующей линзе имеет зависимость с резко выраженным максимумом. Вследствие того, что ηИ и η*t* при электронно-лучевой сварке вблизи к своему максимуму, площадь проплавления шва *F*пр мало зависит от фокусировки. На практике силу тока в фокусирующей линзе выбирают в пределах 50⎯100 мА (для пушек со средним ускоряющим напряжением).

Остаточное давление в камере определяет стабильность процесса и качество сварных соединений. Разрежение должно быть достаточным для исключения дугового разряда в течение всего периода сварки. Увеличение давления в камере снижает мощность электронного луча и уменьшает его проникающую способность. Для сохранения постоянного вакуума производительность откачных насосов рассчитывают с учетом повышения давления в камере в процессе сварки. При электронно-лучевой сварке давление в камере поддерживают на уровне 10--4 ⎯10--6 мм рт.ст.

Колебания электронного луча позволяют избежать ряда дефектов, свойственных электронно-лучевой сварке (подрезов, несплавлений кромок в корне шва и др.). Используют прямоугольные или синусоидальные поперечные колебания луча в широком диапазоне частот (10⎯800 Гц). Амплитуду колебаний выбирают в пределах 0,5⎯2 мм. Большие значения амплитуды приводят к раздвоению электронного луча относительно стыка. Наряду с поперечным применяют и продольное колебание луча.

Расстояние от эллектронной пушки до свариваемого издеоия допускается в широких пределах: 50⎯120 мм для низковольтных пушек и 50⎯500 мм для высоковольтных. Изменение расстояния в процессе сварки на несколько миллиметров не оказывает заметного влияния на размеры швов и их качество.

При импульсном режиме электронно-лучевой сварки тепловыделение дополнительно регулируется частотой и длительностью сварочных импульсов. Импульсная электронно-лучевая сварка особенно целесообразна при выполнении швов с минимальной зоной термического влияния.

# ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА

По виду активного вещества излучателя лазеры разделяют на твердые и газовые.

Для перевода активных частиц в возбужденное состояние служат источники возбуждения. Они могут воздействовать на активное вещество световым потоком, потоком электронов, потоком радиоактивных частиц и т.п.

**Параметры режима лазерной сварки.**

При импульсной лазерной сварке форма и размеры ванны оцениваются диаметром и глубиной проплавления.

Основные параметры режима сварки ⎯ мощность в импульсе и время импульса. С увеличением этих параметров возрастает тепловая мощность источника и соответственно диаметр ванны и глубина ее проплавления. Дополнительные параметры ⎯ диаметр пятна нагрева, определяющийся углом расходимости светового пучка после фокусировки, и пространственно-временная зависимость распределения энергии в пятне нагрева.

В твердотельных лазерах импульс генерируемого света состоит из набора более коротких импульсов, так называемых пучков. Величина и длительность этих пучков колеблются в широких пределах. Благоприятные условия для существования ванны создаются только при равномерном распределении энергии по пятну нагрева.

Параметры режима определяют освещенность в пятне нагрева:

,

где *Q* ⎯ мощность в импульсе; *r*f ⎯ радиус пятна нагрева; *t*и ⎯ время импульса.

Плотность тепловой энергии в пятне нагрева:

,

где *А* ⎯ поглощательна способность свариваемых кромок (зависит от состояния поверхности и длины волны излучения).

При сварке лазером непрерывного излучения форма и размеры сварочной ванны такие же, как и при сварке плавлением. Основные параметры ⎯ выходная мощность излучения и скорость сварки. Дополнительные параметры, оказывающие наибольшее влияние на размеры ванны и шва, ⎯ диаметр пятна нагрева, поглощательная способность свариваемых кромок и др.

# СВЕТО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА

В оптических системах, используемых для сварки световым лучом, концентрация энергии в пятне нагрева достигает 103 Вт/см2. При этой плотности энергии можно сваривать стали, титановые сплавы и другие металлы толщиной от долей до нескольких миллиметров.

Основные преимущества процесса сварки световым лучом ⎯ возможность бесконтактного ведения процесса в камерах из кварца или специальных прозрачных пленок. Области рационального применения процесса ⎯ приборостроение и производство радиотехнической аппаратуры.

Параметры режима процесса и их влияние на размеры ванны и шва такие же, как и при сварке лазером непрерывного излучения.

# ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА

Образование плазмы начинается с возбуждения слаботочной дуги. Плазменная струя с высокой температурой и скоростью генерируется в канале сопла и стабилизируется его стенками и холодным плазмообразующим газом.

Основные параметры режима плазменной сварки аналогичны параметрам дуговой сварки. Размеры ванны и шва зависят главным образом от мощности дуги. К дополнительным параметрам относят диаметр сопла, расход плазмообразующего газа и его теплофизические свойства.

# ГАЗОВАЯ СВАРКА

**Способы сварки.**

В качестве одного из первых методов сварки плавлением, получившего распространение в промышленности, можно назвать газовую сварку. Этот метод сохранил свое значение и до настоящего времени.

При сгорании горючих газов в кислороде концентрация тепловой энергии в пятне нагрева невелика и составляет до 200 Вт/см2. Эффективный КПД процесса находится в пределах 0,3⎯0,6. В качестве горючих газов используют ацетилен, водород, пропан-бутан и др. По виду горючего газа различают и способы газовой сварки.

Основные преимущества газовой сварки ⎯ универсальность с точки зрения как сварки металлов различных толщин, так и сварки металлов с различными физико-химическими свойствами. Недостатки газовой сварки ⎯ трудность автоматизации процесса и длительное тепловое воздействие на свариваемый металл. Рациональная область применения этого метода ⎯ ремонтные работы.

**Формирование сварочной ванны и шва.**

Газовой сваркой могут быть получены все виды сварных соединений и большинство типов швов в различных пространственных положениях. В этом отношении газовая сварка также универсальна, как и дуговая.

Проплавляющая способность газового пламени невелика. Поэтому без разделки кромок сваривают стыки с небольшой толщиной кромок (3⎯4 мм). При соединении больших толщин требуется разделка кромок.

Требования к сборке свариваемых элементов (зазору, смещению кромок по высоте в стыковых соединениях) несколько ниже, чем при сварке другими концентрированными источниками нагрева. Увеличение зазора в допустимых пределах способствует более глубокому проплавлению кромок.

На формирование ванны оказывает влияние максимальная температура пламени и концентрация теплоты в пятне нагрева.

Эти факторы зависят от теплофизических свойств горючего газа. Из доступных горючих газов наиболее высокой температуры пламени и концентрации теплоты в пятне нагрева удается достигнуть при сжигании ацетилена в кислороде.

**Параметры режима.**

Основные параметры ⎯ тепловая мощность пламени, соотношение между кислородом и ацетиленом и скорость сварки.

Мощность сварочного пламени, получаемого в сварочных горелках, оценивают условно часовым расходом ацетилена. Для выбора мощности пламени (А л/ч) используют зависимость:

,

где *S* ⎯ толщина свариваемых кромок, мм; *k* ⎯ коэффициент, определяемый экспериментально.

Большое значение для сварки имеет отношение расхода кислорода к расходу горючего газа. В зависимости от этого можно получить окислительное, восстановительное или нормальное пламя. При сварке применяют в основном нормальное пламя с отношением О2 : С2Н2=1,1 ÷ 1,2.

К дополнительным параметрам режима относят угол наклона пламени, диаметр присадочного металла и др. На размеры ванны и особенно ее глубину влияет угол наклона оси пламени относительно поверхности соединяемых кромок. В соответствии с этим различают правый и левый способы газовой сварки. При правом способе пламя направлено на формирующийся металл шва. Направление движения горелки ⎯ слева направо. Присадочный металл подают вслед за горелкой. При левом способе пламя горелки направлено на нерасплавленный металл. Направление движения горелки ⎯ справа налево. Присадочный металл подают впереди горелки.

Сварку тонкостенных элементов выполняют левым способом. При этом легче избежать сквозных проплавлений. Правый способ ⎯ более производительный ⎯ применяют при сварке соединений с повышенной толщиной кромок. Выбор способа определяется толщиной свариваемых элементов и их положением в пространстве.

Диаметр (сечение) присадочного металла выбирают в зависимости от тольщины кромок и способа сварки:

,

где *S* ⎯ толзина кромок свариваемого металла.

Движение горелки и прутка в сварочной ванне осуществляют различными способами в зависимости от характера подготовки кромок, пространственного положения и т.п. Качество соединений во многом зависит от работы сварочных горелок и их конструкции. Прежде всего необходима высокая стабильность сварочного пламени. Горелка должна быть легкой, удобной для ручного ведения процесса.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Политехнический словарь /Редкол.: А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. ⎯ 3-е изд., перераб. и доп. ⎯ М.: Советская энциклопедия, 1989. ⎯ 656 с. с ил.

2. Технология и оборудование сварки плавлением. Под редакцией Г.Д. Никифорова. Учебник для студентов вузов. М., «Машиностроение», 1978, 327 с. с ил.

3. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением, М., «Машиностроение», 1973, 447 с.

4. Теоретические основы сварки. Под ред. В.В. Фролова, М., «Высшая школа», 1970, 592 с.