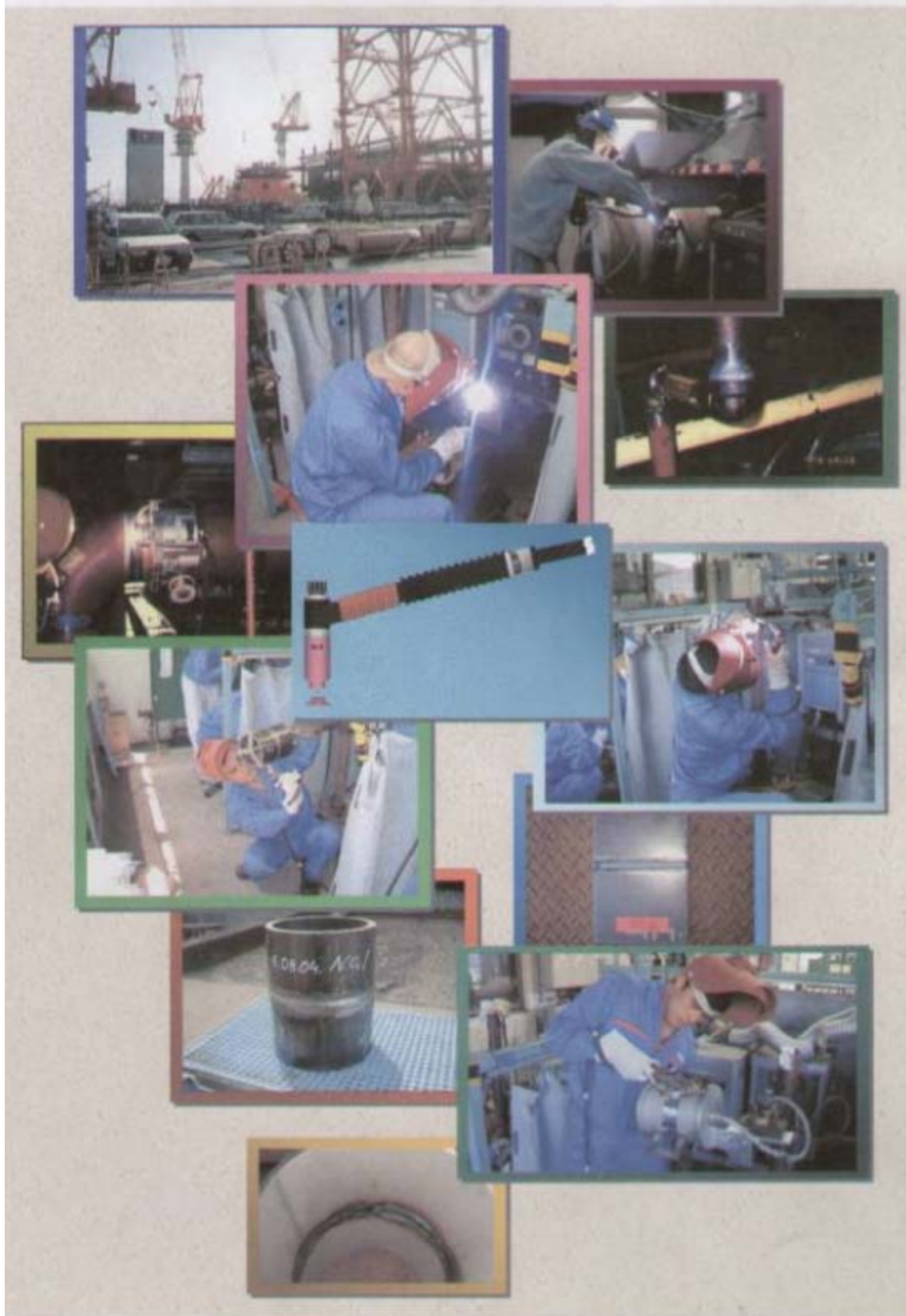


# *Guide to TIG (GTAW) welding*



## *ВВОДНЫЙ КУРС ПО АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКЕ*

## СОДЕРЖАНИЕ

### Глава 1 ОСОБЕННОСТИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ (TIG)

1.1 Что такое аргонодуговая сварка .....	3
1.2 Достоинства и недостатки .....	4
1.3 Полярный эффект и эффект очистки .....	4
1.4 Характеристики дуги в аргонном газе при переменном токе .....	6

### Глава 2 УСТАНОВКИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ

2.1 Конфигурация установок аргонодуговой сварки .....	10
2.2 Сварочные источники питания .....	10
2.3 Блоки управления TIG сваркой .....	17
2.4 Горелки для аргонодуговой сварки .....	18
2.5 Вспомогательные аппараты .....	21
2.6 Упрощенные устройства плазменной резки .....	22

### Глава 3 ПОДГОТОВКА ПЕРЕД СВАРКОЙ

3.1 Подготовка сварочных установок .....	26
3.2 Подготовка кромок .....	31
3.3 Защитный газ и влияние ветра .....	34
3.4 Светомаскировка проветривание .....	36

### Глава 4 ИНСТРУКЦИЯ ПО ИСПОЛНЕНИЮ РАБОТ

4.1 Действие сварочных работ .....	39
4.2 Зажигание дуги .....	46
4.3 Материал и форма электродов .....	49
4.4 Метод выбора режима сварки .....	53
4.5 Присадочный материал .....	58
4.6 Обратный валик .....	64
4.7 Импульсно - дуговая сварка .....	70
4.8 Дефекты сварочного шва и их предотвращение .....	75
4.9 Неразрушающие испытания зоны сварки .....	80
4.10 Экзамены на технологию сварки .....	84

### Глава 5 ВОПРОСЫ В ПРАКТИКЕ

5.1 Автоматическая сварка .....	88
5.2 Сварка нагретой проволокой .....	94
5.3 Сварка неподвижных труб во всех пространственных положениях .....	95
5.4 Сварка нержавеющей стали .....	101
5.5 Сварка алюминия и его сплава .....	108
5.6 Сварка меди и его сплава .....	114
5.7 Сварка прочих сплавов .....	117

### Глава 6 МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

6.1 Десятичные и дольные единицы .....	125
6.2 Описание обозначения единиц и чисел количественных величин .....	125



# ГЛАВА 1

## ОСОБЕННОСТИ АРГОНОДУГОВОЙ (TIG) СВАРКИ

### 1-1 ЧТО ТАКОЕ АРГОНОДУГОВАЯ (TIG) СВАРКА

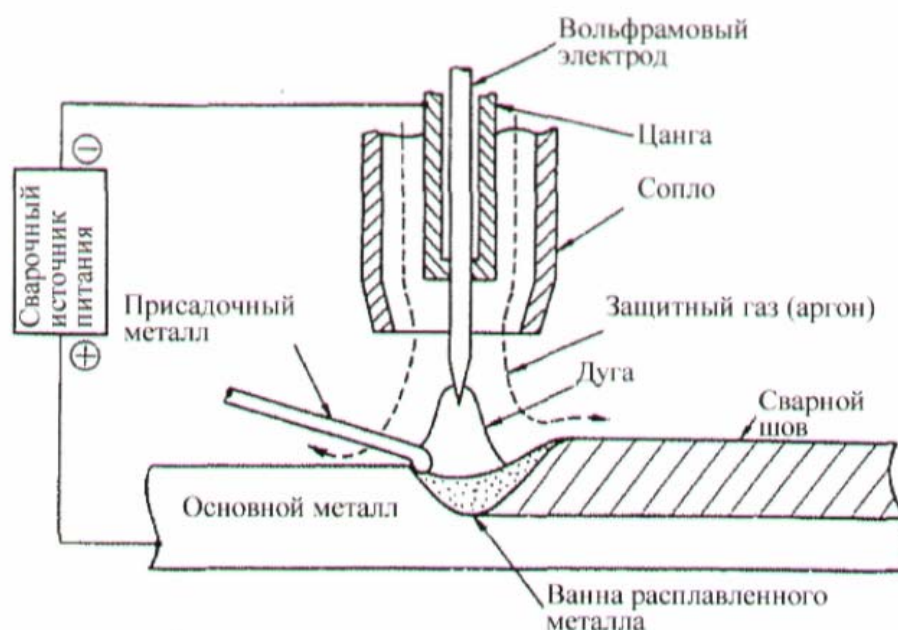
TIG из термина АРГОНОДУГОВОЙ (TIG) сварки представляет собой сокращение "вольфрам - инертный газ (Tungsten Inert Gas)". Под Аргонодуговой сваркой подразумевается дуговая сварка вольфрамовым электродом в среде инертного газа, не реагирующего ни на какое другое вещество, причем между "вольфрамовым электродом" и основным металлом образуется дуговой разряд, в силу тепла которого происходит плавление основного металла.

Вольфрам представляет собой металл, который применяется в изготовлении нити накала лампы и пр. Температура его плавления -приблизительно  $3400^{\circ}\text{C}$ , то есть гораздо выше, чем в случае железа. В среде высокотемпературной дуги вольфрам по свойству не поддается плавлению длительное время.

В качестве инертного газа, в общем, применяют аргон, свойство которого регламентируется стандартом JIS K1105 (аргон), Гелий применяют изредка и только тогда, когда свойство газа гелия необходимо, так как в нашей стране гелий стоит очень дорого (в несколько раз больше, чем аргон).

На рис. 1.1 представлен принцип Аргонодуговой сварки. Между вольфрамовым электродом и основным металлом зажигается дуга, инертный газ, вытекающий по соплу из окружения вольфрамового электрода, защищает электрод, дугу и ванну расплавленного металла. Вытекающий по соплу газ называется "защитным газом" и защищает по своей функции расплавленный металл от вредного влияния от попадающего кислорода, азота и пр. из атмосферного воздуха и защищает вольфрамовый электрод от окисления и износа.

Вольфрамовый электрод, который не плавится называется неплавящимся электродом и применяется в качестве электрода только для формирования дуги, кроме случаев с тонкостенными листами, когда требуется только расплавление основного металла, и не требуется добавление присадочного металла для дополнения сварного шва. Присадочный металл подают сбоку от дуги и к краю расплавленной ванны вручную или подающим автоматом.



**Рис. 1.1 Принцип Аргонодуговой сварки**

## **1-2 ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ**

При Аргонодуговой сварке в связи с тем, что электрод не подвергается плавлению, дуга легко стабилизируется и поэтому качественно можно сваривать углеродистую сталь, легированную сталь, алюминий, титан, никель, магний, медь и прочие металлы. Причиной такого свойства служат следующие достоинства.

- (1) Инертный газ изолирует дугу и ванну расплавленного металла полностью от атмосферы, не позволяет попадание кислорода, азота, водорода и другого газа или примесей в металл шва, и как следствие формируется качественный сварной шов с высокими химическими и физическими свойствами.
- (2) Можно поддерживать стабильную дугу, начиная с области слабых токов порядка несколько ампера и кончая областью сильных токов порядка несколько сотен ампера, что позволяет находить широкомасштабное применение сварки, начиная со сверхтонкого листа и кончая толстым листом.
- (3) Электрод используется только для обеспечения зоны сварки теплотой и присадочный металл добавляется отдельно, так что можно управлять количеством присадочного металла и тепловложением отдельно, исключая ограничения положением сварки и формой соединения.
- (4) Можно четко наблюдать дугу и ванну расплавленного металла, и ванна расплавленного металла спокойна, что облегчает формирование обратного валика.
- (5) Не нужно использовать флюс, что позволяет, в общем, производить чистую сварку, почти не образуя дыма, кроме как при сварке специальных металлов и сплавов.

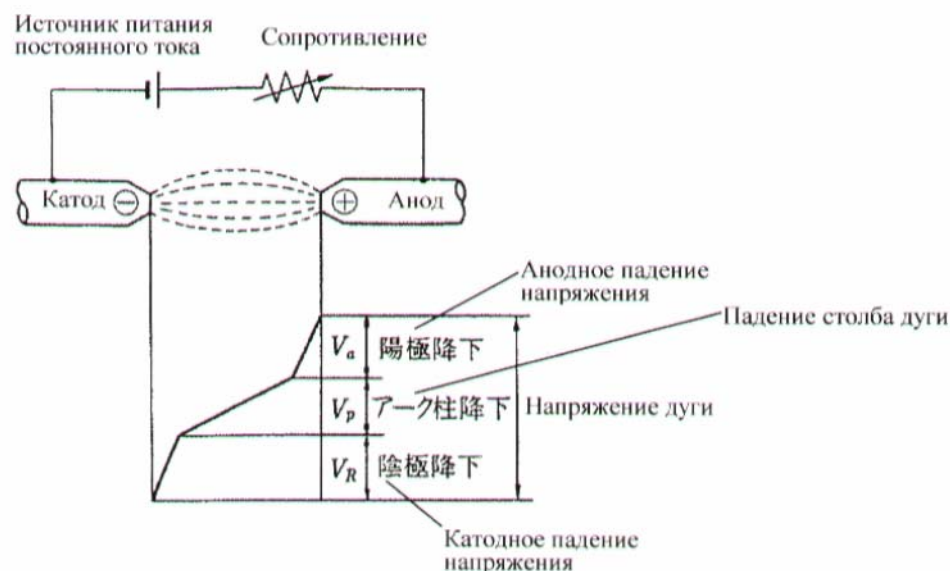
Внешний вид сварных швов красив так как во время сварки не образуется шлак и нет брызг. Следовательно после сварки не нужно проводить работу по их устранению.

С другой стороны можно перечислить следующие недостатки;

- (1) По сравнению с дуговой сваркой в среде углекислого газа и другой сваркой плавящимся электродом производительность сварки низкая.
- (2) Аргон и вольфрамовый электрод стоят сравнительно дорого, что поднимает себестоимость.
- (3) Применяют защитный газ, и поэтому сварка зависит от такого фактора как ветер).

## **1-3 ПОЛЯРНЫЙ ЭФФЕКТ И ЭФФЕКТ ОЧИСТКИ**

Когда дуга горит между двумя электродами с помощью источника питания постоянного тока, получается напряжение дуги, как представлено на рис. 1.2. Электрод, подсоединенный к плюсовой стороне источника питания, называется анодом, электрод, подсоединенный к минусовой стороне, называется катодом, и зона между анодом и катодом называется столбом дуги.

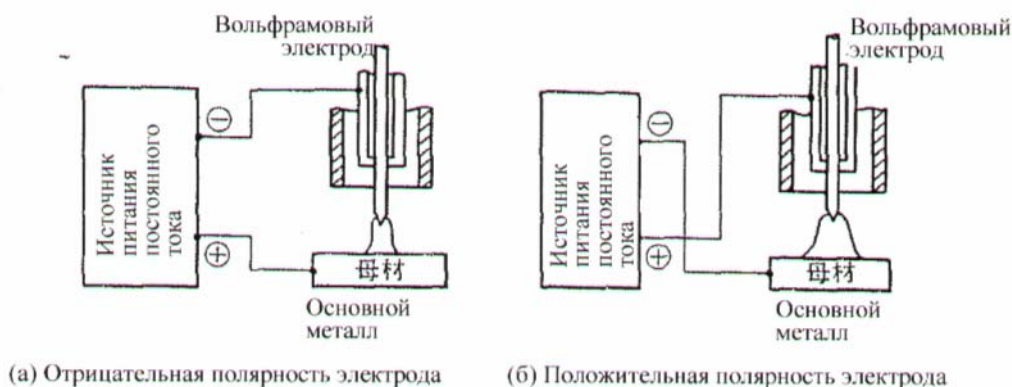


**Рис. 1.2 Распределение напряжения дуги**

Напряжение дуги выражается суммой резкого падения напряжения вблизи анода/катода и падения столба дуги, пропорционального длине столба дуги. Температура столба дуги, хотя зависит от силы тока и вида окружающего газа, составляет приблизительно 5 000 - 20 000°C.

При Аргонодуговой сварке сварочной машиной постоянного тока в зависимости от вольфрамового электрода на катode (основного металла на аноде) или основного металла на катode (вольфрамового электрода на аноде) дуга, глубина проплавления основного металла и величина износа электрода бывают разными.

Чтобы различать эти две полярности, как представлено на рис. 1.3 (а), в случае, когда вольфрамовый электрод присоединен к минусовой клемме источника питания (вольфрамовый электрод на катode), полярность называется "отрицательной полярностью электрода". Наоборот, как представлено на рис. 1.3 (б), в случае, когда вольфрамовый электрод присоединен к плюсовой клемме (вольфрамовый электрод на аноде), называется "положительной полярностью электрода".



**Рис. 1.3 Метод обозначения полярности**

Кроме того, по другому методу обозначения отрицательная полярность электрода может называться "прямой полярностью" или "SP (Straight Polarity)", положительная полярность электрода может называться "обратной полярностью" или "RP (Reverse Polarity)". Однако эти методы обозначения, основанные на потоке электрона, являются противоположными потоку тока, что может легко вызвать ошибку. Поэтому в последнее время обычно применяется обозначение "отрицательная полярность электрода" и "положительная полярность электрода"

Заимствуя английские прописные буквы, отрицательная полярность электрода обозначается буквами EN (Electrode Negative), положительная полярность электрода - EP (Electrode Positive).

При отрицательной полярности электрода, в которой вольфрамовый электрод присоединяется к минусовой клемме, термоэлектроны, когда вылетают от служащего катодом вольфрамового электрода, захватывают энергию, необходимую для эмиссии, так что электрод не подвергается перегреву. В результате этого износ электрода не значителен, и можно подводить относительно сильный ток к тонкому электроду. Кроме того, концентричность дуги хороша, что позволяет получать узкий валик с глубоким проплавлением. Это характерная особенность сварки так что при обычной Аргонодуговой сварке применяется "отрицательная полярность электрода".

С другой стороны, при положительной полярности электрода, в которой вольфрамовый электрод подсоединяется к плюсовой клемме, служащий анодом вольфрамовый электрод склонен подвергаться перегреву, изнашивается больше, так что необходимо использовать более толстый электрод, чем в случае отрицательной полярности электрода. Кроме того, концентричность дуги неудовлетворительная и получается широкий валик с мелким проплавлением. Так что эта полярность применяется очень редко в специальных случаях.

Однако "положительная полярность -электрода" обладает немаловажной функцией устранения окисей с поверхности основного металла. То есть, отрицательно нагретые электроны вылетают от катодных пятен на поверхности основного металла к столбу дуги, но, одновременно, вокруг<sup>1</sup> него сталкиваются положительно заряженные катионы защитного газа. Этим сталкиванием разрушается оксидная пленка.

Катодные пятна склонны формироваться в местах, где имеются окиси, и передвигаются за окисями, в результате чего окиси вокруг дуги устраняются полностью. Это явление называется "эффектом очистки" дуги и относится к необходимому условию для сварки алюминиевого сплава или магниевое сплава, на которых формируются поверхностные окиси.

Вышеизложенные характеристики двух полярностей оформлены таблицей 1.1.

**Табл. 1.1 Особенности полярности в дуге TIG**

Полярность	Отрицательная полярность электрода	Положительная полярность электрода
Сосредоточенность дуги	Хорошо	Плохо
Проплавление	Глубокое	Мелкое
Валик	Узкий	Широкий
Износ электрода	Малый	Большой
Эффект очистки	Нет	Есть
Применение	Применяется обычно	Почти не применяется

#### **1-4 ХАРАКТЕРИСТИКИ ДУГИ В АРГОННОМ ГАЗЕ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ**

При Аргонодуговой сварке с использованием источника питания переменного тока полярность тока меняется через каждую полуволну, так что получается характеристика, являющаяся сочетанием характеристики отрицательной полярности электрода с характеристикой положительной полярности электрода, как показано на рис. 1.4. Полуволны отрицательной полярности электрода не имеют эффект очистки, но выявляет эффект охлаждения в связи с эмиссией термоэлектрона. Наоборот, полуволны положительной полярности электрода не имеют эффекта охлаждения, но выявляют эффект очистки столкновением катионов.



При аргонодуговой сварке на переменном токе электрод и основной металл становятся или анод (плюс) или катод (минус) поочередно, так что электрод перегревается больше, чем при отрицательной полярности электрода, но меньше, чем при положительной полярности электрода, что способствует использованию относительно сильного тока.

В связи с тем, что полуволны положительной полярности электрода имеют эффект очистки, для сварки алюминиевого сплава и магниевого сплава, требующей устранения оксидной пленки с поверхности основного металла, применяется переменный ток.

Некоторые последние типы установок Аргонодуговой сварки на переменном токе снабжены функцией изменения пропорции времен между отрицательной полярностью электрода и положительной полярностью электрода. Это изменение пропорции времен приводит к изменению эффекта очистки. Чем меньше длительность времени положительной полярности электрода (чем больше длительность времени отрицательной полярности электрода), тем меньше становится ширина зоны очистки, как представлена рис. 1.5.

Не говоря уже о случае, когда вносятся изменения в пропорцию времен положительной полярности электрода и отрицательной полярности электрода, как изложено выше, даже если пропорция времен равномерна, степени трудности горения дуги отличаются в зависимости от полярности. Следовательно, ток в в полуволне положительной полярности электрода и ток в в полуволне отрицательной полярности электрода не становятся равными.



Рис. 1.4 Характеристики дуги в аргонном газе на переменном токе

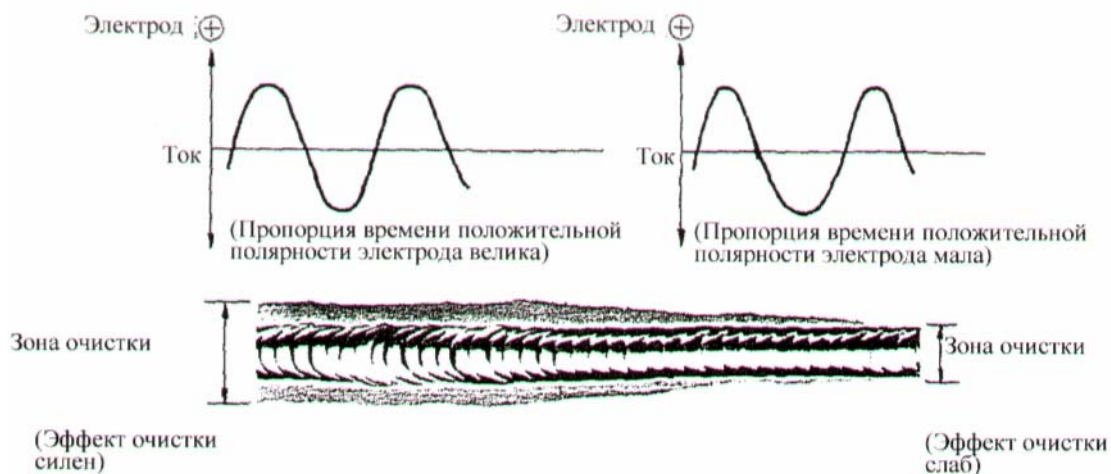


Рис. 1.5 Регулировка эффекта очистки

Как представлено на рис. 1.6, в периодах положительной полярности электрода дуга не склонна гореть, напряжение дуги высоко и сварочный ток слаб. Наоборот, в периодах отрицательной полярности электрода дуга склонна гореть, напряжение дуги низко и сварочный ток силен. В результате этого ток положительной полярности электрода и ток отрицательной полярности электрода становятся асимметричными относительно оси абсцисс нулевого уровня. Эта форма волн тока представляется как сложение формы волн переменного тока, симметричной относительно оси абсцисс нулевого уровня, и постоянной составляющей  $I_{DC}$ . следовательно, называется неуравновешенным током с включением постоянной составляющей ( $I_{DC}$ ). Эта тенденция к несимметричности особенно значительна и случае основного металла из алюминиевого сплава.

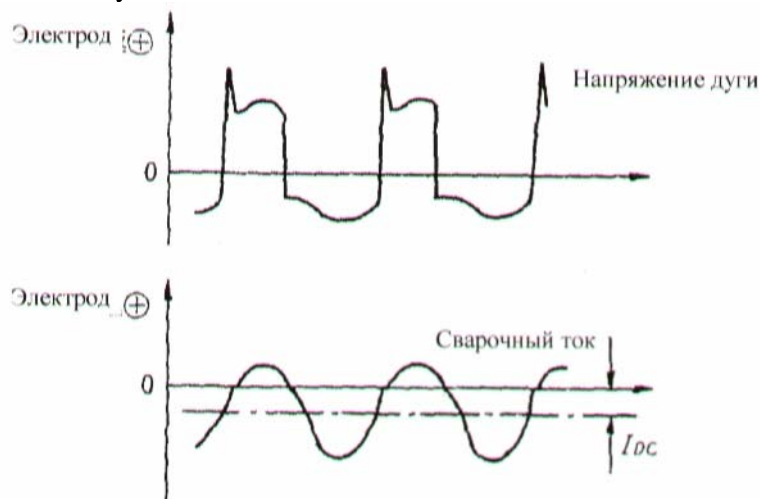


Рис. 1.6 Постоянная составляющая тока в дуге в аргонном газе на переменном токе

Если в сварочном токе содержится постоянная составляющая, в 1-ной цепи сварочной машины течет сильный ток. Если так и оставить. Этот сильный ток не только повлечет за собой перегрев сварочного трансформатора, но и окажет вредное влияние на допустимый ток сварочного кабеля и вольфрамового электрода, на качество эффекта очистки и на стабильность дуги.

Так как на обычных сварочных машинах определяется номинальный ток, коэффициент использования на номинальном токе и т.д. с учетом наличия постоянной составляющей, не требуются специальные меры, поскольку сварочная машина используется в пределах ее технических условий. Однако при сварке алюминиевого сплава и т.д. с использованием обычной сварочной машины в сочетании с

нижеприведенной установкой Аргонодуговой сварки, требуется обращать внимание на постоянную составляющую.

Хотя простейшим и безопасным методом подавления постоянной составляющей является ограничение используемого тока сварочной машины на 50 - 70% или ниже номинального тока, в некоторых случаях постоянная составляющая устраняется методом, представленным на рис. 1.7. Кроме того, бывают батарейный метод, метод с использованием выпрямителя и т.д., которые в настоящее время почти не используются.

## **ГЛАВА 2**

### **УСТАНОВКИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ**

#### **2-1 КОНФИГУРАЦИЯ УСТАНОВОК АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ**

В общем, установки Аргонодуговой сварки состоят из (1) сварочного источника питания, (2) блока управления, содержащего в себе схему генерации высокой частоты, схему управления последовательностью, схему управления защитным газом, реле давления и т.д., (3) сварочной горелки и (4) принадлежностей, содержащих в себе кабели, шланги, регулятор давления газа с расходомером и т.д.

Существует два типа блока управления: моноблочного исполнения со сварочным источником питания и отдельного от него исполнения. Обычно в большинстве случаев сварочные машины аргонодуговой сварки моноблочного исполнения с встроенным блоком управления и снабжены разнообразными функциями, поддерживающими автоматизацию Аргонодуговой сварки.

Конфигурация сварочного источника питания с встроенным блоком управления представлена на рис. 2.1, а конфигурация с отделенным блоком управления - на рис. 2.2. В случае типа с отделенным блоком управления число кабелей между сварочным источником питания и блоком управления будет больше.

#### **2-2 СВАРОЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ**

##### **2-2-1 Внешние характеристики сварочного источника питания аргонодуговой сварки**

Источники питания, используемые для Аргонодуговой сварки, бывают разными, а также их классификация варьируется в зависимости от ее критерия. Например, если классифицировать по форме волны, можно подразделять источники питания на:

- ✓ источник питания постоянного тока,
- ✓ источник питания переменного тока,
- ✓ универсальный источник питания.
- ✓ источник питания для импульсно-дуговой сварки

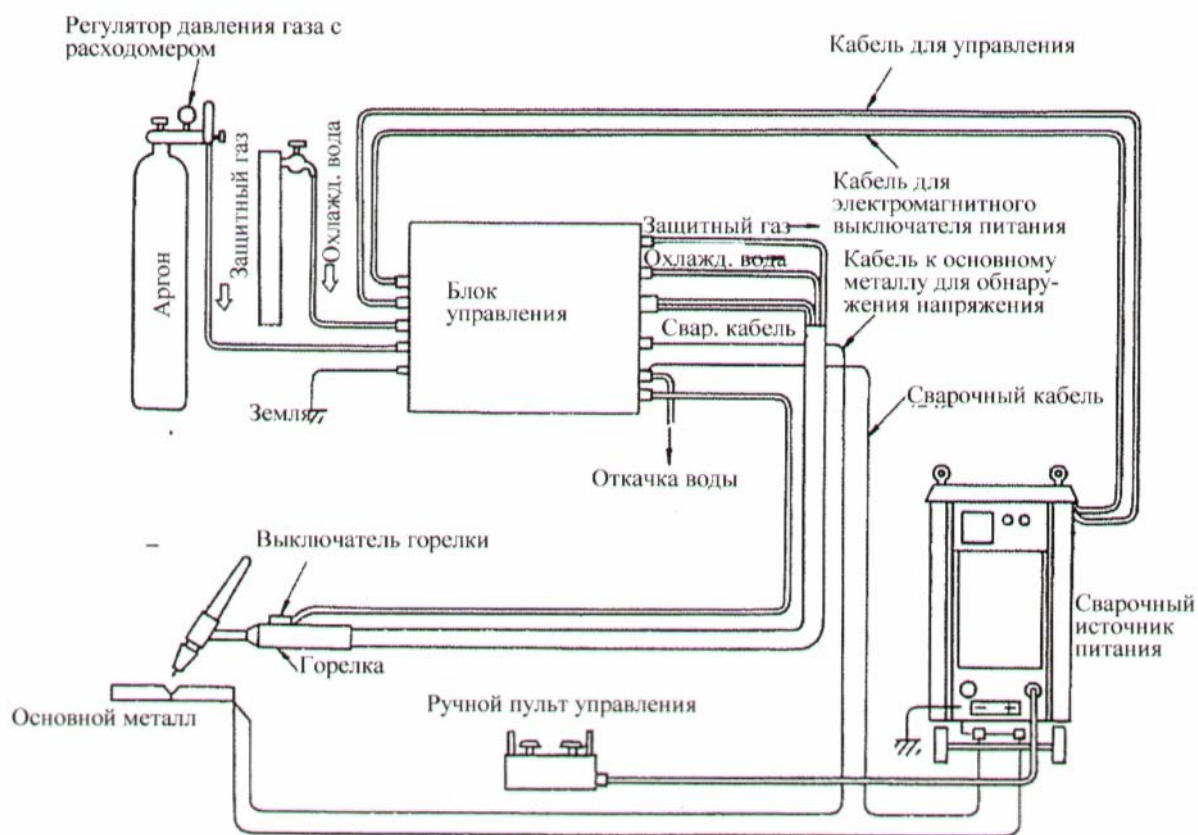
Если классифицировать по методу управления током, можно подразделять на:

- ✓ источник питания с подвижным сердечником,
- ✓ источник питания с тиристорным управлением,
- ✓ источник питания с транзисторным управлением.
- ✓ источник питания с инверторным управлением.



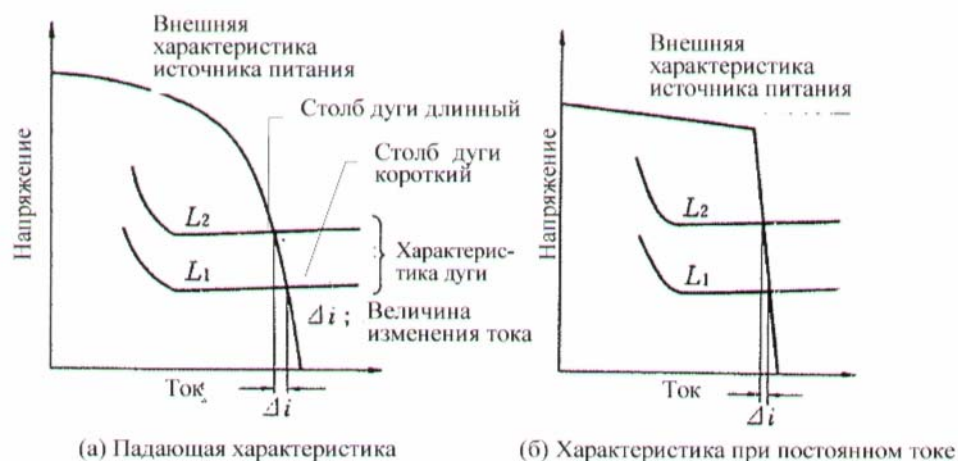


**Рис. 2.1 Конфигурация установки Аргонодуговой сварки с встроенным блоком управления**



**Рис. 2.2 Конфигурация установки Аргонодуговой сварки с отделенным блоком управления**

Однако в любом источнике питания внешняя характеристика, показывающая отношение между выходным током и напряжением, является падающей характеристикой или характеристикой при постоянном токе, как представлено на рис. 2.3.



**Рис. 2.3 Внешняя характеристика сварочного источника питания Аргонодуговой сварки**

Эти характеристики располагают преимуществом, что при изменении напряжения дуги, то есть длины дуги, сварочный ток меняется лишь незначительно, так что колебание длины дуги вследствие дрожи руки и пр. не так часто будет оказывать вредное влияние на результат сварки.

### **2-2-2 Источники питания постоянного тока**

Источники питания постоянного тока подразделяются на источники питания с тиристорным управлением и источники питания с магнитным усилителем (с насыщенным реактором), однако в настоящее время в большинстве случаев применяются источники питания с тиристорным управлением.

Источники питания с тиристорным управлением, конфигурация которых представлена на рис. 2.4, не только преобразовывают переменный ток от сети в постоянный ток с помощью тиристора, но и регулируют выходной ток, так что позволяют регулировать сварочный ток с помощью ручки легко и непрерывно. Кроме того, работник может регулировать ток рукояткой, установленной на ручном пульте у себя.

На рис. 2.5 представлен пример источников питания постоянного тока с тиристорным управлением. Эти источники питания не только включают в себя блок управления, но и обладают функцией регулировки дугового кратера, функцией таймера активного пятна дуги и т.д.

### **2-2-3 Источники питания переменного тока**

Как источники питания переменного тока, кроме источников питания, специализированных на Аргонодуговую сварку, обычно используются источники питания переменного тока для дуговой сварки покрытым электродом, как представлено на рис. 2.6. Эти источники питания не включают в себя блок управления, так что используются в сочетании с блоком управления отдельного типа.

Регулировка сварочного тока осуществляется поворотом регулировочной рукоятки, которая расположена на лицевой стороне источника питания и приводит подвижный сердечник в перемещение, как представлено на рис. 2.7. следовательно, не позволяет работнику выполнять регулировку у себя так, как на источнике питания с тиристорным управлением.

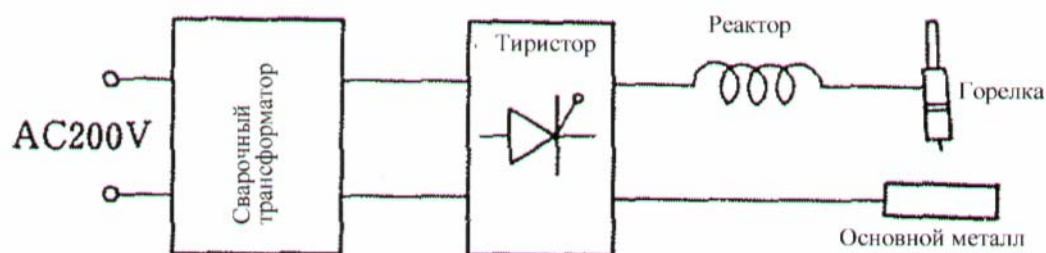


Рис. 2.4 Конфигурация источника питания постоянного тока с тиристорным управлением

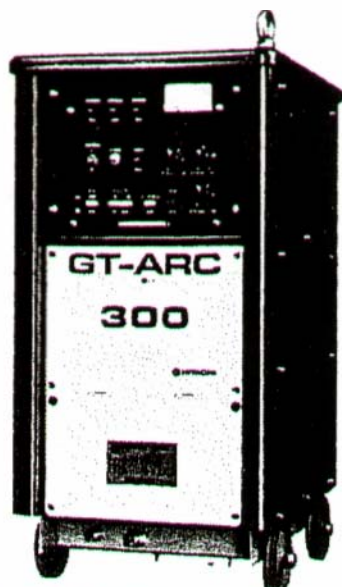


Рис. 2.5 Источник питания постоянного тока с тиристорным управлением



Рис. 2.6 Источник питания переменного тока

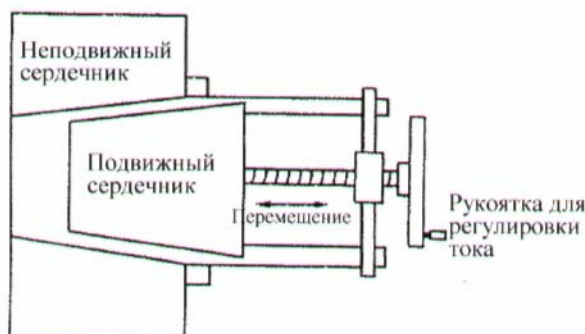


Рис. 2.7 Конструкция источника питания переменного тока

#### 2-2-4 Универсальные источники питания

Под универсальными источниками питания подразумеваются источники питания, 1 единица которых позволяет совместное применение переменного тока и постоянного тока. Имеются система сочетания источника питания переменного тока с подвижным сердечником с выпрямителем и система тиристорного управления. В большинстве случаев обе системы включают в себя схему управления и схему генерации высокой частоты, которые необходимы для Аргонодуговой сварки, и обладают не только функцией Аргонодуговой сварки, но и функцией дуговой сварки покрытым электродом.

В универсальных источниках питания, принцип которых представлен на рис. 2.8, выходные клеммы, используемые при переменном токе и при постоянном токе, отличаются друг от друга. Однако, как представлено на рис. 2.9, имеются только две выходных клеммы источника питания и переключение между ними осуществляется

внутри источника питания.

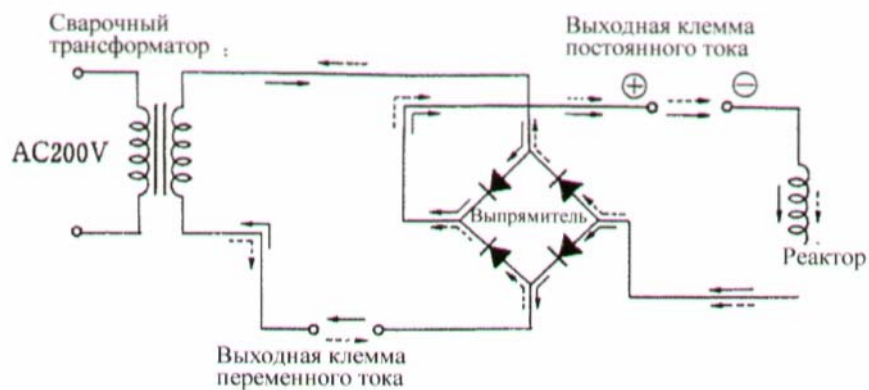


Рис. 2.8 Принцип универсального источника питания



Рис. 2.9 Универсальный источник питания с подвижным сердечником

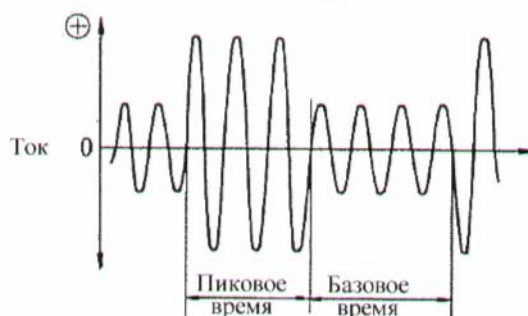
#### 2-2-5 Источники питания импульсно-дуговой сварки

Под импульсно-дуговой сваркой подразумевается сварка, при которой силе тока придают изменение по определенным периодам, как представлено на рис. 2.10, и используют источник питания импульсно-дуговой сварки. Импульсно-дуговая сварка может быть произведена на постоянном токе и на переменном токе, и в случае переменного тока амплитуда меняется, как представлено на рис. 2.11.





**Рис. 2.10 Форма волны тока в импульсно-дуговой сварке на постоянном токе**



**Рис. 2.11 Форма волны тока в импульсно-дуговой сварке на переменном токе**

Кроме 4-ого, по частоте импульсно-дуговая сварка подразделяется на следующие 3 вида;

- (1) Импульс низкой частоты (несколько Гц или менее),
- (2) Импульс средней частоты (несколько десятков Гц - несколько сотен Гц),
- (3) Импульс высокой частоты (несколько сотен Гц или более).

На рис. 2.12 представлен пример источника питания низкочастотной импульсно-дуговой сварки. При этом источником питания является универсальный источник питания с тиристорным управлением, который позволяет низкочастотную импульсно-дуговую сварку на постоянном токе и на переменном токе.

В большинстве случаев управление током в источниках питания средне - высокочастотной импульсно-дуговой сварки относится к транзисторному управлению, пример их конфигурации представлен на рис 2.13.

#### **2-2-6 Источники питания с инверторным управлением**

За новейшие типы источника Аргонодуговой сварки принимают источники питания с инверторным управлением. Эти источники питания представляют собой разновидность источников питания с транзисторным управлением, и обладают такой особенностью, как высокой частотой управления и к тому же управление выходом осуществляется на 1-ой цепи сварочного трансформатора.



Рис. 2.12 Источник питания низкочастотной импульсно-дуговой сварки

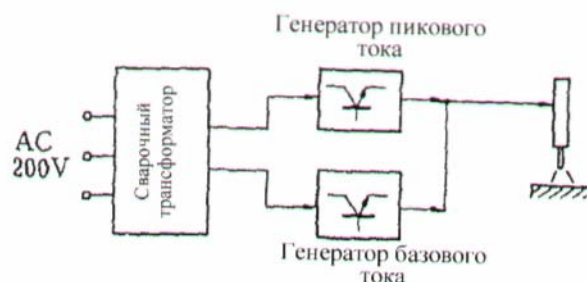


Рис. 2.13 Конфигурация источника питания высокочастотной импульсно-дуговой сварки

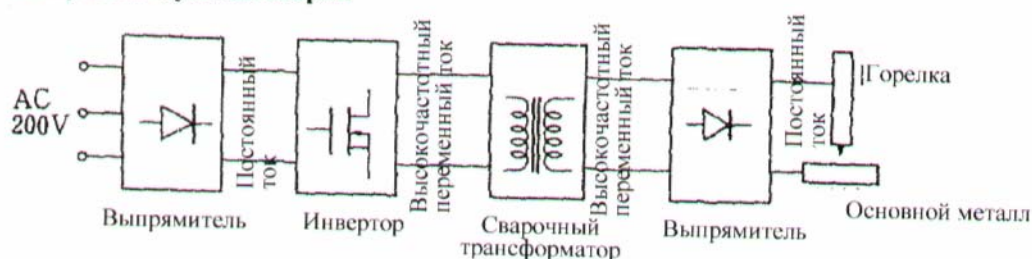


Рис. 2.14 Конфигурация источника питания с инверторным управлением

Данные источники питания, конфигурация которых представлена на рис. 2.14, выпрямляют переменный ток от сети, преобразуют его в постоянный ток, а затем сформировать инвертором высокочастотный переменный ток и, снова выпрямив его, производят сварку на переменном токе. В отличие от традиционных источников питания управление током осуществляется на 1-ой цепи сварочного трансформатора. Кроме того, за счет использования высокочастотного трансформатора источники питания обеспечены компактностью и легковесностью, в связи с тем, что частота управления высока, их работоспособность управления током намного улучшается по сравнению с традиционными машинами.

Далее, бывают источники питания переменного тока, в которых на выходную клемму, представленную на рис. 2.14, еще установлен инвертор вторичной цепи, чтобы выходной постоянный ток еще раз был преобразован на переменный. Такие источники питания могут дать дуге гореть на переменном токе с прямоугольной формой волны с любой пропорцией полярностей без приложения напряжения высокой частоты.

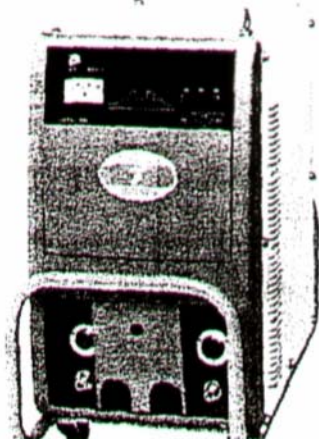


Рис. 2.15 Источник питания с инверторным управлением

На рис. 2.15 представлен пример источников питания с инверторным управлением. По сравнению с традиционными источниками питания с тиристорным управлением эти источники питания легче в 1/5 раза и по объему меньше в 1/4 раза. Однако он включает в себя не только блок управления Аргонодуговой сварки, но и функцию средне-и низкочастотной импульсно-дуговой сварки и Т.Д.

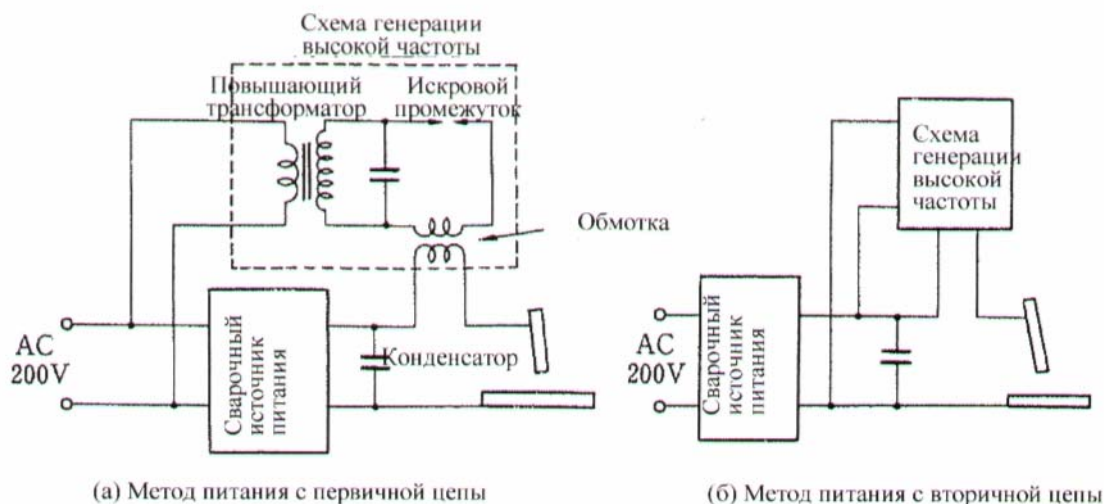
## **2-3 БЛОКИ УПРАВЛЕНИЯ TIG СВАРКОЙ**

### **2-3-1 Схема генерации высоких частот**

При Аргодуговой сварке вольфрамовые электроды используются как неплавящиеся электроды, так что обычно зажигание дуги осуществляется, не приводя электрод в контакт с основным металлом для защиты электрода от износа. В связи с этим применяется система, в которой к промежутку между электродом и основным металлом прилагается высокое напряжение высокой частоты, и под наведением которого зажигается дуга.

При сварке на постоянном токе, если зажечь дугу, сварочный ток принимает постоянное значение а также дуга приобретает стабильность, так что приложение напряжения высокой частоты осуществляется только при зажигании. Однако при сварке на переменном токе, поскольку повторное зажигание затрудняется при переходе синусоидального переменного тока к положительной полярности электрода, в процессе сварки требуется постоянное приложение напряжения высокой частоты. Однако в случае переменного тока с прямоугольной формой волны в инверторном управлении полярность чередуется мгновенно, что позволяет легкое повторное зажигание, поэтому не требуется приложение напряжения высокой частоты.

Генерация напряжения высокой частоты осуществляется методом искрового промежутка, обычный пример которого представлен на рис 2.16. (а) показывает метод, в котором питание к схеме высокой частоты осуществляется с первичной цепи сварочного источника питания, а (б) показывает метод, в котором питание осуществляется с вторичной цепи. Метод (б) больше применяется к сварке на переменном токе, которая постоянно нуждается в приложении напряжения высокой частоты, и позволяет понизить радиопомехи из-за высокой частоты по сравнению с методом (а).



**Рис. 2.16 Схема генерации высокой частоты**

### **2-3-2 Схема управления защитным газом**

При зажигании дуги, в случае недостаточной защиты зоны сварки, дуга горит нестабильно и происходит интенсивный износ электрода, поэтому начинают подавать защитный газ за 0,1 - 0,5 сек до запуска дуги. Это действие называется подачей защитного газа до зажигания дуги.

Кроме того, если выключают защитный газ одновременно с прекращением дуги, вольфрамовый электрод и ванна расплавленного металла, находящиеся в раскаленном состоянии, подвергаются значительному окислению, что приводит к износу электрода,

сварочному дефекту и прочим неисправностям, Чтобы предотвратить это, необходимо продолжать подавать защитный газ в течение 5-30 сек, пока электрод и ванна расплавленного металла не остывают достаточно.

Эти два действия контролирует схема, состоящая из электромагнитных клапанов и таймеров.

### 2-3-3 Реле давления охлаждающей воды

В случае использования горелок водяного охлаждения вследствие нехватки подачи охлаждающей воды, ее прекращения и т.д. горелка может перегореть. Чтобы предотвратить это, сконструирована схема управления, которая при снижении давления охлаждающей воды ниже заданного значения прекращает горение дуги с помощью реле давления.

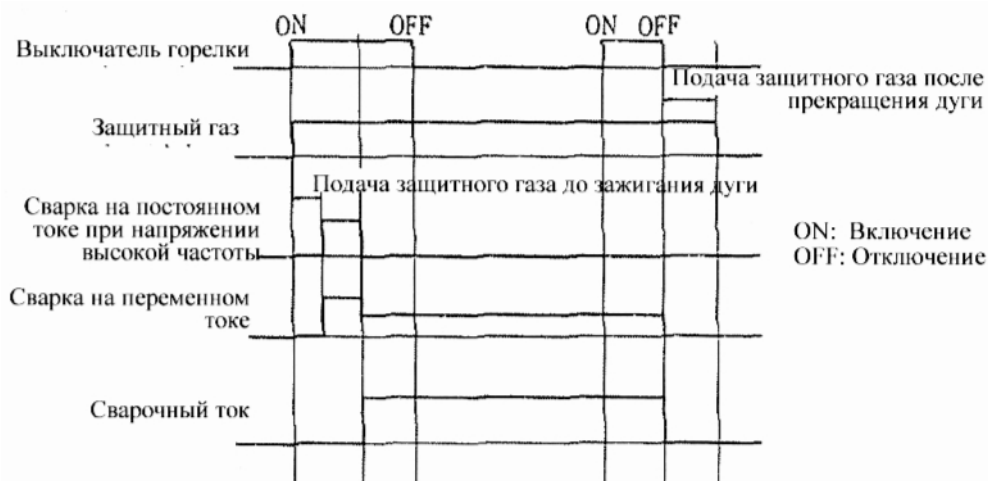
При этом следует обращать внимание на то, что эта схема бессильна перед нехваткой подачи, вызванной засорением корпуса горелки или шланга охлаждающей воды.

### 2-3-4 Схема управления последовательностью

Как изложено выше, в качестве схемы управления для Аргонодуговой сварки существуют схема генерации высокой частоты, схема управления защитным газом и т.д., которые осуществляют ряд действий;

- (1) Нажатием выключателя горелки начнется подаваться защитный газ. будет приложено напряжение высокой частоты, под наведением которого зажжет дуга.
- (2) В случае сварки на постоянном токе после зажигания дуги напряжение высокой частоты автоматически прекращается, но в случае сварки на переменном токе приложение высокой частоты продолжается и в процессе сварки.
- (3) Повторным нажатием выключателя горелки дуга прекратится, но защитный газ будет подаваться в течение несколько секунд.

Управление этими действиями осуществляет схема управления последовательностью.



На рис. 2.17 представлена последовательность основных действий Аргонодуговой сварки. Кроме этого, в зависимости от производимых работ имеются разновидности последовательности, но в любом случае управление действиями осуществляется путем операции выключателя горелки.

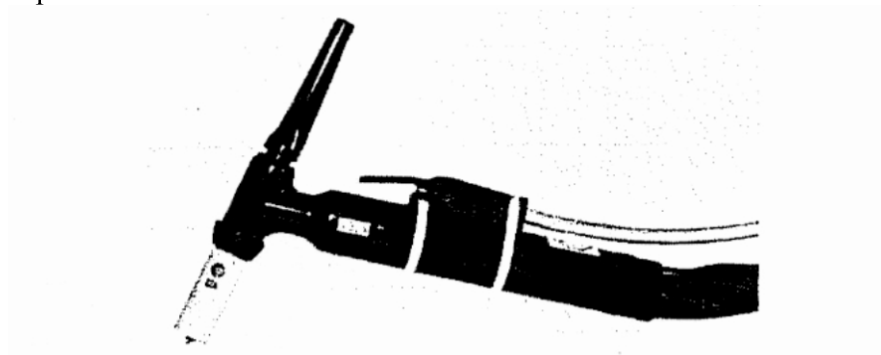
## 2-4 ГОРЕЛКИ ДЛЯ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ

### 2-4-1 Горелки для ручной сварки

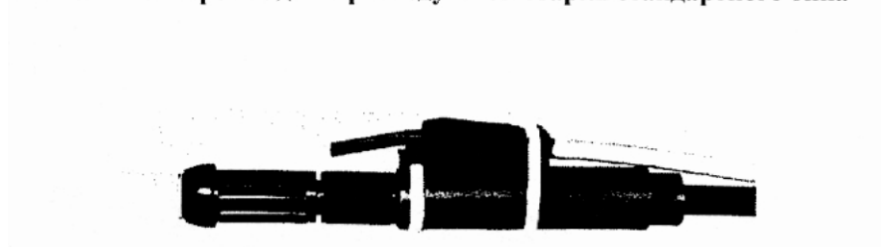


Горелки которые зажимают в цанге вольфрамовый электрод, подводят к нему сварочный ток и подают через сопло защитный газ для защиты зоны сварки) должны иметь достаточную теплостойкость, поскольку используются в среде высокой температуры, вызываемой дугой.

Ручные горелки имеются разных типов, но, в общем, применяются горелки, внешний вид которых представлен на рис. 2.18. Также находят применение горелки карандашного типа, которые удобны для сварки деталей малых габаритов. Внешний вид этих горелок представлен на рис 2.19



**Рис. 2.18 Горелка для Аргодуговой сварки стандартного типа**



**Рис. 2.19 Горелка для Аргодуговой сварки карандашного типа**

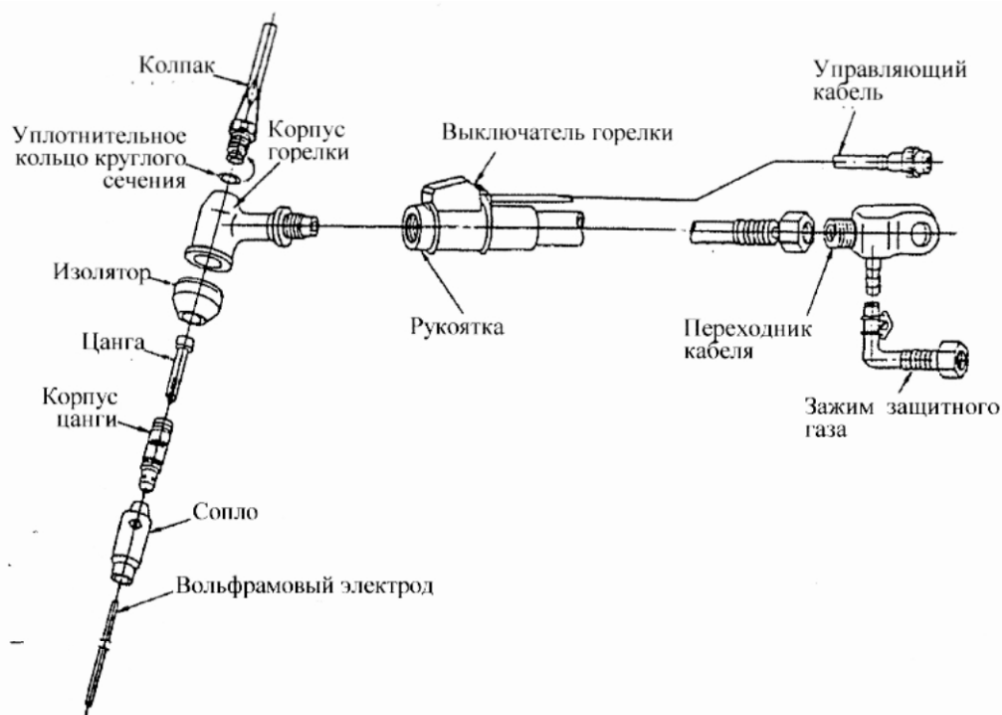
С другой стороны, по методам охлаждения горелки подразделяются на горелки водяного охлаждения и горелки воздушного охлаждения. Горелки водяного охлаждения, теплостойкость которых увеличивается за счет водяного охлаждения сварочного кабеля, держателя электрода и сопла, находят применение при сварке на сильном токе. Горелки воздушного охлаждения, не располагающие контуром охлаждающей воды, просты по конструкции и превосходны по управляемости благодаря компактности и легковесности, но ограничены рабочим током примерно до 200 А. Конструкция горелки воздушного охлаждения представлена на рис. 2.20.

#### **2-4-2 Горелки для полуавтоматической сварки**

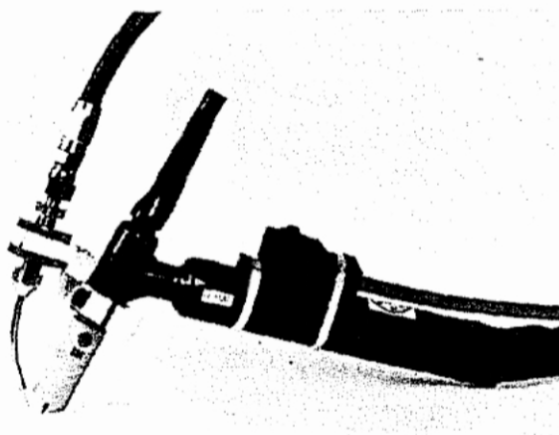
Под горелками для полуавтоматической сварки подразумеваются горелки, операция которых осуществляется вручную, но добавление присадочного металла автоматизировано. Пример представлен на рис. 2.21.

При использовании эти горелки должны быть комбинированы с устройством подачи проволоки, которое представлено на рис. 2.22. и устройством управления подачи проволоки, которое представлено на рис. 2.23. и позволяют получить равномерные валики легче по сравнению с ручной сваркой благодаря стабильному добавлению присадочного металла.

Если эта горелка установлена на тележку или прикреплена к стенду горелки и комбинирована с поворотным столом, то легко получается автомат Аргодуговой сварки.



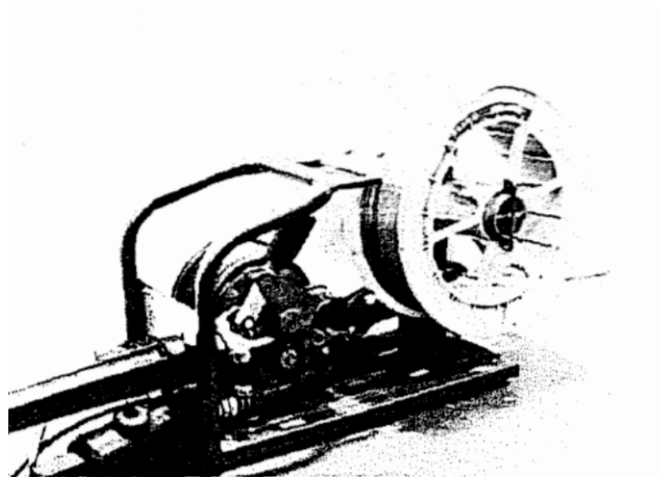
**Рис. 2.20 Конструкция горелки воздушного охлаждения для Аргонодуговой сварки**



**Рис. 2.21 Горелка для полуавтоматической Аргонодуговой сварки**

### **2-4-3 Прочие горелки**

Кроме горелок для ручной сварки и полуавтоматической сварки, находят применение разнообразные горелки, специализированные в зависимости от назначения; например, горелки для сварки на сильном токе, сопло которых охлаждается водой непосредственно, как представлено на рис. 2.24. горелки с двойной защитой, в которой защитный газ подается двойственно для улучшения защитного эффекта, горелки, специализированные для точечной дуговой сварки, и прочие специализированные горелки.



**Рис. 2.22 Устройство подачи проволоки**

## **2-5 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ**

### **2-5-1 Регуляторы давления газа с расходомером**

Аргон, который применяется в Аргонодуговой сварке в качестве защитного газа, обычно хранят в сосуде высокого давления порядка 15 МПа (150 кгс/см<sup>2</sup>) при температуре 35°C.

Регуляторы давления предназначены для того, чтобы снизить давления сжатого газа до уровня, подходящего к сварке, порядка 0,15 МПа (1,5 кгс/см<sup>2</sup>), а расходомеры предназначены для установки расхода защитного газа, подходящего к сварке.

Обычно в большинстве случаев регулятор и расходомер конструируются заодно, как представлено на рис. 2.25. Заданный расход защитного газа устанавливается, смотря на деление, выгравированное на расходомере, и плавучую отметку, перемещающуюся вертикально в зависимости от расхода газа, и открывая или закрывая клапана регулировки расхода.

### **2-5-2 Устройства циркуляции охлаждающей воды**

Водяное охлаждение горелки для Аргонодуговой сварки осуществляется методом с использованием водопроводной воды или методом с использованием устройства циркуляции охлаждающей воды, как представлено на рис .2, 26.

Устройства циркуляции охлаждающей воды находят применение в следующих случаях;

- (1) Невозможно использовать водопроводную воду.
- (2) В связи с плохим качеством воды водяной канал горелки может легко засориться из-за накипи или т.п..
- (3) В связи с низким давлением воды или колебанием давления воды не получается количество воды в подходящем объеме.
- (4) Место производства работы перемещается часто, например, при сварке на разных объектах.



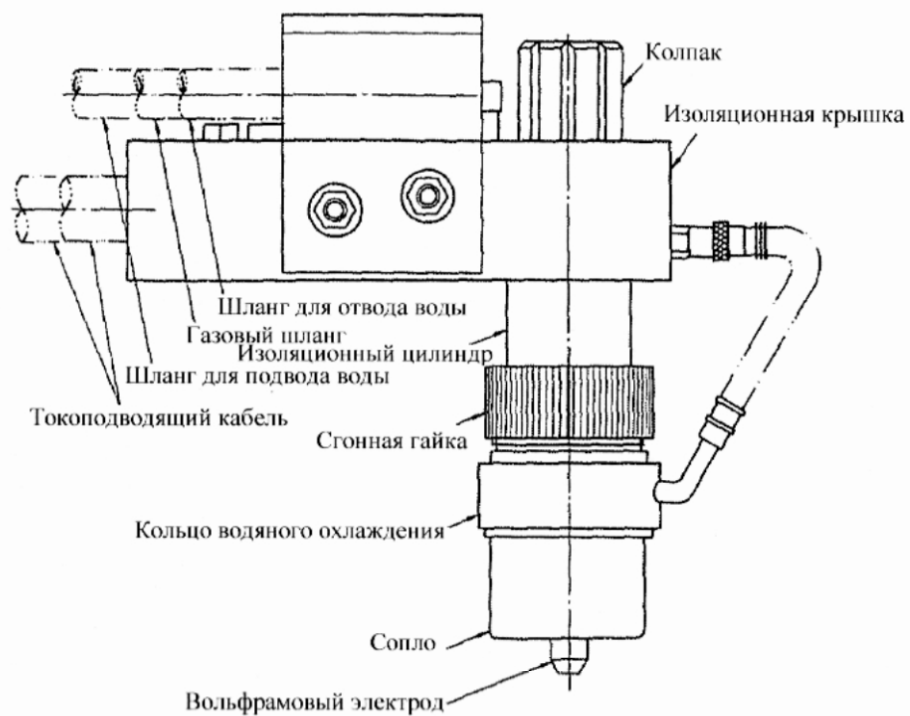


Рис. 2.24 Горелка для Аргондуговой сварки на 1000 А с водяным охлаждением



Рис. 2.25 Регулятор давления газа с расходомером



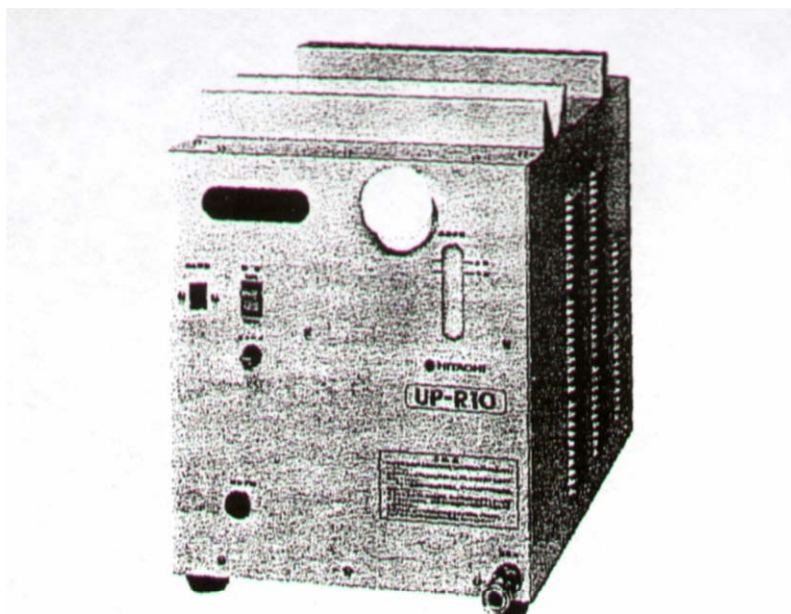


Рис. 2.26 Устройство циркуляции охлаждающей воды

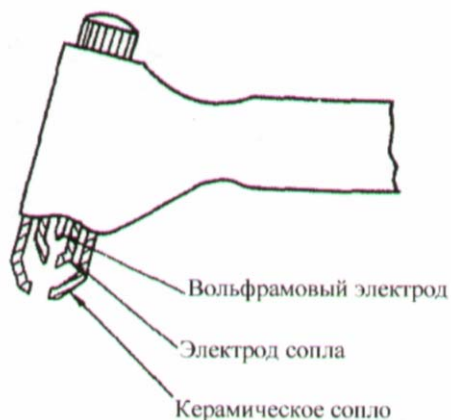


Рис. 2.27 Горелка для резки

На рис. 2.28 представлен принцип плазменной резки. На наконечнике горелки между электродом сопла и вольфрамовым электродом зажигают вспомогательную дугу, приближают эту дугу к основному металлу, и тем самым между вольфрамовым электродом и основным металлом дают основную дугу горсть, с помощью которой осуществляют резку. Особенность формы этой дуги заключается в том, что она тоньше, чем дуга в Аргонодуговой сварке, как представлено на рис. 2.29.

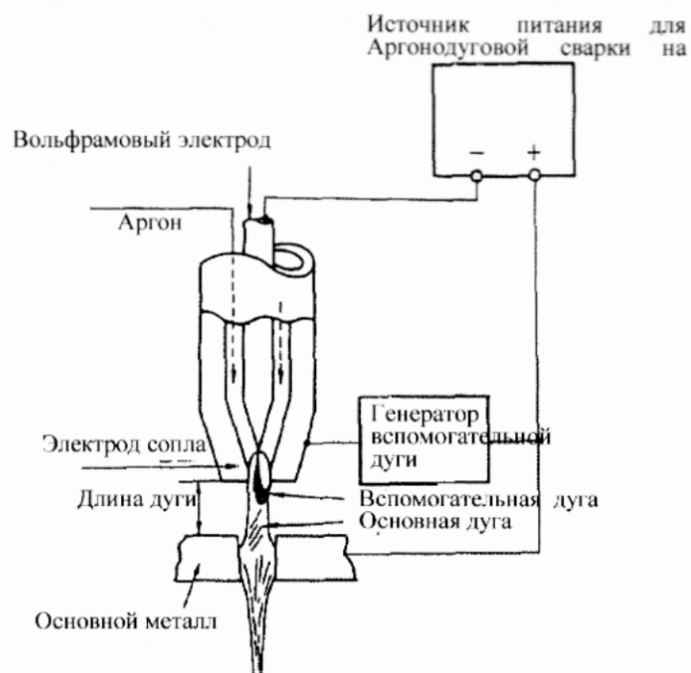


Рис. 2.28 Принцип упрощенной плазменной резки



(а) Дуга упрощенной плазменной резки

Плазменный газ	Ar 8л/мин
Размер отв. сопла	диам. 2 мм
Ток	50 А
Длина дуги	8 мм



(б) Дуга Аргодуговой сварки

Защитный газ	Ar 8л/мин
Ток	50 А
Длина дуги	8 мм

Рис. 2.29 Сравнение форм дуги

## ГЛАВА 3 ПОДГОТОВКА ПЕРЕД СВАРОЧНОЙ РАБОТОЙ

### 3-1 ПОДГОТОВКА СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК

#### 3-1-1 Выбор полярности

При выполнении Аргонодуговой сварки, прежде всего, нужно выбрать сварочный источник питания и его полярность, которые подходят к материалу свариваемых деталей.

Обычно для сварки алюминиевого сплава, магниевого сплава и т.д., в которых должна быть устранена оксидная пленка с поверхности основного металла за счет эффекта очистки дуги, или для сварки, в которой не предпочитают глубокое проплавление основного металла, применяется переменный ток. А в случае других металлов, как правило, применяется постоянный ток с отрицательной полярностью электрода. Постоянный ток с положительной полярностью электрода, как правило, почти не применяется. В табл. 3.1 приведены выборы источника питания и полярности относительно типичных материалов.

#### 3-1-2 Коэффициент использования сварочных источников и горелок

Для сварочных источников питания и горелок устанавливаются номинальный ток и коэффициент использования на номинальном токе, соответственно. Номинальный ток означает максимальный ток, который можно использовать для сварки, а коэффициент использования на номинальном токе означает, сколько минут можно продолжать сварку в течение 10 минут при выполнении сварки на номинальном токе.

Например, это означает, что при выполнении сварки на токе 300 А с использованием источника питания с номинальным током 300 А и коэффициентом использования на номинальном токе 40% после 4-минутной сварки нужно приостановить сварку на 6 минут, иначе сварочный источник питания может перегореть.

Табл. 3.1 Выборы полярности в Аргонодуговой сварке

Полярность Материал		Источник питания переменного тока	Источник питания постоянного тока
			Отрицательная полярность электрода
Мягкая сталь		×	○
Чугун		△	○
Нержавеющая сталь		×	○
Алюминий		○	×
Алюминиевая отливка		○	×
Алюминиевая бронза		○	×
Титан		×	○
Медь		×	○
Магний		○	×
Серебро		△	○
Латунь	12,3 мм и менее	○	×
	12,3 мм и более	×	○

○: подходит, △: сварка возможна, ×: не подходит

Однако коэффициент использования (допустимый коэффициент использования) при сварке на токе ниже номинала;

$$\frac{\text{Допустимый коэффициент использования}}{\text{коэффициент использования}} = \frac{\text{Коэффициент использования на номинальном токе}}{\text{номинальном токе}} \times \left[ \frac{\text{Номинальный ток}}{\text{Рабочий ток}} \right]^2$$

Например, если с использованием источника питания с вышеуказанным номиналом осуществляют сварку на 200 А, то получается;

$$\frac{\text{Допустимый коэффициент использования}}{\text{коэффициент использования}} = 40 \times \left[ \frac{300}{200} \right]^2 = 90\%$$

Так что можно использовать источник питания 9 минут непрерывно. Далее, находим верхний предел сварочного тока, на котором можно использовать источник питания длительное время непрерывно:

$$\begin{aligned} \text{Рабочий ток} &= \sqrt{(\text{Номинальный ток})^2 \times \frac{\text{Коэффициент использования на номинальном токе}}{\text{Допустимый коэффициент использования}}} \\ &= \sqrt{(300)^2 \times \frac{40}{100}} = 189,7 \text{ А} \end{aligned}$$

Так что при сварке на токе порядка 190 А источник питания не перегорит, даже если используется длительное время непрерывно.

Однако в случае импульсного тока за рабочий ток должно принимать не арифметическое среднее пикового тока и базового тока, а среднеквадратическое значение этих двух.

Выше дано разъяснение коэффициенту использования, беря для примера сварочный источник питания, но такое же соображение подходит и к сварочным горелкам. При этом следует обращать внимание на то, что коэффициент использования горелок на номинальном токе при сварке переменным током устанавливается ниже, чем при сварке постоянным током.

### 3-1-3 Соединение сварочных установок

Работы по соединению сварочных установок монтаж проводов входной цепи (1-ой цепи) и заземление должно исполнять лицо, ответственное за электротехнические работы.

Соединение кабелей между сварочной горелкой, основным металлом и т.д. выходной цепи (2-ой цепи) и выходными клеммами, соединение защитного газа и охлаждающей воды, соединение управляющих кабелей и т.д. должен исполнять сварщик.

В выходной цепи протекает сильный ток, так что необходимо не только использовать шланговые кабели (регламентируется стандартом JIS C3404 сварочные кабели), оплетка которых не повреждена, но и надежно затянуть соединительные участки клемм и изолировать участки, где обнажено заряженное тело, например, намотав на них изоляционную ленту. Кроме того, если в выходной цепи используются кабели с малой площадью поперечного сечения, будет увеличиваться тепловыделение, что может привести к повреждению кабеля или поражению электрическим током, поэтому необходимо использовать шланговые кабели, площадь поперечного сечения которых подходит к сварочному току. Следует выбирать кабели так, чтобы на 1 мм

площади поперечного сечения приходилось примерно 5 А при номинального тока, основываясь на табл. 3.2.

Для установки сварочного источника питания следует выбрать помещение, защищенное от воздействия дождевой воды и прямых солнечных лучей, с пониженной влажностью и пылью.

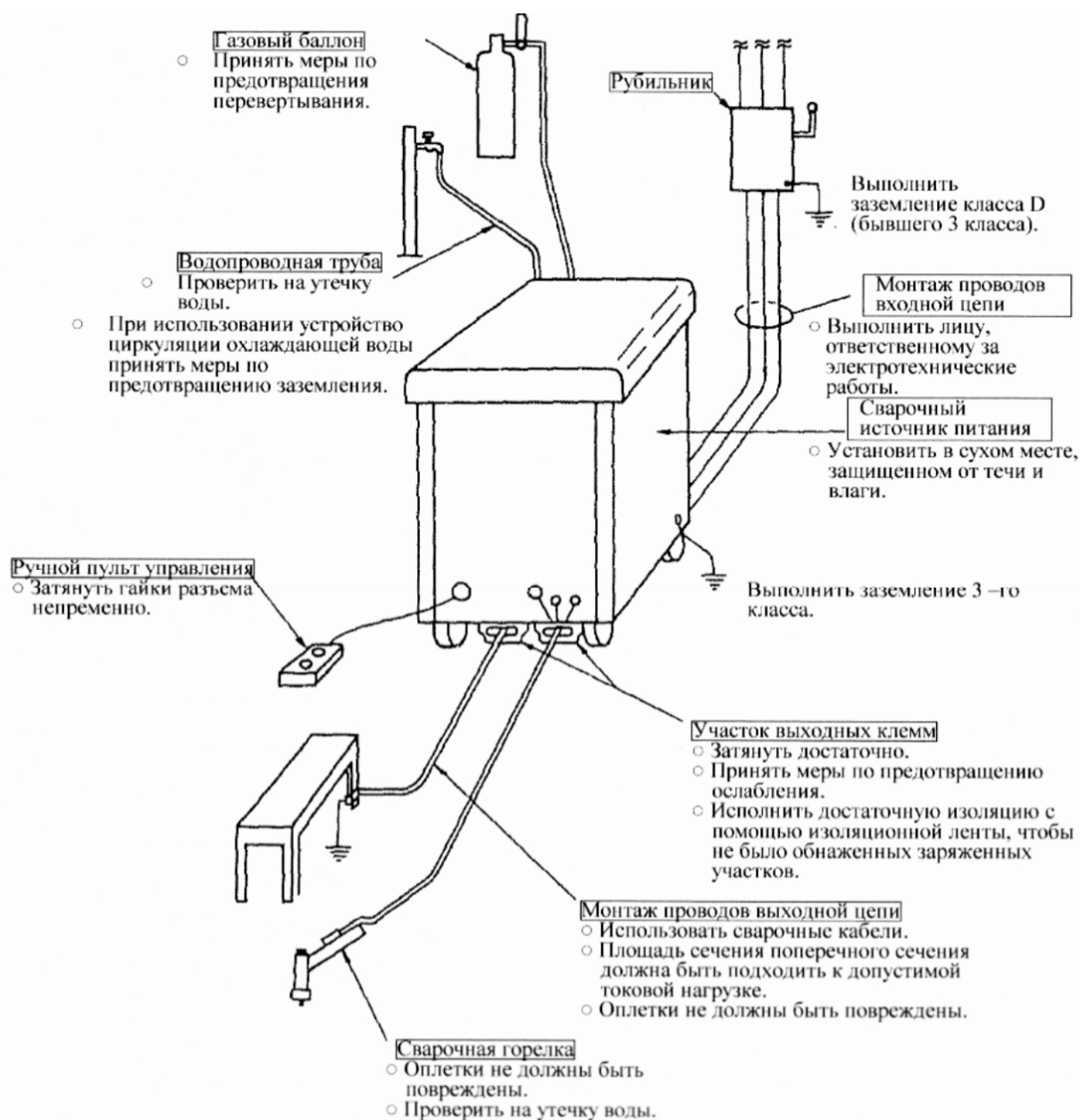
Табл. 3.2 Критерий выбора шланговых кабелей

Номинальный ток, А	100	200	300	500
Шланговый кабель, мм <sup>2</sup>	22	38	60	100

Соединительные участки защитного газа и охлаждающей воды необходимо затягивать надежно во избежание утечки, шланги закреплять хомутами. В случае, когда используется устройство циркуляции охлаждающей воды в холодной местности зимой, необходимо принимать меры по предотвращению замерзания, такие как применение антифриза, слив воды при окончании работ и т.д.

Управляющие кабель и пр. нужно закреплять, затянув гайки разъемов. Категорически запрещается использовать их, вставив и не закрепив. На рис. 3.1 показаны и представлены меры предупреждения к работе по соединению.





**Рис. 3.1 Меры предупреждения при работах по соединению**

### 3-1-4 Обращение с газовыми баллонами

Аргон, относящийся к инертному газу, не взрывается, но требует тщательного внимательного обращения, так как заряжен в баллон под высоким давлением порядка 15 МПа.

Ниже перечислены основные меры предосторожности при обращении;

- Что касается газовых баллонов, то непременно принять меры по предотвращению перевертывания, например, поставить их на стенд.
- Не ронять газовые баллоны и исключить возможность нанесения по ним ударов.
- При открытии вентиля, обратить выпускное отверстие в противоположную работнику сторону, открыть вентиль с помощью специальной рукоятки или гаечного ключа. Ни в коем случае не открывать вентиль, нанося по нему удары гаечным ключом или тяжелым предметом.
- Перед установкой регулятора давления, открыть и закрыть вентиль 1 -2 раза, поворачивая его порядка на 1/4 оборота, и продуть возле

наконечника от пыли, одновременно убедившись в отсутствии неисправностей.

- Осуществлять открытие и закрытие вентиля плавно.

Кроме того, при установке регулятора давления на газовый баллон, если затяжка была недостаточной или прокладка была повреждена, то происходит утечка газа, которая не только приведет к потере газа, но и окажет вредное влияние на защитный эффект, так что нужно убедиться в отсутствии утечки газа .

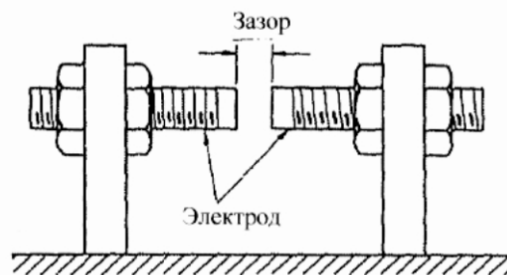
### **3-1-5 Обращение со схемой генерации высокой частоты**

При Аргонодуговой сварке, чтобы зажигать дугу бесконтактно, используется схема генерации высокой частоты, и. как правило, применяется метод искрового промежутка, по которому высокая частота формируется в зазоре между двумя электродами, как представлено на рис. 3.2

Характеристика высокой частоты сильно зависит от этого промежутка. Чем меньше будет промежуток, тем слабее станет сила, но тем чаще станет количество раз генерации. И наоборот, чем больше будет промежуток, тем сильнее станет сила, но тем меньше станет число раз генерации. В общем, как подходящий промежуток устанавливают приблизительно 1 мм.

В случае сварки на постоянном токе, поскольку высокая частота используется только при зажигании дуги, можно устанавливать относительно большой промежуток и использовать повышенную силу высокой частоты. Однако в случае сварки на синусоидальном переменном токе, поскольку высокая частота используется постоянно, нецелесообразно устанавливать слишком большой промежуток. При большом промежутке количество раз генерации уменьшается что может привести к обрыву полуволны сварочного тока.

Поскольку характеристика высокой частоты зависит от промежутка. необходимо держать поверхность электрода чистой. Когда заметна шероховатость поверхности электрода, нужно полировать ее мелкозернистой наждачной бумагой и повторно регулировать промежуток на подходящее значение с помощью толщиномера и т.д. При этом очень важно убедиться в том, что два электрода расположены параллельно. Поскольку к схеме генерации высокой частоты прилагается высокое напряжение порядка нескольких тысяч вольт, при регулировке промежутка непременно убедиться в отключении управляющего питания и принять меры, чтобы ошибочное прикосновение к выключателю не привело к включению электропитания.



**Рис. 3.2 Разрядный промежуток высокой частоты**

Кроме того, поскольку высокая частота по своей характеристике снижает свои параметры по мере удлинения сварочного кабеля, не желательно использовать слишком длинный сварочный кабель. Степень снижения параметров частоты варьируется в зависимости от конфигурации и расположения горелки и пр., поэтому нельзя сказать однозначно, но за предел принимают 10 - 20 м.

### **3-1-6 Радиопомехи из-за высокой частоты**

При использовании высокой частоты нужно уделять внимание радиопомехам.

Высокая частота, которая генерируется в схеме генерации высокой частоты методом искрового промежутка и используется для Аргодуговой сварки, не постоянная и имеет широкую полосу частот (0,5 - 20 МГц). Что касается распространения высокой частоты, то оно происходит не только от сварочной горелки и ее кабеля в воздух, но и от входного кабеля (трассы кабеля), а также происходит переизлучение вследствие индукции, как представлено на рис. 3.3.

Сварка на постоянном токе, в которой генерация высокой частоты происходит при зажигании дуги в короткий промежуток времени и дуга прекращается по мере горения, не оказывает на практике такого вредного влияния. Однако в случае сварки на переменном токе для устойчивой генерации высокая частота формируется постоянно и после горения дуги. Если среди высоких частот, состоящих из разных полос частот, полоса относительно сильных частот совпадает с частотой радиоприемника, телевизора или радиостанции, может произойти шум. в крайнем случае, неспособность к приему или прочие радиопомехи. Кроме того, расположенные вблизи роботы и прочие аппараты с электронным управлением могут совершать ошибочные действия.



**Рис. 3.3 Диапазон распространения высокой частоты**

Хотя в установках Аргодуговой сварки предусмотрены многообразные изобретения для ослабления радиопомех, вызываемых высокой частотой, радиоприемник, телевизор, робот и прочие аппараты, имеющие электронное управление и расположенные крайне близко к рабочему месту, во многих случаях неизбежно подвергаются влиянию радиопомех.

Если при установке или обращении со сварочными установками TIG обращать внимание на следующие пункты, то можно сократить помехи от высокой частоты в значительной степени;

- В схеме генерации высокой частоты не устанавливать искровой промежуток больше, чем необходимо.
- По возможности укоротить сварочный кабель и положить его так, чтобы он соприкасался с землей.
- Поскольку высокая частота экранируется железо-бетонной конструкцией, если рабочее место установлено внутри железо-бетонной конструкции, высокая частота не проникает наружу.

## **3-2 ПОДГОТОВКА КРОМОК**

### **3-2-1 Формы кромок**

Формы сварочных соединений определяются на основе назначения изделия,

материала основного металла или толщины стенки листов. Соединения, подлежащие Аргонодуговой сварке, подразделяются на стыковое соединение, тавровое соединение, соединение внахлестку, угловое соединение, соединение с отбортовкой двух кромок и пр. Типичные примеры представлены в табл. 3.3. В случае среднестенных и толстостенных листов для обеспечения эффективности и качества сварки применяются разные формы кромок в зависимости от назначения и толщины стенок.

**Табл. 3.3** Формы соединений, применяемые при Аргонодуговой сварке

Вид соединения	Форма кромки	Толщина стенки листа
Стыковое соединение	Без разделки кромок	Тонкостенный лист
	V-образная разделка кромок	Среднестенный лист
	U-образная разделка кромок	Среднестенный лист
	X-образная разделка кромок	Тонкостенный лист
	Двухсторонняя симметричная «рюмкообразная» разделка кромок	Тонкостенный лист
Тавровое соединение	Без разделки кромок, двухсторонний угловой сварной шов	Тонкостенный и среднестенный лист
	V-образная разделка одной кромки	Среднестенный и толстостенный лист
	Криволинейная разделка одной кромок	
	K-образная разделка кромок	Толстостенный лист
Соединение нахлестку	Односторонняя без разделки кромок, угловой сварной шов	Тонкостенный и среднестенный лист
	Двусторонняя без разделки кромок, угловой сварной шов	
	С отфланцовкой	
Угловое соединение	Угловой сварной шов валиком	Тонкостенный и среднестенный лист
	Без разделки кромок	
	Разделка одной кромки	Среднестенный и толстостенный лист
Соединение с отбортовкой двух кромок		Тонкостенный лист

Сварка TIG применяется для среднестенных и толстостенных листов, когда требуется высокое качество сварных швов, листы поддаются сварке с трудом, необходим обратный валик первого слоя и т.д. Обработка кромок, как правило, подлежит машинной обработке. U-образная разделка кромок, двухсторонняя симметричная «рюмкообразная» разделка кромок и т.д. получаются только машинной обработкой.

Каждый конструктивный элемент именуется, как представлено на рис. 3.4. и прежде чем приступить к сварке, необходимо проверить точность значений этих элементов. Если значения угла скоса кромок, притупления кромки или зазора в

вершине разделки становятся или больше, чем следует, или меньше, то может произойти не только сварочный дефект, но и брак всего сварного шва. Так что неточные размеры подлежат по необходимости поправке.

В случае тонкостенных листов стыковое соединение осуществляется без разделки кромок, тавровое соединение - без разделки кромок с двусторонним угловым сварным швом. Форма самой кромки проста, но припуски на зазор в вершине разделки и смещения значительно меньше, чем в случае среднестенных и толстостенных листов.

### 3-2-2 Очистка кромки

Если выполняют сварку, оставляя на поверхностях кромок и на близких к кромкам поверхностях основного металла прилипшее на них масло, ржавчину, окалину и краску, то может произойти возникновение сварочных дефектов, таких как раковины и трещины. Следовательно, перед сваркой необходимо удалить масло, ржавчину, окалину и краску полностью.



Рис. 3.4 Наименование конструктивных элементов кромок

Масло и т.п. не удаляется полностью путем вытирания ветошью, так что рекомендуется промывать ацетоном или т.п.

Ржавчина, окалина и т.п. удаляется с помощью ручной шлифовальной машины или проволочной щетки. Когда в качестве основного металла используется нержавеющая сталь, использование стальной проволочной щетки будет вызывать рассеивание стальной пыли с проволоки, что может привести к коррозии, так что нужно использовать проволочную щетку из нержавеющей стали.

При сварке с обратным валиком, обращать внимание на очистку стороны, подлежащей сварке и на очистку обратной стороны.

Грязь на поверхности присадочного металла так же, как грязь на поверхностях кромок, может быть причиной сварочного дефекта, поэтому нельзя забывать очищать их. Следует избегать прикосновений к присадочному металлу голыми руками или грязными перчатками.

В частности, в случае сварки алюминия или алюминиевого сплава влага, на поверхности присадочного металла, может привести к образованию раковин, так что следует присадочный металл не только держать сухим в процессе сварки, но и после использования укладывать в сосуд и хранить в сухом месте.

### 3-2-3 Сварка прихватками

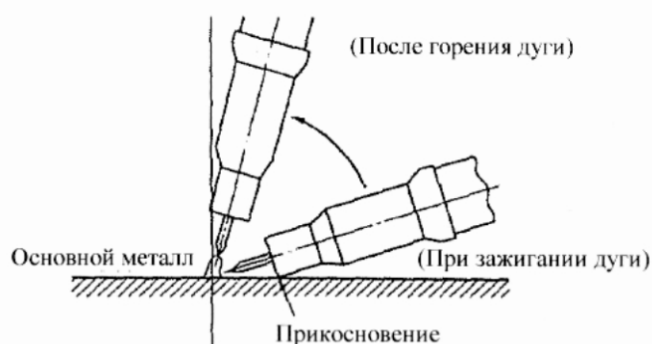
В случае простого соединения тонкостенных листов могут пропускать сварку прихватками, непосредственно выполняя основную сварку с помощью приспособления и т.п., однако, как правило, выполняют сварку прихватками внутри кромок, на обратной стороне или в зоне углового сварочного шва.



Ток, применяемый для сварки прихватками, составляет порядка 80% тока основной сварки, к тому же сварка прихватками относится к прерывистой сварке, в которой длина одного валика равна примерно несколько десятков миллиметра. Так что, если сварка прихватками недостаточна, в процессе основной сварки могут произойти трещины, смещение, изменение зазора в вершине разделки, и прочие сварочные дефекты, что окажет большое влияние на размеры, форму, точность и работоспособность изделий. Следовательно, производить сварку прихватками внимательно так же, что и основную сварку.

В случае кромки, имеющей зазор в вершине разделки, желательно при сварке прихватками добавлять присадочный металл.

При сварке прихватками стыковых соединений тонкостенных листов и т.н., если, наклоня горелку в значительной степени, как представлено на рис. 3.5. приводят сопло в прикосновение к основному металлу и после зажигания дуги поднимают горелку, то сдвиг от прицеленного местоположения не так часто происходит и работа может быть произведена эффективно.



**Рис. 3.5 Техника производства сварки тонкостенных листов прихватками**

После окончания сварки прихватками немаловажное значение имеет контроль качества для того чтобы убедиться в отсутствии трещин, несплавления или прочих сварочных дефектов, чрезмерного смещения, и в правильности зазора в вершине разделки.

Если имеются трещины или другие сварочные дефекты, то эти дефекты так и будут оставаться и после основной сварки. Следовательно, необходимо удалить дефекты с помощью ручной шлифовальной машины и т.п. полностью, и повторно выполнить сварку прихватками.

Если смещение или зазор в вершине разделки выходит из допустимых пределов, также нужно поправить их до получения правильных значений и выполнить повторную сварку.

### **3-3 ЗАЩИТНЫЙ ГАЗ И ВЛИЯНИЕ ВЕТРА**

#### **3-3-1 Защитный эффект**

В случае Аргонодуговой сварки, если дуга и ванна расплавленного металла не защищены защитным газом, не получится качественного результата сварки.

Если удлинить вылет электрода из сопла, расстояние между соплом и основным металлом будет увеличено, и защитный газ будет склонен захватывать воздух. Так что следует уменьшить вылет электрода и установить сопло как можно ближе к основному металлу.

Однако, наоборот, если сопло установлено слишком близко к основному металлу, то сопло будет подвергаться перегреву и повреждению, и зона сварки будет видна плохо. Судя по обоим факторам, то есть по защитному эффекту и обрабатываемости, рекомендуется устанавливать вылет электрода из сопла на 1,5-2 раза больше диаметра электрода.

Диаметр сопла также является фактором, оказывающим большое влияние на защитный эффект. Сопло с слишком малым диаметром не справляется с достаточной защитой целой зоны сварки, а, наоборот сопло с слишком большим диаметром влечет за собой увеличение расхода газа для получения надлежащего защитного эффекта, что не экономично. Обычно рекомендуется установить диаметр сопла на 2 - 3 раза больше ширины валика. Однако в случае алюминиевого справа, титанового сплава и т.п., которые при высокой температуре подвергаются окислению или азотированию, рекомендуется использовать сопло с большим диаметром.

При правильном расстоянии между соплом и основным металлом и правильном значении диаметра сопла, недостаточная затяжка сопла допускает всасывание воздуха через место с ослабленной затяжкой, так что необходимо убедиться в том, что сопло затянуто достаточно.

### 3-3-2 Расход защитного газа

Слишком малый расход защитного газа, естественно, понижает способность к защите. Однако слишком большой расход будет приводить к беспорядочному потоку защитного газа. В результате этого защитный газ будет склонным захватывать воздух, что также будет понижать способность к защите. Это означает, что существует подходящий расход газа, который зависит от диаметра каждого сопла. Кроме того, диаметр сопла должен быть увеличен по мере увеличения сварочного тока. Все это диктует определенное отношение между сварочным током, диаметром сопла и расходом газа, пример которого приведен в табл. 3.4. В случае сварки на переменном токе используется сопло, диаметр которого больше, чем в случае сварки на постоянном токе, следовательно, и расход газа также нужно увеличивать.

**Табл. 3.4 Отношение между сварочным током, диаметром сопла и расходом газа**

Сварочный ток, А	Сварка на постоянном токе		Сварка на переменном токе	
	Диаметр сопла, мм	Расход газа, л/мин	Диаметр сопла, мм	Расход газа, л/мин
10~100	4~9.5	4~5	8~9.5	6~8
101~150	4~9.5	4~7	9.5~11	7~10
151~200	6~13	6~8	11~13	7~10
201~300	8~13	8~9	13~16	8~15
301~500	13~16	9~12	16~19	8~15

Примечание: В случае металлического сопла до 500 А, в случае керамического сопла до 300 А.

Кроме того, при одинаковом диаметре сопла и расходе газа, если формы сварочного соединения отличаются друг от друга, также отличается и способность к защите. Как представлено на рис. 3.6, если за критерий примем расход газа при стыковом соединении без разделки кромок, при сварке в разделку кромок и сварке угловых швов толстостенных листов защитный газ склонен накапливаться в зоне сварки, так что можно уменьшить расход газа. Однако в случае угловых соединений, наоборот, защитный газ улетучивается легко, так что нужно увеличивать расход защитного газа.



Рис. 3.6 Форма соединения и расход газа

### 3-3-3 Влияние ветра

Если в зону сварки дует ветер, защитный газ, подающийся из сопла, будет выбрасываться и захватывать воздух, что может привести к образованию раковин и прочих сварочных дефектов. Даже слабый ветер оказывает вредное влияние на способность к защите.

На рис 3.7 представлено отношение скорости ветра с расходом газа, необходимым для получения хорошей способности к защите в случае, когда в зону сварки дует боковой ветер. Видно, что по мере увеличения скорости ветра нужно увеличивать расход газа. Однако увеличивать расход газа - это не экономично, к тому же, если ветер еще сильнее, настает момент когда увеличивать расход газа бесполезно, так что обычно пределом скорости ветра считается 2 м/сек.

Следовательно, даже когда летом жарко, не желательно выполнять сварку в непосредственной близости от вентилятора. Опыт диктует, что тихий ветер, который может гнать только табачный дым, не оказывает вредного влияния на сварку.



Рис. 3.7 Отношение скорости ветра в боковом направлении с необходимым минимальным расходом газа

При сварочных работах на открытом воздухе, когда дует сильный ветер, необходимо ставить ограждение, окружать место палаткой или применять другие меры для защиты от ветра.

## 3-4 СВЕТОМАСКИРОВКА И ПРОВЕТРИВАНИЕ

### 3-4-1 Выбор фильтровальных щитков

Дуга в Аргонодуговой сварке представляет собой открытую дугу, в которой плотность тока высока, сила света больше, чем в сварке покрытым электродом, в частности, количество ультрафиолетовых лучей велико. Когда глаза воспринимают большое количество ультрафиолетовых лучей, даже если непосредственно после этого не появляется субъективный симптом, через несколько часов может появиться симптом и боль в глазах. Кроме того, дуга излучает инфракрасные лучи, которые, воздействуя длительное время на глаза, также могут причинить травму.

Следовательно, необходимо смотреть в зону сварки через фильтровальный щиток, который не пропускает ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, тем самым защищая глаза, и пропуская только подходящие видимые лучи. При производстве сварочных работ необходимо использовать средства светомаскировки для индивидуальной защиты. Эти средства светомаскировки для индивидуальной защиты регламентируют стандарты JIS 18141 (средства светомаскировки для индивидуальной защиты) и JIS T8142 (маски сварщика).

Если степень светомаскировки фильтровального щитка слишком велика, то затруднительно наблюдать зону сварки, так что следует выбрать щиток с подходящей степенью светомаскировки в зависимости от сварочного тока, как приведено в табл. 3.5.

**Табл. 3.5 Выбор степени светомаскировки (JISTH141 - 1980)**

Сварочный ток, А	Номер степени светомаскировки
не более 100	9 или 10
от 100 до 300	11 или 12
от 300 до 500	13 или 14
не менее 500	15 или 16

Вредные лучи от дуги оказывают влияние не только на самого сварщика, но и на окружающих работников, так что следует уделять внимание, тому чтобы лучи от дуги не проникали наружу, и по необходимости ставить вокруг ограждение, завесу светомаскировки или т.п.

Кроме того, нужно обращать внимание на то, что если вокруг рабочего места имеется белая стена или блестящий предмет, например, из алюминиевого сплава, могут произойти нерегулярные отражения лучей от дуги, лучи могут попасть в глаза и привести к .

### **3-4-2 Защита кожи**

Сварка представляет собой процесс, сопровождающийся высокой теплотой, так что, необходимо защищаться от тепла дуги, одеваясь в огнестойкую спецодежду, кожаные перчатки, передник и прочие средства индивидуальной защиты. Открытые участки кожи также необходимо защищать от лучей дуги.

Глаза и кожа могут пострадать от световых лучей дуги. Чем больше сварочный ток и чем дольше его непрерывное действие, тем серьезнее проявляется травматизм.

Чтобы защитить кожу от световых лучей и тепла дуги работник должен застегнуть пуговицы спецодежды правильно, использовать маску сварщика-передник, перчатки, бахилы и прочие средства индивидуальной защиты. В частности чтобы защитить шею от лучей сварки нужно обмотать ее полотенцем ,шарфом и т.д. Кожаные перчатки сварщика регламентирует стандарт JIS T8113 (кожаные защитные перчатки для сварщика)

Кроме того, непосредственно после сварки электрод и основной металл обладают высокой температурой. Поэтому следует соблюдать правила техники безопасности во избежание ожога.

### **3-4-3 Проветривание**

Хотя сам аргон, используемый при Аргонодутовой сварке, безвреден и безопасен, если производят сварку определенное время в месте с плохим проветриванием, в баке или ограниченном пространстве, аргон, который тяжелее чем воздух, может накопиться и, вытеснить кислород и тем самым удушающе воздействовать на работника.

Кроме того при сварке образуются окиси азота, озон, твердые металлические частицы, пыль. Может произойти испарение краски и растворителя, оставшихся на изделии. Все эти вещества относятся к вредным веществам которые по возможности не следует вдыхать.

Следовательно, следует не только постоянно стараться проветривать с использованием вытяжного устройства или вентилятора, но и стараться использовать противопылевой респиратор и прочие средства для индивидуальной защиты. Противопылевые респираторы регламентируют стандарты JIS 18151 (противопылевые респираторы) и JIS 18153 (респираторы с питанием воздуха).

Однако слишком сильная вентиляция или проветривание может привести к нарушению защитных свойств защитного газа и тем самым помешать получить качественный результат сварки, так что следует обращать внимание и на защиту зоны сварки от ветра.



## ГЛАВА 4 ИНСТРУКЦИЯ ПО ИСПОЛНЕНИЮ РАБОТ

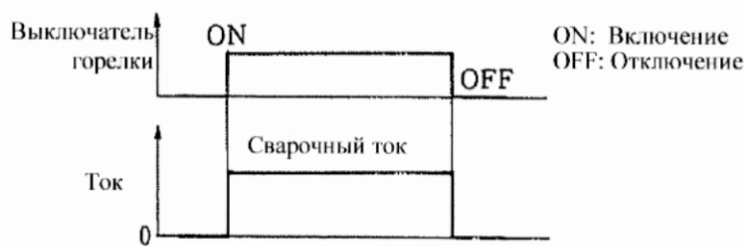
### 4-1 ДЕЙСТВИЕ СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК

#### 4-1-1 Операция выключателей горелки

В случае Аргонодуговой сварки зажигание и прекращение дуги осуществляют за счет включения и отключения выключателя горелки. При этом различают 2 основных метода.

Первый метод относится к самому основному действию, как показано на рис. 4.1; дуга зажигается при включении выключателя горелки и так остается горячей, пока выключатель горелки остается включенным. При отключении выключателя горелки прекращается и дуга. Этот метод операции обычно называется «без самоблокировки» и применяется при сварке прихватками, коротких сварных швах и т.д.

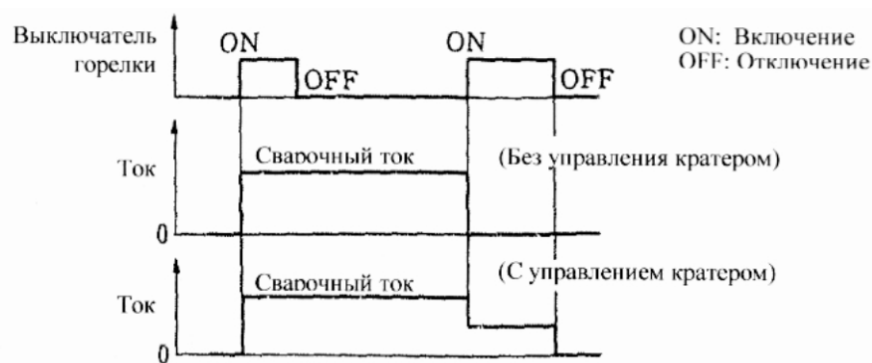
Другой метод представлен на рис. 4.2; также при включении выключателя горелки зажигается дуга, которая продолжает гореть даже при отключении выключателя горелки. Дуга прекращается только тогда, когда повторно включен выключатель горелки. Этот метод операции называется «с самоблокировкой» и применяется при длинных сварных швах, нижеприведенном программном управлении и т.д.



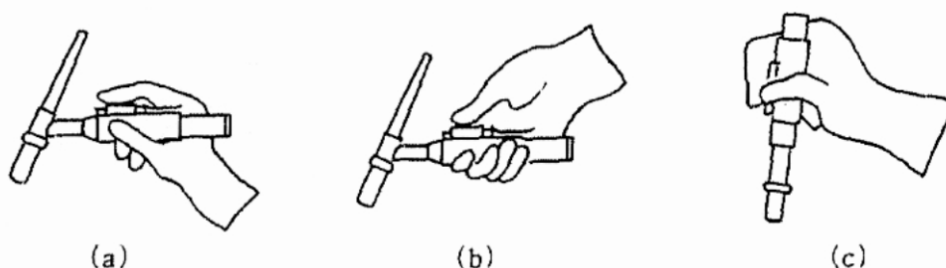
**Рис. 4.1 В случае «без самоблокировки»**

Управление кратером также осуществляется операцией «с самоблокировкой», где при повторном нажатии на выключатель горелки сварочный ток переходит в ток заварки кратера, при отключении выключателя горелки прекратится дуга. Операция «без самоблокировки» не справляется с этой операцией.

Стандартные способы держания сварочной горелки TIG представлены на рис. 4.3. Если удерживать горелку такими способами то можно справляться как с плавным перемещением горелки так и с отключением и включением выключателя горелки.



**Рис. 4.2 В случае «с самоблокировкой»**



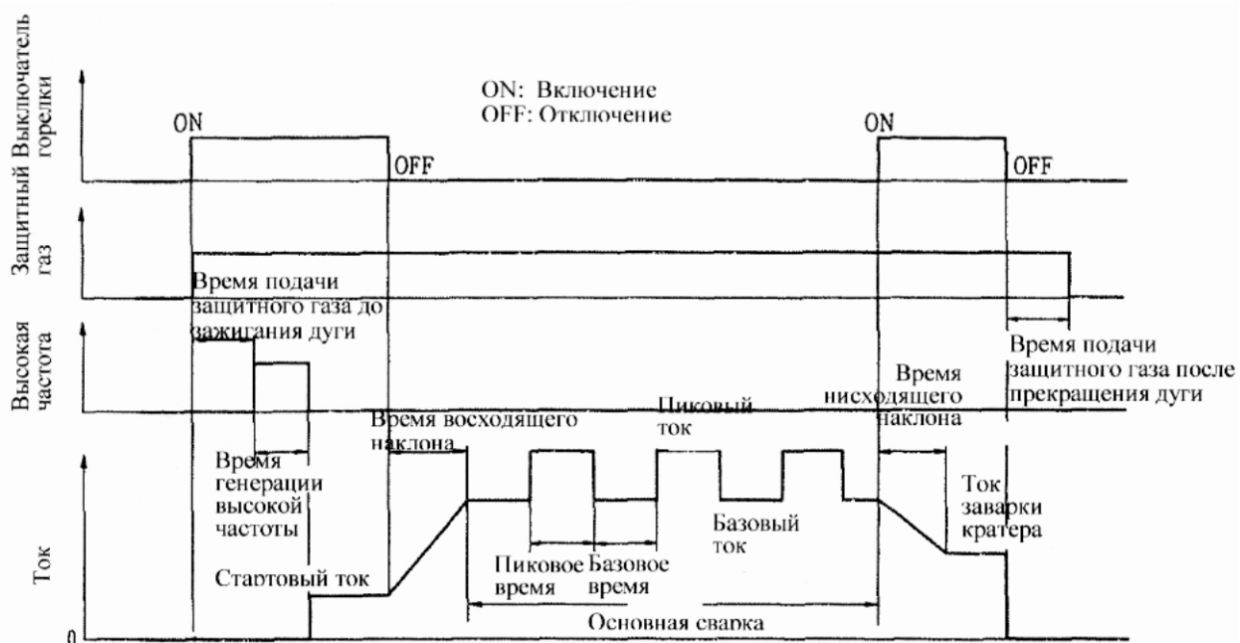
**Рис. 4.3 Способы держания сварочной горелки TIG**

Однако, если, обращать излишнее внимание способам удержания горелки, и из-за этого принимать неудобное рабочее положение, то вопреки ожиданиям получится неплавный ход горелки. Так что, следует держать горелку применительно к рабочей обстановке.

#### **4-1-2 Последовательность действий**

Хотя традиционные источники питания с подвижным сердечником справлялись только с простым управлением, например, переключением в конце сварки со сварочного (дежурного) тока на заданный ток заварки кратера, последние сварочные источники питания TIG с тиристорным управлением или инверторным управлением могут осуществлять программное управление, которое изменяет ток в соответствии с различными схемами.

На рис. 4.4 представлена основная схема программного управления сваркой на постоянном токе. При включении выключателя горелки начинает подаваться защитный газ, защищающий заранее зону сварку, по истечению заданного времени подачи защитного газа до зажигания дуги подается напряжение высокой частоты. Под наведением высокой частоты зажжется дуга, и высокая частота прекратится автоматически. Ток в этот период называется стартовым током и устанавливается на более низкое значение, чем ток для основной сварки, что полезно для подтверждения стартового положения или предотвращения прожога в случае сварки тонкостенных листов.



**Рис. 4.4 Основной схема программного управления**

Далее, после отключения выключателя горелки ток увеличится постепенно, и достигнет сварочного (дежурного) тока. Это действие называется восходящим наклоном, и длительность этого действия называется временем восходящего наклона. После окончания этого восходящего наклона, если установлен импульсный режим, сварочный ток увеличивается и уменьшается между пиковым током и базовым током с заданным периодом, который определяют пиковое время и базовое время. Если не применяется импульсный режим, базовый ток служит сварочным током.

При достижении конечной точки сварки повторным включением выключателя горелки ток постепенно уменьшится и перейдет в ток заварки кратера. Это действие называется нисходящим наклоном, и длительность этого действия называется временем нисходящего наклона. После окончания нисходящего наклона, когда кратер обработан током заварки кратера, отключением выключателя горелки прекратится и дуга.

Однако и после прекращения дуги, пока не застынет зона кратера, электрод и т.д. в достаточной мере, защитный газ продолжает подаваться и прекратится по истечении времени подачи защитного газа после прекращения дуги. Подходящее время подачи защитного газа после прекращения дуги, хотя варьируется в зависимости от материала свариваемого металла, сварочного тока и т.п.. можно устанавливать, как приведено в табл. 4.1. Кроме того, так как подача защитного газа после прекращения дуги осуществляется для защиты электрода и зоны кратера, нельзя отводить горелку сразу после прекращения дуги, а отводить ее только после завершения подачи защитного газа, после прекращения дуги.

Таким образом, каждый раз при необходимости изменяют ток. за счет чего переход форм валика в начале шва. соединениях между валиками и т.д. становится плавным, и можно предотвратить непровар, прожог и прочие сварочные дефекты, как показано на рис. 4.5 или 4.6. Такое управление необходимо, в частности, при круговой сварке и пр., в которой начало шва и кратер накладываются друг на друга.

**Табл. 4.1 Установка времени подачи защитного газа после прекращения дуги**

Сварочный ток, А	Время подачи защитного газа после прекращения дуги
не более 100	5 – 10 сек
от 100 до 300	10 – 20 сек
не менее 300	20 – 30 сек

Кроме того, различают ряд схем программного управления током, примеры которых представлены на рис. 4.7 и 4.8.



Рис. 4.5 Форма валика в начале шва



Рис. 4.6 Форма соединения между валиками

В случае рис. 4.7 особенность заключается в следующем; когда ток уменьшается нисходящим наклоном и достигает тока заварки кратера, дуга прекращается автоматически. Хотя форма кратера определяется током заварки кратера и временем нисходящего наклона, в любом случае до прекращения дуги схема держит свою постоянность и получается равномерная обработка кратеров.

В случае 4.8 включением и отключением выключателя горелки можно повторять вышеприведенную основную схему (рис. 4.4) бесконечно. Поэтому в случае тонкостенных листов и большого зазора в вершине разделки можно осуществлять изменение сварочного тока легко, что полезно для предотвращения прожога. В этом случае нельзя прекратить дугу включением или отключением выключателя горелки, а прекращают только резким отводом горелки.

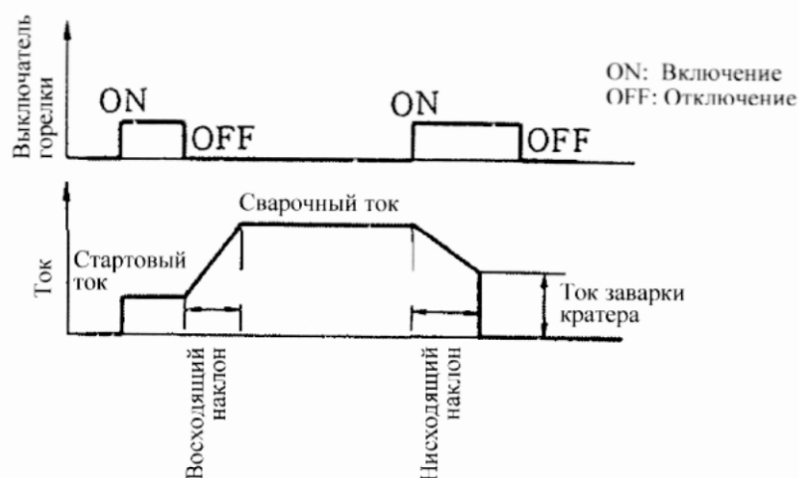


Рис. 4.7 Схема, осуществляющая равномерную обработку кратеров

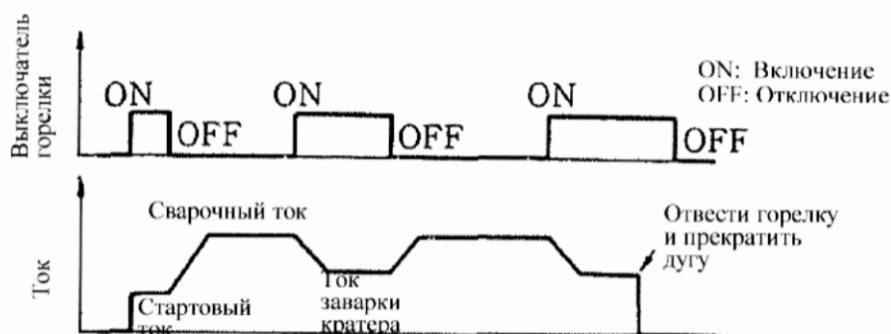


Рис. 4.8 Схема, подходящая к тонкостенным листам

#### **4-1-3 Точечная дуговая сварка**

Точечная дуговая сварка относится к методу сварки, при котором, как представлено на рис. 4.9, зафиксировав положение горелки, формируют дугу с одной стороны расположенных один под другим листов и тем самым осуществляют расплавление и соединение. Этот метод находит основное применение к конструкционной стали, нержавеющей стали и т.д. Хотя в последнее время он применяется и к алюминиевому сплаву, вопросы по равномерной свариваемости, внешнему виду и т.д. остаются открытыми.

Точечная дуговая сварка также осуществляется под программным управлением и типичный пример последовательности ее действий приведен на рис. 4.10. При включении выключателя горелки начинает подаваться защитный газ и по истечении заданного времени от подачи защитного газа до зажигания дуги под наведением напряжения высокой частоты зажжется дуга. Обнаружив горение дуги, таймер начнет отсчет, и дуга прекратится по истечению заданного времени установки дуги. При этом даже если не истекло время установки дуги, можно прекратить дугу отключением выключателя горелки. Однако, как представлено на рис. 4.11. бывает последовательность действий, в которой, после зажигания дуги невозможно прекратить ее действие, пока не истечет заданное время, даже когда отключен выключатель горелки. Следовательно, необходимо заранее установить, какая последовательность действий применена к используемой сварочной установке.

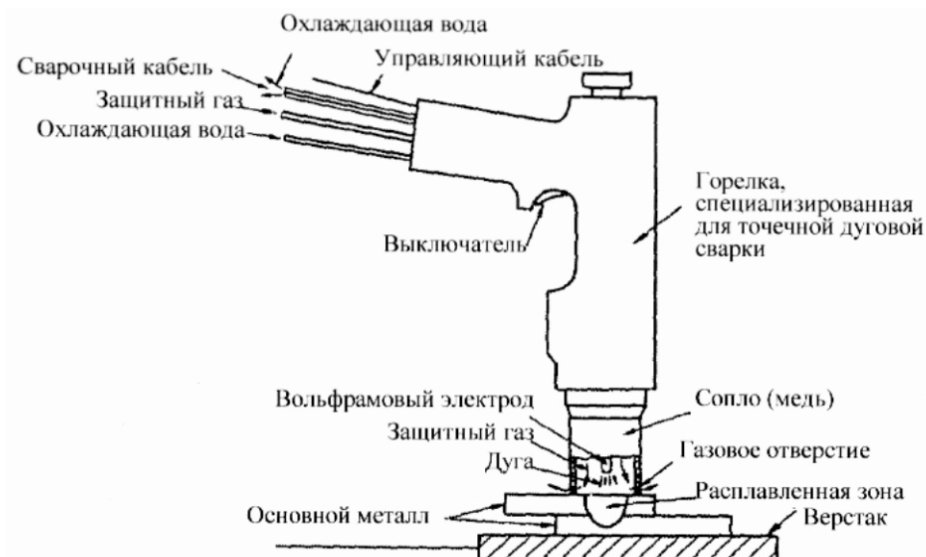


Рис. 4.9 Точечная дуговая Аргондуговая сварка



Рис. 4.10 Последовательность действий точечной дуговой сварки (1)

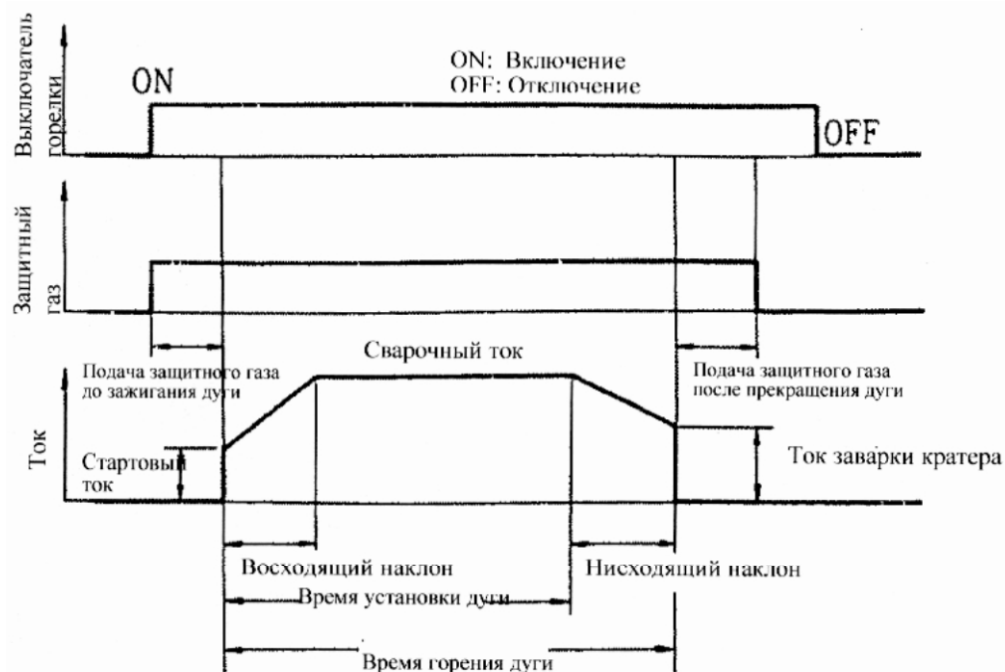


Рис. 4.11 Последовательность действий точечной дуговой сварки (2)

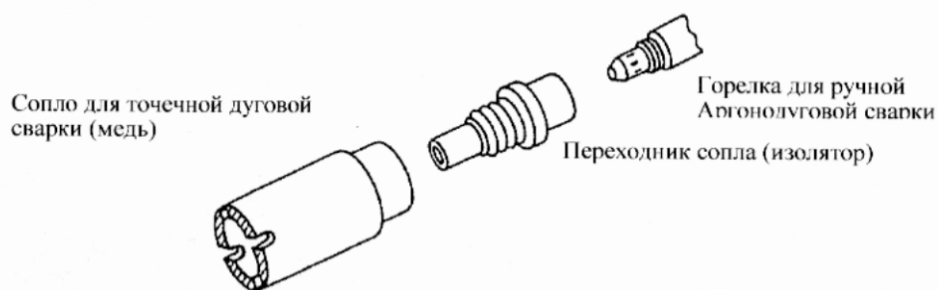
Как представлено на рис. 4.12. в некоторых случаях к точечной дуговой сварке добавляют восходящий наклон, нисходящий наклон и т.д. с тем, чтобы был получен более качественный результат сварки и более красивый внешний вид.

Для точечной дуговой сварки можно использовать не только специализированные горелки, как представлено на рис. 4.9. но и стандартные горелки для ручной Аргондуговой сварки, установив на них переходники сопла, сделанные из изоляционного материала, и медные сопла для точечной дуговой сварки, как представлено на рис. 4.13.





**Рис. 4.12 Точечная дуговая сварка с управлением наклонами**



**Рис. 4.13 Оснастки для точечной дуговой сварки**

Обычно при точечной дуговой сварке не используется присадочный металл, поэтому в местах сварки листы, расположенные внахлест должны прилегать друг к другу плотно. В большинстве случаев точечная дуговая сварка применяется к тонкостенным листам, так что достаточно только сильно прижимать горелку к ним. Однако если листы не прилегают плотно, рекомендуется использовать подходящий кондуктор применительно к соединению. Горелку должны держать вертикально, приложив конец сопла полной окружностью плотно к ОСНОВНОМУ металлу. Так же, как в случае обычной сварки, следует обращать внимание на очистку основного металла. В табл. 4.2 приведен режим сварки нержавеющей стали как пример режима исполнения точечной дуговой сварки. Кроме того, в случае точечной дуговой сварки рекомендуется сделать угол конца электрода больше чем обычно, чтобы получить хороший результат сварки.

**Табл. 4.2 Режим точечной дуговой сварки нержавеющей стали (SUS304)**

Толщина стенки, мм	Сварочный ток, А	Время установки дуги, сек	Расход аргона, л/мин	Длина дуги, мм	Диаметр электрода, мм
0.4	30	1.1	4	1.5	1.6
	50	0.8	4	1,5	1.6
	70	05	4	1.5	1.6
0.6	40	16	4	1.5	1.6

	50	0.9	4	1.5	1.6
	80	0.5	4	1.5	1.6
0.8	60	1-7	4	1.5	16
	90	0.8	4	1.5	1,6
	120	0 5	4	15	1,6
1.0	60	35	4	20	2.4
	100	10	4	2.0	2.4
	130	0.7	4	2.0	2.4
	140	0.6	4	2.0	2.4
1.2	65	1.0	5	2.0	2.4
	100	1.7	5	2 0	2 4
	150	1.2	5	2.0	2.4
	180	1 0	5	2 0	2.4
1.5	120	3.2	5	2 5	3 2
	150	2 3	5	2-5	3 2
	180	2 2	5	2.5	3.2
	240	1 7	5	2 5	3.2

## **4-2 ЗАЖИГАНИЕ ДУГИ**

### **4-2-1 Метод совместного употребления высокой частоты**

Как правило, в случае Аргонодуговой сварки при зажигании дуги применяют метод совместного употребления высокой частоты. Когда приближают электрод к основному металлу и нажимают выключатель горелки, прилагается напряжение высокой частоты, под наведением которого подается ток между электродом и основным металлом, и зажигается дуга. В случае сварки на постоянном токе после зажигания дуги напряжение высокой частоты прекращается, но в случае сварки на переменном токе приложение напряжения высокой частоты продолжается и в процессе горения дуги, чтобы предотвратить обрыв полуволны дуги.

В случае постоянного тока с отрицательной полярностью электрода, в процессе сварки электрод держится в накаливаемом состоянии, так что термоэлектронная эмиссия осуществляется легко и дуга поддерживается устойчиво. Однако в момент зажигания дуги электрод еще не накалился, так что термоэлектроны не вылетают. Однако даже при низкой температуре окиси испускают термоэлектроны легко, так что при зажигании дуги на конце электрода в местах, имеющих окиси, формируются катодные пятна и горит дуга. При этом, поскольку электрод относится к отрицательной полярности, подвергается столкновению катионов, и окиси разрушаются. По мере исчезновения окисей катодные пятна, находящиеся на новых окисях, перемещаются по поверхности электрода. Поскольку окиси разрушаются один за другим, в конечном итоге дуга перемещается вверх по поверхности электрода.

Если это состояние продолжится долго, как показано на рис. 4.14. дуга будет сильно

удлинена и будет подниматься напряжение дуги выше предела, в котором сварочный источник может поддерживать дугу, и в конечном итоге дуга прекратится. Если на ходу температура электрода поднимется и электрод будет в накалинном состоянии, дуга будет возвращена на конец электрода и горение дуги будет стабилизировано.

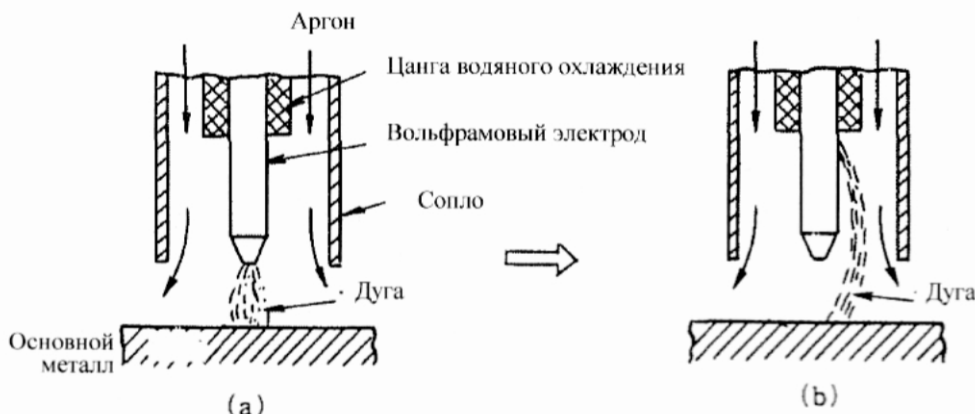


Рис. 4.14 Неустойчивость дуги при зажигании дуги

Чем ниже сварочный ток и чем чаще повторяется зажигание дуги, тем чаще появляется явление неустойчивости дуги при ее зажигании. Кроме того, эта тенденция особенно сильна, когда электроды сделаны из чистого вольфрама, так что желательно использовать вольфрамовые электроды, включающие в себя окись тория ( $\text{ThO}_2$ ), окись церия ( $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ), окись лантана ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ), окись иттрия ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) или прочие окиси.

В случае сварки на переменном токе, поскольку полярность меняется по каждому полупериоду, влезание катодных пятен будет сдержано и, в общем, ситуация по зажиганию дуги лучше, чем в случае постоянного тока с отрицательной полярностью электрода. Однако даже в случае сварки на переменном токе, если электрод остывает, не исключена ситуация тою. что, на полуволне положительной полярности электрода горит дуга, на полуволне отрицательной полярности электрода не горит дуга.

Когда конец электрода держится в накалинном состоянии, дуга горит устойчиво. Поэтому желательно заранее зажечь дугу на другом листе, накалил электрод, прекратить горение дуги немедленно переместить электрод в начальную точку сварки и зажечь дугу., Дуга зажигается стабильно и можно предотвратить прожог, несплавление и т.п. на начальной точке сварки.

Кроме того, на рис. 4.15 представлен другой вариант для разрешения проблемы; на основном металле на расстоянии 10 - 20 мм от края зажигают дугу, после начала горения дуги немедленно возвращают горелку в начальную точку сварки и начинают основную сварку.

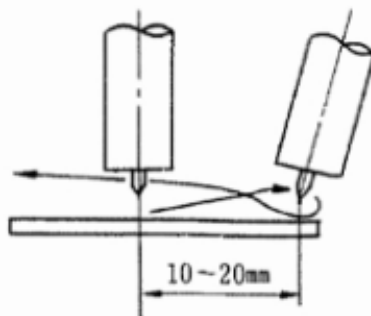


Рис. 4.15 Способ начинать сварку

#### 4-2-2 Контактный метод зажигания дуги

Когда сила высокой частоты уменьшается по ходу длинного кабеля горелки и высокочастотный разряд, необходимый для зажигания дуги, не происходит, или высокая

частота создает радиопомехи находящемуся вблизи роботу, сварочному автомату или прочим аппаратам с электронным управлением, не допускается зажигание дуги методом совместного употребления высокой частоты.

В таком случае применяется контактный метод зажигания дуги (или царапающий метод зажигания дуги), в котором зажигают дугу за счет легкого прикосновения электрода к основному металлу.

В связи с тем, что электрод и основной металл касаются друг друга, существует возможность приплавления основного металла к электроду, интенсивного износа электрода, который происходит при зажигании дуги, и прочие недостатки. Однако некоторые последние источники питания с тиристорным управлением и пр. могут замедлять износ электрода, происходящий при зажигании дуги, в значительной степени за счет установки тока, отличающегося от сварочного (дежурного) тока и протекающего при зажигании дуги. Следовательно, этот метод зажигания дуги применяется к последним сварочным автоматам, производящим работы на постоянном токе с отрицательной полярностью электрода, пользуясь следующими достоинствами;

- ✓ Можно предотвратить явление неустойчивости, которое склонно происходить в методе совместного употребления высокой частоты при зажигании дуги.
- ✓ Поскольку не генерируется высокая частота, можно исключить возможность возникновения радиопомех.

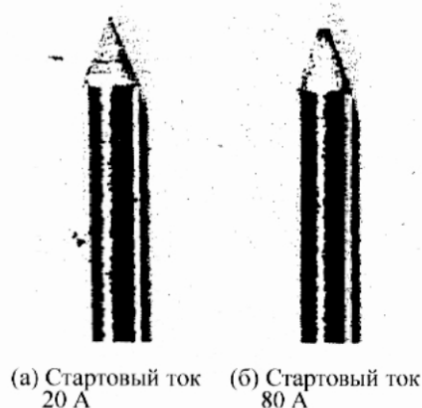
На рис. 4.16 представлен пример касательного метода зажигания дуги, который применяется в сварочных автоматах. После включения выключателя горелки до зажигания дуги к промежутку между электродом и основным металлом прилагается напряжение холостого тока порядка 80 - 90 В. Сварочный автомат, обнаружив это напряжение, опускает горелку. При касании электродом основного металла это напряжение понижается резко к уровню порядка несколько вольт. После обнаружения понижения напряжения в течение несколько миллисекунд (несколько тысячных секунд) начнется отвод горелки вверх, при достижении напряжения дуги, соответствующего заданной длине дуги, остановится подъем горелки и начнется сварка.



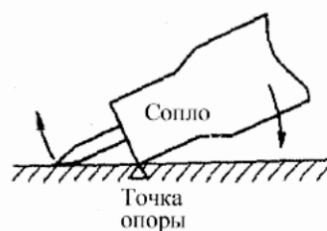
Рис. 4.16 Контактный метод зажигания в сварочном автомате

В случае автоматической сварки механизм вертикального перемещения горелки управляется электрическим приводом, так что получается устойчивое зажигание дуги. Однако в случае ручной сварки при применении контактного метода зажигания, чтобы замедлить износ электрода при зажигании дуги, следует обращать внимание на следующие пункты;

Прежде всего, если устанавливают стартовый ток на слишком большое значение, при горении дуги происходит расплавление, износ и пр. конца электрода, как показано на рис. 4.17. Желательно устанавливать стартовый ток как можно меньше, однако, если ток слишком мал, то получается неустойчивая дуга, так что обычно употребляет значение тока порядка 20 -30 А.



**Рис. 4.17 Влияние стартового тока при контактном зажигании дуги**



**Рис. 4.18 Способ операции горелки при контактном зажигании дуги**

Кроме того, если приводить электрод в прикосновение к основному металлу после включения выключателя горелки, отвод горелки осуществляется с опозданием, что будет ускорять износ электрода. Так что следует сначала привести электрод в прикосновение к основному металлу, а затем включать выключатель горелки. Едва конец электрода приобрел накалившее состояние, как нужно отвести горелку. Если отводить горелку после завершения накала, будет ускорен износ электрода.

Если перед контактом электрода и основного металла, сопло горелки приводят в соприкосновение с основным металлом, как показано на рис. 4.18, и пользуясь полученной точкой прикосновения в качестве опоры, осуществляют контакт электрода и основного металла и потом отводят электрод от металла, то в этом случае операция зажигания дуги будет облегчаться.

## **4-3 МАТЕРИАЛ И ФОРМА ЭЛЕКТРОДОВ**

### **4-3-1 Виды электродов**

Вольфрамовые электроды для Аргонодуговой сварки подразделяются на вольфрамовые электроды и вольфрамовые электроды с окисью. Их вид, химический состав, размеры и допуски, качество и т.д. регламентирует стандарт JIS Z3233 (вольфрамовые электроды для Аргонодуговой сварки). Кроме того, как приведено в табл. 4.3. установлены опознавательные цвета, так что можно различать вид электрода по цвету его конца.

Чистые вольфрамовые электроды в основном используются для сварки на переменном токе, а вольфрамовые электроды с окисью - и для сварки на постоянном токе и для сварки на переменном токе. Если не включается окись, зажигание дуги на постоянном токе с отрицательной полярностью электрода осуществляется с трудом, так что в случае сварки на постоянном токе почти не используются чистые вольфрамовые электроды.

**Табл. 4.3 Вольфрамовые электроды для Аргонодуговой сварки (JIS Z3322 — 1990)**

<i>Вид</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Состав</i>	<i>Опознавательный цвет</i>
Электрод из чистого вольфрама	YWP	W	Зеленый

Электрод из вольфрама с 1% окиси тория	YWTh-1	W+1%ThO <sub>2</sub>	Желтый
Электрод из вольфрама с 2% окиси тория	YWTh-2	W + 2%ThO <sub>2</sub>	Красный
Электрод из вольфрама с 1% окиси лантана	YWLа-1	W+1%La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Черный
Электрод из вольфрама с 2% окиси лантана	YWLа-2	W+2% La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Желто-зеленый
Электрод из вольфрама с 1% окиси церия	YWCe-1	W + 1%Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Розовый
Электрод из вольфрама с 2% окиси церия	YWCe-2	W+2%Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Серый

В случае сварки на переменном токе в полуволне положительной полярности электрода конец электрода подвергается разогреву, и поэтому в полуволне отрицательной полярности электрода дуга горит стабильно. Кроме того, чистые вольфрамовые электроды, которые справляются с меньшей генерацией постоянной составляющей, чем вольфрамовые электроды с окисью, чаще применяются для сварки переменного тока.

В случае постоянного тока с отрицательной полярностью немаловажное значение имеет способность к зажиганию дуги, так что, в общем, используют вольфрамовые электроды с окисью. Как приведено в табл. 4.3. в настоящее время стандарт JIS регламентирует 7 видов электродов, среди которых последние 4 вида добавлены в последние годы. Кроме этого, также продаются и вольфрамовые электроды с окисью иттрия (W+1 - 2% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), которые еще не регламентированы.

#### 4-3-2 Сварочный ток и диаметр -электрода

Когда сварочный ток слаб, использование электрода с большим диаметром приведет к блужданию и неустойчивости дуги, а использование электрода с слишком малым диаметром приведет к интенсивному износу электрода, так что следует выбрать диаметр электрода применительно к сварочному току. Кроме того, при одинаковом сварочном токе, если полярность отличается друг от друга, подходящий диаметр электрода также отличается. В табл. 4.4 приведен диапазон подходящего тока по диаметрам электрода и по полярностям, соответственно.

Верхний предел подходящего тока уменьшается в последовательности постоянного тока с отрицательной полярностью электрода, переменного тока и постоянного тока с положительной полярностью электрода. Если примем постоянный ток с отрицательной полярностью электрода за критерий,; в случае переменного тока верхний предел падает порядка до 70 - 80%, в случае постоянного тока с положительной полярностью электрода падает резко порядка до 10%. В случае чистых вольфрамовых электродов по сравнению с вольфрамовыми электродами с окисью тория подходящий диапазон переходит на 30% вниз.

**Табл. 4.4 Диаметр вольфрамового электрода и диапазон подходящего тока**

Диаметр электрода, мм	Диапазон подходящего сварочного тока, А			
	Постоянный ток с отрицательной полярностью электрода	Постоянный ток с положительной полярностью электрода	Переменный ток	
			Чистый вольфрам	Вольфрам с окисью
0.5	2-20	—	5-15	5-20
1.0	10-75	—	10-60	20-80
1.6	60-150	10-20	20-100	40-130



2 4	170-250	17-30	50-160	70-220
3,2	225-330	20-35	100-210	110-290
4.0	350-480	35-50	150-270	170-360
5.0	500-675	50-70	200-350	250-450
6 4	650-950	65-100	250-450	—

Кроме того, допустимый ток вольфрамовых электродов варьируется не только по диаметру и полярности, но и по длине вылета электрода из цанги. Если примем ток, на котором электрод поддается расплавлению, за максимально допустимый ток, то получается отношение длины вылета электрода с максимально допустимым током, как представлено на рис. 4.19. По мере увеличения длины вылета электрода падает максимально допустимый ток. Это объясняется тем, что выделение резистивного тепла электрода увеличивается, сопровождая подъем температуры. Следовательно, если с точки зрения технологичности неизбежно удлинение вылета электрода, желательно выбрать электрод с немного большим диаметром.

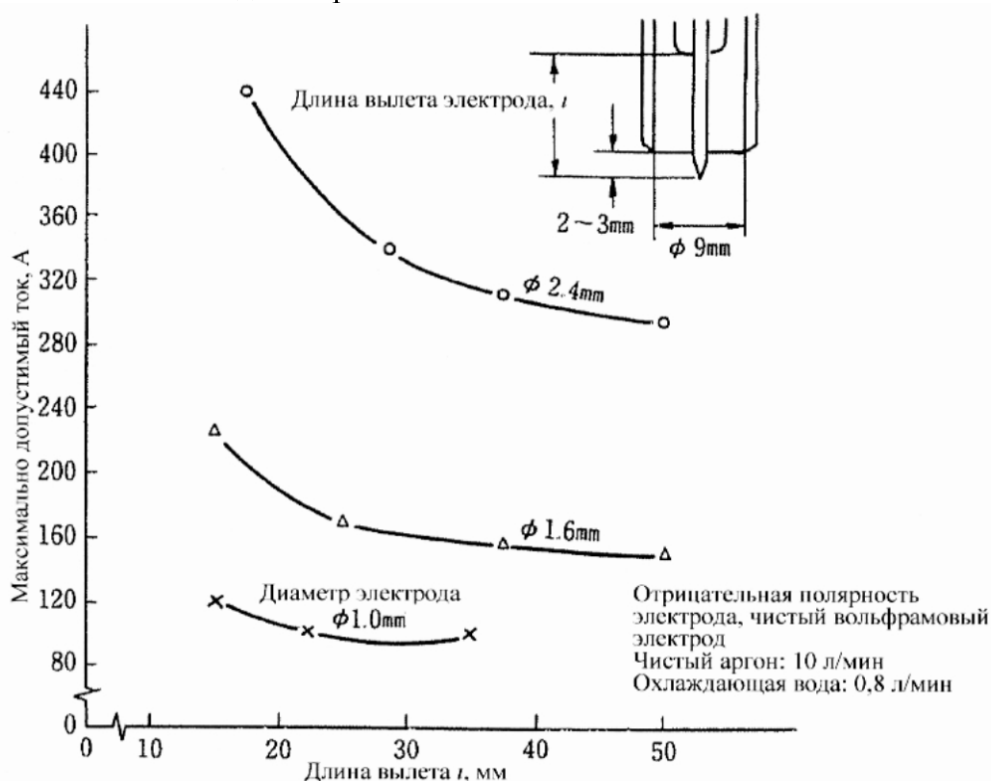


Рис. 4.19 Отношение длины вылета электрода с максимально допустимым током

#### 4-3-3 Форма конца электродов

Концентрированность дуги, проплавление, внешний вид сварного шва и т.д. в значительной степени зависят от формы конца вольфрамового электрода. На рис. 4.20 представлена разница формы дуги по углам конца электрода при сварочном токе 50 А. В случае угла конца электрода  $45^\circ$  дуга сосредоточена и получается хорошая форма дуги, а в случае угла конца  $90^\circ$  по наружной окружности дуги появляется другая слабая дуга и тем самым сосредоточенность дуги ухудшается. Чем слабее сварочный ток, тем значительнее эта тенденция.

Кроме того, как показано на рис. 4.21, если к концу электрода приплавился основной металл или присадочный металл, конец электрода изменил форму или износ электрода резко ускорен, также ухудшится сосредоточенность дуги, произойдет уменьшение глубины проплавления или ухудшение внешнего вида сварного шва.

Подходящая форма конца электрода зависит от применяемого сварочного тока, полярности и т.д., но, в общем, принимается форма, как показано на рис. 4.22.

В случае постоянного тока с отрицательной полярностью электрода, при слабом сварочном токе заостряется конец электрода, как показана в п. (а), и увеличивается угол конца электрода по мере возрастания сварочного тока. При силе тока 250 А и более заострение конца вызовут расплавление конца электрода, так что следует с самого начала слегка притупить конец, как показано в п. (б). По мере возрастания тока блуждание дуги уменьшается и износ ускоряется, так что при большом токе 500 А и более желательно придать концу сферическую форму, как показано в п. (в).



(а) Угол конца  $45^\circ$

(б) Угол конца  $90^\circ$

**Рис. 4.20** Влияние угла конца электрода на форму дуги (при сварочном токе 50 А)



(а) Прилипание основного материала и присадочного материала

(б) Чрезмерный износ электрода

(в) Изменение формы конца

**Рис. 4.21** Изменение формы конца электрода



(а) Постоянный ток с отрицательной полярностью электрода, не более 250 А

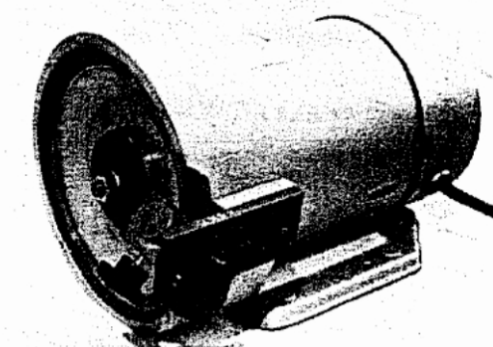
(б) Постоянный ток с отрицательной полярностью электрода, 250 – 500 А

(в) Переменный ток и постоянный ток с отрицательной полярностью электрода, не менее 500 А

**Рис. 4.22** Форма конца электрода

В случае переменного тока или постоянного тока с положительной полярностью электрода, в связи с большим износом электрода применяют форму (в). Применять форму (а) или (б) можно, однако конец электрода быстро округляется, так что эффективно с самого начала придать концу форму, показанную (в). В случае сварки на переменном токе сосредоточенность дуги не так хороша и к тому же износ электрода большой, так что не

нужно обращать внимание на форму конца так, как в случае постоянного тока с отрицательной полярностью электрода.



**Рис. 4.23 Шлифовальная машина для электрода**

Форму конца электрода можно обрабатывать на обычной настольной шлифовальной машине, но желательно использовать специализированную шлифовальную машину для электрода, как представлено на рис. 4.23.

## **4-4 МЕТОД ВЫБОРА РЕЖИМА СВАРКИ**

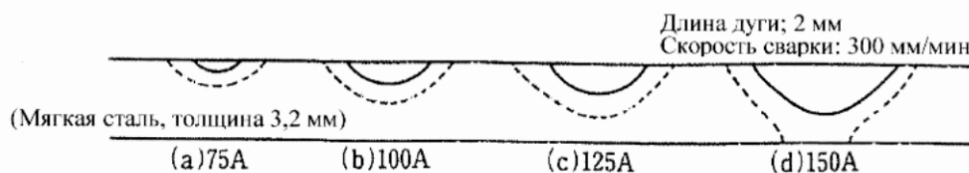
### **4-4-1 О сварочном токе**

Хотя режимы сварки различаются материалом и толщиной стенки основного металла, формой сварного соединения, уровнем квалификации работников и пр., в случае Аргодуговой сварки можно перечислить 3 главных фактора, а именно сварочный ток, напряжение дуги и скорость сварки.

Сварочный ток устанавливают рукояткой или ручкой, установленной на корпусе сварочного источника питания, ручкой на ручном пульте управления или другим типом регулятора тока. На регуляторе тока обозначен ориентир силы тока, но тем не менее желательно зажечь дугу заранее на другом листе и удостовериться о состоянии дуги. В случае сварочного источника питания с встроенным амперметром можно устанавливать или подтверждать силу тока легко, смотря на указатель амперметра, однако в случае источника питания без амперметра следует как можно быстрее понять состояние дуги, зависящее от силы тока, по опыту как можно скорее. В случае источника питания без амперметра можно измерять сварочный ток следующим образом. Различаются методы в переменном токе и в постоянном токе.

В случае сварки на переменном токе удобно использовать амперметр зажимного типа. Этот амперметр оснащен кольцом для захватывания сварочного кабеля. Открывают это кольцо, заводят кабель в кольцо, снова закрывают кольцо, а затем ведут сварку, в процессе которой можно измерять сварочный ток. Имеются и амперметры такого же типа для постоянного тока, но не находят широкого применения.

В случае сварки на постоянном токе подключают к сварочному кабелю шунт, выход шунта вводят в амперметр и тем самым ведут измерение. Шунт генерирует микронапряжение, пропорциональное силе тока.



**Рис. 4.24 Влияние сварочного тока на форму валика**

Зависимость формы валика от сварочного тока представлена на рис. 4.24. Отсюда видно, что по мере возрастания сварочного тока возрастает ширина валика и глубина

проплавления. Чтобы различить подходящий сварочный ток, можно ориентироваться на то, что через 2-3 секунды после горения дуги образуется ванна расплавленного металла диаметром 3-5 мм. Если образованная ванна расплавленного металла меньше чем это значение, можно предположить, что установленный сварочный ток слишком слаб. Если образованная ванна расплавленного металла больше, чем это значение, сварочный ток слишком большой.

#### 4-4-2 О напряжении дуги

Напряжение дуги изменяется с изменением длины дуги, как показано на рис. 4.25. Чем длиннее становится дуга, тем выше становится напряжение дуги. Зависимость формы валика от напряжения дуги (или длины дуги) можно представить, как показано на рис. 4.26. Когда напряжение дуги низко (при короткой дуге), получается форма валика с узкой шириной и глубинным проплавлением. При возрастании напряжения дуги (при длинной дуге), ширина валика увеличивается и проплавление становится мельче. Дальнейшее увеличение напряжения дуги влечет за собой чрезмерное рассеяние тепловложения в основной металл, так что ширина валика становится узкой, проплавление становится еще мельче и, наконец, основной металл не будет поддаваться расплавлению. При обычной сварке длина дуги составляет примерно 2-4 мм.

Кроме того, напряжение дуги изменяется в зависимости от сварочного тока и вида защитного газа, пример чего представлен на рис. 4.27. Имеется свойство того, что в зоне сварочного тока не менее 100 А по мере возрастания тока увеличивается напряжение дуги, в зоне 100 А и менее по мере уменьшения тока возрастает напряжение дуги

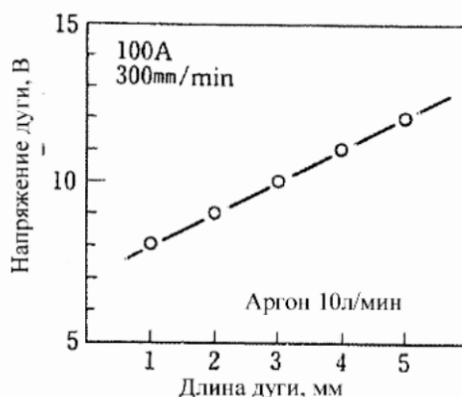


Рис. 4.25 Зависимость напряжения дуги от длины дуги

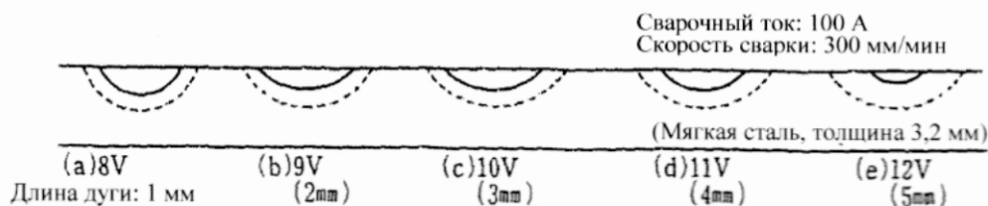
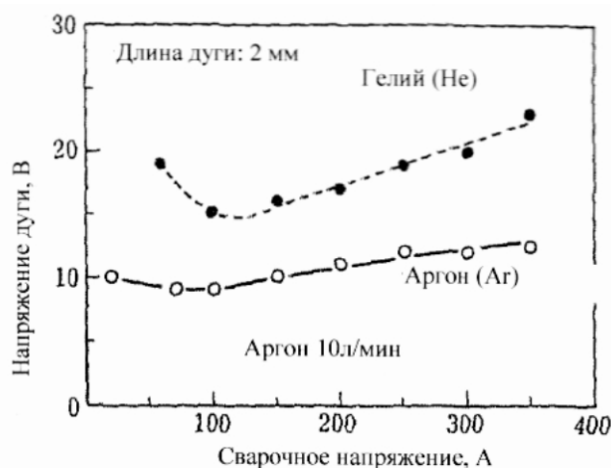


Рис. 4.26 Влияние напряжения дуги на форму валика



**Рис. 4.27 Влияние сварочного тока и защитного газа на напряжение дуги**

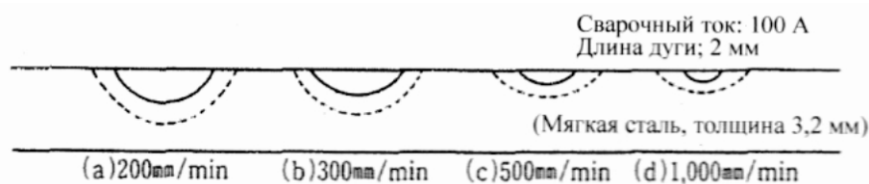
При одинаковом сварочном токе и длине дуги напряжение дуги различается по виду защитного газа. По сравнению с аргоном гелий имеет склонность к захвату тепла от столба дуги и уходу с места, столько же велико его воздействие охлаждения дуги. Когда воздействие охлаждения велико, чтобы компенсировать его, требуется питание более мощной электроэнергии, так что при одинаковом сварочном токе и длине дуги напряжение дуги возрастает. То есть, если применять гелий в качестве защитного газа, по сравнению с аргоном ширина валика становится больше, проплавление - глубже.

#### 4-4-3 О скорости сварки

Форма валика изменяется и за счет изменения скорости сварки, то есть по мере возрастания скорости, ширина валика уменьшается и проплавление становится мельче, как показано на рис. 4.28. Слишком высокая скорость сварки повлечет за собой подрез, неоднородность валика или прочие дефекты сварочного шва. Эти дефекты сварочного шва могут появиться еще быстрее по мере возрастания сварочного тока.

Кроме того, следует обращать внимание на то, что при ручной сварке неравномерность скорости перемещения горелки повлечет за собой неоднородность валика, непровар и прочие дефекты.

При Аргонодуговой сварке скорость сварки составляет, в общем, примерно 50 - 500 мм/мин.



**Рис. 4.28 Влияние скорости сварки на форму валика**

#### 4-4-4 Колебательное движение

Под колебательным движением подразумевается перемещение дуги по определенной схеме периодически. Колебательное движение осуществляют при сварке с разделкой кромок, сварке угловым швом с большим катетом, в результате чего получаются сварочные швы с большой шириной.

За счет колебания дуги тепло дуги рассеивается вокруг валика, сплавляемость валика и основного металла улучшается и тем самым можно предотвратить возникновение дефектов на поверхностях разделанной кромки, на краях лицевой поверхности шва и т.п. Кроме того, в случае вертикальной или поперечной сварки, если создают большое количество расплавленного металла в один прием, происходит вытекание части металла сварочной ванны под действием силы тяжести. Так что, создавая

за счет колебательного движения валик с большой шириной и гонкой толщиной и давая расплавленному металлу затвердеть быстро, можно предотвратить вытекание части металла сварочной ванны.

На рис. 4.29 представлены основные схемы колебательного движения, среди которых (с) - (с) применяются к дуговой сварке в среде углекислого газа, сварке металлическим электродом в среде газа, дуговой сварке покрытым электродом и т.д., но к Аргонодуговой сварке почти не применяется.

При Аргонодуговой сварке обычно применяются схемы (а) и (б); (а) применяется при малой необходимости увеличения амплитуды колебания. (б) применяется при необходимости увеличения амплитуды колебания. Кроме того, на точках поворота колебательного движения, как правило, для полного расплавления основного металла перемещение дуги временно приостанавливают.

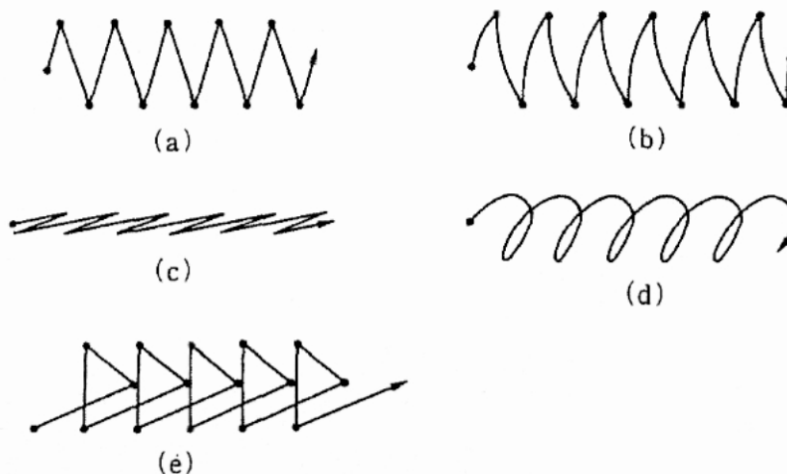


Рис. 4.29 Примеры схем колебательного движения

#### 4-4-5 Влияние пространственного положения сварки

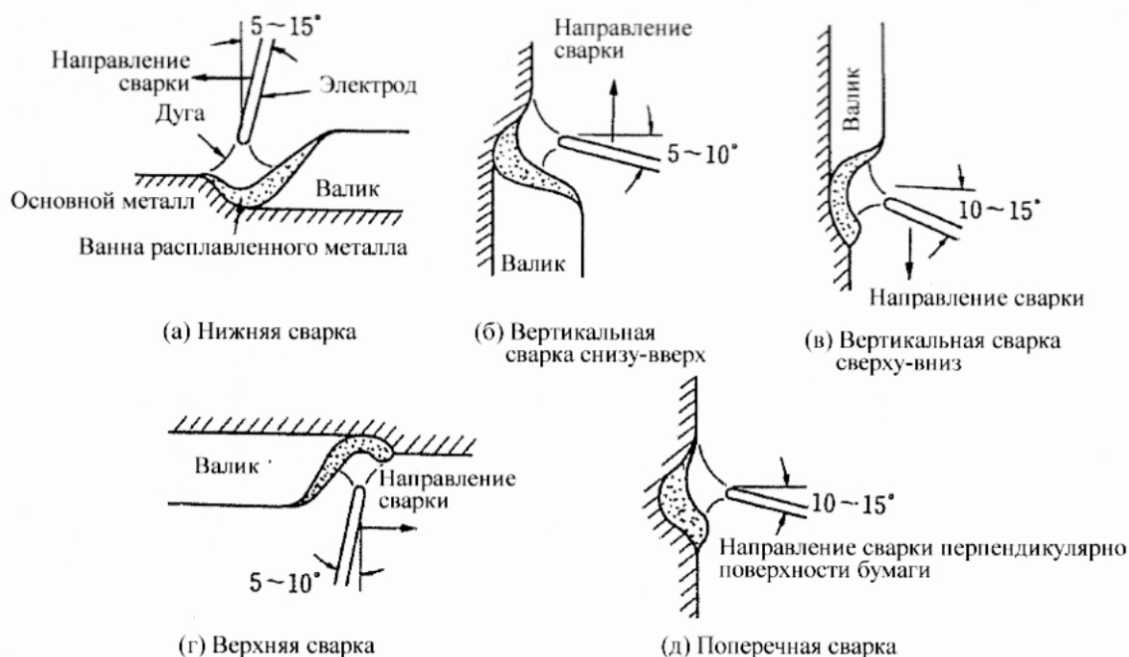
Обрабатываемость намного зависит от пространственного положения сварки, такого как нижняя сварка, вертикальная сварка и верхняя сварка.

Нижнюю сварку ведут, наклоня горелку в сторон) валика углом  $5-15^\circ$  (углом вперед  $5 - 15^\circ$ ). как представлено на рис. 4.30 (а). При обычной сварке передний конец дуги и передний конец ванны расплавленного металла идут вперед почти одновременно, так что относительно легко наблюдать сварной шов. Кроме того, не нужно учитывать вытекание расплавленного металла под действием силы тяжести, так что можно вести сварку на сильном токе, который сопровождается возрастанием ванны расплавленного металла, или на низкой скорости.

Вертикальную сварку снизу-вверх ведут под углом вперед  $5 - 10^\circ$ , как представлено на рис. 4.30 (б). Расплавленный металл из-за силы тяжести склонен к провисанию, движение переднего конца дуги склонно опережать движение переднего конца ванны расплавленного металла, так что нужно замедлять скорость сварки по сравнению с нижней сваркой. Поскольку дуга опережает ванну расплавленного металла, проплавление углубляется, но валик имеет склонность к выпуклости вследствие провисания расплавленного металла. Если можно контролировать провисание расплавленного металла, качество шва получается удовлетворительным.

Вертикальную сварку сверху-вниз ведут, наклоня горелку к направлению перемещения горелки углом  $10 - 15^\circ$  (углом назад  $10 - 15^\circ$ ), предотвращая провисание расплавленного металла, как покачено на рис. 4.30 (в). При большой ванне расплавленного металла происходит вытекание расплавленного металла, так что значительно увеличивать сварочный ток нельзя. Движение ванны расплавленного металла склонно опережать движение дуги, так что нужно относительно прибавить скорость

сварки. Валик плосок, проплавление мелко. Поверхность обратного валика склонна к вогнутости.



**Рис. 4.30 Пространственное положение сварки и форма ванны расплавленного металла**

Верхнюю сварку ведут под углом  $5 - 10^\circ$  вперед, как показано на рис. 4.30 (г). Расплавленный металл за счет своего поверхностного притяжения притягивается к основному металлу и не падает, но тем не менее, если ванна расплавленного металла становится слишком большой, сила тяжести будет превышать поверхностное натяжение и происходит вытекание расплавленного металла. Рекомендуется вести сварку, установив сварочный ток на относительно малую силу и немного снизив скорость сварки, чтобы движение переднего конца ванны расплавленного металла опережало движение переднего конца дуги. Проплавление мелко, валик немного приобретает выпуклость, обратной валик склонен к вогнутости так же, что и в вертикальной сварке сверху-вниз. Во многих случаях верхнюю сварку ведут, принимая неудобное положение, и при этом склонно происходить вытекание части металла сварочной ванны, так что, в общем, обрабатываемость очень плоха.

В случае поперечной сварки, как показано на рис. 4.30 (д), верхний край валика склонен к провисанию и валик склонен приобретать форму с вогнутым верхним краем и выпуклым нижним краем (висячий валик). Так что сварку ведут, наклоня горелку вниз углом  $10 - 15^\circ$  и тем самым сдерживая провисание расплавленного металла. Хотя невозможно создать большую ванну расплавленного металла как при нижней сварке, обрабатываемость относительно хороша.

Основные характеристики при каждом пространственном положении сварки приведены в табл. 4.5. При этом нужно обращать внимание на то, что, если свариваемый участок наклоняется, даже нижняя сварка по своему свойству приближается к вертикальной сварке снизу-вверх или сверху-вниз в зависимости от того, наклон относится к восходящим или исходящим.

Сварка TIG, в которой сварочный ток и величина добавления присадочного металла поддаются отдельной установке, по сравнению с дуговой сваркой в среде углекислого газа, дуговой сваркой покрытым электродом и прочими видами сварки плавящимся электродом имеет широкий диапазон устанавливаемого сварочного тока и широкий диапазон подбора режима в каждом пространственном положении сварки.



**Табл. 4.5 Сравнение характеристик при каждом пространственном положении сварки**

	Нижняя сварка	Вертикальная сварка		Верхняя сварка	Поперечная сварка
		снизу-вверх	сверху-вниз		
Размер ванны расплавленного металла	Большой	Средний	Средний малый	Средний - малый	Средний
Отношение дуги со сварочной ванной по положению	Дуга и ванна идут наравне.	Дуга опережает ванну.	Ванна опережает дугу.	Ванна опережает дугу немного.	Дуга и ванна идут наравне.
Скорость сварки	Средняя	Малая	Немного большая	Немного малая	Средняя
Глубина проплавления	Средняя	Большая	Малая	Малая	Средняя
Форма валика	Средняя	Выпуклая	Плоская	Немного выпуклая	Висячий валик
Обратный валик	Средний	Склонен к формированию.	Не склонен к формированию, склонен к вогнутому валиком	Не склонен к формированию, склонен к вогнутому валиком	Средний
Обрабатываемость	Самая высокая	Относительно высокая	Немного низкая	Низкая	Высокая

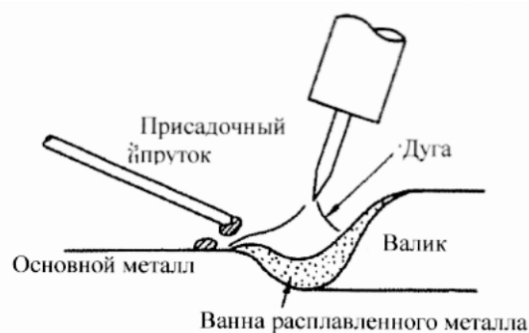
## **4-5 ПРИБАВКА ПРИСАДОЧНОГО МЕТАЛЛА**

### **4-5-1 Выбор присадочного прутка**

Присадочный материал, используемый при ручной сварке, называется присадочным прутком и представляет собой пруток наружным диаметром 0,8 - 5 мм и длиной 1 м. Диаметр определяется силой сварочного тока, полярности и т.п.. материал определяется маркой основного металла. Обычно используют присадочный прутки из того же материала, что и основной металл. Если диаметр присадочного прутка слишком мал, как представлено на рис. 4.31, до достижения ванны расплавленного металла присадочный пруток будет подвергаться расплавлению в силу тепла дуги и кататься круглой каплей по поверхности основного металла. Наоборот, если диаметр присадочного прутка слишком велик, расплавление будет неустойчивым, так как температура ванны расплавленного металла может резко упасть, что может повлечь за собой дефекты.

Диаметр присадочного прутка определяют в зависимости от сварочного тока и других факторов режима сварки, так что нельзя сказать однозначно, но в случае диаметра присадочного прутка для сварки угловым швом можно ориентироваться на следующую формулу.

$$\text{Диаметр присадочного прутка, мм} \approx \frac{\text{Толщина стенки основного металла}}{2} + 0,5 \text{ мм}$$



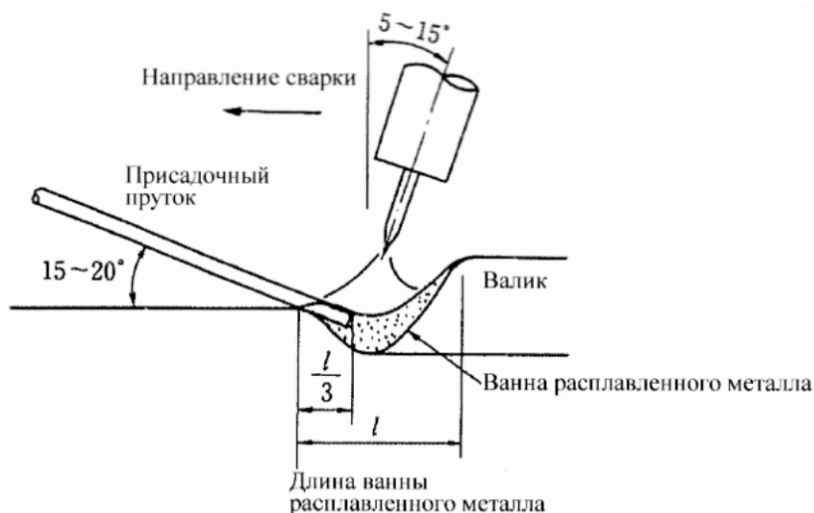
**Рис. 4.31** Случай присадочного прутка слишком малого диаметра

В случае стыковой сварки подходит более тонкий присадочный пруток, чем в случае сварки угловым швом, так что следует использовать пруток диаметром меньше, чем вычисленный по вышеприведенной формуле.

#### 4-5-2 Метод подачи присадочного прутка

Лучшие сварные швы получаются, когда расплавляют присадочный пруток косвенно за счет тепла ванны расплавленного металла, а не посредственно за счет тепла дуги. Следовательно, как представлено на рис. 4.32, следует добавлять присадочный пруток, наклоняя его под углом примерно  $15 - 20^\circ$  и ориентируясь на то, чтобы конец прутка находился в ванне расплавленного металла от ее края на расстоянии  $1/3$  длины ванны. Держат присадочный пруток соприкасающимся с ванной расплавленного металла, так чтобы конец прутка не подвергался расплавлению отдельно от ванны расплавленного металла,

В случае ручной сварки, как правило подают конец присадочного прутка на короткое время к ванне расплавленного металла, когда конец прутка расплавляется и одна капля расплавленного металла растворяется в ванне расплавленного металла, немедленно отводят присадочный пруток, и, когда добавленная капля растворилась в ванне расплавленного металла полностью, снова добавляют присадочный пруток. И затем снова повторяют. Однако, при отводе присадочного прутка, если отводят его до атмосферного воздуха, то конец прутка, который еще в расплавленном состоянии, подвергается окислению. Следовательно, следует отводить пруток не больше, чем необходимо, и обращать внимание, на то чтобы конец присадочного прутка не выходил за среду защитного газа.



**Рис. 4.32** Положение подачи присадочного прутка

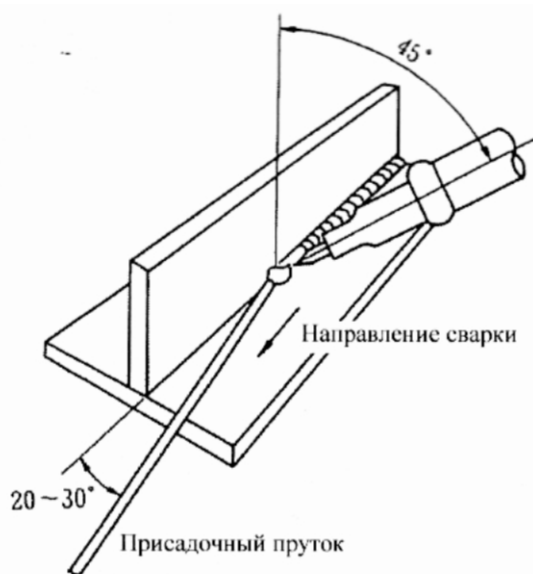
Кроме того, можно подавать присадочный пруток непрерывно, не отводя его, однако при этом нужно обращать внимание на то, чтобы не чрезмерно охлаждать ванну расплавленного металла.

В случае горизонтальной сварки угловым швом присадочный пруток подают, как представлено на рис. 4.33. Когда сопло касается основного металла, обрабатываемость будет падать и ванна расплавленного металла будет видна плохо, так что, удлинив вылет электрода немного больше, чем в случае стыковой сварки, держа дугу короткой, проводят сварку, так чтобы тепло дуги распространялось в пропорции 40% на верхний лист и 60% на нижний лист.

На рис. 4.34, и 4.35 представлены методы подачи присадочного прутка при вертикальной сварке снизу-вверх и поперечной сварке. Присадочный пруток подают сверху и в зависимости от ширины валика и т.п. придают ему поперечное колебание. Добавку присадочного прутка с колебательным движением производят, как представлено на рис. 4.36. временно приостанавливая перемещение горелки на краях лицевой поверхности шва, а затем, повторно перемещая ее в обратную сторону так, чтобы добавленная капля расплавленного металла рассеялась полностью.

Если начинают сварку с края основного металла, подают присадочный пруток в момент, когда край основного металла расплавился теплом дуги, и в момент, когда поверхность ванны расплавленного металла немного поднялась, обрывают дугу, переместив горелку с края вперед на 1 - 2 мм. и снова зажигают дугу и продолжают сварку.

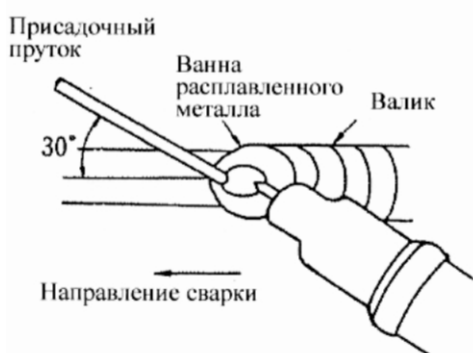
В случае, если сварку производят до края основного металла, в положении за 1 - 2 мм до края, включая и отключая дугу, добавляют присадочный пруток немного больше чем обычно, и, отведя горелку к себе, обрывают дугу.



**Рис. 4.33 Прибавка присадочного прутка при горизонтальной сварке угловым швом**



**Рис. 4.34 Прибавка присадочного прутка при вертикальной сварке снизу-вверх**



**Рис. 4.35 Добавка присадочного прутка при поперечной сварке**



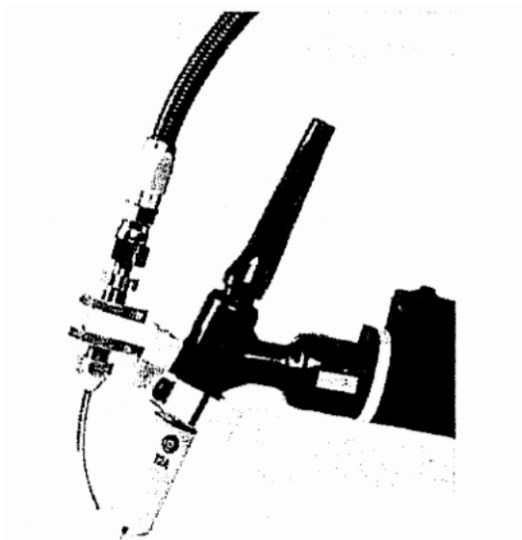
**Рис. 4.36 Положение добавленного присадочного прутка при придании поперечного колебания**

#### **4-5-3 Полуавтоматическая Аргонодуговая сварка**

В случае ручной сварки одной рукой управляют сварочной горелкой, другой рукой подают присадочный пруток, поэтому работникам требуется достаточно высокий уровень квалификации. И длина оперируемого присадочного прутка ограничена по длине, так что невозможна непрерывная сварка длинномерных деталей.

В случае полуавтоматической Аргонодуговой сварки с использованием устройства подачи проволоки, намотанная на барабан проволока подается автоматически, так что можно исключить требование на уровень квалификации по добавлению присадочного металла и ограничение длиной прутка.

На горелку для полуавтоматической Аргонодуговой сварки установлен механизм подачи (добавления) проволоки, как показано на рис. 4.37. так что можно подавать присадочный металл в нужное положение. Кроме того, с учетом обрабатываемости можно устанавливать направление подачи присадочного металла в любое положение вокруг горелки в пределах примерно  $240^\circ$ .



**Рис. 4.37 Механизм подачи проволоки**

Количество добавления присадочного металла регулируется блоком управления подачи проволоки, типичный метод добавления на котором представлен на рис. 4.38. На п. (а) представлен метод непрерывной подачи проволоки па постоянной скорости, который применяется, когда требуется сварка на сильном токе или большой объем наплавки. На п. (б) представлен метод прерывистой подачи проволоки, который позволяет устанавливать длительность времени подачи проволоки и длительность времени остановки отдельно и применительно к конкретной работе, и применяется к сварке на слабом токе, сварке алюминия и т.д. На п. (в) представлен метод, который применяется в сочетании с источником питания импульсно-дуговой сварки. Подача проволоки производится синхронно с пиковым током и останавливается при базовом токе. Данный метод применяется к сварочному соединению листов, отличающихся друг от друга толщиной стенки, соединению инородных металлов, вертикальной сварке, поперечной сварке и т.д.

Если в качестве выключателя горелки используют спаренный выключатель, представленный на рис. 4.39. можно производить управление подачей проволоки, как представлено на рис. 4.40. На п. (а) представлен метод, по которому скорость подачи проволоки переключается на 2 этапах. Нажатием управляющего выключателя величина подачи уменьшает (или увеличивает) и его опусканием восстанавливают исходное состояние. Каждый из 2 этапов скорости подачи проволоки устанавливают ручкой на устройстве управления. На п. (б) представлен метод, по которому подачу проволоки останавливают нажатием управляющего выключателя, на п. (в) представлен метод, по которому подачу проволоки осуществляют только в течение, когда управляющий выключатель остается нажатым. Все эти методы относятся к методу прерывистой подачи проволоки, но их преимущество заключается в том, что в отличие от представленного на рис. 4.38 (б) метода, по которому подача и остановка производятся по постоянному циклу, можно менять длительность времени подачи и длительность времени остановки произвольно.



**Рис. 4.39 Спаренный выключатель горелки**

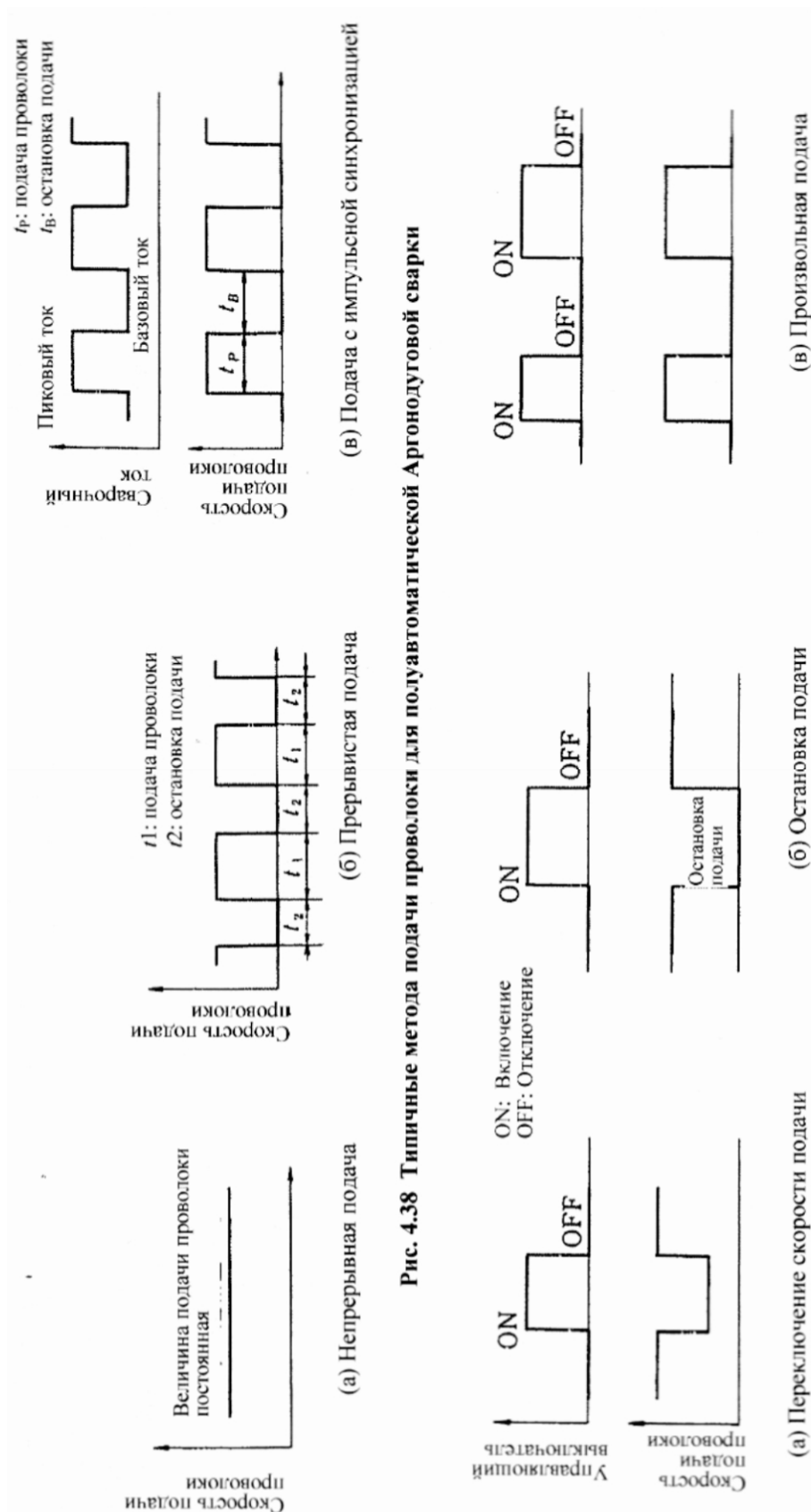


Рис. 4.38 Типичные метода подачи проволоки для полуавтоматической Аргодуговой сварки

Рис. 4.40 Управление подачей проволоки с помощью спаренного выключателя

Все эти (а) - (в) относятся к функции тонкой настройки величины подачи проволоки применительно к обстановке сварки. Однако, если использовать полуавтоматическую горелку пистолетного типа, на которой выключателем горелки служит спусковой крючок, как показано на рис. 4.41. величину подачи проволоки можно регулировать без спаренного выключателя степенью нажатия спускового крючка.



**Рис. 4.41 Горелка пистолетного типа для полуавтоматической Аргонодуговой сварки**



**Рис. 4.42 Управление задержкой подачи проволоки**



**Рис. 4.43 Управление подачей для кратера и управление возвратом проволоки**

К функциям, требуемым при начале и окончании сварки, можно перечислить управление задержкой подачи, управление подачи для кратера, управление подачи проволоки, общие черты которых представлены на рис. 4.42 и 4.43. Управление задержкой подачи представляет собой функцию для предотвращения непровара, прожога и т.д., которые склонны происходить при начале сварки, и применяется, чтобы начинать подачу проволоки через определенное время после начала основной сварки. Управление подачей для кратера представляет собой функцию установки скорости подачи проволоки и длительности времени подачи при заварке кратера на подходящие значения. Управление подачи проволоки представляет собой функцию отвода проволоки для того, чтобы при окончании сварки предотвратить наплавку проволоки на основной металл.

## **4-6 ОБРАТНЫЙ ВАЛИК**

### **4-6-1 Приспособление-подкладка**

При сварке тонкостенных листов применяется метод исполнения работ, по которому одним проходом сваркой с лицевой поверхности основного металла и на обратной поверхности формируется валик. Валик, который формируется на обратной поверхности основного металла, называется обратным валиком. В процессе сварки невозможно наблюдать ход формирования этого обратного валика, так что для получения хорошего результата сварки требуется достаточно высокий уровень навыков. Однако Аргонодуговая сварка позволяет формировать обратный валик легче, чем другой метод сварки, так что



часто применяется не только при сварке тонкостенных листов, но и для первого слоя многослойной сварки.

Чтобы сформировать обратный валик, нужно расплавить основной металл достаточно до обратной поверхности. Однако расплавленный металл держится за счет поверхностного притяжения, так что, если ванна расплавленного металла становится слишком большой, поверхностное притяжение не может держать ванну расплавленного металла, происходит вытекание части расплавленного металла и в ванне будут пробиты поры. Чтобы предотвратить это вытекание части расплавленного металла, используется приспособление-подкладка, представленная на рис. 4.44.

Обычно подкладка изготавливается из меди, у которой удельная теплопроводность высока. Пользуясь охлаждающим действием подкладки, сдерживают возрастание ширины обратного валика, вызываемое чрезмерным тепловложением, одновременно предотвращают приплавление подкладки к обратному валику и уменьшают деформацию, вызываемую сварочным теплом. В случае сварки тонкостенных листов приспособления-подкладки часто служат и приспособлениями-ограничителями сварного соединения.

Форма паза подкладки также является одним из важных факторов обратного валика, и варьируется в зависимости от толщины стенки и т.д. При установке формы следует ориентироваться на глубину (D) 0.5 - 2 мм и ширину (W) 2-6 мм. Если формируют обратный валик на сварочном соединении с плотно прилегающими кромками в вершине разделки шва, не устанавливая зазора, будет потерян выход газа, выделяемого из расплавленного металла, и этот газ устремится к поверхности валика, что может привести к образованию раковин или поверхностных раковин.

В угловом соединении и соединении с отбортовкой двух кромок также часто применяется приспособление-подкладка, пример которых представлен на рис. 4.45. Кроме того, в случае обратного валика для толстостенных листов или крупных конструкций и т.д. в качестве материала подкладки могут быть применены твердый флюс, стеклянная лента с флюсом и т.д., как представлено на рис. 4.46.

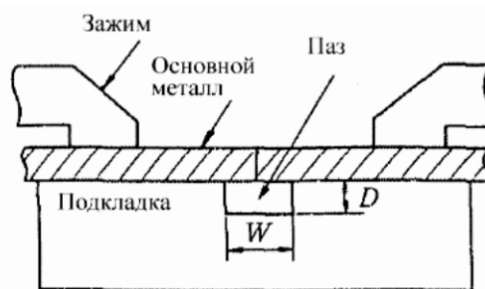


Рис. 4.44 Приспособление-подкладка



(а) Угловое соединение

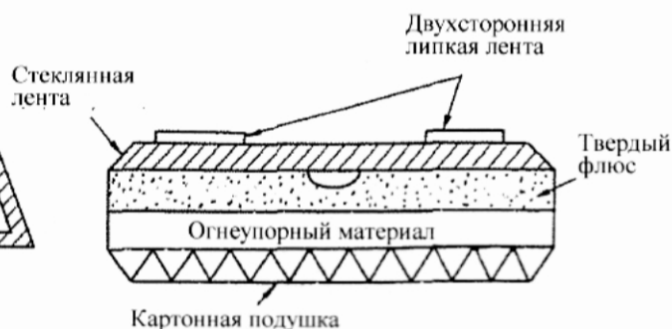


(б) Соединение с отбортовкой двух кромок

Рис. 4.45 Приспособления-прокладки для разных сварных соединений



(а) Твердый флюс



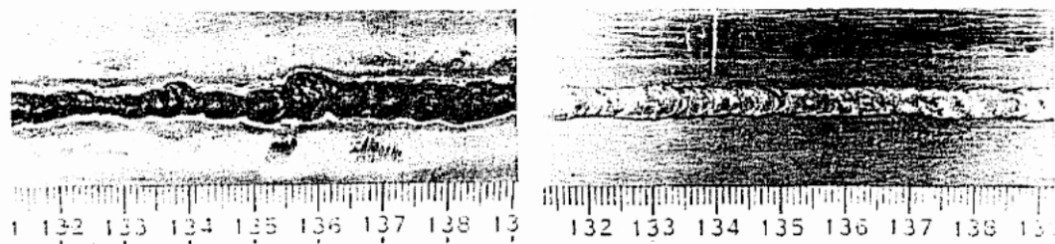
(б) Стеклянная лента с флюсом

Рис. 4.46 Подкладки с использованием флюса

#### 4-6-2 Защита обратной поверхности

Поскольку обратный валик относится к затвердевшему состоянию расплавленного металла, в случае нержавеющей стали, титана и прочих металлов, склонных к окислению при высокой температуре, необходимо обеспечить обратный валик защитой. В некоторых случаях газовая защита обратного валика называется обратной защитой.

Например, в случае нержавеющей стали, если формируют обратный валик без защиты обратной стороны, окисление происходит на значительную глубину обратного валика, как показано на рис. 4.47 (а) и с первого взгляда виден некачественный внешний вид обратного валика. На рис. 4.47 (б) показан пример с защитой обратной стороны. Обратный валик защищен за счет газовой защиты и показывает свой качественный внешний вид.



(а) Без защиты обратной стороны

(б) С защитой обратной стороны

**Рис. 4.47 Эффект защиты обратной стороны и обратного валика**

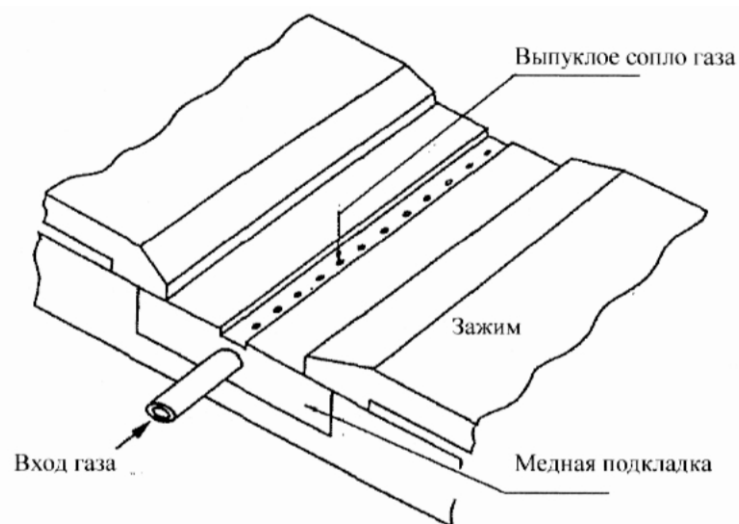
Для защиты обратной поверхности обычно с использованием подкладки, пример которой представлен на рис. 4.48, подают аргон на обратную поверхность зоны сварки через выхлопные сопла этой подкладки. Если расход аргона слишком велик, то аргон может захватить воздух и тем самым понизить эффект защиты, так что нельзя подавать аргон больше, чем необходимо.

При сварке труб с малым внутренним диаметром использовать подкладку невозможно, так что защиту с внутренней стороны осуществляют, как показано на рис. 4.49. В этом случае необходимо предусмотреть не только вход защитного газа, но и его выход, чтобы был получен сквозной поток защитного газа.

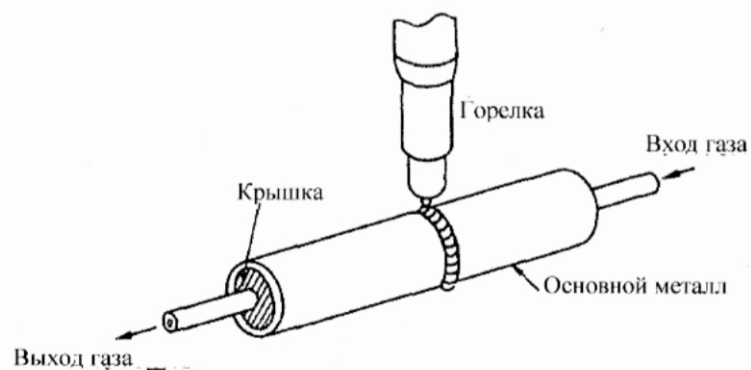
Таким образом, чтобы обеспечить обратную поверхность полной защитой, нужно сложное оборудование и увеличение расхода газа. С другой стороны, в некоторых случаях невозможно обеспечивать обратную поверхность защитой из-за ограничения формой сварного соединения или т.д., так что на предприятиях продаются покрытые присадочные прутки для Аргонодуговой сварки, поверхность которых покрыта флюсом, и присадочные прутки с флюсом, которые включают в себя флюс. С использованием этих присадочных прутков обратные валики защищаются шлаком и получается хороший результат.

#### **4-6-3 Формирование обратного валика**

При стыковой сварке тонкостенных листов без подкладки формы валика подразделяются, как представлено на рис. 4.50. В зоне (а) из-за нехватки тепловложения расплавление не распространяется до обратной стороны основного металла и обратный валик не формируется. В зоне (б) не полностью, но все-таки формируется обратный валик, однако велико обжатие ванны расплавленного металла давлением дуги в силу высокой скорости и сильного тока сварки, и в результате чего образуется подрез. В зоне (в) из-за чрезмерного тепловложения расплавленный металл вытекает и в ванне расплавленного металла пробивается пора. Следовательно, чтобы получить качественный обратный валик, (смотри) зону (г), сварку производят на слабом токе и низкой скорости.

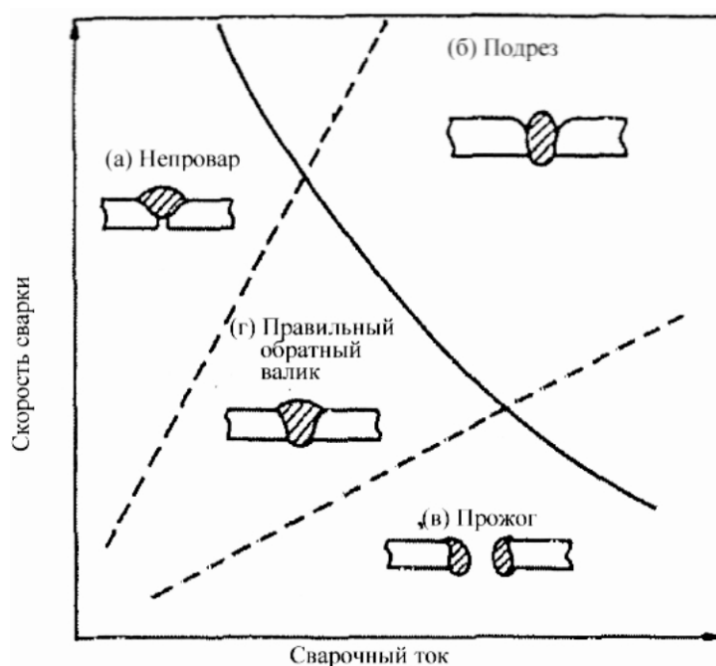


**Рис. 4.48** Приспособление-подкладка для защиты обратной поверхности



**Рис. 4.49** Защита внутренней поверхности при сварке труб малого диаметра

Кроме того, по мере возрастания зазора в вершине разделки или смещения подходящая к сварке зона уменьшается и, если превышен допустимый предел, сварка сама становится невозможной. Допустимый предел зазора в вершине разделки и смещения не больше, чем  $1/2$  толщины стенки. В случае использования приспособления-подкладки, если устанавливают зазор в вершине разделки, можно формировать обратный валик легче, чем при стыковке участков притупления кромок друг к другу.



**Рис. 4.50 Зависимость обратного валика от режима сварки**

Выполняя сварку, работник сам почти не может непосредственно наблюдать ход формирования обратного валика, однако, если приобрел опыт в определенной степени, может сам предположительно судить о ходе формирования обратного валика, наблюдая за состоянием ванны расплавленного металла.

Например, можно наблюдать следующие явления;

- Пока расплавление не распространяется до обратной поверхности основного металла, ванна расплавленного металла выглядит немного выпуклой в силу теплового расширения.
- Когда расплавление достигло обратной поверхности основного металла и формируется обратный валик, расплавленный металл протекает к обратной стороне, так что поверхность ванны расплавленного металла выглядит немного вогнутой.
- Когда обратный валик формируется устойчиво, ванна расплавленного металла выглядит относительно прозрачной и ее размер почти не изменяется.
- Когда обратный валик не формируется нормально, ванна расплавленного металла резко теряет свое прозрачное ощущение и выглядит немного черноватой. Размер ванны расплавленного металла уменьшается.
- Непосредственно перед возникновением прожога. Ванна расплавленного металла выглядит так, как будто резко увеличила свое прозрачное ощущение, и размер ванны расплавленного металла также увеличивается.

Следовательно, следует сначала расплавить поверхности притупления кромки до обратной стороны, приостанавливая горелку на начальной точке сварки, и, судя по поведению и состоянию ванны расплавленного металла, убедиться в формировании обратного валика, а затем переместить горелку, обращая внимание, на постоянность размера ванны расплавленного металла.

Даже когда на начальной точке сварки успели сформировать правильный обратный валик, если затем скорость сварки становится слишком большой или малой, то дальше или не формируется обратный валик или происходит прожог. Так что следует по возможности приобрести навыки в перемещении горелки на равномерной скорости. Кроме того, изменение длины дуги также оказывает влияние на формирование обратного валика, так что следует обучаться, чтобы по возможности уменьшить дрожь руки. Форма

конца вольфрамового электрода также оказывает влияние, так что следует полировать электрод, форма которого изменилась вследствие износа, заблаговременно.

## **4-7 ИМПУЛЬСНО-ДУГОВАЯ СВАРКА**

### **4-7-1 Дуговая сварка на низкочастотном импульсе**

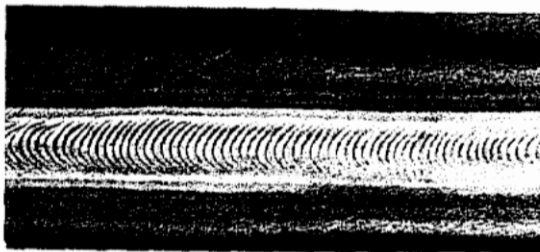
Под дуговой сваркой на низкочастотном импульсе подразумевается сварка с управлением тепловложения к основному металлу за счет периодического изменения сварочного тока частотой не больше чем несколько герц для того, чтобы предотвратить прожог, который может случиться при наложении первого слоя шва, провисание валика в вертикальной и поперечной сварке.

В период пикового тока подвергают основной металл расплавлению, в период базового тока дают расплавленному металлу затвердеть и дальше повторяют эти действия периодически. Следовательно, в крайнем случае сварку ведут, накладывая швы точечной дуговой сваркой, как представлено на рис. 4.51. Поскольку длительность формирования ванны расплавленного металла соответствует пиковому времени, а длительность затвердевания - базовому времени, естественно, импульсному периоду имеются пределы, которые составляют 0,1 - 5 Гц.



**Рис. 4.51 Принцип дуговой сварки на низкочастотном импульсе**

На рис. 4.52 представлен пример сварного шва в дуговой сварке на низкочастотном импульсе. Образуется волнистый узор синхронно с периодом импульса и получается весьма однородный вид шва. Под действием пикового тока дуга расширяется, ширина шва возрастает, однако по мере изменения тока глубина проплавления становится или глубокой или мелкой, так что дуговая сварка на низкочастотном импульсе не подходит к высокоскоростной сварке.



**Рис. 4.52 Внешний вид сварного шва в дуговой сварке на низкочастотном импульсе**

В случае соединения инородных материалов, например, нержавеющей стали с мягкой сталью, соединения элементов с разной толщиной стенки, теплопроводность каждого элемента отличается друг от друга, так что при сварке на постоянном токе требуется довольно высокий уровень навыков. Если к таким соединениям применяют дуговую сварку на низкочастотном импульсе, основной металл расплавляется сосредоточенно при пиковом токе и тем самым не склонен подвергаться влиянию теплопроводности. Поэтому при не очень высоком уровне навыков получается хороший

результат сварки без большого труда. На рис 4.53 представлен пример результата стыкового соединения нержавеющей элементов, толщины стенки которых отличаются друг от друга.

Кроме того в случае дуговой сварки на низкочастотном импульсе для управления расплавлением и затвердеванием основного металла можно устанавливать пиковый ток время и базовый ток/время отдельно, что способствует управлению обратным валиком и предотвращению провисания валика, и позволяет установку режима применительно к форме соединения, пространственному положению сварки и пр. На рис. 4.54 представлен пример шва во всестороннем пространственном положении сварки горизонтальных неповоротных труб. При этом сварка выполнена непрерывно, применительно к положению сварки переключая 6 режимов низкочастотного импульса.

Можно перечислить другие особенности дуговой сварки на низкочастотном импульсе следующим образом;

- ✓ Расплавление и затвердевание основного металла повторяются, так что при большом зазоре в вершине разделки, смещении и пр. прожог не склонен происходить, что способствует исполнению сварки.
- ✓ Благодаря воздействию импульсного тока устойчивость и направленность дуги повышаются, что облегчает добавление присадочного материала. В частности, в случае сварки угловым швом можно использовать присадочный материал немного большего диаметра, что приносит большой эффект.
- ✓ Будет облегчено управление тепловложением, что приносит большой эффект в предотвращении несплавления, непровара, раковин и прочих дефектов.
- ✓ Будет расширен диапазон подходящего режима сварки, что уменьшает зависимость от навыков работников и физической усталости работника.

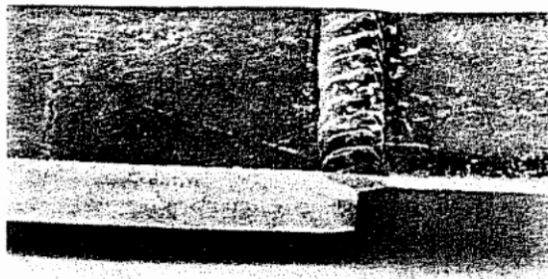


Рис. 4.53 Дуговая сварка соединения элементов разной толщины на низкочастотном импульсе



Рис. 4.54 Дуговая сварка труб на низкочастотном импульсе во всестороннем пространственном положении

Кроме того в. случае дуговой сварки на низкочастотном импульсе, **как** изложено выше в п. 4.5.3. сочетав ее с полуавтоматической горелкой для Аргонодуговой сварки,

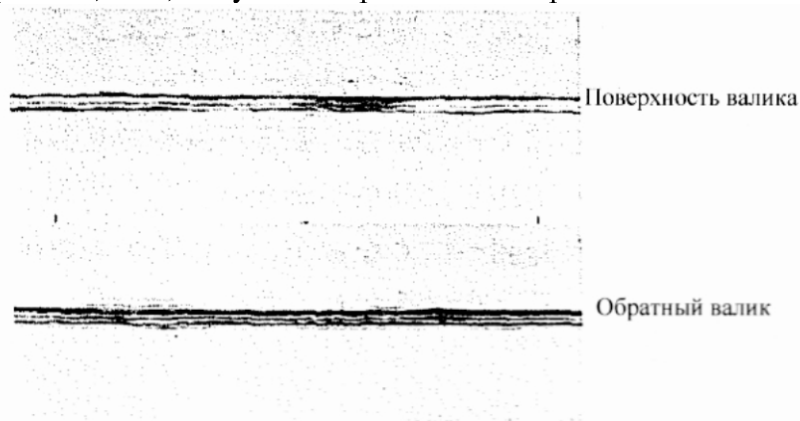
практикуется повышение обрабатываемости за счет изменения объема добавления присадочного материала в синхронизации с формой волны импульсного тока.

#### **4-7-2 Дуговая сварка на среднечастотном импульсе**

Под дуговой сваркой на среднечастотном импульсе подразумевается сварка, в которой за счет периодического изменения сварочного тока частотой от несколько десятков до несколько сот герц повышены направленность и сосредоточенность дуги для улучшения обрабатываемости. В связи с тем, что частота импульса велика, по сравнению с дуговой сваркой на низкочастотном импульсе не появляется ярко волнистый узор и отсутствует эффект управления тепловложением.

По мере увеличения частоты импульса повышаются направленность и сосредоточенность дуги, но глубина проплавления проявляет тенденцию к уменьшению. Однако при добавлении присадочного металла ванна расплавленного металла не склонна к волнению, можно использовать присадочный металл большего диаметра по сравнению со сваркой на постоянном токе. Данный метод сварки не склонен подвергаться влиянию от сварки прихватками, даже при сильном токе увеличивает давление не так значительно, поэтому глубина ванны расплавленного металла относительно мала, что облегчает исполнение сварочных работ.

Как пример дуговой сварки на среднечастотном импульсе на рис. 4.55 показан результат стыкового соединения нержавеющей стали особо тонкой стенки. Хотя толщина стенки равна 0,4 мм, получается правильный обратный валик.



**Рис. 4.55 Дуговая сварка листов особо тонкой стенки на среднечастотном импульсе (SUS304 t 0,4 мм, средний ток 23 А)**

Кроме того, в полосе частоты импульсов 10 - 25 Гц вибрация ванны расплавленного металла и форма волны импульсного тока могут синхронизироваться друг с другом удачно и принести крайне однородный внешний вид сварного шва. Однако мерцание дуговых лучей, сопровождающее изменение тока, значительно заслоняет обзор, и к тому же ошибка в установке режима импульса, скорости сварки и пр. может привести к подрезу и пр. Поэтому данная полоса частоты импульсов применяется не так часто.

#### **4-7-3 Дуговая сварка на высокочастотном импульсе**

Под дуговой сваркой на высокочастотном импульсе подразумевается сварка, в которой частота импульсов повышена еще больше с целью еще большего повышения направленности и сосредоточенности дуги и придания ванне расплавленного металла высокочастотную вибрацию. Как правило, частота импульсов составляет примерно 10-25 кГц, однако в случае частоты не более 17 кГц издается высокий режущий звук дуги.

Изменение тока высокой частоты придает ванне расплавленного металла высокочастотную вибрацию, что приводит к смешиванию расплавленного металла и образованию аэрационных пузырьков и считается полезным для придания металлу мелкозернистой структуры, предотвращения образования раковин и пр.



Дуга на слабом токе также значительно превосходит по сосредоточенности, даже при сварочном токе в среднем 1 А получается устойчивость дуги, что позволяет сваривать листы с особо тонкими стенками порядка 0,05 мм. Однако дуговая сварка на высокочастотном импульсе склонна подвергаться влиянию от длины сварочного кабеля, ее источник питания стоит очень дорого. Поэтому применение этого метода сварки ограничено единичными случаями.

Отношение частоты импульсов с основными сварочными характеристиками приведено в табл. 4.6. В таблице границей низкочастотных импульсов и среднечастотных импульсов служит 5 Гц, а границей среднечастотных импульсов и высокочастотных импульсов служит 500 Гц. Но эти границы принимаются не так строго.



## **4-8 ДЕФЕКТЫ СВАРОЧНОГО ШВА И ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ**

### **4-8-1 Трещины**

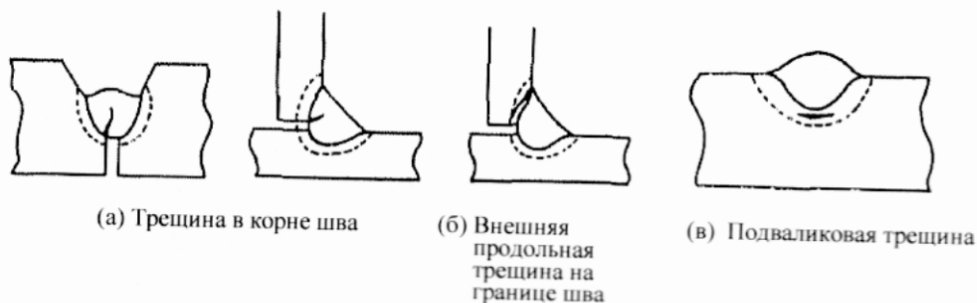
Трещины образуются при затвердевании или застывании зоны сварки, и подразделяются по своему образованию на холодные трещины и горячие трещины.

Холодные трещины возникают после застывания зоны сварки до относительно низкой температуры (порядка 200°C и ниже). Причиной считаются 3 фактора, а именно водород, проникший в зону сварки, завязывающая сила, воспринятая зоной сварки, и затвердевание сваренного металла или участка, находящегося под влиянием тепла. Трещины могут возникнуть, спустя несколько часов до нескольких дней после окончания сварки в зависимости от материала и других условий. Потому что до возникновения трещин нужно время для того, чтобы проникший в зону сварки водород перемещался внутри зоны сварки и накопился в количестве, необходимом для возникновения трещин.

Имеются разновидности формы трещины, на рис. 4.56 представлены примеры, называемые трещиной в корне шва, внешней продольной трещиной на границе шва, подваликовой трещиной, каждый.

Чтобы предотвратить холодные трещины следует;

- (1) Очистить разделанные кромки тщательно от масла, ржавчины, капель конденсата и пр. и тем самым по возможности устранить причину попадания водорода в тону сварки,
- (2) Чтобы ускорить выделение проникшего в зону сварки водорода, нужно поддерживать высокую температуру перед наложением последующего слоя путем подогрева,
- (3) Правильно подобрав форму разделки кромок, режим сварки, зажимное приспособление и подкладку, избежать возникновения чрезмерной завязывающей силы, резкого застывания с последующим затвердеванием металлической структуры.



**Рис. 4.56 Основные холодные трещины**

Горячие трещины возникают в процессе сварки или непосредственно после сварки, когда зона сварки имеет температуру (порядка 300°C и более) и появляются при затвердевании расплавленного металла. Так что они могут быть названы трещинами от затвердевания. Считается, что непосредственно перед завершением затвердевания расплавленного металла в межзеренной границе в середине валика и в окружении валика остается малая масса расплавленного металла в виде пленки. Если к этому расплавленному металлу приложится сила, сопровождающая тепловую деформацию, он не выдержит деформацию по причине своей незначительной массы, пробьется отверстие, которое перерастет в трещину от затвердевания. Следовательно, на возникновение трещин значительное влияние оказывают химический состав зоны сварки, включение примесей и пр.

На рис. 4.57 представлены примеры, называемые по форме трещины грушеобразной трещиной в шве, продольной трещиной в шве, трещиной в кратере.

Чтобы предотвратить горячие трещины следует:

- (1) Подобрать форму разделки кромок и режим сварки, чтобы не получилась форма поперечного сечения шва, узкая и длинная в направлении проплавления. То есть установить отношение «глубина проплавления/ширина шва» на небольшое значение.
- (2) Так как трещины склонны возникать, когда количество фосфора (P), серы (S) и пр. велико, следует по возможности уменьшать примеси в основном металле и присадочном металле. А далее, подбирать присадочный металл, марка которого подходит к основному металлу.
- (3) В зоне кратера производить правильную заделку кратера путем управления нисходящим потоком тока и пр.



**Рис. 4.57 Основные горячие трещины**

#### 4-8-2 Раковины

Раковинами называют полости, которые образованы по причине того, что газ, проникший в расплавленный металл и не успевший выйти из него, перекрыт в расплавленном металле. В частности, раскрытые на поверхности шва раковины называются поверхностными раковинами.

Раковины в основном состоят из водорода и кислорода, а в зависимости от ситуации также из аргона, использованного в качестве защитного газа. Кроме того, по сравнению с другими металлами алюминий склонен к образованию раковин по причине того, что масса водорода в затвердевшем металле значительно меньше, чем в расплавленном металле, и в процессе застывания выделяется большая масса водорода. Чтобы полностью устранить эти раковины, требуется наиболее тщательное внимание.



**Рис. 4.58 Раковины**

Чтобы предотвратить раковины следует;

- (1) Удалить с участка разделки кромок грязь, ржавчину, влагу и обратить внимание на очистку,
- (2) Так как попавшая на присадочный металл влага также может привести к возникновению раковин, обращать тщательное внимание на просушивание. В частности, при сварке алюминия в зависимости от ситуации необходимо удалить оксидную пленку с поверхности присадочного металла.
- (3) Обращая внимание на расход защитного газа, защиту от ветра, очистку сопла и т.д., предотвратить захват воздуха вследствие неполной защиты. Также, не удлинять дугу больше, чем необходимо.

#### 4-8-3 Несплавление

Отсутствие сплавления между наплавленным металлом и основным металлом или между наплавленными металлами каждого прохода, как показано на рис. 4.59, называется несплавлением. В случае нержавеющей стали, алюминиевого сплава и пр.. на поверхности шва образуются окиси с высокой температурой плавления и, если при наложении

следующего слоя шва расплавленный металл опережает дугу и дуга прямо не попадает на поверхность шва, эта оксидная пленка не подвергается плавлению, остается, и может вызвать несплавление.

Чтобы предотвратить несплавление следует:

- (1) Тщательно очистить поверхность разделки кромок и поверхность шва.
- (2) Подобрать режим сварки, обеспечивающий достаточную глубину проплавления, и, в частности, обращать внимание на полное проплавление краев лицевой поверхности предыдущего слоя шва

#### 4-8-4 Непровар

Непроваром называется состояние, когда части разделок кромок, в частности, поверхности притупления кромок, не проплавляются. Как показано на рис. 4.60. непровар склонен возникать, когда угол скоса кромок мал или притупление кромок слишком велико.

Чтобы предотвратить непровар следует:

- (1) Подобрать правильную форму и размеры разделки кромок. В частности, обращать внимание на то, чтобы угол скоса кромок не стал слишком малым и притупление кромок не стало слишком большим,
- (2) По возможности укоротить дугу и уменьшить напряжение дуги.
- (3) Подобрать режим сварки, с целью получения достаточного тепловложения для сварки, увеличивая сварочный ток, убавляя скорость сварки и т.д.



Рис. 4.59 Несплавление

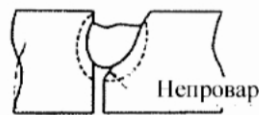


Рис. 4.60 Непровар

#### 4-8-5 Подрезы и наплывы

Когда основной металл по краям лицевой поверхности шва подвергается слишком интенсивному расплавлению, появляется впадина в виде паза, которая называется подрезом. Как показано на рис. 4.61 подрезы склонны возникать на верхних краях лицевой поверхности шва при горизонтальной сварке угловым швом. Значительные или острые подрезы убавляют прочность соединений, так что следует по возможности предотвратить их возникновение.

Чтобы предотвратить подрезы следует:

- (1) Не увеличивать сварочный ток больше, чем необходимо,
- (2) Избегать слишком большой скорости сварки.
- (3) Поддерживать правильное положение угла наклона горелки, и правильную длину дуги.

Наплывами называется состояние того, что основной металл по краям лицевой поверхности шва не подвергается расплавлению, и металл шва натекает на основной металл, как показано на рис. 4.62. Наплывы представляют собой противостоящее подрезам явление, которое возникает, когда объем добавления присадочного металла слишком велик, скорость сварки слишком мала и пр.

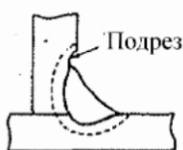


Рис. 4.61 Подрезы

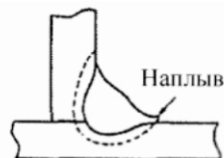
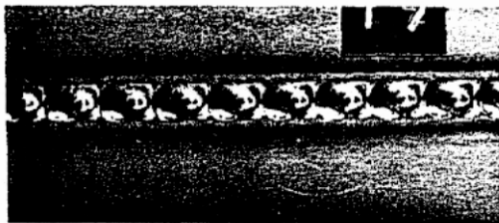


Рис. 4.62 Наплывы

#### 4-8-6 Беспорядочность валика

В случае дуговой сварки на низкочастотном импульсе и пр., когда установлена слишком большая скорость, получается прерывистый валик, как показано на рис. 4.63 (а). Если по сравнению со сварочным током скорость сварки слишком велика, длина дуги слишком велика и т.д., как показано на рис. 4.63 (б), появляются нерегулярные впадины и не образуется однородный валик. При импульсно-дуговой сварке, когда установлена слишком большая разница между пиковым током и базовым током, также может возникнуть этот надвигающийся валик.



(а) Прерывистый валик



(б) Надвигающийся валик

Рис. 4.63 Беспорядочность валика

Так что, следует избегать увеличения скорости сварки, удлинения дуги, и т.д. больше, чем необходимо. Кроме того, при импульсно-дуговой сварке не следует устанавливать чрезмерно большую силу тока, для большего увеличения эффекта.

#### 4-8-7 Вольфрамовые включения

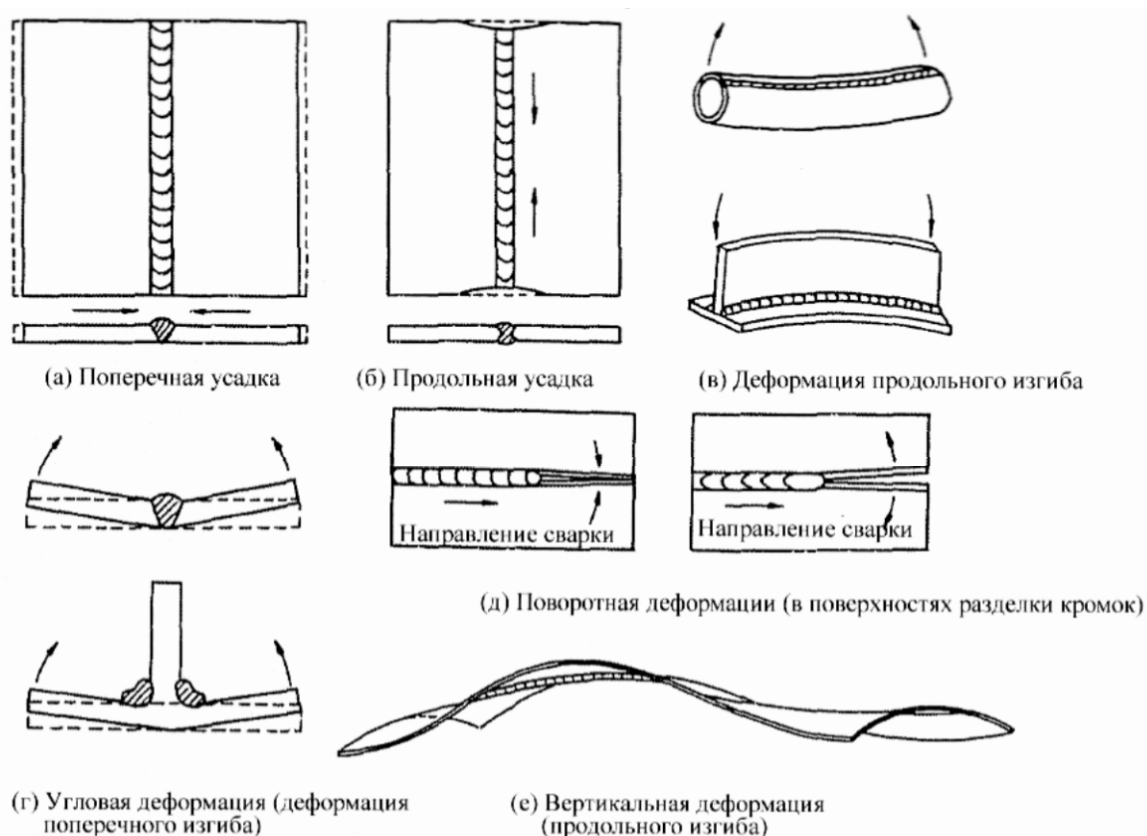
Вольфрамовыми включениями называется явление того, что в процессе сварки конец вольфрамового электрода вытекает в расплавленном виде или прикосновение конца вольфрамового электрода к расплавленному металлу приводит к попаданию вольфрама в металл шва. Следует обращать внимание на то, что участки с вольфрамовыми включениями затвердевают крайне интенсивно и повлекут за собой трещины.

Следует уделять внимание тому, чтобы использовать электроды правильного диаметра применительно к сварочному току, поддерживать правильную подачу защитного газа для предотвращения быстрого износа электрода, перемещать электрод, избегая прикосновения электрода к ванне расплавленного металла.

#### 4-8-8 Сварочная деформации

Из-за вкладываемого дугой тепла, зоны сварки и околошовные зоны подвергаются растяжению и усадке и после окончания сварки, как представлено на рис. 4.64, возникают (а) поперечная усадка, образуемая в направлении, перпендикулярном сварному шву, (б) продольная усадка, образуемая в направлении линии сплавления, (в) деформация продольного изгиба, образуемая в направлении сварного шва. (г) угловая деформация, представляющая собой перелом вдоль сварного шва. (д) поворотная деформации, при которой зазор в вершине разделки становится уже или шире по мере продвижения сварки, (е) вертикальная деформация, образуемая в случае тонкостенных листов в волнистом виде.

Сварная деформация понижает точность отделанных изделий, портит качественный вид и оказывает вредное влияние на прочность, жесткость и т.д. конструкций, так что следует по возможности уменьшить ее возникновение.



**Рис. 4.64 Сварная деформация**

Чтобы сдержать сварную деформацию, следует

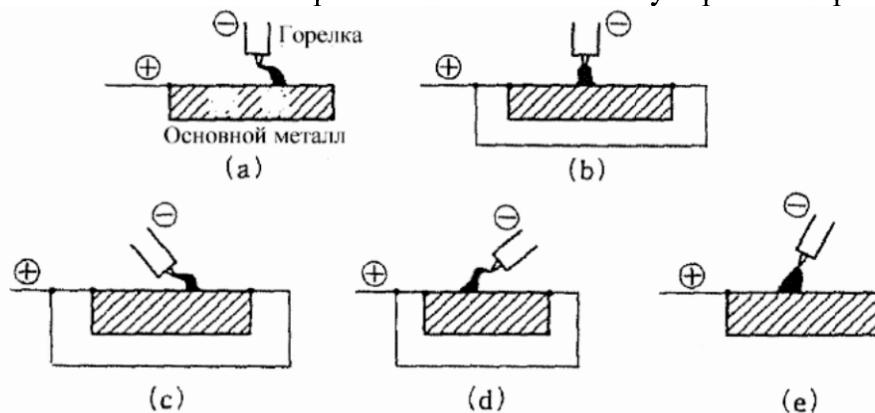
- 1) Предположив усадку и деформацию от сварки, заранее предусмотреть припуски на усадку или придать обратную деформацию,
- 2) Чтобы уменьшить суммарное тепловложение сварки, подбирать разделки кромок малого поперечного сечения. Предпочитать Х-образную разделку кромок или двухстороннюю симметричную «рюмкообразную» разделку кромок V-образной разделке кромок, подбирать более узкий зазор в вершине разделки,
- 3) Чтобы по возможности уменьшить неоднородность зазоров в вершине разделки, смещение и т.д. повышать точность элементов, заранее проверять форму разделки кромок и использовать сборочное зажимное приспособление, а затем производить сварку прихватками.
- 4) Составить технологическую последовательность сварки, чтобы уменьшить сварную деформацию.

#### **4-8-9 Магнитное дутье**

В некоторых случаях в силу магнитного действия тока дуги изгибается в определенном направлении и направленность и сосредоточенность дуги становятся неустойчивыми, в результате чего шов получается извилистым, ширина шва становится уже, проплавление - мельче. Это явление называется магнитным дутьем, четко появляется при сварке стали на постоянном токе, в частности, склонно возникать при сварке угловым швом, соединениях с глубокой разделкой кромок и т.д. При сварке на переменном токе магнитное дутье почти не возникает, но при сварке на постоянном токе возникает даже в случае, когда основной металл представляет собой нержавеющую сталь, которая не поддается намагничиванию.

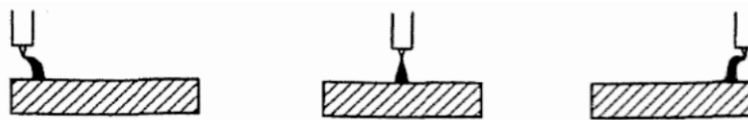
Возникновение магнитного дутья различается в зависимости от положения подсоединения сварочного кабеля к основному металлу, угла наклона горелки, ширине основного металла и т.д. Например, как показано на рис. 4.65 (а), если сварочный кабель

подсоединен слева, дуга гнется направо; как показано на (b), если сварочные кабели подсоединены с обеих сторон, магнитное дутье не появляется. Однако, как показано на (c) и (d), даже когда сварочные кабели подсоединены с обеих сторон, если наклоняют горелку, дуга изгибается в противоположном наклону горелки направлении. В случае наклона горелки, как показано на (e), рекомендуется подсоединить сварочный кабель к краю основного металла с противоположной наклону горелки стороны.



**Рис. 4.65** Отношение магнитного дутья с положением подсоединения сварочного кабеля

Кроме того, как показано на рис. 4.66, в случае сварки края основного металла, дуга склонна изгибаться к центру основного металла. Во многих случаях можно предотвратить это явление, подсоединив еще один сварочный кабель в место, где начинает появляться магнитное дутье.



**Рис. 4.66** Влияние от края основного металла

Чтобы сдерживать магнитное дутье следует;

- (1) Изменять положение подсоединения сварочного кабеля к основному металлу.
- (2) Подсоединять сварочный кабель на два места основного металла или более.
- (3) Изменять угла наклона горелки.

Кроме того, в некоторых случаях с помощью электромагнита или магнита исправляют магнитное дутье принудительно.

## **4-9 НЕРАЗРУШАЮЩИЕ ИСПЫТАНИЯ ЗОНЫ СВАРКИ**

### **4-9-1 Вид неразрушающих испытаний**

Чтобы убедиться в том, что сварные швы удовлетворяют заранее установленным эксплуатационным качествам с учетом цели использования, рабочих условий, рабочей среды и т.д., производят различные испытания и по их результатам судят о приемке сварных швов.

Внешний осмотр, производимый визуально, позволяет обнаружить дефекты, раскрытые на поверхности с относительно большими размерами, но не позволяет обнаружить внутренние дефекты, мелкие поверхностные дефекты и пр. Разрушающие испытания, при которых разрушают, деформируют, химически обрабатывают и т.д. сварные швы, позволяют подробно проверить внутренние дефекты, мелкие дефекты и прочие характеристики сварных швов, но не могут быть применены к действующим изделиям.

Неразрушающие испытания позволяют проверить внутренние дефекты, мелкие дефекты и пр. сварных швов, не нарушая форму, размеры и эксплуатационные качества изделий, и в основном находят применение следующие 4 вида;



- (1) Рентгенодефектоскопия (РТ)
- (2) Ультразвуковая дефектоскопия (УТ)
- (3) Магнитопорошковая дефектоскопия (МТ)
- (4) Капиллярная дефектоскопия (РТ)

Среди этих 4 видов испытаний для обнаружения внутренних дефектов применяются рентгенодефектоскопия и ультразвуковая дефектоскопия, для обнаружения поверхностных дефектов применяются магнитопорошковая дефектоскопия и капиллярная дефектоскопия.

#### 4-9-2 Рентгенодефектоскопия

Рентгенодефектоскопия, находящая широкое применение в качестве неразрушающих испытаний сварных швов, представляет собой метод обнаружения, в основном, внутренних дефектов с помощью рентгеновских лучей или гамма-лучей, как показано на рис. 4.67.

Когда облучают сварной шов рентгеновскими лучами от источника рентгеновского излучения, рентгеновские лучи, прошедшие через сварной шов, засвечивают рентгеновскую пленку, расположенную на задней стороне исследуемого объекта. Если сварной шов обладает раковинами, трещинами и прочими полостями или шлаком и прочими инородными включениями, рентгеновские лучи не затухают так, как проходят через нормальные части, и засвечивают пленку интенсивно. В результате этого при проявлении одни участки, обладающие дефектами, темнеют, и тем самым можно обнаруживать размеры, формы и положения дефектов.

Этот метод испытания позволяет оставлять результаты испытаний в виде пленок, так что обладает способностью к регистрации и сохранению, и находит частое применение в разных областях. В связи с тем, что используются радиоактивные лучи, вредные для организма, этим методом испытания могут заниматься только те, кто прошел государственный экзамен.



Рис. 4.67 Рентгенодефектоскопия

#### 4-9-3 Ультразвуковая дефектоскопия

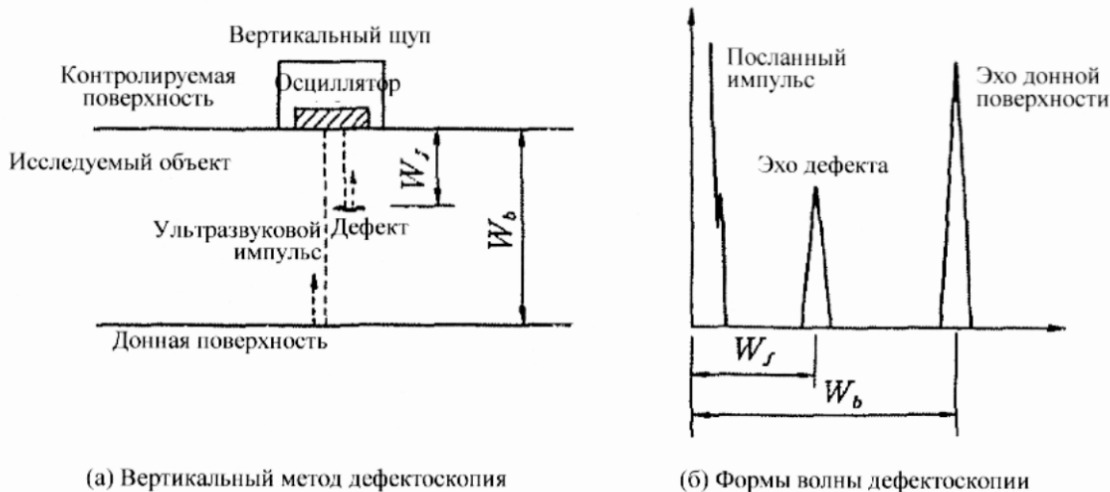
Ультразвуковые волны по своему свойству распространяются внутри твердого тела или жидкости прямолинейно и отражаются, если на пути волн встречаются дефекты или прочие инородные предметы. Ультразвуковая дефектоскопия пользуется этим свойством для проверки сварных швов на наличие внутренних дефектов.

Метод испытаний в основном подразделяется на два, а именно на вертикальный метод дефектоскопии и угловой метод дефектоскопии. На рис. 4.68 представлена вертикальная дефектоскопия. Как показана на (а), приводят щуп со встроенным осциллятором в контакт с поверхностью исследуемого объекта и посылают внутрь последнего ультразвуковые импульсы. В нормальных участках ультразвуковые импульсы отражаются от донной поверхности и воспринимаются щупом как эха донной поверхности. Однако, если во внутренности имеются дефекты, то ультразвуковые

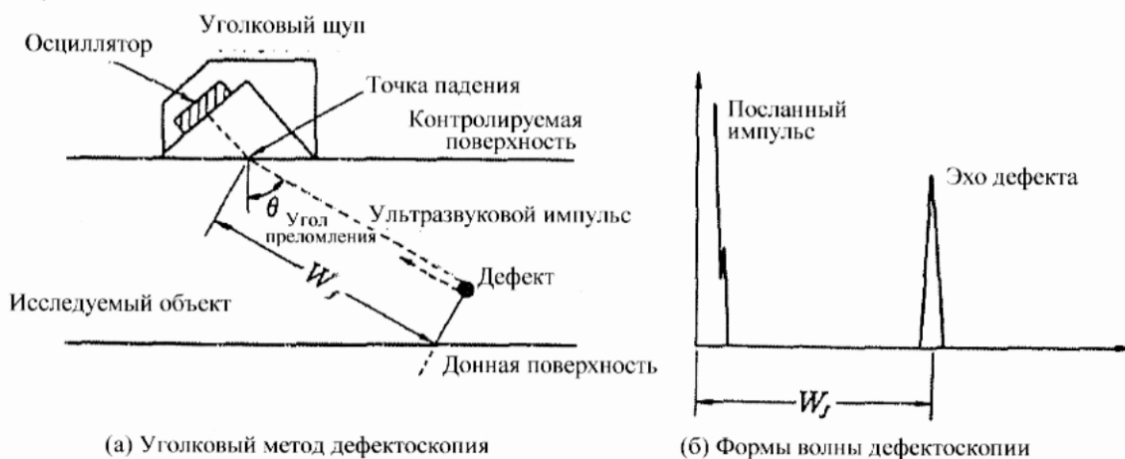
импульсы отражаются от них и превращаются в эхо дефекта. В результате щуп воспринимает эхо дефектов и эхо донной поверхности.

На ультразвуковых дефектоскопах для индикации используются приемные телевизионные трубки, которые при наличии внутреннего дефекта отображают его в виде формы, как показано на (б). Поскольку скорость распространения ультразвуковых импульсов постоянна, по местоположениям эха дефекта можно определить глубину дефекта ( $W_j$ ), по местоположениям эха донной поверхности - толщину стенки ( $W_b$ ).

Этот метод дефектоскопии дает ультразвуковым импульсам проникать в исследуемый объект перпендикулярно к нему, так что подходит к обнаружению дефектов, параллельных его поверхности, и находит применение к сварным швам таврового соединения и углового соединения.



**Рис. 4.68 Вертикальный метод дефектоскопии**



**Рис. 4.69 Угловой метод дефектоскопии**

На рис. 4.69 представлен угловой метод дефектоскопии, при котором ультразвуковые импульсы проходят наклонно. Поскольку распространяются наклонно, после отражения от донной поверхности ультразвуковые импульсы не возвращаются в щуп, и не появляется эхо донной поверхности. Необходимо вычислять местоположения возникновения дефекта, основываясь на угле падения, угле преломления ( $O$ ) и расстоянии до точки возникновения эха дефекта ( $W_j$ ). Данный метод дефектоскопии в основном применяется к сварным швам стыковой сварки с разделкой кромок.

#### 4-9-4 Магнитопорошковая дефектоскопия

Если намагнитить магнитное тело, которое обладает трещиной или другим дефектом близко к поверхности исследуемого объекта, как показано на рис. 4.70 магнитный пучок

внутри исследуемого объекта обходит дефекты, которые имеют большое сопротивление, и частично превращается в поток рассеяния.

Если, заранее осыпав поверхность исследуемого объекта тонким однородным слоем магнитного порошка (железного порошка или пр.), намагничивают исследуемый объект, магнитный порошок сосредоточенно всасывается к местам, где появляется пучок рассеяния, что позволяет обнаружить дефекты и определить их местоположения. Этот метод испытания называется магнитопорошковой дефектоскопией, и при использовании магнитного порошка, цвет которого четко контрастирует с цветом поверхности исследуемого объекта, позволяет обнаружить мелкие дефекты, которые обнаружить невозможно невооруженным глазом.

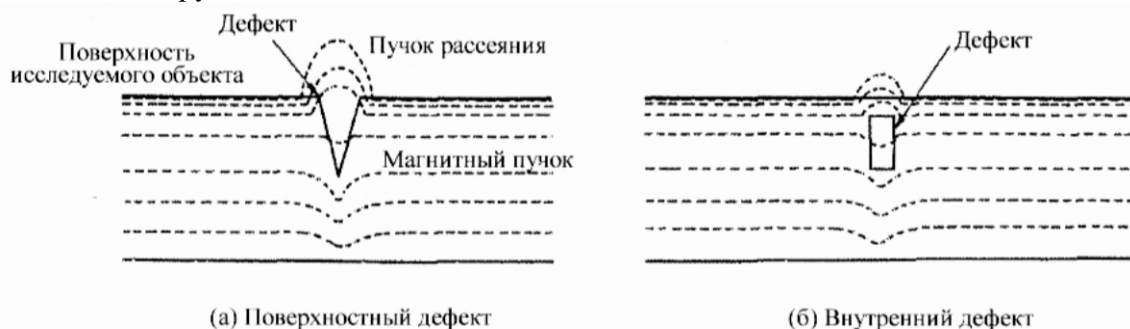


Рис. 4.70 Пучок рассеяния из-за дефекта

Как показано на рис. 4.71, для генерации магнитного поля применяется (а) межполюсный метод или (б) метод со щупами. Исследуемые объекты ограничены стальным или прочими ферромагнитными материалами. Этот метод не применяется к нержавеющей стали, алюминиевому сплаву и прочим материалам, которые не поддаются намагничиванию.

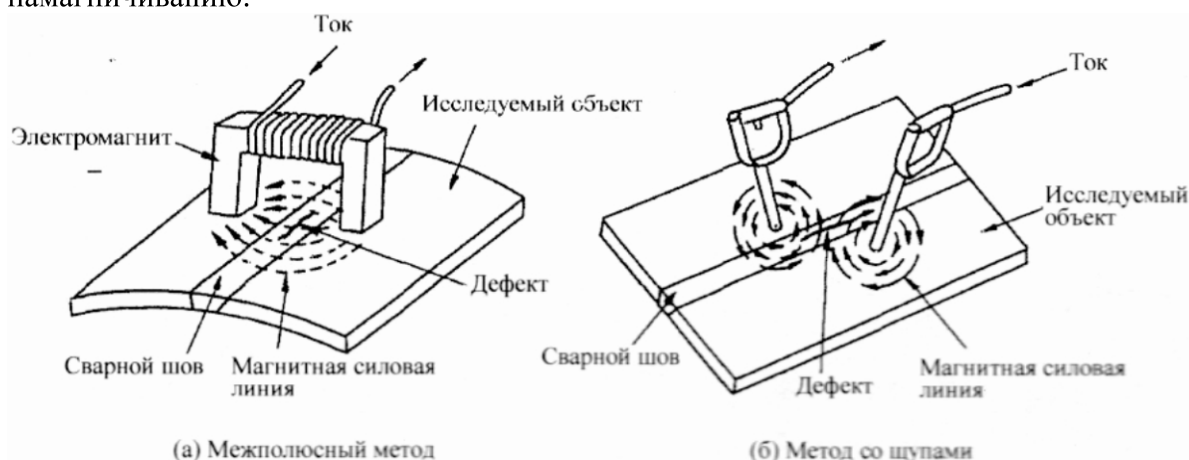


Рис. 4.71 Магнитопорошковая дефектоскопия

Этот метод испытания обладает высокой чувствительностью к обнаружению дефектов, расположенных на и близко к поверхности. Но он не эффективен для обнаружения внутренних дефектов, на которых пучок рассеяния не склонен к генерации, и во многих случаях применяется для обнаружения дефектов на поверхности разделки кромок, поверхности, подвергшейся дуговой строжке или устранению дефектов для восстановления.

#### 4-9-5 Капиллярная дефектоскопия

Как показано на рис. 4.72, (а) дают проникающей жидкости красного цвета проникнуть в выходящие на поверхность дефекты, (б) потом удаляют избыток проникающей жидкости с поверхности, промывают ее, (в) наносят проявляющую жидкость белого цвета, в результате (г) проникшая в дефекты жидкость выходит на

поверхность и образует индикаторные узлы красного цвета на белом фоне. Поскольку индикаторные узлы появляются красного цвета, контрастного с белым фоном, и шириной больше, чем у фактических дефектов, можно обнаруживать мелкие дефекты, которые не поддаются обнаружению невооруженным глазом. Этот метод испытания называется капиллярной дефектоскопией.

Имеется метод по такому же принципу, но при этом в качестве проникающей жидкости используют флуоресцентный состав, индикаторные узлы наблюдают с помощью ультрафиолетового света. Этот метод называется флуоресцентной капиллярной дефектоскопией.

Капиллярная дефектоскопия применяется с такой же целью, что и магнитопорошковая дефектоскопия, но позволяет обнаружить только выходящие на поверхность исследуемого объекта дефекты. Однако то, что исследуемое тело не обязательно должно быть магнитным телом, и простота метода испытания позволяют применять этот метод часто.



**Рис. 4.72 Капиллярная дефектоскопия**

#### **4-10 ЭКЗАМЕНЫ НА ТЕХНОЛОГИЮ СВАРКИ**

Для получения качественных сварных швов немаловажную роль играет квалификация сварщика, так что регламентируются экзамены на технологии по стандартам JIS и WES применительно к методам сварки, материалам, пространственными положениям сварки, толщинам стенки и т.д. Тем, кто прошел экзамен на квалификацию, дают аттестацию, и во многих случаях обязывают заниматься сваркой ответственных конструкций только аттестованному персоналу.

Срок действия аттестации сварщика равен 1 году, который может быть продлена до 3 лет, если сварщик фактически занимается сварочной работой в течение первого одного года. После истечения срока действия сварщик должен сдавать экзамен и приобрести аттестационное удостоверение заново.

Что касается аттестации технологии Аргонодуговой сварки, то метод проведения экзамена и критерий регламентирует стандарт JIS Z3811 по алюминию, JIS Z3821 по нержавеющей стали и JIS Z3805 по титану, соответственно. Вид экзаменов и их основное содержание приведены в табл. 4.7. 4.8 и 4.9.

**Табл. 4.7 Аттестация технологии сварки алюминия**

Положение сварки	Классификация работ	Вид экзамена	Наименование	Обозначение	Исследуемый объект			Испытание образца
					Сварное соединение	Толщина стенки, мм	Подкладка	
Нижнее	Над тонкостенными листами		Экзамен по нижней сварке тонкостенных листов	TN-1F		3		
	Над среднестенными листами		Экзамен по нижней сварке среднестенных листов	TN-2F		8		
	Над толстостенными листами		Экзамен по нижней сварке толстостенных листов	TN-3F		не менее 20		
Вертикальное	Над тонкостенными листами		Экзамен по вертикальной сварке тонкостенных листов	TN-1V		3		
	Над среднестенными листами		Экзамен по вертикальной сварке среднестенных листов	TN-2V		8		
	Над толстостенными листами		Экзамен по вертикальной сварке толстостенных листов	TN-3V		не менее 20		
Поперечное	Над тонкостенными листами		Экзамен по поперечной сварке тонкостенных листов	TN-1H	Стыковое соединение листов	3	Отсутствует	Испытание на изгиб с растяжением внешней стороны шва
	Над среднестенными листами		Экзамен по поперечной сварке среднестенных листов	TN-2H		8		
	Над толстостенными листами		Экзамен по поперечной сварке толстостенных листов	TN-3H		не менее 20		
Верхнее	Над тонкостенными листами		Экзамен по верхней сварке тонкостенных листов	TN-1O		3		Испытание на изгиб с растяжением обратной стороны шва
	Над среднестенными листами		Экзамен по верхней сварке среднестенных листов	TN-2O		8		
	Над толстостенными листами		Экзамен по верхней сварке толстостенных листов	TN-3O		не менее 20		
Горизонтальное неповоротное	Над тонкостенными трубами		Экзамен по сварке неповоротных тонкостенных труб	TN-1P	Стыковое соединение труб	Наружн. диам. 100-150, толщина 4		
	Над среднестенными трубами		Экзамен по сварке неповоротных среднестенных труб	TN-2P		Наружн. диам. 150-200, толщина 12-15		
	Над толстостенными трубами		Экзамен по сварке неповоротных толстостенных труб	TN-3P		Наружн. диам. 200-300, толщина не менее 20		

**Табл. 4.8 Аттестация технологии сварки нержавеющей стали**

Вид экзамена		Исследуемый объект			Испытание образца
Положение сварки	Наименование	Обозначение	Сварное соединение	Толщина стенки, мм	
Нижнее	Экзамен по нижней Аргонодуговой сварке	SUS TN-F	Стыковое соединение листов	3	Испытание на изгиб с растяжением внешней стороны шва
Вертикальное	Экзамен по вертикальной Аргонодуговой сварке	SUS TN-V			
Поперечное	Экзамен по поперечной Аргонодуговой сварке	SUS-TN-H			
Верхнее	Экзамен по верхней Аргонодуговой сварке	SUS-TN-O			
Горизонтальное неповоротное, вертикальное неповоротное	Экзамен по Аргонодуговой сварке неповоротных труб	SUS-TN-P	Стыковое соединение труб	Номин. диам. 80 – 100А, толщина стенки 3 мм	Испытание на изгиб с растяжением обратной стороны шва

**Табл. 4.9 Аттестация технологии сварки титана**

Вид экзамена		Исследуемый объект			Испытание образца
Положение сварки	Наименование	Обозначение	Сварное соединение	Толщина стенки, мм	
Нижнее	Стыковая сварка листов в нижнем положении	RT-F	Стыковое соединение листов	3 мм	Внешний осмотр Испытание на изгиб с растяжением внешней стороны шва
Вертикальное	Стыковая сварка листов в вертикальном положении	RT-V			
Поперечное	Стыковая сварка листов в поперечном положении	RT-H			
Верхнее	Стыковая сварка листов в верхнем положении	RT-O			

Горизонтальное неповоротное, вертикальное неповоротное	Стыковая сварка горизонтальных и вертикальных непово- ротных труб	RT-P	Стыковое со- единение труб	Наруж. диам. 80 – 100А, тол- щина стенки 3 мм		Испытание на изгиб с растяжением обратной сто- роны шва
---	--	------	-------------------------------	--	--	---

## **ГЛАВА 5 ВОПРОСЫ В ПРАКТИКЕ**

### **5-1 АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА**

#### **5-1-1 Сварочные автоматы**

Сварочным автоматам не существует ясное определение и практикуются разные виды автоматов для сварки, начиная с тележек для газовой резки, которые представляют собой самоходные тележки, оборудованные сварочной горелкой, и производят сварку, проходя вдоль сварного шва, простых автоматов, которые оборудованы сварочной горелкой, закрепленной на стенде или т.п. и расположенной на сварном шве, и производят сварку объекта, установленного на поворотном столе и поворачивающегося со столом, и кончая с крупными системами, которые включают в себя механизм позиционирования свариваемого объекта, зажимной механизм, механизм ввоза и вывоза и пр.

Раньше широкое применение находили сварочные автоматы, специализированные применительно к свариваемому объекту, как показано на рис. 5.1, однако в последние годы с целью придать сварочным установкам гибкость возрастает применение сварочных роботов, как показана на рис. 5.2. Чтобы расширить диапазон работ над крупными конструкциями, также практикуются передвижные роботы переносного типа, как показано на рис. 5.3.

При автоматической сварке требуется механизация различных функций и управления, которые выполняет сварщик от руки, и применяются;

- Автоматическое колебательное движение,
- Управление напряжением дуги,
- Автоматическое отслеживание сварного шва.

Кроме того, в случае автоматической сварки, не говоря уже о немаловажном значении функций и характеристик сварочной установки, также играют немаловажную роль устройство поворота свариваемого объекта, приспособления-ограничители и прочие периферийные устройства, которые должно быть использованы применительно к материалу, форме, свойству и пр. сварных соединений, иначе могут привести к неожиданной неисправности.



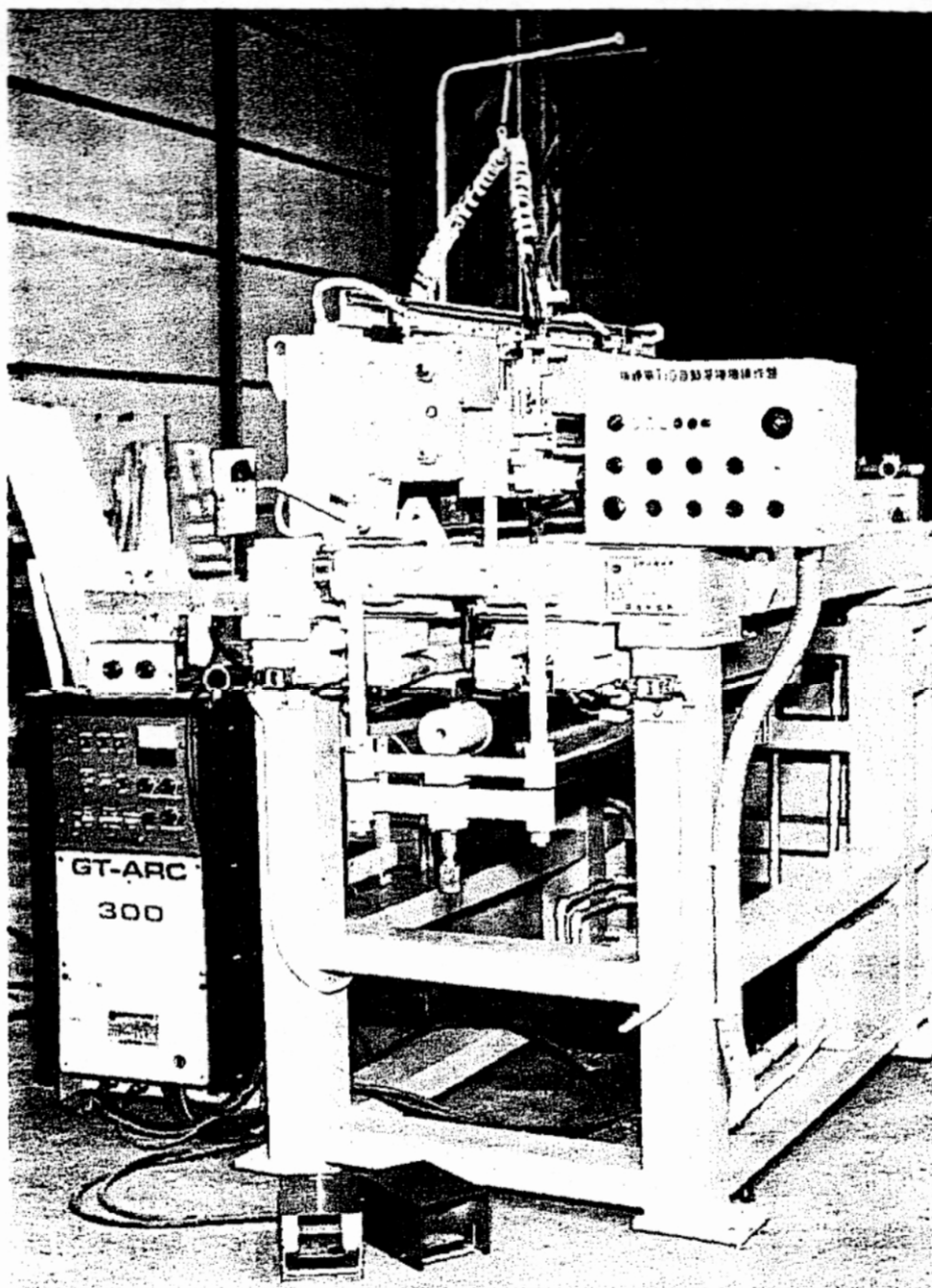
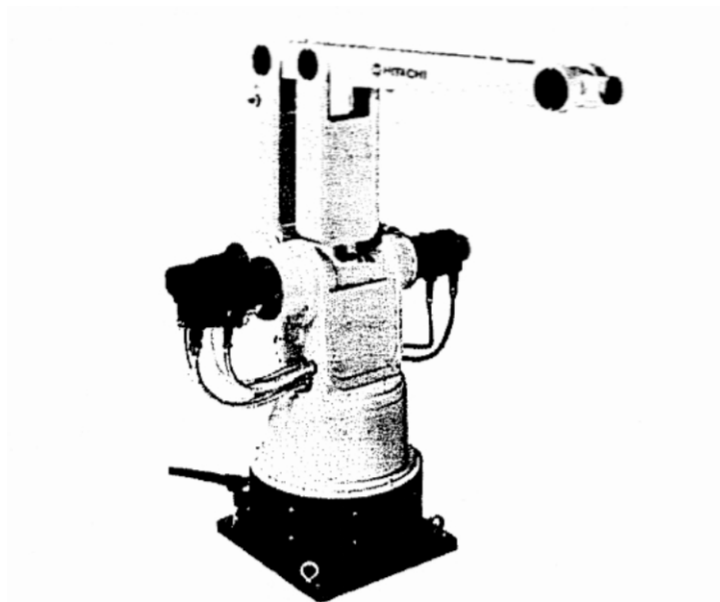
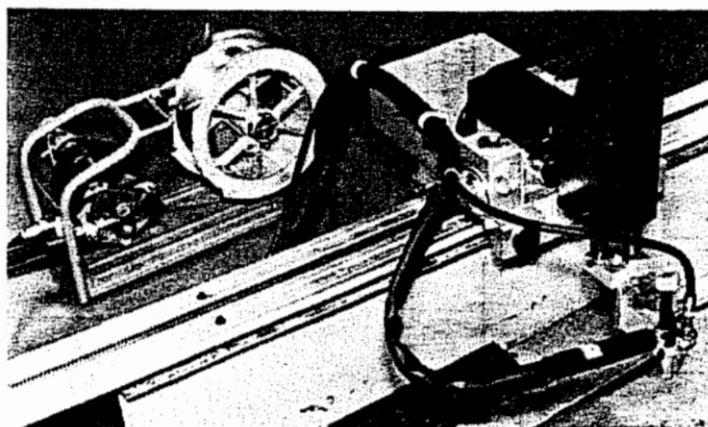


Рис. 5.1 Автомат для стыковой сварки продольного соединения цилиндра



**Рис. 5.2 Робот с шарнирными сочленениями**



**Рис. 5.3 Сварочный робот переносного типа**

#### **5-1-2 Автоматические колебательные движения**

Так же как, что и в ручной сварке, когда необходимо формировать широкий валик, например, при многослойной сварке и сварке угловым швом с крупным катетом, и в автоматической сварке осуществляют колебательные движения.

Устройство колебательных движений, как показано на рис. 5.4. состоит из механизма перемещения горелки, электродвигателя, датчика положения и блока управления. Схема колебательных движений, обычно применяемая для автоматической Аргонодуговой сварки, показана на рис. 5.5. При этом амплитуду, период, положение остановки, длительность времени остановки колебательных движений можно устанавливать произвольно.

Кроме того, при горизонтальной сварке угольным швом можно выполнять наклонные колебательные движения, наклонив устройства колебательных движений, однако понадобится при этом немного сложный механизм. Так что, как показано на рис. 5.6. в некоторых случаях, исполнив механизм перемещения горелки двухкоординатным и управляя вертикальным перемещением и продольным перемещением одновременно, добиваются цели.



Рис. 5.4 Устройство колебательных движений

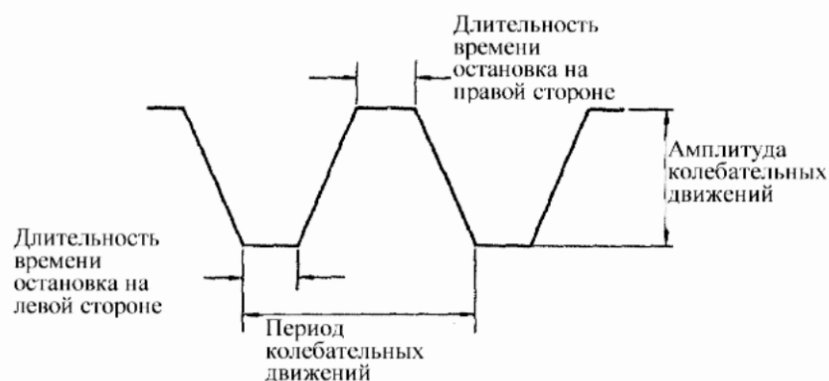


Рис. 5.5 Схема колебательных движений

### 5-1-3 Управление напряжением дуги

В случае Аргодуговой сварки изменение длины дуги приводит к изменению напряжения дуги и тем самым оказывает влияние на результат сварки. Управление вертикальным положением сварочной горелки для поддержки длины дуги на постоянном уровне называется управлением напряжением дуги или AVC (Arc Voltage Control).

При управлении напряжением дуги, как показано на рис. 5.7, сравнивают величину напряжения между горелкой и основным металлом (напряжения дуги) с величиной установочного напряжения. Если напряжение дуги меньше установочного напряжения, отводят горелку вверх, если напряжение дуги больше установочного напряжения, подводят горелку вниз, и тем самым, устраняя разницу между напряжением дуги и установочным напряжением, поддерживают напряжение дуги (длину дуги) на постоянном уровне.

Кроме того, в случае метода контактного зажигания, пользуясь этим управлением напряжением дуги, устанавливают положение горелки (длину дуги), получаемое после горения дуги, автоматически.

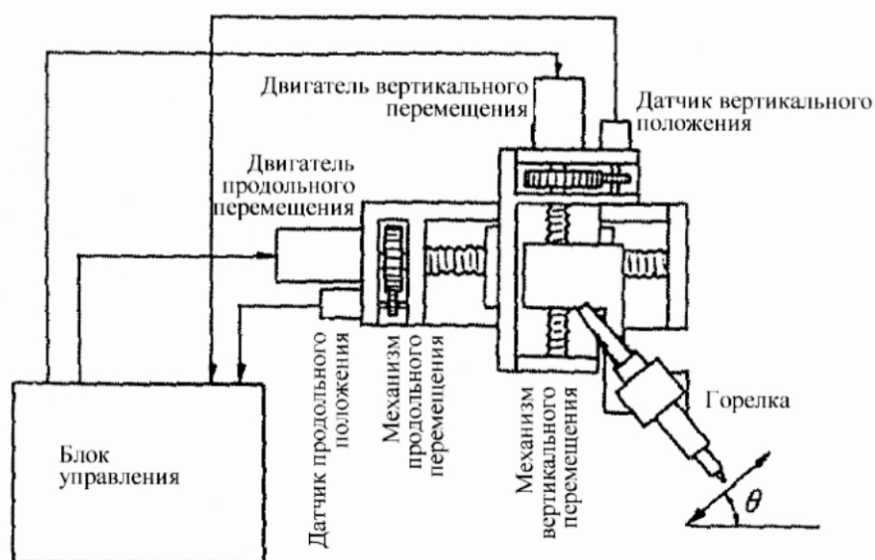


Рис. 5.6 Наклонные колебательные движения

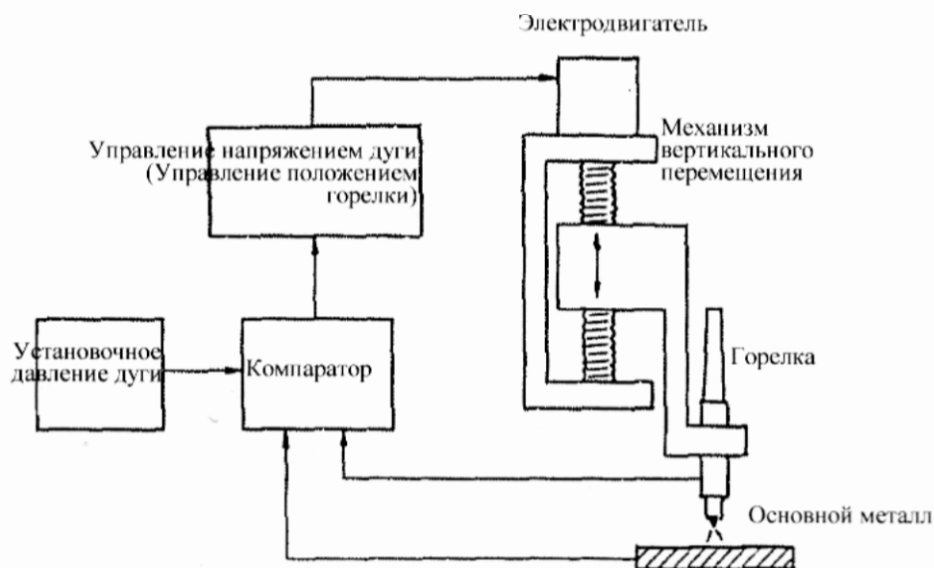


Рис. 5.7 Управление напряжением дуги

#### 5-1-4 Отслеживание сварного шва

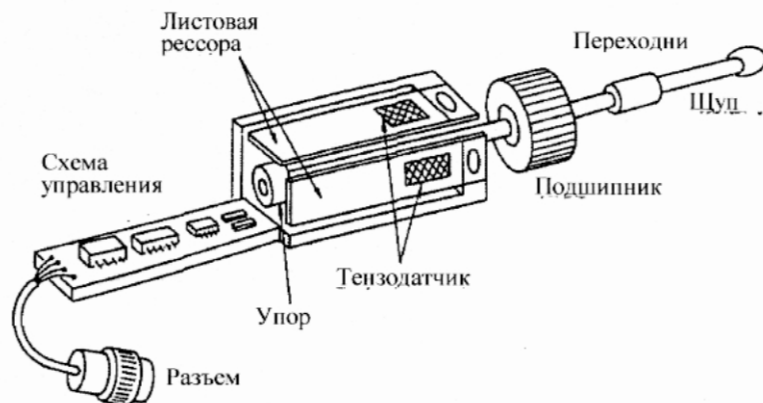
В случае ручной сварки сварщик, наблюдая сварной шов и перемещая горелку на подходящее место, проводят сварку. А в случае автоматической сварки необходимо обнаруживать сварной шов каким-нибудь методом, замещающим сварщика, и устанавливать положение горелки применительно к обнаруженному сварному шву правильно и автоматически.

Устанавливать сварочную горелку автоматически в подходящее положение применительно к сварному шву называется отслеживанием сварного шва и воплощается разными видами системы, которая в основном состоит из;

- Детектора (датчика) сварного шва,
- Механизма перемещения горелки и датчика,
- Блока управления положением горелки,
- Запоминающего устройства сварного шва.

Детектор сварного шва обычно называется датчиком и играет роли глаза сварщика. Различаются разные виды датчика, такие как механический, электрический, магнитный и

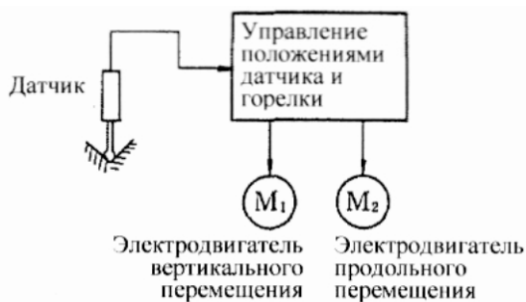
оптический датчик. На рис. 5.8 показан пример конструкции датчика, в котором используется тензодатчик.



**Рис. 5.8 Пример конструкции датчика**

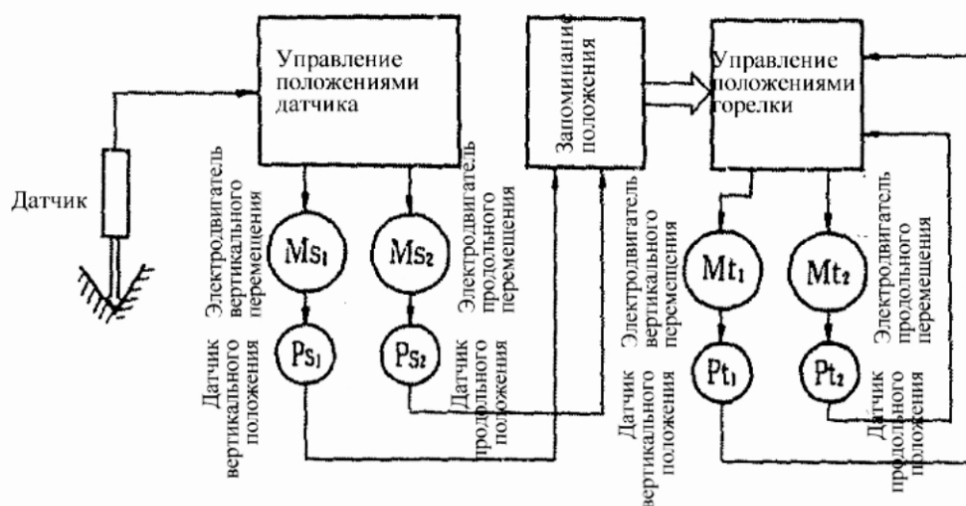
Если, вводя конец щупа в контакт с разделкой кромок или угловым сварным швом, перемещают датчик, применительно к изменению сварного шва. то, опираясь на подшипнике, щуп наклоняется и упор наносит листовой рессоре деформацию. В результате этого можно детектировать величину изменения сварного шва в виде выхода от тензодатчика. как показано на рис. 5.9. Так что, если управляют положениями датчика и сварочной горелки так, чтобы выход тензодатчика не подвергался изменению, можно отслеживать сварной шов.

Этот метод полезен, когда сварной шов относится к прямому, и датчик и сварочная горелка расположены близко друг к другу. Однако, когда сварной шов относится к кривой, и датчик и сварочная горелка расположены далеко друг от друга, или так же. как в случае робота, понадобится заранее вводить положение горелки в соответствии со сварным швом, если перемещают датчик и сварочную горелку одновременно, будет получаться проблема.



**Рис. 5.9 Управление непосредственного отслеживания**

При этом, как показано на рис. 5.10, предусматривают механизм перемещения датчика и механизм перемещения горелки отдельно, сначала перемещают положение датчика, чтобы выход датчика не подвергался изменения, обнаруживают информацию об этом перемещении детектором положения, и вводят величину перемещения в запоминающее устройство положения. А затем выводя величину перемещения, необходимую для достижения этого запомненного положения сварочной горелкой, перемещают горелку применительно к сварному шву на подходящее положение. Этот метод отслеживания называется отслеживанием с задержкой или отслеживанием запоминающего типа.



**Рис. 5.10 Управление отслеживанием с задержкой**

В случае роботов применяется метод, по которому, сначала установив датчик, осуществляют запоминание положения горелки в соответствии со сварочным швом, а затем, сняв датчик и установив сварочную горелку, производят сварку. Так что один механизм используется совместно как механизм перемещения датчика и механизм перемещения горелки.

С любыми функциями из автоматического колебательного движения, управления напряжением дуги и отслеживания сварного шва справляется один и тот же механизм перемещения горелки, так что во многих случаях обычно один механизм используется для осуществления всех этих функций, и лишь блок управления устанавливается отдельно для каждого.

## **5-2 TIG СВАРКА НАГРЕТОЙ ПРОВОЛОКОЙ**

Сварка TIG обладает большими достоинствами; операция относительно проста, получают высококачественные сварные соединения, и в связи с тем, что можно управлять тепловложением и количеством наплавленного металла отдельно, устойчивый диапазон режима сварки широк. Однако она обладает недостатком, который заключается в том, что по сравнению с дуговой сварке в среде углекислого газа или сваркой металлическим электродом в среде газа производительность наплавки невелика.

Сварка TIG нагретой проволокой относится к методу исполнения работ, который исправляет вышеприведенный недостаток и повышает производительность наплавки. Как показано на рис. 5.11, устанавливают источник питания для нагрева проволоки отдельно от сварочного источника питания, подают тепло к присадочной проволоке в месте, расположенном на расстоянии нескольких десятков см от основного металла, и дают проволоке выделять резистивное тепло. Так как заранее нагревается, и в полурасплавленном состоянии добавляется к ванне расплавленного металла, присадочная проволока позволяет увеличивать количество наплавленного металла втрое по сравнению с обычной Аргонодуговой сваркой, как показано на рис. 5.12. в датчик и установив сварочную горелку.



Рис 5.11 Сварка TIG нагретой проволокой

Это не только способствует повышению производительности сварки толстостенных листов и ускоряет сварку тонкостенных листов, но и благодаря подогреву проволоки масло, прилегающее к поверхности присадочной проволоки, сжигается, что способствует сдерживать возникновение раковин.

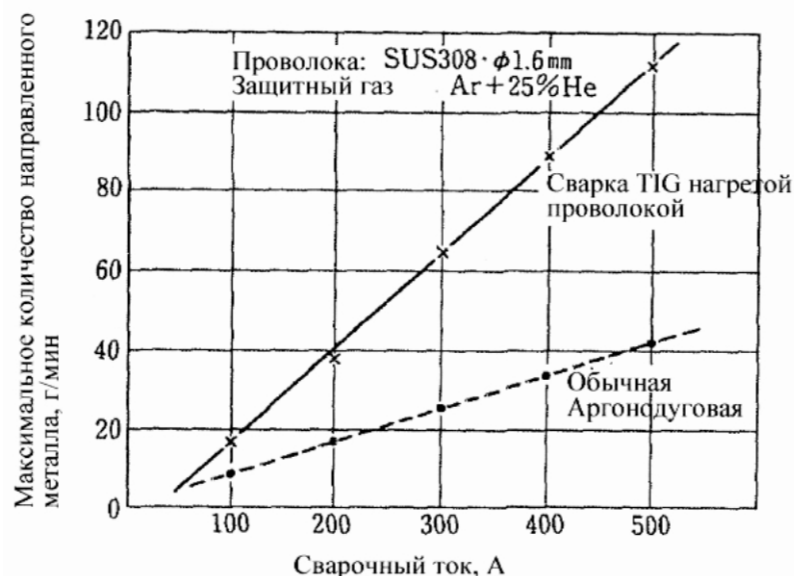


Рис. 5.12 Сравнение количество наплавленного металла

Кроме того разработаны различные изобретения для сдерживания магнитного дутья, которое вызывается током контура проволоки, или, наоборот, для пользования им.

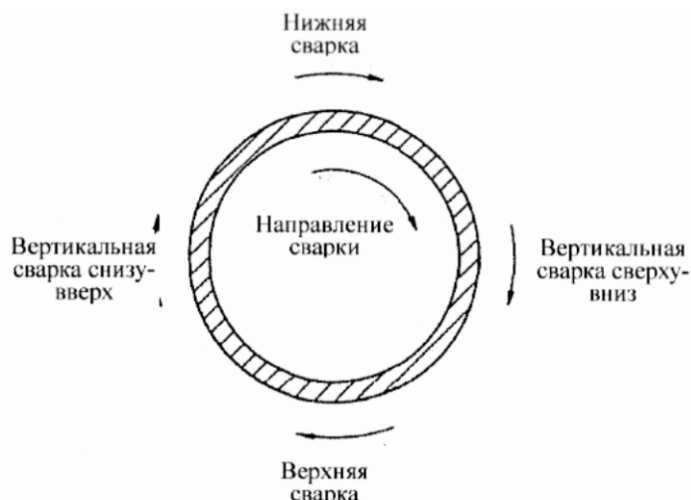
Сварка TIG нагретой проволокой, относящаяся к пользованию резистивного тепловыделения проволоки, полезна для нержавеющей стали, никелевого сплава и пр., у которых резистивное тепловыделение велико, но в случае алюминиевого сплава, медного сплава, и пр., у которых резистивное тепловыделение мало, ее применение обусловлено определенными условиями.

### **5-3 СВАРКА НЕПОДВИЖНЫХ ТРУБ ВО ВСЕХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ**

#### **5-3-1 Переключение режимов сварки**

В случае сварки горизонтальных неповоротных труб, как показано на рис. 5.13. в процессе 1 прохода сварки получается 4 положения сварки, а именно нижняя сварка, вертикальная сварка сверху-вниз, верхняя сварка, вертикальная сварка снизу-вверх.

Поскольку глубина проплавления, внешний вид сварного шва, вытекание капель расплавленного металла, форма обратного валика и прочие факторы обрабатываемости сварки различаются по каждому пространственному положению, при одинаковом режиме сварки для всех положений трудно получить однородный хороший результат сварки.



**Рис. 5.13 Пространственное положение сварки горизонтальной неповоротной трубы**

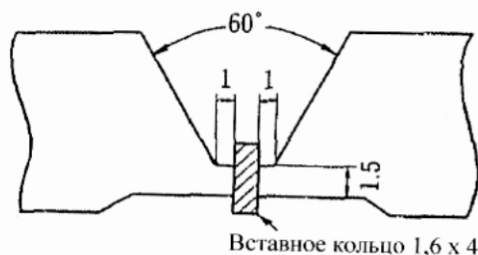
Чтобы справиться с изменением положения сварки, как правило, автоматам сварки неповоротных труб предусмотрена функция последовательного автоматического переключения установленных 6-8 видов режима сварки. В табл. 5.1 приведен пример этой функции. Пространственное положение сварки показано в виде часов.

**Табл. 5.1 Режим сварки горизонтальных неповоротных труб**

Пространственное положение сварки		Сварочный ток, А	Скорость сварки, мм/мин	Скорость подачи присадочной проволоки, мм/мин	Примечание
	часов 12 ~ 2	50	50	150	
	часов 2 ~ 4	49	44	140	
	часов 4 ~ 6	48	38	120	
	часов 6 ~ 8	45	38	120	
	часов 8 ~ 10	41	44	140	
	часов 10 ~ 12	37	50	150	

В некоторых случаях, когда требуются высокие эксплуатационные качества сварных швов, с целью получения устойчивых обратных валиков применяют вставное кольцо, как показано на рис. 5.14. При использовании вставного кольца не понадобится присадочный металл, и, если дают вставному кольцу расплавляться полностью, формируется обратный валик, что облегчает работу и приносит устойчивость результатов. Кроме того, если при установке вставного кольца децентрируют его так, чтобы в позициях вертикального положения сверху-вниз и верхнего положения выступ во внутреннем направлении получился больше, можно предотвратить впадину обратного валика.





**Рис. 5.14** Разделка кромок с использованием вставного кольца

### **5-3-2 Автоматы сварки неповоротных труб**

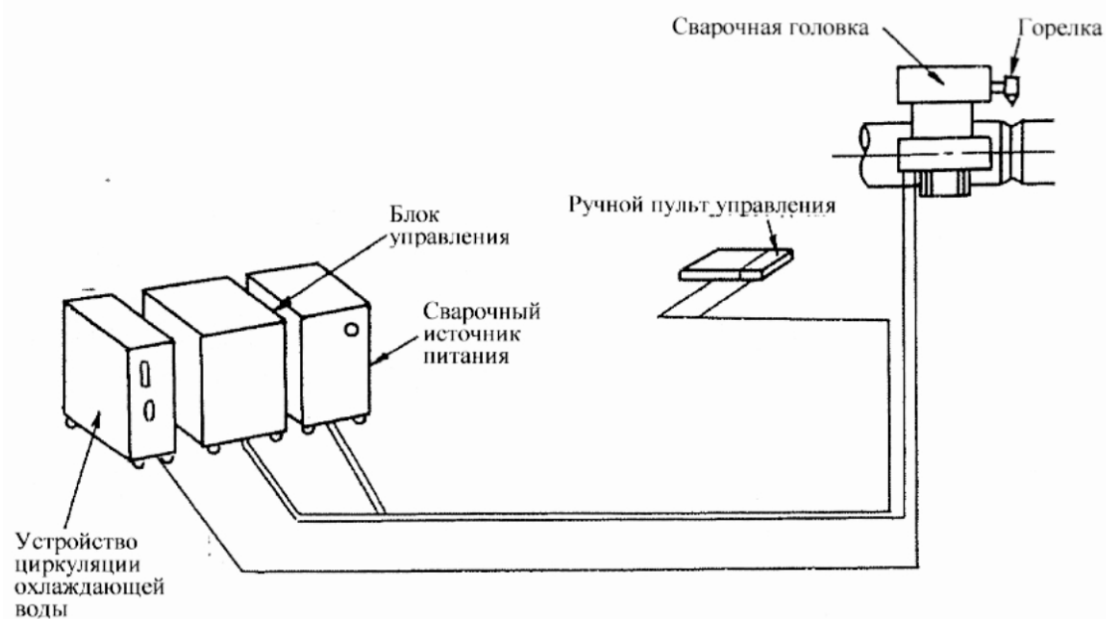
При сварке неповоротных труб сварщикам требуется высокий уровень квалификации по причине, что положение сварки меняется, рабочее пространство тесно, сварщики часто вынуждаются принимать неустойчивую позу. Использование сварочного автомата дает даже не квалифицированным работникам возможность пользоваться высоким качеством и высокой надежностью сварки.

Как показано на рис. 5.15, автомат сварки неповоротных труб состоит из сварочной головки, сварочного источника питания, блока управления, устройства циркуляции охлаждающей воды и пр. В зависимости от формы трубы сварочная головка подразделяется в основном на 3 вида, как показано на рис. 5.16.

На рис. 5.17 показана сварочная головка для труб миниатюрного диаметра, которая применяется для труб с наружным диаметром 34 мм и менее, снятие и установки которой осуществляется открытием и закрытием съемного рычага крайне просто. Для труб в этом диапазоне, обладающих тонкой стенкой, не понадобится присадочный металл, следовательно, не имеется механизм подачи присадочной проволоки.

На рис. 5.18 показана сварочная головка для труб малого диаметра, которая применяется для труб с наружным диаметром 27 - 130 мм. Сварочная головка включает в себя механизм подачи присадочной проволоки и механизм управления напряжением дуги, весит примерно 10 кг. имеет конструкцию, позволяющую упростить операцию снятия и установки на трубу.

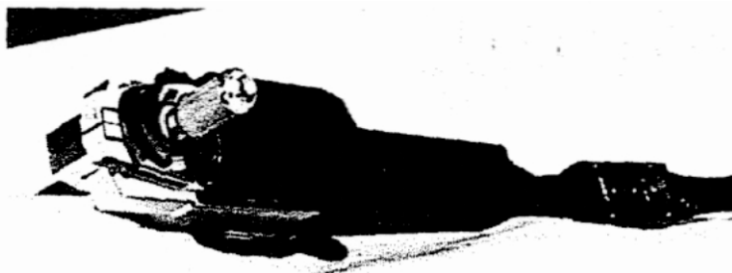
На рис. 5.19 показана сварочная головка для труб среднего и большого диаметра, которая применяется для труб с наружным диаметром 130 мм и более. Сварочная головка включает в себя не только механизм подачи проволоки, механизм управления напряжением дуги, но и механизм колебательного движения, и передвигается на направляющем кольце, установленном на трубу. Сварочная головка состоит из трех основных узлов, а именно блока колебательного движения, блока подачи проволоки и ходового блока.



**Рис. 5.15** Конфигурация автомата сварки неповоротных труб



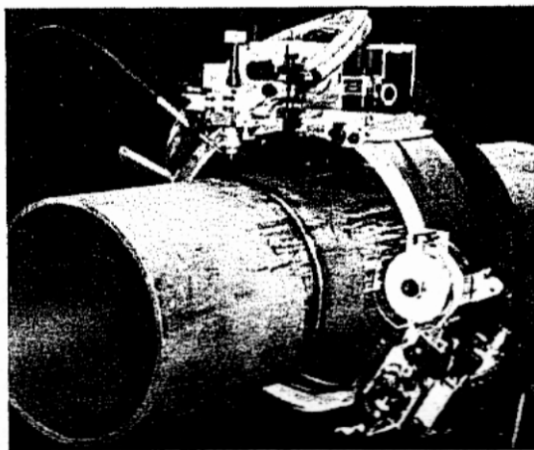
**Рис. 5.16** Диапазон применения сварочных головок разного вида



**Рис. 5.17 Сварочная головка для труб миниатюрного диаметра**

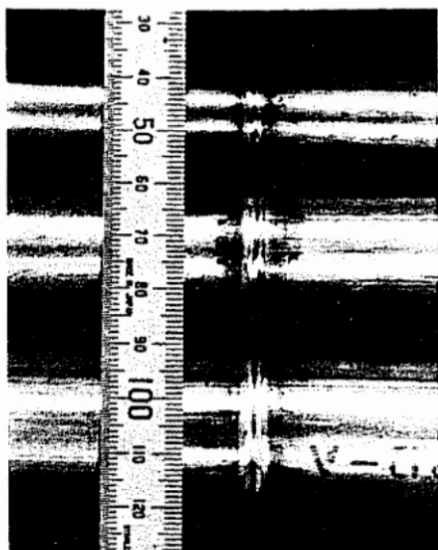


**Рис. 5.18 Сварочная головка для труб малого диаметра**

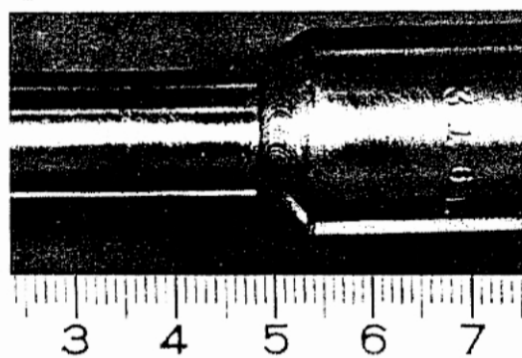


**Рис. 5.19 Сварочная головка для труб среднего и большого диаметра**

Как примеры сварки с использованием автомата сварки неповоротных труб, на рис. 5.20 представлен шов стыкового соединения сварочной головкой для труб миниатюрного диаметра, на рис. 5.21 - шов сварки углевым швом, на рис. 5.22 представлено поперечное сечение стыкового соединения сварочной головкой для труб малого диаметра.



**Рис. 5.20 Внешний вид шва стыкового соединения**



**Рис. 5.21 Внешний вид шва сварки угловым швом**



**Рис. 5.22 Поперечное сечение стыкового соединения**

В последнее время в результате тенденции, связанной с развитием технологии электронного управления, к превращению сварочного источника питания в инвертер и к комплексированию блока управления появляется автомат сварки неповоротных труб, такой как представленный на рис. 5.23. По сравнению с традиционными автоматами оба из сварочного источника питания и блока управления этого автомата обеспечены чрезвычайной компактностью и легкостью.



Рис. 5.23 Переносной автомат сварки неповоротных труб

## 5-4 СВАРКА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Нержавеющая сталь по химическому составу подразделяется в основном на нержавеющую сталь на основе хрома и на основе хрома-никеля, по металлическому составу на аустенитную, ферритную, мартенситную, аустенитно-ферритную и дисперсионно-твердющую нержавеющую сталь. Нержавеющая сталь, состав которой регламентирует стандарт JIS G4303, в любом случае содержит хром в доле не менее 12% и превосходит остальные стали не только по коррозионной стойкости и термостойкости, но и по прочностным свойствам и перерабатываемости. Пользуясь этими превосходными свойствами, нержавеющая сталь находит широкое применение в посуде, кухонном инвентаре, химической промышленности, синтетическом химическом волокне, фармацевтической промышленности, нефтехимической промышленности, бумажной промышленности, судостроении, транспортных средствах, атомном оборудовании и пр.

Сварка нержавеющей стали, хотя производится почти любым методом, часто производится методом Аргонодуговой сварки в силу того, что не появляются брызги и шлак, форма сварного шва красива и качество сварного шва отличное.

### 5-4-1 Метод выбора материала присадочного металла

Хотя материалы присадочного металла регламентирует стандарт JIS Z3321 - 1985 (табл. 5.2), желательно использовать в принципе присадочный металл с таким же химическим составом, что и свариваемый основной металл, чтобы обеспечить сварочный шов коррозионной стойкостью и прочностным свойством. При сварке применяют постоянный ток и подключают к отрицательной полярности электрода. При сварке относительно тонкостенных листов или сварном соединении труб с формированием обратного валика, как защитный газ с обратной стороны обычно применяют аргон. Однако в последнее время при Аргонодуговой сварке без защиты обратной стороны в качестве сварочного материала для первого слоя, часто применяется присадочный металл, поверхность которого покрыта тонким слоем флюса, или присадочный металл, содержащий в себе флюс. В случае сварки толстостенных листов привлекает к себе внимание вышеизложенная Аргонодуговая сварка нагретой проволокой. Применяемая для этого метода сварки проволока такая же, что и в табл. 5.2. Пример сочетания аустенитной нержавеющей стали с каждым присадочным металлом приведен в табл. 5.3.

Табл. 5-2 Марки и химический состав присадочного металла из нержавеющей стали для сварки (JIS Z3321)

Марка	Химический состав								
	C, не более	Si, не	Mn	P, не	S, не	Ni	Cr	Mo	Прочие

		более		более	более				
Y308	0,08	0,65	1 0-2.5	0,03	0.03	9 0-11.0	19.5-22.0	—	—
Y308L	0,030	0.65	1.0-2.5	0,03	0 03	9.0-11.0	19.5-22.0	—	—
Y309	0,12	0.65	1.0-2,5	0,03	0.03	12.0-14.0	23.0-25.0	—	—
Y309L	0,030	0 65	1 0-2.5	0,03	003	12.0-14.0	23.0-25.0	—	—
Y309Mo	0,12	0 65	1.0-2 5	0,03	0.03	12 0-14.0	23.0-25.0	2.0-3.0	—
Y310	0,15	0 65	1.0-2.5	0,03	0.03	20 0-22-5	25.0-28.0	—	—
Y310S	0,08	0 65	1.0-2,5	0,03	0.03	20.0-22 5	25.0-28.0	—	—
Y312	0,15	0.65	1 0-2 5	0,03	0 03	8.0-10.5	28.0-32.0	—	—
Y16-8-2	0,10	0 65	1.0-2.5	0,03	0 03	7 5- 9.5	14.5-16.5	1.0-2.0	—
Y316	0,08	0.65	1 0-2 5	0,03	0 03	Л.0-14.0	18.0-20.0	2.0-3.0	—
Y316L	0,030	0 65	10-2 5	0,03	0.03	11.0-14.0	18.0-20.0	2.0-3.0	—
Y316J1L	0,030	0 65	1 0-2 5	0,03	0 03	11.0-14.0	18.0-20.0	2.0-3.0	Си 1.0-2.5
Y317	0,08	0.65	10-2 5	0,03	0,03	13.0-15 0	18.5-20,5	3.0-4.0	—
Y317L	0,030	0.65	10-2 5	0,03	0 03	13.0-15.0	18.5-20.5	3.0-4.0	—
Y321	0,08	0 65	1.0-2 5	0,03	0 03	9.0-10.5	18.5-20.5	—	Ti 9xC-1.0
Y347	0,08	0.65	1 0-2 5	0,03	003	9 0-11 0	19.0-21.5	—	Nb 10xC-1.0
Y347L	0,030	0 65	1.0-2.5	0,03	0.03	9.0-11.0	19.0-21.5	—	Nb 10xC-1.0
Y410	0,12	0.50	0,6 и менее	0,03	0,03	0 6 и менее	11,5-13,5	0,75 и менее	—
Y430	0,10	0-50	0,6 и менее	0,03	0 03	0 6 и менее	15.5-17 ,0		—

**Табл. 5.3 Пример сочетания аустенитной нержавеющей стали с присадочным металлом**

Основной металл	Подходящий присадочный металл
SUS201	Y308
SUS202	Y308
SUS301	Y308
SUS302	Y308
SUS304	Y308, Y308L
SUS304L	Y308L
SUS305	Y308
SUS309S	Y309, Y309L, Y309Mo, Y310S
SUS310S	Y310S, Y310
SUS316	Y316, Y316L
SUS316L	Y316L
SUS316J1	Y316J1L
SUS316J1L	Y316J1L
SUS317	Y317
SUS317L	Y317L
SUS321	Y321, Y347, Y347L
SUS347	Y347, Y321, Y347L
SUH309	Y309, Y309Mo, Y310
SUH310	Y310

Примечание: Следует обращать внимание на то, что в случае использования 304L, 316L или другой материал L, например, при использовании Y308L для SUS304 прочность сварного шва может стать ниже, чем у основного металла.

#### **5-4-2 Подогрев, температура перед наложением последующего слоя и последующий нагрев**

В случае аустенитной нержавеющей стали не нужен подогрев. Вернее, чтобы защитить сварной шов от горячей трещины, нужно поддерживать температуру перед наложением последующего слоя на уровне не более 150°C. Обычно также после сварки не производят последующий нагрев. В случае ферритной нержавеющей стали, чтобы предотвратить понижение пластичности и вязкости или холодную трещину при низкой температуре вследствие укрупнения кристаллического зерна, необходимы подогрев до 100 - 200°C, поддержание температуры перед наложением последующего слоя и последующий нагрев после сварки до 700 - 800°C. В случае мартенситной нержавеющей стали сварочный жар приносит большой эффект закалки, так что для предотвращения трещины в сварном шве и восстановления вязкости сварного шва необходимы подогрев до 200 - 300°C, поддержание температуры перед наложением последующего слоя и последующий нагрев после сварки примерно до 700°C.

В последнее время как метод для дальнейшего повышения пластичности и вязкости сварного шва из мартенситной нержавеющей стали рекомендуется понизить температуру перед началом термообработки после сварки, то есть начальную температуру последующего нагрева, до минимальной температуры, не позволяющей образование холодных трещин. Кроме того, в некоторых случаях практикуется метод понижения температуры подогрева и последующего нагрева, используя присадочный металл из аустенитной нержавеющей стали, например, Y309, 309L, 399Mo, 310, 310S или прочие присадочные металлы с высокой пластичностью.

#### **5-4-3 Инструкция по исполнению сварки**

В случае Аргонодуговой сварки нержавеющей стали требуется обращать максимальное внимание на проварку корня шва, то есть наложение первого слоя, так что не будет преувеличением сказать, что от качества проварки корня шва зависят общие эксплуатационные качества сварного соединения. В табл. 5.4 - 5.6 приведены примеры стандартных режимов Аргонодуговой сварки стыковых соединений и тавровых соединений, а также пример режимов проварки корня шва горизонтальных неповоротных труб.

В частности, при сварке горизонтальных неповоротных труб требуется наиболее высокий уровень квалификации. Как правило, желательно начать сварку с положения 6 часов по часам, подняться слева и справа, при этом выполнять сварку по возможности симметрично, чтобы уменьшить деформацию при сварке.

#### **5-4-4 Сварка с инородным металлом**

В случае сварки нержавеющей стали с инородным металлом, в большинстве случаев другим металлом является мягкая сталь или низколегированная сталь. При этом, чтобы металл шва обладал достаточной пластичностью, даже когда разбавлен мягкой сталью или низколегированной сталью, используют присадочный металл с большим содержанием хрома и никеля, а именно Y309, Y309L, Y309Mo, Y310 и Y310S. Среди этих марок присадочные металлы на основе 309 по сравнению с тем на основе 310 содержат в аустенитной структуре феррит в доле несколько десятков процентов, так что не склонны образовывать горячие трещины.

На рис. 5.24 представлена зависимость структуры сваренного металла от коэффициента разбавления основного металла при наплавке углеродистой стали с используем 2 марок присадочного материала, а именно а и Ь. В случае присадочного материала а при коэффициенте разбавления 10% получается 5% феррита в сваренном

металле. А в случае присадочного металла b при коэффициенте разбавления 25% получается также 5% феррита.

В табл.5.7 и 5.8 представлены пример разделок кромок для стыкового соединения стали с нержавеющей покрытием и пример сочетания присадочного материала для сварки ее переходного слоя. При сварке стали с нержавеющей покрытием должно обращать внимание на нижеприведенные пункты.

Табл. 5.4 Пример стандартных режимов сварки стыковых соединений из нержавеющей стали

Толщина стенки, мм	Форма разделки кромок	Положение сварки	Количество слоев	Размеры разделки кромок		Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Скорость сварки, мм/мин	Диаметр присадочного металла, мм	Аргон		Примечание
				Зазор в вершине разделки G, мм	Притупление кромок f, мм					Расход, л/мин	Диаметр сопла, мм	
1		F	1	0	—	1.6	50~80	100~120	1	4~6	11	Односторонняя сварка
		V	1	0	—	1.6	50~80	80~100	1	4~6	11	
2.4		F	1	0~1	—	1.6	80~120	100~120	1~2	6~10	11	Односторонняя сварка
		V	1	0~1	—	1.6	80~120	80~100	1~2	6~10	11	
3.2		F	2	0~2	—	2.4	105~150	100~120	2~3.2	6~10	11	Двухсторонняя сварка
		V	2	0~2	—	2.4	105~150	80~120	2~3.2	6~10	11	
4		F	2	0~2	—	2.4	150~200	100~150	3.2~4	6~10	11	Двухсторонняя сварка
		V	2	0~2	—	2.4	150~200	80~120	3.2~4	6~10	11	
6		F	3(2:1)	0~2	0~2	2.4	150~200	100~150	3.2~4	6~10	11	Вырубка корня шва
		V	2(1:1)	0~2	0~2	2.4	150~200	80~120	3.2~4	6~10	11	
		F	2(1:1)	0~2	0~2	2.4	180~230	100~150	3.2~4	6~10	11	Подкладка
		V	2(1:1)	0~2	0~2	2.4	150~200	100~150	3.2~4	6~10	11	
		F	3	0	—	2.4	140~160	120~160	—	6~10	11	Газовое уплотнение
		V	3	0	2	2.4	150~200 150~200	120~150 80~120	3.2~4	6~10 6~10	11 11	
		F	3	1.6	1.6~2	1.6 2.4	110~150 150~200	60~80 100~150	2.6~3.2	10~16	6~8	Сварка с вставкой
		V	3	1.6	1.6~2	1.6 2.4	110~150 150~200	60~80 80~120	2.6~3.2	6~10	11	
		F	3	3~5	—	2.4	180~220	80~150	3.2~4	6~10	11	Подкладка
		V	3	2~5	—	2.4	150~200	80~150	3.2~4	6~10	11	
12		F	6(5:1)	0~2	0~2	2.4	150~200	150~200	3.2~4	6~10	11	Вырубка корня шва
		V	8(7:1)	0~2	0~2	2.4	150~200	150~200	3.2~4	6~10	11	
		F	6	0~2	0~2	2.4 3.2	200~250	100~200	3.2~4	6~10	11~13	Подкладка
		V	8	0~2	0~2	2.4 3.2	200~250	100~200	3.2~4	6~10	11~13	
		F	6	3~5	—	2.4	180~220	50~200	3.2~4	6~10	11	Подкладка
		V	8	3~5	—	2.4	150~200	50~200	3.2~4	6~10	11	
22		F	10(6:4)	0~1	—	2.4 3.2	200~250	100~200	3.2~4	6~10	11~13	Вырубка корня шва
		V	12(8:4)	0~1	—	2.4 3.2	200~250	100~200	3.2~4	6~10	11~13	
38		F	18(9:9)	0~2	2~3	2.4 3.2	250~300	100~200	4~5	10~15	11~13	Вырубка корня шва
		V	22(11:11)	0~2	2~3	2.4 3.2	250~300	100~200	4~5	10~15	11~13	



**Табл. 5.4 Примеры стандартных режимов сварки тавровых соединений из нержавеющей стали**

Толщина стенки, мм	Форма разделки кромок	Величина катета $L$ , мм	Положение сварки	Количество слоев	Размеры разделки кромок		Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Скорость сварки, мм/мин	Диаметр присадочного металла, мм	Аргон		Примечание
					Зазор в верхней части разделки $G$ , мм	Притупленные кромки $f$ , мм					Расход, л/мин	Диаметр сопла, мм	
6		6	F	1	0-2	—	2.4	180-220	50-100	3.2	6-10	11	
			V	1				180-220	50-100	3.2	6-10	11	
12		10	F	2	0-2	—	2.4	180-220	50-100	3.2	6-10	11	
			V	2				180-220	50-100	3.2	6-10	11	
6		2	F	3	0-2	0-3	2.4	180-220	80-200	3.2-4	6-10	11	
			V	3				180-220	80-200	3.2-4	6-10	11	
12		3	F	6-7	0-2	0-3	2.4	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	
			V	6-7			3.2	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	
22		5	F	18-21	0-2	0-3	2.4	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	
			V	18-21			3.2	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	
12		3	F	3-4	0-2	2-4	2.4	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	
			V	3-4			3.2	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	
22		5	F	6-7	0-2	2-4	2.4	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	
			V	6-7			3.2	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	
6		3	F	2-3	3-6	—	2.4	180-220	80-200	3.2	6-10	11	Подкладка
			V	2-3				180-220	80-200	3.2	6-10	11	
12		4	F	6-7	3-6	—	2.4	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	Подкладка
			V	6-7			3.2	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	
22		6	F	25-30	3-6	—	2.4	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	Подкладка
			V	25-30			3.2	200-250	80-200	3.2-4	8-12	13	

В случае когда обратная сварка невозможна

Табл. 5.6 Пример режимов проварки корня шва горизонтальных неповоротных труб

Диаметр присадочного металла, мм	Диаметр электрод, мм	Полярность источника питания	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, мм/мин	Способ перемещения присадочного металла	Защитный газ	
							Расход, л/мин	Внутри трубы, л/мин.
1,6	1,6	Постоянный ток с отрицательной полярностью электрода	50	9	40	Незначительное колебание	8	2
2,0	2,4		\	\	\		\	
2,4			130	16	120		15	

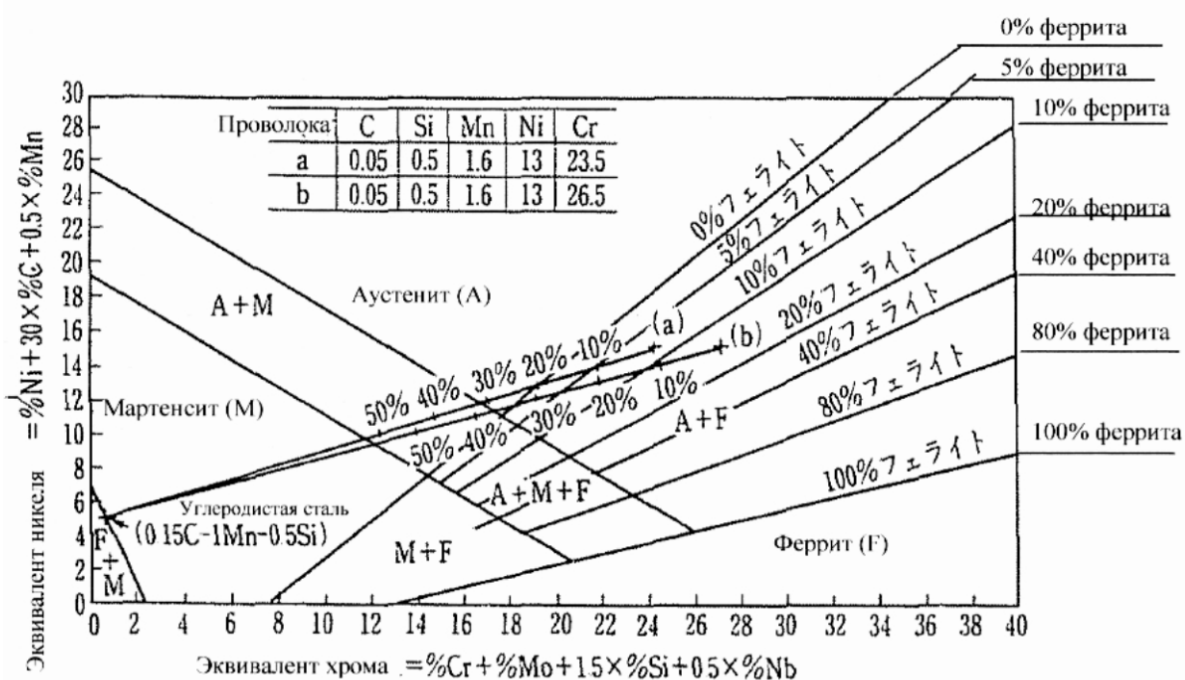
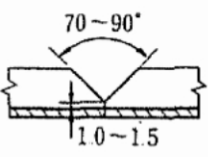
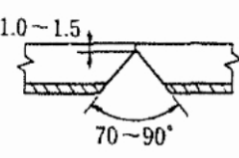
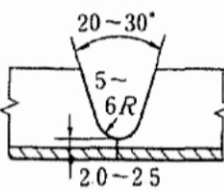
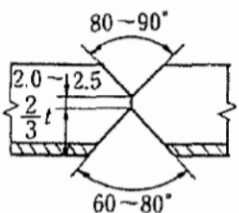
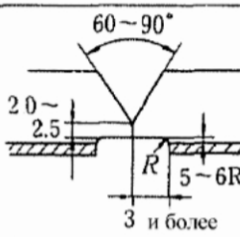
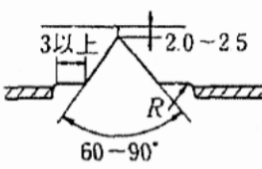


Рис.5.24 Представленная структура металла, первого проваренного слоя наплавки, по структурной схеме Шеффлера

**Табл. 5.7 Примеры разделок кромок для стыкового соединения стали с нержавеющей покрытием**

	Толщина стенки $t$ , мм	Форма	
		Наружная разделка кромок	Внутренняя разделка кромок
В случае, когда не нужно устранять плакирующий материал	менее 20		
	не менее 20		
В случае устранения плакирующего материала	менее 20		

**Табл. 5.8 Примеры сочегання присадочного 4еа.иа с пере\олнымч слоем. плакирующим материалом**

Марка плакирующего материала	Подходящий присадочный металл	
	Участок границ	Плакирующий материал
SUS 302 SUS 304 SUS 305	Y309 Y309L Y309Mo Y310 Y310S	Y308, Y308L
SUS 304L		Y308L
SUS 316		Y316, Y316L
SUS 316L		Y316L
SUS 316J1		Y316J1L
SUS 316J1L		Y316J1L
SUS 317		Y317, Y317L
SUS 317L		Y317L
SUS 321		Y347
SUS 347		Y347
SUS 309S		Y309, Y309L
SUS 310S		Y310

Примечание: Среди присадочных металлов для переходного слоя те, которые содержит в себе Mo, Nb, желателно применять к плакирующему материалу, содержащему в себе Mo, Nb, соответственно. Желателно использовать Y309L, когда в связи с тонкого плакирующего слоя требуется избежать рассеяния углерода из основного металла.

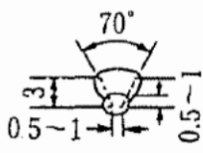
В случае наружной разделки кромок, сначала сварят первый слой со стороны основного металла с тем, чтобы наплавленный металл не был проплавлен до плакирующего слоя. Затем после завершения сварки со стороны основного металла вырубает плакирующий материал как можно меньше, пока не выставлен металл шва стороны основного металла. К сварке стороны плакирующего материала применяют присадочный металл, представленный в табл. 5.8. и по возможности понижают силу тока с тем, чтобы можно было сдерживать разбавление основного металла. В случае внутренней разделки кромок, варят основной металл с внутренней стороны до того, как оставлено 3 - 5 мм до переходного слоя. Затем в зависимости от ограничителей сварного соединения, деформации, толщины плакирующего материала определяют, или продолжить варить сторону плакирующего материала с использованием перечисленного в табл. 5.8 присадочного материала, или после вырубки корня шва сварят основной металл с обратной стороны и в конечном этапе сварят сторону плакирующего материала.

#### 5-4-5 Управление тепловложением

В случае сварки аустенитной нержавеющей стали при температуре диапазона 550 - 800°C. в частности. 650 - 700°C. происходит выделение хромовых карбидов на границах аустенитного зерна, что ухудшает коррозионную стойкость. Однако в случае Аргонодуговой сварки в качестве защитного газа часто применяется аргон, так что тепловложение. выражаемые формулой (ток x напряжение)/скорость. не велико и. следовательно, ухудшение коррозионной стойкости не велико. Кроме того, с целью дальнейшего уменьшения сварочного тепловложения практикуется разные методы ускорения охлаждения, такие как импульсно-дуговая сварка на слабом токе, принудительное охлаждение с использованием медного блока водяного охлаждения как подкладки и непосредственное водяное охлаждение околошовной зоны.

Межкристаллитную коррозию можно предотвратить полностью, если, охладив резко с температуры примерно 1100°C, дают карбидам раствориться в твердом состоянии в аустенитной структуре полностью. Однако во многих случаях крупных свариваемых конструкций эта обработка невозможна, так что требуется учитывать использование особо низкоуглеродистой нержавеющей стали, в которой содержание углерода крайне ограничено, нержавеющей стали, в которой содержание титана или ниобия стабилизирует карбиды, и пр. В табл. 5.9 представлены примеры режима Аргонодуговой сварки листов толщиной стенки 3 мм с описанием о напряжении дуги.

Табл. 5.9 Примеры режима Аргонодуговой сварки

Форма разделки кромок	Положение	Количество слоя	Сварной ток, А	Напряжение дуги, В	Диаметр электрода, мм	Диаметр присадочного металла, мм	Аргон, л/мин	Скорость сварки, мм/мин
	F	2	110 ~ 130	10 ~ 12	1.6	1.2 ~ 3.2	5 ~ 6	90 ~ 150
	V <sub>OH</sub>	2	100 ~ 110	10 ~ 12	1.6	1.2 ~ 3.2	5 ~ 6	85 ~ 130

### 5-5 СВАРКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВА

Алюминий и его сплав, точка плавления которых находится в пределах 480 - 660°C. представляют собой металл, крайне склонный к окислению, так что для них применяется исключительно дуговая сварка в среде инертного газа. Алюминий и его сплав, удельный

вес которых не велик и равен 2,7. удельная электропроводность и удельная теплопроводность которых велики, превосходят по свойству при низких температурах, коррозионной стойкости и перерабатываемости, и относятся к полезному материалу. Следовательно, они применяются к летательным аппаратам, железнодорожным подвижным составам, судам, резервуарам для хранения сжиженного природного газа, машинам для химической переработки, сосудам высокого давления, теплообменникам, холодильным машинам и т.д. Однако их коэффициент теплового расширения в 2 раза больше чем сталь, так что размер деформации при сварке склонен к увеличению.

**Табл. 5.10 Марки и химический состав присадочных материалов из алюминия и алюминиевого сплава (JIS Z3232-1986)**

Марка электрода BY: пруток WY: проволока	Химический состав, %											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	V,Zr	Ti	Прочие		Al
										От-дель-но	Итого	
A 1070 <sup>-BY</sup> <sub>-WY</sub>	0 20 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 25 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 04 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 03 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 03 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	— <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 04 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	0 03 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 03 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	99.70 <sup>и</sup> <sub>более</sub>
A 1100 <sup>-BY</sup> <sub>-WY</sub>	Si+Fe	1 0 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 05~ 0 20	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	—	0 10 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	—	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 15 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	99.00 <sup>и</sup> <sub>более</sub>
A 1200 <sup>-BY</sup> <sub>-WY</sub>	Si+Fe	1 0 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 05~ <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	—	0 10 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 15 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	99.00 <sup>и</sup> <sub>более</sub>
A 2319 <sup>-BY</sup> <sub>-WY</sub>	0 20 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 30 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	5 8~ 6 8	0 20~ 0 40	0 02 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	0 10 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	V 0.05~ 0 15 Zr 0.10~ 0 25	0 10~ 0 20	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 15 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	Ос- татки
A 4043 <sup>-BY</sup> <sub>-WY</sub>	4 5~ 6 0	0 8 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 30 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	0 10 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	0 20 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 15 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	Ос- татки
A 4047 <sup>-BY</sup> <sub>-WY</sub>	11 0~ 13 0	0 8 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 30 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 15 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 10 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	0 20 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	—	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 15 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	Ос- татки
A 5554 <sup>-BY</sup> <sub>-WY</sub>	0 25 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 40 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 10 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 05~ 1 0	2 4~ 3 0	0 05~ 0 20	0 25 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	0 05~ 0 20	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 15 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	Ос- татки
A 5654 <sup>-BY</sup> <sub>-WY</sub>	Si+Fe	0 45 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 01 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	3 1~ 3 9	0 15~ 0 35	0 20 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	0 05~ 0 15	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 15 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	Ос- татки
A 5356 <sup>-BY</sup> <sub>-WY</sub>	0 25 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 40 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 10 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 05~ 0 20	4 5~ 5 5	0 05~ 0 20	0 10 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	0 06~ 0 20	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 15 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	Ос- татки
A 5556 <sup>-BY</sup> <sub>-WY</sub>	0 25 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 40 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 10 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 50~ 1 0	4 7~ 5 5	0 05~ 0 20	0 25 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	0 05~ 0 20	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 15 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	Ос- татки
A 5183 <sup>-BY</sup> <sub>-WY</sub>	0 40 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 40 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 10 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 50~ 1 0	4 3~ 5 2	0 05~ 0 25	0 25 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	—	0 15~ <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 05 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	0 15 <sup>и</sup> <sub>менее</sub>	Ос- татки

При Аргодуговой сварке как источник питания применяют переменный ток, пользуясь эффектом очистки, разрушают пленку оксидов алюминия, которая покрывает поверхность основного металла тонким слоем и не склонна к расплавлению, и тем самым облегчают процесс сварки. В табл. 5.10 приведены присадочные металлы для Аргодуговой сварки алюминия и его сплава. Также в табл. 5.11 и 5.12 приведены диаметры присадочного металла и формы разделки кромок, на рис 5.25 и 5.26 представлены диапазоны режимов Аргодуговой сварки стыковых и тавровых соединений листов.

Кроме того, сочетание основных металлов с присадочными материалами также регламентируется в виде стандарта на производство работ по дуговой сварке в среде инертного газа, как представлено в табл. 5.13. Грязь и влага, прилипшая к поверхности присадочных металлов, грязь на разделках кромок, влажность в атмосфере может быть причиной образования раковин, так что следует обращать внимание на очистку разделок кромок, в частности, эксплуатацию и хранение присадочных металлов. В некоторых случаях понадобится предусмотреть сварочное помещение, в котором поддерживается низкая влажность для производства сварки.

**Табл. 5.11 Диаметры присадочных металлов и диапазоны сварочного тока (JIS Z3604-1993)**

Диаметр присадочного металла, мм		Диапазон сварочного тока, А
проволока	0.6	20-100
	0.8	20-150
	1.0	30-200
	1.2	40-250
	1.6	40-350
пруток	1.6	30-100
	2.0	60-130
	2.4	70-150
	3.2	130-150
	4.0	180-250
	5.0	240-360
	6.0	340

Примечание: Диаметры вольфрамовых электродов и диапазоны подходящего тока см. в табл. 4.4 «Переменный ток».

Табл. 5.12 Формы разделки кромок и размеры сварных соединений (JIS Z3604-1993)


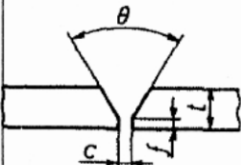
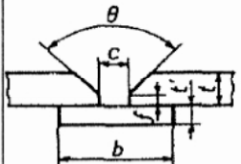
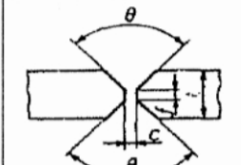
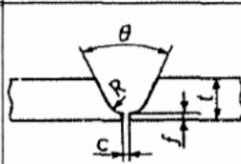
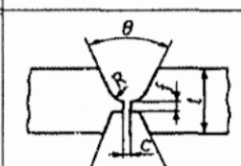
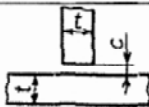
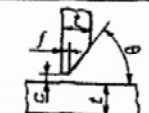
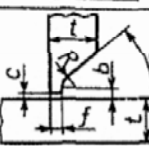
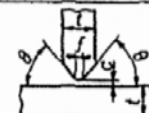
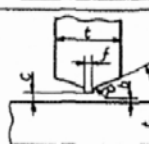
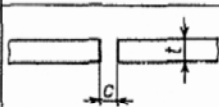
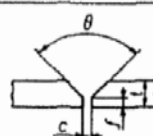
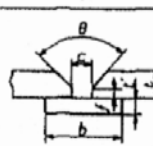
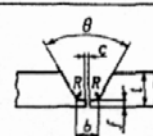
Вид сварного соединения		Форма разделки кромок	Толщина стенки, мм	Количество слоев наложения	Припуск на кромок, мм	Зазор в вершине разделки, мм	Угол скоса кромок	Примечание
Стыковое соединение листов	Без разделки кромок		$t \leq 6$	1 ~ 2	—	$c \leq 3$	—	Можно снимать фаски углов
	V-образная разделка кромок		$4 \leq t \leq 25$	1 и более	$f \leq 3$	$c \leq 3$	$\theta = 60 \sim 110^\circ$	После вырубки корня шва варят обратную сторону.
	V-образная разделка кромок с подкладкой		$4 \leq t$	1 и более	$f \leq 3$	$3 \leq c \leq 6$	$\theta = 45 \sim 70^\circ$	$b = 20 \sim 50$ $t' = 4 \sim 10$
	X-образная разделка кромок		$8 \leq t$	2 и более	$f \leq 2$	$c \leq 3$	$\theta = 50 \sim 90^\circ$	После вырубки корня шва варят обратную сторону.
	U-образная разделка кромок		$16 \leq t$	2 и более	$3 \leq f \leq 5$	$c \leq 2$	$\theta = 40 \sim 60^\circ$	$R = 4 \sim 8$ , используют подкладку или после вырубки корня шва варят обратную сторону.
	Двухсторонняя рюмкообразная разделка кромок		$16 \leq t$	2 и более	$f \leq 3$	$c \leq 2$	$\theta = 40 \sim 60^\circ$	$R = 4 \sim 8$ , после вырубки корня шва варят обратную сторону.

Табл. 5.12 (Продолжение)

Вид сварного соединения	Форма разделки кромок	Толщина стенки, мм	Количество слоев наложения	Притупление кромок, мм	Зазор в вершине разделки, мм	Угол скоса кромок	Примечание	
Тавровое соединение	Без разделки кромок, двусторонний угловой сварной шов		$1 \leq t$	1 и более	—	$c \leq 2$	—	Можно разделить кромок частично.
	V-образная разделка одной кромки		$4 \leq t \leq 12$	1 и более	$f \leq 2$	$c \leq 2$	$\theta = 50^\circ - 60^\circ$	Используют подкладку или после вырубки корня шва варят обратную сторону.
	Криволинейная разделка одной кромки		$10 \leq t$	1 и более	$2 \leq f \leq 4$	$c \leq 2$	$\theta = 40^\circ - 60^\circ$	$b \leq 6$ $R = 4 - 8$ , используют подкладку или после вырубки корня шва варят обратную сторону.
	K-образная разделка кромок		$8 \leq t \leq 25$	2 и более	$f \leq 2$	$c \leq 2$	$\theta = 50^\circ - 60^\circ$	После вырубки корня шва варят обратную сторону.
	Двусторонняя криволинейная разделка кромок		$16 \leq t$	2 и более	$f \leq 3$	$c \leq 2$	$\theta = 40^\circ - 60^\circ$	$b \leq 6$ $R = 4 - 8$ , после вырубки корня шва варят обратную сторону.
Стыковое соединение труб	Без разделки кромок		$t \leq 3$	1 ~ 2	—	$c \leq 2$	—	Можно снимать фаски углов
	V-образная разделка кромок		$3 \leq t \leq 15$ наруж. диам. 20 ~ 600	1 и более	$f \leq 2$	$c \leq 3$	$\theta = 80^\circ - 90^\circ$ (горизонтально-поворотные трубы) $\theta = 80^\circ - 110^\circ$ (вертикально-неповоротные, горизонтально-неповоротные трубы)	
	V-образная разделка кромок с подкладкой		$3 \leq t \leq 30$ наруж. диам. 30 ~ 1 200	1 и более	$f \leq 2$	$c \leq 6$	$\theta = 70^\circ - 80^\circ$ (горизонтально-поворотные трубы) $\theta = 70^\circ - 110^\circ$ (вертикально-неповоротные, горизонтально-неповоротные трубы)	$b \leq 20 - 50$ $t' = 2 - 5$
	U-образная разделка кромок		$3 \leq t \leq 30$ наруж. диам. 30 ~ 1 200	1 и более	$1 \leq f \leq 3$	$c \leq 3$	$\theta = 60^\circ - 70^\circ$	$b \leq 7$ $R = 3 - 5$ . При сварке МИА желательно растворять корень шва для наложения 1-го слоя сваркой ТИГ.



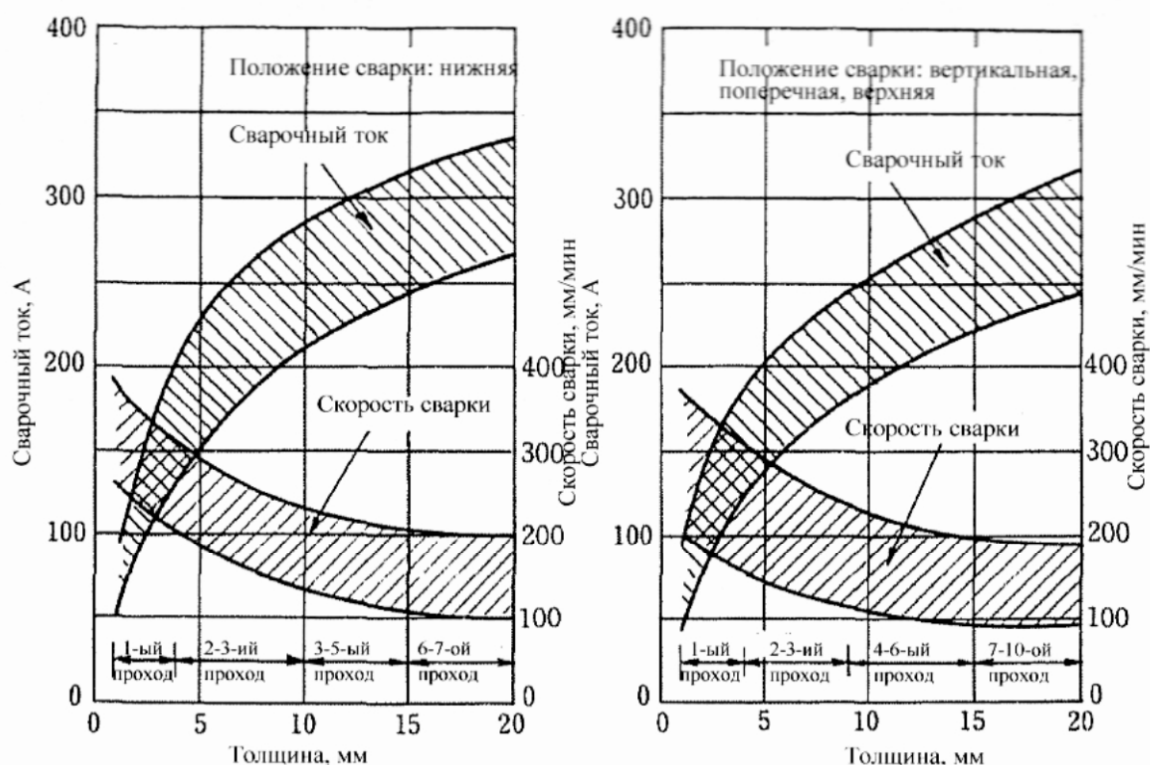


Рис. 5.25 Пределы режимов Аргонодуговой сварки стыковых соединений листов из алюминия или его сплава (JIS Z3604)

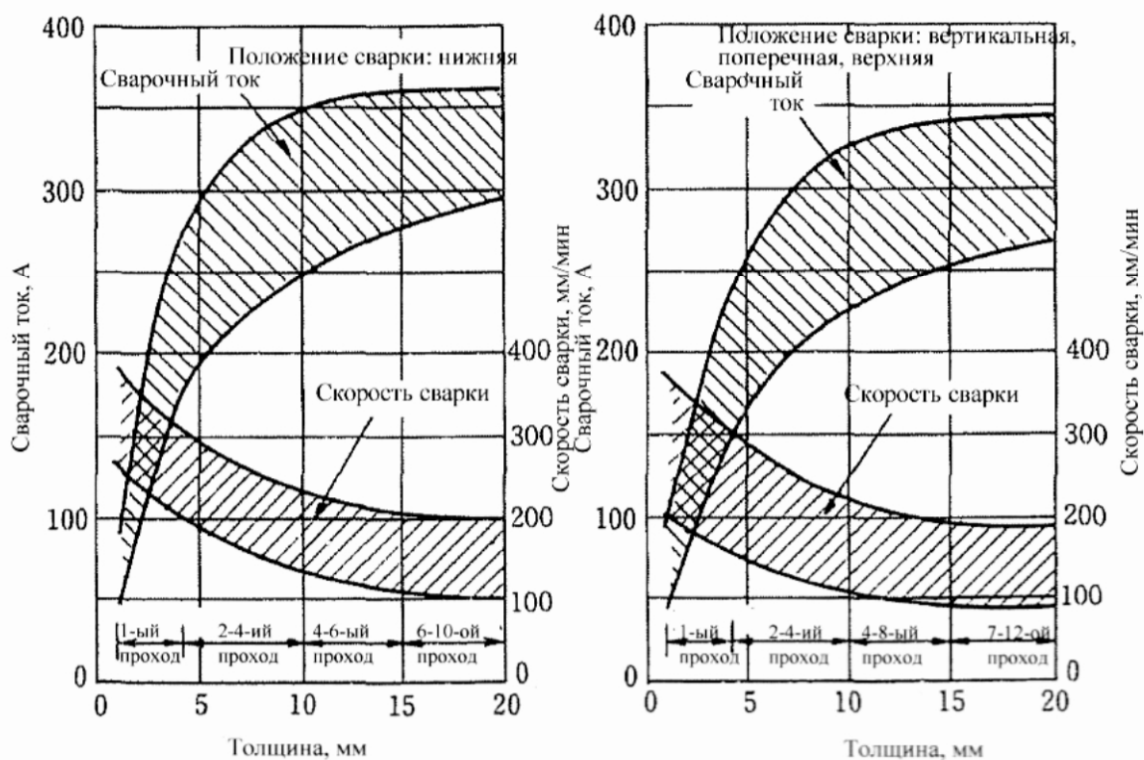


Рис. 5.26 Пределы режимов Аргонодуговой сварки тавровых соединений алюминия или его сплава (JIS Z3604)

Табл. 5.13 Руководство по выбору присадочных металлов по сочетанию основных материалов

ММ	АСТА	АС4D	АС4С ADC12	А 7003 А 7N01	А 6061 А 6N01 А 6063 А 6101	А 5086 А 5083 А 5056	А 5154 А 5254 А 5454	А 5052 А 5652	А 5005 А 5N01	А 2219	А 2014 А 2017	А 3004 А 3004	А 1200	А 1100 А 3003 А 3203	А 1070 А 1050
ММ	А 1070 А 1050	(2) (5) А 4043	(5) (6) А 4043	(2) (4) (5) А 5356	(5) (7) А 4043	(2) А 5356	(2) (4) (5) А 5356	(2) (5) А 4043	(1) (4) (5) А 1100	(4) (5) А 4145B	(2) (5) А 4043	(2) (5) А 4043	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 1100 А 3003 А 3203	(2) (5) А 4043	(6) А 4043	(5) (6) А 4043	(2) (4) (5) А 5356	(5) (7) А 4043	(2) А 5356	(2) (4) (5) А 5356	(2) (5) А 4043	(1) (4) (5) А 1100	(4) (5) А 4145B	(2) (5) А 4043	(2) (5) А 4043	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 1200	(2) (5) А 4043	(6) А 4043	(5) (6) А 4043	(2) (4) (5) А 5356	(5) (7) А 4043	(2) А 5356	(2) (4) (5) А 5356	(2) (5) А 4043	(1) (4) (5) А 1100	(4) (5) А 4145B	(2) (5) А 4043	(2) (5) А 4043	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 3004	(2) А 4043	(5) А 4043	(5) (6) А 4043	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 4043	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(4) (5) А 4145B	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 2014 А 2017	—	(6) А 2319	(5) (6) А 4043	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 4043	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(9) А 4145B	(9) А 4145B	(9) А 4145B	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 2219	(5) А 4043	(4) (5) (6) А 2319	(4) (5) А 4043	(2) (3) А 5356	(5) (6) А 4043	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(4) (5) (6) А 2319	(4) (5) (6) А 2319	(4) (5) (6) А 2319	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 5005 А 5N01	(2) (3) А 5356	(5) А 4043	(5) А 4043	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 4043	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(4) (5) А 4145B	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 5052 А 5652	(2) (3) А 5356	(5) А 4043	(2) (3) (5) А 4043	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 4043	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(4) (5) А 4145B	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 5154 А 5254 А 5454	(2) (3) А 5356	—	(2) (3) (5) А 4043	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 4043	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(4) (5) А 4145B	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 5086 А 5083 А 5056	(2) А 5356	—	(2) (4) (5) А 5356	(2) А 5356	(2) А 5356	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(4) (5) А 4145B	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 6061 А 6N01 А 6063 А 6101	(2) (3) (4) (5) А 5356	(5) (6) А 4043	(2) (3) (5) А 4043	(2) (3) (4) (5) А 5356	(2) (3) (4) А 4043	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(4) (5) А 4145B	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 7003 А 7N01	(2) (3) А 5356	(5) А 4043	(2) (3) (5) А 4043	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 4043	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(4) (5) А 4145B	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 4C4C ADC12	(2) (3) (5) А 4043	(5) (6) А 4043	(5) (6) А 4043	(2) (3) (5) А 4043	(2) (3) (4) А 4043	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(4) (5) А 4145B	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 4C4D	—	(5) (6) (8) А 4043	(5) (6) (8) А 4043	(2) (3) (5) А 4043	(2) (3) (4) А 4043	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(4) (5) А 4145B	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070
А 4C7A	(2) (3) (8) А 5356	(2) (3) (8) А 5356	(2) (3) (8) А 5356	(2) (3) (5) А 4043	(2) (3) (4) А 4043	(2) А 5356	(2) (3) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(4) (5) А 4145B	(2) (3) (4) А 5356	(2) (3) (4) А 5356	(1) (4) (5) А 1200	(1) (4) (5) А 1100	(1) (4) (5) А 1070

#### Примечание

- (1) Можно применять и А1100 или А 1200.
- (2) Можно применять и А 5356, А 5556 или А 5183.
- (3) Можно применять и А 5654 или 5554.
- (4) Можно применять А 5043 в зависимости от назначения.
- (5) Можно применять и А 4047
- (6) Можно применять и ВА4145В.
- (7) Если не допускается разность цветного тона после анодного оксидирования, предпочтено применять А 5356.
- (8) Можно применять и присадочный металл с тем же составом, что и основной металл.
- (9) Можно применять и А 2319.

#### Справка

1. Данное сочетание действительно на общие сварные конструкции, используемые при комнатной или низкой температуре. Если рабочая температура может превысить 65°С, следует избежать использования А5356, А5183, А 5556 и А5654.
2. Сокращены условные обозначения ВУ и WУ, которые указывают присадочный пруток и проволоку.
3. Хотя сокращены условные обозначения, указывающие форму тянутого металла, сочетание действительно на любую форму.
4. В некоторых случаях ВА4145В, регламентированный стандартом JIS Z3263, полезен как присадочный металл для сплава на основе 2000.

## 5-6 СВАРКА МЕДИ И ЕЕ СПЛАВА

Медь и ее сплав благодаря превосходству по электропроводности и теплопроводности применяются как электрические материалы, и благодаря превосходству по коррозионной стойкости и технологичности находят широкое применение в установках жидкого кислорода, опреснительных установках, машинах химической переработки, судовых частях и пр. Точка плавления меди составляет 1083°С, то есть находится почти в

середине точки плавления стали в 1500°C и точки плавления алюминия в 660°C. Теплопроводность меди в 8 раз больше, чем у мягкой стали, почти в 2 раза больше, чем у алюминия. Следовательно, при Аргонодуговой сварке требуется достаточный подогрев. Однако в случае медного сплава, теплопроводность которого меньше, чем медь, не требуется такая высокая температура подогрева, как в случае меди.

Меди и ее сплав делятся на разные марки, как регламентирует стандарт JIS H3 100. Чтобы получать бездефектные сварные соединения, нужно использовать бескислородную медь или раскисленную медь, в которой содержание кислорода невелико. Присадочные металлы, применяемые при сварке меди и ее сплава, приведены в табл. 5.14, однако, как правило, применяют присадочные металлы, которые по составу идентичны основному металлу. Кроме того, для улучшения потока расплава-металла и сплавления с основным металлом применяют и специализированные для Аргонодуговой сварки присадочные прутки, поверхность которых покрыта тонким слоем флюса.

Сварку TIG меди и ее сплава ведут с учетом, что;

- ❖ В связи с тем, что теплопроводность в 8 раз больше чем сталь, вложенное при сварке тепло резко рассеивается, так что сплавление металла шва с основным металлом плохо и склонны образовываться несплавление и шлаковые включения. Чтобы предотвратить эти дефекты, хотя все зависит от материала основного металла, толщины стенки, формы разделки кромок и материала присадочного металла, в случае меди необходимы предварительный подогрев и температура перед наложением последующего слоя обычно до 350 - 500°C, иногда примерно до 600°C.
- ❖ В связи с повышенным расширением и усадкой, которые в 1.5 раза больше чем. в у стали, на сварных швах сосредотачивается напряжение, что может привести к образованию трещин. Так что следует рассматривать форму разделки кромок, способ установки ограничителей и при производстве многослойной сварки учитывать и выполнять проковку по каждому проходу. Проковка особенно полезна для низколегированных материалов.
- ❖ Поддерживать прилегающий к разделку участок и присадочный металл очищенными от оксидной пленки, масла и пр.. и тем самым заранее устранить причину возможных дефектов, таких как раковина и несплавление.

Табл. 5.14 Химический состав присадочных материалов из меди и ее сплава  
(JIS Z3341-1993)

Характеризующий состав	Марка	Химический состав, %											
		Cu (вкл. ячая Ag)	Sn	Si	Mn	P	Pb	Al	Fe	Ni	Zn	Ti	S
Медь	YCu	98.0 и бо- лее	1.0 и ме- нее	0.5 и ме- нее	0.5 и ме- нее	0.15 и ме- нее	•0.02 и ме- нее	•0.01 и ме- нее	•	•	•	—	—
Кремнистая бронза	YCuSi A	94.0 и бо- лее	1.5 и ме- нее	2.0 и ме- нее ~2.8	1.5 и ме- нее	•	•0.02 и ме- нее	•0.01 и ме- нее	0.5 и ме- нее	•	1.5 и ме- нее	—	—
	YCuSi B	93.0 и бо- лее	1.5 и ме- нее	2.8 и ме- нее ~4.0	1.5 и ме- нее	•	•0.02 и ме- нее	•0.01 и ме- нее	0.5 и ме- нее	•	1.5 и ме- нее	—	—
Фосфористая бронза	YCuSn A	Ос- татк и	4.0 и ме- нее ~6.0	•	•	0.10 и ме- нее ~0.35	•0.02 и ме- нее	•0.01 и ме- нее	•	•	•	—	—
	YCuSn B	Ос- татк и	6.0 и ме- нее ~9.0	•	•	0.10 и ме- нее ~0.35	•0.02 и ме- нее	•0.01 и ме- нее	•	•	•	—	—
Алюминиевая бронза	YCuAl	Ос- татк и	—	0.10 и ме- нее	—	—	•0.02 и ме- нее	9.0 и ме- нее ~11.0	1.5 и ме- нее	•	•0.02 и ме- нее	—	—
Специальная алюминиевая бронза	YCuAlNi A	Ос- татк и	—	0.10 и ме- нее	0.5 и ме- нее ~3.0	•	•0.02 и ме- нее	7.0 и ме- нее ~11.0	2.0 и ме- нее	0.5 и ме- нее ~3.0	•0.10 и ме- нее	—	—
	YCuAlNi B	Ос- татк и	—	0.10 и ме- нее	0.5 и ме- нее ~3.0	•	•0.02 и ме- нее	7.0 и ме- нее ~9.0	2.0 и ме- нее ~5.0	0.5 и ме- нее ~3.0	•0.10 и ме- нее	—	—
	YCuAlNi C	Ос- татк и	—	0.10 и ме- нее	0.6 и ме- нее ~3.5	•	•0.02 и ме- нее	8.5 и ме- нее ~9.5	3.0 и ме- нее ~5.0	4.0 и ме- нее ~5.5	•0.10 и ме- нее	—	—
Медноникелевый сплав	YCuNi-1	Ос- татк и	•	0.20 и ме- нее	0.5 и ме- нее ~1.5	0.02 и ме- нее	•0.02 и ме- нее	—	0.5 и ме- нее ~1.5	9.0 и ме- нее ~11.0	•	0.1 и ме- нее ~0.5	0.01 и ме- нее
	YCuNi-3	Ос- татк и	•	0.15 и ме- нее	1.0 и ме- нее	0.02 и ме- нее	•0.02 и ме- нее	—	0.40 и ме- нее ~0.75	29.0 и ме- нее ~32.0	•	0.2 и ме- нее ~0.5	0.01 и ме- нее

\*: суммарная доля элемента не более 0,5%.

- ❖ Сварку ведут на постоянном токе с отрицательной полярностью электрода, однако в случае алюминиевой бронзы и пр. для предотвращения включения оксида алюминия сварку ведут на переменном токе. При сварке латуни испаряющийся цинк, превратившись в оксид цинка белого цвета, покрывает переднюю сторону зоны сварки и тем самым ухудшает обрабатываемость, так что применяют присадочные материалы из кремнистой бронзы, фосфористой бронзы или алюминиевой бронзы, которые не содержат цинк. Среди них присадочный материал из алюминиевой бронзы применяют, когда особо требуется прочность.
- ❖ Как вредные для сварки элементы можно перечислять свинец, сурьму и висмут. Эти элементы, образовав на границах зерна эвтектическую смесь и реагируя на сварной жар и усадочное напряжение, могут повлечь за собой трещины. Повышенное содержание фосфора также может привести к трещине. Не будет преувеличением сказать, что повышенное содержание свинца не способствует производству сварки.
- ❖ Типичным инородным материалом, который сваривается с медью или ее сплавом, является мягкая сталь. При этом медь почти не растворяет железо в твердом состоянии и получается сварной шов структуры смешанных меди и железа, что повлечет за собой резко повышенную хрупкость. В границы зерна основного материала из мягкой стали, подвергающегося влиянию от тепла, попадает медь, что причиняет трещины. Чтобы предотвратить эти дефекты, целесообразно заранее выполнять наплавку медного сплава на поверхность разделки кромок стороны мягкой стали, по возможности уменьшая

проплавление, или, сварив первый слой никелем или монелсм. второй слой и дальше сваривать заданным присадочным металлом.

## **5-7 СВАРКА ПРОЧИХ СПЛАВОВ**

### **5-7-1 Титан**

Благодаря превосходству по коррозионной стойкости титан применяется к коррозионно-стойким деталям в химической промышленности, деталям летательного аппарата, материалам, устойчивым против коррозии от морской воды, и пр. Титан при высокой температуре, реагируя на кислород или азот, склонен к повышению своей хрупкости, так что при сварке нельзя выставлять зону сварки и зону, нагретой до высокой температуры, на воздух. Следовательно, необходимо принять меры по предотвращению окисления и азотирования зоны сварки не только в процессе сварки, но и в процессе охлаждения, установив на горелку для Аргонодуговой сварки приспособление для защиты вспомогательного газа и подавая аргон в большом количестве. На рис. 5.27 представлены примеры этих меры.

Перед началом сварки тщательно протирают поверхность разделки кромок, прилегающую к ней зону и присадочный металл ацетоном, спиртом или т.п. Чтобы удалить оксидную пленку, выполняют химическую переработку жидкой смесью из 2 - 4% фтористоводородной кислоты и 30 -40% азотной кислоты при температуре не больше 60°C в течение порядка 30 сек, потом незамедлительно промывают в проточной воде в течение порядка 1 часа, протирают ацетоном и просушивают. Также для предотвращения возникновения раковин полезна полировка стальной щеткой, наждачной бумагой или т.п.

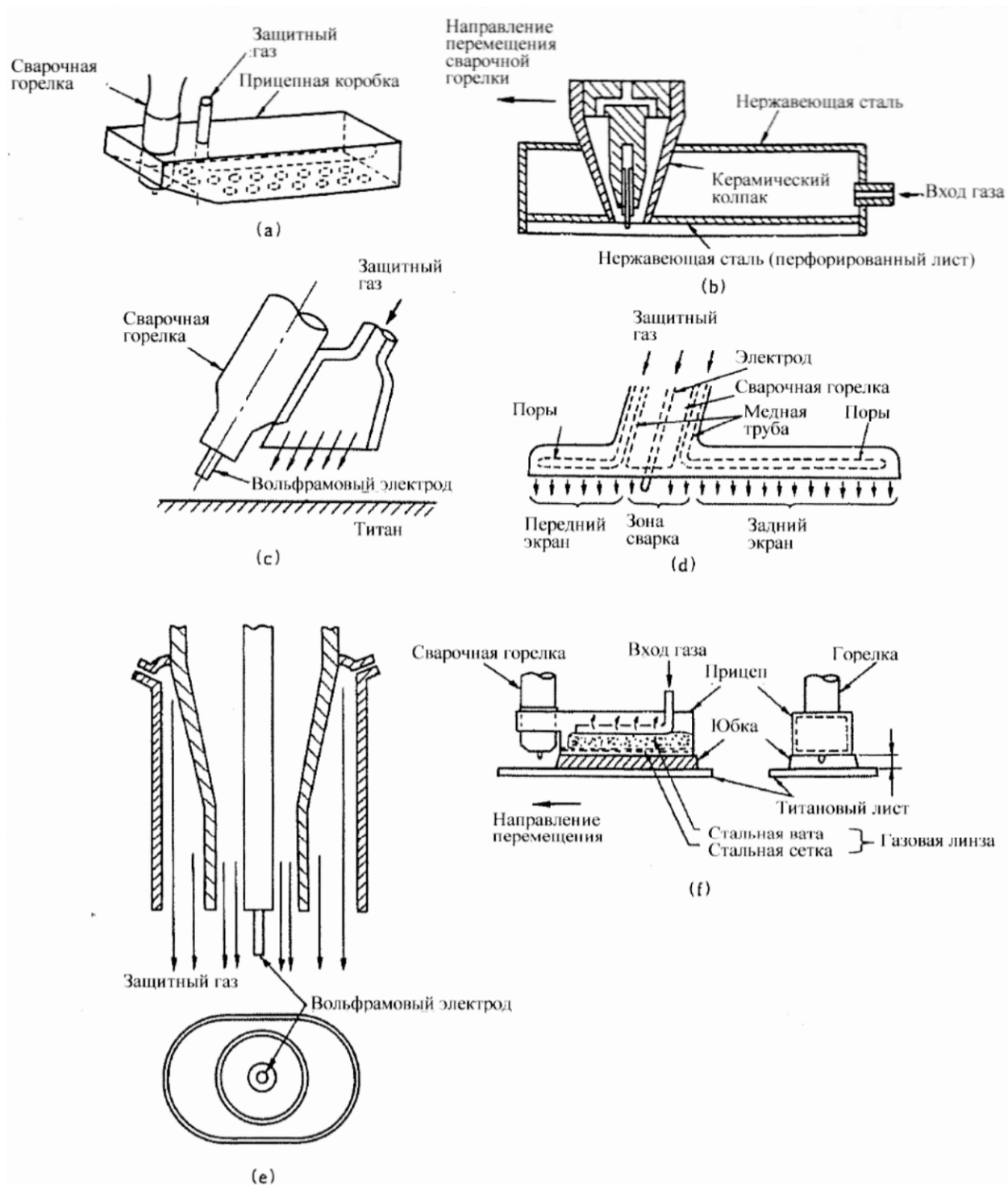


Рис. 5. 27 Приспособления для защиты вспомогательного газа титана

Табл. 5.15 Присадочные материалы из титана и его сплава (JIS Z3331-1988)

Характеризующий состав	Марка Верхняя строка: прут Нижняя строка: проволока	Химический состав, %									
		H	O	N	C	Fe	Pd	Al	V	Sn	Ti
Титан	УТВ 28 УТW 28	0.008 и менее	0.10 и менее	0.02 и менее	—	0.20 и менее	—	—	—	—	Остатки
	УТВ 35 УТW 35	0.008 и менее	0.15 и менее	0.02 и менее	—	0.20 и менее	—	—	—	—	Остатки
	УТВ 49 УТW 49	0.008 и менее	0.25 и менее	0.02 и менее	—	0.30 и менее	—	—	—	—	Остатки
	УТВ 28 Pd УТW 28 Pd	0.008 и менее	0.10 и менее	0.02 и менее	—	0.20 и менее	0.12~0.25	—	—	—	Остатки
Титано-палладиевый сплав	УТВ 35 Pd УТW 35 Pd	0.008 и менее	0.15 и менее	0.02 и менее	—	0.20 и менее	0.12~0.25	—	—	—	Остатки
	УТВ 49 Pd УТW 49 Pd	0.008 и менее	0.25 и менее	0.02 и менее	—	0.30 и менее	0.12~0.25	—	—	—	Остатки
	УТАВ 325 УТАW 325	0.0125 и менее	0.12 и менее	0.02 и менее	0.05 и менее	0.30 и менее	—	2.50~3.50	2.00~3.00	—	Остатки
	УТАВ 640 УТАW 640	0.0125 и менее	0.20 и менее	0.05 и менее	0.10 и менее	0.30 и менее	—	5.50~6.75	3.50~4.50	—	Остатки
Титановый сплав	УТАВ 640E УТАW 640E	0.0125 и менее	0.13 и менее	0.05 и менее	0.08 и менее	0.25 и менее	—	5.50~6.50	3.50~4.50	—	Остатки
	УТАВ 525 УТАW 525	0.020 и менее	0.20 и менее	0.05 и менее	0.10 и менее	0.50 и менее	—	4.00~6.00	—	2.00~3.00	Остатки

Титановые присадочные материалы для сварки классифицируются стандартом на них, приведенном в табл. 5.15. не только по палладию, алюминию, ванадию и прочему составу сплава, но и по содержанию кислорода. Присадочные материалы оказываются самым склонными к загрязнению, когда подаются в дугу высокой температуры, так что

следует обращать тщательное внимание, чтобы в процессе сварки присадочные материалы не выходили за пределы защитного газа и не соприкасались с атмосферным воздухом.

Аргонодуговую сварку титана целесообразно вести на постоянном токе с положительной полярностью (DCEN), дугу зажигают, совместно применяя высокую частоту. Как электрод предпочитают применять вольфрамовый электрод. В табл. 5.16 приведены режимы Аргонодуговой сварки титана. Когда сварные швы загрязнены кислородом или азотом, степень окисления или азотирования можно определить по состоянию окрашивания. Если участки приобрели темно-синий цвет, то их нужно удалить и повторно сварить.

В специальных случаях используют сварочную камеру и в ней производят сварку, вытянув из нее воздух полностью и заполнив ее инертным газом. Если форма и размеры свариваемых объектов ограничиваются размерами сварочной камеры, можно исключить воздействие воздуха полностью, что способствует идеальной сварке.



Табл. 5.16 Режимы Аргонодуговой сварки титана (DCEN)

Толщина стенки, мм	Форма разделки кромок	Число проходов	Размеры разделки кромок			Диаметр электродов, мм	Сварочный ток, А	Диаметр присадочного материала	Расход аргона, л/мин			Диаметр сопла, мм
			Зазор в вершине разделки, мм	Припуск на кромок, мм	Угол $\theta$ , град.				Горелка	Вспомогательный газ	Обратная сторона	
0.5		1	—	0.5	—	0.8	20~30	0.8	6~8	15~18	20~30	6.4
		1	—	—	—	0.8	25~35	—	8~12	15~18	20~30	"
0.8		1	—	0.8	—	0.8	30~40	0.8	8~12	16~20	20~30	8.0
		1	—	—	—	1.2	30~40	—	8~12	16~18	20~30	"
1.5		1	—	1	—	1.6	50~60	1.6	11~15	20~25	20~35	9.6
		1	—	1.5	—	1.6	50~60	1.6	11~15	20~25	20~35	"
		2	—	1.5	45~60	2.4	70~100	2.4	11~15	25~35	30~40	"
3.0		1	—	3	—	2.4	90~120	2.4	11~15	25~35	30~40	"
		3	0~2	1.5	45~90	3.2	100~130	2.4	12~16	25~35	30~40	"
5.0		2	—	5	—	3.2	110~140	2.4	12~16	25~35	30~40	"
10.0		Лицев. сторона 2	0~2	1.5	60~90	3.2	120~150	2.4	12~16	25~35	30~40	"
		Обрат. сторона 2	0~2	1.5	60~90	3.2	120~150	2.4	12~16	25~35	30~40	"

### 5-7-2 Никель и его сплав

Благодаря превосходной теплостойкости и коррозионной стойкости, никель и его сплав широко применяются при едкой окружающей среде. В частности, никель выдерживает каустик и прочие щелочные растворы и применяется как щелочестойкие

материалы. Затруднение при сварке заключается в образовании раковин и горячих трещин. Сварку TIG ведут на постоянном токе с положительной полярностью (DCEN). Чтобы предотвратить раковины целесообразно применять присадочные материалы с пониженным содержанием кислорода и азота, с целью раскисления и денитрификации к присадочным материалам добавлять алюминий, титан и пр. Для предотвращения горячих трещин, понизив содержание серы, углерода, кислорода, фосфора, кремния, предотвращают образование эвтектической смеси с низкой точкой плавления.

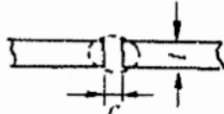
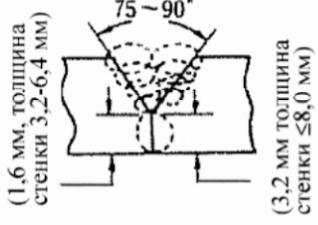
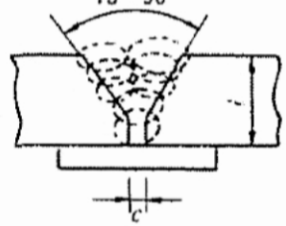
Монель, содержащий в себе никель в доле 63 - 70%, медь 26 - 34%, железо, марганец и кремний в незначительной доле, хорошо выдерживает воздействия воздуха и морской воды, и превосходит по кислотостойкости. так что находит широкое применение в судостроении, пищевой, бумажной, фармацевтической, нефтеперерабатывающей и прочих химических промышленности. При сварке монеля затруднение заключается в раковинах и микротрещинах. Для предотвращения их образования целесообразно уменьшать содержание примесей и добавлять алюминий и титан в подходящем количестве так же, как в случае никеля. Инконель, содержащий в себе никель в доле 76%, хром 16%, железо 8%. превосходит по перерабатываемости, поддается горячей и холодной обработке, превосходит по коррозионной стойкости, выдерживает окисление при высокой температуре не менее 900°C и считается превосходящим материалом. Он находит широкое применение в летательных аппаратах, ядерных реакторах, молочном хозяйстве и различных химических промышленности. Затруднение при сварке заключается в горячих трещинах. Добавлением магния, кальция и пр. понижают чувствительность к горячей трещине. Марка и состав присадочных материалов из никеля и его сплава и режимы сварки с их применением приведены в табл. 5.17 и 5.18.

Эти сплавы, в общем, обладают широкой зоной температуры затвердевания и склонны к трещине вследствие того, что на границах зерна разделяются примеси с низкой точкой плавления. В связи с этим имеет немаловажное значение не только выбор свариваемого материала, но и понижать при сварке температуру перед наложением последующего слоя, избегать колебательного движения и вести сварку по возможности на слабом токе и узким валиком. Кроме того, при сварке стыковых соединений обратная сторона склонна к загрязнению атмосферным воздухом с последующим образованием раковин, так что немаловажное значение имеет использовать подкладку или вести сварку, подавая защитный газ с обратной стороны.

Табл. 5.17 Присадочные материалы из никеля и его сплава (JIS Z3334-1988)

Марка	Химический состав, %															
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu	Cr	Fe	Mo	Nb+Ta	Co	Al	Ti	V	W
YNi-1	0.15 и ме- нее	0.75 и ме- нее	1.0 и ме- нее	0.040 и ме- нее	0.015 и ме- нее	93.0 и бо- лее	0.25 и ме- нее	—	1.0 и ме- нее	—	—	—	1.5 и ме- нее	1.0 и ме- нее	—	—
YNiCu-1	0.15 и ме- нее	1.25 и ме- нее	4.0 и ме- нее	0.020 и ме- нее	0.015 и ме- нее	62.0 и ме- нее	Ос- татки	—	2.5 и ме- нее	—	3.0 и ме- нее	—	1.0 и ме- нее	1.0 и ме- нее	—	—
YNiCu-7	0.15 и ме- нее	1.25 и ме- нее	4.0 и ме- нее	0.020 и ме- нее	0.015 и ме- нее	62.0 и ме- нее	Ос- татки	—	2.5 и ме- нее	—	—	—	1.25 и ме- нее	1.5 и ме- нее	—	—
YNiCr-3	0.10 и ме- нее	0.50 и ме- нее	2.5 и ме- нее	0.030 и ме- нее	0.015 и ме- нее	67.0 и бо- лее	0.50 и ме- нее	18.0 и ме- нее	3.0 и ме- нее	—	2.0 и ме- нее	—	—	0.75 и ме- нее	—	—
YNiCrFe-5	0.08 и ме- нее	0.35 и ме- нее	1.0 и ме- нее	0.030 и ме- нее	0.015 и ме- нее	70.0 и бо- лее	0.50 и ме- нее	14.0 и ме- нее	6.0 и ме- нее	—	1.5 и ме- нее	—	—	—	—	—
YNiCrFe-6	0.08 и ме- нее	0.35 и ме- нее	2.0 и ме- нее	0.030 и ме- нее	0.015 и ме- нее	67.0 и бо- лее	0.50 и ме- нее	14.0 и ме- нее	8.0 и ме- нее	—	—	—	—	2.5 и ме- нее	—	—
YNiMo-1	0.08 и ме- нее	1.0 и ме- нее	1.0 и ме- нее	0.025 и ме- нее	0.030 и ме- нее	Ос- татки	0.50 и ме- нее	1.0 и ме- нее	4.0 и ме- нее	26.0 и ме- нее	—	2.5 и ме- нее	—	—	0.20 и ме- нее	1.0 и ме- нее
YNiMo-3	0.12 и ме- нее	1.0 и ме- нее	1.0 и ме- нее	0.040 и ме- нее	0.030 и ме- нее	Ос- татки	0.50 и ме- нее	4.0 и ме- нее	4.0 и ме- нее	23.0 и ме- нее	—	2.5 и ме- нее	—	—	0.60 и ме- нее	1.0 и ме- нее
YNiMo-7	0.02 и ме- нее	0.10 и ме- нее	1.0 и ме- нее	0.040 и ме- нее	0.030 и ме- нее	Ос- татки	0.50 и ме- нее	1.0 и ме- нее	2.0 и ме- нее	26.0 и ме- нее	—	1.0 и ме- нее	—	—	—	1.0 и ме- нее
YNiCrMo-1	0.05 и ме- нее	1.0 и ме- нее	1.0 и ме- нее	0.040 и ме- нее	0.030 и ме- нее	Ос- татки	1.5 и ме- нее	21.0 и ме- нее	18.0 и ме- нее	5.5 и ме- нее	1.75 и ме- нее	2.5 и ме- нее	—	—	—	1.0 и ме- нее
YNiCrMo-2	0.05 и ме- нее	1.0 и ме- нее	1.0 и ме- нее	0.040 и ме- нее	0.030 и ме- нее	Ос- татки	0.50 и ме- нее	20.5 и ме- нее	17.0 и ме- нее	8.0 и ме- нее	—	0.50 и ме- нее	—	—	—	0.20 и ме- нее
YNiCrMo-3	0.10 и ме- нее	0.50 и ме- нее	0.50 и ме- нее	0.020 и ме- нее	0.015 и ме- нее	58.0 и бо- лее	0.50 и ме- нее	20.0 и ме- нее	5.0 и ме- нее	8.0 и ме- нее	3.15 и ме- нее	—	0.40 и ме- нее	0.40 и ме- нее	—	—
YNiCrMo-4	0.02 и ме- нее	0.08 и ме- нее	1.0 и ме- нее	0.040 и ме- нее	0.030 и ме- нее	Ос- татки	0.50 и ме- нее	14.5 и ме- нее	4.0 и ме- нее	15.0 и ме- нее	—	2.5 и ме- нее	—	—	0.35 и ме- нее	3.0 и ме- нее
YNiCrMo-8	0.03 и ме- нее	1.0 и ме- нее	1.0 и ме- нее	0.030 и ме- нее	0.030 и ме- нее	47.0 и ме- нее	0.7 и ме- нее	23.0 и ме- нее	Ос- татки	5.0 и ме- нее	—	—	—	0.70 и ме- нее	—	—
YNiFeCr-1	0.05 и ме- нее	0.05 и ме- нее	1.0 и ме- нее	0.030 и ме- нее	0.030 и ме- нее	38.0 и ме- нее	1.50 и ме- нее	19.5 и ме- нее	22.0 и ме- нее	2.5 и ме- нее	—	—	0.20 и ме- нее	0.60 и ме- нее	—	—

Табл. 5.18 Примеры режимов сварки никелевого сплава

Форма разделки кромок	Размеры		Диаметр присадочного материала, мм	Сварочный ток, А	Число слоев
	Толщина стенки $t$ , мм	Зазор в вершине разделки $c$ , мм			
	1.6	0.8	1.6	60~90	1
	2.0	1.0	2.0	100~125	1~2
	2.4	1.6	2.4		
<p>Без подкладки</p> 	3.2	0	3.2	100~125	1~2
	4.0	0	4.0	130~175	3
	4.8	0	4.8		
	6.4	0	3.2		
	9.5	0	3.2 4.0	140~200	3
	12.7	0	3.2 4.0	200~250	5
<p>С подкладкой</p> 	3.2	2.0	3.2	100~125	1~2
	4.0	3.2	4.0	130~175	3
	4.8	3.2	4.8		
	6.4	3.2	3.2		
	9.5	3.2	3.2 4.0	140~200	3
	12.7	3.2	3.2 4.0	200~250	5

## **МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ (СИ)**

Применение Международной системы единиц (СИ) стало главным направлением в мировой практике. В Японии в 1974 г. введена СИ с переходом на третий этап в 1988 г.

Введение СИ ставит своей целью унификацию неметрической и метрической систем единиц в Международную систему единицы для содействия плавному развитию торговли со странами мира и обмена технологиями и информацией.

В последние годы в области сварки и других сферах промышленности прослеживается тенденция поэтапного введения единиц по СИ. При сложившейся обстановке автор старается в настоящей серии вводных курсов по сварке по возможности употреблять единицы по СИ. В описании после традиционных единиц ставятся единицы по СИ в скобках для лучшего понимания значения введения единиц по СИ. Для справки автор попытается в сжатой форме изложить единицы по СИ, тесно связанные со сваркой.

### **1. ДЕСЯТИЧНЫЕ И ДОЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ (СИ)**

#### **1.1 Приставки единиц СИ**

Приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц от единиц СИ (см. табл. 2).

#### **1.2 Образование десятичных кратных и дольных единиц от единиц СИ и применение**

(1) Обозначение приставок принимается как единое целое с обозначением, следующим за ними.

Пример:  $1 \text{ см}^3 = (10^{-2} \text{ м})^3 = 10^{-6} \text{ м}^3$

$1 \text{ мксек}^{-1} = (10^{-6} \text{ сек})^{-1} = 10^{-6} \text{ сек}^{-1}$

(2) Составные приставки не должны применяться. Название десятичных кратных и дольных единиц массы составляется из слова «грамм» с приставкой.

Пример: Вместо микрокилограмма (мккг) употребляется миллиграмм (мг).

(3) Кратные и дольные единицы выбираются такими, чтобы число было уложено в пределы практически удобных. Как правило, число выбирается так, чтобы оно было уложено между 0.1 и 1000.

Пример:  $1.2 \times 10^4 \text{ Н}$  следует описать: 12 кН. 0,00394 м следует описать: 3.94 мм.

(4) Для составных единиц СИ употребляется только одна приставка.

### **2. ОПИСАНИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЕДИНИЦ И ЧИСЕЛ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ВЕЛИЧИН**

(1) Для печати обозначения единиц употребляется прямой шрифт независимо от прочих буквенных знаков в тексте, причем они не употребляются во множественном числе и точка (знак препинания в конце предложения) не ставится.

(2) В случае большого количества разрядов числа количественной величины оно разделяется по трем разрядам с пробелом на 1/4 ширины шрифта. Нельзя расставлять знаки препинания, такие как запятая.

Пример:  $1 \text{ кгс/м}^2 = 9,806 \text{ 65 Па}$

1 день = 24 часа = 86 400 секунд

(3) Если производная единица образуется от произведения двух и более единиц, то лучше описать следующим образом.

Пример: Н•м

В случае, если употребляется то же обозначение единицы, что и обозначение приставки, надо следить за тем, чтобы не перепутать их.

Пример: Миллиньютон мН и Ньютон-метр Н•м (Нельзя описывать м•Н.)

(4) Если производная единица образуется от частного от деления одной единицы на другую, то надо описать любым из следующих способов.

Пример: м/сек и м•сек<sup>-1</sup>

В одной строке нельзя употреблять две и более косые линии (такие как м/сек) без заключения в скобки. В сложном случае следует употреблять десятичную дробную единицу или скобки.

Пример: Ватт в метр • Кельвин: Вт/(м•К) или Вт•м<sub>1</sub>•К<sub>1</sub>

Основные единицы СИ			Приставки для образования кратных и дольных единиц от единиц СИ		
Величина	Наименование	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение
Длина	метр	м	10 <sup>12</sup>	тера	Т
Масса	килограмм	кг	10 <sup>9</sup>	гига	Г
Время	секунда	с	10 <sup>6</sup>	мега	М
Сила электрического тока	ампер	А	10 <sup>3</sup> 10 <sup>2</sup>	кило гекто	к Г
Термодинамическая температура	кельвин	К	10	дека	да
			10 <sup>-1</sup>	деци	Д
Количества вещества	моль	моль	10 <sup>-2</sup>	санتي	С
Сила света	кандела	кд	10 <sup>-3</sup>	милли	м
			10 <sup>-6</sup>	микро	мк
			10 <sup>-9</sup>	нано	н
			10 <sup>-12</sup>	пико	п

Производные единицы СИ			
Величина	Наименование	Обозначение	Примечание
Площадь	квадратный метр	м <sup>2</sup>	
Объем	кубический метр	м <sup>3</sup>	Возможно применять 1 л=10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>
Угловая скорость	радиан в секунду	рад/с	
Скорость	метр в секунду	м/с	
Ускорение	метр на секунду в квадрате	м/с <sup>2</sup>	
Частота период.	герц	Гц	1 Гц 1 с <sup>-1</sup>
Плотность	килограмм на кубический метр	кг/м <sup>3</sup>	
Сила	ньютон	Н	1 Н = 1 кгс = 1 кг•м/с <sup>2</sup>
Момент силы	ньютон-метр	Н•м	
Давление	паскаль	Па	1 Па= 1 Н/м <sup>2</sup>
Напряжение	паскаль или ньютон на квадратный метр	Па или Н/м <sup>2</sup>	
Энергия, работа	джоуль	Дж	1 Дж = 1 Н•м
Мощность	ватт	Вт	1 Вт= 1 Дж/с
Температура Цельсия	градус Цельсия	°С	
Температурный интервал	кельвин	К	Можно применить °С
Коэффициент линейного расширения	на кельвин	К <sup>-1</sup>	
Теплопроводность	ватт на метр-кельвин	Вт/(м•К)	Можно применить °С вместо К
Коэффициент теплопроводности	ватт на квадратный метр-кельвин	Вт/(м <sup>2</sup> •К)	

Сопротивление (электрическое)	ом	Ом	1 Ом= 1 В/А
----------------------------------	----	----	-------------

Таблица соотношений между единицами (1)

Сила	Н	дина	кгс
	1	$1 \times 10^5$	$1,019\,72 \times 10^{-1}$
	$1 \times 10^{-5}$	1	$1,019\,72 \times 10^{-6}$
	9,806 65	$9,806\,65 \times 10^5$	1

Давление	Па	кгс/см
	1	$1,019\,72 \times 10^{-5}$
	$1 \times 10^5$	1,019 72
	$9,806\,65 \times 10^4$	1
	$1.013\,25 \times 10^5$	1,033 23
	9.806 65	$1 \times 10^{-4}$
	$1,333\,22 \times 10^2$	$1,359\,51 \times 10^{-3}$

Примечание: 1 Па= 1 Н/м<sup>2</sup>

Таблица соотношений между единицами (2)

	Па	МПа или Н/мм <sup>2</sup>	кгс/мм <sup>2</sup>	кгс/см <sup>2</sup>
Напряжение	1	$1 \times 10^{-5}$	$1,019\ 72 \times 10^{-7}$	$1,019\ 72 \times 10^{-5}$
	$1 \times 10^6$	1	$1,019\ 72 \times 10^{-1}$	$1,019\ 72 \times 10$
	$9,806\ 65 \times 10^6$	9,806 65	1	$1 \times 10^2$
	$9,806\ 65 \times 10^4$	$9,806\ 65 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$	1

	Дж	кВт·ч	кгс·м	ккал
Работа, энергия	1	$2,777\ 78 \times 10^{-7}$	$1,019\ 72 \times 10^{-1}$	$2,388\ 89 \times 10^{-4}$
	$3,600 \times 10^6$	1	$3,670\ 98 \times 10^5$	$8,600\ 0 \times 10^2$
	9,806 65	$2,724\ 07 \times 10^{-6}$	1	$2,342\ 70 \times 10^{-3}$
	$4,186\ 05 \times 10^3$	$1,162\ 79 \times 10^{-3}$	$4,268\ 58 \times 10^2$	1

Примечание: 1 Дж = 1 Вт·с, 1 Вт·ч = 3600 Вт·с  
1 кал = 4,186 05 Дж (по Закону о метрологии)

Мощность (количество движения), тепловой поток	кВт	кгс·м/с	ккал/ч
	1	$1,019\ 72 \times 10^2$	$8,600\ 0 \times 10^2$
	$9,806\ 65 \times 10^{-3}$	1	8,433 71
	$1,162\ 79 \times 10^{-3}$	$1,185\ 72 \times 10^{-1}$	1

Примечание: 1 Вт = 1 Дж/с  
1 кал = 4,186 05 Дж (по Закону о метрологии)

Коэфф. тепло- провод- ности	Вт/(м·К)	ккал/(ч·м·°C)	Удельна я тепло- емкость	Дж/(кг·К)	ккал/(кг·°C) кал/(г·°C)
	1	$8,600\ 00 \times 10^{-1}$		1	$2,388\ 89 \times 10^{-4}$
	1,162 79	1		$4,186\ 05 \times 10^3$	1

Примечание: 1 кал = 4,186 05 Дж (по Закону о метрологии)

Примечание: 1 кал = 4,186 05 Дж (по Закону о метрологии)