



А. Г. Потапьевский

# Сварка в углекислом газе



МОСКВА  
« МАШИНОСТРОЕНИЕ » 1984

ББК 34.641  
П64  
УДК 621.791 754,264

Рецензент *М. М. Борисенко*

Редакционная коллегия:  
**А. Е. Аснис** (пред.), **Д. М. Рабкин**, **А. Е. Марченко**, **В. И. Галинич**,  
**В. И. Махненко**, **В. Ф. Мусияченко**

**Потапьевский А. Г.**

**П64** Сварка в углекислом газе. — М.: Машиностроение, 1984. — 80 с., ил. — (Б-ка электросварщика).  
25 к.

Кратко описаны современные способы сварки в углекислом газе и его смесях с аргоном и кислородом главящимся электродом стальной толщиной 0,8—30 мм во всех пространственных положениях. Приведены типичные режимы сварки и свойства сварных соединений, даны рекомендации по повышению качества швов и производительности сварки. Приведены краткие сведения о серийной отечественной аппаратуре, даны рекомендации по повышению надежности ее работы, организации работ.

Для рабочих и мастеров сварочного производства.

2704060000-164  
П ————— 164-84  
038(01)-84

ББК 34.641  
6П4.3

*Аркадий Григорьевич Потапьевский*  
**СВАРКА В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ**

Редактор *Т. Е. Черешнева*  
Технический редактор *И. Н. Раченкова*  
Корректор *Л. Я. Шабашова*

ИБ 4242

---

Сдано в набор 21 03 84 Подписано в печать 05 07 84. Т 12699.  
Формат 84×108<sup>1/32</sup> Бумага типографская № 3 Гарнитура литературная.  
Печать высокая Усл печ л 4,2 Усл кр-отт 4,63. Уч.-изд. л 4,29.  
Тираж 40 000 экз Заказ 190 Цена 25 к.

---

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение»,  
107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,  
129041, Москва, Б Переяславская, 46

© Издательство «Машиностроение», 1984 г.

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ В $\text{CO}_2$ И ЕГО СМЕСЯХ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

### Сущность и классификация процессов сварки

Для получения при дуговой сварке в  $\text{CO}_2$  качественных соединений на сталях необходима защита зоны сварки и расплавленной ванны от вредного воздействия воздуха, а также легирование и металлургическая обработка металла шва. При сварке в  $\text{CO}_2$  и его смесях защита зоны сварки осуществляется потоком  $\text{CO}_2$  или его смеси, подаваемым с помощью горелки к месту сварки. Источником нагрева при сварке в  $\text{CO}_2$  служит электрическая дуга, горящая между электродной проволокой, подаваемой в зону сварки, и изделием. Дуга расплавляет кромки деталей и электродную проволоку, переходящую в виде капель на деталь, при этом образуется общая металлическая ванна. По мере перемещения дуги ванна затвердевает, образуя сварной шов, соединяющий кромки деталей (рис. 1).

При сварке в  $\text{CO}_2$  используют электродную проволоку сплошного сечения, трубчатую, заполненную внутри легирующими и шлакообразующими веществами, называемую порошковой, а также проволоку плоского сечения, что позволяет получить широкий наплавленный слой. Для увеличения глубины провара и управления переносом металла иногда сварку ведут в двух концентричных потоках газа; скорость истечения внутреннего потока обычно задают значительно большей, чем скорость внешнего (рис. 1, в); иногда в потоках используют газ разного состава.

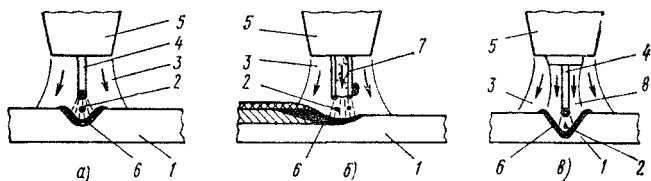


Рис. 1. Схемы процессов сварки в  $\text{CO}_2$ .

*а* — плавящийся электродом сплошного сечения, *б* — порошковой проволокой; *в* — в двух концентричных потоках газа, 1 — деталь, 2 — дуга, 3 — защитный газ, 4 — плавящаяся электродная проволока, 5 — сопло, 6 — сварочная ванна, 7 — порошковая проволока, 8 — внутренний поток газа

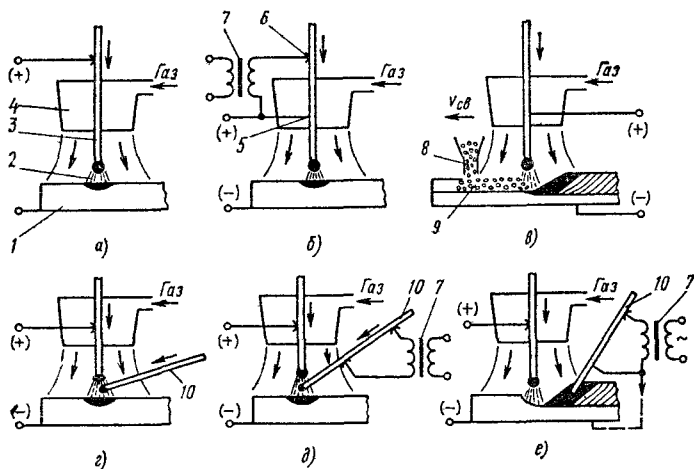


Рис. 2. Схемы процессов сварки:

*a* — увеличенный вылет электрода; *б* — подогрев электрода от дополнительного трансформатора; *в* — засыпка в разделку кромок металлической крупки; *г* — подача в дугу присадочной проволоки; *д*, *е* — подогрев проволоки; 1 — деталь; 2 — дуга; 3 — электрод; 4 — газовое сопло; 5 — место подвода сварочного тока; 6 — подвод тока для дополнительного нагрева электрода; 7 — дополнительный трансформатор; 8 — бункер с крупкой; 9 — металлическая крупка; 10 — присадочная проволока

Для повышения производительности сварку ведут с дополнительным нагревом вылета электрода сварочным током (рис. 2), для чего вылет электрода принимают в 2—3 раза больше обычного или вылет подогревают от специального источника и подают в зону сварки присадочную проволоку либо засыпают в разделку металлическую крупку (шарики металла или рубленную проволоку). Сварку выполняют одновременно несколькими дугами. В настоящее время разработаны управляемые способы сварки, такие, как импульсно-дуговая, вибродуговая, сварка с пульсирующей подачей проволоки. В ряде случаев применяют двухдуговую сварку при сочетании сварки в  $\text{CO}_2$  со сваркой под флюсом и др. (рис. 3).

Процесс сварки — совокупность физических явлений, протекающих от начала до окончания сварки шва, — разделяют на три основные стадии: установление стабильного течения сварки и заданного режима (начало сварки); стабильное течение процесса и прекращение процесса (окончание сварки). Стадии начала и окончания сварки оказывают большое влияние на качество начального и конечного участка шва и разбрызгивание.

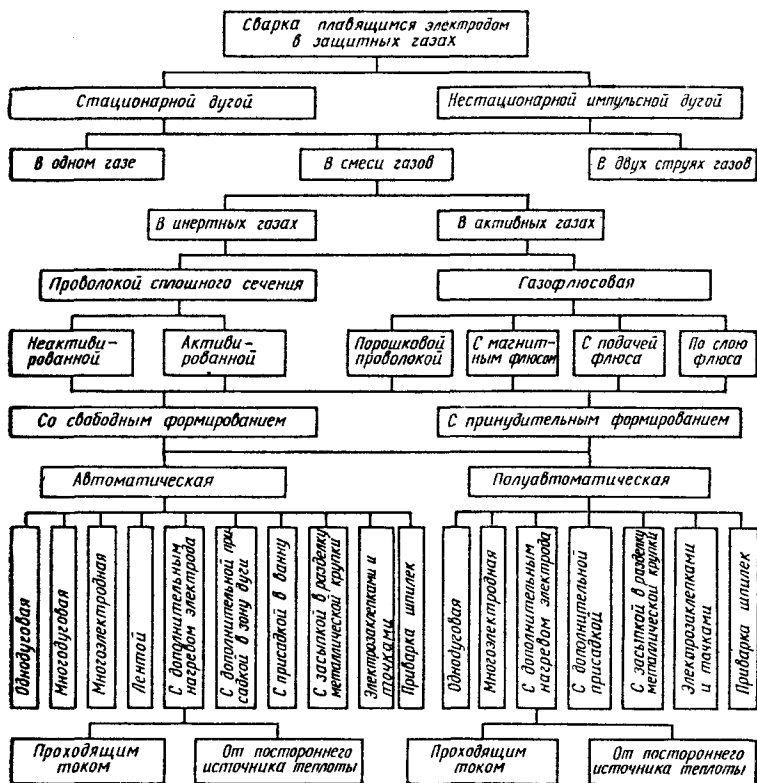


Рис. 3. Классификация сварки в защитных газах плавящимся электродом

Стабильное течение процесса сварки должно обеспечить получение шва с неизменными заданными размерами и свойствами. Процесс можно считать стабильным, если электрические и тепловые характеристики его не изменяются во времени или изменяются по определенной программе. По этому признаку процессы делят на сварку стационарной и нестационарной импульсной дугой. Основным условием сварки стационарной дугой считают постоянство напряжения, тока и длины дуги, а при сварке нестационарной дугой — строго закономерное изменение этих же параметров.

При сварке в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  и  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$  наблюдаются следующие процессы сварки стациона-

нарной дугой (рис. 4). При крупнокапельном процессе на электроде образуются капли в 1,5 раза и более превышающие диаметр электрода. При мелкокапельном процессе дуга горит непрерывно, а перенос электродного металла в ванну происходит каплями, диаметр которых близок к диаметру электрода, и более мелкими. При струйном процессе дуга горит непрерывно, оплавленный электрод вытянут в виде конуса, с конца которого отрываются капли диаметром менее  $2/3$  диаметра электрода.

Из процессов сварки нестационарной дугой наибольшее распространение получили импульсно-дуговые процессы, при которых сварку ведут с периодическим изменением напряжения и тока сварки, и в меньшей степени процессы, при которых периодически изменяется скорость подачи электрода. Основные виды сварки нестационарной дугой следующие (рис. 5): с непрерывным горением дуги; с принудительными короткими замыканиями дуги и непрерывным протеканием тока и процесс с короткими замыканиями и принудительными обрывами дуги. Короткие замыкания могут быть получены путем импульсного повышения тока за счет перемещения капли электродного металла к ванне под действием электродинамических сил (рис. 5, б), за счет периодического изменения скорости плавления электрода и давления дуги (рис. 5, в), под действием сил инерции

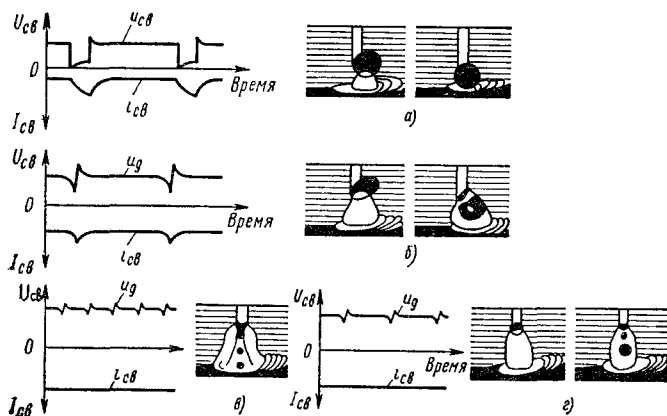


Рис. 4. Внешний вид разрядного промежутка и осциллограммы напряжения и тока сварки ( $i_{св}$  — сила тока)

а — крупнокапельный процесс с короткими замыканиями, б — то же, без коротких замыканий, в — струйный процесс, г — мелкокапельный процесс с непрерывным горением дуги

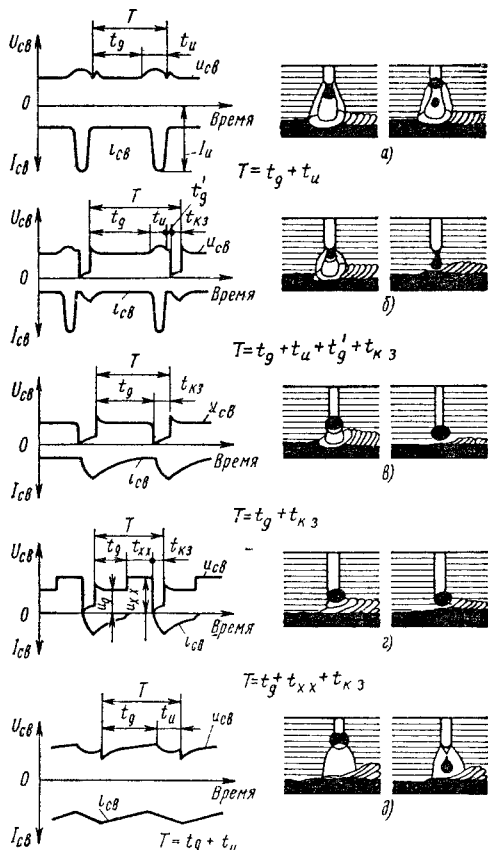


Рис. 5. Внешний вид разрядного промежутка и осциллограммы напряжения и тока сварки:

$T$  — длительность цикла;  $t_d$  и  $t_d'$  — длительность горения дуги;  $t_{кз}$  — длительность короткого замыкания,  $t_k$  — длительность импульса тока,  $t_{хч}$  — длительность прерыва горения дуги  
 а — импульсно-дуговая сварка непрерывно горящей дугой, б — с принудительными короткими замыканиями путем наложения импульсов тока в — с частыми принудительными короткими замыканиями, достигаемыми программированием скорости плавления электрода, г — с принудительными обрывами дуги, д — сварка с отрывом капель под действием сил инерции

при пульсирующей подаче или вибрации электрода (рис. 5, д). Перерывы в горении дуги могут быть получены путем снижения напряжения источника питания или наложением на дугу импульсов тока противоположной полярности. Изменение характеристик процесса может быть достигнуто и другими способами, например введением в дугу веществ,

понижающих или повышающих эффективный потенциал ионизации дугового газа, путем периодического изменения состава дугового газа, наложения на электрод, дугу или сварочную ванну внешних стационарных, импульсных или высокочастотных магнитных полей, путем воздействия струи газа, подаваемой в зону сварки с большой скоростью.

### Перенос электродного металла и разбрызгивание

Перенос металла с электрода на изделие определяет технологические характеристики и области применения процессов сварки плавящимся электродом. Перенос металла может происходить в виде жидких капель различных размеров и пара. Основные виды переноса электродного металла при сварке в  $\text{CO}_2$  и его смесях следующие (см. рис. 4 и 5): крупнокапельный с естественными короткими замыканиями разрядного промежутка; крупнокапельный без коротких замыканий; каплями среднего и малого размера без коротких замыканий; струйный перенос; с принудительными короткими замыканиями разрядного промежутка.

При крупнокапельном переносе на электроде образуются капли диаметром более 1,5 диаметра электрода. Если капля больше длины разрядного промежутка, то переход ее в ванну сопровождается коротким замыканием разрядного промежутка и погасанием дуги. Если капля меньше длины разрядного промежутка, то переход ее в ванну происходит без короткого замыкания. Основными силами, обуславливающими крупнокапельный перенос являются сила тяжести, силы поверхностного натяжения, давление плазменных потоков и реакция испарения. Капли обычно приподняты над ванной и оттеснены на боковую поверхность электрода. Отрыв капли от электрода и направление ее полета опреде-



Рис. 6. Разбрызгивание электродного металла:

*a* — сварка с крупнокапельным переносом, *б* — сварка с принудительными короткими замыканиями



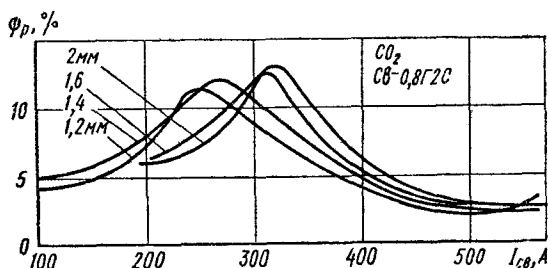


Рис 7 Зависимость потерь  $\psi_r$  от силы тока

ляются на малых токах в основном силой тяжести, а на больших токах электродинамической силой. Поэтому процессы с крупнокапельным переносом электродного металла применимы для сварки в нижнем положении. С повышением напряжения дуги, диаметра электрода и переходом на прямую полярность диаметр капль увеличивается. С увеличением тока диаметр капль уменьшается.

При сварке с крупнокапельным переносом без коротких замыканий разбрызгивание металла происходит в основном из-за случайного вылета за пределы шва крупных капль и систематического выброса мелких капль с электрода (рис. 6, а). Помимо этого из ванны выбрасываются мелкие капль, что вызвано выделением  $CO$ . Разбрызгивание сравнительно велико. При сварке с короткими замыканиями разбрызгивание происходит из-за выброса мелких капль вследствие взрыва шейки и выброса остатка капль с электрода (рис. 6, б). Для уменьшения разбрызгивания рекомендуется ограничивать скорость нарастания и силу тока  $I_{н.з}$ . Это достигается включением в сварочную цепь дросселя или дросселя и балластного реостата. С повышением напряжения разбрызгивание увеличивается, а с ростом тока сначала увеличивается, а затем уменьшается (рис. 7). Наличие на проволоке ржавчины способствует разбрызгиванию в связи с взрывом крупных капль. В начале сварки и при нарушениях процесса наблюдается резкое увеличение разбрызгивания в результате выброса нерасплавленной части электрода и расплескивания ванны.

Перенос каплями среднего размера происходит при сварке порошковой проволокой рутилового типа, активированными проволоками и с принудительным управлением путем наложения импульсов тока, изменения силы тока при сварке,

пульсирующей и вибрирующей подачи электрода. Разбрызгивание при этом переносе незначительное.

При струйном переносе жидкий металл на электроде вытянут в виде конуса, с конца которого отрываются мелкие капли диаметром менее  $2/3$  диаметра электрода. Определяется перенос электродинамической силой, силами поверхностного натяжения, давлением плазменных потоков и реакцией испарения. Сила тяжести невелика, поэтому электродный металл переносится в ванну при сварке во всех пространственных положениях. Струйный перенос электродного металла наблюдается при сварке в  $\text{CO}_2$  активированной проволокой и в смесях  $\text{Ag} + \text{CO}_2$  (менее 15%  $\text{CO}_2$ ). Минимальную силу тока, при которой наступает струйный перенос, называют критической силой тока  $I_{\text{кр}}$ . С увеличением диаметра электрода  $I_{\text{кр}}$  возрастает. Разбрызгивание при струйном переносе незначительное.

### Особенности сварки в $\text{CO}_2$

При сварке в  $\text{CO}_2$  проволоками Св-08ГС и Св-08Г2С в основном используют процесс с частыми принудительными короткими замыканиями и процесс с крупнокапельным переносом (табл. 1). При сварке порошковыми проволоками — процесс с непрерывным горением дуги, а при сварке активированной проволокой — струйный процесс.

Процесс с частыми принудительными короткими замыканиями получают при сварке в  $\text{CO}_2$  проволоками  $\varnothing 0,5—1,4$  мм путем программирования сварочного тока, обеспечивающего изменение скорости плавления электрода и давления дуги. Весь процесс можно разделить на ряд подобных повторяющихся циклов (рис. 8). Теплота, выделяемая дугой, интенсивно расплавляет электродную проволоку и деталь. При этом длина дуги быстро увеличивается. По мере уменьшения сварочного тока скорость расплавления проволоки и давление дуги уменьшаются. В результате капля электродного металла и ванночка приближаются друг к другу и замыкают разрядный промежуток. Дуга гаснет, напряжение резко уменьшается, а сила тока в цепи возрастает. С увеличением тока растет электродинамическая сила и приводит к ускорению перехода капли в ванну и образованию шейки между электродом и каплей. Утоненная шейка перегревается проходящим током и перегорает со взрывом. Напряжение резко возрастает, и зажигается дуга. После этого все явления повторяются.

Таблица 1

Диапазоны сварочных токов основных процессов сварки в  $\text{CO}_2$  проволокой Св-08Г2С (полярность обратная), А

Процесс сварки	Диаметр электрода, мм			
	0,5	0,8	1,0	1,2
ИДС к. з.	30—120	50—150	75—240	85—260
Кр. с к. з.	30—150	50—180	75—260	85—290
Кр. без к. з.	100—250	150—300	160—450	190—550
Порошковой проволокой:				
ПП-АН-8	—	—	—	—
ПП-АН-9	—	—	—	—

Продолжение табл. 1

Процесс сварки	Диаметр электрода, мм				
	1,4	1,6	2,0	3	4
ИДС к. з.	90—280	110—290	120—300	—	—
Кр. с к.з.	90—320	110—380	150—400	220—500	250—600
Кр. без к. з.	200—650	210—800	220—1200	250—2000	270—2500
Порошковой проволокой:					
ПП-АН-8	—	—	150—500	180—550	—
ПП-АН-9	—	—	220—500	250—530	—

Примечание. ИДС к. з. — импульсный с частыми принудительными короткими замыканиями; Кр с к. з. — крупнокапельный с короткими замыканиями; Кр. без к. з. — крупнокапельный без коротких замыканий.

Основные параметры данного процесса: среднее напряжение процесса сварки  $U_{св}$ ; среднее значение сварочного тока  $I_{св}$ ; максимальная сила тока  $I_{кз}$ ; минимальная сила тока  $I_{мин}$ ; длительность горения дуги  $t_d$ ; длительность короткого замыкания  $t_{к.з}$ ; длительность цикла  $T = t_d + t_{к.з}$ ; скорость нарастания силы тока при коротком замыкании разрядного промежутка капель  $\Delta I_{к.з}/\Delta t$  и скорость уменьшения силы тока при горении дуги  $\Delta I_d/\Delta t$ . С повышением напряжения увеличивается длительность горения дуги и всего цикла, а частота коротких замыканий уменьшается, возрастают потери на окисление и разбрызгивание, а форма шва несколько улучшается. При повышении напря-

жения процесс переходит в крупнокапельный. Характер течения процесса с частыми принудительными короткими замыканиями в большой степени зависит от скорости нарастания  $I_{к.з}$  в цепи ( $\Delta I_{к.з}/\Delta t$ ). При сварке проволоками  $\varnothing 0,8 - 1,2$  мм при  $\Delta I_{к.з}/\Delta t > 200 \div 300$  кА/с процесс стабилен, но сопровождается повышенным разбрызгиванием. При  $\Delta I_{к.з}/\Delta t < 40$  кА/с процесс протекает с редкими короткими замыканиями, импульсный характер изменения силы тока выражен слабо и на низких напряжениях процесс протекает нестабильно. При средних значениях  $\Delta I_{к.з}/\Delta t = 60 \div 180$  кА/с процесс протекает стабильно и отличается небольшим разбрызгиванием.

Процесс с крупнокапельным переносом наблюдается при сварке проволоками  $\varnothing 0,5 - 1,5$  мм на повышенных напряжениях, а более  $\varnothing 1,6$  мм — во всем диапазоне режимов сварки кремнемарганцовыми проволоками (см. табл. 1). При низких напряжениях процесс протекает с короткими замыканиями, а при высоких — без них. Процесс с крупнокапельным переносом обычно сопровождается повышенным разбрызгиванием. Для уменьшения разбрызгивания и улучшения формирования шва при сварке с короткими замыканиями рекомендуется снижать значение  $\Delta I_{к.з}/\Delta t$ , что может быть осуществлено путем увеличения индуктивности цепи и включения в цепь балластного сопротивления. Для получения стабильного процесса с хорошим формированием шва и небольшим разбрызгиванием необходимо строго соблю-

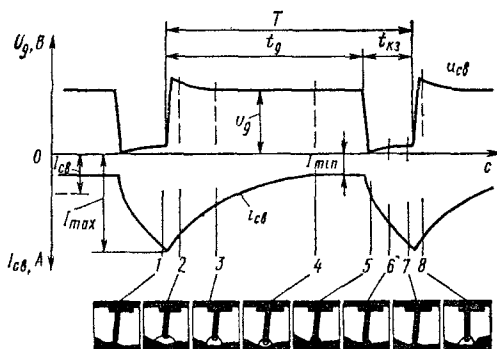


Рис. 8. Изменение напряжения и силы тока на протяжении одного цикла при сварке в  $CO_2$  с частыми принудительными короткими замыканиями и характерный вид разрядного промежутка

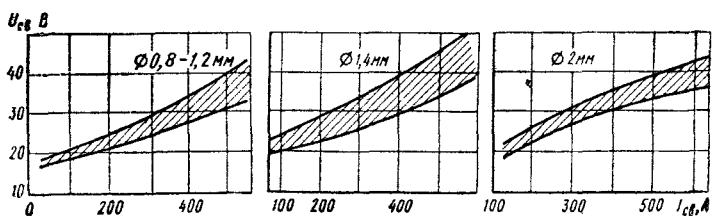


Рис 9 Диапазон оптимальных соотношений между напряжением и силой тока при сварке в  $CO_2$  проволоками Св-08ГС и Св-08Г2С  $\varnothing 0,8-2$  мм. Полярность обратная, положение сварки нижнее

дать определенные соотношения между силой тока и напряжением (рис. 9). Для повышения производительности процесса и уменьшения разбрызгивания целесообразно вести сварку с погружением дуги в ванну так, чтобы внешняя составляющая дуги была равна 2—3 мм.

Струйный процесс в  $CO_2$  можно получить только при использовании проволок, активированных цезием, рубидием, калием, натрием, барием, церием и солями редкоземельных элементов. Процесс протекает без разбрызгивания с хорошим формированием шва. Сварку проволоками, активированными солями рубидия и цезия, можно выполнять также с наложением импульсов тока. Однако до настоящего времени этот процесс не нашел широкого практического применения.

При использовании порошковых проволок рутил-флюоритного типа сварка протекает с крупнокапельным переносом. Процесс во многом подобен сварке проволокой Св-08Г2С сплошного сечения. При использовании порошковых проволок рутилового типа процесс сварки происходит с непрерывным горением дуги и переносом капель среднего размера, сопровождающийся небольшим разбрызгиванием и хорошим формированием шва.

В последние годы разработаны проволока с дополнительным сердечником-фитилем, заполненным в основном окисью титана, АПАН-2, и проволока, легированная редкоземельными элементами, Св-14Г2СЭ. Эти проволоки позволяют получить при сварке в  $CO_2$  на повышенных токах (более 350 А для  $\varnothing 2$  мм) хорошее формирование шва и малое разбрызгивание.

Используемые смеси  $CO_2 \pm O_2$  содержат обычно 15—40%  $O_2$ . При сварке могут быть получены процессы с крупнокапельным переносом и с частыми короткими замыка-

ниями. Добавление кислорода к  $\text{CO}_2$  незначительно изменяет характер процесса. Процесс в основном отличается более высоким окислительным потенциалом защитной среды и большей жидкотекучестью ванночки. Для сварки используют проволоки с повышенным содержанием раскислителей. Формирование шва несколько лучше, чем при сварке в  $\text{CO}_2$ , но поверхность шва покрыта большим количеством шлака.

При содержании в смеси аргона с  $\text{CO}_2$  до 15%  $\text{CO}_2$  могут быть получены струйный и крупнокапельный процессы, а при содержании более 20 %  $\text{CO}_2$  — процессы с частыми короткими замыканиями и крупнокапельный. Сварка в смеси аргона с 20—25 %  $\text{CO}_2$  или 20%  $\text{CO}_2$  и 5%  $\text{O}_2$  обеспечивает лучшее формирование шва и меньшее разбрызгивание, чем сварка в  $\text{CO}_2$ .

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ

### Углекислый газ и смеси на его основе

Углекислый газ — газообразная двуокись углерода — широко используется в сварочном и литейном производстве, в пожарном деле, пищевой промышленности и других отраслях. Этот бесцветный и без запаха газ, имеющий при нормальных условиях плотность  $1,839 \text{ кг/м}^3$ , хорошо растворяется в воде и придает ей кислый вкус.

Жидкая двуокись углерода — бесцветная и без запаха жидкость. В виде насыщенной жидкости двуокись углерода может существовать при давлениях от 7,53 (критическое давление) до 0,528 МПа (тройная точка) и соответственно температурах от  $+31,05$  до  $-56,6$  °С. При температуре ниже  $+11$  °С она тяжелее воды, а при температуре выше  $+11$  °С — легче. Плотность жидкой двуокиси углерода значительно изменяется с изменением температуры. Растворимость воды в жидкой двуокиси углерода небольшая. Жидкая двуокись углерода превращается в газ при подводе к ней теплоты. При нормальных условиях при испарении 1 кг жидкой двуокиси углерода образуется 509 л газа.

Твердая двуокись углерода — «сухой лед». По внешнему виду напоминает лед и снег. Плотность льда  $1400 \text{ кг/м}^3$ . Сухой лед на открытом воздухе интенсивно испаряется. Поэтому хранят и транспортируют сухой лед в специальных контейнерах, но и в них испарение составляет 3—9,54%

Состав двуокиси углерода (по ГОСТ 8050—76)

Наименование показателей	Двуокись углерода		
	сварочная	пищевая	техническая
Содержание CO <sub>2</sub> , об. %, не менее	99,5	98,8	98,5
Содержание CO, об. %, не более	Нет	Нет	0,05
Содержание воды в баллоне, % по массе, не более	—	0,1	0,1
Содержание водяных паров при нормальных условиях, г/м <sup>3</sup>	0,184	Не нормируется	

в сутки. Получают газообразный CO<sub>2</sub> из сухого льда в специальных испарителях.

Двуокись углерода получают в промышленности из газов, образующихся при брожении спирта, пива, расщеплении жиров; из отходящих газов производства синтетического аммиака и метанола; из газов промышленных котельных, сжигающих уголь, природный газ и другое топливо.

Согласно ГОСТ 8050—76 промышленность выпускает двуокись углерода трех марок (табл. 2).

Для сварки используют сварочную двуокись углерода или пищевую с дополнительной осушкой. Техническую двуокись углерода в сварочном производстве не используют. Хранить и транспортировать двуокись углерода в сварочном производстве целесообразно в изотермических емкостях. Углекислый газ должен содержать минимальное количество влаги и других примесей. При хранении углекислого газа в баллонах высокого давления вследствие небрежности заполнения отбираемый из баллона углекислый газ может содержать повышенное количество влаги и азота, вызывающих образование пор в швах.

При сварке используют смеси, содержащие 75—85% CO<sub>2</sub> и 25—15% O<sub>2</sub>. На практике применяют также двойные смеси, состоящие из 25—50% CO<sub>2</sub> и 75—50% Ar и тройные смеси, состоящие из 75% Ar, 20% CO<sub>2</sub> и 5% O<sub>2</sub>. Получают смеси смешиванием газов.

Для получения указанных смесей используют газообразный или жидкий технический кислород, аргон и аргонокислородную смесь.

## Особенности металлургических процессов при сварке

Состав металла шва при сварке в защитных газах плавящимся электродом определяется составом газа, составом электродного и основного металлов, их долями в металле шва и ходом металлургических реакций. При сварке в  $\text{CO}_2$  и его смесях в зоне высоких температур у дуги происходит разложение  $\text{CO}_2$  по реакции:



Степень разложения  $\text{CO}_2$  и соответственно состав газа зависят от температуры. Считают, что средняя температура защитного газа, контактирующего с жидким металлом равна  $\sim 2600^\circ\text{C}$ , а газовая фаза состоит из 53,8 об. %  $\text{CO}_2$ , 30,8 об. %  $\text{CO}$  и 15,4 об. %  $\text{O}_2$ .

В зону сварки попадают также азот и водород. Азот может попадать с покрытиями электродных проволок и технологическими смазками, в виде примеси углекислого газа, кислорода или аргона, из воздуха, подсасываемого из зазоров соединения вследствие нарушений защиты зоны сварки, и из антикоррозионных покрытий на металле. Водород попадает в зону сварки как примесь  $\text{CO}_2$  и  $\text{Ag}$  в составе влаги, из ржавчины, находящейся на электродной проволоке и свариваемых кромках, из технологических смазок, находящихся на проволоке. Значительное количество азота и водорода может вызвать образование пор в шве. Причиной образования пор в этих случаях является скачкообразное уменьшение растворимости азота и водорода в твердой стали по сравнению с жидкой. Для исключения образования пор необходимо предупредить попадание водорода и азота в зону сварки.

Кислород интенсивно окисляет железо и примеси сталей. При сварке углеродистых сталей, окисление углерода и образование окиси углерода, происходящие при затвердевании шва, могут быть одной из основных причин образования пор в шве. Введение в проволоку элементов-раскислителей — кремния, марганца, титана и алюминия — подавляет реакцию окисления углерода и обеспечивает получение плотных швов. Кислород также интенсивно окисляет водород, попадающий в зону сварки, и серу, что повышает стойкость металла шва к образованию пор и горячих трещин, а также повышает механические свойства шва.



Добавление к  $\text{CO}_2$  чистого кислорода в количестве 15—25% усиливает интенсивность окисления водорода и повышает стойкость металла шва к образованию пор и трещин.

Для снижения содержания водорода в швах при сварке порошковыми проволоками в их сердечник дополнительно вводят фтористые соли. Окисление элементов при сварке в смесях  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  и  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$  меньше, чем в чистом  $\text{CO}_2$ .

При окислении кремния, марганца, титана, алюминия и других составляющих стали образуются окислы. От их состава и количества зависит количество шлаковых включений в металле шва и внешний вид шва. При сварке в  $\text{CO}_2$  и его смесях имеет место значительное испарение марганца и железа. Окисление и испарение наиболее интенсивно происходят в каплях электродного металла.

Поскольку интенсивность окисления и испарения элементов из электродного и основного металлов неодинакова, то это учитывают коэффициентами усвоения элементов, значения которых зависят от сродства данного элемента к кислороду, температур кипения и состава металла.

Конечное содержание элементов в шве  $C_{\text{ш}}$  может быть определено по формуле

$$C_{\text{ш}} = \mu_{\text{п}} m C_{\text{п}} + \mu_{\text{о}} n C_{\text{о}}, \quad (2)$$

где  $\mu_{\text{п}}$  и  $\mu_{\text{о}}$  — коэффициенты усвоения элементов из электродной проволоки и основного металла;  $m$  и  $n$  — доли электродного и основного металла в шве;  $C_{\text{п}}$  и  $C_{\text{о}}$  — содержание данного элемента в проволоке и в основном металле.

При сварке в  $\text{CO}_2$  и его смесях коэффициенты усвоения элементов из проволоки намного меньше, чем коэффициенты усвоения элементов из основного металла.

Режим сварки влияет на интенсивность металлургических реакций и на доли электродного и основного металлов в металле шва. Напряжение сварки в наибольшей степени повышает окисление и испарение элементов. На малых и средних токах изменение состава шва определяется изменением доли основного и электродного металлов в металле шва, а на больших токах увеличивается интенсивность металлургических реакций. Потери элементов из проволок  $\varnothing 0,8$ — $1,2$  мм значительно меньше, чем из проволок  $\varnothing 1,6$ — $2$  мм. Это позволяет применять для сварки в  $\text{CO}_2$  проволоками  $\varnothing 0,8$ — $1,2$  мм электродные проволоки с меньшим содержанием кремния и марганца. С учетом окисления и испарения элементов и получения плотных швов с высокими ме-

ханическими свойствами для сварки в  $\text{CO}_2$  и его смесях разработано и серийно выпускается значительное количество электродных проволок с повышенным содержанием кремния, марганца и других элементов-раскислителей (например ГОСТ 2246-70).

Сварочные проволоки выпускают покрытыми тонким слоем меди и без него. На поверхности проволоки, а также в надрывах поверхностного слоя имеется технологическая смазка. В некоторых случаях проволоки покрывают антикоррозионными смазочными материалами, которые вносят в зону дуги водород и азот. В результате попадания азота и водорода снижается стабильность процесса, повышается разбрызгивание, ухудшается формирование и понижается ударная вязкость металла шва. Особенно ухудшается процесс сварки в углекислом газе при наличии на проволоке ржавчины и нитрата натрия, входящего в состав некоторых смазочных материалов.

Механическая очистка и травление проволоки немного повышают стабильность процесса и уменьшают содержание водорода. В наибольшей степени удалить водород и азот из проволоки, повысить ударную вязкость шва, улучшить стабильность процесса сварки и формирование шва, а также уменьшить разбрызгивание можно путем прокатки проволоки при температуре  $200\text{--}250^\circ\text{C}$  в течение  $1,5\text{--}2$  ч. Наличие на проволоке ржавчины приводит к резкому снижению стабильности процесса и повышению разбрызгивания. Для удаления ржавчины рекомендуется химическая или электрохимическая очистка проволоки и механическая очистка с последующей прокаткой при температуре  $150\text{--}250^\circ\text{C}$  в течение  $1,5\text{--}2$  ч. Для надежной подачи по гибким шлангам и хорошего контактирования с токоподводящим наконечником сварочной горелки проволоки должны быть достаточно жесткими. Мягкие и чрезмерно жесткие (пружинистые) проволоки плохо подаются по шлангам.

При сварке в  $\text{CO}_2$  и его смесях происходит интенсивное взаимодействие металла с газами, в результате чего шов может быть поражен порами, причинами которых могут быть недостаточное содержание элементов-раскислителей (в первую очередь, кремния и марганца) в металле шва; попадание большого количества ржавчины и окалина в сварочную ванну; повышенная влажность  $\text{CO}_2$ ; повышенное содержание азота в  $\text{CO}_2$ ; нарушение защиты зоны сварки от воздуха.

## Особенности техники сварки

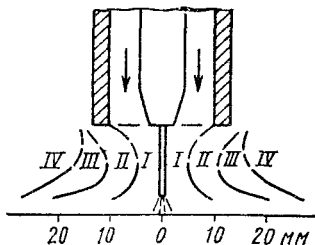
**Эффективность газовой защиты зоны сварки.** Надежная защита зоны сварки газом до полного затвердевания жидкой ванночки — одно из важнейших условий получения шва высокого качества. В большинстве случаев защита осуществляется путем подачи к месту сварки струи защитного газа. Истечение газов из сопел сварочных горелок имеет турбулентный характер. С наружной стороны струя газа смешивается с воздухом и только внутренняя часть ее состоит из чистого защитного газа (рис. 10). Обычно длина участка чистого газа в 1,5—4 раза больше диаметра сопла. Эффективность защиты зависит от рода защитного газа, типа сварного соединения, скорости сварки и движения окружающего воздуха (рис. 11). Так, при использовании  $\text{CO}_2$  легче обеспечить хорошую защиту, чем при использовании смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  и  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$ .

При сварке угловых швов с внутренней стороны угла и стыковых швов защита намного лучше, чем при сварке угловых швов с наружной стороны угла. Для улучшения защиты в этом случае рекомендуется применять съемные щитки (рис. 11, а). Эффективность защиты в значительной степени определяется конструкцией и размерами горелки, которые выбирают с учетом рода защитного газа, типоразмера, сварного соединения и режима сварки. Истечение газа из горелки должно быть равномерным по всему сечению сопла. Для обеспечения этого выход газа в сопло должен быть распределен по всей окружности равномерно.

При ветре и сквозняке эффективность защиты зависит от жесткости струи защитного газа и ее размеров. Жесткость струи зависит от рода газа и повышается с увеличением скорости его истечения. Поэтому при увеличении диаметра сопла необходимо одновременно увеличивать расход газа.

Рис 10 Состав струи  $\text{CO}_2$ , истекающего из сопла сварочной горелки диаметром 20 мм:

*I* — 100%  $\text{CO}_2$ ; *II* —  $\text{CO}_2 + 10\%$  воздуха;  
*III* —  $\text{CO}_2 + 60\%$  воздуха; *IV* —  $\text{CO}_2 + 80\%$  воздуха  
(данные Т. Г. Квирикадзе и Н. М. Новожилова)



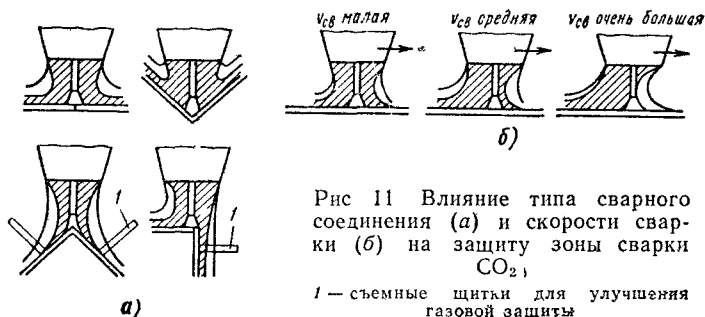


Рис 11 Влияние типа сварного соединения (а) и скорости сварки (б) на защиту зоны сварки  $\text{CO}_2$

1 — съемные щитки для улучшения газовой защиты

Однако при чрезмерном увеличении скорости потока газа вследствие турбулентности уменьшается зона чистого газа и эффективность защиты снижается. При уменьшении расстояния между горелкой и деталью защита улучшается. Исходя из удобства наблюдения за дугой это расстояние обычно принимают равным 10—30 мм. Наклон горелки углом вперед до  $45^\circ$  улучшает защиту зоны сварки. При больших наклонах горелки и повышенных скоростях истечения защитного газа наблюдается подсос воздуха в зону сварки и защита ухудшается.

Для улучшения защиты при сварке на повышенных скоростях и на ветру рекомендуется увеличивать расход газа и диаметр сопла, приближать горелку к детали. При сварке на повышенных скоростях горелку наклоняют углом вперед, сопло делают овальным и смещают электрод к задней части сопла. Для защиты от ветра зону сварки закрывают малогабаритными щитками, устанавливаемыми на детали или закрепляемыми на горелке автомата, место сварки защищают переносными щитами, устанавливаемыми со стороны ветра, или закрывают переносными палатками.

**Параметры режима сварки.** Основные параметры режима сварки в  $\text{CO}_2$  и его смесях: род, полярность и сила тока; напряжение сварки; диаметр, скорость подачи, вылет, наклон и колебания проволоки; скорость сварки; расход и состав защитного газа. Сварку в защитных газах плавящимся электродом обычно выполняют на постоянном токе. Однако возможна сварка и на переменном токе. Сварочный ток и диаметр проволоки выбирают в зависимости от толщины металла и расположения шва в пространстве. Стабильный процесс сварки с хорошими технологическими характеристиками можно получить только в определенном

диапазоне силы тока, который зависит от диаметра и состава электрода и рода защитного газа (см. табл. 1). Сила тока определяется полярностью тока, диаметром, составом, скоростью подачи и вылетом электрода, составом защитного газа (рис. 12), а также напряжением дуги. Регулируют силу тока изменением скорости подачи проволоки. Сила тока определяет глубину провара и производительность процесса.

Второй важнейший параметр режима сварки — напряжение процесса сварки. С повышением напряжения увеличивается ширина шва и улучшается формирование валика. Однако одновременно возрастают излучение дуги и угар элементов, а также повышается чувствительность дуги к магнитному дутью. При пониженных напряжениях ухудшается формирование шва, а при сварке на повышенных напряжениях увеличивается разбрызгивание. Оптимальные напряжения сварки зависят от силы тока, диаметра и состава электрода, а также рода защитного газа (см. рис. 9).

Сварка на прямой полярности отличается большей длиной дуги, сильным излучением, а в ряде случаев большим разбрызгиванием, чем на обратной полярности. Скорость расплавления электрода на прямой полярности в 1,6—1,8 раза выше, чем на обратной. Глубина провара и ширина шва при сварке на прямой полярности меньше, чем на обратной. Влияние скорости сварки такое же, как и при сварке на обратной полярности. Наклон электрода до  $15^\circ$  углом вперед и углом назад не отражается на характеристиках процесса сварки. Наклон электрода углом вперед на  $15—30^\circ$  несколько уменьшает глубину провара и увеличивает ширину шва. При наклоне электрода углом назад на  $15—30^\circ$  несколько ухудшается формирование шва.

Состав защитного газа существенно влияет на технологические характеристики процесса. Так, в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  (менее 15%  $\text{O}_2$ ),  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  (более 20%  $\text{CO}_2$ ) и  $\text{Ar} + \text{O}_2 +$

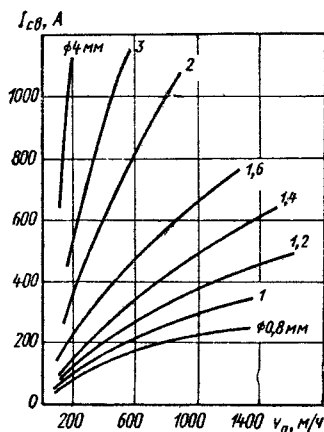


Рис 12 Зависимость силы тока при сварке в  $\text{CO}_2$  от скорости подачи электродной проволоки Св-08Г2С (полярность обратная, вылеты средние для каждого диаметра электрода)

+  $\text{CO}_2$  (более 20%  $\text{CO}_2$ ) можно выполнять сварку во всех пространственных положениях. Смеси  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  (более 20%  $\text{O}_2$ ),  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  (менее 18%  $\text{CO}_2$ ) и  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$  (менее 18%  $\text{CO}_2$ ) пригодны для сварки стационарной дугой в нижнем положении и с импульсами во всех положениях. При сварке в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  (более 20%  $\text{CO}_2$ ) на всех режимах и в смесях  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$  (менее 15%  $\text{CO}_2$ ) и  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  (менее 15%  $\text{CO}_2$ ) на токах менее критических значений форма провара треугольная. При сварке в смесях  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  (менее 15%  $\text{CO}_2$ ) и  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$  (менее 15%  $\text{CO}_2$ ) на токах больше критических значений наблюдается узкое глубокое проплавление в средней части провара. С увеличением силы тока и уменьшением диаметра электрода глубина узкого проплавления увеличивается.

Химический состав проволоки, смазка и загрязнения, находящиеся на проволоке и свариваемом металле, могут оказывать влияние на силу тока, длину дуги, напряжение и характер процесса. Вылет электрода при сварке проволоками  $\varnothing 0,5\text{—}1,4$  мм влияет на стабильность процесса сварки. Это обусловлено изменением нагрева электрода на вылете проходящим током. Допустимый вылет электрода зависит от диаметра, удельного электросопротивления электрода и сварочного тока. При малых вылетах затрудняется видимость зоны сварки и возможно подплавление токоподвода, а при больших — нарушение стабильности процесса. При сварке проволоками диаметром 1,6 мм и более влияние вылета электрода на стабильность протекания процесса сварки намного меньше. В этих случаях сварку можно выполнять при нормальных и повышенных вылетах. Увеличение вылета позволяет повысить коэффициент расплавления электрода и уменьшить глубину провара.

Влияние свойств источника питания наиболее существенно сказывается на технологических характеристиках при ведении процесса с короткими замыканиями в углекислом газе и смесях  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$ . В этих случаях для получения стабильного процесса, хорошего формирования швов и небольшого разбрызгивания необходимо питать дугу от источника с определенными динамическими свойствами по току (см. рис. 20). Оптимальные скорости нарастания  $I_{к.з}$  зависят прежде всего от диаметра электрода. Для получения хорошего формирования при сварке в нижнем положении целесообразно понижать скорости нарастания  $I_{к.з}$ , повышать напряжение и использовать

для питания дуги источники с пологопадающей внешней характеристикой ( $k = -0,06 \div -0,18$  В/А) и комбинированной внешней характеристикой. При чрезмерном уменьшении скорости нарастания  $I_{кз}$  затрудняется начало сварки и снижается стабильность процесса сварки. При сварке в  $\text{CO}_2$  без коротких замыканий на средних и больших токах, а также в смесях  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$  и  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  скорости нарастания  $I_{кз}$  оказывают значительно меньшее влияние на течение процесса. В этих случаях оптимальные характеристики источника питания определяются прежде всего диаметром электрода и родом защитного газа, а также условиями получения хорошего начала и окончания сварки.

Сборка соединений под сварку плавящимся электродом в защитных газах зависит от типа соединения, толщины металла, расположения шва в пространстве, способа сварки (автоматическая или полуавтоматическая).

Требования к качеству сборки и подготовки соединения под полуавтоматическую сварку в  $\text{CO}_2$  проволоками диаметром 0,8—2 мм должны соответствовать ГОСТ 14771—76. Чем выше качество сборки соединения, тем выше производительность. Во всех случаях, где это возможно, рекомендуется собирать и сваривать соединения в приспособлениях без прихваток. При сборке на прихватках их рекомендуется устанавливать с обратной стороны соединения. Прихватку можно выполнять контактной сваркой, сваркой неплавящимся электродом и сваркой тонкой проволокой в  $\text{CO}_2$ . Размеры прихваток и их расположение зависят от толщины металла и типа свариваемого соединения. Прихватки перед сваркой должны быть тщательно очищены. При выполнении прихваток в  $\text{CO}_2$  проволоками  $\varnothing 0,8—1,4$  мм сборку осуществляют короткими швами, которые не перевариваются, а остаются в соединении как основные швы.

**Особенности техники сварки соединений основных типов.** *Стыковые соединения* металла толщиной 0,8—1,2 мм можно сваривать на медных, стеклянных и керамических подкладках, а также на весу. Для получения швов высокого качества необходимы тщательная сборка, точное направление электрода по шву и поддержание неизменным режима сварки. Для соединения металла такой толщины применяют следующие способы.

1. Импульсно-дуговая сварка в  $\text{CO}_2$  проволоками диаметром 0,8—1,2 мм током обратной полярности с использованием специальных источников питания с комбинированной внешней характеристикой.

2. Сварка на обратной полярности проволокой  $\varnothing$  0,7—0,8 мм на малых токах и напряжениях при питании от источника с пониженными динамическими свойствами по току, обеспечивающими получение импульсного процесса с частыми короткими замыканиями. В качестве источников рекомендуются преобразователи ЗП 4/30, ЗП 7,5/30 и выпрямители ВСП-160, ВСП-315, ВДГ-303, ВСЖ-303 и ВС-300Б. Последовательно в сварочную цепь включают дополнительную индуктивность 0,2—0,25 мГн. Сварку ведут вертикальным электродом и направляют дугу на ванночку жидкого металла. В качестве защитных газов рекомендуются углекислый газ и смеси  $\text{CO}_2 + 15\% \text{CO}_2$  и  $\text{Ar} + \text{CO}_2 + (25\% \text{CO}_2)$  и  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$  (20%  $\text{CO}_2$ ).

3. Сварка с короткими замыканиями и гашением дуги.

4. Сварка с периодическим изменением мощности дуги или прекращением процесса проволокой  $\varnothing$  0,7—1,2 мм. При этом дуга легко возбуждается на горячем металле, а тепловая инерция ванны обеспечивает равномерное проплавление и формирование шва, время горения дуги составляет 0,6—1,2 с, а перерыва 0,5—0,8 с.

4. Сварка проволоками  $\varnothing$  0,7—0,8 мм на прямой полярности. Однако в этом случае формирование шва несколько хуже, чем в предыдущих вариантах.

Сварку металла малой толщины всегда рекомендуется выполнять в вертикальном положении сверху вниз с подводом тока к верхней части изделия. При сварке тонкого металла ширина провара обычно одинакова с обеих сторон стыка. При чрезмерно большой ширине шва возможны прожоги. Во избежание этого рекомендуется уменьшать напряжение дуги, диаметр электрода, сварочный ток и увеличивать скорость сварки. При сварке на подкладках важно обеспечивать плотное прижатие листов к подкладке. При нагреве дугой листы, деформируясь, теряют устойчивость и изгибаются непосредственно перед дугой. Для исключения этого рекомендуют делать отбортовку или изгибать стык вдоль сварки таким образом, чтобы при нагреве листы прижимались к подкладке.

Металл толщиной более 1,2 мм легко сваривать на весу. При сварке металла толщиной 1,2—2 мм дугу рекомендуют направлять на ванну жидкого металла, сварку выполняют вертикальным электродом. Для сварки металла толщиной до 2 мм следует выбирать такие режимы, чтобы полный провар получался за один проход. При значительных зазорах в соединении рекомендуется выполнять



сварку в вертикальном положении сверху вниз; сваривать шов с периодическим прекращением процесса или изменением мощности либо с поперечными колебаниями электрода. Для получения качественного формирования важно правильно подобрать программу изменения мощности процесса, частоту и амплитуду колебания электрода.

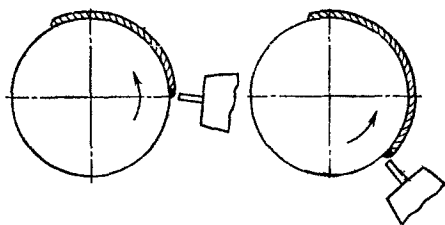


Рис. 13 Схемы расположения электрода при сварке в  $\text{CO}_2$  поворотных кольцевых швов на весу

Металл толщиной более 4 мм сваривают в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + 20\% \text{O}_2$  или  $\text{Ar} + \text{CO}_2(25\% \text{CO}_2)$  с двух сторон. Разделку кромок делают в зависимости от конструкции изделия и допустимых режимов сварки согласно ГОСТ 14771—76 (табл. 3). Для получения качественного стыкового соединения на металле толщиной более 3 мм необходимо предупредить подсос воздуха с обратной стороны стыка. Для этого, а также для получения полного провара соединения без прожогов при больших переменных зазорах рекомендуется корневой шов сваривать тонкой проволокой в  $\text{CO}_2$  на сварочном токе 140—220 А. Последующие проходы могут быть выполнены в  $\text{CO}_2$  или  $\text{CO}_2 + (15 \div 20)\% \text{O}_2$  или под флюсом. Сварка корневого шва тонкими проволоками  $\varnothing 1\text{—}1,4$  мм в  $\text{CO}_2$  позволяет избавиться от кантовки крупных изделий. Сварка первого прохода может быть выполнена также на стеклянной или медной подкладке.

Техника сварки поворотных кольцевых стыковых швов во многом подобна технике сварки продольных швов. Важным параметром режима является смещение от верхней точки окружности. Соединение на металле толщиной 0,8—2,5 мм и корневые швы на металле большой толщины рекомендуется сваривать в вертикальном положении сверху вниз или в полупотолочном положении (рис. 13). Дугу следует направлять на ванну жидкого металла. Это обеспечивает получение полного провара соединения с обратным формированием шва без прожогов даже при значительных переменных зазорах. Режимы сварки некоторых изделий приведены в табл. 4.

При сварке металла большой толщины рекомендуется смещение электрода в сторону направления вращения дета-

Таблица 3

Режимы сварки в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{Ar} + 25\% \text{CO}_2$  стыковых соединений низкоуглеродистых и низколегированных сталей в нижнем положении проволокой Св-08Г2С (полярность обратная)



Толщина металла, мм	Эскиз соединения	Зазор, мм	Число проходов	Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
0,8—1		0—1	1	0,7—0,8	50—80	17—18	25—50	8—10	6—7
1,5—2		0—1	1	1,0—1,2	150—250	20—23	25—45	10—13	7—9
3		0—1,5	1	1,2—1,4	200—300	23—25	25—40	12—15	8—11
3—4		0—1,5	2	1,2—1,6	200—350	25—32	25—75	12—20	8—15
6		0,5—2	2	1,2—2,0	250—420	25—36	25—60	12—20	10—16
9—10		0,5—2	2	1,2—2,5	300—450	28—38	20—50	12—25	12—16
12		1—3	2	1,2—2,5	380—550	33—42	15—30	15—25	12—16

Таблица 4

Режимы сварки поворотных кольцевых стыковых швов в  $\text{CO}_2$  и смеси  $\text{Ar} + 25\% \text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{O}_2 + 20\% \text{CO}_2$  проволокой Св-08Г20\* (полярность обратная)

Диаметр детали, мм	Толщина стенки, мм	Зазор, мм	Смещение кромок, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
50	1—1,5	0—1	0—1	1—1,2	100—150	18—19	80—90	10—12	7—8
100—150	2—2,5	0—1,5	0—1	1—1,2	130—180	18—19	70—80	10—13	7—8
200—500**	8—15	0—1	0—1	1—1,2	150—190	19—21	20—30	10—15	7—8
200—400**	30—60	0—1,5	0—1	2—3	350—450	32—36	25—35	25—60	15—18

\* Смещение электродов согласно рис. 13

\*\* Сварка корневого шва при V- или U-образном разделье

ли. Смещение зависит от объема ванны, диаметра и толщины стенки детали и от скорости сварки. При толщине стенки детали более 15 мм целесообразна узкая щелевая разделка в сочетании с непрерывной многопроходной сваркой. Режимы сварки выбирают в зависимости от допустимого термического цикла. Сварка кольцевых швов может быть выполнена во всех активных газах ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ ;  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$  и  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ). Состав смеси выбирают, исходя из конкретных условий производства.

*Нахлесточные соединения* из металла толщиной 0,8—1,5 мм сваривают на весу, на медной, стальной или стеклянной подкладке. Более толстый металл обычно сваривают на весу. Металл толщиной 0,8—1,5 мм сваривают вертикальным электродом, направленным на кромку верхнего листа. Смещение электрода от кромки до  $\pm (1-1,5)$  мм обеспечивает получение соединения высокого качества. При большем смещении электрода в сторону нижнего листа возможны прожоги, а в сторону верхнего — ухудшения формирования шва и недостаточный провар нижнего листа.

Для получения соединения высокого качества могут быть использованы те же приемы, что и при сварке стыковых швов. Максимальная скорость сварки достигается при выполнении соединений в вертикальном положении сверху вниз, тщательная сборка также позволяет повысить скорость сварки. Металл малой толщины рекомендуется сваривать в  $\text{CO}_2$  с частыми короткими замыканиями, при этом достигаются наименьшие деформации изделия. Металл толщиной более 1,5 мм сваривают электродом, наклоненным поперек шва на  $50-60^\circ$  к поверхности листов. При сварке металла равных толщин электрод направляют в угол, а неравных — в сторону листа большей толщины. Некоторые режимы сварки нахлесточных соединений приведены в табл. 5.

*Тавровые и угловые соединения* можно сваривать наклонным электродом при вертикальном расположении стенки соединения и вертикальным электродом при расположении шва в лодочку. При сварке наклонным электродом угол наклона его к полке должен составлять  $40-50^\circ$ . При сварке швов с катетом до 5 мм и одинаковой толщине листов электрод направляют в угол, при неодинаковой толщине — в сторону листа большей толщины. При сварке тавровых соединений на стали толщиной более 5 мм электрод смещают на 0,8—1,5 мм в сторону полки. При сварке сталей большей толщины делают скос кромки. В этом случае электрод направляют в угол разделки. Для повышения производительности и

Режимы сварки нахлесточных соединений в  $\text{CO}_2$  и  $\text{Ar}+25\% \text{CO}_2$  проволокой Св-08Г2С (полярность обратная)

Толщина металла, мм	Положение сварки*	Защитный газ	Зазор, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин	Примечание
0,8+0,8	В	$\text{CO}_2$	0—0,5	0,8—1	100—120	17,5—19	40—80	8	6—7	На медной подкладке
1+1	Н			0,8—1,2	110—135	18—20	30—50	8—12	7—8	
1+1	В			0,8—1,2	120—150	18—20	40—80	8—12	7—8	На весу или на медной подкладке
1,2+1,2	Н	$\text{CO}_2, \text{Ar}+25\% \text{CO}_2$	0—0,5	1—1,2	120—145	18—20	30—50	8—12	6—8	На медной подкладке
	В				130—160		40—80		7—8	На весу или на медной подкладке
2+2	Н и В	$\text{CO}_2, \text{Ar}+25\% \text{CO}_2$	0—0,5	1—1,4	160—220	19—22	30—70	10—14	8—9	На весу
5+5	Н		0—1	1,2—2	200—500	21—35	30—45	10—20	9—15	
1,5+5	Н и В	$\text{CO}_2, \text{Ar}+\text{O}_2$	0—1	1—1,4	130—180	19—22	30—65	8—14	7—9	

\* Н — нижнее положение, В — вертикальное сверху вниз

улучшения формирования шва целесообразно выполнять сварку на спуск. Швы с катетом более 4 мм рекомендуются сваривать в лодочку. Это обеспечивает возможность использования форсированных режимов, улучшает формирование шва, позволяет увеличивать скорость сварки до 300 м/ч. При сварке тавровых и угловых соединений можно рекомендовать приемы, повышающие скорость расплавления электрода: сварку с подачей присадочной проволоки, с увеличенным вылетом, с дополнительным нагревом электрода и др. Некоторые режимы сварки тавровых и угловых соединений приведены в табл. 6.

*Замковые соединения* наиболее часто применяют при сварке кольцевых швов. Такие соединения выполняют с разделкой кромок согласно ГОСТ 14771—76. Режимы сварки выбирают в зависимости от толщины листов и диаметра изделия. Замковые соединения позволяют выполнять сварку первых проходов на больших токах, поскольку в данном случае отсутствует опасность прожога листов. При сварке замкнутых сосудов во избежание появления пор в корне шва требуется сборка без зазоров. Поэтому замок делают скошенным и детали собирают с натягом. Для повышения производительности, улучшения форми-

Таблица 6  
Режим сварки в  $\text{CO}_2$  угловых и тавровых соединений проволокой Св-08Г2С без разделки кромок (полярность обратная)

Толщина металла, мм	Катет шва, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин	Расположение шва в промышленности*
0,8—1	1,2—1,5	0,7—0,8	70—110	17—19,5	30—50	8—10	6	Н, В, П
1,2—2	1,5—2	0,8—1,2	110—140	18,5—20,5	30—50	8—12	6—7	
2—3	2—3	1,2—1,4	150—210	19,5—23	25—45	11—15	6—8	Н, В
4—6	2,5—4	1,2—1,6	170—350	21—32	23—45	11—30	7—10	
4—6	3—4	1,2—2	250—350	25—32	30—55	11—40	9—12	НС
6—10	5—8	1,2—2,5	250—350	25—32	18—40	12—40	8—12	Н
6—10	5—8	1,2—2,5	250—450	25—42	25—50	12—40	9—15	НС

\* Н — нижнее положение; В — вертикальное сверху вниз; П — потолочное; НС — на спуск,  $\alpha=10^\circ$

рования шва и уменьшения разбрызгивания электрод сменяют с зенита так, чтобы вести сварку на спуск.

**Особенности полуавтоматической сварки.** Техника полуавтоматической сварки в  $\text{CO}_2$  и в смесях  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  (25%  $\text{CO}_2$ ) и  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$  (25%  $\text{CO}_2$ ) проста. Задача сварщика состоит в поддержании постоянного вылета электрода, равномерном перемещении держателя вдоль кромок и в отдельных случаях в выполнении колебаний электрода. Глубина провара при сварке в  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  больше, чем при сварке  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  и при ручной дуговой сварке штучными электродами, что позволяет выполнять сварку на больших скоростях. Изменения скорости сварки, неизбежные при перемещении держателя вручную, сказываются на изменении глубины проплавления. Поэтому во избежание прожогов полуавтоматическую сварку выполняют с меньшей силой тока, чем автоматическую. В результате скорость полуавтоматической сварки меньше, чем автоматической.

При сварке тонкими проволоками форма колебаний электрода обычно такая же, как при ручной дуговой сварке. При сварке проволоками  $\varnothing 1,6$  мм и более форма поперечных колебаний зависит от типа соединения и может изменяться от слоя к слою. Корневые швы сваривают при возвратно-поступательном перемещении электрода, средние слои стыковых швов — при перемещении электрода по вытянутой спирали, а верхние слои с поперечными колебаниями — «змейкой». Сварку стыковых соединений можно вести с наклоном электрода как углом вперед, так и углом назад до  $10\text{--}30^\circ$ . В первом случае глубина провара несколько меньше, шов шире, удобно направлять дугу по разделке шва. можно добиться существенного уменьшения разбрызгивания, сварку можно выполнять с большими скоростями, чем сварку вертикальным электродом. Возвратно-поступательные движения горелки обеспечивают снижение пористости при сварке во всех активных газах. Этому способствуют как улучшение защиты, так и перемешивание и замедленное охлаждение жидкой ванны.

При сварке углом назад рекомендуют наклонять горелку на  $5\text{--}15^\circ$ . В этом случае можно несколько увеличить глубину провара, но ширина шва уменьшается. Для расширения шва сварку выполняют с колебаниями электрода. При сварке угловых швов электрод наклоняют на  $30\text{--}45^\circ$  от вертикали поперек соединения. Сварку ведут вертикальным электродом или с наклоном углом вперед до  $15^\circ$ .

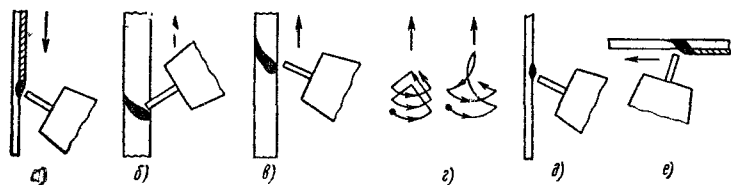


Рис. 14. Схемы расположения электрода и поперечных колебаний электрода при сварке в  $\text{CO}_2$  швов:

*a* — вертикальных сверху вниз; *b* — то же, снизу вверх; *d* — горизонтальных; *e* — потолочных

Дугу направляют немного (до 1 мм) на нижнюю полку или в угол. Желательно вести сварку на спуск с наклоном изделия на  $6 - 10^\circ$ . Это существенно улучшает формирование шва, позволяет повышать скорости сварки и уменьшать разбрызгивание.

Для получения плотного шва и хорошего провара в начале сварки необходимо обеспечить предварительную подачу газа до зажигания дуги и начинать сварку вертикальным электродом, а также выполнять сварку с программированием напряжения, тока и скорости подачи электрода. Для получения качественного конца необходимо заварить кратер и обдуть его газом до полного затвердевания металла. При сварке с большой силой тока для заварки кратера нужно уменьшить силу тока и напряжение (ориентировочно до 150—170 А и 24—26 В). Для окончания сварки могут быть использованы также другие приемы, осуществляемые с программированием напряжения.

*Вертикальные* швы сваривают как со свободным, так и с принудительным формированием. Металл толщиной до 4 мм обычно сваривают сверху вниз со свободным формированием швов. Сварку выполняют тонкими проволоками  $\varnothing 0,8 - 1,4$  мм в  $\text{CO}_2$  или  $\text{CO}_2 + 15\% \text{O}_2$ , реже в смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  (не менее 25%  $\text{CO}_2$ ). Сварку вертикальных швов сверху вниз ведут углом назад, направляя дугу на переднюю часть ванночки (рис. 14, *a*). Это обеспечивает поддержание ванночки от стекания, увеличение проплавления корня шва и исключает несплавления и натеки по краям шва. При сварке металла толщиной до 1,2 мм эта техника исключает прожоги металла. Металл толщиной до 3 мм сваривают без колебаний электрода, металл большей толщины — с поперечными колебаниями электрода (рис. 14). Требования к качеству сборки при сварке сверху вниз менее жесткие, чем при сварке в нижнем положении. Поэтому

сварку сверху вниз применяют для выполнения корневых швов металла разной толщины при наличии переменных зазоров. Скорость сварки сверху вниз обычно в 2—2,5 раза выше, чем сварки снизу вверх. Для уменьшения разбрызгивания и увеличения провара рекомендуют вести сварку на пониженных напряжениях при питании от источников с повышенными динамическими свойствами по току.

При выполнении вертикальных швов сверху вниз на повышенных токах и напряжениях, что необходимо для сварки более толстого металла, при питании от источников тока с низкими скоростями нарастания тока короткого замыкания, а также при увеличении содержания кислорода в смеси  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  более 15% и содержания  $\text{CO}_2$  менее 20% в смеси его с аргонem наблюдается увеличение стекания жидкого металла. В результате появляются непровары в корне шва, натеки и несплавления по краям шва. Эти же явления наблюдаются при выполнении сварки проволоками  $\varnothing$  1,6 и 2 мм. Вследствие этого при использовании обычных источников тока (ВС-300, ВДГ-302, ПСГ-500 и др.) металл толщиной более 4 мм приходится сваривать снизу вверх. Скорости сварки вертикальных швов снизу вверх обычно невелики (6—10 м/ч). Сверху ведут углом вперед, направляя дугу на переднюю часть ванночки, что уменьшает ее стекание. Металл толщиной более 8 мм сваривают с поперечными колебаниями электрода по треугольнику (см. рис. 14,з). Техника выполнения сварки швов снизу вверх требует более высокой квалификации сварщика.

В последнее время в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны рекомендации по импульсно-дуговой сварке в  $\text{CO}_2$  проволоками  $\varnothing$  0,8—1,2 мм, позволяющие сваривать вертикальные швы на металле толщиной до 12 мм сверху вниз. Сварку выполняют электродом, наклоненным углом назад, швы катетом до 5 мм сваривают без поперечных колебаний электрода, швы катетом более 5 мм — с поперечными колебаниями электрода и в несколько проходов. Формирование швов хорошее, разбрызгивания изделия нет, можно получить угловые швы с небольшим усилением и ослабленные, что обеспечивает экономию электродной проволоки, электроэнергии и труда, затрачиваемых на сварку 1 м шва. Скорости сварки угловых швов сверху вниз на металле толщиной 8—12 мм достигают 25—35 м/ч, на более тонком — 50—55 м/ч. Простая техника сварки и мягкая эластичная дуга меньше утомляют сварщика, чем сварка снизу вверх с колебаниями электрода.



Режимы сварки вертикальных швов со свободным формированием в  $\text{CO}_2$  и в смесях  $\text{CO}_2 + 15\% \text{O}_2$  и  $\text{Ar} + 25\% \text{CO}_2$  выбирают такими, чтобы процесс протекал с частыми короткими замыканиями (табл. 7). Сварку в смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  (менее 10%  $\text{CO}_2$ ) можно выполнить с наложением импульсов тока. При этом можно использовать электродные проволоки  $\varnothing 1-2$  мм. Сварку с принудительным формированием выполняют на режимах без коротких замыканий.

При значительной длине прямолинейные вертикальные швы на стали толщиной 8—40 мм целесообразно сваривать с принудительным формированием, как при электрошлаковой сварке. Этот способ разработан Д. А. Дудко с сотрудниками в ИЭС им. Е. О. Патона в 1956—1957 гг.

Для получения высокого качества и хорошего формирования швов необходимо наличие между ползуном и швом небольшого количества шлака. Для этого при использовании проволок сплошного сечения в зону сварки подают небольшое количество флюса; флюс подают из отдельного бункера или с присадочной порошковой проволокой, укрепленной на кромке стыка. При сварке порошковыми проволоками шлак образуется при расплавлении самой проволоки. Для защиты зоны сварки применяют  $\text{CO}_2$  или смесь  $\text{CO}_2 + (15 \div 30) \% \text{O}_2$ . В последнем случае на поверхности ванны образуется больше шлака и ванночка более жидкотекучая.

Для получения шва высокого качества необходимо предупредить попадание воздуха к расплавленной ванночке. В связи с этим рекомендуют подавать газ по специальным газовым соплам или по каналам, расположенным в ползунах. Наличие на поверхности ванны шлака снижает требования к качеству защиты. Режимы сварки вертикальных швов выбирают, исходя из условия получения заданного термического цикла, получения процесса с минимальным разбрызгиванием и толщины металла. С увеличением сварочного тока увеличиваются объем сварочной ванночки и ее глубина. При заданном напряжении с повышением сварочного тока ширина шва уменьшается. С повышением напряжения ширина ванны увеличивается. Зазор между листами влияет мало на ширину шва.

Соединения на металле толщиной более 20 мм выполняют с колебаниями электрода. У ползунов электрод задерживают на 1,5—2 с. Сварку вертикальных швов выполняют на постоянном токе, однако в ряде случаев целесообразно использование переменного тока. Сварка вертикальных швов

Режимы сварки в  $\text{CO}_2$  и в смеси  $\text{Ar} + 25\% \text{CO}_2$  углеродистых сталей в вертикальном положении проволокой Св-08Г2С (сварка сверху вниз, полярность обратная)

Толщина металла мм	Эскиз соединения	Зазор, мм	Номер прохода	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
0,8—1 1,2—2 2,2—4		0—1 0—1 0—1,5	I	0,8—1,0 0,8—1,2 1,2—1,4	90—130 140—200 180—260	17—18 18—22 21—24	40—60 40—55 35—55	8—11 8—12 9—12	6—7 6—7 7—8
3—6		1—1	I II	1,2—1,4 1,2—1,4	160—200 200—260	20—23 23—25	25—45 20—40	9—12 9—12	8—9 8—9
8—10		2—2	I II—III	1,2—1,4 1,2—1,4	160—200 200—260	20—23 23—35	25—45 20—35	9—12 9—12	9—10 9—10
0,8—1 1,5—3		0—0,05	I I	0,8—1 0,8—1,2	90—130 140—200	17—18 18—22	40—55 40—50	8—11 8—12	5—7 6—7
3,2—5,5 6—12		0—1 0—1,5	I—II I—II	1,2—1,4 1,2—1,4	160—240 200—260	20—23 22—26	35—55 25—35	9—12 10—12	7—8 8—10

в защитных газах с принудительным формированием обеспечивает более высокую производительность, чем сварка со свободным формированием и ручная дуговая сварка. Стыковые соединения под сварку с принудительным формированием собирают без скоса кромок и с V-образной разделкой. Сборка с V-образной разделкой позволяет уменьшить сечение разделки и повысить скорость сварки. Кроме того, при V-образной разделке кромок в случае выхода из строя автомата сварку можно закончить полуавтоматической или ручной дуговой сваркой. Поперечная усадка соединения при V-образной разделке также меньше, чем при прямоугольной.

*Горизонтальные швы* на стали толщиной до 6 мм сваривают в  $\text{CO}_2$  или  $\text{CO}_2 + 15\% \text{O}_2$  проволоками  $\varnothing 0,8-1,4$  мм. Соединения на металле толщиной до 3 мм собирают без скоса кромок с небольшим зазором, что обеспечивает получение швов с полным проваром и небольшим усилением. Сварку ведут с наклоном электрода снизу вверх и углом назад без поперечных колебаний (см. рис. 14, д). Дугу направляют на металлическую ванночку. При толщине металла более 4 мм делают скос на кромке верхнего листа. Сварку металла толщиной более 6 мм выполняют с наклоном электрода поперек шва на угол  $40-60^\circ$  к вертикали. Основное сечение шва заваривают с повышенной силой тока. При этом используют проволоки сплошного сечения до  $\varnothing 2$  мм и порошковые до  $\varnothing 4$  мм, а облицовочные швы заваривают проволоками  $\varnothing 1-1,4$  мм на малых режимах (табл. 8). При сварке металла толщиной более 6 мм с повышенной силой тока наблюдается стекание ванны жидкого металла. Для предупреждения этого используют формирующие ползуны. При сварке горизонтальных швов проволоками Св-08Г2С  $\varnothing 1,6-2$  мм в металле шва встречаются характерные несплавления, имеющие вид полушария. Места несплавления обычно покрыты тонкой корочкой шлака. Для их исключения следует понижать режим сварки и диаметр электрода, а также осушать  $\text{CO}_2$  и очищать проволоку от смазки.

*Потолочные швы* рекомендуется сваривать в  $\text{CO}_2$  проволокой  $\varnothing 0,8-1,4$  мм на режимах с частыми короткими замыканиями и в  $\text{Ar} + 10\% \text{CO}_2$  с наложением импульсов. Сваривать такие швы полуавтоматом труднее, чем в других положениях, поэтому сварщик должен иметь более высокую квалификацию. Сварку потолочных швов ведут углом назад (см. рис. 14, е) на минимальных напряжениях. Сва-

Режимы сварки в  $CO_2$  горизонтальных швов проволокой Св-08Г2С (полярность обратная)

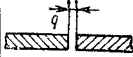
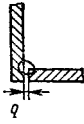
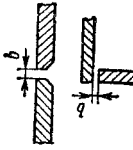
Толщина металла, мм	Эскиз соединения	Зазор мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
0,8—1		0—0,5	0,8—1	70—130	17—18,5	25—30	8—10	6—7
1,5		1—1,5	0,8—1,2	100—150	17,5—19,5	19—24	8—12	6—8
3		1,5—2	1—1,4	140—190	20—23	16—18	10—12	7—9
5—6		0—1	1—1,4	150—190	20—23	10—14	12—14	8—10

Таблица 9

Режимы сварки в  $CO_2$  швов в потолочном положении (обратная полярность, проволока Св-08Г2С)

Толщина металла, мм	Катет шва, мм	Эскиз соединения	Зазор, мм	Диаметр электрода, мм	Число проходов	Сварочный ток, А	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа, л/мин
1,5—2	1,5—2		0—1	0,8—1,2	1	150—190	18,5—20	23—35	7
3—5	3—5		0—1,5	1—1,2	1	160—260	19—22,5	20—30	8
7—8	6—8		0—1,5	1—1,2	2	160—270	19,5—22,5	17—25	8—9

рочный ток можно выбирать несколько большим, чем для сварки вертикальных швов (табл. 9). Дугу и поток  $\text{CO}_2$  направляют на ванночку жидкого металла, что уменьшает его стекание. Для этой же цели рекомендуется увеличивать расход газа. Сварку стыковых швов с разделкой кромок ведут с поперечными колебаниями электрода. Металл толщиной более 6 мм рекомендуется сваривать в два прохода и более, что обеспечивает получение плотных швов.

**Сварка электрозаклепками и точками в  $\text{CO}_2$ .** Сварку электрозаклепками и точками применяют для выполнения нахлесточных тавровых, угловых и стыковых соединений на металле толщиной более 0,5 мм со швами, расположенными во всех пространственных положениях. На сварочных токах до 450 А целесообразно использовать проволоки  $\varnothing 0,8-1,4$  мм, на больших токах — проволоки  $\varnothing 1,6-2$  мм. В отдельных случаях при сварке металла большой толщины в нижнем положении используют проволоку до  $\varnothing 4$  мм.

При сварке электрозаклепками металла толщиной более 1,5 мм в вертикальном и потолочном положениях и толщиной более 6 мм в нижнем положении рекомендуется делать отверстия в верхнем листе. В остальных случаях отверстия в верхнем листе не делают. Требования к качеству сборки обычно такие же, как при сварке швами большой длины. Стабильность начала процесса оказывает большое влияние на качество сварки точками и электрозаклепками. При сварке проволоками до  $\varnothing 1,6$  мм начало процесса осуществляют путем подачи электродной проволоки под напряжением к изделию. Для улучшения начала сварку следует начинать на малом вылете электрода. При сварке проволоками больших диаметров следует использовать специальные приемы зажигания дуги. Например, при автоматической сварке необходимо начинать процесс при пониженной скорости подачи электродной проволоки и повышенной скорости нарастания тока в сварочной цепи, а после зажигания дуги переходить на рабочий режим. При этом важно, чтобы переход на рабочий режим сварки происходил после зажигания дуги. Для этого в сварочную аппаратуру вводят спаренные датчики напряжения и тока, которые подают сигнал на переключение режима сварки.

На глубину проплавления точки наиболее эффективно влияет сварочный ток. С его повышением увеличиваются диаметр и высота усиления точки. Сварку следует выполнять на токе, максимально допустимом для данной толщины

металла. Напряжение дуги оказывает влияние на форму точки. При недостаточном напряжении в центре точки образуется углубление, а при завышенном — бугорок. Оптимальное напряжение зависит от сварочного тока и диаметра электрода. При сварке точки глубина проплавления растет в первый период горения дуги. В дальнейшем глубина проплавления растет незначительно, увеличивается только усиление точки. Сварку металла толщиной до 2 мм обычно выполняют без изменения тока в процессе сварки точки. При этом путем выбора напряжения можно получить хорошее формирование точки с достаточной глубиной и шириной проплавления. При большей толщине металла рекомендуется выполнять сварку с изменением сварочного тока. После начала сварки точки силу тока увеличивают, а в конце уменьшают и одновременно повышают напряжение. Это обеспечивает глубокое проплавление, хорошую форму электрозаклепки и позволяет регулировать термический цикл при сварке. Для увеличения сечения проплавления и прочности электрозаклепки сварку рекомендуют выполнять с круговым перемещением электрода, а иногда делать отверстия в верхнем листе. Прочность отдельной точки зависит от толщины металла и сечения электрозаклепки.

Работоспособность электрозаклепочных и точечных соединений при знакопеременной и ударной нагрузках в ряде случаев выше, чем соединений, выполненных сплошными швами. Контроль качества электрозаклепок на металле малой толщины осуществляют по их внешнему виду с обеих сторон. При нарушении газовой защиты, превышении зазоров в соединении, наличии большого загрязнения листов и использовании ржавой проволоки в электрозаклепках образуются поры. Трещины в электрозаклепках и точках появляются в основном при сварке высокоуглеродистых сталей и при повышенных режимах сварки.

### **Технология сварки и наплавки углеродистых сталей**

Детали из низкоуглеродистых сталей хорошо свариваются в  $\text{CO}_2$  и смесях  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  и  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$ . Сварка среднеуглеродистых и особенно высокоуглеродистых сталей затруднена ввиду опасности образования трещин в швах и в зоне термического влияния. Для получения высококачественных швов применяют предварительный подогрев изделий и последующую термическую обработку. В  $\text{CO}_2$  и

$\text{CO}_2 + \text{O}_2$  эти стали свариваются легче, чем под флюсом, особенно при использовании тонких проволок. Это можно объяснить как окислительным характером защитного газа, так и меньшими напряжениями при сварке. Добавка кислорода повышает стойкость к образованию пор и трещин.

К среднелегированным сталям относятся стали 20ХГС, 25ХГС, 30ХГС и 30ХГСМ. Стали 20ХГС свариваются в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{Ar} + \text{O}_2$  удовлетворительно, сталь 30ХГС сваривается с некоторыми затруднениями. Механические свойства металла шва, выполненного в  $\text{CO}_2$ , зависят от состава, диаметра электродной проволоки и режима сварки. При использовании проволоки Св-08ГС, Св-08Г2С и Св-07ГС до  $\varnothing 1,2$  мм металл шва на углеродистых сталях общего назначения обладает высокими механическими свойствами, такими же, как при использовании электродов типа Э50А, Э55 (табл. 10), и содержит небольшое количество шлаковых включений. При использовании проволок  $\varnothing 1,6$ —3 мм несколько снижается ударная вязкость металла шва (табл. 11). Это объясняется, по-видимому, более высокой интенсивностью металлургических реакций, приводящих к большим количествам и размерам неметаллических включений, более грубой структуре шва, а в ряде случаев, к большему содержанию водорода и азота в шве.

Для получения швов с высокой ударной вязкостью рекомендуется применять проволоку Св-08Г2С, которую необходимо прокалить в течение 1,5—2 ч при температуре 200—250°C. В некоторых случаях можно рекомендовать также выполнять сварку проволокой Св-07ГС  $\varnothing 1,6$ —2 мм. Проволока Св-12ГС  $\varnothing > 1,6$  мм для сварки металлов средних и больших толщин непригодна, так как не обеспечивает достаточно плотных швов, и в кратерах образуются горячие трещины. При сварке жестких соединений проволоками Св-08Г2С и Св-08ГС во избежание образования трещин следует полностью заваривать кратер. При сварке жестких соединений на металле большой толщины, выполняемых за несколько проходов, корневого шов целесообразно сваривать проволокой Св-08Г2С  $\varnothing 1,2$  мм.

Легированные конструкционные стали разделяют на низколегированные, содержащие до 3% легирующих элементов, и среднелегированные, содержащие до 3,8% легирующих элементов. Низколегированные стали 10ХСНД, 15ХСНД, 14ХГС, 09Г2 и другие обычно хорошо свариваются в  $\text{CO}_2$  и смесях  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{Ar} + \text{O}_2$  и не требуют после сварки термической обработки.

Таблица 10  
 Механические свойства металла швов, выполненных в CO<sub>2</sub> проволоками Ø 0,8—1,2 мм (полярность обратная)

Сталь	Марка проволоки	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость (МДж/м <sup>2</sup> ) при температуре, °С		
						+20	-20	-40
Ст3кп	Св-08ГС	370—390	510—550	25—30	56—60	1,2—1,6	0,9—1,2	0,6—0,9
Ст3кп	Св-08Г2С	410—430	540—580	24—29	60—66	1,3—1,5	0,9—1,3	0,65—1,2
Ст3сп	Св-08ГС	370—390	520—560	26—32	60—66	1,2—1,8	1,1—1,5	0,8—1,2
Ст3сп	Св-08Г2С	410—430	540—580	25—30	60—66	1,2—1,7	1—1,4	0,7—1,1

Таблица 11  
 Механические свойства металла швов, выполненных в CO<sub>2</sub> проволоками Ø 1,6—3 мм

Сталь	Марка проволоки	Прочность проволоки при 250 °С	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость (МДж/м <sup>2</sup> ) при температуре, °С		
							+20	-20	-40
Ст3кп	Св-08Г2С	Нет	420—440	550—580	24—29	55—62	1—1,3	0,4—0,8	0,15—0,6
Ст3кп	Св-07ГС	«	339—383	470—507	29,3—32,5	60—64,6	1,18—1,86	0,75—1,06	0,72—0,84
Ст3сп	Св-08Г2С	«	430—450	560—580	22—27	59—60	0,8—1,3	0,57—0,7	0,4—0,6
Ст3сп	Св-07ГС	«	380—411	541—544	32—32,6	68—64,5	1,32—1,51	1,02—1,38	0,55—0,98
Ст3сп	Св-08Г2С	Есть	400—420	520—560	26—30	60—66	1,25—1,80	0,8—1,5	0,69—1,2
Ст4сп	Св-08Г2С	Нет	420—480	550—600	23—27	50—57	0,71—1,2	0,6—0,9	0,5—0,7
Ст4сп	Св-08Г2С	Есть	420—440	520—570	25—28	60—62	1—1,8	0,8—1,2	0,6—1,4
40	Св-08Г2С	Нет	460—490	660—690	24—36	57—62	0,64—0,71	0,4—0,56	0,25—0,24
Ст3кп	ПП-АН-4	«	376	459	29,3—34,3	69,8	1,47—1,58	0,82—1,17	0,3—0,89
Ст3сп	ПП-АН-4	«	419—449	502—572	24,5—32	66—69,8	0,94—1,65	0,78—1,5	0,69—1,32



Для сварки в  $\text{CO}_2$  низколегированных сталей 10ХСНД, 15ХСНД, и 14ХГС применяют проволоки Св-08ГС, Св-08Г2С и Св-07ГС до  $\varnothing$  1,2 мм. При этом обеспечивается получение таких же свойств металла шва, как при использовании электродов типов Э50А, Э55. Стойкость швов, выполненных в  $\text{CO}_2$  при динамической нагрузке, выше, чем швов, выполненных под флюсом.

При выполнении сварки проволоками  $\varnothing$  1,6 мм и более обычно используют только проволоку Св-08Г2С, которую рекомендуется нагревать в течение 1,5—2 ч до температуры 200—250°C для удаления водорода и азота. Для сварки стали 09Г2 пригодны проволоки Св-08Г2С и Св-07ГС. На практике для сварки в  $\text{CO}_2$  ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей проволоками  $\varnothing$  1,6 мм и более используют проволоку Св-08Г2С, которая обеспечивает получение плотных швов при сварке соединений, собранных с неравномерным зазором. При неизбежных нарушениях газовой защиты (сварка на открытых площадках, при значительных зазорах в соединениях и др.) для сварки в  $\text{CO}_2$  углеродистых и низколегированных сталей рекомендуют проволоку Св-20ГСЮТ.

При сварке в  $\text{CO}_2$  сталей 10ХСНД и 15ХСНД для повышения стойкости сварных соединений к атмосферной коррозии рекомендуют проволоку Св-08Г2СДЮ, а для повышения коррозионной стойкости сварных соединений, эксплуатирующихся в морской воде, — проволоку Св-10ХГ2С, а также Св-10ХГ2С, дополнительно легированную никелем.

Для сварки углеродистых и низколегированных сталей в  $\text{CO}_2$  успешно применяют порошковые проволоки трубчатой конструкции с сердечниками рутилового типа (ПП-АН-8, ПП-АН-10, ПП-АН-13 и ПП-АН-21). Эти проволоки обеспечивают значительное уменьшение разбрызгивания и хорошее формирование швов. По механическим свойствам металл шва отвечает требованиям, предъявляемым к электродам типа Э50А. Порошковые проволоки с сердечником рутил-флюоритного типа ПП-АН-4, ПП-АН-9, ПП-АН-18 и ПП-АН-22 обеспечивают получение швов с более высокими пластическими свойствами при низких температурах, соответствующими требованиям, предъявляемым к электродам типа Э50АФ. По сварочно-технологическим характеристикам эти проволоки несколько хуже, чем проволоки рутилового типа.

Для сварки в  $\text{CO}_2$  углеродистых и ряда низколегированных сталей разработана также проволока, легированная редкоземельными элементами. Активированная проволока АП-АН-2 содержит в центре небольшое количество шлака рутилового типа. Эта проволока обеспечивает уменьшение разбрызгивания в диапазоне больших сварочных токов (выше 370 А) и дает существенное улучшение формирования шва. Однако на поверхности шва образуется значительное количество шлака. Сварка углеродистых и низколегированных сталей успешно выполняется также в  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ . Более высокий окислительный потенциал этой смеси обеспечивает большее окисление элементов, в том числе и водорода, что повышает стойкость швов к образованию трещин.

Для сварки в смеси и  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  используются проволоки Св-08Г2С и Св-08Г2СЦ (с чернем) и др. Для сварки низколегированных конструкционных сталей рекомендуется также применять смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  и  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$ . В зависимости от состава стали и режима сварки применяют проволоку Св-08Г2С, а в случае наличия в стали значительного количества марганца — проволоки Св-08ГС и Св-07ГС. Смесь  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  обеспечивают повышение хладноломкости швов, снижение количества шлака на швах и резкое уменьшение разбрызгивания.

К среднелегированным относятся стали 20ХГС, 25ХГС, 30ХГС, 30ХГСА. Стали 20ХГС свариваются в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  удовлетворительно, сталь 30ХГС сваривается с некоторыми затруднениями. При толщине металла более 10 мм и жестких соединениях сварку ведут с предварительным подогревом.

Сталь 30ХГСА толщиной до 4 мм сваривают без разделки кромок за один проход; при этом шов легируется углеродом, марганцем, кремнием и хромом за счет основного металла. Поэтому для сварки используют проволоки Св-10ГСМ, Св-10ГСМТ, Св-08ХГ2СМ, Св-15ХМА и Св-18ХГСА с содержанием не более 0,18 % С. Режимы сварки выбирают обычно такие же, как и для низколегированных сталей. Металл толщиной более 4 мм сваривают с разделкой кромки за несколько проходов. Для сварки сталей 30ХГС и 30ХГСА используют проволоку Св-08ХЗГ2СМ, которая обеспечивает получение высоких механических свойств после термической обработки. Металл толщиной до 10 мм сваривают без предварительного подогрева, а более 10 мм — с предварительным подогревом. Первый корневой шов можно сваривать

вать проволоками Св-08Г2С, Св-10ГСМТ, Св-08Г2СМ  $\varnothing$  1—1,2 мм.

Стали 15ХМА и 20ХМА используют для конструкций, работающих при температуре до 520°С. Сваривать их рекомендуется проволокой Св-08ХГСМА с предварительным подогревом до температуры 250—300°С. После сварки соединения подвергают высокому отпуску. Сталь 34ХМ и соединения ее со сталью 20Х3МВФ рекомендуют сваривать проволокой Св-08ХГСМФ с предварительным и сопутствующим подогревом до температуры 350°С. После сварки соединения подвергают термической обработке.

Детали небольших размеров и диаметров, в том числе работающие при ударной и знакопеременной нагрузках, наплавляют в углекислом газе проволоками  $\varnothing$  0,8—1,4 мм. Детали больших размеров наплавляют проволоками  $\varnothing$  1,6—4 мм сплошного сечения или порошковыми. При наплавке тонкой проволокой удастся получить наплавленный слой толщиной 0,8—1,5 мм. Успешно наплавляют детали из сталей Ст3, Ст4, 30, 40, 45 и др., а также из серого чугуна.

При использовании проволок Св-08ГС, Св-08Г2С и других низколегированных проволок наплавленный металл обычно имеет твердость *НВ* 220—250. Для повышения твердости после механической обработки наплавленный слой подвергают цементации и термической обработке. При наплавке сталей 40 и 40Х часто используют проволоку Нп-30ХГСА, в этом случае твердость наплавленного слоя составляет *НВ* 245—290. Иногда для наплавки используют проволоки Св-10Х13, Св-08Х14ГТ, Св-08Х18Н2ГТ, Св-06Х19Н9Т, Св-07Х18Н9ТЮ, Св-08Х20Н9Г7Т и другие аустенитного класса. В этих случаях наплавленный слой отличается высокой износостойкостью, а нередко и коррозионной стойкостью.

Для наплавки изделий больших размеров обычно используют порошковые проволоки специальных составов. Так, для наплавки конусов доменных печей используют проволоки ПП-Х12ВФ, ПП-Х10В14, и ПП-3Х2ВГТ. Для наплавки прессового инструмента и прокатных валков используют проволоки ПП-3Х2В8ГТ и ПП-5Х3В11Н4ГТ.

### **Технология сварки и наплавки чугуна**

Изделия из ковкого и высокопрочного чугуна успешно сваривают и наплавляют в  $\text{CO}_2$  проволоками Св-08ГС, Св-08Г2С, Нп-30ХГСА и порошковыми  $\varnothing$  0,6—1,4 мм без

предварительного подогрева. В случае необходимости получения металла шва, который можно обрабатывать механически, используют проволоки Св-08ГС и Св-08Г2С. Свойства сварного соединения зависят от силы тока, скорости сварки и техники ее выполнения. При сварочном токе 50—100 А, напряжении 10—20 В металл шва имеет ферритно-перлитно-сорбитную структуру. Зона термического влияния и сплавления имеет трооститно-мартенситную структуру с участками ледебурита по линии сплавления. Трещины в зоне термического влияния отсутствуют. При сварке на больших токах в шве появляются мартенсит и ледебурит, а в зоне термического влияния — участки отбела и микротрещин. При повышении напряжения увеличивается доля чугуна в металле шва и возможно образование трещин.

Для уменьшения доли основного металла в металле шва наплавку выполняют с перекрытием предыдущего валика на 1/3 его ширины. Дугу при этом направляют на ранее наплавленный валик. Скорости сварки и наплавки выбирают, исходя из условия получения минимальной доли основного металла в металле шва и допустимого разогрева детали. В отдельных случаях для получения соединений с минимальным изменением структуры зоны термического влияния сварку и наплавку выполняют каскадом или с наложением отжигающих валиков. При этом металл шва имеет ферритно-перлитную структуру без заметных изменений структуры в зоне термического влияния.

По данным Ф. И. Петренко, при наплавке проволокой Нп-30ХГСА  $\varnothing$  1—1,2 мм на высокопрочный чугун металл шва состоит из троостита, мартенсита и остаточного аустенита. Твердость металла значительно выше, чем при использовании проволоки Св-08Г2С. Сварку чугуна со стальными деталями выполняют проволокой Св-08Г2С  $\varnothing$  1—1,4 мм, режимы сварки выбирают из тех же соображений, что и при сварке чугуна. При сварке стальных и чугунных деталей встык и внахлестку сварку часто выполняют с предварительной облицовкой чугуна путем наплавки его кромок проволокой Св-08ГС или Св-08Г2С  $\varnothing$  1—1,2 мм. При выполнении основного шва улучшается структура облицовочного слоя и зоны термического влияния в чугуне. Сварка в  $\text{CO}_2$  тонкой проволокой нашла применение в автомобильной и тракторной промышленности при соединении стальных патрубков с чугунными фланцами, при восстановлении изношенных деталей (ступиц колес, коленчатых валов и др.)

из ковкого и высокопрочного чугуна, при сварке в сантехнике труб из серого чугуна.

Для холодной сварки серого чугуна в ИЭС им. Е. О. Патона разработана порошковая проволока ПП-АНЧ-1, имеющая состав: 7—7,5 % С; 4—4,5 % Si; 0,4—0,8 % Mn; 0,4—0,6 % Ti и 0,6—0,9 % Al. Эта проволока с учетом окисления элементов и разбавления основным металлом на 45—60 % при сварке со средней силой тока обеспечивает получение наплавленного металла и зоны сплавления без отбела и трещин. Структура металла шва — феррит с точечным и розеточным эвтектическим графитом. Механические свойства металла шва близки свойствам основного металла. Использование в качестве защиты  $\text{CO}_2$  или  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  обеспечивает малое содержание в шве водорода и малую склонность металла шва к образованию пор.

Для холодной сварки серого чугуна без защиты газом в ИЭС им. Е. О. Патона разработана проволока сплошного сечения ПАНЧ-11. Сварку выполняют проволокой  $\varnothing$  1—1,2 мм на тех же режимах и тем же оборудованием, что и при сварке в  $\text{CO}_2$ . Эта проволока обеспечивает при сварке на токе до 100 А отсутствие зон отбела. Применяют проволоку в основном для заварки трещин в блоках двигателей

### **Технология сварки коррозионно-стойких сталей**

При сварке коррозионно-стойких сталей в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{O}_2$  и  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  в результате окисления водорода, кремния, серы и фосфора и меньшего содержания силикатных включений стойкость швов к образованию горячих трещин выше, чем при сварке под флюсом. Тем не менее для получения швов без трещин рекомендуют подбирать состав проволок, дающих в шве 1—5 % ферритной фазы. Стойкость к межкристаллитной коррозии достигается введением в шов титана, ниобия и др. Поскольку при сварке в  $\text{CO}_2$  и его смесях происходит интенсивное окисление титана, то применяют проволоки с повышенным количеством титана и алюминия (Св-07Х18Н9ТЮ и Св-08Х20Н9С2БТЮ). Содержание углерода в шве при сварке в  $\text{CO}_2$  зависит от его количества в проволоке. Так, при содержании в проволоке 0,03—0,07 % С содержание его в шве увеличивается примерно до 0,08—0,1 %. При содержании в проволоке 0,08—0,1 % С содержание его в шве остается постоянным. При содержании

в проволоке более 0,12—0,14 %. С наблюдается угар углерода до 0,1—0,11 %. Поэтому применение проволок с пониженным содержанием углерода без титана или ниобия не обеспечивает получения швов, стойких к межкристаллитной коррозии.

Для сварки стали 12X18H9T малой толщины однопроходными швами, предназначенными для работы в слабоагрессивных средах, в атмосферных условиях и в ряде других случаев можно использовать проволоку Св-06X19H9T и Св-08X20H9ГТ. При этом металл шва имеет дезориентированную аустенитно-ферритную микроструктуру, удовлетворительные механические свойства и стоек к межкристаллитной коррозии.

Одним из недостатков сварки кислотостойких сталей в  $\text{CO}_2$  и его смесях является образование на поверхности швов трудноудаляемой оксидной пленки. Предотвратить ее образование можно подачей небольшого количества флюса в зону сварки. Флюс, расплавляясь, покрывает тонким слоем шлака шов и защищает его от окисления. При изготовлении порошковой проволоки флюс вводят в состав сердечника проволоки. При выборе режима сварки необходимо использовать режимы и составы защитных газов, при которых разбрызгивание металла минимальное, и принимать меры защиты свариваемых кромок от попадания и приваривания брызг, например наносить на кромки покрытия на основе мела, спиртовой барды и т. п. или закрывать кромки.

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ В $\text{CO}_2$

### **Автоматы и полуавтоматы для сварки плавящимся электродом**

Аппараты для сварки в  $\text{CO}_2$  подразделяют: по назначению — на станки-автоматы, сварочные установки, самоходные автоматы и полуавтоматы; по диаметру используемой проволоки — на аппараты для сварки тонкой проволокой (0,7—1,4 мм), проволоками  $\varnothing$  0,8—2 мм и больших диаметров ( $> 1,6$  мм).

Сварочные аппараты совместно с источником питания должны обеспечивать качественное начало шва, устойчивое течение и поддержание заданных режимов сварки и качественное окончание шва. Для удовлетворения указанных требований прежде всего необходимо обеспечить надежную

защиту зоны сварки защитным газом, для чего следует полностью выдуть воздух в начале сварки до зажигания дуги и прекратить подачу газа только после полного затвердевания кратера, ориентировочно через 2—4 с после обрыва дуги.

В аппаратах для сварки в  $\text{CO}_2$  применяют несколько способов начала сварки.

*I способ.* Сварку начинают без предварительного закорачивания электрода с изделием путем одновременной подачи напряжения источника на электрод и включения электродвигателя подачи проволоки к изделию. Этот способ обеспечивает хорошее начало только при сварке проволоками до  $\varnothing 1,4$  мм на средних режимах и питании от источников с высокими скоростями нарастания тока короткого замыкания. При сварке на повышенных режимах и использовании проволок до  $\varnothing 2$  мм для улучшения начала сварки рекомендуется начинать сварку на пониженных скоростях подачи проволоки и только после зажигания дуги увеличивать скорость подачи до заданных режимом значений. Несколько меньший эффект дает первоначальное, до зажигания дуги, повышение напряжения источника питания.

*II способ.* Сварку с  $\text{CO}_2$  начинают с предварительного закорачивания электрода на изделие, после чего на электрод подают напряжение источника и включают подачу проволоки к изделию. Способ пригоден для сварки проволоками до  $\varnothing 2$  мм. Для улучшения начала шва рекомендуют до зажигания дуги снижать напряжение источника питания или подавать пульсирующее напряжение и только после зажигания дуги включать подачу проволоки к изделию и устанавливать напряжение, заданное режимом сварки.

*III способ.* Сварку начинают с предварительного закорачивания электрода с изделием, после чего на электрод подают напряжение источника питания и отдергивают электрод от изделия. После зажигания дуги проволоку подают к изделию. Способ пригоден для сварки электродами  $\varnothing 2$  мм и более. Если этот способ осуществляется путем реверсирования электродвигателя подачи проволоки, то он совершенно неприемлем для сварки проволоками  $\varnothing 0,7—1,4$  мм, так как из-за больших скоростей подачи электрода в период реверсирования оплавленная проволока с каплей на конце втягивается в токоподвод горелки и заклинивается там, нарушая последующую подачу проволоки к изделию.

Устойчивое течение процесса сварки в  $\text{CO}_2$  плавящимся электродом обеспечивается как при постоянной скорости подачи проволоки, так и при подаче с автоматическим регу-

лированием, например при связи скорости подачи с напряжением процесса сварки. Стабильный процесс сварки получают при пульсирующей подаче проволоки и при сварке с вибрацией электрода. Главное для получения стабильного процесса — постоянство программы изменения скорости подачи, напряжения и тока.

Качественное окончание сварки предполагает получение шва с заваренным кратером без дефектов и состояние сварочной аппаратуры, обеспечивающее начало сварки следующего шва без дополнительных настроечных операций. При сварке в  $\text{CO}_2$  тонкими проволоками на токах до 200 А для заварки кратера не требуется изменение режима. При сварке на больших токах рекомендуется снижать напряжение и скорость подачи электрода для получения напряжения сварки 22—25 В и тока 150—180 А. Осуществить заварку кратера можно также путем переключения питания дуги с трехфазного выпрямленного напряжения на однополупериодное. Для получения качественного конца шва прекращать процесс и отключать подачу  $\text{CO}_2$  можно только после заварки кратера.

В серийных аппаратах для сварки в  $\text{CO}_2$  применяют следующие способы окончания сварки.

*1 способ.* Прекращение сварки осуществляют отдельным последовательным выключением механизма подачи проволоки и снятием напряжения с электрода после обрыва дуги. Этот способ прост, его можно рекомендовать и в дальнейшем при использовании питания пульсирующим однофазным напряжением или программного уменьшения скорости подачи проволоки и напряжения питания. Применяемое в ряде случаев сварки на повышенных токах снижение только скорости подачи без снижения напряжения источника питания не обеспечивает качественной и быстрой заварки кратера и не устраняет повышенное разбрызгивание.

В станках-автоматах, а также при сварке коротких и точечных швов сварку прекращают только выключением подачи проволоки без снятия напряжения источника с электрода. Однако если сварка ведется на повышенных напряжениях и токах, то в период окончания сварки в  $\text{CO}_2$  наблюдается повышенное разбрызгивание металла, засоряющее сопло горелки. Для качественного окончания сварки и хорошего последующего начала в этих случаях можно рекомендовать одновременно с отключением механизма подачи проволоки переводить питание дуги на однополупериодное напряжение.



*II способ.* Сварку прекращают одновременным отключением механизма подачи проволоки и контактора, разрывающего сварочную цепь, или магнитного пускателя, отключающего источник питания от сети. Для предупреждения «примерзания» электрода к детали необходима быстрая остановка электродной проволоки. Недостатком этого способа является подгорание контактов контактора, размыкающего сварочную цепь под током. Способ не рекомендуется для широкого использования.

*III способ.* Сварку прекращают путем растягивания дуги до обрыва с последующим выключением механизма подачи проволоки и снятием напряжения с электрода. Этот способ приемлем только для сварки проволоками  $\varnothing$  1,6 мм и более. Недостаток этого способа — повышенное разбрызгивание, а при реализации на полуавтоматах — повышенный выбег проволоки из горелки, затрудняющий начало следующего шва, ухудшение защиты ванны газом и наличие дефектов в незаваренном кратере.

Установка для сварки в  $\text{CO}_2$  плавящимся электродом состоит из механизма подачи проволоки в зону сварки со сварочной горелкой и запасом проволоки, источника питания дуги током и газовой аппаратуры, обеспечивающей подачу защитного газа к месту сварки. Рассмотрим конструкции основных узлов установок.

**Сварочные горелки** предназначены для подвода к месту сварки электродной проволоки, тока и защитного газа. Сварочная горелка — сменный инструмент, конфигурация, размеры и устройство которого должны соответствовать типоразмеру свариваемого изделия. Универсальные горелки наименее удобны, и их следует заменять. При сварке в  $\text{CO}_2$  на токах до 500 А обычно применяют горелки без охлаждения, и только при сварке на больших токах — горелки с водяным охлаждением. Однако водяное охлаждение горелок на токи 400—500 А, особенно для полуавтоматической сварки, повышает ресурс сопла и токоподвода, уменьшает их забрызгивание.

Простейшую горелку сварки в  $\text{CO}_2$  тонкой проволокой (рис. 15,а) изготавливают из двух медных трубок, вставленных друг в друга с зазором, по которому подается газ в сопло, стальной сменной спирали 8, концевых втулок 11 и 12, токоподвода 1 и газового сопла 2. Для надежной подачи тонкой проволоки необходимо, чтобы внутреннее отверстие спирали 8 было в 1,5—2 раза больше диаметра проволоки.

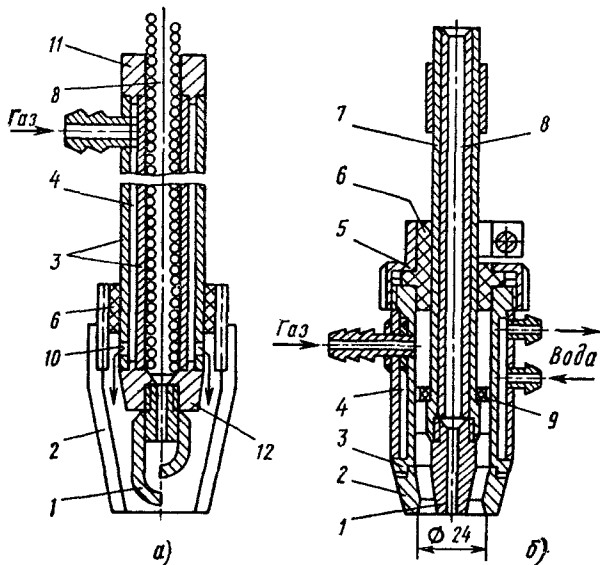


Рис. 15. Горелки для сварки в  $\text{CO}_2$  на малых (а) и больших (б) токах:

1 — токоподвод; 2 — газовое сопло; 3 — корпус; 4 — водяное охлаждение; 5 — гайка; 6 — изолятор; 7 — мундштук; 8 — сменная спираль или трубка; 9 — распылитель газа; 10 — отверстие выхода газа; 11 и 12 — концевые втулки

Для получения стабильного процесса и небольшого разбрызгивания необходимо обеспечить постоянство вылета электрода и исключить прихватывание проволоки к токоподводу. Для поддержания постоянного вылета электрода необходимо обеспечить контакт проволоки с токоподводом в одном месте. Этого достигают за счет пружинящих свойств самой проволоки или специальными прижимами.

В изогнутых горелках со снятым токоподводом, проволока на выходе должна загнаться в кольцо (рис. 16), при этом подвод с сапожком обеспечивает ее выравнивание и точное направление. На автоматах применяют сварочные горелки,

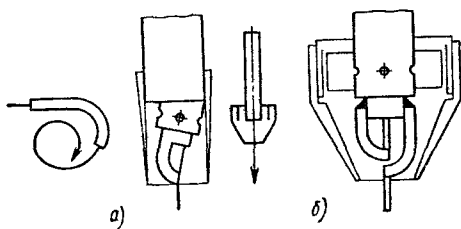


Рис. 16. Схемы сварочных горелок:  
а — изогнутая; б — прямая

в которых газовые сопла расположены под углом к электродной проволоке, а постоянство места токоподвода обеспечивается изогнутым токоподводящим рычагом. Такие горелки имеют высокий ресурс работы и применяются при наплавке в  $\text{CO}_2$ . Для автоматической сварки тонкими проволоками, когда требуется высокая точность направления электрода к месту сварки, применяют токоподводящие наконечники с двумя токоподводами (см. рис. 16, б).

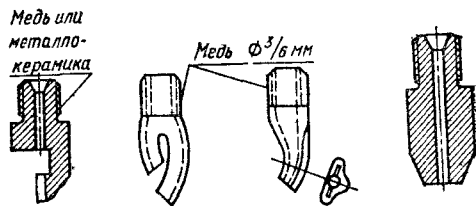


Рис. 17. Схемы токоподводов

Некоторые конструкции токоподводов, применяемых на производстве, показаны на рис. 17.

Для обеспечения контакта проволоки с прямыми токоподводами оси отверстий в токоподводе и горелке смещают относительно друг друга (см. рис. 15, б). Но такие токоподводы обычно быстро изнашиваются и вызывают нарушения процесса и повышенное разбрызгивание. Применение токоподводов из металлокерамики повышает ресурс работы токоподвода. Однако до сих пор актуальна разработка конструкций простых устройств, принудительно прижимающих проволоку к токоподводу, что намного повысит ресурс работы токоподвода и снизит разбрызгивание при сварке. Надежность газовой защиты в значительной степени определяется конструкцией горелки. Струя газа должна истекать из сопла сплошным равномерным потоком. Для этого в горелке для сварки тонкой проволокой отверстия для выхода газа в сопло располагают равномерно по окружности перпендикулярно к оси горелки. На пути газа в сопло устанавливают рассекатели или сеточки. Сопла для  $\text{CO}_2$  делают цилиндрическими или слегка конусными. Металлические сопла горелок изолируют от токоведущих частей. Водяное охлаждение горелки и сопла уменьшает налипание брызг.

**Держатели** для полуавтоматической сварки в  $\text{CO}_2$  соединяются с механизмом подачи проволоки гибким шлангом, по которому подаются к держателю проволока, защитный газ и ток. Промышленность серийно выпускает держатели вместе с гибкими шлангами на токи 150—630 А (табл. 12).

В серийно выпускаемых держателях используют гибкие шланги трех типов.

1. У шланга типа А-547 уМ (рис. 18) токоведущая часть набрана из нескольких медных плетенок, натянутых на стальную спираль, внутри которой помещена сменная спираль для подачи электродной проволоки. Токоведущая часть, провода управления от кнопки «Пуск» и газовая трубка помещены в общий резиновый шланг. Этот шланг гибкий, легко ремонтируется. Шланг описанной конструкции может быть изготовлен на токи 150, 200, 315, 400 и 500 А.

2. Составной шланг состоит из канала типа КН для подачи проволоки, токоведущей части, изготовляемой из сварочного кабеля типа ПРГ, проводов управления от кнопки «Пуск» и газовой трубки. Все эти элементы соединены гибкими хомутами-стяжками, расположенными друг от друга на расстоянии 200 мм по длине. Шланг гибкий. Такого типа шланги не очень удобны в работе на подвижных постах.

3. Шланг на базе кабеля шлангового типа КПЭС сечением 30 и 50 мм<sup>2</sup>. В центре этого кабеля имеется армированное отверстие для сменной спирали, по которой подается электродная проволока. В кабеле есть три провода управ-

Таблица 12

**Технические характеристики серийно выпускаемых держателей со шлангами**

Тип	Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток номинальный, А	Длина шланга, м	Масса горелки без шланга, кг
А-547	0,8—1	150	1,5*	0,15
А-547уМ	1—1,4	315	2,5*	0,25
А-547уМ	1—1,4	315	2,5	0,25
А-825М	1—1,4	300	2,5**	0,35
ГДПГ-301-8	1—1,4	315	3**	0,5
А-1231	1,6—2	500	3**	0,5
ГПДГ-501-4	1,6—2	500	3**	0,7

\* Шланг в одном резиновом рукаве

\*\* Шланг составной.

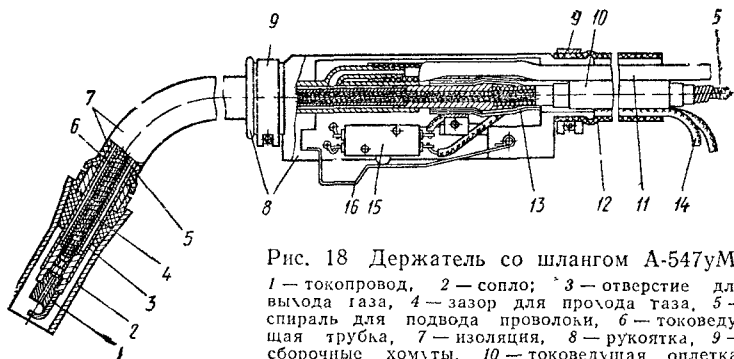


Рис. 18 Держатель со шлангом А-547уМ.

1 — токопровод, 2 — сопло; 3 — отверстие для выхода газа, 4 — зазор для прохода газа, 5 — спираль для подвода проволоки, 6 — токоведущая трубка, 7 — изоляция, 8 — рукоятка, 9 — сборочные хомуты, 10 — токоведущая оплетка; 11 — газоподводящая трубка; 12 — наружная резиновая трубка, 13 — наружная спираль, 14 — провода кнопки «Пуск», 15 — кнопка «Пуск»; 16 — рычаг

ления сечением 1—1,5 мм<sup>2</sup>. Газоподводящая трубка расположена отдельно рядом с кабелем и скреплена с ним гибкими стяжками. Шланг прочный, но недостаточно гибкий.

Анализ конструкций серийно выпускаемых держателей для полуавтоматической сварки показывает, что их можно сделать более удобными в работе, а ресурс их работы существенно увеличить. Для этого в период ремонта держателей рекомендуются следующие изменения. Крепление газового сопла на мундштуке держателя сделать согласно рис. 19. Такое крепление исключает самопроизвольное спадание и перекосящее газового сопла во время сварки, вызывающие замыкание токоведущего мундштука через сопло с изделием, подгорание сопла и мундштука. Нижнюю часть мундштука выполнить сменной согласно рис. 19, это облегчит ремонт держателя и снизит расходы на ремонт. Всю переднюю часть горелки сделать съемной с креплением под гайку у ручки. Это позволит снабдить держатель набором сменных мундштуков различных типоразмеров, даст возможность поворачивать мундштук на различный угол относительно ручки, а следовательно, выполнять сварку углом

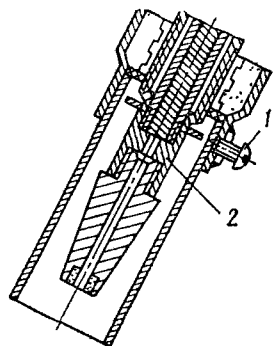


Рис. 19. Рекомендуемый вариант изменения крепления сопла и мундштука сварочных горелок:

1 — зажимной винт; 2 — сменная часть мундштука

вперед и углом назад без выворачивания руки сварщика, что облегчит работу, улучшит формирование шва и уменьшит разбрызгивание.

Помимо отмеченного необходимо учитывать, что для облегчения и удобства работы размеры и масса держателей должны быть возможно меньшими. Ради этого можно идти на значительный перегрев держателей, снижение их механической прочности и ресурса работы. Во избежание перегрева руки сварщика рукоятку необходимо отделять от токоведущих частей теплоизолирующими втулками и располагать подальше от сопла. Шланг целесообразно делать максимально гибким и компактным. Длину шланга следует выбирать в зависимости от размеров свариваемых деталей. Чрезмерно длинные шланги мешают работе.

На работоспособность полуавтоматов большое влияние также оказывают конструкция и настройка узла механизма подачи электродной проволоки. В аппаратах для сварки проволоками Св-08Г2С  $\varnothing$  1,6 мм и более подающий ролик обычно делают с канавкой, а прижимной — гладким. Для порошковых проволок механизм подачи содержит две пары роликов с канавкой, все ролики сделаны ведущими.

В аппаратах для сварки проволоками  $\varnothing$  0,8—1,4 мм подающий ролик делают без канавки с тупой мелкой насечкой (шаг 0,8 мм), а прижимной — гладким. Для предупреждения смещения и сминания проволоки перед роликами и после них устанавливают направляющие трубки, которые располагают как можно ближе к роликам на одной линии, перпендикулярной к оси вращения роликов и касательной к окружности одного из роликов.

Станки-автоматы применяют для сварки в  $\text{CO}_2$  одностипных деталей массового производства.

Станок-автомат типа Р-912 предназначен для сварки деталей с кольцевыми швами  $\varnothing$  4—280 мм при вертикальной оси вращения детали. Сварку ведут проволоками  $\varnothing$  0,8—1,4 мм на токах до 315 А. Станок состоит из сварочной головки с горелкой, трехпозиционного поворотного стола с вращающимися цанговыми зажимами, станины, в которой смонтирована электроаппаратура управления станком, вертушки с запасом электродной проволоки, источника питания и газовой аппаратуры. Установка и снятие деталей, а также поворот стола из одного положения в другое выполняются вручную. Электрическая схема станка проста и обеспечивает возможность выполнения сварки по следующим циклам: 1) вручную — начало и окончание сварки

каждой детали производится оператором; 2) по полуавтоматическому циклу — начало сварки производится оператором, а окончание — автоматически реле времени; 3) по автоматическому циклу — начало сварки задается конечным выключателем при установке стола в рабочее положение, а окончание — автоматически реле времени.

В настоящее время разработано много станков автоматов, в том числе станок-автомат Р-899 для сварки пустотелых шаров  $\varnothing \sim 200$  мм (на станке автоматически производятся сборка шаров из двух полушарий, сварка и сброс готовых шаров); станок-автомат Р-964 для сварки двух кольцевых швов на деталях  $\varnothing 20—300$  мм и длиной до 1500 мм при горизонтальном расположении оси вращения; станок-автомат У-73 для сварки амортизаторов автомобилей. Закрепление деталей, сварка и сброс сварочной детали производятся автоматически. Сварочные станки-автоматы успешно работают в поточных и автоматизированных линиях, обеспечивая высокое качество изделий.

**Сварочные установки** предназначены для сварки однотипных деталей мелкосерийного и индивидуального производства. Установки состоят из сварочной головки, манипулятора или вращателя, источника питания током и газовой аппаратуры. В установках в качестве сварочных головок часто используют подающие механизмы полуавтоматов типа А-547уМ, А-825 М, А-1197П, ПДГ-508, ПДГ-305, ПДГ-502 и др. Желательно, чтобы головки имели плавное регулирование скорости подачи проволоки, а источник питания обеспечивал плавное изменение и стабилизацию напряжения сварки.

Промышленность изготавливает для сварки в  $\text{CO}_2$  подвесные головки типа А-489, построенные на базе сварочной головки типа А. Разработано значительное количество сварочных установок, например: типа А-811 — для сварки кольцевых швов диафрагм паровых турбин  $\varnothing 924—1160$  мм; типа А-959 — для сварки тракторных колес; типа Р-922 М — для наплавки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей деталей  $\varnothing$  до 645 мм и длиной до 1200 мм.

**Сварочные автоматы-тракторы** представляют собой автоматы, перемещающиеся по свариваемому изделию.

Сварочный автомат типа АДГ-502 предназначен для сварки на токах до 500 А проволоками  $\varnothing 1,2—2$  мм. Масса автомата 58 кг без проволоки и проводов управления. Скорость подачи проволоки регулируется плавно от 120 до 700 м/ч, а скорость сварки от 12 до 120 м/ч.

Сварочный автомат АДГ-601 предназначен для сварки на токах до 630 А проволоками  $\varnothing$  2—4 мм, скорость подачи изменяется от 60 до 360 м/ч; скорость сварки регулируется плавно от 12 до 120 м/ч. Масса автомата 85 кг.

Сварочный автомат А-1698 малогабаритный, предназначен для сварки угловых швов катетом 4—8 мм в нижнем положении. Сварка ведется проволоками  $\varnothing$  1—1,4 мм на токах до 350 А, скорость сварки изменяется ступенчато в пределах 15—45 м/ч. Автомат обеспечивает копирование швов и имеет правое и левое расположения сварочной горелки, что позволяет устранить недовары в конце соединения. Габаритные размеры автомата 420 × 220 × 280 мм, масса (без электродной проволоки) 15 кг. На катушке помещается 4—5 кг проволоки.

Сварочный автомат А-1711 малогабаритный, предназначен для сварки угловых швов катетом 4—8 мм в нижнем положении при переменной кривизне вертикальной полки высотой 40—125 мм. Сварка ведется проволоками  $\varnothing$  1—1,4 мм на токах до 350 А. Скорость сварки изменяется от 15 до 30 м/ч. Автомат обеспечивает копирование соединения с помощью копирных роликов и плавающей подвески сварочной горелки. Размеры автомата 390 × 330 × 380 мм, масса (без электродной проволоки) 20 кг. На катушке помещается 4—5 кг проволоки.

Для использования при сварке в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{CO}_2 + \text{Ar}$  тракторов типа ТС-17 М и ТС-17Р разработаны дополнительные узлы-приставки: А-534 — для сварки проволоками  $\varnothing$  1,6—4 мм; А-611 — для сварки проволоками  $\varnothing$  0,8—1,2 мм; А-770 и А-931 — для сварки проволоками  $\varnothing$  1,4—4 мм с поперечными колебаниями электрода.

Для механизации сварки вертикальных угловых швов разработано устройство А-1689, имеющее штангу, по которой перемещается суппорт. На суппорте закреплен держатель полуавтомата, соединяющийся с подающим механизмом обычным гибким шлангом. Во время сварки держатель может колебаться поперек шва с амплитудой до 10 мм. Скорость сварки 5 м/ч. Штанга крепится к вертикальной полке соединения постоянными магнитами. Длина штанги 1470 мм, что позволяет сваривать швы длиной до 1000 мм. Масса устройства 12 кг.

Полуавтомат А-547уМ переносной, толкающего типа, предназначен для сварки проволоками  $\varnothing$  0,6—1,4 мм на токах до 315 А. В комплект полуавтомата входят держатель для сварки проволоками  $\varnothing$  0,6—1 мм на токах до 150 А со



шлангом длиной 1500 мм; держатель для сварки проволоками  $\varnothing 1-1,4$  мм на токах до 315 А со шлангом длиной 2500 мм. Механизм подачи малогабаритный, переносной, смонтирован в небольшом чемоданчике. Масса подающего механизма без проволоки 5,7 кг, на катушке помещается  $\sim 4$  кг проволоки. Пульт управления малогабаритный, монтируется в окне на передней панели выпрямителя. Полуавтомат комплектуется выпрямителем ВС-300 А. В комплект полуавтомата входят редуктор У-30 с подогревателем газа и комплект запчастей.

Для улучшения работы полуавтомата необходимо изменить держатель (см. выше), переключить газовый клапан на питание непосредственно от источника тока и за счет реле времени обеспечить задержку отключения газового клапана на 2,5—3 мин, а также поставить в цепи подогревателя предохранитель на 6 А.

В настоящее время завершена модернизация полуавтомата А-547 уМ. В модернизированном полуавтомате аппаратура управления питается от вспомогательного источника или от дуги. Благодаря этому сварку можно выполнять на повышенных токах (до 400 А), а также осуществлять импульсно-дуговую сварку сталей толщиной до 12 мм. В указанных случаях достигается повышение производительности и улучшение внешнего вида швов. Остальные узлы полуавтомата не изменены.

Полуавтомат А-825 М передвижной, толкающего типа, предназначен для сварки проволоками  $\varnothing 0,8-1,4$  мм на токах до 315 А. В комплект полуавтомата входят два держателя с гибким составным шлангом длиной 2,5 м, передвижной подающий механизм массой 10,6 кг без катушки с проволокой, на катушке помещается 5 кг проволоки, пульт управления и выпрямитель ВСЖ-303. Питание аппаратуры управления производится от дуги. Поскольку выпрямитель ВСЖ-303 имеет на третьей ступени  $U_{x,x} = 50$  В, то это зачастую приводит к выходу из строя элементов цепей управления. Для предупреждения выхода из строя полуавтомата рекомендуется устанавливать в полуавтомате вспомогательный источник питания с  $U_{x,x} = 29$  В и мощностью 0,4 кВт.

Полуавтомат А-1230 М переносной, толкающего типа, предназначен для сварки проволоками  $\varnothing 0,8-1,4$  мм на токах до 315 А. Аппаратура управления питается от дуги и смонтирована в чемоданчике подающего механизма; отдельного пульта управления нет.

В комплект полуавтомата входят редуктор У-30 и выпрямитель ВДГ-302 или ВДГ-303. Для предупреждения выхода из строя полуавтомата при напряжениях выше 29 В его следует переключать на питание от вспомогательного источника выпрямителя ВДГ-302 (-303).

Полуавтомат ПДГ-305—передвижной, толкающего типа, предназначен для сварки проволоками  $\varnothing$  0,8—1,4 мм на токах до 315 А. Механизм подачи смонтирован на небольшом основании, устанавливаемом на сварочном столе или на крышке выпрямителя. Масса подающего механизма 12,5 кг (без проволоки), аппаратура управления смонтирована в отдельном блоке, устанавливаемом в нише выпрямителя ВДГ-302 (-303), который входит в комплект полуавтомата. Аппаратура управления полуавтомата питается от вспомогательного источника выпрямителя ВДГ-302 (-303). Затруднением в работе является невозможность установки заданного режима заранее до сварки.

Полуавтомат типа «Гранит» переносной, толкающего типа, предназначен для сварки проволоками  $\varnothing$  1—1,6 мм на токах до 400 А. В комплект полуавтомата входят держатели, переносной подающий механизм, обеспечивающий плавное регулирование скорости подачи проволоки, аппаратура управления и выпрямитель ВДУ-504(-505).

Полуавтомат ПДГ-502 передвижной, толкающего типа, предназначен для сварки проволоками  $\varnothing$  1,2—2 мм на токах до 500 А. В комплект полуавтомата входят держатели, передвижной подающий механизм, обеспечивающий плавное регулирование скорости подачи проволоки, аппаратура управления и выпрямитель ВДУ-504(-505).

Полуавтоматы ПДГ-508 (переносной) и А-1197Г (передвижной) толкающего типа, предназначены для сварки проволоками  $\varnothing$  1,6—2 мм на токах до 500 С. Механизмы подачи передвижные со ступенчатым изменением скорости подачи проволоки. В комплект каждого полуавтомата входят держатели типа А-1231, механизм подачи, пульт управления и выпрямитель ВДУ-504 или ВС-600.

Полуавтомат ПДГ-601 передвижной, толкающего типа, предназначен для сварки проволоками  $\varnothing$  1,2—2,5 мм на токах до 630 А. Скорость подачи электродной проволоки регулируется плавно. На полуавтомате могут быть установлены два значения скоростей подачи проволоки, два значения напряжения сварки и два значения индуктивности, которые могут переключаться дистанционно. Полуавтомат комплектуется выпрямителем ВДГ-601.

Большую роль в облегчении труда на полуавтоматах и обеспечении высокой выработки играет хорошая организация сварочного поста. В настоящее время на передовых предприятиях полуавтоматы устанавливают на поворотные консоли, подвижные тележки, перемещающиеся по направляющим, наклоняющиеся стрелы и другое вспомогательное оборудование.

### Источники питания

Сварку в  $\text{CO}_2$  и смесях с  $\text{O}_2$  и  $\text{Ar}$  плавящимся электродом выполняют в основном на постоянном токе. Используют источники питания, обладающие круто-и пологопадающими, жесткими, возрастающими и комбинированными статическими характеристиками. По динамическим свойствам применяемые источники питания можно разделить на источники с низкими скоростями нарастания силы тока короткого замыкания  $\Delta I_{\text{к.з.}}/\Delta t = 10 \div 30$  кА/с, со средними  $\Delta I_{\text{к.з.}}/\Delta t = 40 \div 60$  кА/с, с высокими  $\Delta I_{\text{к.з.}}/\Delta t = 70 \div 200$  кА/с и очень высокими  $\Delta I_{\text{к.з.}}/\Delta t > 200$  кА/с. Для питания импульсной дуги применяют специальные источники.

Выбор статических и динамических характеристик источников диктуется диаметром электрода и методом сварки. Так, для большинства случаев сварки без коротких замыканий можно использовать источники питания с пологопадающими, жесткими статическими характеристиками, с высокими или средними скоростями нарастания силы тока короткого замыкания. Оптимальные для большинства случаев скорости нарастания тока короткого замыкания равны 70—110 кА/с. Указанные источники в наибольшей степени интенсифицируют саморегулирование дуги и обеспечивают высокую стабильность процесса сварки.

Для сварки с крупнокапельным переносом и редкими короткими замыканиями в  $\text{CO}_2$  проволоками Св-08Г2С более  $\varnothing 1,6$  мм рекомендуют использовать источники с пологопадающей внешней характеристикой и низкими скоростями нарастания  $I_{\text{к.з.}}$  или источники питания с падающими внешними характеристиками.

При сварке в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + 15\% \text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2 + 75\% \text{Ar}$  и  $\text{CO}_2 + 75\% \text{Ar} + 5\% \text{O}_2$  проволоками малых диаметров (0,5—1,4 мм) на режимах с частыми короткими замыканиями рекомендуются источники с пологопадающей или жесткой внешней характеристикой и высокими скоростями на-

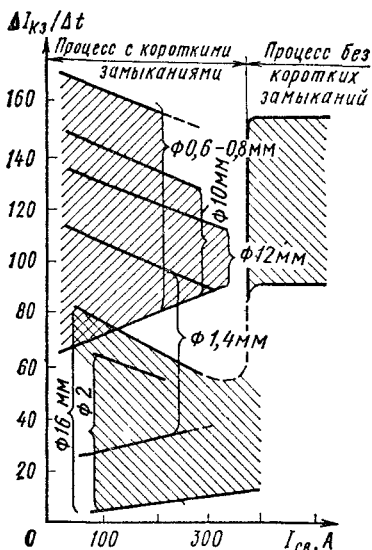


Рис. 20. Оптимальные скорости нарастания  $I_{кз}$  для сварки в  $CO_2$  проволокой Св-08Г2С от выпрямителей типа ВС-300 — ВС-600

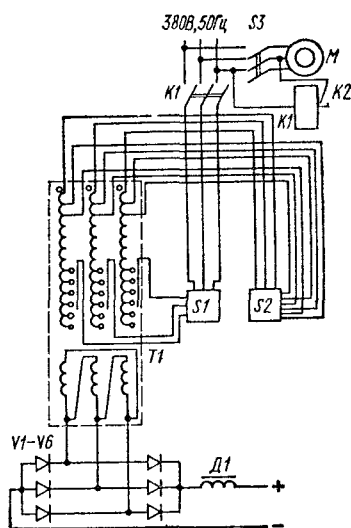


Рис. 21. Принципиальная электрическая схема выпрямителя ВС-300

растания  $I_{кз}$ . Некоторые рекомендуемые пределы оптимальных скоростей нарастания  $I_{кз}$  приведены на рис. 20.

В последнее время в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны новые источники для импульсно-дуговой сварки в  $CO_2$ , имеющие комбинированную вольт-амперную характеристику с крутопадающей частью, переходящей в пологопадающую с увеличением тока. Эти источники позволяют качественно сваривать тонкий металл и угловые вертикальные швы катетом до 6 мм на металле толщиной до 12 мм сверху вниз. При этом значительно повышаются скорости сварки, уменьшается разбрызгивание, улучшается формирование швов.

Для сварки порошковыми проволоками рекомендуются источники питания с пологопадающими внешними характеристиками и высокими скоростями нарастания  $I_{кз}$ .

**Сварочные выпрямители** считаются наиболее перспективным типом источников постоянного тока. КПД выпрямителей выше, чем у генераторов, масса меньше, а стоимость

эксплуатации значительно ниже. Работают они более надежно, чем генераторы.

Выпрямители типа ВС: ВС-300, ВС-300А, ВС-500 и ВС-600 (табл. 13) построены по одной принципиальной электрической схеме (рис. 21), просты по устройству, надежны в работе. Они состоят из понижающего трансформатора *T1* с секционированной первичной обмоткой, выпрямительного блока *V1 — V6*, собранного из селеновых или кремниевых вентилей по трехфазной мостовой схеме А. Н. Ларионова, дросселя *Д1*, аппаратуры управления, воздушного охлаждения и защиты. Изменяется напряжение переключателями *S1* и *S2* ступенчато через 0,5—1,5 В при отключенной нагрузке. Статические характеристики выпрямителей пологопадающие (рис. 22). Скорости нарастания тока короткого замыкания высокие (рис. 23). В выпрямителях ВС-300А, ВС-300Б, ВС-500 и ВС-600 скорости нарастания тока короткого замыкания можно изменять установочно, путем включения половины индуктивности дросселя *Д1*, что необходимо при сварке вертикальных и горизонтальных

Таблица 13

Технические характеристики источников питания

Тип	Номинальный ток при ПР = 60%, А	Максимальное напряжение холостого хода, В	Предел регулирования		Тип регулирования напряжения или число ступеней	КПД, %	Индуктивность дросселя, мГн
			сварочного тока, А	напряжения, В			
ВС-300	300	40	30—300	19—38	24	71,5	0,30
ВС-300А	315	43	30—315	18—43	27	72	0,18 и 0,35
ВС-300Б	315	43	20—350	18—43	27	72	0,18 и 0,35
ВС-600	600	55	60—600	20—46	24	70	0,24 и 0,48
ВДГ-302 (-303)	315	52	50—315	16—46	Ступенчатоплавное	72	0,16 и 0,56
ВСЖ-303	315	50	50—315	16—46	То же	72	0,30
ВДУ-504 (-505)	500	82	50—500	—	Плавное	72	0,16 и 0,56
ПСГ-500	500	42	60—500	16—40	«	—	—
ЗП7,5/30	250	36	30—300	16—36	«	—	—
ГСР-9000	150	27	25—150	17—25	«	—	—
Г-74	107	25	25—130	17—25	«	—	—

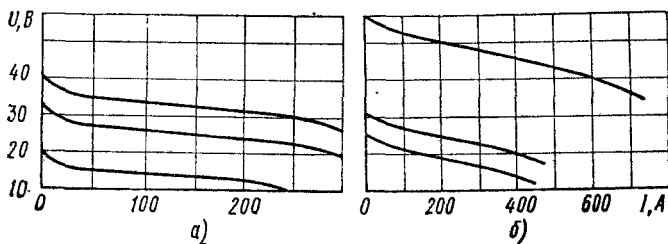


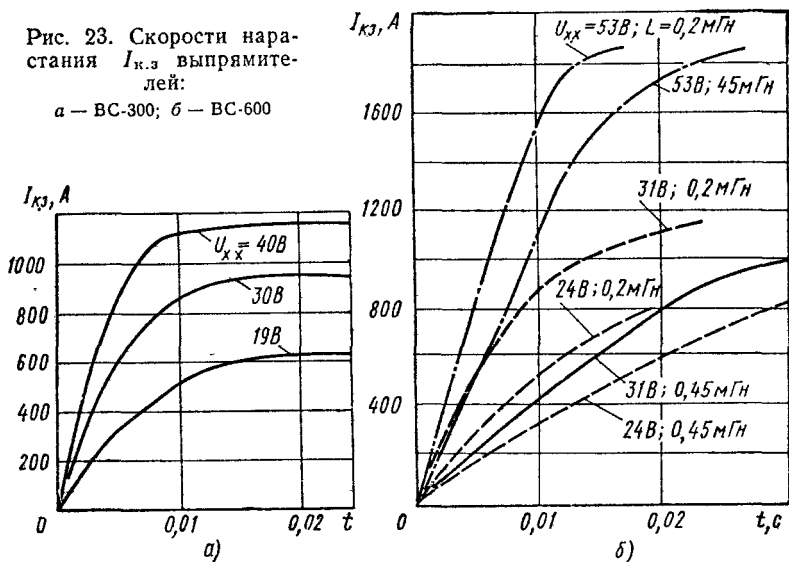
Рис. 22. Внешние статические характеристики выпрямителей:  
а — ВС-300; б — ВС-600

швов и тонкого металла. При выпрямителе ВС-300А в этих же случаях целесообразно работать с отключенным дросселем, для уменьшения разбрызгивания необходимо также увеличить зазор между половинками магнитопровода дросселя до 6 мм с каждой стороны путем установки в зазоре прокладки из изоляционного материала (рис. 24).

Выпрямитель ВДГ-302 (ВДГ-303) состоит из трехфазного силового трансформатора, кремниевого выпрямительного моста (двух блоков и дросселя), системы воздушного охлаждения, управления и защиты. Дроссель имеет отводы, соответствующие индуктивности 0,15 и 0,56 мГн. Выпрямитель ВДГ-303 имеет специальный дроссель. Напряже-

Рис. 23. Скорости нарастания  $I_{кз}$  выпрямителей:

а — ВС-300; б — ВС-600



ние регулируется ступенчато путем переключения витков первичной обмотки трансформатора (три ступени) и плавно в пределах каждой ступени дросселем насыщения. Статические характеристики выпрямителя пологападающие, скорости нарастания тока короткого замыкания высокие, но со значительными колебаниями.

Выпрямитель обеспечивает частичную компенсацию колебания сетевого напряжения за счет питания обмотки управления дросселя насыщения от стабилизатора напряжения.

Выпрямитель ВСЖ-303 (см. табл. 13) состоит из трехфазного силового трансформатора с магнитной коммутацией, выпрямительного моста, собранного из кремниевых диодов по трехфазной мостовой схеме А. Н. Ларионова, дросселя в цепи выпрямленного тока индуктивностью 0,3 мГн, аппаратуры управления, воздушного охлаждения и защиты. Напряжение регулируется ступенчато путем переключения обмоток силового трансформатора (три ступени) и плавно в пределах каждой ступени путем изменения наклона статической характеристики. Скорости нарастания тока короткого замыкания на первом участке малые, а через 100 мс увеличиваются до больших значений, что несколько ухудшает условия начала сварки. Выпрямитель обеспечивает стабилизацию выходного напряжения при колебаниях напряжения в сети питания.

Выпрямитель ВДУ-504 (ВДУ-505) универсальный, предназначен для сварки в защитных газах, ручной дуговой сварки и сварки под флюсом, обеспечивает получение пологападающих внешних характеристик в двух диапазонах при напряжении холостого хода 72—78 В и крутопадающих внешних характеристик. Выпрямитель состоит из шести-фазного силового трансформатора, выпрямительного моста, собранного по шести-фазной схеме из управляемых тиристоров Т160, сварочного дросселя с отводами, соответствующими индуктивностям 0,16 и 0,56 мГн, аппаратуры управления, воздушного охлаждения и защиты. Скорости нарастания

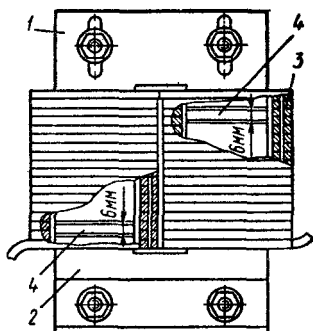


Рис. 24. Схема дросселя выпрямителя ВС-300:

1 — верхняя часть магнитопровода; 2 — нижняя часть магнитопровода; 3 — катушка; 4 — изоляционные прокладки толщиной 6 мм

тока короткого замыкания высокие, но со значительной пульсацией значений, что затрудняет выполнение сварки в  $\text{CO}_2$  проволоками  $\varnothing 0,8-1,2$  мм на малых и средних токах. Для улучшения процесса сварки в  $\text{CO}_2$  в выпрямителе ВДУ-505 установлен специальный дроссель.

Преобразователь ПСГ-500 (см. табл. 13) состоит из сварочного генератора и приводного электродвигателя, смонтированных в одном корпусе, установленном на колесах. Генератор имеет независимое возбуждение и последовательную подмагничивающую обмотку, которая обеспечивает получение жестких внешних характеристик. Генератор обладает высокими скоростями нарастания  $I_{кз}$ .

Преобразователи ЗП-4/30 и ЗП-7,5/30 (см. табл. 13) представляют собой машины постоянного тока с шунтовой обмоткой возбуждения. При сварке их используют с самовозбуждением, с независимым питанием обмотки возбуждения от отдельного выпрямителя, а также с самовозбуждением и угольным регулятором напряжения. Преобразователи обладают высокими скоростями нарастания  $I_{кз}$  и падающими внешними характеристиками. Их успешно используют при автоматической сварке в  $\text{CO}_2$  тонкими проволоками, особенно при сварке тонкого металла.

Генераторы ГСР и Г-74 (см. табл. 13) представляют собой малогабаритные машины постоянного тока с самовозбуждением, работают с регуляторами напряжения, обладают жесткими внешними характеристиками и высокими скоростями нарастания  $I_{кз}$ . Генераторы успешно применяют для сварки в  $\text{CO}_2$  и его смесях тонкими проволоками. В связи с малыми массой и габаритными размерами эти генераторы целесообразно использовать на передвижных установках в полевых условиях.

Дроссели А-780, А-780М, А-885 предназначены для сварки в  $\text{CO}_2$  проволоками  $\varnothing 1,6-2,5$  мм на токах до 500 А. Они обеспечивают снижение скорости нарастания  $I_{кз}$  сварочных выпрямителей ВС-500 и ВС-600 до 15—20 кА/с, что уменьшает разбрызгивание (см. рис. 23, б). Дроссели представляют собой индуктивную катушку с железным магнитопроводом. Обмотка дросселя секционирована, что позволяет получить три значения индуктивности и соответственно три скорости нарастания  $I_{кз}$ . Индуктивность дросселей изменяется от 0,5 до 2,5 мГн. Дроссель А-780 отличается от А-780М и А-885 наличием контактора КМ-600Д и реле времени, обеспечивающих шунтирование большей части витков контактором на протяжении 1,5—3 с в начале



сварки, что облегчает первоначальное установление процесса сварки.

**Источники питания для импульсно-дуговой сварки в  $\text{CO}_2$**  с комбинированной внешней характеристикой в настоящее время изготавливают на базе выпрямителей ВС-300, ВС-500, ВС-600 и других путем их модернизации.

Получить комбинированную внешнюю характеристику можно также путем параллельного включения двух выпрямителей, один из которых имеет более высокое напряжение холостого хода (50—60 В) и крутопадающую внешнюю характеристику, а второй — более низкое напряжение холостого хода (25—30 В) и пологопадающую внешнюю характеристику.

**Многопостовые системы питания** током сварочных постов следует применять при массовом применении сварки в  $\text{CO}_2$  и его смесях с  $\text{O}_2$  и  $\text{Ar}$ . Можно выделить следующие случаи массового применения сварки в  $\text{CO}_2$ : сварка проволоками  $\varnothing 0,8$ —1,4 мм или  $\varnothing 1,6$ —2 мм на одинаковых или близких значениях напряжения; одновременная сварка проволоками  $\varnothing 1$ —1,4 мм и  $\varnothing 1,6$ —2 мм на отличающихся значениях напряжения, например 18—24 В и 28—34 В (а иногда до 48 В).

Системы многопостового питания в этих случаях должны быть различными. Если сварку выполняют на режимах с частыми замыканиями разрядного промежутка, в цепь каждого сварочного поста необходимо включать индуктивность, которая уменьшает влияние одного поста на другие (рис. 25, а); значение постовой индуктивности при сварке проволоками  $\varnothing 0,8$ —1,4 мм выбирают равным 0,2—0,25 мГн. При выполнении сварки на различающихся режимах напряжение холостого хода источника питания устанавливают по максимальному необходимому напряжению сварки, а напряжение на постах настраивают малогабаритными балластными реостатами (рис. 25, б). Если сварка выполняется на режимах без коротких замыканий или с редкими короткими замыканиями, то индуктивность в цепь поста не включают. При сварке на режимах с короткими замыканиями и без них на отдельных постах может оказаться более выгодным устройство многопостовой системы с двумя отдельными шинопроводами на различное напряжение, питаемыми от отдельных источников. При двухдуговой сварке на одинаковых режимах режим регулируют одновременно на обоих дугах изменением напряжений источника питания. В этом

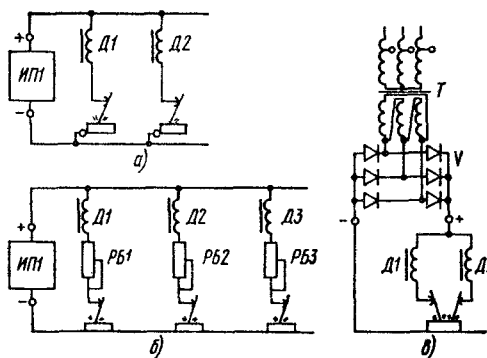


Рис 25. Схемы многопостового питания сварочным током при сварке в  $\text{CO}_2$  с частыми короткими замыканиями на близких режимах (а) и разных режимах (б) и при двухдуговой сварке (в)

случае может быть использована схема, показанная на рис. 25, в.

В качестве источников питания в многопостовых системах пригодны как генераторы, так и выпрямители с жесткими внешними характеристиками. Из выпускаемых промышленностью могут быть использованы преобразователи ПСГ-500, ПСМ-1000 и выпрямители ВС-600, ВКСМ-1000, ВДМ-1601, ВДМ-3001 и ВМГ-5000, подключаемые в группы на цеховой станции питания. Отдельные посты полуавтоматической сварки подключают к цеховому шинопроводу через постовые дроссели или балластные реостаты.

### **Оборудование для хранения, транспортирования и использования $\text{CO}_2$ и его смесей**

На предприятиях применяют индивидуальную и централизованную системы питания  $\text{CO}_2$  сварочных постов.

При индивидуальной системе каждый сварочный пост питается от одного или нескольких баллонов с  $\text{CO}_2$ , которые устанавливают стационарно у сварочного поста. На подвижных сварочных установках баллоны закрепляют на самой установке или транспортном контейнере установки и перемещают вместе со сварочным постом. При индивидуаль-

ной системе питания  $\text{CO}_2$  в комплект газовой аппаратуры входят баллон с запасом  $\text{CO}_2$ , подогреватель газа, понижающий редуктор, расходомер и газовый клапан. При использовании неосушенного  $\text{CO}_2$  дополнительно используют осушитель газа.

При централизованном питании газ подают в цех или к сварочному участку по цеховому трубопроводу, к которому подключены отдельные сварочные посты. Питание цехового трубопровода производят от рампы баллонов, от изо-термической емкости или от заводской углекислотной станции.

**Баллоны** используют для транспортирования, хранения и использования защитных газов. На предприятиях при сварке в  $\text{CO}_2$  и его смесях используют стальные 40-литровые баллоны, изготавливаемые по ГОСТ 949—73.  $\text{CO}_2$  в баллонах находится в сжиженном состоянии при давлении 5—7 МПа, а кислород и аргон — в газообразном при давлении 15 МПа. В 40-литровом баллоне обычно содержится 25 кг жидкой двуокиси углерода, при испарении которой получают  $12,5 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ . В таком же баллоне содержится только  $6 \text{ м}^3$  аргона или кислорода. Баллоны окрашивают в зависимости от защитного газа в строго определенные цвета согласно ГОСТ 949—73: баллоны с  $\text{CO}_2$  — в черный цвет с желтой надписью «Углекислота», баллоны с чистым аргоном — в серый цвет с зеленой надписью «Аргон чистый» и зеленой поперечной полосой, а с кислородом — в голубой цвет с черной надписью «Кислород».

Отбор газа из баллона осуществляется через редуктор, понижающий давление газа до 0,02—0,15 МПа. Для получения углекислого газа необходим подвод теплоты к жидкой двуокиси углерода для ее испарения. При температуре баллона 22—25 °С можно получить непрерывный отбор 20—25 л  $\text{CO}_2$  в минуту. При большем отборе  $\text{CO}_2$  теплоты, поступающей к двуокиси углерода через стенки баллона, уже недостаточно и происходит охлаждение жидкой двуокиси углерода и снижение давления в баллоне. При снижении давления ниже 0,528 МПа (тройная точка) жидкая двуокись углерода превращается в сухой лед и отбор  $\text{CO}_2$  из баллона практически прекращается. Поэтому в тех случаях, когда необходим отбор газа из баллона более 20—25 л в минуту при температурах 22 °С, а также отбор газа 10—15 л в минуту при низких температурах, питать сварочный пост следует от нескольких баллонов. На некоторых предприятиях в целях увеличения отбора  $\text{CO}_2$  применяют искус-

ственный подогрев баллонов горячей водой. Однако в этом случае необходимо строго соблюдать меры, предупреждающие перегрев баллонов и превышение давления в нем, и особенно тщательно соблюдать «Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

**Редукционные вентили** (редукторы газовые) предназначены для снижения давления газа до рабочего, при котором газ поступает в горелку, и поддержания этого давления постоянным. При сварке в  $\text{CO}_2$  и его смесях расход газа небольшой, 6—25 л в минуту, поэтому стабильный отбор газа из баллонов обеспечивают только специальные редукторы типа У-30 и ДЗД-1-59М (табл. 14). Это редукторы обратного действия, одновременно являющиеся расходомерами.

В комплект редуктора У-30 входит подогреватель  $\text{CO}_2$ , устанавливаемый на баллон перед редуктором. Подогреватель мощностью 120 Вт питается напряжением 36 В, с терморегулятором, обеспечивает подогрев газа от +40 до +80 °С. Кислородные редукторы РК-53, РКД-8-61 не обеспечивают равномерного отбора  $\text{CO}_2$  из баллона. Улучшить работу однокамерных кислородных редукторов типа РК-53 можно путем установки на выходе из редуктора дроссельной шайбы с отверстием  $\varnothing 0,6$ —1 мм, которая повышает давление в камере низкого давления редуктора. В этом случае кислородный манометр на 2,5 МПа можно заменить ацетиленовым манометром на 0,6 МПа и по его показаниям определять расход  $\text{CO}_2$ . Для этого необходимо отградуировать кислородный редуктор и построить градуировочную кривую в координатах давление на ацетиленовом манометре — расход  $\text{CO}_2$ .

Таблица 14

**Технические характеристики редукторов, используемых при сварке в  $\text{CO}_2$  и его смесях**

Редуктор	Давление на входе, МПа	Предел рабочего давления, МПа	Наибольшая пропускная способность, л/мин
У-30	10	0, — 0,4	5—30
ДЗД-1-59М	15	0,15	2,5—55
РК-53	15	0, — 1,5	1000
РКД-8-61	20	0,05—0,8	1338
РД-1БМ	1,6	0,005—0,16	83
КРР-61	15	0,03—2	4166

При централизованном питании сварочных постов  $\text{CO}_2$  на отдельных постах устанавливают понижающие редукторы РД-2АМ, РД-1БМ и др. На рампах с  $\text{CO}_2$  и аргоном используют кислородные рамповые редукторы КРР-50 и КРР-61 (см. табл. 14).

**Смесители газов** предназначены для получения смесей газов  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{CO}_2 + \text{Ar} + \text{O}_2$ . Постовой смеситель УКП-1-71 для получения смеси  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ , отбираемых из баллонов, и автоматического поддержания постоянным заданного состава и расхода газовой смеси состоит из регулятора давления с редуктором ДКП-1-65 и узла смешения газов. Изменяют состав смеси заменой дюз. Рамповый смеситель газа УКР-1-72 позволяет получить смесь  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  при отборе  $\text{O}_2$  от рампы баллонов и  $\text{CO}_2$  от изотермической емкости. Смеситель обеспечивает питание газом 10—50 сварочных постов. Автоматизированные установки УСД-1А и УСД-1Б рассчитаны для получения смеси  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и питания 3—50 сварочных постов. Установка УСД-1А содержит автоматический газоанализатор с записью показаний на бумажной ленте. Установку УСД-1Б выпускают без газоанализатора. Смеситель АКУП-1 однопостовой, предназначен для получения смеси  $\text{CO}_2 + \text{Ar} + \text{O}_2$ .

**Расходомеры газа** в сварочной аппаратуре используют поплавкового и дроссельного типов. Расходомеры поплавкового типа, или ротаметры, состоят из стеклянной трубки с внутренним коническим каналом. Трубка расположена вертикально широким концом кверху. Внутри трубки помещен поплавок, который свободно в ней перемещается. Газ подводят к нижнему концу трубки и отводят от верхнего. При прохождении по трубке газ поднимает поплавок до тех пор, пока зазор между поплавком и стенкой трубки не достигнет такой величины, при которой напор струи газа уравнивает вес поплавка. Чем больше расход газа, тем выше поднимается поплавок. Для определения расхода  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и Ar используют расходомеры типа РС.

Каждый расходомер снабжен индивидуальным градуировочным графиком, на котором отложена зависимость между делениями шкалы на трубке и расходом воздуха  $Q_v$ . Для построения графика расхода  $\text{CO}_2$ , Ar и  $\text{O}_2$  выполняют расчет по приближенным формулам:

$$Q_{\text{CO}_2} = 0,812 Q_v; \quad Q_{\text{O}_2} = 0,8 Q_v; \quad Q_{\text{Ar}} = 0,851 Q_v.$$

Пределы расходов, измеряемых расходомером, изменяют путем изменения веса поплавка, изготовляя его из эбонита, дюралюминия, коррозионно-стойкой стали и других материалов.

Расходомер дроссельного типа устроен на принципе измерения перепада давления в камере до и после дросселирующей диафрагмы с отверстием малого размера. При прохождении газа через малое отверстие в зависимости от расхода до и после диафрагмы устанавливается различное давление. По перепаду давления судят о расходе. На каждый расходомер и газ также строят индивидуальный градуировочный график. Пределы измерения расходов изменяют, меняя диаметр отверстия в диафрагме. На этом принципе построены расходомеры редукторов У-30 и ДЗД-1-59М, которые позволяют измерять расходы  $\text{CO}_2$  в пределах 2,5—55 л/мин. Возможна также переделка кислородного редуктора на редуктор-расходомер.

**Газовый клапан** используют для экономии защитного газа. Клапан целесообразно устанавливать по возможности ближе к сварочной горелке. В настоящее время наибольшее распространение получили электромагнитные газовые клапаны. В полуавтоматах находят применение газовые клапаны, встроенные в ручку держателя. Газовый клапан необходимо включить так, чтобы были обеспечены предварительная или одновременная с зажиганием дуги подача  $\text{CO}_2$ , а также подача  $\text{CO}_2$  после обрыва дуги до полного затвердения кратера шва. Желательно иметь возможность также включать подачу газа без включения сварки, что необходимо для продувки газом сложных сварных соединений. Сочетание газового клапана, расположенного вблизи горелки, с редуктором-расходомером дроссельного типа и эластичным газовым шлангом обеспечивает хорошую продувку начала сварки  $\text{CO}_2$  и позволяет упростить электрическую схему аппаратов для сварки в  $\text{CO}_2$ .

**Осушители газа** применяют при использовании влажного  $\text{CO}_2$ . Осушители бывают высокого и низкого давления. Осушитель высокого давления устанавливают до понижающего редуктора. Осушитель имеет малые размеры и требует частой замены влагопоглотителя. Осушитель низкого давления имеет значительные размеры, его устанавливают после понижающего редуктора, он не требует частой замены влагопоглотителя. Такой осушитель одновременно является ресивером газа и повышает равномерность подачи газа. В качестве влагопоглотителя используют силикагель и алю-

могель, реже медный купорос и хлористый кальций. Силикагель и медный купорос, насыщенные влагой, поддаются восстановлению путем прокалки при температуре 250—300 °С.

**Подогреватели газа** для сварки в  $\text{CO}_2$  обычно делают электрическими и устанавливают перед редуктором. Для безопасной работы подогреватели питают током под напряжением 20—36 В. Во избежание перегрева редуктора его следует отделить от подогревателя переходной трубкой длиной 100 мм. Подогреватель  $\text{CO}_2$  редуктора У-30 питается напряжением 36 В. Недостатком этого подогревателя является закорачивание входных клемм между собой, вызванное небрежностью сборки.

**Перепускные рамповые системы** для сварки в  $\text{CO}_2$  и его смесях применяют двух типов: с газификацией  $\text{CO}_2$  в баллонах и с газификацией  $\text{CO}_2$  в отдельном газификаторе. Перепускная рампа первого типа состоит из двух групп баллонов, коллектора с газовой аппаратурой и трубопровода, по которому газ подводится к сварочным постам. Устройство такой рампы для получения  $\text{CO}_2$  и аргона аналогично устройству обычной кислородной рампы. Для интенсификации отбора  $\text{CO}_2$  на ряде заводов применяют подогрев баллонов горячей водой. Такие рампы должны обязательно иметь предохранительный клапан и устройства, предупреждающие перегрев баллонов. Следует помнить, что при превышении давления в баллоне возможен его взрыв, имеющий большую разрушительную силу.

Перепускная рампа второго типа также состоит из двух групп баллонов. Баллоны устанавливают на переворачивающиеся кантователи, каждый баллон — на свой кантователь. Обе группы поочередно подключают к коллектору. Жидкая двуокись углерода из баллонов поступает в коллектор, а затем в испаритель (газификатор), где подогревается и превращается в газ, который по трубопроводу подается к сварочным постам. Такая рампа обеспечивает получение и подачу в трубопровод  $\text{CO}_2$  с давлением до 0,45 МПа.

Цеховой трубопровод для подачи  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{CO}_2 + \text{Ar}$  выполняют таким же, как для подачи кислорода. Для обеспечения надежной подачи  $\text{CO}_2$  к сварочным постам при большой длине трубопровода и различных расходах газа на отдельных постах необходимо давление в трубопроводе устанавливать 0,3—0,5 МПа, а на каждом посту ставить понижающий редуктор типа РД или РКД. При срав-

нительно небольшой длине трубопроводов и малом числе сварочных постов в трубопроводе можно устанавливать давление 0,1—0,15 МПа, а к штуцерам на отдельных постах прикреплять дроссельные шайбы с калиброванным отверстием. Для надежной работы трубопроводов для  $\text{CO}_2$  нужно обязательно их выполнять с уклонами и установкой влагоотстойников. Это вызвано тем, что в баллонах с двуокисью углерода может содержаться значительное количество влаги.

Для уменьшения непроизводительных потерь  $\text{CO}_2$  на каждом выходном штуцере трубопровода необходимо ставить запорный вентиль и обратный клапан — ниппель такого же типа, как на трубопроводах сжатого воздуха. Трубопроводы для подачи  $\text{CO}_2$  и его смесей окрашивают в черный цвет.

Системы на основе изотермических емкостей состоят из стационарной емкости накопителя, испарителя-газификатора и трубопровода подачи защитного газа к сварочным постам. Для перевозки сжиженных переохлажденных газов используют транспортные емкости.

Для транспортирования и хранения сжиженной переохлажденной двуокиси углерода выпускаются транспортные емкости типа ЦЖУ и стационарные емкости накопителя типа НЖУ (табл. 15). Перелив сжиженной двуокиси углерода из транспортной емкости в стационарную осуществляют самотеком за счет разности уровней размещения транспортной и стационарной емкостей или специальным насосом типа УПЖУ. Такой насос также смонтирован на платформе транспортных емкостей ЦЖУ-3, ЦЖУ-6 и ЦЖУ-9.

В емкостях типа ЦЖУ и НЖУ двуокись углерода без отбора газа можно хранить 5—15 дней. Для более длительного хранения двуокиси углерода разработаны емкости, оборудованные холодильной установкой.

Для газификации жидкой двуокиси углерода используют газификаторы, обеспечивающие поддержание заданного давления газа, подаваемого в трубопровод. Электрогазификатор ЭГУ-300 обеспечивает питание до 180 сварочных постов. В случае необходимости получения большого количества  $\text{CO}_2$  ставят параллельно два газификатора ЭГУ-300.

Транспортирование двуокиси углерода от заводской станции к сварочным цехам может осуществляться по магистральному трубопроводу в газообразном виде; в изотер-



мических емкостях в жидком состоянии с последующей газификацией в отдельных сварочных цехах или группах цехов; в стальных баллонах высокого давления с последующим использованием в рампях и на индивидуальных сварочных постах.

Выбор схемы устройства углекислотной станции и схемы подачи  $\text{CO}_2$  в сварочные цеха должен решаться на основании технико-экономического анализа для каждого конкретного случая.

Рациональные области применения указанных систем зависят от конкретных условий сварочных производств. Так, при небольшом числе сварочных постов (например, до 10), разбросанных на значительной территории цеха или обслуживающих большую площадь цеха, целесообразно использовать индивидуальное питание постов защитным газом. При небольшом числе сварочных постов (например, 5—10), сосредоточенных на одном участке цеха или обслуживающих небольшую площадь, и числе сварочных постов более 10 целесообразно организовать централизованное питание сварочных постов защитными газами. При этом предпочтение в большинстве случаев следует отдавать питанию трубопровода от изотермических емкостей. Эта система принята в

Таблица 15

Технические характеристики изотермических емкостей для жидкой двуокиси углерода

Параметр	Транспортные			Стационарные	
	ЦЖУ-3,0 2,0	ЦЖУ-6,0 1,8	ЦЖУ 9,0 1,8	НЖУ 8,0 2,0	НЖУ 12,5 2,0
Номинальный объем, м <sup>3</sup>	3,0	6,0	9,0	8,0	12,5
Масса жидкой $\text{CO}_2$ , кг, не более	2950	6000	9000	7850	12300
Масса цистерны без $\text{CO}_2$ , кг	2200	3350	5000	5100	6300
Максимальное рабочее давление, МПа	2,0	1,8	1,8	2,0	2,0
Срок хранения, сутки	10	5	5	12	15
Габаритные размеры, м	3,7×1,8×1,9	6,6×2,5×3,2	10×2,65×3,4	5,2×2,2×2,6	7,5×2,2×3,6
Примечание. Рабочая температура —45,5÷36°С.					

настоящее время основной в обеспечении предприятий  $\text{CO}_2$ .

В связи с общим большим потреблением углекислого газа желательна следующая порайонная организация: сварочное предприятие оборудует у себя стационарные емкости с автоматической газификационной установкой и трубопровод, подводящий  $\text{CO}_2$  к сварочным постам. Доставку  $\text{CO}_2$  на машиностроительный завод осуществляет база материально-технического обеспечения своей транспортной изотермической емкостью. Заправка транспортных емкостей производится от районного межсезонного хранилища. Районное хранилище, в свою очередь, получает  $\text{CO}_2$  от ближайших заводов, производящих двуокись углерода. Благодаря устройству районных межсезонных хранилищ могут быть полностью использованы резервы производства двуокиси углерода в данном районе.

Организация обеспечения  $\text{CO}_2$ , при которой машиностроительные заводы сами содержат у себя транспортные емкости и вынуждены получать  $\text{CO}_2$  на заводах, производящих двуокись углерода, в настоящее время уже недостаточно совершенна.

Заводские углекислотные станции можно строить только в отдельных случаях при большом потреблении  $\text{CO}_2$ , если в радиусе 250—350 км отсутствуют свободные ресурсы  $\text{CO}_2$ . Но и в этих случаях предпочтение следует отдавать строительству районных углекислотных станций, которые будут обеспечивать  $\text{CO}_2$  весь район, а не один машиностроительный завод.

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

**Технико-экономические показатели.** Сварка в  $\text{CO}_2$ , как и прочие способы сварки, имеет свои рациональные области применения. Целесообразность применения сварки в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{Ar}$  и т. п. должна решаться на основе анализа технических и экономических показателей сварки конкретных изделий обязательно с учетом перспективы расширения применения данного способа сварки в цехе и на заводе, а также хрощей организации работ.

Исходя из технико-экономических возможностей сварку в  $\text{CO}_2$  целесообразно разделить на сварку проволоками

Ø 0,7—1,4 мм и проволоками Ø 1,6 мм и более. Основные рациональные области применения сварки в CO<sub>2</sub> проволоками Св-08Г2С и Св-08ГС Ø 0,7—1,4 мм: сварка углеродистых и легированных конструкционных и коррозионно-стойких сталей толщиной 0,8—5 мм со швами любой формы и длины во всех пространственных положениях, а толщиной 5—30 мм в вертикальном, горизонтальном и потолочном положениях; сварка деталей небольших размеров в массовом и серийном производстве; сварка неповоротных кольцевых швов трубопроводов диаметром от 10 мм и более; сварка поворотных кольцевых швов изделий, когда необходим полный провар соединения с обратным формированием шва; сварка разнородных термоупрочненных и закаленных сталей, сталей с чугуном; наплавка изношенных поверхностей деталей малых размеров и диаметров (от 10 мм и более); заварка трещин и других дефектов малых размеров на деталях из сталей и чугуна; сварка точками, электрозаклепками и выполнение сборочных прихваток.

Во всех перечисленных случаях сварка в CO<sub>2</sub> заменяет газовую и ручную дуговую сварку штучными электродами, обеспечивает увеличение производительности до 5 раз при полуавтоматической сварке в CO<sub>2</sub> и до 10 раз при автоматической сварке, улучшает качество швов, увеличивает ресурс работы сварных конструкций в несколько раз, уменьшает расход электродного металла на 1 м шва и деформации конструкции после сварки, упрощает технику сварки и облегчает работу, улучшает санитарно-гигиенические условия работы.

В последнее время разработаны рекомендации по сварке в CO<sub>2</sub> проволоками Ø 1,2—1,4 мм на повышенных режимах в нижнем, наклонном и вертикальном положениях, обеспечивающие существенное повышение производительности, улучшение качества швов и уменьшение разбрызгивания. Так, например, за счет применения импульсно-дуговой сварки в CO<sub>2</sub> угловых вертикальных швов на сталях толщиной до 12 мм сверху вниз удалось в 2,5—3 раза повысить скорости сварки, на 20—25% снизить расход электродного металла на 1 м шва, уменьшить разбрызгивание, облегчить работу сварщика. Аналогичные результаты имеют место также при сварке наклонных швов на спуск.

Производительность сварки в CO<sub>2</sub> проволокой Св-08Г2С Ø 1,6—2 мм, широко применяемой при сварке

углеродистых и легированных конструкционных сталей толщиной более 5 мм в нижнем положении, всего в 1,5—2 раза выше, чем при ручной дуговой сварке штучными электродами, и примерно такая же, как при полуавтоматической сварке под флюсом. Внешний вид швов, выполненных проволокой Св-08Г2С, в большинстве случаев недостаточно хороший, а разбрызгивание велико (до 12—15%). Тем не менее сварка в  $\text{CO}_2$  почти повсеместно в заводских условиях заменяет ручную дуговую сварку и полуавтоматическую сварку под флюсом. Это, по-видимому, в большинстве случаев определяется большей простотой техники сварки в  $\text{CO}_2$  и упрощением организации работ.

Известно, что наибольшая доля затрат при сварке в  $\text{CO}_2$  приходится на зарплату и сварочные материалы. Поэтому для повышения эффективности сварки в  $\text{CO}_2$  необходимо в первую очередь снижать расходы по этим статьям. Это может быть достигнуто уменьшением сечения разделки и катета шва, уменьшением разбрызгивания, увеличением глубины провара и ширины шва, увеличением коэффициента наплавки и скоростей сварки, экономией расхода  $\text{CO}_2$  и снижением стоимости защитного газа, а также улучшением использования рабочего времени за счет улучшения организации работ.

Так, выполнение сварки в  $\text{CO}_2$  порошковыми проволоками, проволоками с редкоземельными элементами и проволоками с фитилем, а также в смесях  $\text{CO}_2$  с аргоном и  $\text{CO}_2$  с аргоном и кислородом, обеспечивает значительное уменьшение разбрызгивания и улучшение внешнего вида швов при сварке на токах более 300—350 А. Перечисленные решения в сочетании с применением сборочно-сварочных приспособлений весьма перспективны для автоматической сварки, которая резко увеличивает производительность сварки. Применение смеси  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  обеспечивает снижение стоимости защитного газа, улучшение формирования швов в нижнем положении и уменьшение разбрызгивания. Разработанные в последнее время рекомендации по сварке в  $\text{CO}_2$  проволокой Св-08Г2С  $\varnothing$  1,6—2 мм наклонных швов на спуск также позволяют уменьшить разбрызгивание, улучшить формирование швов, уменьшить их сечение и повысить скорости сварки.

Реализация рекомендаций по улучшению начала сварки и заварке кратеров, приводящая к уменьшению длины непровара в начале шва при сварке коротких швов на рамных

металлоконструкциях, позволяет уменьшить длину швов и повысить ресурс работы металлоконструкций, работающих при знакопеременных нагрузках. Широкое применение сборочно-сварочных кантователей, с помощью которых соединение располагают в удобных для сварки положениях, например в лодочку и на спуск, в вертикальном положении и т. п., обеспечивает возможность повышения режимов сварки, улучшения формирования швов, экономию проволоки.

В этих случаях весьма перспективно применение малогабаритных автоматов и средств малой механизации, облегчающих работу и повышающих производительность и качество швов. Следует рекомендовать также широкое применение поворотных колонн, консолей и других устройств для установки и перемещения полуавтоматов, облегчающих работу сварщика. Применение системы централизованного питания сварочных постов током и защитным газом, централизованное обеспечение чистой электродной проволокой на малогабаритных катушках и организация агрегатной системы ремонта аппаратуры обеспечивают минимальные простои сварочного оборудования и являются важными резервами дальнейшего повышения эффективности применения сварки в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ , а также  $\text{CO}_2 + \text{Ar} + \text{O}_2$ .

**Техника безопасности.** Сварка в  $\text{CO}_2$  и смесях его с другими газами производится открытой дугой, поэтому при выполнении сварочных работ необходимо обеспечить защиту сварщика от поражения электрическим током, излучения и теплового воздействия дуги, ожогов брызгами жидкого металла и отравления вредными газами и парами, выделяющимися из зоны сварки. Помимо этого следует соблюдать правила обращения с сосудами, содержащими газ, находящийся под давлением.

Для защиты от поражения током, излучения дуги, перегрева и ожогов, а также пылегазовыделения необходимо соблюдать те же правила, что и при ручной дуговой сварке штучными электродами. При этом следует учитывать, что интенсивность воздействия излучения дуги зависит от состава защитного газа. Так, при сварке в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{CO}_2 + 80\% \text{Ar}$  излучение дуги оказывает меньшее воздействие, чем при сварке в аргоне и аргоне с кислородом. В настоящее время разработаны и серийно изготавливаются защитные стекла-светофильтры серии «С», что означает «сварочный», по ГОСТ 12.4.080—79 ССБТ взамен светофильтров серии «Э» по ГОСТ 9497—60, которые сняты с произ

Светофильтры серии «С» по ГОСТ 12.4.080—79 ССБТ,  
рекомендуемые для дуговой сварки в  $\text{CO}_2$  и штучным электродом

Сварка	Сварочный ток, А														
	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900
в $\text{CO}_2$	С1		С2	С3	С4	С5		С6	С7	С8	С9	С10			
Дуговая штучным электродом	С3	С4	С5	С6		С7	С8		С9	С10	С11	С12			

водства. Светофильтры серии «С» обеспечивают защиту глаз и кожи лица от излучений в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра дуги при сварке на токах 20—1000 А. Они обладают лучшей характеристикой в видимой области спектра, что улучшает видимость зоны сварки. Светофильтры серии «С» изготовляют 13 классов. Класс светофильтра выбирают в зависимости от силы тока дуги, рода защитного газа и свариваемого материала, способа сварки. В табл. 16 приведены рекомендуемые классы светофильтров для сварки в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{CO}_2 + \text{Ar}$  (не более 80%). В целях учета индивидуальных особенностей зрения сварщика рекомендуется опробовать светофильтры на один номер больше и один номер меньше. В настоящее время разработаны и серийно выпускаются сварочные брезентовые костюмы улучшенного качества, облегчающие работу сварщиков в летний и зимний периоды.

Особое внимание при сварке в  $\text{CO}_2$  должно быть уделено защите от пылегазовыделения из зоны сварки, которое зависит от состава защитного газа, свариваемого материала, состава электродной проволоки и режима сварки.

Вдуваемый в зону сварки  $\text{CO}_2$  — не ядовит, но под действием высокой температуры дуги  $\text{CO}_2$  разлагается на кислород и СО — окись углерода — очень ядовитый газ; СО образуется также вследствие выгорания углерода из стали. Выходя из зоны сварки в области низких температур, СО окисляется, образуя  $\text{CO}_2$ .  $\text{CO}_2$  обладает более высокой плотностью, чем воздух, и поэтому скапливается в нижних частях помещения, вытесняя оттуда воздух. Следовательно там, где ведется сварка в  $\text{CO}_2$ , необходимо обязательно устраивать отсосы газа из нижних частей помещения. Осо-

бую предосторожность необходимо соблюдать при работе в закрытых отсеках и колодцах, устанавливая в них шланги приточно-вытяжной вентиляции.

Большое внимание следует уделять защите от пылегазовыделения из зоны сварки. Пыль — это мелкие (до 1 мкм) частицы сконденсировавшихся паров. Состав пыли и ее количество зависят от состава защитного газа, свариваемого металла, применяемой электродной проволоки и режима сварки. Токсичность частиц пыли зависит от их состава и строения. Под действием ультрафиолетового излучения дуги вокруг нее образуется озон, а при попадании в зону сварки воздуха, загрязнений коррозионных покрытий в зоне дуги образуются окислы азота. Наиболее высокая концентрация пыли и вредных газов в облаке дыма, поднимающегося из зоны сварки. Сварщик должен следить за тем, чтобы этот поток дыма не попадал за щиток в зону дыхания. Наибольшей вредностью при сварке в  $\text{CO}_2$  углеродистых сталей на токах до 400 А гигиенисты считают общее выделение пыли, а на токах более 400 А — окислы марганца. При наплавке 1 кг металла в  $\text{CO}_2$ ; выделяется меньше пыли и газов, чем при ручной дуговой сварке. Однако, поскольку при сварке в  $\text{CO}_2$  производительность более высокая, за 1 ч выделяется примерно такое же количество дыма и пыли, как и при сварке штучными электродами.

Для обеспечения нормальных условий труда при сварке в  $\text{CO}_2$  необходимо устройство общеобъемной приточно-вытяжной цеховой вентиляции и местной вытяжной вентиляции. Отсосы местной вытяжной вентиляции на стационарных постах располагают в нижней задней части сварочного стола, а на подвижных постах следует использовать переносные отсосы, закрепляемые на свариваемом изделии магнитами. Находят успешное применение местные отсосы газа, устанавливаемые непосредственно на сварочных горелках и держателях полуавтоматической сварки.

В целях обеспечения защиты окружающей среды от вредных компонентов пылегазовыделения применяют специальные фильтры, которые периодически заменяют. Сварочное оборудование (автоматы, полуавтоматы и источники питания), применяемое при сварке в  $\text{CO}_2$ , имеет специальные устройства для гашения радиопомех, защищающие окружающую среду от вредного электромагнитного излучения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новожилов Н. М. Основы металлургии дуговой сварки в активных защитных газах. М.: Машиностроение, 1972. 167 с.
2. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: Машиностроение, 1974. 239 с.
3. Походня И. К., Суптель А. М., Шлепаков В. Н. Сварка порошковой проволокой. Киев: Наукова думка, 1972. 223 с.
4. Сварка в смеси активных газов / А. Е. Аснис, Л. М. Гутман, В. Р. Покладий, Я. М. Юзькив. Киев: Наукова думка, 1982. 250 с.
5. Сварка в углекислом газе / И. И. Заруба, Н. И. Каховский, Б. С. Касаткин, А. Г. Потапьевский. Киев: Техника, 1966. 291 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Классификация и особенности сварки в CO<sub>2</sub> и его смесях плавящимся электродом</b> . . . . .	1
Сущность и классификация процессов сварки . . . . .	1
Перенос электродного металла и разбрызгивание . . . . .	8
Особенности сварки в CO <sub>2</sub> . . . . .	10
<b>Техника и технология сварки</b> . . . . .	14
Углекислый газ и смеси на его основе . . . . .	14
Особенности металлургических процессов при сварке . . . . .	16
Особенности техники сварки . . . . .	19
Технология сварки и наплавки углеродистых сталей . . . . .	38
Технология сварки и наплавки чугуна . . . . .	47
Технология сварки коррозионно-стойких сталей . . . . .	48
<b>Оборудование для сварки в CO<sub>2</sub></b> . . . . .	46
Автоматы и полуавтоматы для сварки плавящимся электродом . . . . .	46
Источники питания . . . . .	59
Оборудование для хранения, транспортирования и использования CO <sub>2</sub> и его смесей . . . . .	66
<b>Технико-экономические показатели и техника безопасности</b> . . . . .	74
Список литературы . . . . .	80