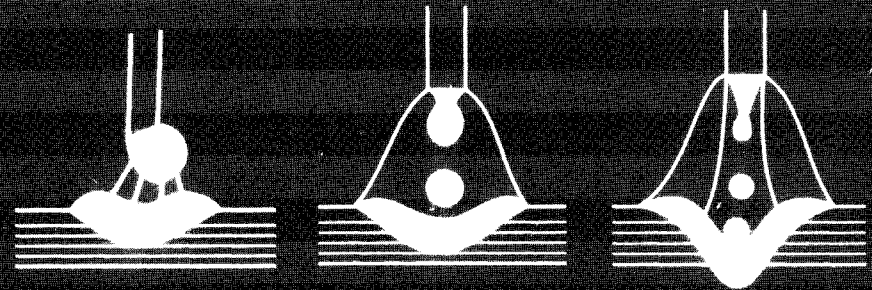


**СВАРКА
В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ
ПЛАВЯЩИМСЯ
ЭЛЕКТРОДОМ**



А. Г. Потапьевский

**СВАРКА В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ
ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ**

**Часть 1.
Сварка в активных газах**

Киев
«Екотехнологія»
2007

ББК 34.58
П64
УДК 621.791.5

Потапьевский А. Г.

П64 Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. Издание 2-е, переработанное. – К.: «Экотехнологія», 2007. – 192 с.

ISBN 966–8409–20–5

Описаны современные способы сварки в защитных газах плавящимся электродом, особенности горения дуги в защитных газах, виды переноса электродного металла и управление процессами сварки. Рассмотрены особенности металлургических реакций. Даны рекомендации по выбору электродной проволоки для сварки сталей, технике и технологии сварки, повышению производительности. Приведены сведения об аппаратах, источниках тока и системах обеспечения защитными газами, а также технике безопасности при выполнении сварочных работ.

Рассчитана на инженерно-технических работников сварочного производства, сварщиков-технологов и конструкторов, может быть полезна учащимся средних и высших технических учебных заведений.

Описано сучасні способи зварювання в захисних газах електродом, що плавиться, особливості горіння дуги в захисних газах, види переносу електродного металу й керування процесами зварювання. Розглянуто особливості металургійних реакцій. Дано рекомендації з вибору електродного дроту для зварювання сталей, техніки й технології зварювання, підвищення продуктивності. Наведено відомості про апарати, джерела струму й системи забезпечення захисними газами, а також про техніку безпеки при виконанні зварювальних робіт.

Розрахована на інженерно-технічних працівників зварювального виробництва, зварників-технологів і конструкторів, може бути корисна учням середніх і вищих технічних навчальних закладів.

ББК 34.58

© А. Г. Потапьевский, 2007

© Оформление. «Экотехнологія», 2007

Предисловие

Сварка в защитных газах плавящимся электродом благодаря простоте реализации и высокой производительности продолжает совершенствоваться, объемы применения ее все увеличиваются. В последние годы разработаны новые разновидности многодуговой сварки, сочетаний сварки плавящимся и неплавящимся электродом, сварки плавящимся электродом с плазмой, электронным лучом и лазером, обеспечивающие изменение баланса энергии процесса и управление переносом электродного металла. Непрерывно разрабатывается принципиально новое оборудование и новые гибридные процессы сварки в защитных газах.

Автор попытался обобщить разработки процессов сварки сталей в CO_2 и смесях активных газов (CO_2 , O_2 , аргон с CO_2 и O_2), выполненных в последнее время и обеспечивающих повышение производительности, уменьшение разбрызгивания, улучшение формирования швов и уменьшение возможности возникновения дефектов в сварных соединениях, а также реализацию этих разработок в серийно выпускаемой сварочной аппаратуре.

Автор надеется, что книга будет полезной руководителям сварочного производства, сварщикам-технологам, конструкторам и учащимся средних и высших технических учебных заведений.

Автор благодарен коллегам, приславшим ему свои монографии и работы по вопросам сварки в защитных газах, опубликованные в различных издательствах СНГ, и будет признателен всем за замечания и пожелания.

Глава 1.

Классификация и электрофизические особенности сварки в защитных газах

Сущность, классификация и виды процессов сварки

Для получения при дуговой сварке высококачественных соединений необходима защита зоны дуги и расплавленного металла от вредного воздействия воздуха, а в ряде случаев также легирование и металлургическая обработка металла шва. Для защиты зоны дуги и расплавленного металла используют газ, подаваемый струей при помощи горелки; иногда сварку выполняют в камерах, заполненных газом. В качестве защитных используют инертные газы (аргон, гелий и их смеси), не взаимодействующие с металлом при сварке, и активные газы (углекислый газ, кислород и др.), взаимодействующие с металлом, а также их смеси. Род защитного газа определяет

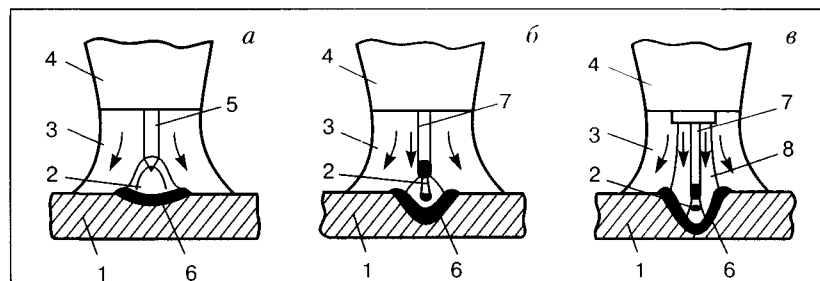


Рис. 1. Схемы процессов сварки в защитных газах неплавящимся (а), плавящимся (б) электродом и в двух потоках газа (в): 1 — деталь; 2 — дуга; 3 — защитный газ; 4 — сопло; 5 — неплавящийся электрод; 6 — сварочная ванна; 7 — плавящаяся электродная проволока; 8 — внутренний поток газа

физические, металлургические и технологические характеристики способа сварки. Защитный газ выбирают в зависимости от рода свариваемых материалов, технологических задач, требований, предъявляемых к сварным соединениям, а также от других условий.

Сварку в защитных газах можно выполнять неплавящимся электродом (рис. 1, а), при этом дуга горит между неплавящимся электродом и изделием. Электрод в процессе сварки не расплавляется и не попадает в шов. Дуга, передвигаемая вдоль свариваемых кромок, оплавляет их. По мере удаления дуги расплавленный металл затвердевает, образуя шов, соединяющий кромки детали. При сварке плавящимся электродом (рис. 1, б) дуга горит между электродной проволокой, непрерывно подаваемой в дугу, и изделием. Дуга расплавляет проволоку и кромки изделия, в результате чего образуется общая сварочная ванна. По мере перемещения дуги сварочная ванна затвердевает, образуя шов, соединяющий кромки изделия*.

При необходимости металлургической обработки и дополнительном легировании шва в зону дуги подают небольшое количество раскисляющих или легирующих веществ (рис. 2). Указанные вещества проще всего ввести при помощи порошковой проволоки. Изредка шлакообразующие вещества вводят в виде пыли или паров вместе с защитным газом, в виде магнитного флюса или флюса, засыпаемого в разделку кромок, в виде обмазки, наносимой на поверхность электродной проволоки, и другими способами. Состав металла шва можно изменить, подавая в зону сварки дополнительную присадочную проволоку, а также выполняя двухдуговую сварку в общую ванну с использованием проволоки различного состава. Для экономии защитного газа и управления процессом сварку ведут в двух отдельных потоках газов, подаваемых концентрично вокруг дуги (рис. 1, в). Во внутреннем потоке газа горит дуга и находится капля электродного металла, а жидкая металлическая ванна защищается смесью внутреннего и наружного потоков. Разработан ряд управляемых способов сварки, таких как импульсно-дуговая, вибродуговая и другие (см. рис. 2). В ряде случаев успешно применяют двухдуговую сварку при сочетании дуг с неплавящимся и плавящимся электродами, сварку в защитном газе (первая дуга) со сваркой под флюсом (вторая дуга) или плазмой.

* В зарубежной литературе сварка неплавящимся электродом сокращенно обозначается TIG или WIG, плавящимся электродом в активных газах, смесях Ar с O₂ и CO₂ — MAG, а в инертных газах — MIG [70, 73].

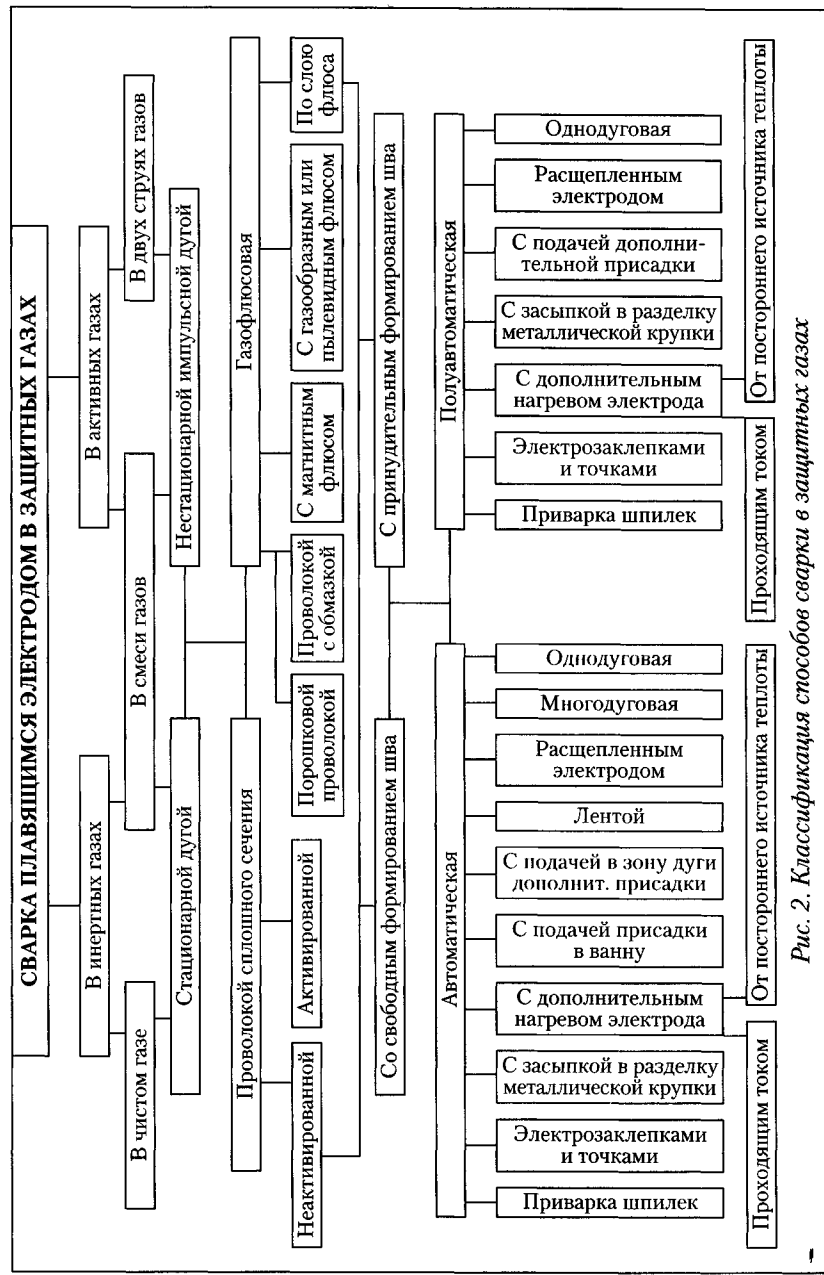


Рис. 2. Классификация способов сварки в защитных газах

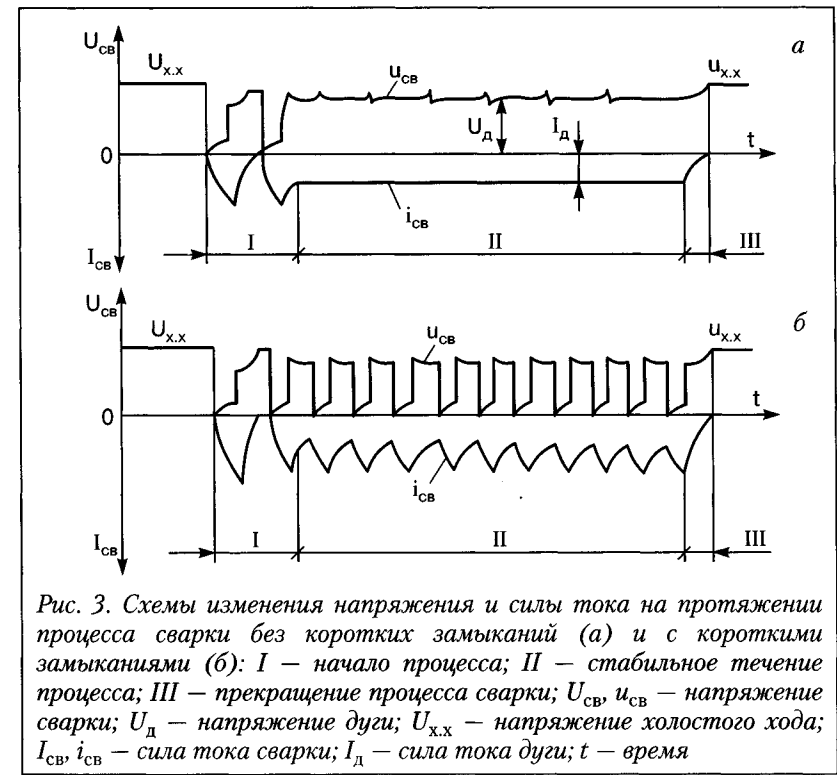
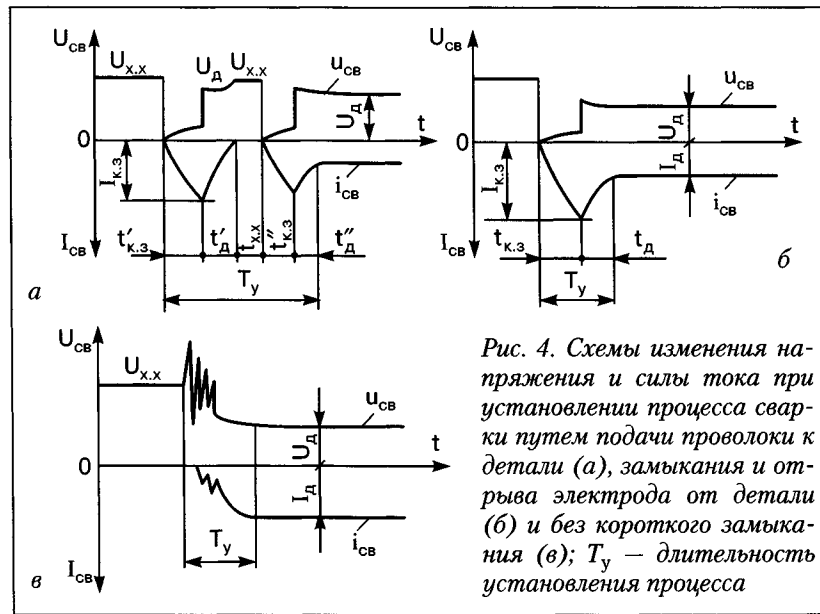


Рис. 3. Схемы изменения напряжения и силы тока на протяжении процесса сварки без коротких замыканий (а) и с короткими замыканиями (б): I — начало процесса; II — стабильное течение процесса; III — прекращение процесса сварки; U_{CB} , u_{CB} — напряжение сварки; U_d — напряжение дуги; $U_{x,x}$ — напряжение холостого хода; I_{CB} , i_{CB} — сила тока сварки; I_d — сила тока дуги; t — время

Процесс сварки можно разделить на три основные стадии: установление стабильного течения (начало сварки); стабильное течение; прекращение процесса сварки (рис. 3). Первую стадию характеризует отрезок времени, на протяжении которого устанавливается заданный режим сварки. Стабильное течение процесса — это отрезок времени, на протяжении которого заданный режим сварки сохраняется неизменным и происходит образование шва. Прекращение процесса сварки — отрезок времени, на протяжении которого происходит переход от стабильного течения процесса до обрыва дуги и окончания сварки.

Установление стабильного процесса сварки. Эта стадия определяет провар в начале шва и разбрызгивание. В большинстве случаев желательна минимальная продолжительность начала сварки и быстрый разогрев свариваемого изделия, без ускоренного оплавления электрода.



Существуют контактные и бесконтактные способы начала сварки [10, 38, 54]. При сварке плавящимся электродом применяют контактные способы, при которых дуга зажигается при закорачивании электрода с изделием. При сварке неплавящимся электродом применяют в основном бесконтактные способы, когда дуга зажигается в результате пробоя высоковольтным разрядом промежутка между электродом и изделием (рис. 4). В работе [54] предложен бесконтактный способ начала процесса сварки плавящимся электродом, однако в серийных аппаратах он пока не реализован.

При сварке в защитных газах для получения качественного начала шва без пор и разбрызгивания в зону сварки предварительно подают защитный газ. При сварке проволоками сплошного сечения диаметром до 2,0 мм и порошковыми проволоками до 3,2 мм сварку начинают, предварительно закоротив электрод на изделие или без предварительного закорачивания. С предварительным закорачиванием электрода на изделие (рис. 4, а) через 1–2 с после подачи защитного газа подают напряжение на электрод и включают электродвигатель подачи проволоки к изделию. Электрод нагревается и при высоких скоростях нарастания силы тока короткого замыкания (100–300 кА/с) перегорает у изделия. Зажигается дуга, кото-

рая оплавляет электрод и изделие. Если напряжение и запас энергии, накопившейся в катушке индуктивности сварочной цепи, достаточны для горения дуги, то дуга не гаснет и начинается стабильное течение сварки. При начале сварки без предварительного закорачивания электрода на изделие через 1–2 с после подачи защитного газа включают источник тока и электродвигатель подачи проволоки к изделию. Через некоторое время проволока касается изделия и с усилием прижимается к нему. Под действием силы тока короткого замыкания проволока нагревается, изгибается и перегорает у токоподвода. Зажигается дуга, перегоревший у токоподвода вылет отбрасывается взрывом. Дуга, загоревшаяся между электродом и перегоревшим вылетом, растягивается и обрывается. Через некоторое время, зависящее от скорости подачи, проволока приближается к изделию, и наступает второе короткое замыкание. При высоких скоростях нарастания силы тока короткого замыкания (100–300 кА/с) подогретый конец электрода перегревается и перегорает у изделия. Если напряжение источника тока достаточно для поддержания горения дуги, то дуга не гаснет, и с этого момента начинается стабильное течение процесса сварки. Продолжительность установления процесса сварки и разбрызгивание при этом приеме больше, чем при сварке с предварительным закорачиванием электрода на изделие.

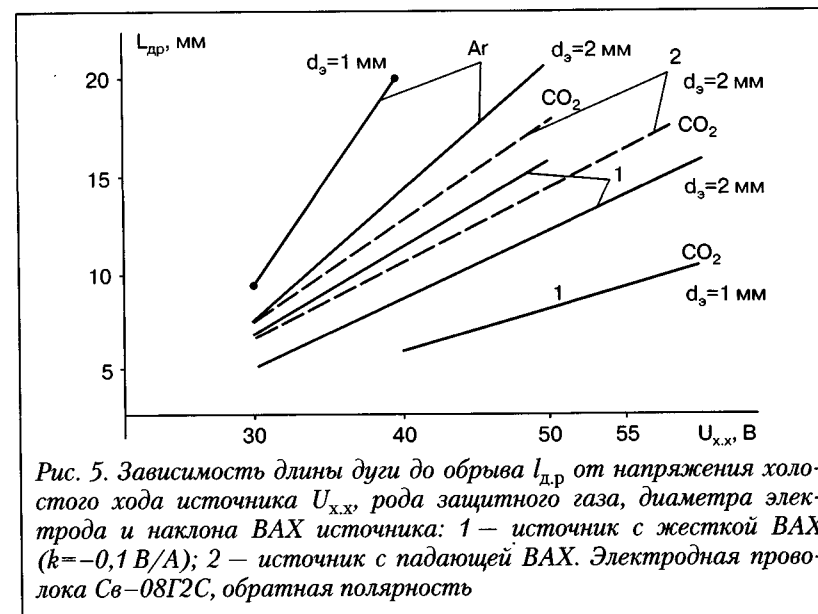
Длительность начала сварки существенно зависит от скорости нарастания силы тока короткого замыкания в сварочной цепи и формы конца электрода (табл. 1). Наличие на электроде крупной капли приводит к его перегоранию у токоподвода горелки. Существенное влияние на длительность установления стабильного процесса сварки проволокой диаметром 0,8–1,4 мм оказывает вылет электрода: с увеличением вылета увеличивается время начала и разбрызгивание. С увеличением диаметра электрода более 1,6 мм влияние вылета уменьшается. При сварке на малых значениях силы тока время начала больше, чем на средних. На больших значениях силы тока длительность начала увеличивается. Повышение напряжения сварки уменьшает длительность начала стабильного процесса. Однако, если длина дуги до обрыва больше расстояния между изделием и токоподводом, то после зажигания дуга может растянуться, перейти на токоподвод горелки и оплавить его. Поэтому при сварке тонкими проволоками с малыми вылетами необходимо ограничивать напряжения холостого хода источника тока (рис. 5).

Таблица 1. Зависимость времени начала процесса сварки в CO ₂ проволокой Св-08Г2С с предварительным закорачиванием электрода на изделие от скорости нарастания силы тока короткого замыкания и состояния конца электрода							
Скорость нарастания I _{к.з.} , кА/с	Состояние конца электрода	Время начала процесса, с, при диаметре электрода, мм					
		0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0
200–300	Крупная капля	0,13	0,15	0,17	0,20	0,25	0,30
	Малая капля	0,09	0,10	0,13	0,15	0,18	0,25
	Электрод заострен	0,04	0,06	0,08	0,09	0,12	0,14
100–150	Крупная капля	0,14	0,16	0,25	0,30	0,35	0,40
	Малая капля	0,10	0,12	0,18	0,20	0,28	0,30
	Электрод заострен	0,05	0,08	0,09	0,12	0,15	0,18
70–80	Крупная капля	0,20	0,25	0,30	0,38	0,45	0,55
	Малая капля	0,15	0,18	0,25	0,30	0,20	0,30
	Электрод заострен	0,10	0,12	0,18	0,20	0,16	0,20
45–50	Крупная капля	Непостоянно			0,50	0,58	0,65
	Малая капля	0,20	0,25	0,35	0,45	0,28	0,35
	Электрод заострен	0,18	0,20	0,30	0,25	0,25	0,28
20–30	Крупная капля	Непостоянно				0,65	0,70
	Малая капля	Непостоянно				0,40	0,70
	Электрод заострен	Непостоянно				0,30	0,35

Примечание. Полярность обратная. Для проволоки диаметром 0,8–1,2 мм вылет составляет 10 мм. Сила тока сварки проволокой диаметром 0,8 мм – 120 А; 1,0 мм – 160 А; 1,2–1,4 мм – 220 А; 1,6 мм – 280 А; 2,0 мм – 320 А. Большая капля d_к > 1,3d_э; малая капля d_к = (1,1...1,3)d_э. Конец электрода заостряли откусыванием кусачками под углом 45° к оси проволоки.

Рекомендуемый вылет электродной проволоки типа Св-08Г2С для начала сварки в CO₂ на обратной полярности:

Диаметр электрода, мм	Вылет электрода, мм
0,8	8–10
1,0	10–12
1,2	11–13
1,4	12–15
1,6	15–18
2,0	18–25



Известно, что заострение электрода и нагрев его конца способствует перегоранию электрода у изделия. Увеличить нагрев конца электрода можно за счет зажигания дуги на вспомогательной пластине. Уменьшение времени между сваркой отдельных швов до 3–10 с улучшает начало сварки.

Наложение импульсов тока малой длительности, имеющих высокие скорости нарастания силы тока в импульсе (200–300 кА/с) с частотой 25–100 с⁻¹, приводит к перегоранию электрода в месте его контакта с изделием, ускоряет начало сварки и увеличивает провар в начале шва. Вибрация электрода также ускоряет начало сварки. Программированием силы тока и напряжения в начале сварки также можно улучшить начало сварки.

При сварке в аргоне и смесях аргона с углекислым газом длительность установления стабильного процесса сварки несколько меньше, чем в углекислом газе. Это обусловлено большей длиной дуги до отрыва, обеспечивающей больший нагрев электрода в нижней части и меньшее число коротких замыканий до перехода и стабильное протекание сварки. При сварке порошковой проволокой продолжительность начала сварки также меньше, чем при сварке проволокой сплошного сечения.

При сварке электродной проволокой диаметром 3–5 мм электрод закорачивают на изделие. После подачи защитного газа включают подачу напряжения на электрод и электродвигатель подачи проволоки от изделия. При отрыве электрода перегретый участок перегорает, и загорается дуга. После зажигания дуги переключают электродвигатель механизма на подачу проволоки к изделию. Другим вариантом начала сварки проволокой диаметром 3–5 мм является использование быстрорасплавляющейся токопроводящей вставки (стружки), закладываемой между электродом и изделием. Сварка начинается с одновременного включения напряжения и электродвигателя механизма подачи проволоки к изделию. При сгорании стружки загорается дуга, и начинается стабильный процесс сварки.

Можно утверждать, что неполный провар соединений, наплывы и разбрызгивание в начале шва при сварке в CO_2 проволокой Св-08Г2С диаметром до 2,5 мм вызваны большей длительностью начала сварки. Это часто вызвано увеличением активного и индуктивного сопротивления сварочной цепи при использовании сварочных кабелей заниженного сечения, при некачественном соединении кабелей между собой и с изделием, а также при укладке лишней длины кабеля в кольца.

Для обеспечения качественного начала сварки в CO_2 и его смесях проволокой диаметром до 2,5 мм рекомендуется начинать сварку при повышенных скоростях нарастания силы тока короткого замыкания, заостренным электродом или с малой каплей на конце, на пониженных вылетах электрода (при надежном контакте проволоки с токоподводом сварочной горелки). Программирование силы тока и напряжения в начале сварки, наложение импульсов тока и питание от источников с комбинированной падающей внешней характеристикой также улучшает начало сварки [7, 38, 54]. Основным приемом ускорения начала сварки является выполнение процесса при повышенных скоростях нарастания силы тока в сварочной цепи.

Стабильное течение процесса сварки. Процесс должен обеспечить получение сварного соединения с неизменными заданными свойствами и размерами. Процесс можно считать стабильным, если его электрические и тепловые характеристики не изменяются во времени или же изменяются по определенной программе. Стабильный процесс сварки может быть получен при непрерывном и прерывистом горении дуги, а также при перерывах протекания тока в

сварочной цепи. Сварку можно вести как стационарной, так и нестационарной (импульсной) дугой.

Основным условием стабильности процесса сварки стационарной дугой является постоянство силы тока, напряжения и длины дуги. В некоторых случаях при сварке стационарной дугой наблюдаются кратковременные изменения длины дуги, напряжения и силы тока, вызванные переносом крупных капель, однако при стабильном процессе характеристики плавления электрода и изделия определяются не ими, а параметрами стационарной дуги.

По характеру протекания можно выделить следующие виды сварки стационарной дугой проволокой сплошного сечения Св-08Г2С (рис. 6):

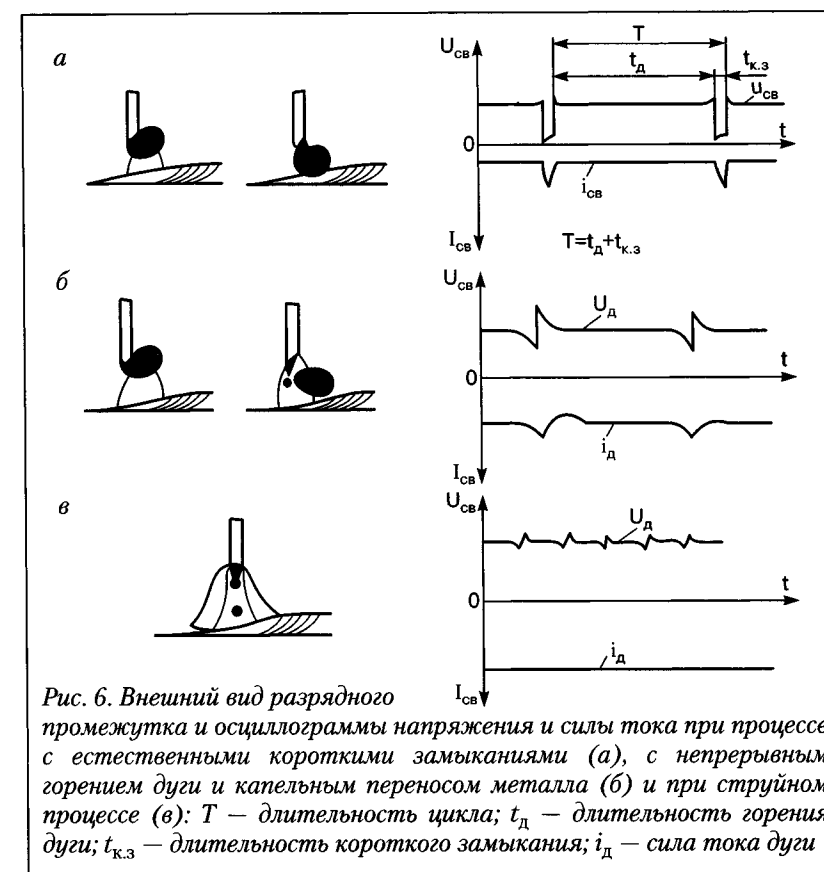


Рис. 6. Внешний вид разрядного промежутка и осциллограммы напряжения и силы тока при процессе с естественными короткими замыканиями (а), с непрерывным горением дуги и капельным переносом металла (б) и при струйном процессе (в): T — длительность цикла; t_d — длительность горения дуги; $t_{к.з}$ — длительность короткого замыкания; i_d — сила тока дуги

- с естественными короткими замыканиями дуги;
- с непрерывным горением дуги и капельным переносом металла;
- струйный.

Характерным признаком процесса с естественными короткими замыканиями является образование на электроде крупных капель, превышающих диаметр электрода в 1,5 раза и более, и закорачивание ими дуги. При струйном процессе жидкий металл на конце электрода формируется в виде конуса, с конца которого отрываются капли диаметром менее 2/3 диаметра электрода. В процессе с мелкокапельным переносом и непрерывным горением дуги жидкого конуса на конце электрода нет, а диаметр отрывающихся капель равен 0,8–1,5 диаметра электрода.

Сварка в защитных газах легко поддается управлению. Наибольшее распространение получила сварка тонкой проволокой с принудительными короткими замыканиями и импульсно-дуговая сварка (рис. 7).

Основным условием стабильности процесса сварки нестационарной дугой является строго закономерное изменение напряжения, силы тока и длины дуги, поэтому именно они определяют основные характеристики процесса (плавление и перенос электродного металла, проплавление детали и др.). При импульсно-дуговой сварке управление производят путем импульсного повышения силы тока дуги.

Основные виды импульсно-дуговой сварки следующие (см. рис. 7): с непрерывным горением дуги; с принудительными короткими замыканиями дуги и с принудительными обрывами дуги. Процесс можно вести с наложением на дугу как импульсов одинаковых параметров, так и групп импульсов с различными параметрами (рис. 8). В последнем случае энергию отдельных импульсов подбирают так, чтобы импульсы производили независимое управление отдельными явлениями при сварке. Например, при процессе с непрерывным горением дуги первый импульс А должен интенсивно расплавлять электрод, а второй Б — сбрасывать каплю с электрода в ванну, или же первые импульсы малой длительности В должны стабилизировать горение дуги на малых значениях силы тока, а последний в группе импульс Б — сбрасывать каплю с электрода.

Импульсно-дуговую сварку с непрерывным горением дуги и наложением импульсов тока по схеме (рис. 7, а) применяют при сварке в аргоне и смесях аргона с углекислым газом до 18% и аргона с кислородом. Схему на рис. 7, б широко используют при сварке про-

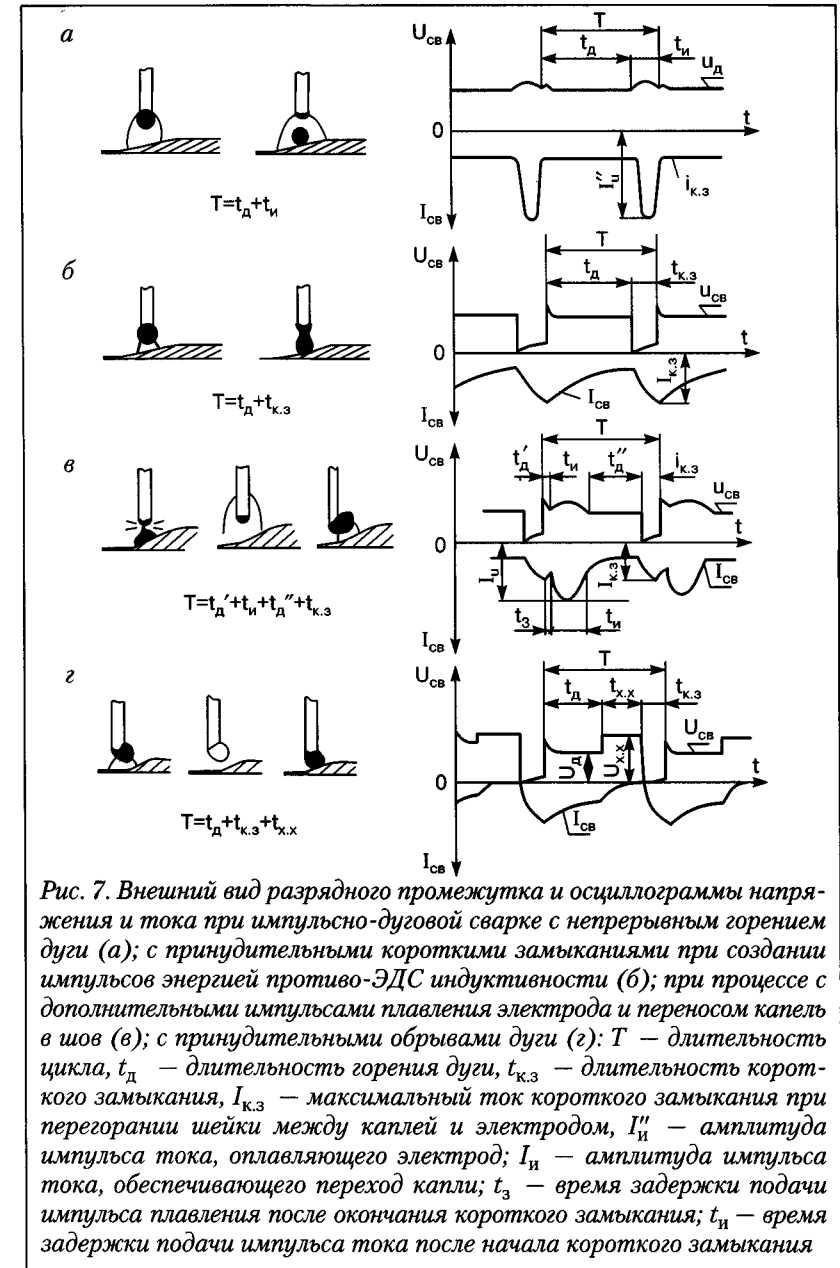


Рис. 7. Внешний вид разрядного промежутка и осциллограммы напряжения и тока при импульсно-дуговой сварке с непрерывным горением дуги (а); с принудительными короткими замыканиями при создании импульсов энергией противо-ЭДС индуктивности (б); при процессе с дополнительными импульсами плавления электрода и переносом капель в шов (в); с принудительными обрывами дуги (г): T — длительность цикла, t_d — длительность горения дуги, $t_{к.з}$ — длительность короткого замыкания, $I_{к.з}$ — максимальный ток короткого замыкания при перегорании шейки между каплей и электродом, I''_n — амплитуда импульса тока, оплавливающего электрод; I_n — амплитуда импульса тока, обеспечивающего переход капли; t_3 — время задержки подачи импульса плавления после окончания короткого замыкания; t_n — время задержки подачи импульса тока после начала короткого замыкания

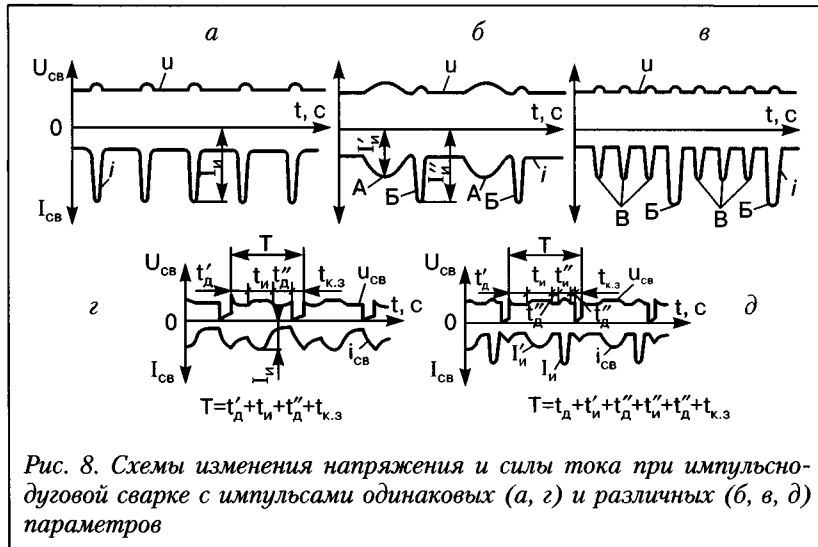


Рис. 8. Схемы изменения напряжения и силы тока при импульсно-дуговой сварке с импульсами одинаковых (а, г) и различных (б, в, д) параметров

волокой диаметром 0,5–1,4 мм в CO_2 и смесях аргона с углекислым газом более 20–25%. Этот вид сварки часто называют сваркой с частыми принудительными короткими замыканиями.

При сварке тонкой проволокой принудительные короткие замыкания задают путем снижения тока дуги по определенной программе (рис. 7, б, в). Сварка с принудительными короткими замыканиями достигается также при механической пульсации и вибрации электрода, подаваемого к изделию вдоль его оси (рис. 7, в, г), что реализуется при вибродуговой наплавке.

Управление процессом можно выполнить путем наложения на электрод, дугу или сварочную ванну внешних стационарных, импульсных или высокочастотных магнитных полей. При этом удается изменить характеристики дуги, перемещение дуги и капли на электроде, а также сварочной ванны на изделии. Процесс сварки можно регулировать, изменяя состав защитного газа или вводя с электродом вещества, изменяющие эффективный потенциал ионизации дугового газа или поверхностное натяжение жидкой капли, что нашло применение при сварке в смесях газов и при сварке порошковыми проволоками в защитных газах.

Поведение дуги и собственно капли на электроде зависит также от формы внешней характеристики и динамических свойств источника.

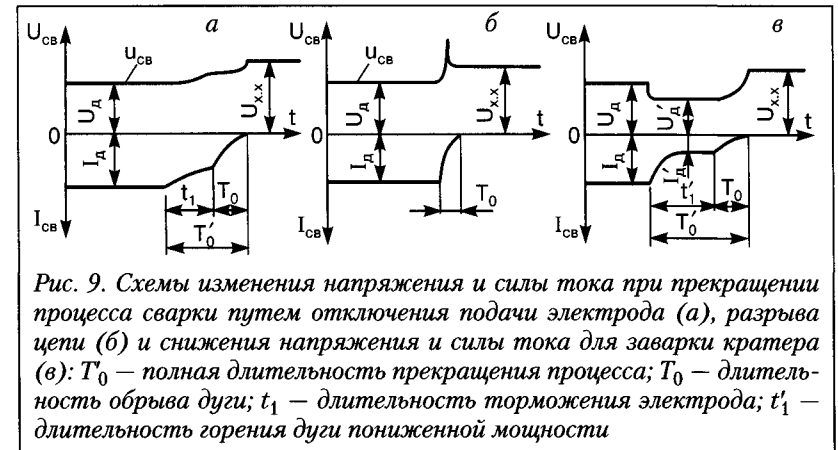


Рис. 9. Схемы изменения напряжения и силы тока при прекращении процесса сварки путем отключения подачи электрода (а), разрыва цепи (б) и снижения напряжения и силы тока для заварки кратера (в): T_0 – полная длительность прекращения процесса; T_0' – длительность обрыва дуги; t_1 – длительность торможения электрода; t_1' – длительность горения дуги пониженной мощности

Кроме того, процесс можно изменить воздействием струи газа, подаваемой в зону сварки с большей скоростью (см. рис. 1, в). В этом случае изменяются характеристики дугового разряда, перенос электродного металла, погружение дуги в ванну, кристаллизация шва и др. [38]. Механические колебания электрода или сварочной ванны дают возможность изменять характер переноса электродного металла, кристаллизацию шва, форму провара и др.

Прекращение процесса сварки. Эта стадия также оказывает большое влияние на качество сварного соединения. На практике применяют три способа прекращения процесса (рис. 9): отключением подачи электродной проволоки; разрывом цепи и после этого отключением напряжения источника питания и подачи защитного газа; снижением напряжения и силы тока сварки для заварки кратера (оптимальный вариант).

Дуга в защитных газах

При сварке плавящимся электродом источником энергии, обеспечивающим плавление электродного и основного металлов, является электрическая дуга. Основные сведения о дуге приведены в работах [10, 19]. Ниже рассмотрены только некоторые данные, определяющие технологические свойства дуг в защитных газах.

Дугу, в отличие от других видов разрядов в газах, характеризуют низкое катодное падение потенциала, а следовательно, низкое

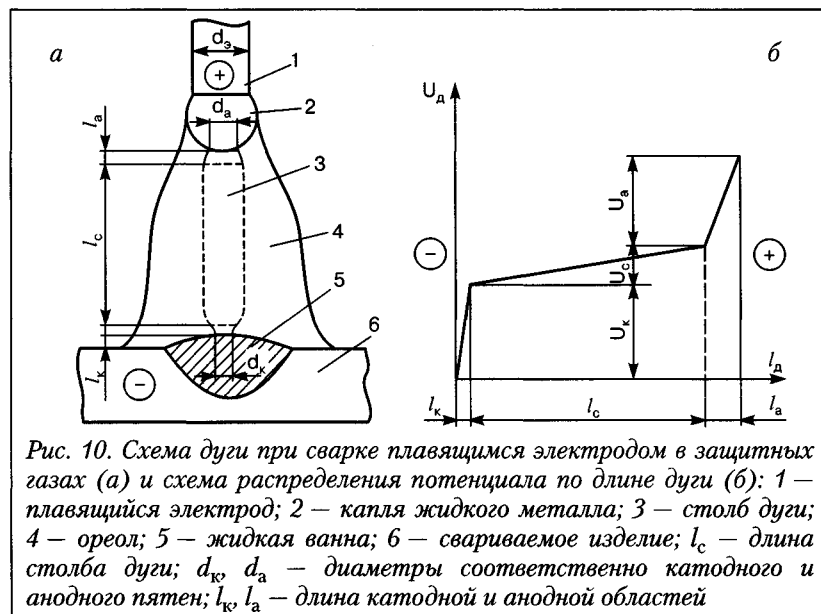


Рис. 10. Схема дуги при сварке плавящимся электродом в защитных газах (а) и схема распределения потенциала по длине дуги (б): 1 — плавящийся электрод; 2 — капля жидкого металла; 3 — столб дуги; 4 — ореол; 5 — жидкая ванна; 6 — свариваемое изделие; l_c — длина столба дуги; d_k , d_a — диаметры соответственно катодного и анодного пятен; l_k , l_a — длина катодной и анодной областей

общее напряжение дуги и высокая плотность тока. Электрическая дуга по длине имеет три области, отличающиеся физическими явлениями, протекающими в них (рис. 10). Области, непосредственно примыкающие к электродам, называют катодной (у отрицательного электрода) и анодной (у положительного электрода), а участок между ними — столбом дуги. Протяженность катодной области равна примерно $1 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-6}$ см, а анодной — $1 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ см.

Те части электродов, на которые опирается дуга и через которые проходит основной ток дуги, называют активными пятнами, на положительном электроде — анодным, а на отрицательном — катодным. Размеры катодного пятна обычно меньше, чем анодного. Распределение потенциала по длине электрической дуги неравномерное. Около электродов происходят скачки падения потенциалов, вызванные условиями прохождения электрического тока на границе между ионизированным газом и металлическими электродами. Общее падение напряжения на дуге

$$U_d = U_k + U_a + U_{ст} \quad (1)$$

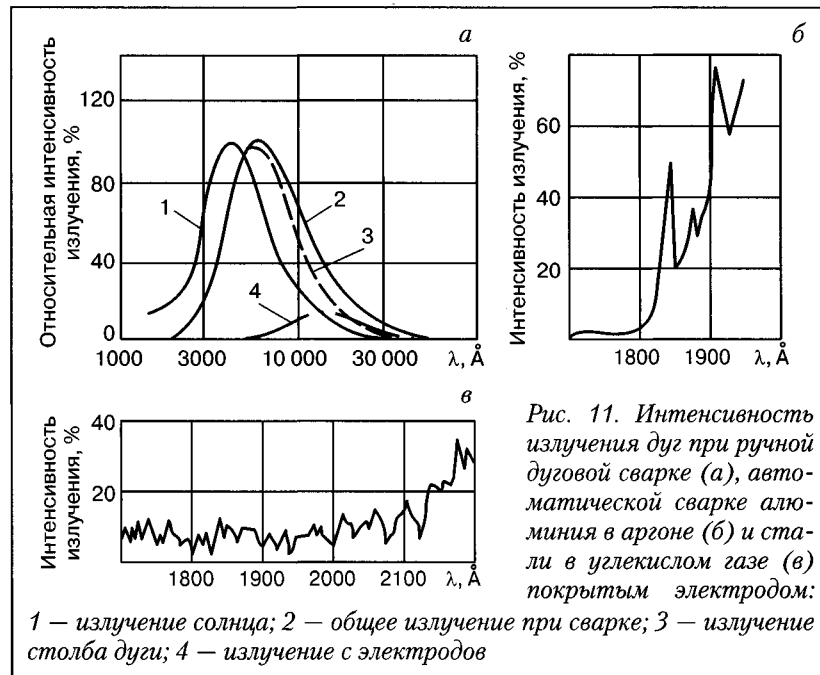
где U_k и U_a — соответственно катодное и анодное падение напряжения; $U_{ст}$ — падение напряжения в столбе дуги.

Столб дуги. Столб дуги или дуговая плазма — это совокупность электронов, ионов, возбужденных и невозбужденных нейтральных атомов и молекул. В столбе дуги непрерывно протекают процессы рождения (ионизации) и гибели (рекомбинации) заряженных частиц (электронов и ионов). Так как столб дуги содержит заряженные частицы, то он обладает электрической проводимостью. Поскольку масса электронов значительно меньше, чем масса ионов, то скорость первых выше скорости ионов, поэтому ток в дуге переносится в основном электронами. Параметры плазмы можно изменять в широких пределах путем изменения эффективного потенциала ионизации дугового газа, например активированием электродной проволоки или изделия. При этом снижение эффективного потенциала ионизации газа в столбе дуги приводит к уменьшению напряженности электрического поля и температуры столба, увеличению размеров дуги и, как следствие, понижению концентрации энергии дуги.

Характерная особенность любой дуговой плазмы заключается в термическом механизме возбуждения и ионизации, при котором ответственным за развитие ионизации являются электроны.

Поперечные размеры столба дуги, горящей в открытом объеме, определяются силой тока дуги, теплопроводностью газа, заполняющего дуговой промежуток, и давлением. Чем больше теплоотвод от столба дуги, давление и меньше сила тока дуги, тем меньше размеры столба. Теплопроводность атомарных газов с повышением температуры увеличивается плавно. В связи с этим температура от оси столба к периферии уменьшается также плавно. В молекулярных газах наблюдается иная картина. В центральной части столба основная часть молекул диссоциирована, а снаружи газ находится в молекулярном состоянии. Молекулы, попадая в зону высоких температур, диссоциируют, поглощая соответствующую энергию. В связи с этим поперечные размеры столба дуги в молекулярных газах (N_2 , CO_2) меньше, чем в атомарных. Чем меньше диаметр дуги, тем выше плотность тока, следовательно, больше избыточное давление в столбе дуги, вызываемое собственным магнитным полем.

По данным ряда работ, температура дуги при сварке плавящимся электродом сравнительно невелика: 5000–6500 К [10, 18, 19]. В дуге при сварке неплавящимся электродом она значительно выше. Сварочную дугу при использовании плавящегося электрода для сварки в защитных газах характеризует сильное излучение. Состав излучения и его интенсивность зависят от рода защитного газа, свариваемого металла и электрода, мощности дуги, размеров ее столба и давления.



Основным источником излучения является столб дуги. Спектр излучения различных дуг лежит в пределах длин волн $\lambda=1700\text{--}50000$ А (рис. 11). Наиболее вредными для глаз и кожи человека являются ультрафиолетовые (1700–4000 А) и коротковолновые инфракрасные (7000–15000 А) лучи. Интенсивность ультрафиолетового излучения зависит от рода защитного газа и, по-видимому, материала электродов. Так, дугу в аргоне характеризует более интенсивное ультрафиолетовое излучение, чем дугу в углекислом газе.

Мощность, потребляемая столбом дуги от источника питания, отводится в окружающее пространство посредством теплопроводности, излучения и конвекции. В сварочных дугах потери энергии от конвекции невелики, и их можно не учитывать. Доля энергии, теряемой от теплопроводности и излучения, зависит от температуры столба дуги. Можно полагать, что в высокоамперных дугах при плавящихся электродах потеря энергии происходит в основном посредством излучения.

Катодная область. Процессы, протекающие в этой области, имеют основное значение в поддержании дугового разряда и полу-

чении стабильной дуги. Под действием электрического поля из столба дуги на катод свободно поступают ионы, образующиеся в плазме дуги. Эти ионы создают у катода положительный объемный заряд, что приводит к появлению катодного падения потенциала. Чтобы покинуть металл, электроны должны преодолеть некий потенциальный барьер, для чего им необходимо сообщить энергию, превосходящую работу выхода электронов из материала катода. Такую энергию электроны могут получить различными путями. Эмиссия электронов с поверхности катода может происходить под действием электрического поля положительного объемного заряда (автоэлектронная эмиссия) при нагреве катода до температуры, при которой возможна термоэлектронная эмиссия, при нейтрализации положительных ионов на катоде (ионно-электронная эмиссия), под действием фотоэлектронных и других явлений.

При сварке плавящимся электродом поверхность катодного пятна нагрета до температуры кипения, что всегда приводит к интенсивному испарению. Появление паров металла катода, имеющих, как правило, более низкий потенциал по сравнению с потенциалом дугового газа, приводит к понижению катодного падения потенциала. Например, нанесение на катод при сварке в защитных газах щелочных, щелочноземельных и редкоземельных элементов или их соединений уменьшает катодное падение и разогрев катода. Аналогично ведет себя добавка 2–5% O_2 к аргону. Размеры катодного пятна и его подвижность зависят от материала и состояния поверхности катода, наличия на ней других элементов, а также силы тока дуги. В большинстве случаев при сварке плавящимся электродом катодное пятно беспорядочно перемещается (блуждает) по катоду. Размеры его с увеличением силы тока возрастают. Определить размеры катодного пятна на плавящемся электроде сильноточной дуги весьма трудно, поэтому сведения о его размерах часто противоречивы. Однако катодное пятно меньше столба дуги. Плотность тока в катодном пятне лежит в пределах $10^3\text{--}10^7$ А/см². С целью увеличения энергии, выделяющейся на катоде, следует стремиться увеличить катодное падение потенциала.

Анодная область. Ток в этой области переносится отрицательно заряженными частицами — электронами, а в случае наличия в дуговом промежутке газов, обладающих электроотрицательным потенциалом, также отрицательными ионами. В большинстве дуг у анода формируется отрицательный объемный заряд с положительным падением потенциала, ускоряющим движение отрицательно

заряженных частиц по направлению к аноду. При этом устанавливается анодное падение потенциала U_a , обеспечивающее перенос заданного тока через переходную область между плазмой и анодом. Значение анодного падения потенциала в основном определяется параметрами плазмы, сечением анодного пятна и силой тока. При сварке плавящимся электродом анод интенсивно испаряясь, поставляет в анодную область пары металла, обладающие низким потенциалом ионизации. Ионизация паров в анодной области приводит к увеличению концентрации ионов, в результате анодное падение потенциала уменьшается. Наличие в столбе дуги и анодной области электроотрицательных частиц приводит к повышению анодного падения потенциала и вызывает сужение дуги.

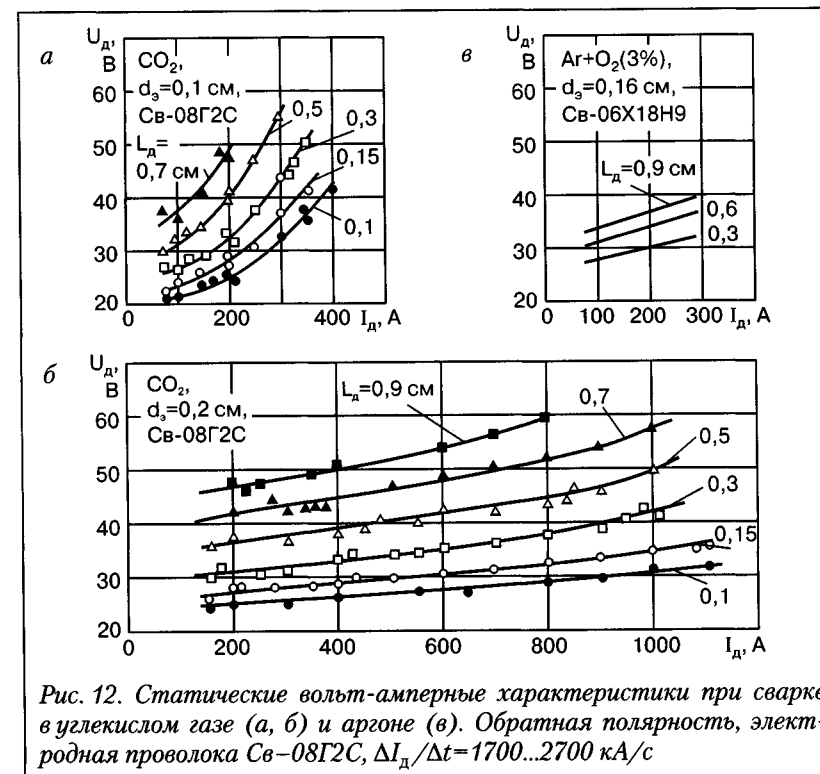
Сечение анодного пятна зависит также от силы тока дуги и интенсивности теплоотвода от анода. Размеры анодного пятна обычно больше размеров катодного. Анодное пятно также имеет тенденцию перемещаться по поверхности электрода, но оно менее подвижно, чем катодное.

Потоки плазмы. В электрических дугах, особенно при больших токах, наблюдаются потоки плазмы, исходящие из электродов. При сварке плавящимся электродом в защитных газах эти потоки оказывают большое влияние на характер плавления и перенос электродного металла, а также проплавление изделия. Основными причинами возникновения плазменных потоков являются интенсивное поверхностное испарение электродов в активных пятнах и сжатие столба дуги у электродов. Струя пара всегда выбрасывается перпендикулярно к испаряемой поверхности. Попадая в дугу, нейтральные атомы и молекулы возбуждаются, ионизируются и приобретают вид плазменных потоков. При наличии сужения дуги у электродов в результате изменения сечения столба по длине дуги возникает градиент плотности тока, а следовательно, и перепад избыточного давления, который приводит к осевому течению плазмы, направленному от электродов.

При сварке в защитных газах плавящимся электродом наблюдаются потоки плазмы с обоих электродов. Результирующий поток определяется их взаимодействием и может быть направлен как на изделие, так и на электрод. При этом потоки плазмы могут совпадать и не совпадать со столбом дуги. При сварке в углекислом газе, азоте и водороде на обратной полярности обычно доминирующим на средних и повышенных значениях силы тока является поток с анода. Вследствие высокой концентрации теплоты в анодном пятне

и слабой конусности дуги определяющим является испарение. Известно, что в этих случаях поток плазмы затрудняет перенос электродного металла в ванну. При сварке в аргоне, наоборот, из-за меньшей концентрации энергии в активных пятнах и большей конусности дуги при силе тока выше критической перемещение плазмы от электрода к изделию, по-видимому, определяется в основном собственным магнитным полем. При этом поток плазмы способствует переносу электродного металла и увеличению узкого глубокого проплавления в центре шва.

Вольт-амперная характеристика дуги. Вольт-амперную характеристику (ВАХ) между установившимися значениями напряжения и силы тока при постоянной длине дуги называют статической, а между неустановившимися — динамической. На рис. 12 приведены статические ВАХ ряда свободно горящих дуг при сварке в защитных газах плавящимся электродом. Как следует из этих дан-



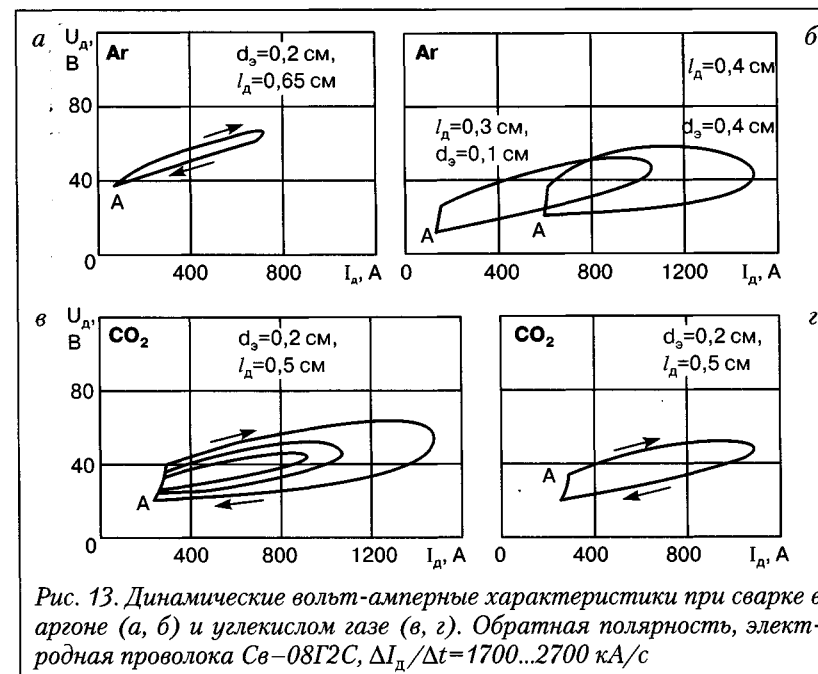
ных, в диапазоне рабочих токов при сварке плавящимся электродом вольт-амперные характеристики слегка возрастающие. При малых значениях силы тока вольт-амперная характеристика может быть жесткой и падающей.

Возрастание ВАХ с увеличением силы тока можно объяснить тем, что в рабочем диапазоне токов замедляется рост концентрации заряженных частиц, а увеличению сечения столба препятствует собственное магнитное поле и магнитное поле тока, текущего по электроду. С увеличением длины дуги крутизна подъема вольт-амперных характеристик также несколько увеличивается.

Форму **статической ВАХ** определяют род защитного газа, диаметр и материал плавящегося электрода. Это обусловлено изменением параметров плазмы дуги, что находит свое выражение в различной напряженности электрического поля E , изменении приэлектродных падений потенциала $U_k + U_a$ и падении напряжения в вылете электрода. С увеличением I_d и диаметра электрода сумма $U_k + U_a$ и значение E повышаются. Эти параметры также увеличиваются при замене аргона гелием и углекислым газом. Особенно большие их значения обнаружены при сварке в водяном паре и под водой, что может быть объяснено присутствием в зоне дуги водорода.

Динамические ВАХ (рис. 13), описывающие свойства импульсной дуги, устанавливают соотношение между напряжением и силой тока, изменяющейся во времени, и содержат три переменных: U_d, I_d, t . Начало характеристики лежит в точке А, координаты которой определяются начальными значениями напряжения и силы тока дуги. При скоростях нарастания силы тока выше скоростей ионизации или при спаде силы тока со скоростью больше скорости деионизации динамическая ВАХ имеет петлеобразную форму (появляется так называемый гистерезис тока).

Таким образом, гистерезис характеризует инерционность тока дуги, обусловленную инерционностью процессов ионизации-деионизации. Отсутствие гистерезиса динамических характеристик при малых скоростях изменения силы тока свидетельствует об отсутствии инерционности тока дуги. В этом случае можно считать, что динамическая ВАХ совпадает со статической при условии сохранения неизменной длины дуги за время изменения силы тока. Увеличение амплитуды импульса тока и скорости его изменения приводит к увеличению гистерезиса. Изменение рода защитного газа не изменяет положения ветвей динамической вольт-амперной характеристики при нарастании и спаде силы тока. Однако форма петли



зависит от рода защитного газа. Это может быть объяснено тем, что скорости ионизации и деионизации в различных газах различны.

В реальных условиях при сварке в защитных газах плавящимся электродом с постоянной скоростью подачи проволоки ток и напряжение изменяются, а в ряде случаев процесс ведут с перерывами в горении дуги. Стабильное течение процесса сварки в этих случаях достигается за счет саморегулирования, обнаруженного В. И. Дятловым в 1941 г. Поэтому за основные электрические характеристики, единые для всех процессов, могут быть приняты напряжение $U_{св}$ и сила тока $I_{св}$ сварки, которые для общего случая имеют вид

$$U_{св} = \int_0^{T_{ц}} u(t) dt, \quad (2)$$

$$I_{св} = \int_0^{T_{ц}} i(t) dt, \quad (3)$$

где $u(t)$ и $i(t)$ — мгновенные значения соответственно напряжения и силы тока; $T_{ц}$ — длительность цикла.

Величина $U_{св}$ включает в себя падение напряжения на дуге, вылете электрода и переходном контакте между токоподводом и электродной проволокой. В некоторых случаях при сварке стационарной дугой проволокой больших диаметров с малым удельным электрическим сопротивлением напряжение сварки $U_{св}$ близко к напряжению дуги $U_{д}$. В большинстве же случаев $U_{св}$ является сложной функцией и определяется как среднее или действующее значение по осциллограммам изменения напряжения в процессе сварки. В общем виде процесс сварки в защитных газах плавящимся электродом стационарной и нестационарной дугой может быть описан вольт-амперными характеристиками устойчивого течения процесса сварки $U_{св}=f(I_{св})$, которые выражают зависимость между напряжением сварки $U_{св}$ и силой сварочного тока $I_{св}$ при сварке с постоянной скоростью подачи электродной проволоки. Эти характеристики зависят от рода защитного газа, диаметра и состава электродной проволоки, программы изменения энергии процесса, силы тока, полярности, вылета и нагрева электрода, а также от внешних характеристик источника питания [12, 19, 38, 44].

По ВАХ устойчивого течения процесса сварки в аргоне и углекислом газе (рис. 14) видно, что с увеличением скорости подачи электродной проволоки кривые $U_{св}=f(I_{св})$ смещаются в сторону больших токов, изменяя наклон. Так, при сварке на малых токах (при малых скоростях подачи проволоки), в пределах которых процесс протекает с короткими замыканиями, повышение напряжения приводит к уменьшению силы сварочного тока.

При сварке на больших токах (больших скоростях подачи проволоки), когда процесс протекает с редкими короткими замыканиями или без них, с увеличением напряжения сила тока возрастает. При этом, чем больше скорость подачи проволоки, тем больше увеличивается сила тока с повышением напряжения. По-видимому, основной причиной этого является увеличение потерь на излучение с увеличением силы тока дуги, а также изменение вылета электрода. При питании от источника с жесткой ВАХ увеличение вылета приводит к уменьшению $U_{д}$. При питании от источника с падающей ВАХ изменение $U_{д}$ и длины дуги меньше.

Изменение рода защитного газа и диаметра электрода не меняет отмеченной закономерности. С уменьшением диаметра электрода изменение наклона кривых $U_{св}=f(I_{св})$ проявляется более резко. Изменение состава электродной проволоки отражается на наклоне вольт-амперных характеристик процесса в том случае, если изме-

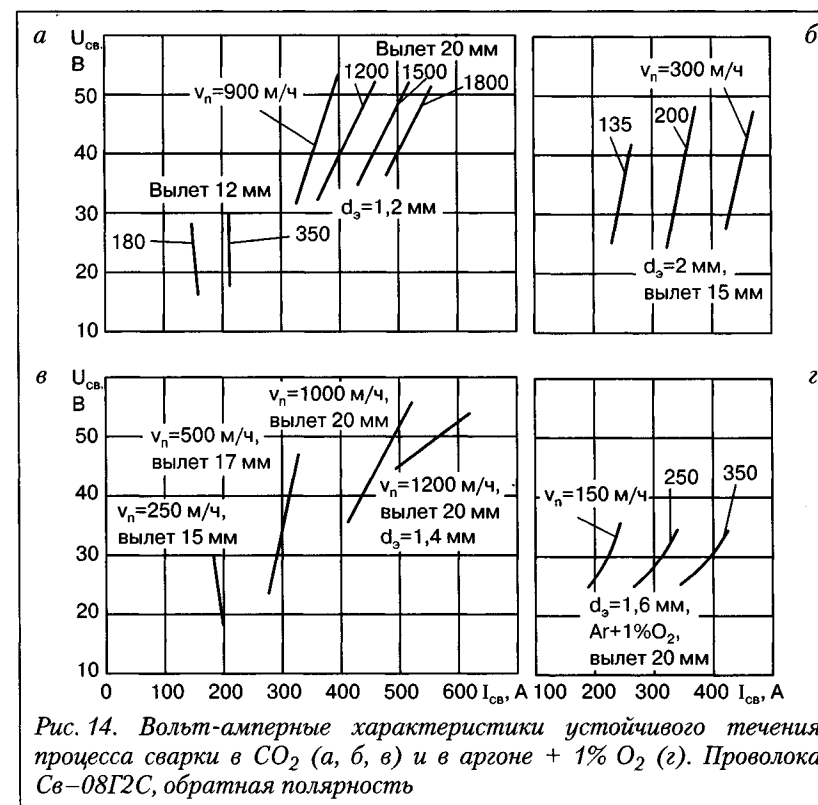


Рис. 14. Вольт-амперные характеристики устойчивого течения процесса сварки в CO_2 (а, б, в) и в аргоне + 1% O_2 (г). Проволока Св-08Г2С, обратная полярность

няется удельное электрическое сопротивление электрода: с его увеличением наклон ВАХ увеличивается. Уменьшение вылета электрода приводит к увеличению силы сварочного тока и тем больше, чем больше изменение падения напряжения на вылете.

Внешние характеристики устойчивого течения процесса сварки используются для настройки режима сварки, оценки влияния ВАХ источников питания на стабильность процесса сварки и др. [12, 24, 44]. Было установлено [44], что наклон вольт-амперных характеристик источников постоянного тока влияет на интенсивность кратковременных изменений длины дуги при хаотических перемещениях катодного и анодного пятен по поверхности капли и ванны. Длина дуги при кратковременных смещениях анодного пятна по капле при сварке на обратной полярности и питании от источника с падающей ВАХ (наклон $k=-0,1...0,15$ В/А) примерно в 1,5–1,8 раза больше,

чем при питании от источника с жесткой (пологопадающей) ВАХ ($k=-0,015$ В/А). В результате таких хаотических (кратковременных) удлинений дуги размеры столба дуги больше, чем при жесткой ВАХ. Дуга более эластична и растягивается на большую длину (см. рис. 5).

Перенос электродного металла

Перенос металла с электрода на изделие является одной из важнейших характеристик сварки плавящимся электродом в защитных газах (рис. 15), он определяет технологические характеристики и области применения процессов сварки. Перенос металла может происходить в виде жидких капель различных размеров и пара. Основные виды переноса электродного металла **при сварке стационарной дугой** следующие:

- крупнокапельный с короткими замыканиями разрядного промежутка;
- крупнокапельный без коротких замыканий;
- перенос каплями среднего размера без коротких замыканий;
- струйный;

при сварке нестационарной дугой:

- перенос каплями среднего размера без коротких замыканий;
- перенос с принудительными короткими замыканиями.

При сварке нестационарной дугой перенос электродного металла выполняют принудительно по определенной программе. Перенос с принудительными короткими замыканиями можно осуществить по двум схемам: принудительным перемещением только капли электродного металла и изменением скорости плавления электродной проволоки и давления дуги. Последний вид переноса часто называют переносом с частыми короткими замыканиями.

Силы, действующие при переносе электродного металла.

При сварке в защитных газах на каплю электродного металла действуют следующие основные силы: сила тяжести F_T ; сила поверхностного натяжения $F_{\text{пн}}$, электродинамическая сила $F_{\text{эд}}$, реактивное давление F_p испаряющегося с поверхности капли металла и выделения газа, сила давления F_n потоков плазмы и бомбардировки заряженными частицами; сила взрыва перемычки между каплей и электродом $F_{\text{вз}}$. Помимо этих сил, в ряде случаев оказывают существенное влияние сила давления струи защитного газа и инерция движения капли, например, при вибрации электрода.

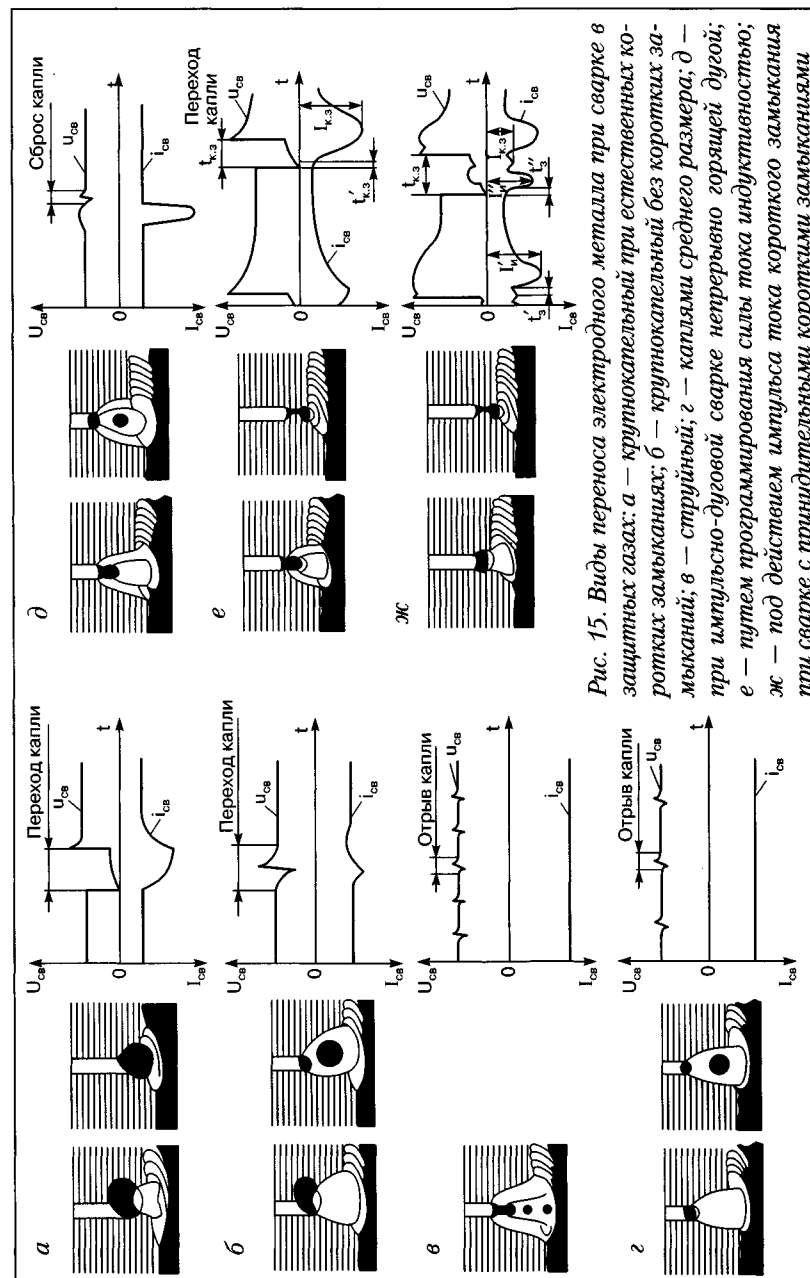


Рис. 15. Виды переноса электродного металла при сварке в защитных газах: а — крупнокапельный при естественных коротких замыканиях; б — крупнокапельный без коротких замыканий; в — струйный; г — каплями среднего размера; д — при импульсно-дуговой сварке непрерывно горящей дугой; е — путем программирования силы тока индуктивностью; ж — под действием импульса тока короткого замыкания при сварке с принудительными короткими замыканиями

Крупными каплями будем считать капли диаметром $1,5 d_3$ и более, средними — диаметром $(0,7-1,3)d_3$, мелкими — менее $0,7 d_3$.

Сила тяжести. Эта сила оказывает существенное влияние только при значительных размерах капель. В зависимости от пространственного расположения шва сила тяжести F_T способствует отрыву капли от электрода (в нижнем положении), препятствует отрыву (в потолочном) или стремится отклонить каплю от оси электрода (в вертикальном положении). Капля на конце электрода обычно имеет шарообразную или эллиптическую форму. Силу F_T в этих случаях можно вычислить по простейшим зависимостям:

для сферической капли

$$F_T = \alpha (4/3) \pi R_k^3 \gamma g, \quad (4)$$

для эллиптической капли

$$F_T = \alpha (2/3) \pi R_k^3 h \gamma g, \quad (5)$$

где α — коэффициент, учитывающий часть жидкого металла, остающегося на электроде; R_k — радиус капли; h — большая ось капли; γ — средняя плотность металла капли при температуре жидкой капли; g — ускорение свободного падения.

Размер капли определяют по данным скоростной киносъемки или расчетным путем по скорости подачи проволоки и частоте переноса.

Сила поверхностного натяжения $F_{п.н}$ обычно препятствует переносу капель с электрода в ванну. Местом приложения силы $F_{п.н}$ может быть принято такое сечение на жидкой капле, в котором эта сила минимальна. До образования шейки местом приложения силы $F_{п.н}$ может быть принята плоскость, проходящая через границу между твердым и жидким металлом. В этом сечении силу $F_{п.н}$, направленную по касательной к поверхности капли, можно разложить на составляющие: осевую $F_{п.н(о)}$, удерживающую каплю на электроде, и радиальную $F_{п.н(р)}$, стремящуюся сжать каплю и образовать шейку (сечение $A-A$, рис. 16), которые определяют по формулам:

$$F_{п.н(о)} = 2\pi\sigma R_3 \cos\varphi, \quad (6)$$

$$F_{п.н(р)} = 2\pi\sigma R_3 \sin\varphi, \quad (7)$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения материала электрода при заданной температуре в месте приложения силы $F_{п.н}$; φ — угол между касательной и образующей поверхности электрода в месте перехода от твердого металла к жидкому.

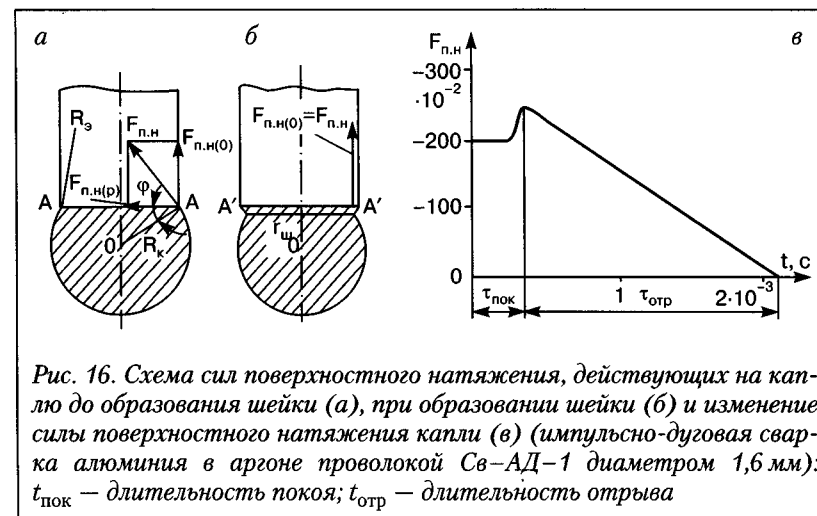


Рис. 16. Схема сил поверхностного натяжения, действующих на каплю до образования шейки (а), при образовании шейки (б) и изменение силы поверхностного натяжения капли (в) (импульсно-дуговая сварка алюминия в аргоне проволокой Св-АД-1 диаметром 1,6 мм): $t_{пок}$ — длительность покоя; $t_{отр}$ — длительность отрыва

После образования шейки местом приложения силы $F_{п.н}$ можно считать плоскость, проходящую через минимальное сечение шейки жидкого металла (сечение $A'-A'$, рис. 16, б). Размер капель, отрываемых принудительно от электрода, влияет на соотношение сил $F_{п.н(о)}$ и $F_{п.н(р)}$ и отрыв капель. Эксперименты показывают, что наиболее легкий отрыв капель наблюдается при соотношениях радиуса капли R_k к радиусу электрода R_3 в пределах 1,15–1,5.

При $R_k/R_3 < 1,15$ значительно уменьшается сила $F_{п.н(р)}$ и увеличивается сила $F_{п.н(о)}$, что затрудняет образование шейки и отрыв капли, при $R_k/R_3 > 1,15$ размер капель чрезмерно велик, и принудительный отрыв их также затруднен. Определение силы $F_{п.н}$ затруднено в основном из-за отсутствия достоверных данных о величине коэффициента поверхностного натяжения. Литературные данные разноречивы; так, для стали приводят значения от $1000 \cdot 10^{-2}$ до $1570 \cdot 10^{-2}$ Н/см [49].

Коэффициент σ зависит от легирующих элементов, а также от окружающей каплю атмосферы. При увеличении содержания азота в хромоникелевой стали от 0,02 до 0,23% сила $F_{п.н}$ повышается от $1100 \cdot 10^{-2}$ до $2500 \cdot 10^{-2}$ Н/см. Кислород понижает поверхностное натяжение. Небольшое количество шлака на поверхности капель при сварке в защитных газах, по-видимому, незначительно изменяет поверхностное натяжение. Изменение радиуса шейки при отрыве капли приводит к изменению $F_{п.н}$ (см. рис. 16, в).

Электродинамическая сила $F_{эд}$ возникает при прохождении тока по проводнику из-за взаимодействия тока с собственным магнитным полем. Если сечение проводника постоянно, то эта сила направлена по радиусу к оси проводника и стремится его сжать. Осевая составляющая ее равна

$$F_{эд(о,р)} = \mu\mu_0 i^2 / 8\pi, \quad (8)$$

где μ, μ_0 — магнитная проницаемость материала (для дуговой сварки $\mu_0 \approx 1$).

Если сечение проводника неодинаковое по длине, то возникает осевое усилие $F_{эд(о)}$, направленное от меньшего сечения к большему. Это усилие на участке проводника радиусами $R_1 < R_2$ можно записать так:

$$F_{эд(о,р)} = (\mu\mu_0 i^2 / 8\pi) \ln(R_2/R_1). \quad (9)$$

Таким образом, осевая сила не зависит от направления тока.

Изменение поперечного сечения проводника возможно в месте перехода от твердого электрода к жидкой капле и в месте перехода от капли к дуге. Местом приложения электродинамической силы при отрыве капли от электрода можно условно принять плоскость, в которой жидкая шейка минимальна, и в расчетах принимать R_1 равным радиусу шейки, а R_2 — равным радиусу активного пятна на капле.

Реактивное давление испаряющегося металла и выделение газа. Расплавленный металл на электроде и изделии в зоне активных пятен находится при температуре, близкой к температуре кипения. Поэтому с активных пятен происходит интенсивное испарение, а иногда и газовыделение. Наиболее существенно образование на электроде оксида углерода. Можно полагать, что окисление углерода оказывает заметное влияние только при сварке высокоуглеродистых сталей. При сварке низкоуглеродистых сталей окисление углерода и газовыделение невелико, и реактивное давление определяется в основном испарением металла. Потоки паров направлены перпендикулярно к испаряющейся поверхности, но поскольку пары в дуге ионизируются, то дальнейшее направление потока пара определяется направлением собственного или внешнего магнитного поля в дуге. Реактивная сила испарения

$$F_p = Mv, \quad (10)$$

где M — масса металла, испаряющегося с поверхности в единицу времени; v — начальная скорость струи пара.

Сила давления потоков плазмы дуги. Потоки плазмы образуются в результате испарения металла и действия электродинамических сил. В большинстве дуг при сварке с плавящимися электродами наблюдается одновременно два потока плазмы,двигающихся от электродов навстречу один другому. Мощность этих потоков неодинакова. Более мощный поток подавляет слабый и определяет результирующее усилие, действующее на электрод и ванну. Плазменные потоки, часто обладающие большой кинетической энергией, оказывают значительное давление на электроды. Помимо этого, может возникать отраженный поток, оказывающий воздействие на каплю. Не исключена возможность создания плазменным потоком зоны пониженного давления у электродов, с которых они истекают. Усилие, создаваемое плазменным потоком:

$$F_{пл} = M_{пл} v, \quad (11)$$

где $M_{пл}$ — масса потока плазмы, проходящая через заданное сечение в единицу времени; v — скорость потока плазмы в заданном сечении.

Сила взрыва $F_{вз}$ возникает при взрывообразном перегорании утончающейся жидкой перемычки между каплей и электродом или каплей и ванной под действием протекающего тока. Уменьшение сечения перемычки происходит под действием радиальной составляющей электродинамической силы. В зависимости от расположения капли относительно взрывающейся перемычки сила взрыва способствует переходу капли в ванну или приводит к выбросу капли за пределы шва.

При сварке с короткими замыканиями в момент соприкосновения капли с ванной при большой скорости нарастания тока электродинамическая сила препятствует слиянию капли с ванной, приводит к взрыву этой перемычки и разбрызгиванию.

Характеристики основных видов переноса. При **крупнокапельном переносе** крупная капля образуется на электроде постепенно и долго удерживается на нем. 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 (см. рис. 15).

Основными силами, обуславливающими крупнокапельный перенос, являются силы тяжести, поверхностного натяжения и давления дуги. При сварке в углекислом газе, азоте и водороде основное влияние на перенос оказывают силы, обусловленные действием

плазменных потоков и реакции испарения. Эти силы приподнимают каплю над ванной, оттесняют ее с оси электрода и приводят в беспорядочное колебательное движение. Если капля оказывается ниже взрывающейся шейки, то она попадает в шов, если выше, то каплю выбрасывает за пределы ванны. При сварке в смеси углекислого газа с аргоном и углекислого газа с аргоном и кислородом оттеснение капли дугой намного меньше и меньше разбрызгивание.

Процессы сварки с крупнокапельным переносом электродного металла применимы для сварки в нижнем положении.

Размер капель при крупнокапельном переносе зависит от рода защитного газа, материала и диаметра электрода, напряжения дуги, силы тока и полярности. С повышением напряжения дуги, диаметра электрода и переходом на прямую полярность диаметр капель увеличивается. С увеличением силы тока диаметр капель уменьшается.

Перенос каплями среднего размера наблюдается при сварке в CO_2 порошковыми проволоками рутилового типа (см. рис. 15, г). Дуга охватывает конец электрода. Основной силой, обеспечивающей отрыв капли от электрода, является электродинамическая сила. Препятствуют этому, в основном, силы поверхностного натяжения жидкого металла. Такой перенос наблюдается при средних значениях силы тока 250–400 А.

При **струйном переносе** жидкий металл на электроде вытянут в виде конуса, с конца которого отрываются мелкие капли (рис. 15, в). Оплавляющийся конец электрода также имеет конусообразную форму. Значительная доля электродного металла переносится в виде пара (до 20%). При струйном переносе электродного металла основными являются электродинамическая сила, сила поверхностного натяжения и, по-видимому, силы действия плазменных потоков. Предполагают, что существенно также влияние реактивной силы испарения. Сила тяжести невелика, поэтому электродный металл переносится в ванну при сварке во всех пространственных положениях.

Минимальную силу тока, при которой наступает струйный перенос, называют критической силой тока $I_{кр}$ [30]. С увеличением коэффициента поверхностного натяжения и диаметра электрода $I_{кр}$ возрастает. Струйный перенос возможен при сварке на обратной и на прямой полярности. Обычно критическая сила тока и диаметр капель на прямой полярности больше, чем на обратной. С увеличением силы сварочного тока диаметр капель уменьшается, а частота переноса увеличивается (рис. 17).

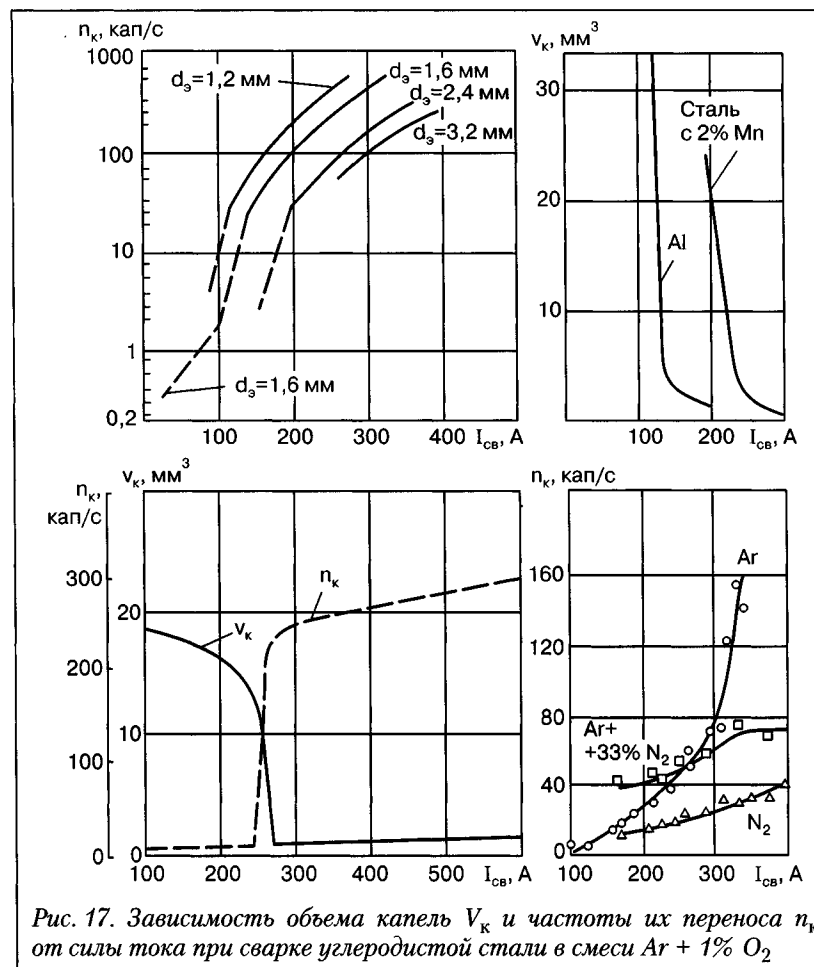
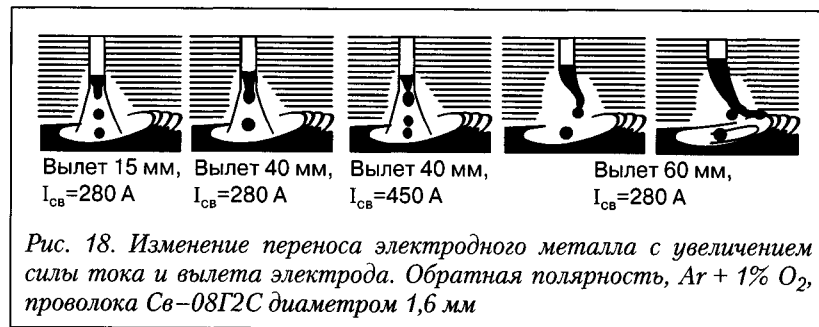


Рис. 17. Зависимость объема капель V_k и частоты их переноса n_k от силы тока при сварке углеродистой стали в смеси $\text{Ar} + 1\% \text{O}_2$

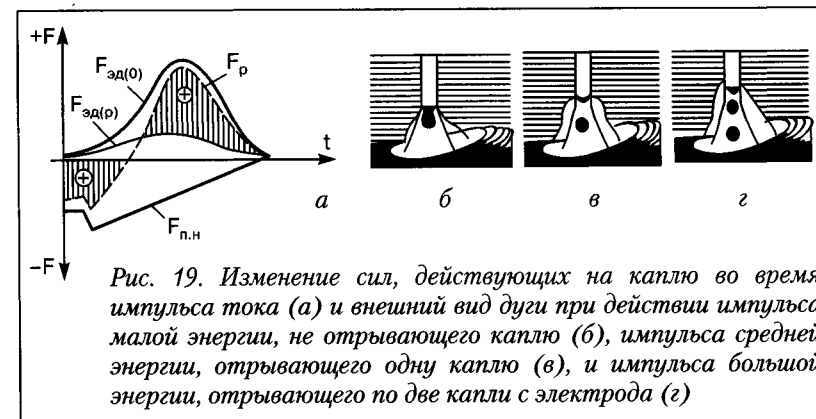
При высоких значениях силы тока струйный перенос переходит во вращательно-струйный. Характерным при этом является значительная величина расплавленной конусообразной части электрода и вращение ее вокруг электрода. Капли отрываются от конца жидкой части и часто вылетают за пределы шва. Основное значение в переходе от струйного переноса к вращательно-струйному, по-видимому, имеют увеличение длины расплавленной части электрода, усилие взаимодействия тока, протекающего по этой части электрода, с собственным магнитным полем и возросшее с повышением



силы тока реактивное усилие испарения. В некоторых случаях при большой длине расплавленной части электрода наблюдается изгиб ее по спирали (рис. 18). Сила тока, при которой происходит переход от струйного к вращательно-струйному переносу, зависит от материала, диаметра и вылета электрода, предварительного разогрева электрода и напряжения дуги. Повышение напряжения и вылета электрода способствует переходу к вращательно-струйному процессу. В отличие от струйного переноса, при вращательно-струйном наблюдается периодическое нарушение процесса, выброс капель с конца электрода в сторону от шва.

Управление переносом электродного металла. При сварке стационарной дугой характер переноса в основном определяется силой тока и напряжением дуги, т. е. теми же параметрами, что и размеры шва. При сварке нестационарной дугой можно принудительно, независимо от силы тока и напряжения сварки, задавать желаемый вид переноса электродного металла, что позволяет расширить диапазон режимов и технологические возможности сварки в защитных газах плавящимся электродом.

При сварке в CO₂ проволокой диаметром 0,8–1,4 мм управляемый перенос капель в ванну был получен при ведении сварки короткой дугой с принудительными короткими замыканиями за счет увеличения силы тока короткого замыкания с определенной скоростью (см. рис. 15, е). Переход капли в ванну достигался действием электродинамических сил, определяемых программой нарастания силы тока короткого замыкания и силой взрыва шейки между каплей и электродом. Препятствуют переходу капель силы поверхностного натяжения. При малых скоростях нарастания силы тока короткого замыкания перенос капли в ванну достигается за счет наложения импульса тока при коротком замыкании (см. рис. 15, ж).



Это уменьшает максимальное значение силы тока короткого замыкания, силу взрыва шейки и разбрызгивание [30, 38]. При чрезмерном увеличении тока в начале короткого замыкания электродинамические силы препятствуют слиянию капли с ванной и приводят к перегоранию шейки между каплей и ванной.

При сварке в аргоне и смесях аргона с кислородом и аргона с CO₂ до 18% управляемый перенос капель в ванну был получен за счет импульсного повышения силы тока дуги. В этих газах с увеличением силы тока дуга охватывает оплавленный электрод. Отрыв капель от электрода происходит под действием электродинамических сил. Препятствуют отрыву капли силы поверхностного натяжения (рис. 19). Сила тяжести невелика, принудительный перенос капель возможен при сварке во всех положениях. Диаметр капель d_k обычно задают $(0,5-1,5)d_э$. Если длина дуги больше $(2-2,5)d_k$, то перенос происходит без коротких замыканий разрядного промежутка, а если меньше, то с короткими замыканиями (см. рис. 15, д).

Основные характеристики переноса при импульсно-дуговой сварке — диаметр капель, частота переноса, скорость полета капель и др. — определяются в первую очередь параметрами импульсов, а именно: энергией импульсов, характеризуемой их амплитудой, длительностью и формой импульса, частотой следования импульсов. Критерием оценки переноса электродного металла может быть принят характер перемещения центра тяжести капли относительно конца электрода. Можно выделить три типичных вида переноса электродного металла:

- импульс тока не сбрасывает каплю с электрода;

- импульс тока сбрасывает с электрода только одну каплю (при сварке во всех пространственных положениях);
- импульс тока сбрасывает с электрода несколько капель.

В первом случае под действием электродинамических сил за время импульса тока капля вытягивается в направлении ванны. Однако приложенного усилия недостаточно для полного преодоления сил поверхностного натяжения. Силы поверхностного натяжения и давление дуги возвращают каплю в первоначальное положение на электроде. Сброс капли с электрода происходит после воздействия на нее нескольких импульсов тока, когда размеры капли увеличатся. Диаметр сброшенных капель непостоянен. Скорость полета капель после отрыва от электрода невелика и составляет 40–70 см/с.

Во втором случае сброс капли происходит под действием электродинамической силы, которая преодолевает силы поверхностного натяжения, вытягивает жидкий металл и формирует каплю. В зависимости от параметров импульса отрыв капли возможен в конце импульса или спустя некоторое время после его окончания. Диаметр сброшенных капель постоянен. Скорость их полета после отрыва от электрода составляет 120–200 см/с. Оставшийся на электроде жидкий металл при отрыве капли подбрасывается вверх. При правильно подобранных параметрах импульсов разбрызгивание небольшое.

В третьем случае электрод интенсивно подплавляется, жидкий металл на электроде вытягивается в сторону ванны, капля отрывается от электрода до окончания импульса. После отрыва капли резко ускоряется оплавление электрода и формируется вторая капля, которая также сбрасывается с электрода. При очень больших импульсах наблюдается вытягивание жидкого металла на электроде в конус и сброс нескольких капель одним импульсом. Размер сбрасываемых капель различен. Скорость полета также неодинакова, но всегда больше 250 см/с. При таких скоростях капли, ударяясь о ванну, вызывают ее расплескивание и ухудшают формирование шва.

Для отрыва капли от электрода необходимо затратить определенную энергию, которую условно можно назвать «работой отрыва». При сварке в аргоне эту работу выполняет электродинамическая сила, а препятствует отрыву сила поверхностного натяжения. Капля после отрыва должна иметь определенную скорость, чтобы попасть в ванну на изделии при сварке во всех положениях.

Для расчета электродинамической силы, необходимой для отрыва капли, можно воспользоваться теоретическими положениями динамики точки переменной массы, причем количество движения капли принять равным импульсу равнодействующей электродинамической силы и силы поверхностного натяжения. Считая начальную скорость капли относительно нерасплавленного торца электрода равной нулю, уравнение количества движения можно записать в виде:

$$M_k v_k = \int_{t_1}^{t_2} F_{эд}(t) dt - \int_{t_1}^{t_3} F_{п.н}(t) dt, \quad (12)$$

где M_k — масса капли; v_k — скорость капли в момент отрыва, можно принять $v_k = 120\text{--}200$ см/с; $F_{эд}(t)$ — электродинамическая сила; $F_{п.н}(t)$ — сила поверхностного натяжения.

Установлено, что наиболее приемлемыми являются импульсы средних энергий, сбрасывающие с электрода по одной капле. Абсолютные значения параметров этих импульсов зависят от рода защитного газа, материала и диаметра электродов, частоты следования импульсов, силы тока и напряжения сварки. Соотношения между величиной и длительностью импульса выбирают с учетом ряда технологических факторов, например толщины металла, необходимой глубины провара, положения шва в пространстве и др. В общем случае необходимая для сброса капель величина импульса тока пропорциональна критическому току сварки в защитных газах стационарной дугой. Исследования показали, что направленный сброс капель может быть получен во всех пространственных положениях на токах сварки от $I_{св} = 0,4 I_{кр}$ до $1,2 I_{кр}$. При сварке с импульсами, сбрасываемыми по одной капле, частота переноса и размер капель задаются частотой следования импульсов. На практике сварку ведут с частотами следования импульсов 25–150 имп/с, а наиболее часто — 50 и 100 имп/с.

Разбрызгивание при сварке в защитных газах зависит от рода защитного газа, вида процесса сварки и переноса электродного металла, диаметра электрода и техники сварки, состава и типа электродной проволоки, наличия загрязнений на проволоке и свариваемом металле, качества защиты зоны сварки и свойств источника питания током.

При сварке в CO_2 и смесях аргона с углекислым газом (более 20%) проволоками диаметром 0,8–1,4 мм на режимах с принудительными короткими замыканиями разбрызгивание зависит от

скорости нарастания тока короткого замыкания, напряжения, тока сварки и вылета электрода. При оптимальных скоростях нарастания тока короткого замыкания, оптимальных напряжениях дуги, зависящих от тока сварки, а также малых вылетах разбрызгивание происходит в результате выброса мелких капель и паров, образующихся при перегорании шейки между каплей и электродом. Потери составляют 3–4% при сварке в CO_2 и 2–3% при сварке в смеси аргона с CO_2 (15–25%).

При сварке с короткими замыканиями при высоких скоростях нарастания $I_{к.з}$ больше рекомендуемых быстрое нарастание силы тока в начале короткого замыкания капли с ванной приводит к значительной электродинамической силе, препятствующей переходу капли в ванну. Жидкий мостик между каплей и ванной быстро перегревается и перегорает со взрывом. В результате каплю отбрасывает от ванны, и она вылетает за пределы шва ванночки. Происходит расплескивание ванночки. При чрезмерно малых скоростях нарастания $I_{к.з}$ затягивается переход капли в ванну при коротком замыкании, в результате чего нерасплавленный конец электродной проволоки погружается в ванну жидкого металла, которая при погасании дуги движется навстречу электроду. Нерасплавленный электрод упирается в дно ванночки, изгибается, разогревается медленно на большой длине, а затем перегорает со взрывом и выбрасывается за пределы шва.

Для получения стабильного процесса и уменьшения разбрызгивания при питании от источников с низкими скоростями нарастания силы тока короткого замыкания рекомендуется ускорять переход капель при коротких замыканиях путем наложения короткого импульса при коротком замыкании и импульса тока после перехода капли в шов и зажигания дуги (см. рис. 15, ж) [29, 38].

С повышением напряжения и вылета электрода, а также увеличением диаметра электрода более 1,6 мм увеличивается длина дуги, оттеснение капли от ванны и ее колебания. Если перед отрывом от электрода крупная капля оказывается над взрывающейся шейкой, то силой взрыва шейки капля выбрасывается за пределы шейки. Крупные капли, обладающие большим теплосодержанием, прочно привариваются к кромкам изделия. Для уменьшения приваривания брызг кромки изделия покрывают различными покрытиями [39, 59].

Все факторы, приводящие к увеличению длины дуги и ее нестабильности, увеличивают вероятность выброса крупных капель.

Нарушение защиты зоны сварки, попадание в зону сварки воздуха, азота и водорода из загрязнений и ржавчины на проволоке и свариваемых кромках увеличивают разбрызгивание за счет взрыва крупных капель и выплесков из капли и ванны.

Питание от источников с комбинированной внешней характеристикой с падением $k=0,08...0,15$ В/А в диапазоне рабочих значений силы тока приводит к уменьшению оттеснения капель от ванны (см. рис. 14) и уменьшению выброса крупных капель. Одновременно отмечено уменьшение колебания капли, а также улучшение формирования шва [44, 46].

С увеличением тока увеличивается погружение дуги в ванну. В результате уменьшается вероятность выброса крупных капель за пределы ванны и разбрызгивание, но ухудшается форма шва. Для улучшения формы шва рекомендуется выполнять сварку с низкочастотной модуляцией на двух режимах — малом и большом.

При сварке в смесях аргона с углекислым газом (20–25%) давление дуги меньше, чем в CO_2 . При сварке на средних токах это приводит к снижению разбрызгивания за счет уменьшения оттеснения капель от ванны и выброса крупных капель. Однако сварка в смесях аргона подвержена влиянию магнитного дутья. В этом случае разбрызгивание увеличивается.

При сварке в смесях аргона с кислородом, аргона с углекислым газом до 18% и аргона с углекислым газом до 18% и кислородом 3–5% на режимах струйного переноса электродного металла выброса капель из зоны сварки нет. Потери электродного металла происходят за счет испарения и окисления и составляют 2–3%.

При импульсно-дуговой сварке в смесях аргона с углекислым газом до 18% и аргона с кислородом потери электродного металла происходят за счет его испарения и окисления. Потери меньше, чем при сварке со струйным переносом на постоянном токе.

Разбрызгивание в начале сварки проволоками сплошного сечения зависит от динамических свойств источника тока и техники начала сварки. При низких скоростях нарастания тока короткого замыкания в начале сварки наблюдается выброс начального участка электрода. При окончании сварки на повышенном напряжении наблюдается выброс крупной капли.

Глава 2.

Особенности сварки в активных газах

Активные газы

К группе активных защитных газов относят газы, взаимодействующие с расплавленным металлом шва: углекислый газ и смеси аргона или гелия с углекислым газом и кислородом.

Углекислый газ. Для получения качественных швов используют газообразный и сжиженный диоксид углерода высшего и первого сортов по ГОСТ 8050–85 (табл. 2).

Углекислый газ не имеет цвета и запаха. При температуре 20 °С и давлении 101,3 кПа (760 мм рт. ст.) его плотность составляет 1,839 кг/м³, а по отношению к воздуху — 1,524 кг/м³.

Сжиженный углекислый газ — бесцветная жидкость без запаха. Выпускают двух видов: высокого давления — от 3482 до 7383 кПа (критическое давление) при температуре от 0 до +31,05 °С и низкотемпературный — давление от 3482 до 518,6 кПа (тройная точка) при температуре от 0 до минус 56,5 °С.

Сжиженный углекислый газ высокого давления при температуре ниже +11 °С тяжелее воды, а выше +11 °С — легче. С изменением температуры его плотность значительно изменяется. Поэтому

Показатель	Высший сорт	Первый сорт
Объемная доля CO ₂ , %, не менее	99,8	99,5
Массовая концентрация масел и механических примесей, мг/кг, не более	0,1	0,1
Массовая доля воды, %, не более	Отсутствует	
Массовая концентрация водяных паров при 20 °С и давлении 101,3 кПа, г/см ³	0,037	0,184

количество углекислоты определяют и продают по массе. Углекислый газ транспортируют в стальных 40-литровых баллонах в жидком состоянии при давлении 7,0–7,1 МПа, а также в изотермических емкостях в переохлажденном состоянии при давлении 18–20 кПа. При подводе теплоты жидкий CO₂ превращается в газ. При испарении 1 кг жидкого CO₂ образуется 509 л газа. В 40-литровый баллон заливают 25 кг жидкой углекислоты, при ее испарении образуется 12500 л углекислого газа.

В случае чрезмерно быстрого отбора газа из баллона и недостаточного подвода теплоты через стенки баллона углекислый газ охлаждается, давление в баллоне снижается и при достижении тройной точки (давление 5,28 кПа, температура минус 56,6 °С) жидкий углекислый газ превращается в «сухой лед», который забивает отверстие в понижающем редукторе, и дальнейший отбор газа прекращается. Сухой лед при нагреве превращается в углекислый газ, минуя жидкое состояние. Для его испарения требуется подвод значительно большего количества теплоты, чем для превращения жидкой углекислоты в газ. Поэтому используют подогрев баллонов в ванне с горячей водой и устанавливают на баллоне подогреватель газа.

CO₂ получают несколькими способами, из которых наиболее распространены:

- из газов, образующихся при брожении спирта, пива, расщеплении жиров (почти чистый CO₂);
- из отходов химической промышленности при производстве аммиака и метанола (содержат до 90% CO₂);
- из дыма промышленных котельных (содержат от 12 до 20% CO₂).

Смеси защитных газов. На практике для сварки плавящимся электродом применяют смеси газов, состав которых выбирают в зависимости от состава свариваемого металла и требований, предъявляемых к сварным швам. Рекомендации по составу смесей газов приведены далее в разделах по сварке конкретных металлов и в гармонизированном стандарте ДСТУ ISO 14175:2004.

В зарубежной практике составы защитных газов для сварки определены нормами EN 439 (табл. 3).

Смеси аргона с углекислым газом и кислородом. Для дуговой сварки плавящимся электродом углеродистых сталей наиболее широко применяют смесь аргона с 20–25% углекислого газа. Реже применяют смесь аргона с 8–18% углекислого газа, а также смесь аргона с углекислым газом (20%) и кислородом (3–5%). Чистый аргон для дуговой сварки плавящимся электродом углеродистых

Таблица 3. Составы газовых смесей, используемых при сварке в защитных газах и плазменной резке							
Условные обозначения	Объемное содержание, %						
	Окислительные		Инертные		Пассивный**	Восстановительный	
	CO ₂	O ₂	Ar	He	N ₂	H ₂	
R1 R2	—	—	Остальное*	До 15 До 15	—	До 15	
I1 I2 I3	—	—	100 — Остальное	— 100 До 95	—	—	
M1-1 M1-2 M1-3 M1-4	До 5 До 5 — До 5	— — До 3 До 3	Остальное*	—	—	До 5 — — —	
M2-1 M2-2 M2-3 M2-4	От 5 до 25 — До 5 От 5 до 25	— — От 3 до 10 От 3 до 10 До 8		—	—	—	
M3-1 M3-2 M3-3	От 25 до 50 — От 5 до 50	— До 15 От 8 до 15		—	—	—	
C1 C2	100 Остальное	— До 30		—	—	—	
F1 F2	—	—		—	—	100 Остальное	— До 50

* Аргон на 95% может быть заменен гелием.
** Азот инертен по отношению к меди.

сталей непригоден, так как в швах образуются поры. Для получения плотных швов на углеродистых сталях защитный газ должен содержать окислители. Смесей газов поставляют в стальных 40-литровых баллонах при давлении 15 МПа (6000 л смеси). Смесей газов могут быть получены непосредственно на заводах-потребителях смешиванием газов из отдельных баллонов при помощи смесителей. В одном баллоне аргона, как и в одном баллоне кислорода, содержится 6000 л газа при давлении 15 МПа. Из одного баллона жидкого углекислого газа может быть получено 12500 л углекислого газа. Возможно получение смесей газов, поставляемых в отдельных изотермических емкостях, где аргон, углекислый газ и кислород находятся в сжиженном переохлажденном состоянии.

Таблица 4. Состав газообразного и жидкого аргона (по ГОСТ 10157-79)		
Показатель	Высший сорт	Первый сорт
Объемная доля аргона, %, не менее	99,993	99,987
Объемная доля кислорода, %, не более	0,0007	0,002
Объемная доля азота, %, не более	0,005	0,01
Массовая концентрация водяного пара при 20 °С и давлении 0,1 МПа, г/м ³ , не более	0,007	0,01
Объемная доля суммы углеродосодержащих соединений в пересчете на СО, %, не более	0,0005	0,001

Таблица 5. Состав газообразного технического кислорода (по ГОСТ 5583-78)		
Показатель	Первый сорт	Второй сорт
Объемная доля кислорода, %, не более	99,7	99,5
Объемная доля водорода, %, не более	0,3	0,5
Объемная доля диоксида углерода, %, не более	Не нормируется	
Массовая концентрация водяного пара при 20 °С и давлении 0,1 МПа, г/м ³ , не более	0,05	0,07
Содержание оксида углерода	Не нормируется	

Для получения смесей используют аргон по ГОСТ 10157-79 высшего или первого сорта и кислород 1-го и 2-го сорта по ГОСТ 5583-78 (табл. 4, 5).

Смеси аргона с кислородом используют для сварки углеродистых и легированных сталей. Содержание кислорода в смесях устанавливают в зависимости от типа сталей в пределах 1–3 до 10%. Поставляют смеси в 40-литровых баллонах при давлении 15 МПа или получают путем смешивания аргона с кислородом из отдельных баллонов с помощью постовых смесителей газа. В этом случае используют кислород 1-го или 2-го сорта по ГОСТ 5583-78.

Смеси аргона с гелием и кислородом или с гелием и углекислым газом используют для сварки углеродистых и легированных сталей. Содержание гелия и кислорода в смесях с аргоном устанавливают в зависимости от типа свариваемых сталей, толщины стали и типа сварного соединения. Содержание гелия задают от 10 до 90%, а кислорода или углекислого газа — до 5%.

Гелий — бесцветный газ без запаха и вкуса, не ядовитый, значительно легче воздуха и аргона (табл. 6).

Сорт	He	H ₂	N ₂	O ₂
Высокой чистоты	99,985	0,0025	0,005	0,002
A	99,95	0,008	0,020	0,005

Поставляют смеси в 40-литровых баллонах при давлении 15 МПа или получают путем смешивания аргона с гелием и кислородом с использованием постовых смесителей газа. В этом случае применяют гелий высокой чистоты или сорта А и кислород 1-го или 2-го сорта по ГОСТ 5583–78.

Сварка в углекислом газе

На практике в основном применяют сварку в углекислом газе с принудительными короткими замыканиями проволокой диаметром 0,6–1,4 мм, с крупнокапельным переносом электродного металла проволокой диаметром 1,6–2,0 мм и сварку порошковой проволокой без коротких замыканий (табл. 7).

Сварка с принудительными короткими замыканиями проволокой диаметром 0,6–1,4 мм в настоящее время реализуется аппаратами с постоянной скоростью подачи электродной проволоки при питании от источников с жесткой, пологопадающей, пологовозрастающей и комбинированной внешней характеристикой, содержащих во вторичной цепи постоянного тока катушку индуктивности. Характерные осциллограммы такого процесса приведены на рис. 20 [12, 38].

Весь процесс можно разделить на ряд подобных циклов, на протяжении которых наблюдаются характерные явления (рис. 21). Эти явления можно представить следующим образом. Теплота, выделяемая дугой после ее зажигания, интенсивно расплавляет деталь и электродную проволоку, непрерывно подаваемую к детали. На конце электрода образуется капля расплавленного электродного металла, а на свариваемой детали — ванна жидкого металла. Капля и ванночка оттесняются дугой. Энергия, накопленная в катушке индуктивности, уменьшается. По мере уменьшения силы 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 уве-

Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А			
	с короткими замыканиями	с крупнокапельным переносом	погруженной дугой	порошковой проволокой
0,6	$\frac{30-110}{15-100}$	—	—	—
0,8	$\frac{65-130}{20-130}$	$\frac{50-160}{50-180}$	—	—
1,0	$\frac{75-150}{30-140}$	$\frac{85-180}{70-200}$	—	—
1,2	$\frac{85-160}{40-160}$	$\frac{100-280}{100-280}$	$\frac{300-400}{280-400}$	$\frac{140-200}{120-200}$
1,4	$\frac{90-190}{45-190}$	$\frac{120-350}{150-400}$	$\frac{320-500}{300-550}$	—
1,6	—	$\frac{190-350}{160-350}$	$\frac{350-600^*}{320-600^*}$	$\frac{180-300}{180-300}$
2,0	—	$\frac{220-550}{200-600}$	$\frac{400-800^*}{350-800^*}$	$\frac{250-350}{250-350}$
3,0	—	$\frac{250-600}{220-600}$	$\frac{500-1200^*}{400-1200^*}$	$\frac{300-400}{300-400}$

Примечания. 1. В числителе приведены значения при питании от источника с пологопадающей ВАХ $k=-(0,02...0,04)$ В/А, в знаменателе — при питании от источника с комбинированной ВАХ $k=-(0,1...0,15)$ В/А.
2. Знаком * отмечены ориентировочно верхние пределы.

личением силы тока усилие пинч-эффекта возрастает, что 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, зажигается дуга. После этого все явления повторяются.

Рассмотренный характер течения процесса сварки задается выбором программы изменения мгновенной мощности и силы тока. Скорость и характер нарастания силы тока короткого замыкания и уменьшения силы тока дуги определяют стабильность этого процесса, который по своей физической природе является импульсно-дуговым с принудительными короткими замыканиями и управляемым переносом капель в шов с внутренней обратной связью по напряжению сварки.

Основными параметрами данного процесса являются: среднее напряжение сварки $U_{св}$, средняя сила тока сварки $I_{св}$, среднее напряжение дуги U_d , максимальная сила тока I_{max} , минимальная сила тока I_{min} , 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 $dI_{к.з}/dt$ и скорость спада силы тока при горении дуги dI_c/dt . Помимо этого, процесс сварки характеризуется полярностью тока, скоростью подачи проволоки, вылетом электрода, скоростью сварки и другими параметрами.

Напряжение дуги оказывает большое влияние на характер течения сварки. С повышением напряжения увеличивается длительность

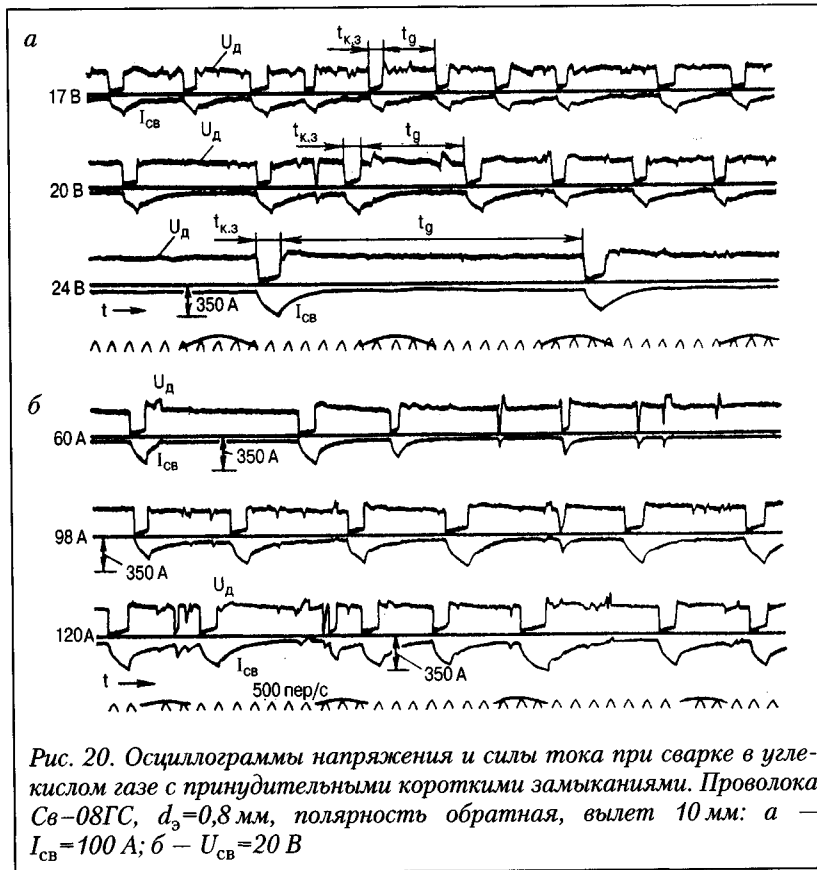


Рис. 20. Осциллограммы напряжения и силы тока при сварке в углекислом газе с принудительными короткими замыканиями. Проволока $Св-08ГС$, $d_3=0,8$ мм, полярность обратная, вылет 10 мм: а — $I_{св}=100$ А; б — $U_{св}=20$ В

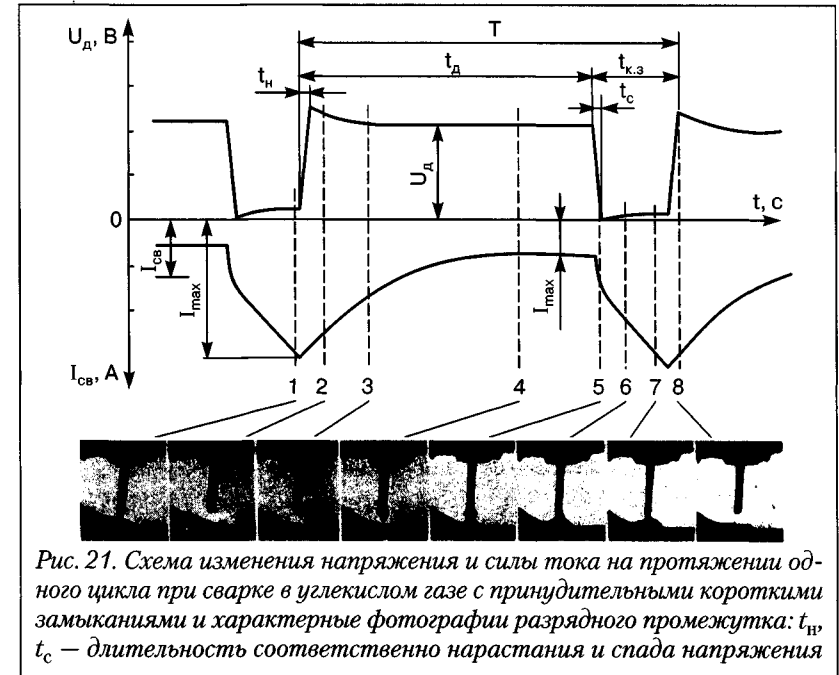
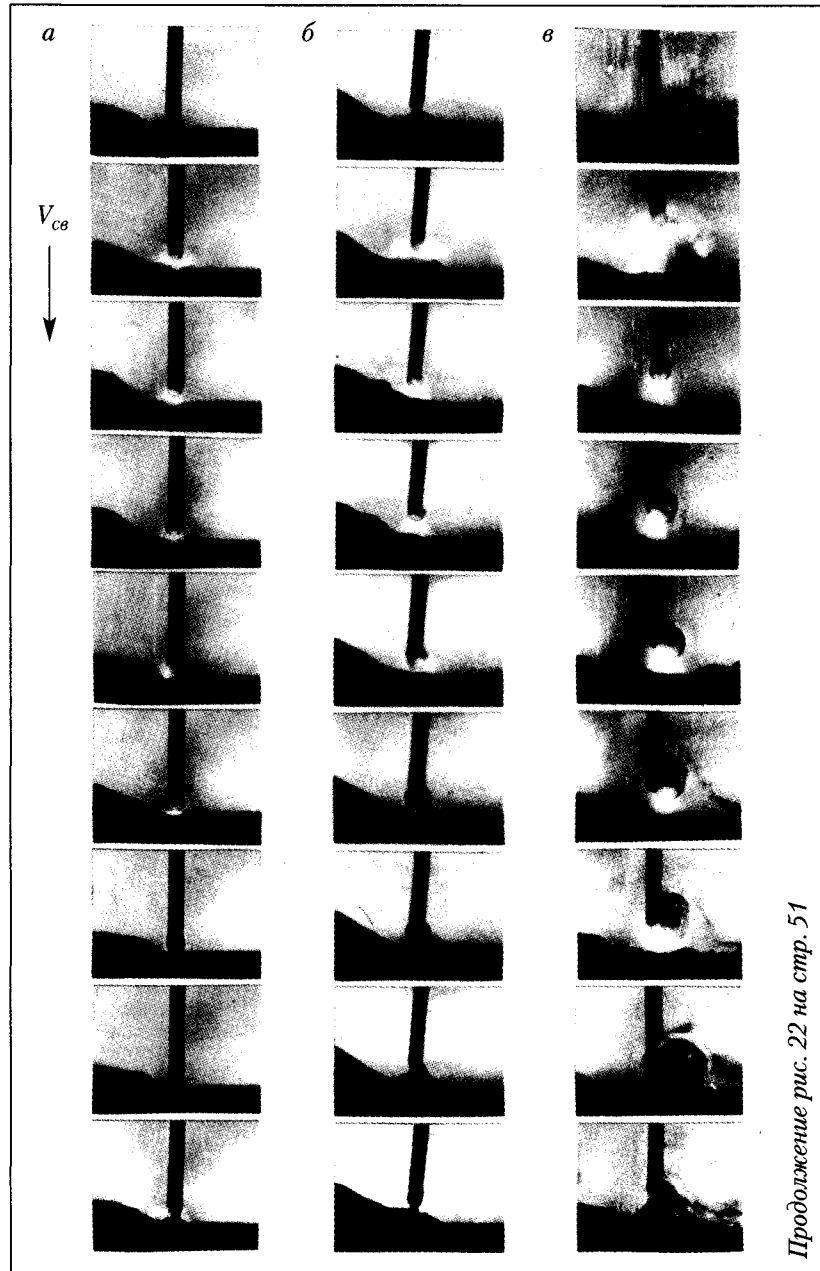


Рис. 21. Схема изменения напряжения и силы тока на протяжении одного цикла при сварке в углекислом газе с принудительными короткими замыканиями и характерные фотографии разрядного промежутка: t_H , t_c — длительность соответственно нарастания и спада напряжения

горения дуги и всего цикла, а частота коротких замыканий уменьшается, увеличиваются диаметр капель на электроде, длительность их пребывания в зоне дуги, потери на окисление и разбрызгивание. Форма шва с повышением напряжения несколько улучшается.

С увеличением силы тока длительность горения дуги и всего цикла уменьшается, частота коротких замыканий увеличивается. С увеличением силы тока возрастают давление дуги и погружение ее в ванну. Для получения стабильного процесса с увеличением силы тока необходимо повышать напряжение (рис. 22). При повышенных напряжениях, зависящих от силы тока, процесс переходит в крупнокапельный без коротких замыканий (см. рис. 5).

Изменение полярности тока напрямую не вызывает принципиального изменения характера течения процесса. Однако значительно повышается скорость плавления электрода, уменьшаются сила тока и частота коротких замыканий, а диаметр капель увеличивается. С увеличением диаметра электрода увеличивается длительность периодов горения дуги и коротких замыканий, а частота коротких замыканий уменьшается.



Продолжение рис. 22 на стр. 51

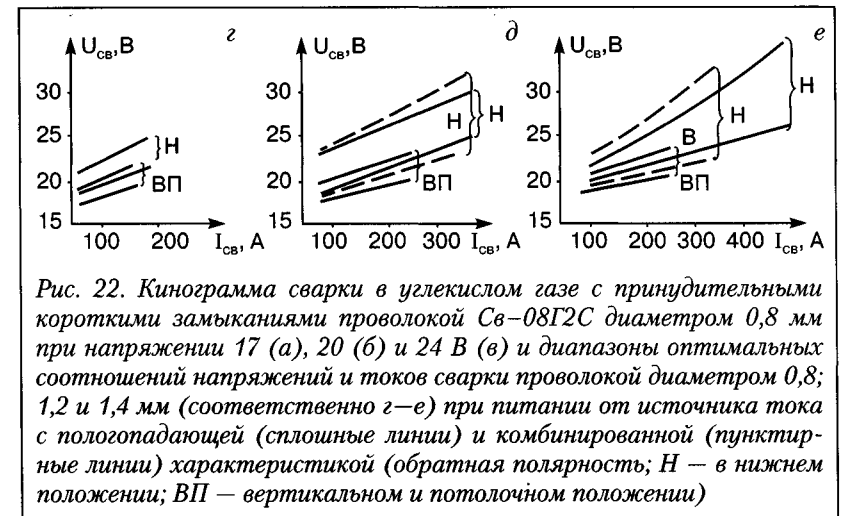


Рис. 22. Кинограмма сварки в углекислом газе с принудительными короткими замыканиями проволокой Св-08Г2С диаметром 0,8 мм при напряжении 17 (а), 20 (б) и 24 В (в) и диапазоны оптимальных соотношений напряжений и токов сварки проволокой диаметром 0,8; 1,2 и 1,4 мм (соответственно г—е) при питании от источника тока с падающей (сплошные линии) и комбинированной (пунктирные линии) характеристикой (обратная полярность; Н — в нижнем положении; ВП — вертикальном и потолочном положении)

Состав проволоки отражается на процессе сварки в случаях, когда он приводит к изменению характеристик дугового разряда, поверхностного натяжения или удельного электрического сопротивления проволоки. С увеличением вылета электрода увеличиваются длина дуги, длительность периодов горения дуги и диаметр капель. При значительном увеличении вылета наблюдается периодическое нарушение процесса.

Характер течения процесса с частыми короткими замыканиями в большой степени зависит от скорости нарастания $I_{к.з}$ в цепи (табл. 8). При больших скоростях нарастания $I_{к.з}$ ($dI_{к.з}/dt > 200-300$ кА/с) и сварке проволокой Св-08Г2С диаметром 0,6–1,4 мм процесс стабилен, но сопровождается повышенным разбрызгиванием. При малых скоростях нарастания $I_{к.з}$ ($dI_{к.з}/dt < 40$ кА/с) процесс протекает с редкими короткими замыканиями, импульсный характер изменения силы тока выражен слабо, и на низких напряжениях процесс протекает нестабильно. При средних «оптимальных» скоростях нарастания ($dI_{к.з}/dt = 40-130$ кА/с) процесс протекает стабильно и отличается небольшим разбрызгиванием. С увеличением диаметра электродной проволоки «оптимальные» значения $dI_{к.з}/dt$ уменьшаются.

При питании от источников, содержащих индуктивность в сварочной цепи и имеющих $dI_{к.з}/dt \approx 70-180$ кА/с, изменение наклона внешней характеристики в пределах от 0,04 до 0,08 В/А не меня-

Таблица 8. Влияние скорости нарастания силы тока короткого замыкания в сварочной цепи на процесс сварки в CO ₂ проволокой Св-08Г2С							
dI _{к.з} /dt, кА/с	Диаметр элект- рода, мм	Число коротких замыканий в секунду	Длительность, с			Сила тока, А	
			цикла T	горения дуги t _д	коротко- го замы- кания t _{к.з}	макси- мальная I _{max}	мини- маль- ная I _{min}
200	0,8	100	0,010	0,0085	0,0015	340	50
100		90	0,0110	0,0090	0,0020	300	52
50		80	0,0125	0,0097	0,0028	270	55
100	1,2	50	0,0125	0,0100	0,0025	350	55
60		25	0,0250	0,0220	0,0030	300	65
45		20	0,0500	0,0465	0,0030	250	70
15		15	0,0660	0,0615	0,0045	220	85
100	2,0	12	0,0830	0,0780	0,0050	800	170
45		11	0,090	0,0840	0,0060	480	190
15		9,5	0,1050	0,0960	0,0090	330	230

Примечание. Постоянный ток, обратная полярность, v_{св}=25 м/ч, расход CO₂=12 л/мин, при d_э=0,8 мм; v_н=252 м/ч; I_{св}=100 А; U_{св}=20 В, при d_э=2,0 мм; v_н=156 м/ч; I_{св}=280 А; U_{св}=28 В.

ет характера и стабильности течения процесса сварки проволоками диаметром 0,6–1,4 мм. С увеличением угла наклона внешней характеристики в этих пределах несколько увеличивается внешняя составляющая длины дуги, уменьшается число коротких замыканий и улучшается формирование шва. При увеличении наклона более –0,08 В/А случайные нарушения вылета электрода или скорости подачи приводят к значительным изменениям длины дуги и напряжения, а также к увеличению разбрызгивания. Рост внешней характеристики более +0,04 В/А затрудняет восстановление стабильного процесса при случайных нарушениях.

При сварке в CO₂ проволоками марок Св-08ГС, Св-08Г2СА, Св-08ГСТ, Св-08ГСМТ диаметром 0,6–1,4 мм на токах до 180–200 А в зависимости от диаметра электрода на режимах с короткими замыканиями, при питании от источников с «оптимальными» динамическими свойствами, при оптимальных «соотношениях» напряжения, тока и вылета электрода и обеспечении их постоянства разбрызгивание металла сравнительно невелико (3–5%) (см. рис. 24).

Выброс брызг происходит в основном при перегорании шейки между электродом и каплей, переходящей в шов (рис. 24, а). «Оптимальные» скорости нарастания тока короткого замыкания, обеспечивающие минимальное разбрызгивание, зависят от диаметра электрода, положения сварки и напряжения дуги. При сварке вертикальных швов методом снизу вверх и в потолочном положении скорости нарастания тока короткого замыкания рекомендуется устанавливать максимальные, а напряжения минимальные, дугу направлять на переднюю часть ванночки поддерживая ее от стекания. Так, при сварке в нижнем положении скорости нарастания тока при некотором повышении напряжения рекомендуется устанавливать у нижней области оптимальных значений. При чрезмерном снижении скоростей нарастания тока короткого замыкания наблюдаются затруднения в установлении процесса сварки и периодические нарушения стабильности, увеличивающие разбрызгивание. При сварке на всех токах напряжение дуги и вылет электрода являются основными параметрами, определяющими длину дуги, ее подвижность и соответственно разбрызгивание. Для уменьшения разбрызгивания необходимо вести сварку на возможно более низком напряжении, предупреждать колебание напряжения и обеспечивать постоянство вылета электрода. С этой целью необходимо питать дугу от источников, имеющих стабилизацию выходного напряжения. Следует учитывать, что изменение напряжения при сварке тонкими проволоками на 1,5 В уже существенно увеличивает разбрызгивание. Большую роль в увеличении разбрызгивания играет активное и индуктивное сопротивление сварочной цепи, определяемое во многом расположением и сечением сварочных проводов, и техника сварки. Для уменьшения разбрызгивания необходимо обеспечивать нормальную организацию работ по подготовке к сварке (качественную сборку, использование чистых, соответствующих ГОСТам, электродных проволок и углекислого газа без воды в баллоне).

На основе анализа литературы и опыта применения сварки в CO₂ [3, 12, 24, 38] можно утверждать, что при сварке тонкими проволоками диаметром 0,6–1,4 мм типа Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-10ГСМТ, Св-08ГС, согласно ГОСТ 2246–70, без загрязнения, на режимах с частыми короткими замыканиями, при защите дуги углекислым газом (диоксидом углерода) высшего и первого сорта, согласно ГОСТ 8050–83, обеспечении качественной защиты зоны сварки, при питании от источников тока с пологопадающей внеш-

ней характеристикой, «оптимальными» динамическими свойствами сварочной цепи, без нарушения скорости подачи, в диапазоне токов до 180–280 А (в зависимости от диаметра электрода), при поддержании постоянными «оптимальных» напряжений и вылетов электрода достигается получение качественных сварных соединений без дефектов во всех пространственных положениях и минимальным разбрызгиванием 3–5%. Наблюдаемое на многих предприятиях высокое разбрызгивание при полуавтоматической сварке вызвано несоблюдением режимов и техники сварки, использованием универсального оборудования с несоответствующими скоростями нарастания тока короткого замыкания, повышенной индуктивностью сварочной цепи (длинными кабелями свернутыми в бухту), а также несоблюдением основных правил организации работ (отсутствие контроля за качеством защитного газа и электродной проволоки, некачественной подготовкой и сборкой соединений, недостаточным текущим контролем режимов и техники сварки и прежде всего напряжения сварки и вылета электрода).

Улучшение технологических характеристик сварки в CO_2 с принудительными короткими замыканиями достигается за счет использования источников тока с комбинированной внешней характеристикой [6, 7, 24, 38], а также путем повышения тока в периоды горения дуги и изменения тока короткого замыкания в периоды коротких замыканий по программе с обратной связью от изменения напряжения при коротких замыканиях разрядного промежутка каплями [7, 16, 27, 38]. Программы обеспечивают задержку нарастания тока в первый момент коротких замыканий и уменьшение тока в период окончания перехода капли в ванну и взрыва шейки между каплями и электродом. Такие схемы реализуются путем наложения импульсов тока при сварке от низкочастотных выпрямителей и изменением тока в высокочастотных инверторах.

Улучшение процесса сварки достигается также путем пульсирующей и вибрирующей подачи электродной проволоки [23, 24, 29, 55].

В диапазоне токов от 200–350 А сварка в CO_2 тонкими проволоками 1,2–1,4 мм сопровождается повышенным разбрызгиванием. При необходимости выполнения сварки в этом диапазоне токов рекомендуется применение порошковых проволок при защите дуги CO_2 [49, 53, 64], выполнение сварки в смеси аргона с углекислым газом (до 18%) с импульсами тока и на режимах струйного переноса и выполнение сварки в CO_2 с низкочастотной модуляцией двух режимов [12, 38, 41].

При сварке в CO_2 с увеличением тока более 350 А наблюдается значительное погружение дуги в жидкую ванночку и уменьшение разбрызгивания. Однако швы формируются с глубоким проваром, большим усилением и малой шириной. Такие режимы могут быть использованы для сварки в нижнем положении коротких швов на толстом металле (более 16 мм), например, при сварке строительной арматуры, без разделки и принудительном формировании стыков, а также при сварке вертикальных швов с принудительным формированием и добавкой небольшого количества флюса.

Процесс с крупнокапельным переносом. Такой процесс наблюдается при сварке проволокой диаметром 0,6–1,4 мм на повышенных напряжениях, а кремнемарганцевой проволокой диаметром более 1,6 мм — во всем диапазоне режимов сварки (см. табл. 7). Вследствие высокой концентрации энергии и большого давления дуги в углекислом газе капля на конце электрода оттесняется дугой от ванны и смещается с оси электрода. В результате капли вырастают до больших размеров (рис. 23). При малой длине дуги на низких

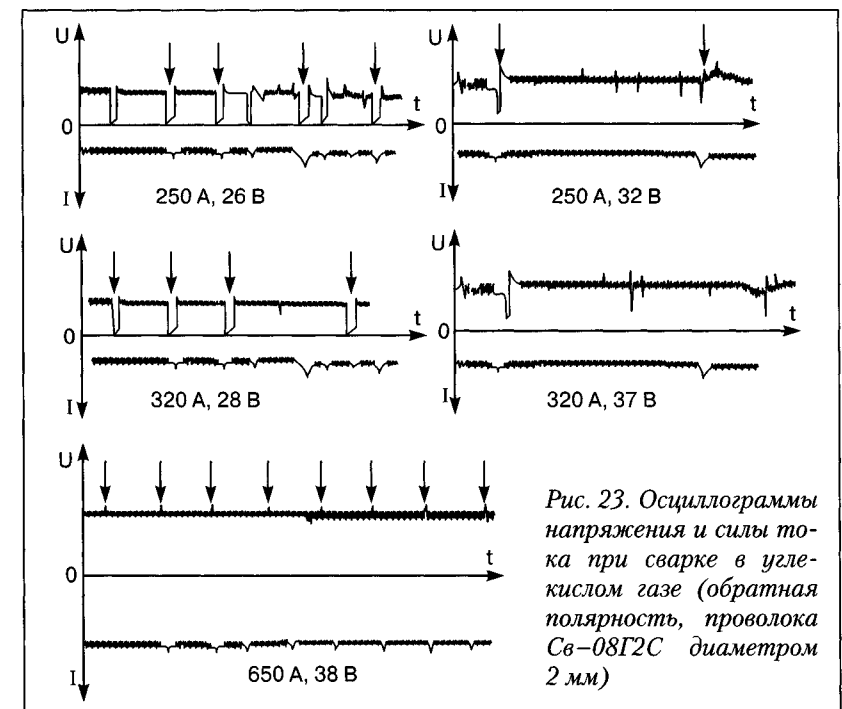


Рис. 23. Осциллограммы напряжения и силы тока при сварке в углекислом газе (обратная полярность, проволока Св-08Г2С диаметром 2 мм)

напряжения процесс протекает с короткими замыканиями. С повышением напряжения число коротких замыканий уменьшается, а диаметр каплей увеличивается. При высоких напряжениях процесс протекает без коротких замыканий.

Сварка в CO_2 проволокой диаметром 1,6–3,0 мм с крупнокапельным переносом сопровождается повышенным разбрызгиванием, которое происходит в основном из-за случайного вылета за пределы шва крупных каплей и систематического выброса мелких

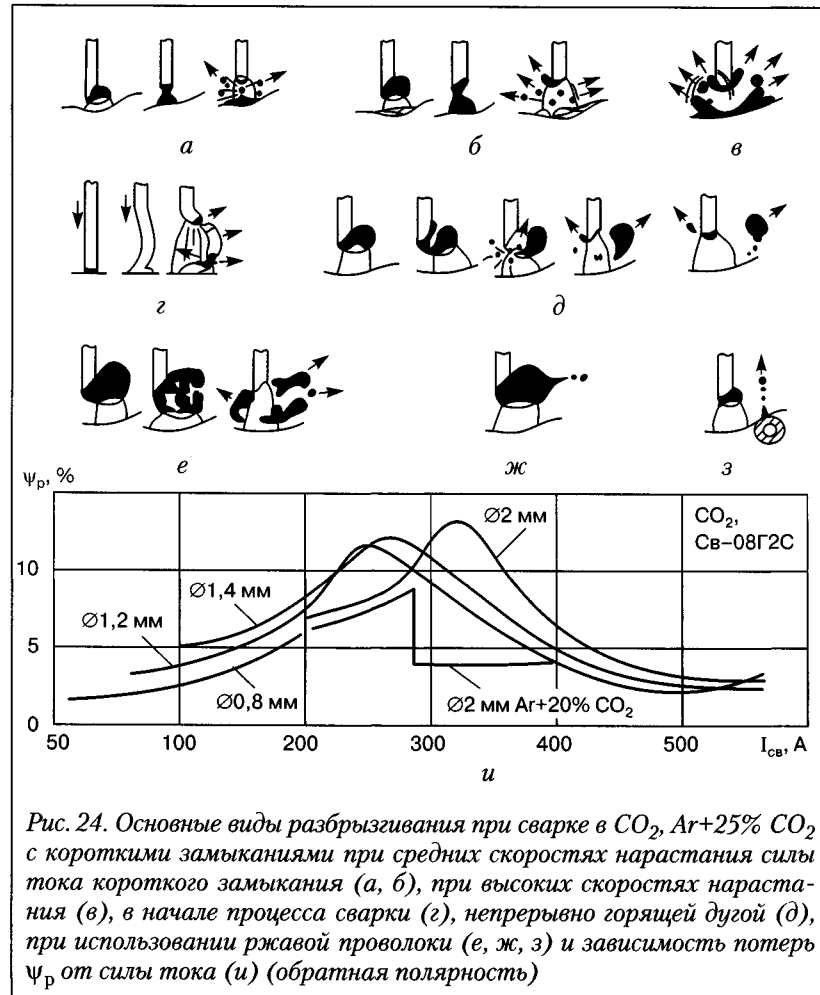


Таблица 9. Диапазоны силы тока при сварке в углекислом газе погруженной и полупогруженной дугой (полярность обратная, проволока Св-08Г2С)

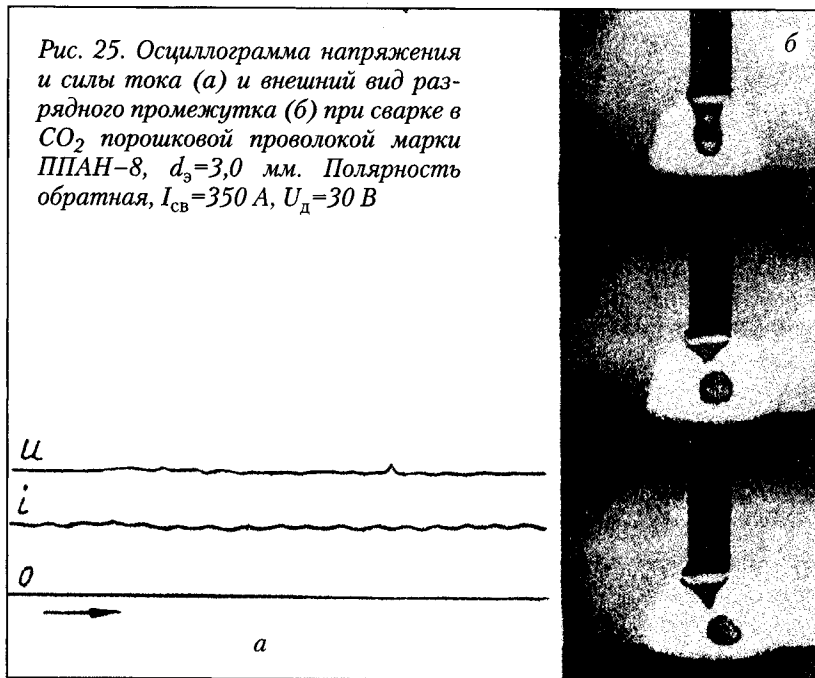
Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Ориентировочная скорость подачи электрода, м/ч
0,8	180–300	610–2500
1,0	260–450	900–1750
1,2	290–550	610–1500
1,4	320–650	580–1450
1,6	350–800	350–1000
2,0	400–1100	320–860
2,4	450–1300*	190–775
3,0	500–1500*	180–750

* Верхние пределы силы тока указаны ориентировочно.

(рис. 24, д). При сварке с короткими замыканиями разбрызгивание происходит из-за выброса мелких каплей силой взрыва шейки (рис. 24, а, б). При больших скоростях нарастания силы тока короткого замыкания происходит также выброс остатка капли с электрода и расплескивание ванны (рис. 24, б, в). Для уменьшения разбрызгивания рекомендуется ограничивать скорость нарастания и силу тока $I_{к.з}$. Это достигается включением в сварочную цепь дросселя или дросселя и балластного реостата [12, 38].

Особенно резко разбрызгивание увеличивается при использовании ржавой проволоки, при сварке деталей, покрытых краской, маслом, что приводит к частым взрывам крупных каплей (рис. 24, е–з), выбросам крупных брызг и каплей из ванны. Нарушение защиты и повышение напряжения в диапазоне средних токов увеличивает потери из-за выброса крупных и мелких брызг. При нарушениях процесса, так же, как и в начале сварки при питании от источника с низкими скоростями нарастания $I_{к.з}$ наблюдается резкое увеличение разбрызгивания в результате выброса нерасплавленной части электрода и расплескивания ванны (рис. 24, г).

При сварке на больших значениях силы тока (табл. 9) при полном погружении дуги снижается излучение, и разбрызгивание уменьшается до 2–4%. Однако усиление шва велико и возможны краевые несплавления. Хорошее формирование шва и небольшое разбрызгивание получают на режиме, при котором внешняя со-



ставляющая дуги равна 2–3 мм. Такой процесс называют «сварка полупогруженной дугой». При этом при питании от источника с падающей характеристикой формируются более широкие швы. Выполнение сварки на чередующихся режимах — полупогруженной дугой и на малых токах — обеспечивает улучшение формирования шва и уменьшение разбрызгивания [24, 38].

Струйный процесс в углекислом газе получают только при использовании проволок, активированных цезием, рубидием, калием, натрием, барием и некоторыми другими элементами. Сварку ведут на прямой полярности. Процесс во многом подобен сварке в аргоне, но протекает в узком диапазоне силы тока [10]. Пока такие проволоки в Украине не выпускают.

Сварка в углекислом газе порошковой проволокой находит все более широкое применение [49, 53, 64]. При использовании порошковой проволоки рутилового типа процесс протекает с непрерывным горением дуги и переносом небольших капель (рис. 25), отличается небольшим разбрызгиванием и хорошим формированием шва. При использовании порошковой проволоки карбонатного

типа процесс протекает с крупнокапельным переносом и во многом подобен сварке проволокой Св-08Г2С сплошного сечения.

Сварка в смеси углекислого газа с кислородом

Используемые смеси содержат 5–20% O_2 . При сварке могут быть получены процесс с частыми короткими замыканиями и процесс с крупнокапельным переносом. Добавление кислорода к углекислому газу незначительно изменяет характер течения процесса сварки. Он в основном отличается более высоким окислительным потенциалом защитной среды и более высокой температурой жидкого металла. Для сварки используют проволоку с повышенным содержанием раскислителей. Формирование шва несколько лучше,

Состав газа	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А			
		с короткими замыканиями	импульсно-дуговой	с крупнокапельным переносом	струйный
Ag+8-18% CO_2	1,0	—	20–150	30–180	180–250
	1,2	—	30–200	40–210	210–300
	1,4	—	40–220	50–230	230–350
	1,6	—	50–250	60–250	280–400
	2,0	—	50–280	70–280	280–480
Ag+20-25% CO_2	1,0	$\frac{40-130}{20-120}$	20–180	100–200	200–350
	1,2	50–140	30–230	110–220	220–370
	1,4	$\frac{60-150}{40-150}$	40–250	120–240	240–420
	1,6	$\frac{160-200}{120-200}$	50–280	150–280	280–480
	2,0	—	60–300	180–300	300–550

Примечание. В числителе приведены значения при питании от источника с пологопадающей ВАХ, в знаменателе — при питании от источника с комбинированной ВАХ.

чем при сварке в чистом углекислом газе, но поверхность покрыта большим количеством шлака.

Сварка в смесях аргона с кислородом, аргона с углекислым газом и аргона с углекислым газом и кислородом

При сварке углеродистых сталей в чистом аргоне в швах образуются поры, поэтому применяют смеси аргона с кислородом или с углекислым газом.

Добавление к аргону кислорода практически не изменяет электрические характеристики дуги и ее воздействие на ванну и каплю. Могут быть получены процессы с крупнокапельным переносом, струйный и импульсно-дуговой (табл. 10).

При добавлении к аргону углекислого газа происходит увеличение градиента потенциала и увеличение концентрации энергии дуги. Как следствие этого уменьшаются размеры дуги и увеличивается давление дуги на ванну и каплю на электроде. Изменения зависят от содержания углекислого газа. При содержании его в смеси до 15% получают те же процессы, что и в чистом аргоне: крупнокапельный, импульсно-дуговой и струйный (при силе тока выше критической, но критические токи больше, чем в аргоне [52]). При содержании в смеси 20–25% углекислого газа получают процесс с частыми принудительными короткими замыканиями (используется проволока диаметром 0,6–1,4 мм), крупнокапельный, струйный и импульсно-дуговой. Сила критического тока струйного процесса

выше, чем в чистом аргоне и смесях с меньшим содержанием углекислого газа.

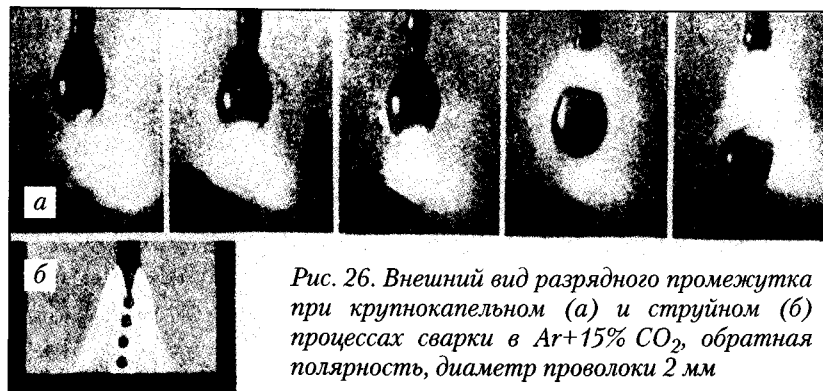
При сварке в смеси аргона с CO_2 и питании от источника с комбинированной ВАХ удается получить более широкий шов и меньшее разбрызгивание, чем при питании от источника с жесткой и пологопадающей ВАХ.

Процесс сварки с принудительными короткими замыканиями получают при использовании смесей аргона с более чем 20% углекислого газа проволокой диаметром 0,8–1,6 мм при питании от источников с пологопадающей и комбинированной характеристикой и индуктивностью во вторичной цепи.

Процесс с крупнокапельным переносом наблюдается при сварке на токах силой меньше критической. Отличительной особенностью сварки в $\text{Ar}+\text{CO}_2$ является малое давление дуги. В результате капли вырастают до больших размеров и незначительно приподнимаются над ванной (рис. 26, а). При переходе с электрода в ванну крупные капли значительно изменяют длину дуги, что приводит к резким колебаниям напряжения.

Струйный процесс (рис. 26, б) наблюдается при увеличении силы тока больше критической величины. Переход от крупнокапельного процесса к струйному от сварки в $\text{Ar}+5\%\text{O}_2$ и до сварки в $\text{Ar}+25\%\text{CO}_2+5\%\text{O}_2$ обычно происходит скачкообразно. Для этого процесса характерны мелкокапельный перенос электродного металла, непрерывное горение дуги и высокая ее стабильность. Напряжение и сила тока сохраняются неизменными. При струйном процессе сварки в $\text{Ar}+\text{CO}_2$ большинства материалов в дуге можно выделить две зоны: наружную и внутреннюю. Плазма дуги перемещается в обеих зонах от электрода к изделию. Теплопередача и давление в наружной области дуги сравнительно невелики, а во внутренней очень большие. В результате резко увеличивается глубина провара в его центре. Стабильный процесс наблюдается в пределах силы тока, указанных в табл. 7. При дальнейшем увеличении силы тока процесс протекает нестабильно, напряжение и ток колеблются, повышается разбрызгивание.

С повышением напряжения дуги несколько уменьшается минимальная сила тока струйного процесса, а длина дуги, длина расплавленной конусообразной части и диаметр капель увеличиваются. С увеличением диаметра электрода переход от крупнокапельного процесса к струйному происходит при больших значениях силы тока. При сварке проволокой диаметром до 4 мм и



использовании головок с постоянной скоростью подачи электрода стабильность процесса высокая. В этом случае питать дугу рекомендуется от источников с жесткой, пологопадающей или пологовозрастающей статической характеристикой и высокими динамическими свойствами. При увеличении диаметра электрода более 4 мм и сварке с плотностью тока в электроде менее 70 А/мм² отмечают понижение саморегулирования процесса. При этом рекомендуется сварку выполнять головками с зависимой от напряжения скоростью подачи проволоки и от источников питания с крутопадающей внешней характеристикой при пониженных скоростях изменения $I_{к.з}$ [24, 53, 64].

Изменение состава электродной проволоки в большинстве случаев меняет только пределы токов струйного процесса. С увеличе-

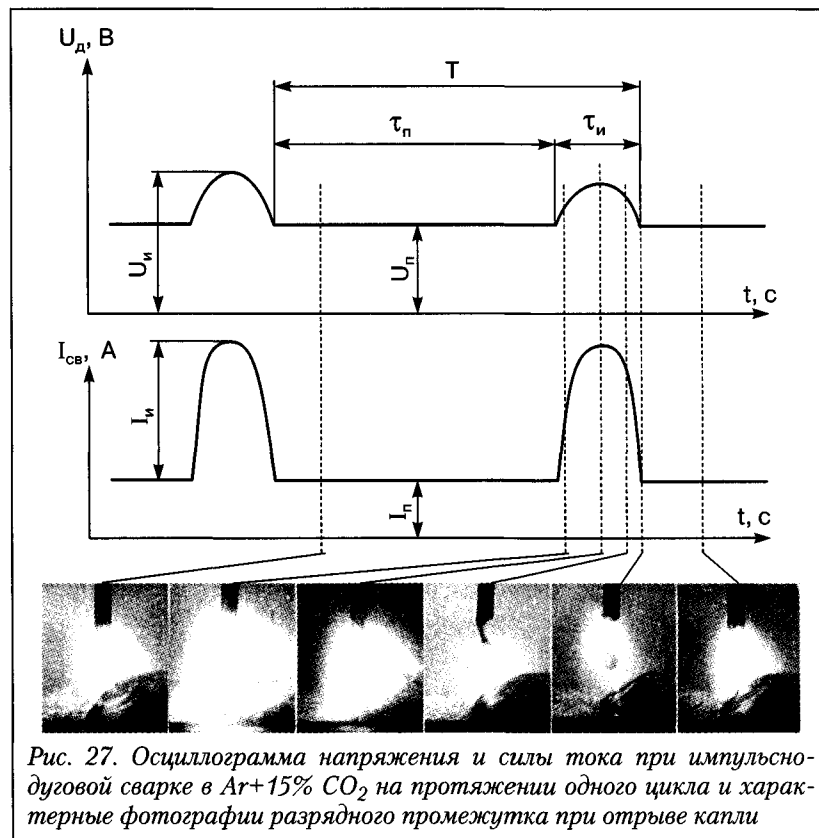


Рис. 27. Осциллограмма напряжения и силы тока при импульсно-дуговой сварке в $Ar+15\% CO_2$ на протяжении одного цикла и характерные фотографии разрядного промежутка при отрыве капли

нием вылета электрода несколько уменьшается минимальная сила тока. С переходом на прямую полярность резко увеличиваются длина и излучение дуги, а также длина расплавленной части электрода. Характер процесса в основном сохраняется таким же. Скорость расплавления электрода увеличивается в 1,6 раза.

Импульсно-дуговой процесс можно осуществлять плавящимся электродом с непрерывным горением дуги (см. рис. 7, а), с принудительными короткими замыканиями путем наложения импульсов и перемещения капли (см. рис. 7, б), с частыми короткими замыканиями за счет изменения силы тока и скорости плавления электрода, как при сварке в CO_2 (см. рис. 7, в), а также с принудительным гашением дуги (см. рис. 7, г). Наибольшее распространение получила импульсно-дуговая сварка с непрерывным горением дуги при жесткой программе наложения импульсов тока (см. рис. 7, а).

Основные характеристики этого процесса следующие (рис. 27): среднее напряжение сварки $U_{св}$; средняя сила тока сварки $I_{св}$; максимальное напряжение импульса $U_{ин}$; напряжение в промежутке (паузе) между импульсами $U_{п}$; максимальное значение силы тока в импульсе $I_{ин}$; сила тока в промежутке (паузе) между импульсами $I_{п}$; длительность импульса тока $t_{ин}$; длительность паузы между импульсами $t_{п}$; длительность цикла $T=t_{ин}+t_{п}$; частота следования импульсов $f_{ин}=1/T$. Кроме того, процесс характеризуется также обычными технологическими параметрами, такими как полярность, скорость подачи проволоки, скорость сварки и др. На течение процесса большое влияние оказывают также скорости нарастания $dI_{ин}/dt$ и спада $dI_{ис}/dt$ силы тока импульса и скорости нарастания силы тока при коротком замыкании цепи $dI_{к.з}/dt$. Тепловая энергия, выделяющаяся в дуге, пропорциональна средним значениям напряжения и силы тока дуги, а в вылете электрода — эффективной силе тока.

В общем случае средние значения напряжения и силы тока могут быть определены по площади, ограниченной кривыми напряжения и тока:

$$U_{св} = T^{-1} \int_0^T u(t) dt; \quad (13)$$

$$I_{св} = T^{-1} \int_0^T i(t) dt. \quad (14)$$

Величины $I_{св}$ и $U_{св}$, а также напряжение и сила тока в импульсе и паузе зависят от параметров импульсов. Процессы, протекающие во время импульса тока, в значительной степени определяют ста-

бильность сварки, расплавление электрода, отрыв капли с электрода, интенсивность металлургических реакций, форму и размеры шва и другие характеристики процесса. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом осуществляется обычно при постоянной скорости подачи электродной проволоки. При этом условием стабильного течения процесса является равенство скорости подачи и интегральной скорости плавления электродной проволоки за один цикл:

$$v_{\text{п}}T = \int_{\pi}^T v(t) dt, \quad (15)$$

где $v_{\text{п}}$ — скорость подачи электродной проволоки; $v_{\text{з}}(t)$ — скорость плавления электродной проволоки; T — длительность цикла.

Скорость плавления электродной проволоки зависит от величины и длительности импульса тока и энергии импульса. При импульсно-дуговой сварке можно выделить по меньшей мере пять диапазонов.

1-й диапазон. Сварка с наложением импульсов малой энергии. Плавление проволоки и перенос капель протекают так же, как и при сварке без наложения импульсов. Повышается только стабильность дугового разряда при малых значениях силы тока. При наложении импульсов сила сварочного тока несколько увеличивается, напряжение не изменяется.

2-й диапазон. Энергия импульсов больше, чем в первом, и уже оказывает влияние на поведение капли на электроде. Под воздействием импульса тока капля жидкого металла на конце электрода вытягивается вдоль оси электрода к ванне, но не отрывается. Отрыв капли от электрода происходит лишь после значительного увеличения ее диаметра вследствие значительного увеличения силы сварочного тока; напряжение сварки и длина дуги, так же, как и в первом диапазоне, сохраняются практически неизменными.

3-й диапазон. Энергия импульсов еще больше, чем во втором, и достаточна для отрыва каждым импульсом одной капли электродного металла. Электродная проволока расплавляется главным образом во время пауз между импульсами. Во время наложения импульса электрод продолжает плавиться, и жидкий металл формируется в каплю, которая сбрасывается с электрода в ванну. Отрыв капли от электрода происходит во время окончания импульса или вскоре после него. Средняя скорость плавления электрода зависит от энергии импульсов и момента отрыва капли. При отрыве капли после окончания импульса, а также в конце импульса при малой

величине импульса тока средняя скорость плавления электрода почти такая же, как и при сварке без импульсов. Напряжение и длина дуги изменяются незначительно, а сила сварочного тока повышается. При отрыве капли до окончания импульса тока при больших величинах импульсов тока этого диапазона скорость плавления электрода увеличивается. Длина дуги несколько увеличивается, напряжение возрастает, а сила сварочного тока уменьшается. Во всем диапазоне процесс отличается высокой стабильностью как при малой, так и при большой длине дуги. При увеличении скорости подачи проволоки для получения данного процесса требуются импульсы меньшей энергии, а при увеличении диаметра электрода — большей.

4-й диапазон. Энергия импульсов настолько велика, что один импульс отрывает с электрода две капли и более. Электродная проволока особенно интенсивно расплавляется во время импульса, после отрыва первой капли. Скорость плавления электрода во время импульса больше скорости подачи, а во время пауз — меньше. В результате длина дуги периодически изменяется. Средняя скорость плавления электрода больше, чем при сварке без импульсов, а сила сварочного тока меньше. Процесс сварки обычно достаточно стабилен. При сварке на малых токах стабильность процесса можно повысить за счет питания от источников с падающими внешними характеристиками.

5-й диапазон. Энергия импульсов велика, плавление электродной проволоки происходит, главным образом во время импульсов. За это время с электрода отрывается несколько капель, и длина дуги резко увеличивается. После воздействия нескольких импульсов дуга удлиняется и гаснет. Расположение границ диапазонов зависит от скорости подачи, состава и диаметра электродной проволоки.

Особенностями описанного процесса импульсно-дуговой сварки в $\text{Ar} + \text{CO}_2$ с непрерывным горением дуги являются стабильное течение процесса сварки на малых токах в 2–2,5 раза меньше критического; возможность выполнения сварки во всех пространственных положениях проволокой диаметром до 2,5 мм; малое разбрызгивание и хорошее формирование шва.

Исходя из этого определены следующие основные области применения импульсно-дуговой сварки в $\text{Ar} + \text{CO}_2$: сварка сталей малой толщины (1–4 мм) во всех пространственных положениях; сварка металла средних и больших толщин в вертикальном и

потолочном положении; односторонняя сварка стыковых соединений с полным проваром корня шва (сварка корневых швов); сварка термоупрочненных металлов во всех пространственных положениях при необходимости минимального проплавления и разогрева изделия.

Импульсно-дуговая сварка в $Ar+CO_2$ с принудительными короткими замыканиями может быть получена при малой длине дуги, не превышающей двух диаметров электрода, и наложении на дугу импульсов тока с энергией, равной энергии импульсов 2-го диапазона. Поскольку процесс осуществляется на низких напряжениях с импульсами сравнительно малых энергий, то окисление металла и проплавление изделия меньше, чем при импульсно-дуговой сварке с непрерывным горением дуги.

Сварка в смеси аргона с гелием и кислородом

Добавка гелия к смеси аргона с кислородом обеспечивает:

- уменьшение размеров дуги, что позволяет получить процесс с частыми принудительными короткими замыканиями и возможность сварки вертикальных швов;
- повышение мощности дуги и, как следствие, скорости сварки;
- присутствие кислорода, приводящее к окислению водорода и позволяющее обеспечить высокую ударную вязкость металла шва на легированных сталях при низких температурах.

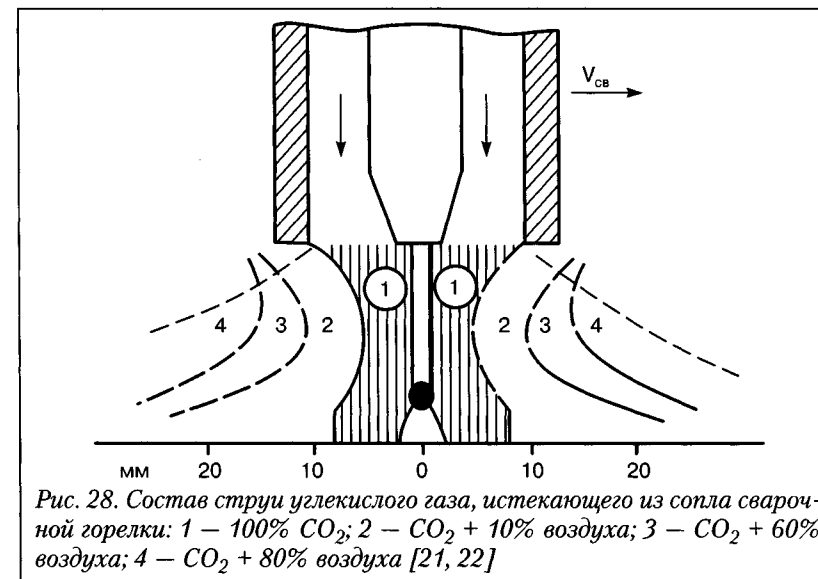
На практике применяют смеси с содержанием 69% аргона + 30% гелия + 1% кислорода. В данной смеси проводили сварку с короткими замыканиями, с импульсно-дуговым и струйным процессами. При этом отмечены высокая стабильность и малое разбрызгивание. Известно также применение смеси 90% гелия + 7,5% аргона + 5% кислорода для сварки нержавеющей и низколегированных сталей повышенной прочности.

Следует отметить, что при использовании смесей газов с гелием трудно обеспечить надежную защиту зоны сварки газом. Для этого необходимо почти в два раза увеличить расход газа и размеры газовых сопел.

Глава 3. Техника сварки в активных газах

Эффективность газовой защиты

Надежная защита зоны сварки газом является одним из основных условий получения шва высокого качества. Защита сварочной ванны необходима до ее полного затвердевания. В большинстве случаев защиту осуществляют путем подачи к месту сварки струи защитного газа. Истечение газов из сопел, сварочных горелок имеет турбулентный характер. С наружной стороны струя газа неизбежно смешивается с воздухом, и только внутренняя часть ее состоит из чистого защитного газа (рис. 28). Обычно длина участка чистого газа в 1,5–4 раза больше диаметра сопла.



Форма потока газа и эффективность защиты зависят от рода защитного газа, типа сварного соединения, скорости сварки и движения окружающего воздуха (ветра, сквозняка). Так, при использовании углекислого газа и азота легче обеспечить хорошую защиту, чем при сварке в аргоне. Наиболее трудно обеспечить защиту при сварке в гелии. 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. 29, а). При наличии ветра и сквозняка эффективность защиты зависит от жесткости струи защитного газа и ее размеров.

Жесткость струи определяется родом защитного газа и повышается с увеличением скорости его истечения. Поэтому при увеличении диаметра сопла необходимо одновременно увеличивать расход газа. 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. Для удобства наблюдения за дугой это расстояние обычно принимают равным 10–30 мм. Наклон горелки углом вперед улучшает защиту зоны сварки. При большом наклоне и повышенных скоростях истечения защитного газа возможен подсос воздуха в зону сварки и нарушение защиты.

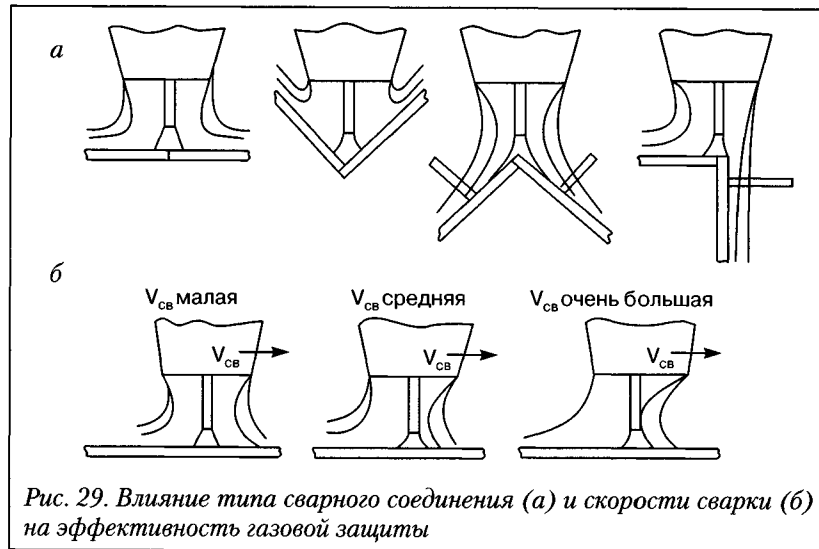


Рис. 29. Влияние типа сварного соединения (а) и скорости сварки (б) на эффективность газовой защиты

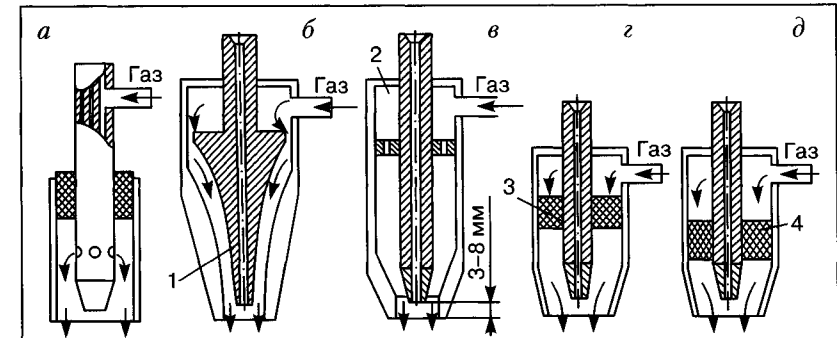


Рис. 30. Схемы подвода газа в сварочных горелках: а — с кольцевым подводом газа; б — с отражателями; в — с успокоительными камерами; г — с сеточными вставками; д — с металлокерамическими вставками (1 — отражатель газа; 2 — успокоительная камера; 3 — сетка; 4 — металлокерамика)

Для улучшения защиты при сварке на повышенных скоростях и на ветру рекомендуется увеличивать расход газа и диаметр сопла, приближать горелку к детали. Для защиты от ветра зону сварки закрывают малогабаритными щитками, устанавливаемыми на детали или закрепляемыми на горелке автомата, а также переносными щитками или палатками. Эффективность защиты в значительной степени определяется конструкцией и размерами горелки, которые выбирают с учетом рода защитного газа, типоразмера сварного со-

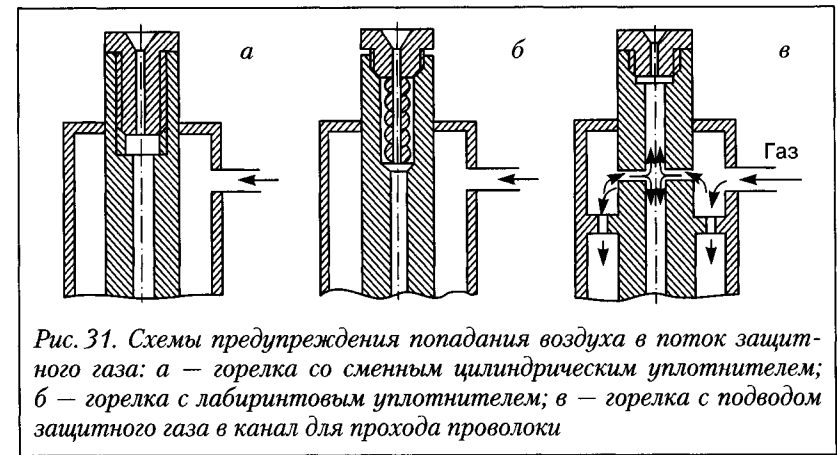


Рис. 31. Схемы предупреждения попадания воздуха в поток защитного газа: а — горелка со сменным цилиндрическим уплотнителем; б — горелка с лабиринтовым уплотнителем; в — горелка с подводом защитного газа в канал для прохода проволоки

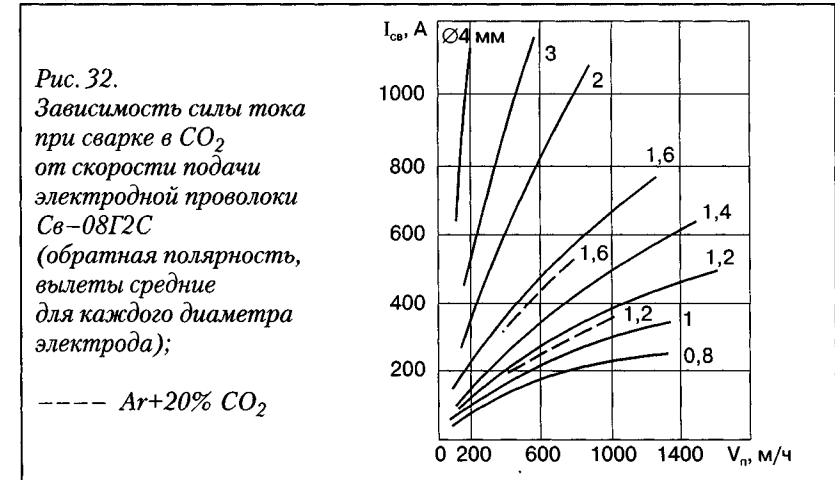
единения и режима сварки. Истечение газа из горелки должно быть равномерным по всему сечению сопла, для чего применяют различные схемы ввода газа в сопло горелки (рис. 30). Мундштук целесообразно несколько утопить в горелке. При сварке в аргоне и гелии для улучшения истечения газа внутреннюю полость сопла делают параболической или конической с цилиндрической частью на выходе (рис. 30, б, в). При сварке в углекислом газе форма сопла не имеет такого большого значения. Для предупреждения попадания воздуха в сопло через канал для прохода проволоки на входе в канал устанавливают уплотнители или подводят в него газ (рис. 31).

Параметры режима сварки

Основными параметрами режима сварки в защитных газах являются: род, сила и полярность тока; напряжение сварки, диаметр и скорость подачи электродной проволоки; вылет, наклон и колебания электрода; расход и состав защитного газа. Сварку в защитных газах плавящимся электродом обычно выполняют на постоянном токе. Однако возможна сварка и на переменном токе.

Силу сварочного тока и диаметр проволоки выбирают в зависимости от толщины металла и расположения шва. Стабильный процесс сварки с хорошими технологическими характеристиками можно получить только в определенном диапазоне силы тока, который зависит от диаметра и состава электрода, а также внешней характеристики источника тока и рода защитного газа. Сила тока определяется полярностью тока, диаметром, составом, скоростью подачи и вылетом электрода, составом защитного газа, а также напряжением дуги. Регулируют силу тока изменением скорости подачи проволоки (рис. 32). Сила тока определяет глубину провара и производительность процесса.

Второй важнейший параметр режима сварки — напряжение 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 от рода защитного газа (см. рис. 22).



Сварка на прямой полярности отличается большей длиной дуги, более сильным излучением, а в ряде случаев и большим, чем на обратной полярности, разбрызгиванием. 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° углом вперед и углом назад не отражается на характеристиках процесса сварки. Наклон электрода углом вперед на 15–30° несколько уменьшает глубину провара и увеличивает ширину шва. При наклоне электрода углом назад на 15–30° несколько ухудшается формирование шва.

Состав защитного газа существенно влияет на технологические характеристики процесса. Так, в CO₂, CO₂ + менее 15% O₂, Ar + более 20% CO₂ и Ar + O₂ + более 20% CO₂ можно выполнять сварку во всех пространственных положениях. Смеси CO₂ + более 20% O₂, Ar + менее 18% CO₂ и Ar + O₂ + менее 18% CO₂ пригодны для сварки стационарной дугой в нижнем положении и с импульсами во всех положениях. При сварке в CO₂, CO₂+O₂ и Ar+ более 20% CO₂ на всех режимах и в смесях Ar+O₂+ менее 15% CO₂ и Ar+ менее 15% CO₂ при силе тока менее критической форма провара треугольная. При сварке в смесях Ar+ менее 15% CO₂ и Ar+ менее 5% O₂ при силе тока больше критической 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 и характер процесса. Вылет электрода при сварке проволокой диаметром 0,5–1,4 мм влияет на стабильность сварки. Это обусловлено значительным нагревом электрода на вылете проходящим током. Допустимый вылет электрода зависит от диаметра, удельного электросопротивления электрода и силы сварочного тока. При малых вылетах затруднена видимость зоны сварки и возможно подплавление токоподвода, а при больших — нарушается стабильность процесса. При сварке проволокой диаметром 1,6 мм и более влияние вылета электрода на стабильность процесса 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 сварке тонкой проволокой с короткими замыканиями в углекислом газе и смесях $Ag+CO_2$, $Ag+O_2+CO_2$. В этих случаях для получения стабильного процесса, хорошего формирования швов и небольшого разбрызгивания необходимо питать дугу от источника с определенными динамическими свойствами по току. Оптимальные значения 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 $k=(-0,02...-0,08)$ В/А и комбинированной внешней характеристикой с наклоном $k=(-0,08...-0,15)$ В/А в рабочем диапазоне сварочных токов и пологопадающей при $U_{х.х}<15$ В или $U_{х.х}>45$ В. При чрезмерном уменьшении скорости нарастания $I_{к.з}$ затрудняется начало сварки и снижается стабильность процесса. При сварке в CO_2 без коротких замыканий на средних и больших токах, а также в смесях $Ag+O_2+CO_2$ скорость нарастания $I_{к.з}$ оказывает 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, рас-

положения шва в пространстве, способа сварки (автоматическая или механизированная). Требования к качеству сборки и подготовки соединения для механизированной сварки в CO_2 проволокой диаметром 0,8–2 мм должны соответствовать ГОСТ 14771–76. Чем выше качество сборки соединения, тем выше производительность и качество шва. Во всех случаях, где это возможно, рекомендуется собирать и сваривать соединения в приспособлениях без прихвата. При сборке на прихватках их следует устанавливать с обратной стороны соединения. Прихватку можно выполнять контактной сваркой, сваркой неплавящимся электродом и сваркой тонкой проволокой в 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 CO_2 проволокой диаметром 0,8–1,4 мм сборку осуществляют короткими швами, которые не пережаривают, а оставляют в соединении как основные швы. Однако при этом необходимо обеспечить достаточный провар в начале шва и заварку кратера.

Особенности техники сварки

Стыковые соединения сталей толщиной 0,5–1,2 мм можно сваривать на медных, стеклянных и керамических подкладках, а также на весу стальными (ГОСТ 2246–70) или бронзовыми проволоками. Процесс сварки легкоплавкими бронзовыми проволоками по своей физической природе является дуговой пайкой [23]. Для получения швов высокого качества необходимы тщательная сборка и точное направление электрода по шву. Для соединения металла малой толщины применяют следующие способы:

- сварку на обратной полярности проволокой диаметром 0,6–0,8 мм на малых токах и напряжениях при питании от источника с повышенными динамическими свойствами по току, комбинированной или пологопадающей внешней характеристикой, обеспечивающими получение процесса с частыми принудительными короткими замыканиями. Комбинированная ВАХ источника позволяет получить стабильный процесс на малых значениях силы тока (см. табл. 9), меньшее разбрызгивание и лучшее формирование шва. В качестве источников рекомендуются преобразователи ЗП 4/30 (АЗД 4/30), ЗП 7,5/30 и выпрямители ВС–300, И–198 (ИЭС им. Е. О. Патона), ВС–300К, ВС–300Б,

ВДГ–306ДК. Последовательно в сварочную цепь выпрямителей ВС–300Б включают активное сопротивление 0,5 Ом, а индуктивность 0,2–0,25 мГн. Сварку ведут вертикальным электродом, дугу направляют на ванночку жидкого металла. В качестве защитных газов рекомендуются углекислый газ и смеси $Ar+25\% CO_2$, $Ar+O_2+20\% CO_2$;

- сварку с периодическим изменением мощности дуги или прекращением процесса с использованием проволоки диаметром 0,8–1,2 мм. Изменение мощности или прекращение процесса производят с частотой 0,3–4 Гц. При этом дуга легко возбуждается на горячем металле, а тепловая энергия ванны обеспечивает равномерное проплавление и формирование шва;
- автоматическую сварку в CO_2 с вибрацией электрода вдоль оси на малых значениях силы тока и пониженных напряжениях с частыми короткими замыканиями дуги или с короткими замыканиями и обрывами дуги.

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 целесообразно уменьшать напряжение дуги, диаметр электрода, силу сварочного тока и увеличивать скорость сварки. При сварке на подкладках важно обеспечивать плотное прижатие листов к подкладке. При нагреве дугой листы, деформируясь, 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 1,5–3,5 мм легко сваривать на весу. Дугу нужно направлять на ванну жидкого металла, а сварку выполнять вертикальным электродом, выбирать такие режимы, чтобы полный провар получался за один проход. При значительных зазорах в соединении сварку рекомендуют выполнять с модуляцией тока или периодическим прекращением процесса. Для сварки оцинкованной стали используют проволоки Бр.КМц3–1 (ГОСТ 18175–78), SGCuSi3 (DIN 1733) или ОК Autrod 19.30 диаметром 1 мм. Нагрев, деформация листов и угар цинка меньше, чем при сварке проволоками Св–08ГС и Св–08Г2С. Для получения качественного формирования важно правильно подобрать программу изменения мощности процесса, частоту и амплитуду колебания электрода.

Углеродистые стали толщиной более 4 мм сваривают в CO_2 , CO_2+O_2 , $Ar+20–25\% CO_2$ или $Ar+20\%CO_2 +O_2$ во всех пространственных положениях. Разделку выполняют в зависимости от толщины металла и расположения шва (табл. 11, 12). При сварке в CO_2 рекомендуется питать дугу от источников с комбинированной внешней характеристикой.

Для получения качественного стыкового соединения необходимо предупредить подсос воздуха с обратной стороны соединения. Для этого рекомендуется первый проход выполнять на медной, стеклянной или керамической подкладке, сваривая в CO_2 или в смеси $Ar+20\% CO_2+5\% O_2$ проволокой Св–08Г2С диаметром 1,0–1,2 мм. Обязательна продувка защитным газом соединения перед сваркой. Последующие проходы могут быть выполнены сваркой в CO_2 , в смеси $Ar+CO_2$ или под флюсом.

Форма провара зависит от наклона электрода, изделия и внешней характеристики источника тока. При наклоне электрода углом вперед до 15° , сварке на спуск и питании от выпрямителей с комбинированной внешней характеристикой глубина провара несколько уменьшается, а ширина шва увеличивается. При сварке углом назад более $10–15^\circ$ глубина провара и высота усиления увеличиваются, а ширина шва уменьшается. При сварке в смесях аргона с кислородом, а также углекислым газом до 18% на повышенных токах струйного процесса наблюдается узкий глубокий провар, который не всегда располагается посередине валика. В результате при двухсторонней сварке стыков без разделки получается неполный провар соединения. Для расширения провара рекомендуется выполнять сварку двумя дугами в общую ванну при расположении электродов под углом 45° к оси шва или поперек шва [12, 23, 35]. Этот прием позволяет увеличить скорости сварки и изменить состав шва, используя электродную проволоку разного состава. Для автоматической сварки сталей толщиной более 4 мм целесообразно применять смеси $Ar+CO_2$ и $Ar+CO_2+O_2$ и электродную проволоку, обеспечивающую получение струйного или импульсно-дугового процесса. При неравномерных зазорах в стыковых соединениях для выполнения первого прохода предпочтительна механизированная сварка в CO_2 . Режимы сварки стыковых соединений в нижнем положении приведены в табл. 11.

Техника сварки поворотных кольцевых швов подобна технике сварки в нижнем положении. Первый проход сваривают в вертикальном положении сверху вниз, остальные — со смещением в зависимости от толщины металла и режима сварки (табл. 12, рис. 33, 34).

Таблица 11. Режимы сварки в CO_2 , $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ и $\text{Ag} + 25\% \text{CO}_2$ стыковых соединений низкоуглеродистых и низколегированных сталей в нижнем положении проволокой Св-08Г2СА (обратная полярность)





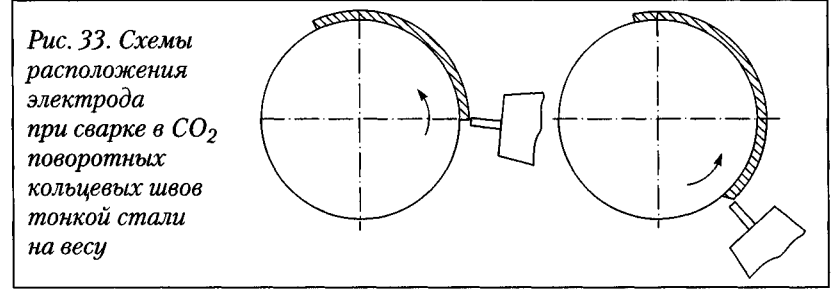
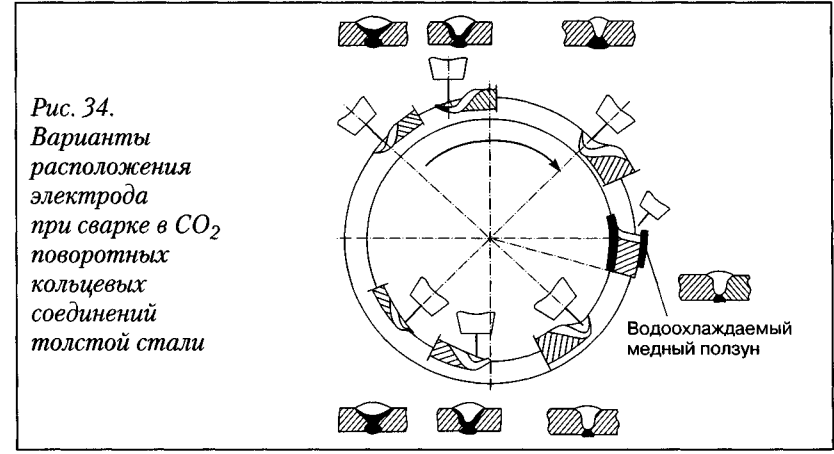
Толщина металла, мм	Соединение	Зазор, мм	Число проходов	Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
0,5-1		0-1	1	0,5-0,8	30-80	16-18	25-50	8-10	6-7
1,5-2		0-1	1	1,0-1,2	80-150	18-23	25-45	10-13	7-9
3		0-1,5	1	1,2-1,4	150-200	23-25	25-40	12-15	8-11
3-4		0-1,5	2	1,2-1,6	180-250	25-32	25-75	12-30	8-15
6		0,5-2	2	1,2-2,0	200-420	25-36	25-60	12-30	10-16
9-10		0,5-2	2	1,2-2,5	300-450	28-38	20-50	12-35	12-16
12-20		1-3	2	1,2-2,5	380-550	33-42	15-30	12-25	12-16

Таблица 12. Режимы сварки поворотных кольцевых стыковых швов в CO_2 , смеси $\text{Ag} + 25\% \text{CO}_2$ и $\text{Ag} + \text{O}_2 + 20\% \text{CO}_2$ проволокой Св-08Г2СА (обратная полярность)

Диаметр детали, мм	Толщина стенки, мм	Зазор, мм	Смещение кромок, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
50*	1-1,5	0-1	0-1	0,8-1,2	100-150	18-19	80-90	10-12	7-8
100-150*	2-2,5	0-1,5	0-1	0,8-1,2	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	0-1	2-3	350-450	32-36	25-35	25-60	15-18

* Смещение электрода согласно рис. 33. ** Сварка корневого шва при V- или U-образной разделке.



При толщине металла до 8 мм смещение дают в сторону, противоположную направлению вращения изделия, а при большей толщине — в сторону вращения детали. Рекомендуется сварка с принудительным формированием шва в CO_2 полупогруженной дугой с подачей небольшого количества флюса.

Техника сварки неповоротных кольцевых швов подобна технике выполнения вертикальных швов. Корневые швы стыковых соединений толщиной более 4 мм сваривают в CO_2 проволокой диаметром 1,2 мм сверху вниз с обеих сторон трубы, остальные проходы сваривают одной или двумя дугами в CO_2 или $\text{Ag} + \text{CO}_2$ импульсной дугой или снизу вверх с принудительным формированием шва [12, 13, 22, 38].

Нахлесточные соединения металла толщиной 0,8-1,5 мм сваривают на весу, на медной, стальной или стеклянной подкладке. Более толстый металл обычно также сваривают на весу. Металл тол-

щиной 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 — ухудшение 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 (табл. 13) достигается при выполнении соединений в вертикальном положении сверху вниз, при питании от источников с комбинированной внешней характеристикой. Тщательная сборка также позволяет повысить скорость сварки. Металл малой толщины рекомендуется сваривать в CO_2 с частыми короткими замыканиями, при этом деформация изделия минимальна. Металл толщиной более 1,5 мм сваривают электродом, наклонным 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.

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 улучшения формирования шва целесообразно выполнять сварку проволокой диаметром 1,2–1,4 мм на спуск с наклоном изделия на $8-20^\circ$, питая дугу от выпрямителей с комбинированной внешней характеристикой. Швы с катетом более 4 мм рекомендуется 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 использовать приемы, повышающие скорость расплавления электрода: сварку с подачей присадочной проволоки, с увеличенным вылетом, с дополнительным нагревом электрода и др.

Замковые соединения наиболее часто применяют при сварке кольцевых швов и выполняют с разделкой кромок согласно

Таблица 13. Режимы сварки нахлесточных соединений в CO_2 и $Ar+25\% CO_2$ проволокой Св-08Г2С (обратная полярность)

Толщина металла, мм	Положение шва*	Защитный газ	Зазор, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин	Примечание
0,8+0,8	В	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	На весу или на медной подкладке
1+1	В	CO_2 , $Ar+25\%$	0–0,5	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			0,8–1,2	120–145	18–20	30–50	8–12	6–8	На медной подкладке
2+2	Н и В	CO_2 , $Ar+25\%$	0–0,5	1–1,4	160–220	19–22	30–70	10–14	8–9	На весу
5+5	Н	CO_2 , $Ar+25\%$	0–1	1,2–2	200–500	21–35	30–45	10–20	9–15	На весу
1,5+5	Н и В									

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

ГОСТ 14771–76. Режимы сварки выбирают в зависимости от толщины листов и диаметра изделия. Замковые соединения позволяют выполнять сварку первых проходов на больших значениях силы тока, 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, а детали собирают с натягом. Для повышения производительности, улучшения формирования шва и уменьшения разбрызгивания электрод смещают с зенита так, чтобы вести сварку «на спуск».

Особенности полуавтоматической сварки. Техника полуавтоматической сварки в CO_2 и в смесях CO_2+O_2 , $\text{Ar}+25\%\text{CO}_2$ и $\text{Ar}+\text{O}_2+25\%\text{CO}_2$ достаточно 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 CO_2 и CO_2+O_2 больше, чем при сварке $\text{Ar}+\text{CO}_2$ и при ручной дуговой сварке покрытыми 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. Питание от универсальных источников с комбинированной и пологопадающей внешней характеристикой и дистанционным переключением режимов сварки расширяет технические возможности полуавтоматической сварки. Сварка на комбинированной ВАХ дает более широкую и эластичную дугу, обеспечивает получение более широких швов с меньшим усилением, уменьшает разбрызгивание, облегчает технику сварки.

При сварке тонкой проволокой форма колебаний электрода обычно такая же, как при ручной дуговой сварке. При сварке проволокой диаметром 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 $10\text{--}15^\circ$. В первом случае глубина провара несколько меньше, шов шире, дугу удобно направлять по разделке шва. Сваркой на подвод тока к изделию можно существенно уменьшить разбрызгивание и выполнять сварку с большей скоростью, чем сварку вертикальным электродом.

Возвратно-поступательные движения горелки обеспечивают снижение пористости при сварке во всех активных газах. Этому способствуют 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° . Дугу направляют немного (до 1 мм) на нижнюю полку или в угол. Желательно вести сварку «на спуск» с наклоном изделия на $6\text{--}10^\circ$. Это существенно улучшает формирование шва, позволяет повысить 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 с повышением скорости нарастания силы тока короткого замыкания в начале сварки. При сварке на повышенных значениях силы тока начинать сварку рекомендуют на пониженной скорости подачи проволоки и повышенном напряжении, а после зажигания дуги увеличивать силу тока и напряжение до заданных режимом значений. Для получения качественного конца шва необходимо заварить кратер на пониженных значениях напряжения и силы тока 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 $150\text{--}170\text{ А}$ и $21\text{--}22\text{ В}$).

Вертикальные швы сваривают как со свободным, так и с принудительным формированием (табл. 14). Металл толщиной до 4 мм сваривают сверху вниз со свободным формированием швов. Сварку выполняют тонкой проволокой диаметром $0,8\text{--}1,4\text{ мм}$ в CO_2 и в смеси $\text{Ar}+25\%\text{ CO}_2$. Процесс ведут на режимах с частыми короткими замыканиями сверху вниз, углом назад, направляя дугу на переднюю часть ванны (рис. 35, а). Это предотвращает ее стекание, увеличивает проплавление 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. Требования к качеству сборки при сварке сверху вниз менее жесткие, чем при сварке в нижнем положении. Поэтому

Таблица 14. Режимы сварки CO ₂ и Ag+25% CO ₂ углеродистых сталей в вертикальном положении проволокой Св-08Г2С (сварка сверху вниз, обратная полярность)									
Толщина металла, мм	Соединение	Зазор, мм	Номер прохода	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напря- жение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
0,8-1		0-1	1	0,8-1,0	90-130	17-18	40-60	8-11	6-7
1,2-2		0-1		0,8-1,2	140-200	18-22	40-55	8-12	6-7
2,2-4		0-1,5		1,2-1,4	180-260	21-24	35-55	9-12	7-8
3-6		1±1	1	1,2-1,4	160-200	20-23	25-45	9-12	8-9
8-10		2±1/2	2	1,2-1,4	200-260	23-25	20-40	9-12	8-9
0,8-1		0-0,05	1	0,8-1	90-130	17-18	40-55	8-11	5-7
1,5-3			1	0,8-1,2	140-200	18-22	40-50	8-12	6-7
3,2-5,5		0-1	1-2	1,2-1,4	160-240	20-23	35-55	9-12	7-8
6-12		0-1,5	1-2	1,2-1,4	200-260	22-26	25-35	10-12	8-10

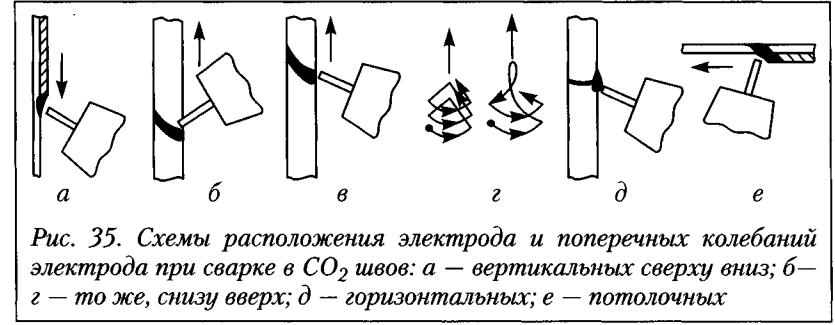


Рис. 35. Схемы расположения электрода и поперечных колебаний электрода при сварке в CO₂ швов: а — вертикальных сверху вниз; б — г — то же, снизу вверх; д — горизонтальных; е — потолочных

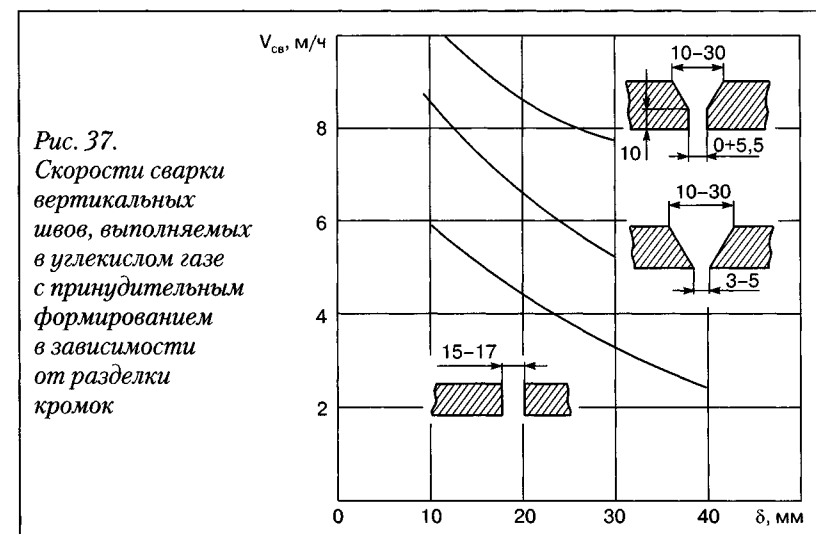
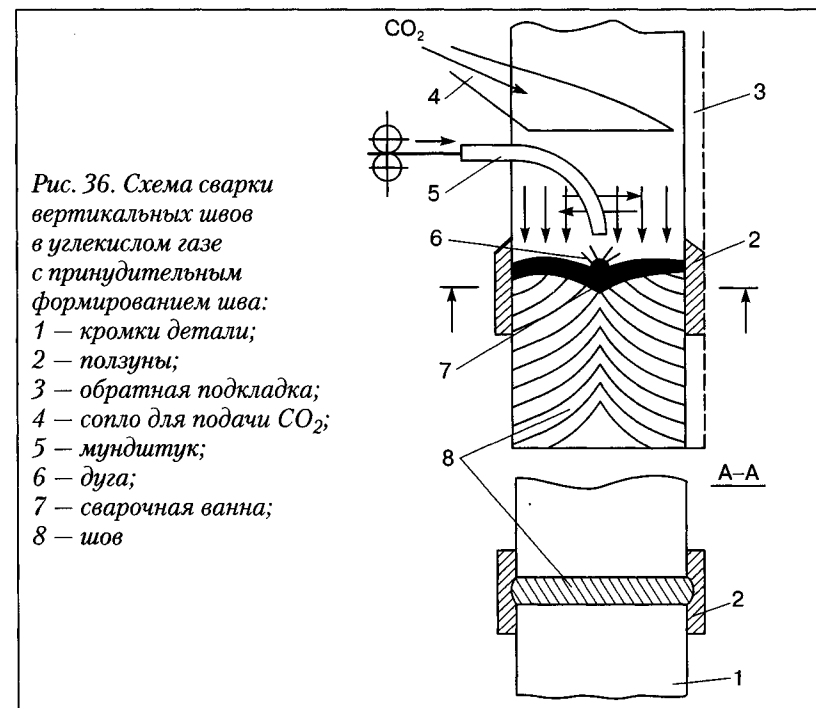
сварку сверху вниз применяют для выполнения корневых швов металла разной толщины при наличии переменных зазоров. Скорость сварки сверху вниз обычно в 2-2,5 раза выше, чем сварки снизу вверх. Для уменьшения разбрызгивания и увеличения провара корневых швов рекомендуют вести сварку в CO₂ на пониженных напряжениях при питании от источников с комбинированными внешними и повышенными динамическими характеристиками по току.

При выполнении вертикальных швов сверху вниз на повышенных значениях силы тока и напряжения при питании от источников тока с низкими скоростями нарастания силы тока короткого замыкания, а также при увеличении содержания кислорода в смеси с CO₂ более чем 15% и CO₂ в смеси с аргоном менее 20% наблюдается увеличение стекания жидкого металла. В результате появляются непровары в корне шва, натеки и несплавления по краям шва. Эти же явления возможны при сварке проволокой диаметром 1,6 и 2 мм. Вследствие этого при использовании обычных источников тока (ВС-300, ВДГ-302, ПСГ-500 и др.) металл толщиной более 6 мм приходится сваривать снизу вверх. Скорость сварки вертикальных швов снизу вверх обычно невелика (6-10 м/ч). Сварку ведут углом вперед, направляя дугу на переднюю часть ванны, что уменьшает ее стекание. Металл толщиной более 8 мм сваривают с поперечными колебаниями электрода по треугольнику (см. рис. 35, г). Техника выполнения сварки швов снизу вверх требует более высокой квалификации сварщика, чем сварка сверху вниз. При питании от выпрямителей с комбинированной внешней характеристикой сварку в CO₂ и Ag+(20-25)% CO₂ наклонных и вертикальных швов на сталях толщиной до 12 мм можно выполнять сверху вниз [38, 41, 42, 44]. Сварку выполняют электродом, наклоненным углом назад, швы катетом до 5 мм сваривают без поперечных колебаний

электрода, более 5 мм — с поперечными колебаниями электрода и в несколько проходов. Формирование швов хорошее, рабрызгивания металла нет, можно получить угловые швы с небольшим усилением и ослабленные, что обеспечивает экономию электродной проволоки, электроэнергии и труда. Скорость сварки угловых швов сверху вниз на металле толщиной 8–12 мм достигает 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 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. Сварку в смеси $\text{Ar} +$ менее 15% CO_2 рекомендуется выполнять с наложением импульсов тока. При этом можно использовать электродные проволоки диаметром 1,2–2,0 мм. Сварку вертикальных швов до 10 мм можно выполнять сверху вниз. При значительной длине прямолинейные вертикальные швы на стали толщиной 10–40 мм целесообразно сваривать в CO_2 и $\text{Ar} + \text{CO}_2$ с принудительным формированием шва (рис. 36, 37). Этот способ разработан Д. А. Дудко с сотрудниками в ИЭС им. Е. О. Патона в 1956 г. [4]. Для получения высокого качества и хорошего формирования швов необходимо наличие между ползуном и швом небольшого количества шлака. Для этого при использовании проволоки сплошного сечения в зону сварки подают небольшое количество флюса из отдельного бункера или с присадочной порошковой проволокой, укрепленной на кромке стыка. При сварке порошковой проволокой шлак образуется в результате ее расплавления. Для защиты зоны сварки применяют CO_2 или смесь $\text{CO}_2 + (15-30)\% \text{O}_2$. В последнем случае на поверхности ванны образуется больше шлака, и ванна более жидкотекучая. Для получения шва высокого качества необходимо предупредить попадание воздуха к расплавленной ванне, для чего рекомендуют подавать газ по специальным газовым соплам или по каналам, расположенным в ползунах. Режимы сварки вертикальных швов выбирают исходя из толщины металла, условий получения заданного термического цикла и минимального разбрызгивания. С увеличением силы сварочного тока увеличиваются объем сварочной ванны и ее глубина. Сварку с принудительным формированием выполняют на режимах без коротких замыканий полупогруженной дугой.

Соединения металла толщиной более 20 мм выполняют с колебаниями электрода. У ползунов электрод задерживают на 1,5–2 с.



Сварку вертикальных швов проводят на постоянном токе, однако в ряде случаев целесообразно использовать переменный ток. Сварка вертикальных швов 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 и с V-образной разделкой кромок. 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 процесс 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 CO₂ или в смеси Ar+20–25% CO₂ проволокой диаметром 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 направляют на металлическую ванну (рис. 35, д). 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° к вертикали. Основное сечение шва заваривают с повышенной силой тока. При этом используют проволоку сплошного сечения диаметром до 2 мм и порошковые — до 4 мм, а облицовочные швы заваривают сплошными проволоками диаметром 1,2–1,6 мм (табл. 15) или порошковыми проволоками диаметром 1,2–2 мм. Облицовочные швы сваривают проволокой диаметром 1,2–1,4 мм на силе тока 140–160 А.

Для предупреждения стекания металла используют формирующие ползуны. При сварке горизонтальных швов проволокой Св–08Г2С диаметром 1,6–2 мм в металле шва встречаются характерные несплавления, имеющие вид полушария. Для их исключения целесообразно понижать режим сварки в CO₂, выполнять сварку с подачей в зону дуги небольшого количества флюса, например АН–348А, или вести сварку в Ar+15–25% CO₂ проволокой диаметром 1,2–2 мм.

Потолочные швы рекомендуется сваривать в CO₂ проволокой диаметром 0,8–1,4 мм на режимах с частыми короткими замыканиями и в Ar+18% CO₂ с наложением импульсов. Сваривать такие швы полуавтоматом труднее, поэтому сварщик должен иметь более

Таблица 15. Режимы сварки в CO₂ горизонтальных швов проволокой Св–08Г2С (обратная полярность)

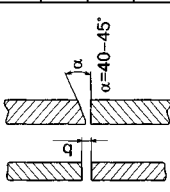
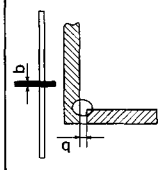
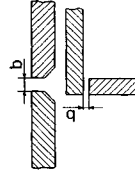
Толщина металла, мм	Соединение	Зазор, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение сварки, А	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
0,8–1		0–0,5	0,8–1	70–130	17–18,5	25–30	8–10	6–7
1,5		1–1,5	0,8–1,2	100–150	17,5–19,5	19–24	8–12	6–8
3		1,5–2	1–1,4	140–190	20–23	16–18	10–12	7–9
5–6		0–1	1–1,4	150–250	20–23	10–14	12–14	8–10

Таблица 16. Режимы сварки в CO₂ швов в потолочном положении проволокой Св–08Г2С (обратная полярность)

Толщина металла, мм	Катет шва, мм	Соединение	Зазор, мм	Диаметр электрода, мм	Число проходов	Сила сварочного тока, А	Напряжение сварки, А	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

высокую квалификацию. Сварку потолочных швов ведут углом назад (см. рис. 35, е) на минимальных напряжениях. Силу сварочного тока можно выбирать несколько больше, чем для сварки вертикальных швов (табл. 16). Дугу и поток CO₂ направляют на ванну 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 следует сваривать в два прохода и более, что обеспечивает получение плотных швов.

Сварка электрозаклепками и точками применяется для выполнения нахлесточных тавровых, угловых и стыковых соединений на металле толщиной более 0,5 мм со швами, расположенными во всех пространственных положениях [2, 12, 33 и др.].

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 этого не делают (табл. 17). При сварке точками 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. Сварку следует начинать на малом вылете электрода. При сварке проволокой диаметром 1,4–2,0 мм необходимо использовать специальные приемы зажигания дуги. Например, при автоматической сварке процесс нужно начинать при пониженной скорости подачи электродной проволоки и повышенной скорости нарастания силы тока короткого замыкания в сварочной цепи, а после зажигания дуги переходить на рабочий режим. При этом важно, чтобы переход на рабочий режим 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 сила сварочного тока. С ее повышением увеличиваются диаметр и высота усиления точки. Сварку следует выполнять на силе тока, максимально допустимой для данной толщины металла. Напряжение дуги оказывает влияние на форму точки. При недостаточном напряжении в центре точки образуется бугорок, а при завышенном – углубление. Оптимальное напряжение зависит от силы сварочного тока и диаметра электрода. При сварке точки глубина проплавления растет в первый период горения дуги. В дальнейшем глубина проплавления повышается незначительно, увеличивается

Таблица 17. Ориентировочные режимы сварки углеродистых сталей в углекислом газе электрозаклепками и точками

Толщина листов, мм	Диаметр электрода, мм		Сила сварочного тока, А	Напряжение, В	Длительность сварки, с	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин	Наличие отверстия в верхнем листе
	верхнего	нижнего						
0,5	0,5–2,0	0,8	100–140	18–21	0,6–1,1	6–10	5–6	Нет
0,8	0,8–3,0	0,8	120–160	19–22	0,5–1,2	8–10	5–6	Нет
1,0	1,0–4,0	0,8–1,0	150–190	20–23	1,0–1,8	8–12	5–7	Нет
1,5	1,5–4,0	1,0–1,2	200–210	21–24	1,4–1,8	10–12	6–7	Нет
1,5	1,5–4,0	1,0–1,2	190–210	21–23	1,3–1,6	10–12	6–7	Есть
2,0	2,0–5,0	1,0–1,4	220–300	22–27	2,0–3,0	10–14	6–8	Нет
2,0	2,0–5,0	1,0–1,4	210–250	22–25	1,6–2,0	10–14	6–7	Есть
3,0	3,0–6,0	1,2–1,6	320–380	30–35	2,0–3,0	12–14	7–8	Нет
3,0	3,0–6,0	1,2–1,6	300–350	28–32	1,9–2,5	12–14	7–8	Есть
4,0	4,0–6,0	1,4–1,6	380–420	33–37	3,0–3,5	13–15	8–9	Нет
4,0	4,0–6,0	1,4–1,6	350–380	32–35	2,2–3,0	13–15	8–9	Есть
5,0	5,0–7,0	1,4–2,0	400–450	34–40	3,5–4,0	14–16	9–10	Нет
6,0	6,0–8,0	1,6–2,4	420–550	38–44	3,0–4,0	14–18	9–10	Нет
8,0	8,0–10,0	2,0–2,4	550–600	43–48	3,0–4,0	16–18	11–12	Нет

Примечание. Постоянный ток, обратная полярность. Режимы сварки точками принимают такими же, как при сварке без отверстия для толщины верхнего листа.

только усиление точки. Сварку металла толщиной до 2 мм обычно выполняют без изменения силы 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 силы сварочного тока. После начала сварки точки силу тока увеличивают, а в конце уменьшают и одновременно повышают напряжение. Рекомендуется сварка в CO_2 в сочетании с плазмой или лазером. Это обеспечивает глубокое проплавление, хорошую форму электрозаклепки и позволяет регулировать термический цикл при сварке.

Для уменьшения разбрызгивания рекомендуется выполнять сварку точек и коротких швов в CO_2 с питанием от источников с комбинированной внешней характеристикой с повышенными динамическими свойствами и программированием режима сварки. Повышение напряжения в начале сварки и последующее его снижение обеспечивает при окончании сварки оплавление электродной проволоки с небольшой каплей без шлака. Это улучшает начало следующего шва.

Для увеличения сечения проплавления и прочности электрозаклепки на металле толщиной 8 мм рекомендуют делать отверстия в верхнем листе и сварку выполнять с круговым перемещением электрода. 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.

Сварку точек и электрозаклепок на легированных сталях рекомендуют выполнять импульсно-дуговым способом в смеси $\text{Ar}+5\% \text{O}_2$ или $\text{Ar}+15\% \text{CO}_2$ или сочетанием с плазмой или лазером. Это обеспечивает хороший провар и хороший внешний вид электрозаклепки, а также резко уменьшает разбрызгивание.

Приварка болтов

Сварка в защитных газах нашла применение при приварке болтов и крепежных шпилек для крепления изоляции к корпусам судов и различным емкостям. Приварку выполняют специальными легкими пистолетами, в которых закрепляют болт или шпильку,

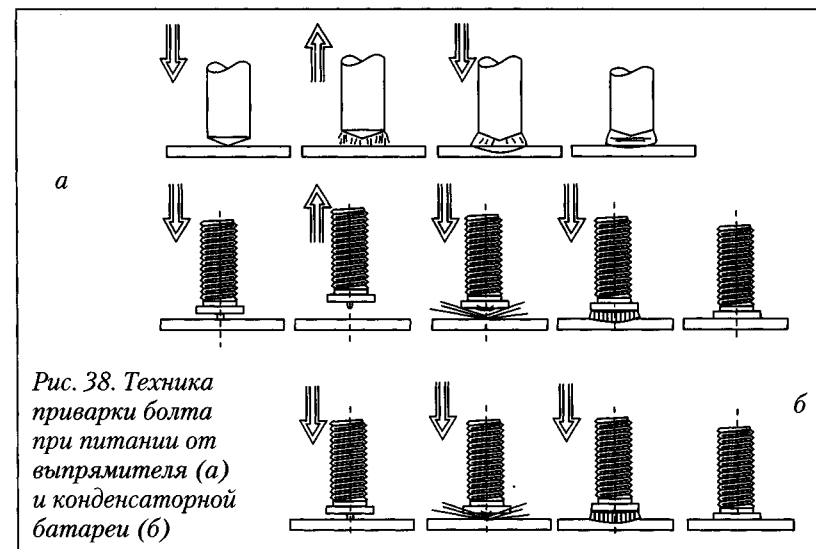


Рис. 38. Техника приварки болта при питании от выпрямителя (а) и конденсаторной батареи (б)

подлежащую приварке. Болт оплавляют дугой, которая питается от конденсаторной батареи или выпрямителя. Дуга зажигается при отрыве болта от изделия или при перегорании контакта тонкого выступа болта с изделием. После заданного времени горения дуги и оплавления торца болта и изделия болт опускают к оплавленному изделию и выдерживают до затвердевания оплавленной части. Для надежного зажигания дуги нижний конец болта делают с тонким выступом длиной 1–1,5 мм или скошенным на конус (рис. 38) и питают дугу от источника с повышенными динамическими свойствами по току.

Надежное оплавление болта по всему торцу достигается при диаметрах болтов до 10 мм и защите дуги углекислым газом. Смеси на основе аргона так же, как и приварка без защиты газом, требуют использования специальных приемов для равномерного оплавления болта по всему сечению. Неравномерное оплавление болта вызывается отклонением дуги под действием собственного магнитного поля. Режимы приварки зависят от диаметра болта и источника тока.

Для обеспечения равномерного оплавления болта диаметром более 10 мм и уменьшения влияния собственного магнитного поля токоподвод к изделию раздваивают и подключают с двух противоположных сторон. Возможно также применение соленоидов, устанавливаемых на горелке-пистолете.

Глава 4. Технология сварки сталей в активных газах

Особенности металлургических процессов

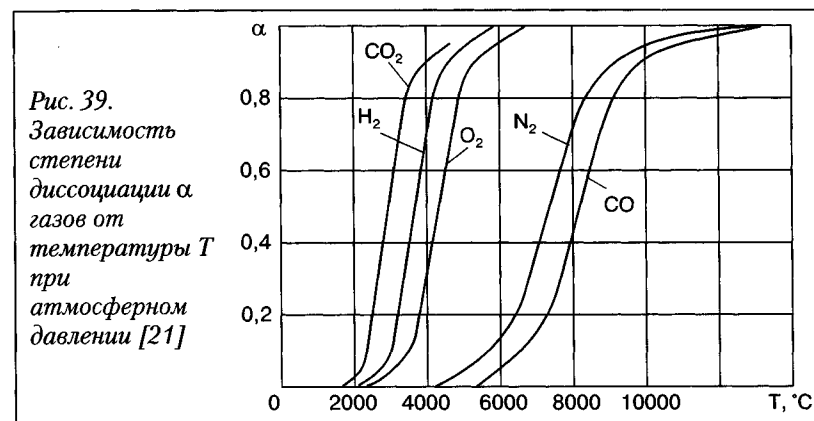
Состав металла шва при сварке в активных газах плавящимся электродом определяется составом газа, электродного и основного металлов, их соотношением в металле шва и ходом металлургических реакций. При сварке в CO_2 и его смесях в зоне высоких температур у дуги происходит разложение CO_2 по реакции:



Степень разложения CO_2 и соответственно состав газа зависят от температуры. Считают, что средняя температура защитного газа, контактирующего с жидким металлом, около 2600°C , а газовая фаза состоит из 53,8 об. % CO_2 , 30,8 об. % CO и 15,4 об. % O_2 [20–22].

В зону сварки попадают также азот и водород. Азот может попадать с покрытиями электродной проволоки и технологическими смазками в виде примеси углекислого газа, кислорода или аргона, а также из воздуха, подсасываемого из зазоров соединения вследствие нарушений защиты зоны сварки, и из антикоррозионных покрытий на металле. Водород попадает в зону сварки как примесь CO_2 и Ag , в составе влаги, из ржавчины на электродной проволоке и свариваемых кромок, из технологических смазок, находящихся на проволоке. Значительное количество азота и водорода может вызвать образование пор в шве вследствие скачкообразного уменьшения растворимости азота и водорода в твердой стали по сравнению с жидкой. Состав газа определяется его температурой (рис. 39) и составом свариваемого материала.

Взаимодействие с азотом зависит от температуры газа и металла, парциального давления газа у границ раздела, а также от удель-



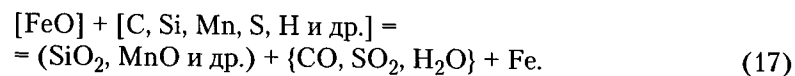
ной поверхности и длительности взаимодействия. Существенное влияние оказывает также наличие кислорода, который приводит к образованию оксида азота.

Азот может растворяться в металле, а также образовывать химические соединения, растворимые в жидком металле. В результате взаимодействия с азотом возможно образование пор в металле и снижение пластических свойств металла шва.

Водород, растворяясь в металле, может вызывать образование пор, резко снижать пластические свойства металла и способствовать появлению трещин. На попадание водорода в металл шва оказывает влияние общее парциальное давление водорода, наличие паров воды, кислорода и элементов, обладающих высоким сродством к водороду (F, Cl). Существенное влияние оказывают также кинетические факторы, зависящие от переноса металла, и полярность при сварке. Присутствие в зоне дуги кислорода, фтора и хлора способствует образованию соединений, не растворимых в жидком металле (ОН, HF, HCl и др.), и уменьшает возможность попадания водорода в металл. Установлено, что растворимость водорода в металле катода значительно выше, чем в металле анода [22, 49].

Кислород, соприкасаясь с жидкой каплей и ванной, окисляет металл и примеси, входящие в его состав, а также растворяется в металле. Из образующихся на поверхности металла оксидов только некоторые растворяются в нем, большинство же остается на поверхности в виде шлака и лишь иногда попадает в толщу жидкого металла. Интенсивность насыщения металла кислородом зависит от парциального давления кислорода, температуры и состава

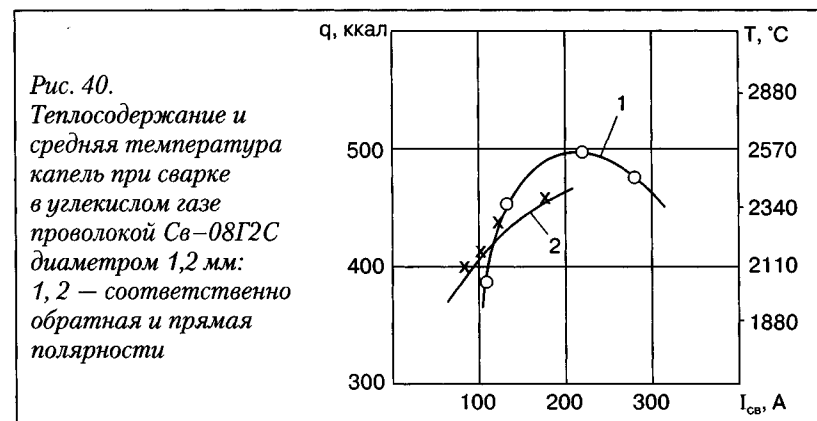
металла, а также от кинетических факторов. Растворившиеся в металле кислород и оксиды при определенной температуре и концентрации могут взаимодействовать с примесями металла, образуя шлаки и газы. В общем виде для стали эти реакции имеют вид



Элементы и соединения в квадратных скобках растворимы в металле, в круглых — шлаки, а в фигурных — газы. Из уравнения (17) видно, что взаимодействие кислорода с некоторыми элементами приводит к образованию газов, что в определенных условиях может вызвать образование пор. При сварке углеродистых сталей окисление углерода и образование оксида 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 CO_2 и к смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2 + 3\text{...}5\% \text{ O}_2$ 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 порошковой проволокой в ее 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 CO_2 . При окислении кремния, марганца, титана, алюминия и других составляющих стали образуются оксиды. От их состава и количества зависит количество шлаковых включений в металле шва и внешний вид шва. При сварке в CO_2 и его смесях имеет место значительное испарение марганца и железа. Окисление и испарение наиболее интенсивно происходят в каплях электродного металла. Испарение элементов при сварке определяется составом металла, температурой кипения элементов, температурой поверхности металла, размером активных пятен, а также кинетическими факторами. Роль последних наиболее велика при небольшом количестве легкоиспаряющихся элементов.

Интенсивность взаимодействия с газами и испарение элементов протекают наиболее интенсивно в капле на электроде. Парциаль-



ное давление газов над металлом, ход металлургических реакций и состав металла шва можно регулировать, изменяя температуру и удельную поверхность капли, размеры активных пятен, длительность взаимодействия металла в дуге. Температура капли зависит от рода защитного газа, вида переноса и режима сварки. Можно полагать, что при сварке в аргоне с кислородом (до 5%) температура капля примерно такая же, как при сварке в чистом аргоне. Температура капля при сварке в углекислом газе значительно ниже, чем при сварке в аргоне (рис. 40) [40, 49].

С увеличением силы тока температура капля повышается. Переход на прямую полярность, уменьшение диаметра электрода и предварительный подогрев электрода приводят к снижению температуры капля. Температура ванны при сварке в активных газах, по-видимому, близка к температуре ванны при сварке под флюсом (1770 ± 100 °C при сварке низкоуглеродистой стали) [21, 22].

Помимо интенсивности испарения и взаимодействия с газами, состав металла шва зависит от доли участия электродного и основного металлов в металле шва. Поскольку интенсивность реакций и потери элементов из электродного и основного металлов неодинаковы, то эту разницу учитывают коэффициентами усвоения соответствующего элемента. Конечное процентное содержание элементов в шве

$$C_m = \mu_n m C_n + \mu_o n C_o, \quad (18)$$

где μ_n и μ_o — коэффициент усвоения элементов соответственно из электродной проволоки и основного металла; m и n — соответствен-

но доли электродного и основного металла в шве; C_m и C_o — содержание элемента соответственно в проволоке и основном металле.

Коэффициент μ_n определяют по данным химического анализа металла, наплавленного на медную пластину, охлаждаемую водой, а μ_o — как разницу между общим коэффициентом усвоения μ , определяемым по данным химического анализа металла шва, выполненного с V-образной разделкой, и μ_o . Коэффициенты усвоения элементов изменяются в зависимости от состава основного и электродного металлов, характера переноса, диаметра электрода и режима сварки. Увеличение силы сварочного тока сначала вызывает повышение коэффициентов усвоения элементов из проволоки, а затем небольшое их понижение. При повышении напряжения коэффициент μ_n уменьшается. Увеличение диаметра электродной проволоки при прочих равных условиях несколько повышает коэффициент μ_o . Увеличение напряжения и диаметра электродной проволоки во всех случаях приводит к понижению μ_o . Конкретные данные о коэффициентах усвоения элементов приведены в разделах по сварке отдельных металлов.

При сварке в активных газах коэффициенты μ_n усвоения элементов из проволоки значительно меньше, чем коэффициенты μ_o .

Таблица 18. Коэффициенты усвоения элементов при сварке в углекислом газе (диаметр проволоки 2 мм, обратная полярность)					
<i>Сталь</i>	<i>Марка проволоки</i>	<i>Элемент</i>	μ_n	μ_o	μ
Ст3	Св-08ГС	С	0,51	0,86	0,71
		Mn	0,35	0,85	0,55
		Si	0,23	0,73	0,37
30ХГСА	Св-18ХГСА	С	0,55	0,92	0,70
		Mn	0,64	0,93	0,80
		Si	0,69	0,97	0,81
		Cr	0,89	0,97	0,94
Х18Н9Т	Св-06Х19Н9Т	С	0,92	1,0	0,96
		Mn	0,60	1,0	0,78
		Si	0,73	0,81	0,78
		Cr	0,89	0,98	0,94
		Ti	0,20	0,78	0,42

Таблица 19. Химический состав проволоки и металла наплавки при сварке в углекислом газе (обратная полярность)					
<i>Исследуемый объект</i>	<i>Сила сварочного тока, А</i>	<i>Напряжение, В</i>	<i>Состав, %</i>		
			<i>С</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>
Проволока диаметром 0,8 мм	—	—	0,11	1,1	0,98
Шов	95	17	0,10	0,68	0,63
	95	20	0,09	0,58	0,52
	95	24	0,07	0,41	0,38
	140	20	0,10	0,72	0,63
Проволока диаметром 2 мм	—	—	0,11	1,09	0,47
Шов	300	28	0,09	0,68	0,28
	300	35	0,08	0,34	0,10
	400	42	0,09	0,59	0,19

усвоения элементов из основного металла (*табл. 18*). При сварке в смесях аргона с кислородом окислительная способность повышается с увеличением содержания кислорода в газе [21]. Окислительная способность углекислого газа примерно в два раза больше, чем смеси Ar+5% CO₂, и эквивалентна окислительной способности смесей Ar+22,4% CO₂ при переходе элементов из проволоки и Ar+7,2% O₂ при переходе элементов из сварочной ванны [22].

Опытным путем установлено, что переход элементов в шов существенно зависит от режима сварки (*табл. 19*), который оказывает влияние на интенсивность металлургических реакций и долю электродного и основного металла в металле шва. Напряжение дуги в наибольшей степени влияет на интенсивность металлургических реакций, а сила тока, полярность и диаметр электрода — на интенсивность металлургических реакций и долю основного и электродного металлов в металле шва. Остальные параметры режима сварки влияют на изменение доли основного и электродного металлов в металле шва.

С повышением напряжения и уменьшением силы тока потери углерода, кремния и марганца увеличиваются. Влияние напряжения и силы тока наиболее резко проявляется при сварке тонкой электродной проволокой. Изменение окисления элементов в данном случае связано с изменением длительности и удельной поверх-

ности взаимодействия капель на электроде. При сварке с частыми короткими замыканиями с повышением напряжения и уменьшением силы тока увеличивается не только длительность взаимодействия капли с газом, но и удельная поверхность капли. В этих случаях крупная капля при своем росте проходит все те же стадии взаимодействия, что и мелкая, поэтому суммарная удельная поверхность взаимодействия растет с увеличением диаметра капли. На малых и средних значениях силы тока изменение состава шва определяется изменением доли основного и электродного металлов в металле шва, а на больших – увеличивается интенсивность металлургических реакций. Потери элементов из проволоки диаметром 0,8–1,2 мм значительно меньше, чем из проволок диаметром 1,6–2 мм. Это позволяет применять для сварки в CO₂ проволоку диаметром 0,8–1,2 мм с меньшим содержанием кремния и марганца.

Технология сварки и наплавки углеродистых сталей

Электродная проволока для сварки. Химический состав электродных проволок, используемых для сварки в активных газах углеродистых и легированных сталей согласно ГОСТ 2246–70, приведен в *табл. 20*. Проволоки изготавливают с омедненной и неомедненной поверхностью. Проволоку с неомедненной поверхностью сворачивают в обычные мотки, а омедненную – в мотки прямоугольного сечения (*табл. 21, 22, 23*).

В настоящее время в Украине введен в действие ДСТУ ISO 14341:2004, соответствующий ISO 14341:2004, в котором электродные проволоки распределены по механическим свойствам металла шва, полученного на средних токах. На предприятиях используют электродные проволоки, изготавливаемые в Германии, Италии, Венгрии, Польше и других странах по нормам DIN 8559. В *табл. 24–26* приведены сортамент и химический состав электродных проволок, используемых для сварки в активных газах, а также габаритные размеры катушек и мотков, изготавливаемых по ГОСТ 2246–70 и DIN 8559.

В соответствии с ГОСТ 26271–84 изготавливаются порошковые газозащитные проволоки для сварки углеродистых и низколегированных сталей в защитных газах диаметром 1,0–2,0 мм (*табл. 27*), а в соответствии с ГОСТ 26101–84 – универсальные порошковые проволоки для наплавки в защитных газах.

Таблица 20. Химический состав электродных проволок, применяемых при сварке в активных газах, % (по ГОСТ 2246–70)

Марка	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti
Св-08ГС	≤0,10	0,60–0,85	1,40–1,70	≤0,20	≤0,25	–	–
Св-12ГС	≤0,14	0,60–0,90	1,08–1,10	≤0,20	≤0,30	–	–
Св-08Г2С	0,05–0,11	0,70–0,95	1,80–2,10	≤0,20	≤0,25	–	–
Св-08ГСМТ	0,06–0,11	0,40–0,70	1,00–1,30	≤0,30	≤0,30	0,20–0,40	0,05–0,12
Св-15ГСТЮЦА	0,12–0,18	0,45–0,85	0,60–1,00	≤0,30	≤0,40	–	0,05–0,20
Св-20ГСТЮА	0,17–0,23	0,60–0,90	0,90–1,20	≤0,30	≤0,40	–	0,05–0,20
Св-18ХГС	0,15–0,22	0,09–1,20	0,80–1,10	0,80–1,10	≤0,30	–	–
Св-10ХМФТ	0,07–0,12	≤0,35	0,40–0,70	1,40–1,80	≤0,30	0,50–0,60	0,05–0,12
Св-01Х19Н9	≤0,03	0,50–1,00	1,00–2,00	18,0–20,0	8,00–10,00	–	–
Св-04Х19Н9	≤0,06	0,50–1,00	1,00–2,00	18,0–20,0	8,00–10,00	–	–
Св-07Х18Н9ТЮ	≤0,09	≤0,80	≤2,00	17,0–19,0	8,00–10,00	–	1,00–1,40
Св-06Х19Н9Т	≤0,08	0,40–1,00	1,00–2,00	18,0–20,0	8,00–10,00	–	0,50–1,00
Св-06Х19Н10М3Т	≤0,06	0,30–0,80	≤2,00	18,0–20,0	9,00–11,00	2,00–3,00	0,50–0,80
Св-06Х20Н11М3ТБ	≤0,08	0,50–1,00	1,00–2,00	19,0–21,0	10,00–12,00	2,00–3,00	0,60–1,10
Св-07Х25Н12Г2Т	≤0,09	0,30–1,00	1,50–2,50	24,0–26,5	11,00–13,00	–	0,60–1,00
Св-07Х25Н12ТЮ	≤0,08	0,60–1,00	≤0,80	24,0–26,5	11,00–13,00	–	0,60–1,00
Св-08Х25Н13БТЮ	≤0,10	0,60–1,00	≤0,55	24,0–26,5	12,00–14,00	–	0,50–0,90
Св-08Х20Н9ГТ	≤0,10	0,50–1,00	5,00–8,00	18,5–22,0	8,00–10,00	–	0,60–0,90

Примечание. Серы – не более 0,20–0,25%; фосфора – не более 0,25–0,30%.

Номинальный диаметр, мм	Предельное отклонение, мм		Номинальный диаметр, мм	Предельное отклонение, мм	
	по ГОСТ 2246-70	по DIN 8559		по ГОСТ 2246-70	по DIN 8559
0,3	-0,05	-	1,6	-0,12	+0,01 / -0,04
0,5	-0,06	-	2,0	-0,12	+0,01 / -0,05
0,6	-0,07	+0,01 / -0,02	2,4	-0,12	+0,01 / -0,05
0,8	-0,09	+0,01 / -0,02	2,5	-0,12	+0,01 / -0,05
1,0	-0,09	+0,01 / -0,03	3,0	-0,12	+0,01 / -0,05
1,2	-0,09	+0,01 / -0,03	3,2	-0,12	+0,01 / -0,06
1,4	-0,09	+0,01 / -0,03	4,0	-0,16	+0,01 / -0,06

Диаметр проволоки, мм	Внутренний диаметр мотка, мм	Масса мотка, кг, не менее		
		углеродистая	легированная	высоколегиров.
0,3-0,5	150-300	2	2	1,5
0,8	200-350	5	5	3
1,0-1,2	200-400	20	15	10
1,4-1,5	300-600	25		
1,6-2,0		30	20	15
2,5-3,0	400-600	40	30	20

Диаметр проволоки, мм	Наружный диаметр мотка, мм	Внутренний диаметр мотка, мм	Высота мотка, мм
0,8-1,6	175 ⁺¹⁰ ₋₅	100 ⁺⁶ ₋₂	50 ⁺⁴ ₋₄
1,6-2,0	250 ⁺¹⁵ ₋₅	175 ⁺⁸ ₋₄	85 ⁺⁴ ₋₆
2,0-3,0	320 ⁺²⁵ ₋₅	220 ⁺⁸ ₋₄	85 ⁺⁴ ₋₆

Марка	C	Si	Mn	Ni	Mo	Al	Ti+Zr	SuP
G2Si	0,06-0,14	0,50-0,80	0,90-1,30	0,15	0,15	0,02	0,15	≤0,025
G3Si1	0,06-0,14	0,70-1,00	1,30-1,60	0,15	0,15	0,02	0,15	≤0,025
G4Si1	0,06-0,14	0,80-1,20	1,60-1,90	0,15	0,15	0,02	0,15	≤0,025
G3Si2	0,06-0,14	1,00-1,30	1,30-1,60	0,15	0,15	0,02	0,15	≤0,025
G2Ti	0,04-0,14	0,10-0,80	0,90-1,40	0,15	0,15	0,05-1,50	0,05-0,25	≤0,025
G3Ni1	0,06-0,14	0,50-0,90	1,00-1,60	0,80-1,50	0,15	0,02	0,15	≤0,020
G2Ni2	0,06-0,14	0,40-0,80	0,80-1,40	2,10-2,70	0,15	0,02	0,15	≤0,020
G2Mo	0,08-0,12	0,30-0,70	0,90-1,30	0,15	0,40-0,60	0,02	0,15	≤0,020
G4Mo	0,06-0,14	0,50-0,80	1,70-2,10	0,15	0,40-0,60	0,02	0,15	≤0,025
G2A1	0,08-0,14	0,30-0,50	0,90-1,30	0,15	0,15	0,35-0,75	0,15	≤0,025

Примечание. Хрома не более 0,15%; меди — общее не более 0,35%.

Марка	C	Si	Mn	SuP	Cu	Cr, Ni, Mo, Zr+Ti	V
SG1, WSG1	0,06-0,12	0,5-0,7	1,0-1,3	≤0,025	≤0,30	0,15	0,03
SG2, WSG2	0,06-0,13	>0,7-1,0	>1,3-1,6	≤0,025	≤0,30	0,15	0,03
SG3	0,06-0,13	0,8-1,2	>1,6-1,9	≤0,025	≤0,30	0,15	0,03

Таблица 26. Размеры мотков и катушек с омедненной проволокой (по DIN 8559)

Тип катушки	Наружный диаметр, мм	Ширина, мм	Внутренний диаметр, мм	Масса, кг
D 100	100 ⁺² ₋₂	45 ⁰ ₋₁	16,5 ⁺¹ ₀	0,5
D 200	200 ⁺³ ₋₃	55 ⁰ ₋₃	50,5 ^{+2,5} ₀	5,0
D 300	300 ⁺⁵ ₋₅	103 ⁰ ₋₁	51,5 ⁺¹ ₀	15,0
D 500	500 ⁺² ₋₅	350 ⁺⁵ ₋₁	40,5 ⁺¹ ₀	150,0
D 760	760 ⁰ ₋₁₀	290 ⁺¹⁰ ₋₁	40,5 ⁺¹ ₀	300,0

Низкоуглеродистые стали хорошо свариваются в CO₂ и смесях CO₂+O₂, Ar+CO₂ и Ar+O₂ [2, 12, 20–22, 34, 38, 54]. Сварка среднеуглеродистых и особенно высокоуглеродистых сталей затруднена ввиду опасности образования трещин в швах и в зоне термического влияния (ЗТВ). Для получения высококачественных швов применяют предварительный подогрев изделий с последующей термической обработкой. В CO₂, Ar+CO₂ и Ar+O₂ эти стали свариваются легче, чем под флюсом, особенно при использовании тонкой проволоки. Это можно объяснить как окислительным характером защитного газа, так и меньшим нагревом при сварке. Добавка кислорода повышает хладостойкость и стойкость к образованию пор и тре-

Таблица 27. Химический состав некоторых порошковых газозащитных проволок, изготавливаемых серийно, %

Марка	C	Mn	Si	Ti	Ni	Mo	S	P
ППс-ТМВ7	0,05	1,45	0,35	–	–	–	0,015	0,015
ПП-АН63	<0,12	1,0–1,5	0,3–0,7	–	–	–	<0,03	<0,03
ПП-АН67	<0,10	1,0–1,3	0,35–0,60	Cr 0,25–0,35	1,1–1,25	0,25–0,35	<0,03	<0,03
Megafil 710M	0,05	1,3	0,70	0,03	0,2–0,7	–	0,02	0,02
Megafil 710R	0,05	1,3	0,50	0,03	0,7	–	0,02	0,02
Megafil 710R	0,03	1,3	0,5	0,03	0,7	–	0,02	0,02

щин. Для сварки низколегированных сталей 10ХСНД, 15ХСНД и 14ХГС применяют проволоки Св-08ГС, Св-08Г2С и Св-08ГСМТ диаметром 0,8–1,4 мм [12, 38, 52]. При этом обеспечивается получение таких же свойств металла шва, как при использовании электродов типов Э50А, Э55 (табл. 28, 29, 30). Стойкость швов, выполненных в CO₂ при динамической нагрузке, выше, чем швов, выполненных под флюсом [12, 20–22, 34, 35, 38, 56].

При сварке проволокой диаметром 1,6 мм и более обычно используют только проволоку Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, которую рекомендуется нагревать в течение 1,5–2 ч до температуры 200–250 °С для удаления из нее водорода и азота. Для сварки стали 09Г2 пригодна проволока Св-08Г2С и Св-08ГСМТ. На практике для сварки в CO₂, Ar+CO₂ и Ar+O₂ конструкций из углеродистых и низколегированных сталей проволоками диаметром 1,6 мм и более используют проволоку Св-08Г2С [56], которая обеспечивает получение плотных швов при сварке соединений, собранных с равномерным зазором (см. табл. 29, 30). При неизбежных нарушениях газовой защиты (сварка на открытых площадках, при значительных зазорах в соединениях и др.) для сварки в CO₂ углеродистых и низколегированных сталей рекомендуют проволоку Св-20ГСЮТ [2].

При сварке в CO₂ 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-08ХГ2С, а также Св-10ХГ2С, дополнительно легированную никелем [12]. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей в CO₂ успешно применяют порошковую проволоку трубчатой конструкции с сердечниками рутилового типа (ПП-АН-8, ПП-АН-10, ПП-АН-13 и ПП-АН-21), которая обеспечивает значительное уменьшение разбрызгивания и хорошее формирование швов. По механическим свойствам металл шва отвечает требованиям, предъявляемым к электродам типа Э50А. Порошковая проволока с сердечником рутилфлюоритного типа ПП-АН-4, ПП-АН-9, ПП-АН-18 и ПП-АН-22 обеспечивает получение швов с более высокими пластическими свойствами при низких температурах [49].

Для сварки в CO₂ 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

Таблица 28. Механические свойства металла швов, выполненных в CO₂ (обратная полярность)

Сталь	Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость KCV, Дж/см ² , при температуре, °С		
							+20	-20	-40
Ст3кп	Св-08ГС	0,8-1,4	370-390	510-550	25-30	56-60	120-160	90-120	60-90
Ст3кп	Св-08Г2С	0,8-1,4	410-430	540-580	24-29	60-66	130-160	90-130	65-80
Ст3сп	Св-08ГС	0,8-1,4	370-390	520-560	26-32	60-66	120-180	110-150	80-120
Ст4кп	Св-08Г2С	0,8-1,4	410-430	540-580	25-30	60-66	120-170	110-140	70-110
Ст3кп	Св-08Г2С*	1,6	430-450	540-580	22-25	59-60	80-130	55-70	40-60
Ст3кп	Св-08Г2С**	1,6	400-420	520-560	26-30	60-66	120-160	80-90	60-80

* Проволока без прокали. ** Проволока после прокали 200 °С - 2 ч.

Таблица 29. Механические свойства металла, наплавленного газозащитными порошковыми проволоками в CO₂ и Ag+CO₂ диаметром 1,2-1,6 мм (обратная полярность) [54, 64]

Марка проволоки	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость KCV, Дж/см ² , при температуре +20°С
ППс-ТМВ7	430-500	500-600	20-25	50-60
Megafil 713R	≥460	550-650	≥22	≥60
Megafil 710M	≥470	550-650	≥27	≥60
ПП-АН63	≥440	500-650	≥20	≥47

Таблица 30. Механические свойства металла швов и сварных соединений, выполненных в Ag+CO₂

Сталь	Толщина металла, мм	Процесс сварки	Диаметр проволоки, мм	Марка проволоки	σ _т , МПа	σ _в , МПа	δ ₅ , %	Ψ, %	Ударная вязкость KCV, Дж/см ² , при температуре, °С			Состав защитного газа	
									+20	-20	-60		
Ст3сп	6	ИДС**	1,2	Св08Г2С	450	560	29	68	170	90	80	-	Ar+20%CO ₂
	10	Струйный	1,6	Св08Г2С	420	550	26	65	160	75	60	-	
09Г2С	12	Струйный	1,6	Св08Г2С	420	560	26	63	145	65	45	-	
	8	ИДС	1,2	Св08Г2С	450	565	29	68	160	70	48	-	
10ХСНД	16	Струйный	1,6	Св08ГСМТ	540	650	29	63	160	80	65	-	
	5	ИДС**	1,2	Св08ГСМТ	550	680	32	68	170	95	70	-	
09Г2	12	Струйный	1,2	Св08Г2С	550	650	29	65	145	66	50	-	
	5	ИДС**	1,2	Св08Г2С	570	680	30	66	160	70	60	-	
Ст3сп*	12	Струйный	1,6	Св08Г2С	480	590	29	69	150	80	60	-	
	5	ИДС**	1,2	Св08Г2С	500	630	32	70	160	85	60	-	
09Г2С*	20	Струйный	1,2	Св08Г2С	423	552	25,5	67	96	70	41	-	
09Г2*	20	Струйный	1,2	Св08Г2С	477	596	22,0	58,6	102	86	73	44	
10ХСНД*	25	Струйный	1,2	Св08Г2С	490	595	29,3	70,3	196	135	93	65	
	20	Струйный	1,2	Св08Г2С	559	699	21,7	55,1	145	76	56	37	

* Данные [56]. Обратная полярность при сварке проволокой диаметром 1,2 мм, сила тока 260-320 А, расход смеси газа 16-18 л/мин. ** Сварка с КЗ, сила тока 180 А, обратная полярность.

проволока обеспечивает уменьшение разбрызгивания при больших значениях сварочного тока (выше 370 А) и дает существенное улучшение формирования шва [2, 38]. Однако на поверхности шва образуется значительное количество шлака. Сварку углеродистых и низколегированных сталей успешно выполняют также в $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ [2, 21, 67–71]. 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 $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ используют проволоку Св–08Г2С и Св–08Г2СЦ (с церием) и др. [2]. Для сварки низколегированных конструкционных сталей рекомендуется также применять смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$ и $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$. В случае наличия в стали значительного количества марганца применяют проволоку Св–08ГС. Смесь $\text{Ar} + \text{CO}_2$ повышает хладоломкость швов, снижает количество шлака на швах и резко уменьшает разбрызгивание [55, 69, 70, 73].

К среднелегированным относят стали 20ХГС, 25ХГС, 30ХГС, 30ХГСА. Сталь 20ХГС сваривается в CO_2 , $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ и $\text{Ar} + \text{CO}_2$ удовлетворительно, сталь 30ХГС – с некоторыми затруднениями. При толщине металла более 10 мм и жестких соединениях сварку ведут с предварительным подогревом [12].

Сталь 30ХГСА толщиной до 4 мм сваривают без разделки кромок за один проход; при этом шов легируют углеродом, марганцем, кремнием и хромом за счет основного металла. Поэтому для сварки используют проволоку Св–08ГСМ, Св–08ГСМТ, Св–08ХГ2С, Св–08ХГ2СМ, Св–18ХГСО диаметром 1,4 мм с содержанием углерода не более 0,18%. Режимы сварки для среднелегированных сталей выбирают обычно такими же, как и для низколегированных. 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 проволокой Св–08Г2С, Св–ЮГСМТ, Св–08Г2СМ диаметром 1–1,2 мм.

Стали 15ХМА и 20ХМА используют для конструкций, работающих при температуре до 520 °С. Сваривать их рекомендуется проволокой Св–08ХГСМ с предварительным подогревом до температуры 250–300 °С. После сварки соединение подвергают высокому отпуску. Сталь 34ХМ и соединения ее со сталью 20ХЗМВФ реко-

мендуют сваривать проволокой Св–08ХГСМФ с предварительным и сопутствующим подогревом до температуры 350 °С. После сварки соединение подвергают термической обработке [12].

Наплавка в защитных газах плавящимся электродом [12, 29, 38, 49, 51, 53] небольших деталей и деталей малых диаметров производится в CO_2 проволокой диаметром 0,8–1,4 мм на режимах с частыми короткими замыканиями при малых значениях силы тока. Во всех случаях добиваются минимального проплавления наплавляемой детали и максимального коэффициента расплавления электродной проволоки. Успешно наплавляют детали из сталей Ст3, Ст4, стали 30, 40, 40Х и др., а также из серого чугуна. Некоторые режимы наплавки приведены в табл. 31 [12, 51]. Эти технологии широко применяют на ремонтных предприятиях, для ремонта автомобилей и машин сельскохозяйственного назначения.

Вибродуговая наплавка в CO_2 или в смесях $\text{Ar} + \text{CO}_2$ и $\text{Ar} + \text{O}_2$ ведется с вибрацией электродной проволоки вдоль оси, что обеспечивает получение процесса с принудительными короткими замыканиями и обрывами дуги [12, 20, 38, 51]. Используют электродную проволоку Св–08ГС, Св–08Г26, 30ХГСА диаметром 1,0–2,0 мм с теми же вариантами повышения твердости. Эту технологию также широко применяют на ремонтных предприятиях авторемонта и ремонта машин сельскохозяйственного назначения. При наплавке проволокой Св–08ГС, Св–08Г2С наплавленный металл обычно имеет твердость 220–250 НВ. Для повышения твердости после

Таблица 31. Режим наплавки в углекислом газе (постоянный ток, обратная полярность)

Диаметр детали, мм	Толщина слоя, наплавленного за один проход, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Смещение электрода, мм	Шаг наплавки, мм	Вылет электрода, мм
10	0,8	0,8	75–90	17–18	40–45	0–4	2,5–3,0	8–10
20	0,8–1,0	0,8	85–110	18–19,5	40–45	3–5	3,0	8–10
30	1,0	0,8–1,2	90–130	18–20	35–40	5–8	3,0–3,5	10–14
40	1,0–1,2	0,8–1,2	100–140	18–21	30–35	6–10	3,0–3,5	10–14

Примечание. 1. При сварке электродом диаметром 0,8–1,2 мм расход CO_2 составляет 6–7 л/мин. 2. Режим, приведенный для детали диаметром 40 мм, рекомендуется также для наплавки в нижнем положении плоских деталей.

механической обработки наплавленный слой подвергают цементации и термической обработке. При наплавке сталей 40 и 40Х часто используют проволоку 30ХГСА, в этом случае твердость наплавки составляет 245–290 НВ. В ряде случаев для наплавки используют проволоки Св–10Х13, Св–08Х14ГТ, 2Х13, Х17, Св–08Х18Н2ГТ, Св–06Х19Н9Т, Св–07Х18Н9ТЮ, Св–08Х20Н9Г7Т и другие аустенитного класса. Они дают возможность получить наплавленный слой с высокой износостойкостью, а в ряде случаев и коррозионной стойкостью при сварке двухслойных сталей.

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 – ПП–3Х2В8ГТ и ПП–5Х3В11Н4ГТ [12, 51].

При наплавке сплавов бронзы и нержавеющей сталей на углеродистые стали в морском судоремонте применяется импульсно-дуговая наплавка одной или двумя электродными проволоками, расположенными поперек направления наплавки, с защитой дуги аргоном и смесями на основе аргона. Питание двух дуг производится от отдельных источников с поочередным наложением импульсов [23].

Наплавку с принудительным формированием наплавленного слоя специальными водоохлаждаемыми ползунами рекомендуют применять для восстановления изношенных частей поверхностей. Для наплавки используют проволоку сплошного сечения и порошковую.

Технология сварки и наплавки чугуна

Изделия из ковкого и высокопрочного чугуна успешно сваривают и наплавляют в углекислом газе проволокой Св–08ГС, Св–08Г2С, Нп–30ХГСА и порошковой проволокой диаметром 0,8–1,4 мм без предварительного подогрева. В случае необходимости получения металла шва, который можно обрабатывать механически, используют проволоку Св–08ГС и Св–08Г2С. Свойства сварного соединения зависят от силы тока, скорости сварки и техники ее выполнения [21, 38, 41, 49, 51]. При сварке с силой тока 50–100 А, напряжением 18–20 В металл шва имеет феррито-перлитно-сорбитную структуру. Зона термического влияния имеет трооститно-мартенситную структуру с участками ледебурита по линии

сплавления. Трещины в зоне термического влияния отсутствуют. При сварке на больших токах в шве появляется мартенсит и ледебурит, а в ЗТВ – участки отбела и микротрещины. При повышении напряжения увеличивается доля чугуна в металле шва и возможно образование трещин.

Для уменьшения доли основного металла в металле шва наплавку производят с перекрытием предыдущего валика на 1/3 его ширины. Дугу при этом направляют на ранее наплавленный металл. 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 ЗТВ сварку и наплавку выполняют «каскадом» или с наложением отжигающих валиков. При этом металл шва имеет феррито-перлитную структуру без заметных изменений структуры в ЗТВ.

По данным Ф.И. Петренко, при наплавке проволокой Нп–30ХГСА на высокопрочный чугун металл шва состоит из троостита, мартенсита и остаточного аустенита. Твердость металла значительно выше, чем в первом случае. Сварку чугуна со стальными деталями выполняют проволокой Св–08Г2С; 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 облицовкой чугуна путем наплавки его кромок проволокой Св–08ГС или Св–08Г2С. При выполнении основного шва улучшается структура облицовочного слоя и ЗТВ в чугуне.

Сварка в углекислом газе 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 [12, 24, 33, 35, 38, 41, 61].

Для холодной сварки серого чугуна в ИЭС им. Е. О. Патона разработана порошковая проволока ПАНЧ–11 следующего состава: 7,0–7,5% С; 4,0–4,5% Si; 0,4–0,8% Mn; 0,4–0,6% Ti и 0,6–0,9% Al. Данная проволока с учетом окисления элементов и разбавления основным металлом ($\gamma=45-60\%$) при сварке со средней силой тока [41] обеспечивает получение наплавленного металла и зоны сплавления без отбела и трещин. Структура металла шва – феррит с точечным и розеточным эвтектическим афитом. Механические свойства металла шва близки к свойствам основного металла. Исполь-

зование в качестве защиты CO_2 и CO_2+O_2 обеспечивает низкое содержание в шве водорода и малую склонность металла шва к образованию пор.

Сварка нержавеющей и кислотостойких сталей

Сварка нержавеющей высокохромистых сталей [12, 32, 38, 73]. При сварке этих сталей в ЗТВ наблюдается рост зерен и образование закаленного участка, обладающего высокой твердостью и хрупкостью. Стали 08X13 толщиной до 16–20 мм, 12X13 до 12 мм и X13 до 10 мм при малой жесткости соединений сваривают без предварительного и сопутствующего подогрева. Для сварки сталей 08X13 и 12X13 используют проволоки Св–10X13 и Св–06X14, при этом металл шва обладает высокой прочностью и хрупкостью. Для снижения прочности и повышения ударной вязкости до значений, близких к значениям основного металла, необходим отпуск при температуре 700 °С. Если выполнить термическую обработку после сварки невозможно, сталь 08X13 рекомендуется сваривать проволоками аустенитного класса Св–06X25Н12ТЮ, Св–13X25Н18 и др., обеспечивающими получение аустенитно-ферритных швов, обладающих высокой пластичностью. Сварные соединения из сталей 12X13 и С20X13 требуют обязательного высокого отпуска сразу же после сварки. При сварке стали 20X13 толщиной 10–12 мм без предварительного подогрева рекомендуют использовать проволоку Св–08X14ГТ, которая снижает вероятность холодных трещин в шве и обеспечивает удовлетворительные механические свойства сварного соединения после высокого отпуска.

Сталь 1X17Н2 толщиной до 8,0 мм можно сваривать без предварительного подогрева. В случае, когда сварные соединения не подвергаются действию кислот, для сварки можно использовать проволоку Св–10X13 и Св–06X14, которая после отпуска при 700 °С в течение 3 ч обеспечивает получение швов, близких по механическим свойствам к основному металлу. При сварке жестких соединений во избежание образования трещин в кратерах необходима их полная заварка. Если соединения на стали 1X17Н2 подвергаются действию кислот, то для сварки рекомендуется использовать проволоку Св–08X18Н2ГТ. После отпуска при 700 °С сварные соединения обладают вполне удовлетворительными механическими свойствами. Аустенитная проволока при сварке стали 1X17Н2 не

обеспечивает необходимых прочностных и пластических свойств шва, поэтому ее можно использовать только в тех случаях, когда соединения не испытывают значительных нагрузок. Кислотостойкую сталь 1X17 рекомендуется сваривать проволоками типа Х20Н15, Св–06X25Н12ТЮ и др., которые обеспечивают получение металла шва с удовлетворительными механическими свойствами. После сварки целесообразен отпуск при 760 °С. Для сварки соединений, работающих в кислотах, рекомендуется использовать проволоку Св–06X25Н12ТЮ.

Сварка кислотостойких хромоникелевых сталей [12, 32, 38, 41]. Активные защитные газы ($\text{Ar}+\text{O}_2$, $\text{Ar}+\text{CO}_2$, CO_2) обеспечивают окисление водорода, кремния, серы и фосфора в металле шва. В результате повышается стойкость швов против образования горячих трещин. Содержание силикатных включений в швах меньше, чем при сварке под флюсом и ручной дуговой сварке. Недостатком сварки в активных газах является повышенная потеря титана и снижение коррозионной стойкости, а также образование поверхности швов оксидной трудноудаляемой пленки. Одним из способов предотвращения образования пленки является подача небольшого количества флюса. Флюс, расплавляясь, покрывает тонким слоем шов и защищает его от окисления. При использовании смеси $\text{Ar}+2-3\% \text{O}_2$ и порошковой проволоки флюс вводят в состав сердечника. При сварке однопроходными швами стали Х18Н9Т малых толщин, предназначенной для работы в слабоагрессивных средах, в атмосферных условиях и ряде других случаев можно использовать проволоки Св–06X19Н9Т и Св–08X20Н9Г7Т; при этом металл

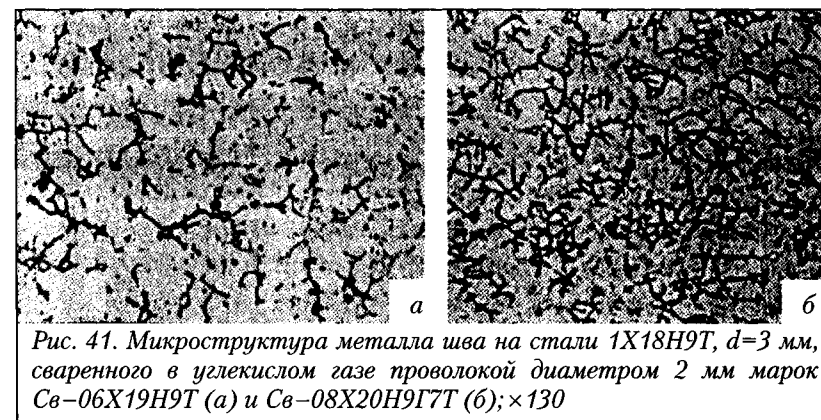


Рис. 41. Микроструктура металла шва на стали 1X18Н9Т, $d=3$ мм, сваренного в углекислом газе проволокой диаметром 2 мм марок Св–06X19Н9Т (а) и Св–08X20Н9Г7Т (б); $\times 130$

Таблица 32. Химический состав металла сварного соединения на стали X18H9T, сваренного в различных активных газах (постоянный ток, обратная полярность)							
Объект исследования	Защитный газ	C	Mn	Si	Cr	Ni	Ti
Проволока Св-06X19H9T	–	0,08	0,99	0,59	18,5	9,60	0,55
Сталь X18H9T	–	0,09	0,90	0,50	18,0	10,21	0,50
Шов	Ar	0,08	0,95	0,54	18,2	9,83	0,48
	Ar+1% CO ₂	0,08	0,93	0,51	18,2	9,82	0,42
	Ar+5% CO ₂	0,08	0,92	0,48	18,2	9,83	0,38
	Ar+20% CO ₂	0,09	0,91	0,47	18,3	9,88	0,38
	CO ₂	0,09	0,87	0,45	18,4	10,10	0,26
Примечание. $I_{св}=230-280$ А, $U_{св}=25-27$ В, $v_{св}=25$ м/ч, расход газа 12 л/мин.							

шва имеет дезориентированную аустенитно-ферритную микроструктуру (рис. 41), удовлетворительные механические свойства и достаточно высокую стойкость против общей и межкристаллитной коррозии [12, 20, 32, 38]. Состав металла шва зависит как от рода активного газа, так и от состава электродной проволоки (табл. 32).

Потеря титана бывает наименьшей при сварке в смеси Ar+1% CO₂. С увеличением количества кислорода, а также с добавлением CO₂ потери титана увеличиваются. При сварке в чистом углекислом газе его потеря максимальна. Содержание углерода в шве при сварке в углекислом газе зависит от его содержания в проволоке. Так, при содержании в проволоке 0,03–0,07% С содержание его в

Таблица 33. Механические свойства швов, выполненных на стали X18H9T толщиной 3 мм сваркой в CO ₂ (обратная полярность)						
Проволока	Диаметр, мм	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, Дж/см ²
Св-06X18H9T	1,2	420–430	620–630	51–53	57–59	100–110
Св-06X18H9T	2,0	400–410	600–610	48–49	54–56	80–95
08X20H9Г7Т	1,2	420–430	625–650	47–49	58–59	110–140
08X20H9Г7Т	2,0	400–410	620–640	46–49	57–58	100–130

шве увеличивается примерно до 0,08–0,12%. При содержании в проволоке 0,08–0,10% С содержание его в шве остается постоянным. При содержании в проволоке более 0,12–0,14% С наблюдается угар углерода.

Для сварки в углекислом газе сталей X18H9, X21H6, X17H5Г9 и X17H4Г9 рекомендуют использовать электродную проволоку Св-08X20H9С2БТЮ и Св-07X18H9ТЮ, сталей X21H6М2Т и X17H13М2Т – Св-06X19H10М3Т и Св-06X20НПМ3ТБ, сталей X14Г14Н, X14Г14НЗТ, X17АГ14 – проволоку, идентичную по химическому составу свариваемой стали (табл. 33).

Сварка оцинкованной стали. Оцинкованный металл применяется для изготовления систем вентиляции, контейнеров, кузовов автомобилей и других изделий, большей частью малых толщин. Толщина слоя цинка на металле колеблется обычно в пределах от 3 до 150 мкм. Сварка оцинкованной стали сопряжена с выгоранием цинка и выделением токсичных газов. Значительное попадание цинка в сварочную ванну при ручной дуговой сварке штучными электродами приводит к образованию пор и трещин. Для предупреждения попадания цинка в шов обычно производят его удаление механическим путем или выжиганием газовой горелкой. Сварка в защитных газах, обеспечивая малую зону разогрева, позволяет сваривать оцинкованный металл без удаления слоя цинка. На практике применяются два способа сварки оцинкованной стали в защитных газах: сварка сплошной проволокой типа Св-08ГС или Св-08Г2С диаметром 0,8–1,2 мм или порошковой проволокой типа Megafil диаметром 1,0–1,2 мм в CO₂ и сварка бронзовыми проволоками типа МНЖКТ, Св-БрКМц3–1 или GS-CuSi3 по DIN1733 в смеси аргона +1% кислорода, аргона с гелием или в аргоне. Сварку в CO₂ выполняют на пониженных напряжениях с частыми короткими замыканиями дуги. Технология сварки обеспечивает малую зону разогрева и выгорание цинка, значительно меньшие деформации тонколистовых конструкций.

Применение бронзовых проволок, имеющих малую температуру плавления (910–1025 °С) при дуговой сварке обеспечивает расплавление проволоки без расплавления кромок стальных листов. Такой процесс является дуговой пайкой. Расплавившаяся проволока сплавляется с цинком и не повреждает защитное покрытие. Механические свойства соединения такие же, как паяного соединения. Для уменьшения тепловложения и разогрева изделия рекомендуется сварка с пульсирующей подачей проволоки и отрывом электрода [24].

Глава 5. Оборудование для сварки в защитных газах

Сварочные аппараты

Комплект оборудования для сварки в защитных газах плавящимся электродом состоит из аппарата для подачи электродной проволоки, источника сварочного тока и блока питания защитным газом.

Сварочные аппараты совместно с источником питания должны обеспечивать качественное начало шва, устойчивое течение и поддержание заданных режимов сварки, а также качественное окончание шва. Для удовлетворения указанных требований прежде всего необходимо обеспечить надежную защиту зоны сварки защитным газом, для чего следует полностью выдуть воздух из газовой системы аппарата и места начала свариваемого соединения 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 защитных газах применяют несколько способов начала и окончания сварки.

Первый способ. Сварку начинают без предварительного закорачивания электрода с изделием, включая газовый клапан и через 1–2 с подавая напряжение источника на электрод и электродвигатель подачи проволоки к изделию. Этот способ обеспечивает хорошее начало только при сварке проволокой диаметром до 1,0 мм при питании от источников с высокими скоростями нарастания силы тока короткого замыкания. При сварке проволокой диаметром 1,2 мм и более для улучшения начала сварки рекомендуется в начале сварки повышать скорости нарастания силы тока короткого замыкания и напряжение источника тока.

Сварку на повышенных значениях силы тока рекомендуется начинать на пониженных скоростях подачи проволоки и только

после зажигания дуги увеличивать скорость подачи до заданных режимом значений.

Второй способ. Сварку начинают с предварительного закорачивания электрода на изделие, после чего включают газовый клапан и через 1–2 с на электрод подают напряжение от источника и включают подачу проволоки к изделию. Для улучшения начала сварки рекомендуют вначале повышать скорости нарастания силы тока короткого замыкания и устанавливать напряжение, заданное режимом сварки или большее, а также заострять конец проволоки путем откусывания по косой линии.

Третий 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 диаметром 3,0 мм и более. Основан на реверсировании электродвигателя подачи проволоки, поэтому неприемлем для сварки проволокой диаметром 0,8–1,4 мм, так как из-за большой скорости подачи в период реверсирования оплавленная проволока с каплей на конце втягивается в токоподвод горелки и заклинивается там.

Другим вариантом начала сварки проволокой диаметром 3,0 мм и более является начало с закорачиванием электрода на изделие через легкоплавкую вставку. После этого включают газовый клапан и через 1–2 с — подачу напряжения на электрод и электродвигатель подачи проволоки к изделию.

Устойчивое течение процесса сварки плавящимся электродом обеспечивается как при постоянной скорости подачи проволоки, так и при подаче с автоматическим регулированием, например при связи скорости подачи с напряжением процесса сварки. Стабильный процесс сварки получают также при пульсирующей подаче проволоки и при сварке с вибрацией электрода. Главное для получения стабильного процесса — постоянство программы изменения скорости подачи, напряжения и силы 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 CO_2 тонкой проволокой диаметром до 1,2 мм на силе тока до 150 А для заварки кратера не требуется изменение режима. При сварке на большей силе тока для заварки кратера и окончания сварки рекомендуется

снижать напряжение и скорость подачи электродной проволоки до 22–25 В и силу тока до 150–180 А. Отключать подачу проволоки, газа и источник тока можно только после заварки кратера и обрыва дуги. При сварке на повышенных значениях силы тока снижение только скорости подачи без снижения напряжения источника питания приводит к повышенному разбрызгиванию.

Аппараты для сварки подразделяют по назначению на станки-автоматы, сварочные установки, самоходные автоматы и полуавтоматы; и по диаметру используемой проволоки — на аппараты для сварки тонкой проволокой (0,8–1,4 мм), проволокой диаметром 1,0–2,0 мм и диаметром 2 мм и более.

Установки для сварки в защитных газах плавящимся электродом состоят из механизма подачи проволоки, сварочной горелки или горелки с гибким шлангом, катушки с запасом проволоки, блока управления, источника питания дуги и газовой аппаратуры блока перемещения горелки или свариваемого изделия. Рассмотрим конструкции этих узлов.

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 менее удобны в работе. При сварке в CO_2 на силе тока до 400 А обычно применяют горелки без охлаждения, и только при сварке на больших токах — горелки с водяным охлаждением, повышающим ресурс сопла и токоподвода.

Простейшая горелка для сварки в CO_2 тонкой проволокой (рис. 42, а) состоит из двух медных трубок, вставленных друг в друга с зазором, по которому газ попадает в сопло, стальной сменной спирали 7, концевых втулок 8 и 9, токоподвода 1 и газового сопла 2. Для надежной подачи тонкой проволоки необходимо, чтобы внутреннее отверстие спирали 7 было в 1,5–2 раза больше диаметра проволоки. 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 (рис. 43). Этого достигают за счет пружинящих свойств самой проволоки или с помощью специальных прижимов.

В изогнутых горелках со снятым токоподводом проволока на выходе должна загибаться в кольцо (см. рис. 43, а), при этом токо-

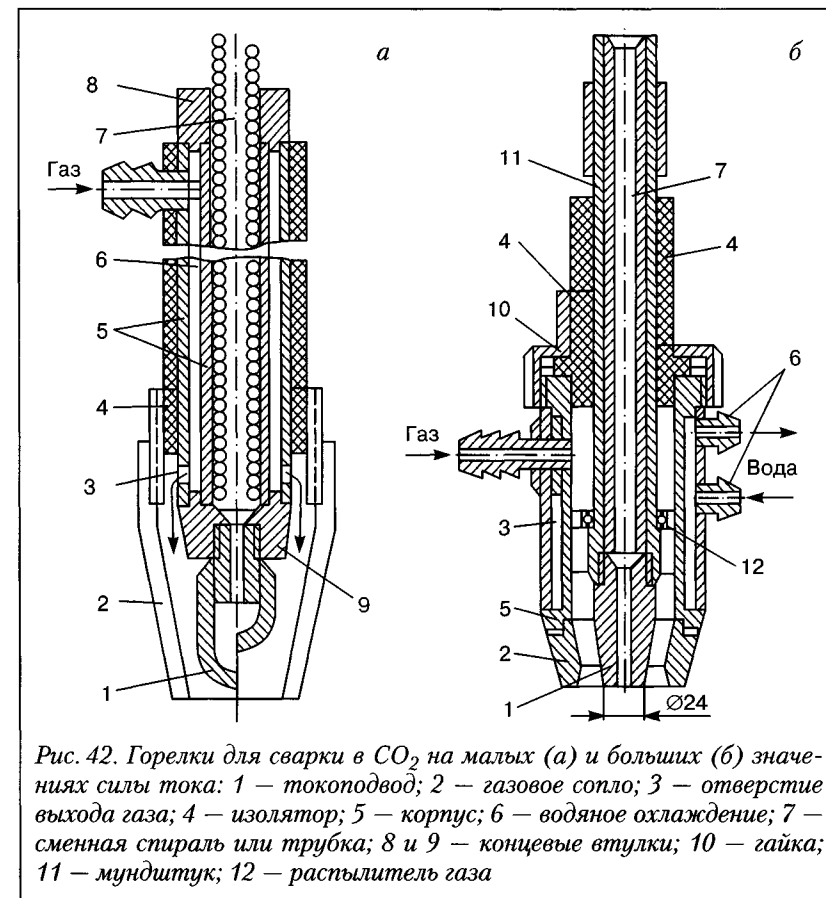


Рис. 42. Горелки для сварки в CO_2 на малых (а) и больших (б) значениях силы тока: 1 — токоподвод; 2 — газовое сопло; 3 — отверстие выхода газа; 4 — изолятор; 5 — корпус; 6 — водяное охлаждение; 7 — сменная спираль или трубка; 8 и 9 — концевые втулки; 10 — гайка; 11 — мундштук; 12 — распылитель газа

подвод с сапожком обеспечивает ее выравнивание и точное направление. В автоматах применяют сварочные горелки, газовые сопла которых 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 CO_2 . Для автоматической сварки тонкой проволокой, когда требуется высокая точность направления электрода к месту сварки, используют токоподводящие наконечники с двумя токоподводами (см. рис. 43, б).

Для обеспечения контакта проволоки с прямыми токоподводами оси отверстий в токоподводе и горелке смещают относительно

друг друга (см. рис. 43, д). Но такие токоподводы обычно быстро изнашиваются. Токоподводы из металлокерамики имеют больший ресурс работы. Однако до сих пор актуальна разработка конструкций простых устройств, принудительно прижимающих проволоку к токоподводу, что намного повышает ресурс работы токоподвода и снижает разбрызгивание при сварке (рис. 44).

Надежность газовой защиты в значительной степени определяется конструкцией горелки. Струя газа должна истекать из сопла сплошным равномерным потоком. С этой целью в горелке для свар-

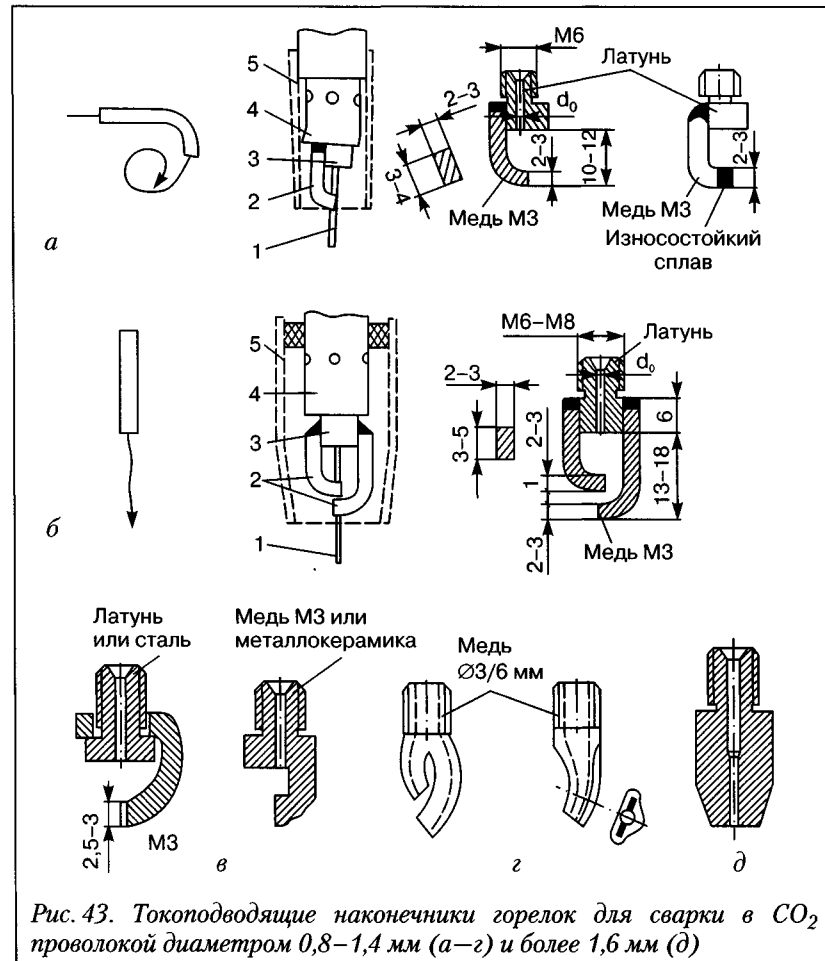


Рис. 43. Токоподводящие наконечники горелок для сварки в CO_2 проволокой диаметром 0,8–1,4 мм (а–г) и более 1,6 мм (д)

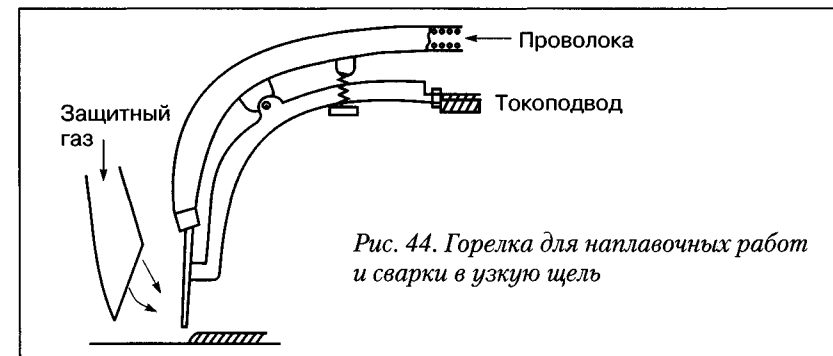


Рис. 44. Горелка для наплавочных работ и сварки в узкую щель

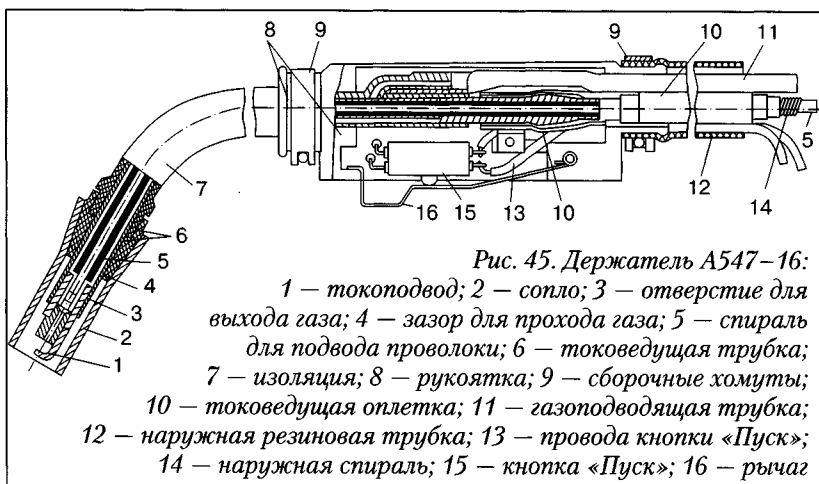
ки тонкой проволокой отверстия для прохода газа в сопло располагают равномерно по окружности, перпендикулярно к оси горелки (см. рис. 30). На пути газа в сопло устанавливают рассекатели или сетки. Сопла для CO_2 делают цилиндрическими или слегка конусными. Металлические сопла изолируют от токоведущих частей. Водяное охлаждение горелки и сопла уменьшает налипание брызг.

Держатели для механизированной сварки в 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, рассчитанные на силу тока 150–630 А (табл. 34).

Таблица 34. Техническая характеристика держателей со шлангами

Тип	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А, при сварке		Диаметр штека, мм, или разъем
		в CO_2	в Ar	
A547-15	0,8–1,0	150	–	12
A547-16	1,0–1,4	350	–	12
ИГДГ201	0,8–1,0	180	150	12–15
ИГДГ201Е	0,8–1,0	200	180	евро
ГДИГ305	0,8–1,2	315	260	12–15, евро
AL2300*	0,6–1,0	230	200	евро
AL3000*	0,8–1,2	300	250	евро
ABMIG**	0,8–1,2	250	220	евро
	1,0–1,6	340	320	евро

* Фирма Fronius. ** Фирма Abicor Binzel.



В серийно выпускаемых держателях А547-16 (рис. 45) используют гибкие шланги двух типов. В шланге 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 и легко ремонтируется. Может быть изготовлен на силу тока 150, 200, 315, 400 и 500 А.

Большинство применяемых гибких шлангов выполнены в виде монолитного кабеля, внутри которого находятся каналы для подачи электродной проволоки и защитного газа, а также провода управления от кнопки «Пуск», размещенной в ручке держателя [35, 38, 45, 62].

Мундштук горелки часто выполняют поворотным или съёмным, что делает горелку более универсальной и удобной в работе. Для удобства работы размеры и масса держателей должны быть как можно меньше. 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.

Механизм подачи электродной проволоки состоит из привода (электродвигателя с понижающим редуктором) и системы роли-

ков, подающих электродную проволоку. Механизм подачи должен обеспечивать подачу проволоки в заданном диапазоне скоростей с усилием, достаточным для преодоления сопротивления при движении проволоки от катушки с запасом проволоки до выхода из токоподвода. В качестве приводов используют асинхронные электродвигатели переменного тока с понижающим редуктором, обеспечивающие ступенчатое изменение числа оборотов выходного вала, и электродвигатели постоянного тока с понижающим редуктором, обеспечивающие плавное изменение числа оборотов выходного вала. Приводы с асинхронными электродвигателями переменного тока обеспечивают поддержание постоянства скорости подачи проволоки без специальных схем управления. Приводы с электродвигателями постоянного тока часто требуют для этого применения специальных схем. Некоторое исключение составляют приводы, позаимствованные из авиационной техники. Они малогабаритные, легкие и, как показал опыт их применения, обеспечивают плавное регулирование скорости подачи проволоки и стабильную подачу проволоки без специальных электронных схем управления. Характеристики некоторых из отмеченных приводов, используемых в сварочных аппаратах, приведены в табл. 35.

Приводы	Диаметр проволоки, мм	Напряжение питания, В	Мощность, Вт	Скорость вращения выходного вала, об/мин	Масса, кг
A547-7*	0,8-1,4	17-27	90	16-90	3,0
A547У1.80*	0,8-1,4	4-28	90	16-90	2,5
A547У1.84*	0,8-1,4	4-28	130	16-90	2,5
Механизмы подачи	Диаметр проволоки, мм	Напряжение питания, В	Мощность, Вт	Скорость подачи проволоки, м/ч	Масса, кг
МП 1*	0,8-1,4	4-28	85	30-340	2,5
МП 3*	1,2-1,8	4-28	130	30-340	2,5
Т-6**	0,8-1,2	42	-	45-420	2,5
Т-61**	1,2-1,6	42	-	45-600	3,0
A547С***	0,8-1,4	24	-	-	2,5
A547Н***	1,2-1,6	36	-	45-600	3,0

* ТОВ Артем-Контакт (Киев). ** Фирма Сопрас. *** БМЗ (Барнаул).

На работоспособность полуавтоматов большое влияние также оказывают конструкция и настройка узла механизма подачи электродной проволоки. В аппаратах для сварки проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм и более подающий ролик обычно делают с канавкой, а прижимной — гладким. Для порошковой проволоки механизм подачи содержит две пары роликов с канавкой, все ролики сделаны ведущими (рис. 46).

В аппаратах типа А547 для сварки проволокой диаметром 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.

Блок управления сварочным циклом [38, 58, 62] предусматривает управление процессом от подачи сигнала на начало сварки и

управление элементами сварочной установки для обеспечения качественного начала шва до прекращения процесса. На рис. 47 показаны наиболее распространенные циклограммы, применяемые в сварочных аппаратах. В сварочных автоматах и полуавтоматах для сварки протяженных швов применяют четырехтактный цикл управления (рис. 47, а). Для начала сварки нажимают и отпускают кнопку пуска К. При этом включаются запоминающее устройство-блок с заранее заданной программой включения и выключения исполнительных элементов сварочной установки и газовый клапан. Защитный газ поступает к месту начала сварки, оттесняя воздух. Затем, с некоторой задержкой во времени, включаются подача напряжения источника питания дуги и двигатель подачи электродной проволоки. Режимы сварки устанавливаются заранее. Для прекращения сварки повторно нажимают кнопку пуска К. При этом выключается питание двигателя подачи электродной проволоки, напряжение источника уменьшается, проволока останавливается и оплавляется дугой. Дуга обрывается. Защитный газ подается и защищает застывающий кратер шва. После обрыва дуги отключается источник питания дуги и газовый клапан.

В полуавтоматах для сварки коротких швов (рис. 47, б) при нажатии кнопки К включаются запоминающее устройство и газовый клапан. После этого, с некоторой задержкой во времени, включаются источник питания дуги и двигатель подачи электродной проволоки, и начинается процесс сварки. Сварка продолжается до тех пор, пока нажата кнопка К. При ее отпускании выключается двигатель подачи электродной проволоки. Скорость подачи проволоки уменьшается, проволока останавливается и оплавляется дугой. Дуга обрывается. Защитный газ подается и защищает застывающий кратер шва. После этого отключаются источник питания дуги и газовый клапан.

В аппаратах для сварки точками (рис. 47, в) предусмотрена упрощенная схема. При автоматической сварке после нажатия кнопки К включаются запоминающее устройство и газовый клапан. С некоторой задержкой во времени включаются источник тока и двигатель подачи электродной проволоки. Запоминающее устройство задает время работы двигателя подачи электродной проволоки, необходимое для сварки одной точки. После этого двигатель подачи электродной проволоки выключается. Источник питания дуги и газовый клапан не выключаются. После заданной выдержки запоминающее устройство подает сигнал на повторное

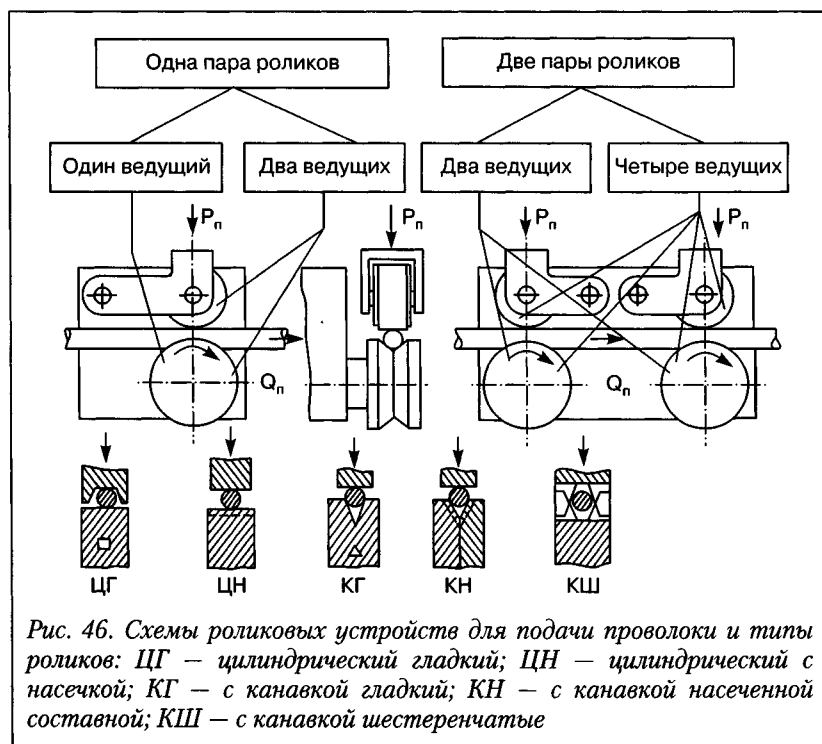
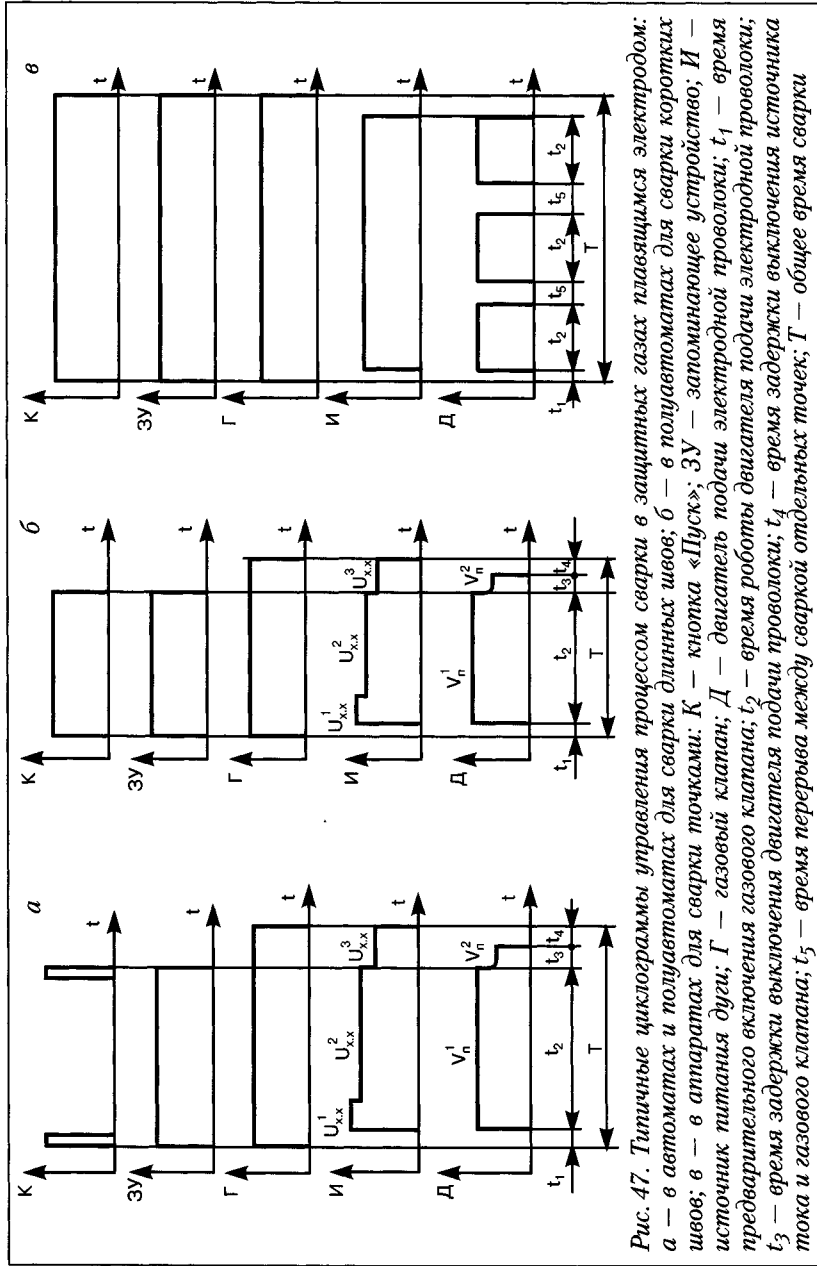
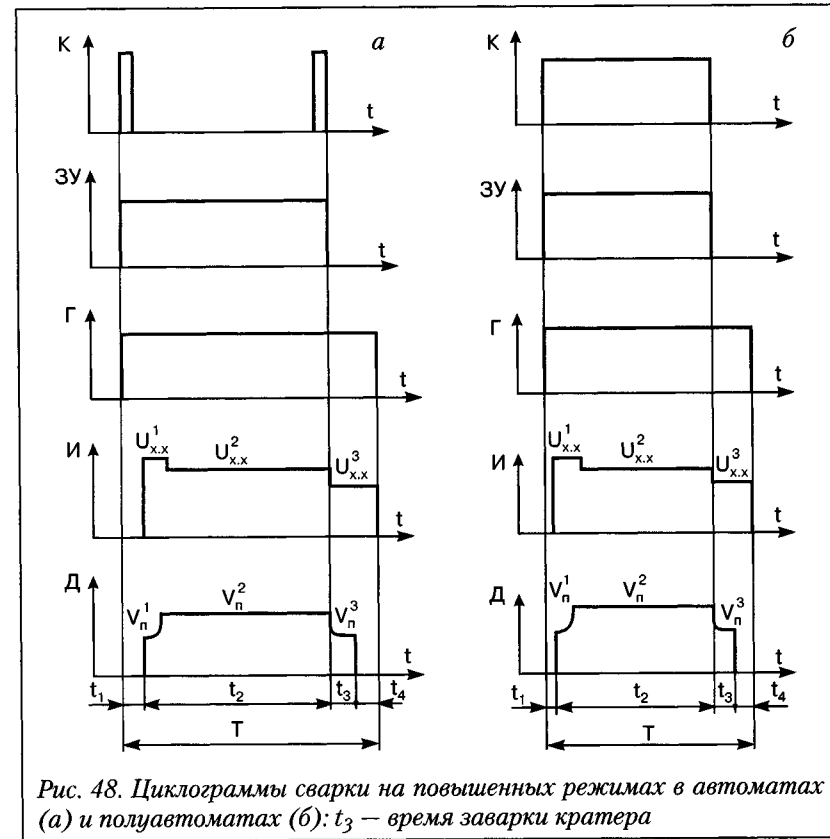


Рис. 46. Схемы роликовых устройств для подачи проволоки и типы роликов: ЦГ — цилиндрический гладкий; ЦН — цилиндрический с насечкой; КГ — с канавкой гладкий; КН — с канавкой насеченной составной; КШ — с канавкой шестерчатые



включение двигателя подачи электродной проволоки и сварки следующей точки. Такой цикл повторяется для сварки заданного числа точек. После сварки последней точки с заданной выдержкой во времени выключаются источник питания дуги и газовый клапан. При полуавтоматической сварке серии точек включение и выключение двигателя подачи электродной проволоки выполняет сварщик кнопкой К.

В программах для сварки на повышенных режимах после подачи команды включается газовый клапан, затем источник и подача проволоки на пониженной скорости подачи проволоки. При окончании сварки уменьшаются напряжение дуги и скорость подачи проволоки, и только после заварки кратера отключаются источник тока и подача газа (рис. 48).



Полуавтоматы — установки для механизированной сварки [12, 24, 38, 61, 69, 70]

К сварочным полуавтоматам относят аппараты, у которых автоматически поддерживается заданный электрический режим сварки, а включение сварки, перемещение дуги вдоль свариваемых кромок и выключение сварки выполняет сварщик вручную. Под термином «полуавтомат для сварки в защитных газах» подразумевается установка, которая состоит из механизма подачи электродной проволоки с катушкой проволоки, блока управления, держателя с гибким шлангом, источника питания дуги и газовой аппаратуры для обеспечения защитным газом (рис. 49). Полуавтоматы для сварки в защитных газах получили широкое применение благодаря простоте работы, не требующей высокой квалификации сварщика, и возможности сварки швов любой формы во всех пространственных положениях. Производительность механизированной сварки выше, чем ручной сварки покрытым электродом.

Сварочные полуавтоматы подразделяют (см. рис. 49):

- по силе тока сварки — до 150; до 250; до 350; до 500 и до 630 А;
- по диаметру и типу сварочной проволоки — на полуавтоматы для сварки проволокой диаметром 0,6–1,4; 1,2–1,6 и 1,6–2,4 мм сплошного сечения и порошковой проволокой до 3,2 мм;
- по конструктивному исполнению (компоновке) — на одноблочные, у которых механизм подачи проволоки и источник питания дуги выполнены в общем корпусе; двухблочные, у которых механизм подачи проволоки и источник тока выполнены в отдельных корпусах; и специальные (монтажные, для сварки мягкой проволокой, со сложными механизмами подачи типа «тяги-толкай», с пульсирующей подачей проволоки и др.);
- по типу подачи электродной проволоки — толкающего типа (проволока, зажатая между подающими роликами, проталкивается через гибкий шланг в горелку); тянущего типа (подающие ролики, размещенные на горелке, протягивают проволоку из катушки через гибкий шланг в горелку); и типа «тяги-толкай», имеющие два механизма подачи проволоки: один у катушки с проволокой толкает проволоку в шланг, а второй, размещенный в начальной части шланга, подтягивает проволоку и проталкивает ее в горелку.

В настоящее время полуавтоматы для сварки в защитных газах изготавливают многие фирмы. Однако устройство их в большинст-

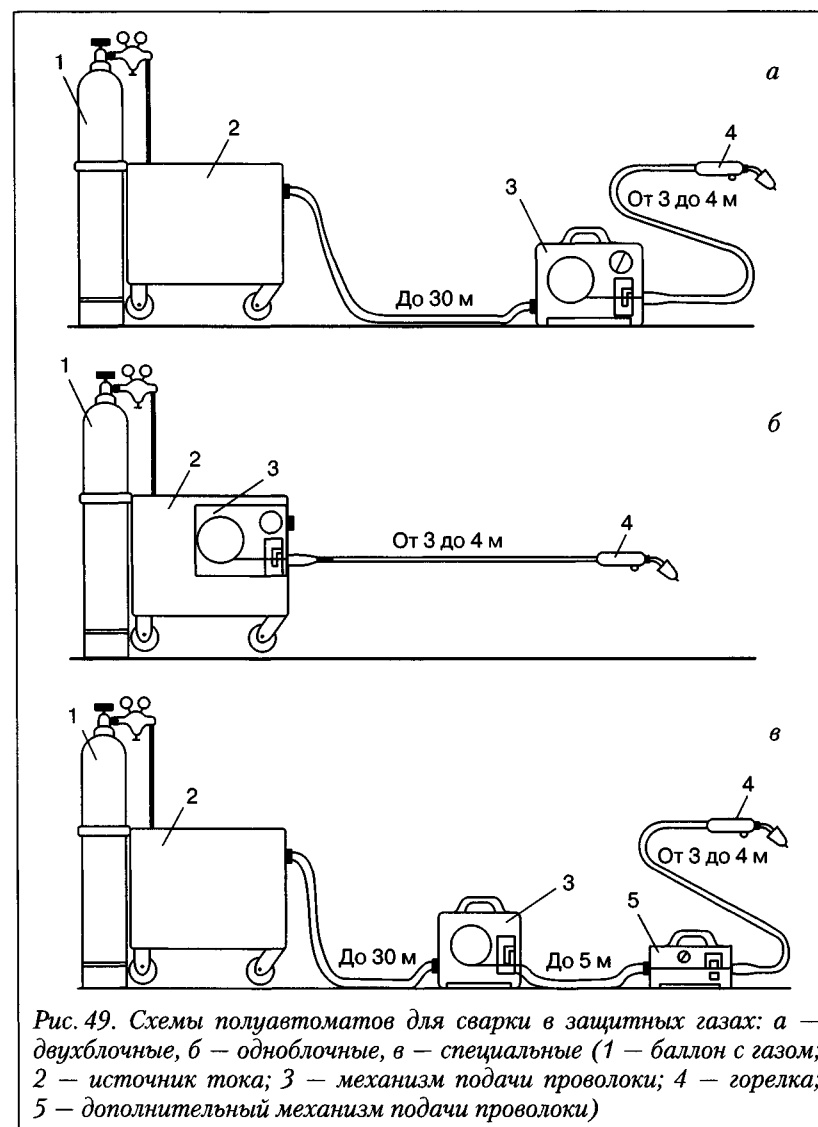


Рис. 49. Схемы полуавтоматов для сварки в защитных газах: а — двухблочные, б — одноблочные, в — специальные (1 — баллон с газом; 2 — источник тока; 3 — механизм подачи проволоки; 4 — горелка; 5 — дополнительный механизм подачи проволоки)

ве одинаковое и определяется силой тока сварки и диаметром электродной проволоки. Условные обозначения полуавтоматов оговорены ГОСТ 18130–79 и ДСТУ ІЕС–60974–1:2003, действующими в Украине. Однако фирмы-изготовители не всегда придерживаются

рекомендаций ГОСТ 18130–79 и дают полуавтоматам свои наименования, в которых значения силы тока не соответствуют ПВ=60%.

Техническая характеристика некоторых полуавтоматов, изготавливаемых в Украине, приведена в табл. 36.

Полуавтоматы на силу тока 100–160 А для сварки проволокой диаметром 0,6–1,2 мм в основном изготавливают одноблочными с питанием от однофазной или трехфазной сети. Широко применяются в авторемонте. Приводы подачи проволоки устроены на основе приводов автомобильных стеклоочистителей с питанием на 12 или 24 В или более надежных устройств. Электросхемы упрощены и редко имеют программы предварительной подачи защитного газа и программы заварки кратера, хотя выполнены часто в виде электронных блоков. В табл. 36 приведены представители этой группы – полуавтомат ПДГ–101 одноблочный и 547Д1 двухблочный. Электрическая схема питается от напряжения сварки. Предварительную подачу газа обеспечивает газовый редуктор У–30П дроссельного типа и эластичная газоподводящая трубка до газового клапана, установленного в механизме подачи проволоки. Источник питания обычно диодный выпрямитель со ступенчатым изменением рабочего напряжения.

Полуавтоматы на силу тока 250–400 А для сварки проволокой диаметром 0,8–1,4 мм или 0,8–1,6 мм широко применяют во многих отраслях промышленности. Изготавливаются одно- и двухблочными. Конструктивно можно выделить полуавтоматы с малогабаритным переносным механизмом подачи с катушкой проволоки на 5 кг, механизмом подачи с катушкой проволоки на 15 кг и передвижные с бухтой проволоки на 25 кг. В настоящее время многие фирмы серийно изготавливают переносные подающие механизмы двухблочных установок для механизированной сварки, именуя их полуавтоматами. Электрическая схема часто смонтирована в отдельном блоке. Источник тока предлагают отдельно. Такой вариант исполнения приемлем для работы с конкретным источником тока. Типичными представителями этого класса являются полуавтоматы А–547УМ, «Гранит–3» и КП–016.

Полуавтоматы типа А–547УМ и А–547УМ1 (ПДГ–309УЗ) состоят из малогабаритного механизма подачи электродной проволоки толкающего типа, пульта управления и двух держателей на силу тока 150 и 350 А (рис. 50). В комплект полуавтомата также входит газовый редуктор типа У30 с подогревателем углекислого газа. Механизм подачи с катушкой проволоки на 5 кг, а также уста-

Таблица 36. Техническая характеристика некоторых полуавтоматов, изготавливаемых в Украине

Тип	Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А, при ПВ=60%	Скорость подачи, м/ч	Масса механизма подачи/выпрямителя, кг	Выпрямитель	Изготовитель
ПДГ–101–1	0,6–1,4	–	100–600 плавное	30**	В комплекте	СЭЛМА
547 Д1	0,6–1,2	50–160	115–960 плавное	7,4/80	И–198	Артем-Контакт
ПДГ–251	0,8–1,4	200	160–960 плавное	110**	В комплекте	СЭЛМА
А547УМ	0,8–1,4	90–375	115–960 плавное	7,4/200	ВС–300Б	Артем-Контакт, ЭЛКОН
А547УМ-4, П/П–300К*	0,8–1,6	50–315	30–700	10/48	ВДУЧ–315*	Коммунар, АМИТИ
П/П–402*	0,8–1,6	60–400	50–1000 плавное	10/230	ВДГ25–402*	
П/ПГ–312 5	0,8–1,6	50–315	40–960	20/200	ВДГ–303–3	СЭЛМА
КП016*	0,8–1,6	90–315	120–1200 плавное	27/205	КИУ–301	КЗЭСО
	ПП 1,2–1,6					
П/ПГ–508М	1,2–2,0	120–500	120–1200 27 ступ.	24/275	КИУ–501	КЗЭСО
	ПП 1,2–2,0	60–500				
П/ПГО–511	1,2–2,0	100–630	100–960 плавное	15/300	ВДУ–511	СЭЛМА
	ПП 1,6–3,2					
П/ПГ–630*	1,2–2,0	60–650	50–600	10/270	ВДГ–25–630	АМИТИ
	ПП 1,2–3,2	250–700	250–1200			
ПДГ–603	–	60–500	98–1200	18/275	КИУ–501	КЗЭСО
ПДГИ–401	1,2–2,0	50–400	100–960 плавное	12/205	ВДГИ–401	СЭЛМА
VS–357***	0,8–1,6	40–350	30–1320 плавное	143**	В комплекте	Фрониус Украина
VS–357–2	0,8–1,6			13/140		
VS–457	0,8–1,6	40–450	30–1320 плавное	168**		
VS–457–2	0,8–1,6			13/155		
TPS–5000	0,8–1,6	3–450	30–1320	11,2/35,6		

* Точережимные. ** Одноблочный (остальные – двухблочные). *** Варио Стар.

новленные в нем реостат регулировки скорости подачи проволоки и газовый клапан размещены в переносном корпусе массой 7,4 кг. Блок управления размещен в отдельном корпусе. Электрическая схема питается от напряжения сварки. Полуавтоматы серийно изготавливает ОАО «Артем-Контакт» (Киев) в двух модификациях: А547УМ — на базе привода с электродвигателем Д90 с обмотками возбуждения и контактором, разрывающим сварочную цепь, и А547УМ1 — на базе новых электродвигателей (типа А547у-1.80 на 90 Вт и А-547у 1.81 на 130 Вт на постоянных магнитах) без контактора. На рис. 51 приведены электрические схемы полуавтоматов.

В схемах предусмотрена задержка отключения защитного газа на 1,5–3 с после размыкания кнопки «Пуск». Полуавтоматы А-547уМ могут комплектоваться выпрямителями ВС-300Б со ступенчатым (32 ступени) изменением напряжения (изготовитель ООО «Элкон», Киев), ВДГ25-401 с плавным дистанционным изменением напряжения (изготовитель ОАО «АМИТИ», Николаев), а также другими источниками тока с пологопадающей внешней характеристикой.

Полуавтомат типа «Гранит ЗУЗ» на силу тока 400 А для сварки проволокой диаметром 1–1,6 мм конструктивно подобен полуавтомату А-547УМ. Состоит из переносного подающего механизма, блока управления, двух держателей на 250 и 400 А и газового редуктора. Питание блока управления производится от сети 380 В или дополнительного источника тока на 36 В. В электрической

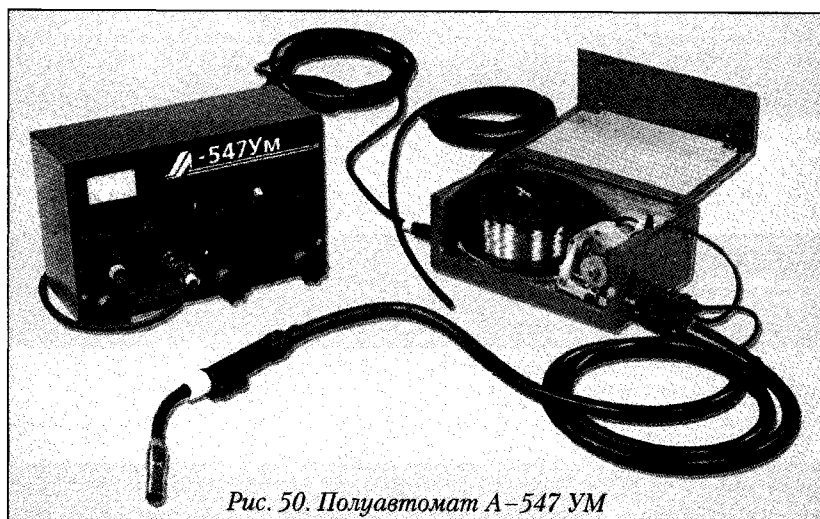


Рис. 50. Полуавтомат А-547 УМ

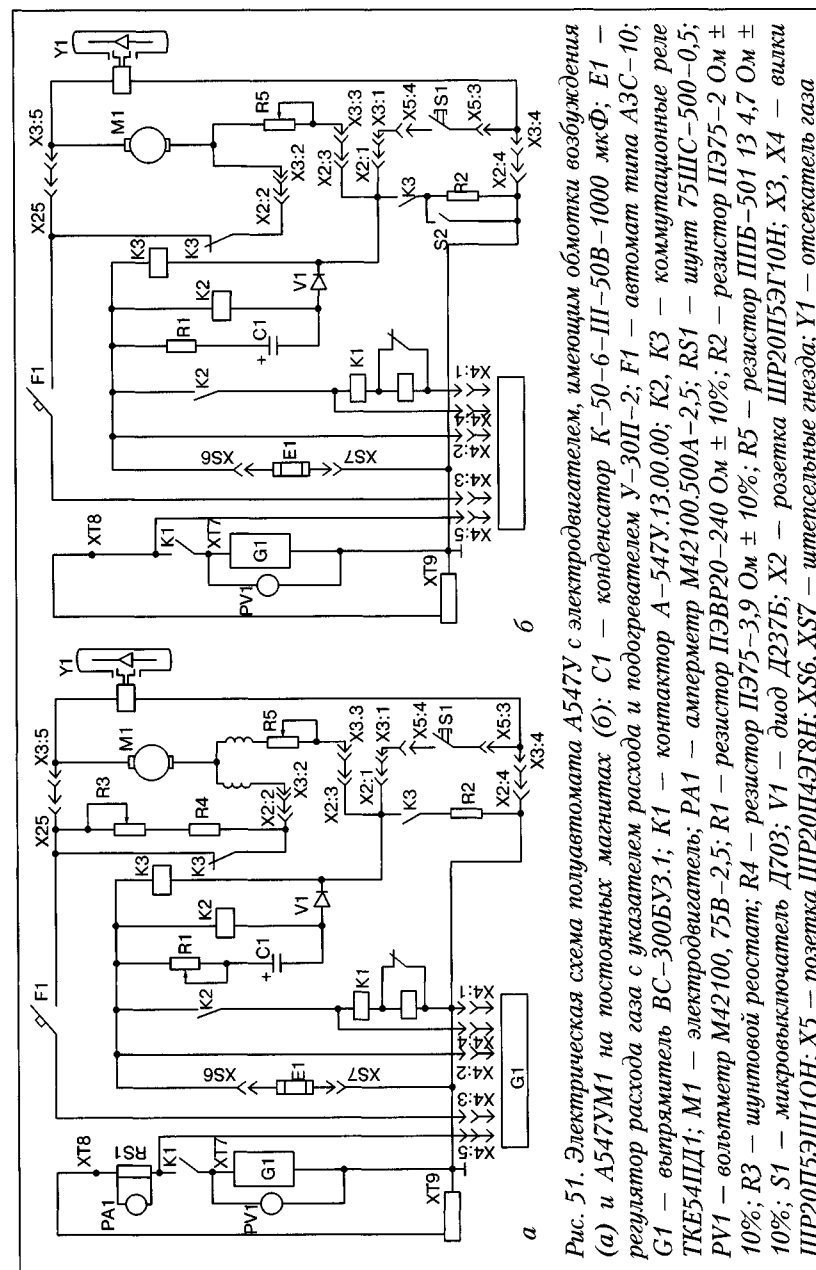


Рис. 51. Электрическая схема полуавтомата А547У с электродвигателем, имеющим обмотки возбуждения (а) и А547УМ1 на постоянных магнитах (б): С1 — конденсатор К-50-6-III-50В-1000 мкФ; Е1 — регулятор расхода газа с указателем расхода и подогревателем У-30П-2; F1 — автомат типа АЗС-10; G1 — выпрямитель ВС-300БУЗ.1; K1 — контактор А-547У.13.00.00; K2, K3 — коммутационные реле ТКЕ54ПД; M1 — электродвигатель; PA1 — амперметр М42100.500А-2,5; RS1 — шунт 75ПС-500-0,5; PV1 — вольтметр М42100, 75В-2,5; R1 — резистор ПЭ75-3,9 Ом ± 10%; R2 — резистор ПЭ75-2 Ом ± 10%; R3 — шунтовой реостат; R4 — резистор ПЭ75-3,9 Ом ± 10%; R5 — резистор ППБ-501 13 4,7 Ом ± 10%; S1 — микровыключатель Д703; V1 — диод Д237Б; X2 — розетка ШР20П5ЭГ10Н; X3, X4 — вилки ШР20П5ЭШ10Н; X5 — розетка ШР20П4ЭГ8Н; X56, X57 — штепсельные гнезда; Y1 — отсекатель газа

кой схеме предусмотрена задержка отключения газового клапана на 1,5–3,0 с после отпускания кнопки «Пуск». В качестве источника тока могут использоваться выпрямители ВДГ25–401, ВДУ25–506 или ВДУ–506. Подобные полуавтоматы «Гранит-3УЗ» полуавтоматы КП016 изготавливает Каховский завод электросварочного оборудования (Украина). В них предусмотрена возможность работы на двух заданных режимах.

Полуавтомат А547УМ4 конструктивно подобен полуавтомату А547УМ. Механизм подачи выполнен на базе электродвигателя с постоянными магнитами мощностью 130 Вт, с четырехроlikовой приставкой подачи проволоки. Комплектуется инверторным выпрямителем ВДУЧ–350 или ВДУЧ–350Т на амортизаторах, обеспечивающих его перевозку автотранспортом. Изготавливает полуавтомат ООО «Артем-Контакт», а выпрямители – ГНПО «Коммунар» (Харьков).

Двухрежимный полуавтомат А–547–2 предназначен для сварки в монтажных условиях. Механизм подачи смонтирован в переносном закрытом чемоданчике совместно с блоком управления, газовым клапаном и катушкой для проволоки на 5 кг. Возможно использование еврокатушек. Привод с электродвигателем постоянного тока на 130 Вт и четырехроlikовым устройством подачи проволоки. Электрическая схема обеспечивает дистанционное переключение тока и напряжения в двух заранее заданных диапазонах, а также сварку с модуляцией режима. Имеются также программы «горячего старта» и заварки кратера. Комплектуется двухрежимным выпрямителем ВД25–402 или ВДУЧ 350.

Полуавтомат ПДГ–508М толкающего типа, двухблочный, состоит из переносного подающего механизма открытого типа с катушкой для электродной проволоки на 12 кг, блока управления и горелки с гибким шлангом. Привод полуавтомата выполнен на базе асинхронного электродвигателя и шестеренчатого редуктора с 27 ступенями изменения скорости подачи электродной проволоки. Поставляется с двух- или четырехроlikовым устройством подачи проволоки. Комплектуется по заказу выпрямителем КИУ–506, обеспечивающим плавное изменение напряжения сварки. При комплектации выпрямителями КИГ–401 и КИГ–601 напряжение изменяется ступенчато: соответственно 40 или 60 ступеней.

Полуавтомат ПДГ25–500 (А1197) – двухблочный для сварки на силе тока до 500 А проволокой диаметром 1,2–2,0 мм. Подающий механизм смонтирован на передвижной раме вместе с блоком

управления, газовым клапаном и катушкой для электродной проволоки до 25 кг. Привод с электродвигателем на 130 Вт с плавным изменением скорости подачи проволоки от 80 до 1000 м/ч. В комплект полуавтомата входит подающий механизм с блоком управления, газовый редуктор с подогревателем газа У–30П и выпрямитель ВДГ25–506 (ОАО НПФ «АМИТИ»).

Полуавтомат ПДГИ–401 в комплекте с выпрямителем ВДГИ–401 предназначен для импульсно-дуговой сварки в аргоне алюминия и других цветных металлов, а также для сварки в СО₂ и смесях газов проволокой диаметром 0,8–1,6 мм. Изготовитель – фирма «СЭЛМА».

В последние годы на предприятиях все шире применяют полуавтоматы зарубежных фирм (Fronius, Messer Grisehm, ESAB, Kemppi, SEMONT и др.). Модели последних разработок – инверторные, универсальные и синергетические, содержат программы управления, в которых заложены оптимальные сочетания напряжения и силы тока сварки, реализуемых при номинальном напряжении сети питания, которое в Европе установлено 400 В. Программы заданы для нескольких технологических вариантов сварки. Однако реализация таких программ требует соблюдения высоких требований, предъявляемых нормами ISO EN, к питающей сети переменного тока, качеству сборки соединений, качеству сварочных материалов и чистоте свариваемых кромок.

Эффективность применения полуавтоматов в цехах в большой степени определяется организацией рабочего места сварки, использованием вспомогательного оборудования и централизованного питания защитными газами. Рекомендуется механизмы подачи проволоки и катушки с проволокой устанавливать на поворотных консолях, подвижных тележках, перемещающихся по направляющим. Необходима также организация в цехах службы обеспечения проволокой и ремонта держателей.

Установки для автоматической сварки

Устройство АКР 334 представляет собой легкую тележку с приводом А547У1.84 (130 Вт), которая перемещается по направляющей из необработанного уголка 50×50 мм, копирующей направление свариваемого соединения, или по направляющим, установленным на свариваемое изделие. Скорость перемещения регу-

лируется плавно от 0 до 72 м/ч. Габаритные размеры тележки 200×200×225 мм, масса 6,5 кг.

Станки-автоматы применяют для сварки деталей с односторонними швами либо односторонних деталей серийного или массового производства.

Станок-автомат типа Р-912 (рис. 52) предназначен для сварки деталей с кольцевыми швами диаметром 4–280 мм при вертикальной оси вращения детали (рис. 53). Сварку ведут проволокой диаметром 0,8–1,4 мм на силе тока до 315 А. Станок состоит из сварочной головки с горелкой, трехпозиционного поворотного стола с вращающимися цанговыми зажимами, станины, в которой смонтирована электроаппаратура управления станком, катушки с запасом электродной проволоки, источника питания и газовой аппаратуры. Установка и снятие деталей, а также поворот стола из одного положения в другое выполняют вручную. Электрическая схема станка проста и обеспечивает возможность выполнения сварки по следующим циклам:

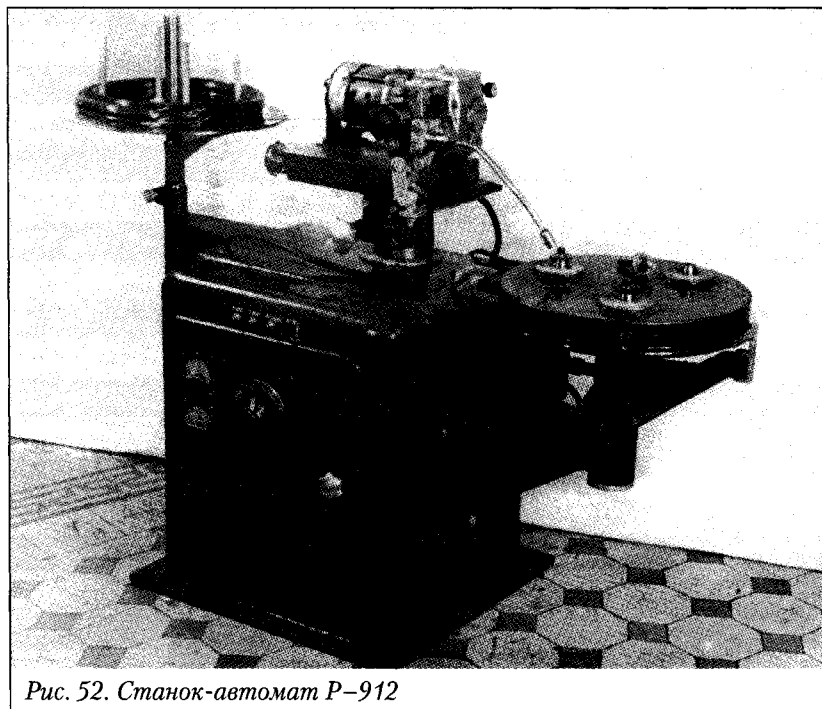


Рис. 52. Станок-автомат Р-912

- ручную — начало и окончание сварки каждой детали выполняет оператор;
- полуавтоматически — начало сварки производит оператор, окончание — автоматически с помощью реле времени;
- автоматически — начало сварки задается конечным выключателем при установке стола в рабочее положение, а окончание — автоматически с помощью реле времени.



Рис. 53. Внешний вид детали, сваренной на станке Р-912

В настоящее время разработано много станков-автоматов, в том числе:

- **станок-автомат Р-899** для сварки пустотелых шаров диаметром примерно 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 диаметром 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 сваренной детали производятся автоматически. Сварочные станки-автоматы успешно работают в поточных и автоматизированных линиях, обеспечивая высокое качество изделий.

Сварочные установки предназначены для сварки односторонних деталей в мелкосерийном и индивидуальном производствах. Установки состоят из сварочной головки, манипулятора или вращателя, источника питания током и газовой аппаратуры. В качестве сварочных головок часто используют падающие механизмы полуавтоматов типа А-547УМ, А-825М, 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 подвесные головки типа А-489, построенные на базе сварочной головки типа А. Разработано значи-

тельное количество сварочных установок, например, типа А-3 — для сварки кольцевых швов диафрагм паровых турбин диаметром 924–1160 мм; типа А-95У — для сварки тракторных колес; типа Р-922 М — для наплавки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей деталей диаметром до 645 мм и длиной до 1200 мм. В сварочных установках используют также подвесные автоматы А 1406 и самоходные автоматы А 1416, перемещающиеся по направляющим. Автоматы рассчитаны на силу тока до 500 А и до 1250 А; в первых применяется электродная проволока диаметром 1,2–2 мм, во вторых — диаметром от 2 до 5 мм.

Сварочные автоматы-тракторы перемещаются по свариваемому изделию.

Сварочный автомат-трактор АДГ-502 предназначен для сварки на силе тока до 500 А проволокой диаметром 1,2–2 мм в защитных газах. 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-трактор АДГ-601 предназначен для сварки на силе тока до 630 А проволоками диаметром 2–4 мм, скорость подачи которых изменяется от 60 до 360 м/ч; скорость сварки регулируется плавно от 12 до 120 м/ч. Масса автомата 85 кг.

Комплект малогабаритных сварочных автоматов А-1698 предназначен для сварки угловых швов катетом 4–8 мм в нижнем положении. Сварка ведется проволокой диаметром 1–1,4 мм на токах до 350 А, скорость сварки изменяется ступенчато в пре-

делах 15–45 м/ч. Автоматы обеспечивают копирование швов и имеют правое и левое расположение сварочной горелки, что позволяет устранять недочеты в конце соединения. Габаритные размеры автоматов 420×220×280 мм, масса (без электродной проволоки) 15 кг. На катушке помещается 4–5 кг проволоки.

Малогабаритный сварочный автомат А-820К (рис. 54) предназначен для сварки угловых швов катетом 4–8 мм в нижнем положении при переменной кривизне вертикальной полки высотой 40–125 мм. Сварку ведут проволокой диаметром 1–1,4 мм на силе тока до 350 А. Скорость сварки изменяется от 15 до 30 м/ч. Автоматы **А-820К**, **А-1150У**, **АД-333МУ** предназначены для сварки вертикальных стыковых швов; **А-1679У** — угловых вертикальных швов. Размеры автоматов 390×330×380 мм, масса (без электродной проволоки) 20 кг. На катушке помещается 4–5 кг проволоки.

Трактор ТС-42 предназначен для сварки стыковых и нахлесточных соединений стали средних толщин на токах до 500 А сплошной и порошковой проволокой диаметром от 1,2 до 4,0 мм. Разработан в ИЭС им. Е. О. Патона.

Трактор ТС-49, также разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона, предназначен для сварки стыковых и нахлесточных соединений сталей толщиной от 0,5 до 3,0 мм на токах до 300 А сплошной и порошковой проволокой диаметром от 0,8 до 1,2 мм. Сварка выполняется между двумя медными роликами, сжимающими свариваемые листы.

Для использования при сварке в CO_2 , CO_2+O_2 , и CO_2+Ag тракторов типа ТС-17М и ТС-17Р разработаны дополнительные узлы-приставки: А-534 — для сварки проволокой диаметром 1,6–4 мм; А-611 — для сварки проволокой диаметром 0,8–1,2 мм; А-770 и А-931 — для сварки проволоками диаметром 1,4–4 мм с поперечными колебаниями электрода.

Сварочные роботы

Сварочные роботы — установки для автоматической сварки изделий, управляемые электронными системами как по заранее заданным программам, так и по программам с автокоррекцией. Системы электронного управления обеспечивают быструю смену технологических процессов сварки узлов со швами сложной конфигурации, выполнение сварочных работ при высокой степени автоматизации технологических циклов и высокое качество сварных со-

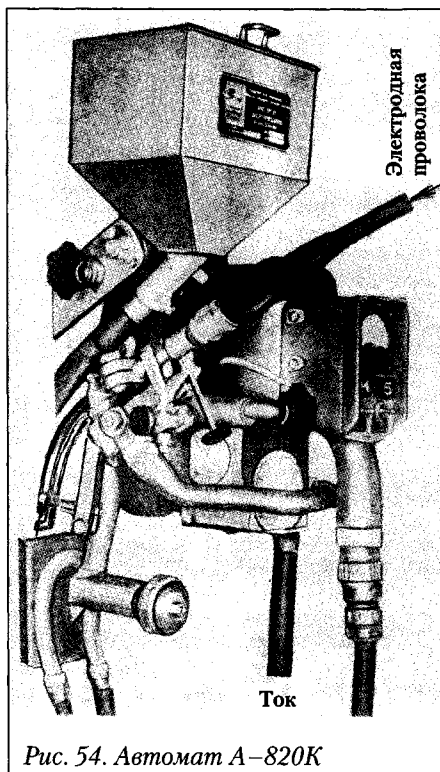


Рис. 54. Автомат А-820К

единений при высокой производительности. При создании робототехнических комплексов обычно предусматривают обеспечение экологической безопасности, жестко регламентированной требованиями стандартов.

При выборе промышленных роботов-манипуляторов для сварки в защитных газах плавящимся электродом оценивают в первую очередь параметры необходимого перемещения сварочной горелки для выполнения самого процесса и вспомогательных операций при подготовке к сварке (количество степеней свободы, механическая структура робота). Учитываются габариты и масса свариваемых изделий, необходимая точность позиционирования, скорость перемещения и изменение положения горелки. Иногда в комплексе робота-манипулятора совмещают операции по сборке деталей, их сварке и складированию.

В соответствии с принятой международной классификацией роботы-манипуляторы делят на специализированные и многоцелевые. Роботы, реализующие технологические процессы сварки, отнесены Международной федерацией роботов к классу IFK160.

В настоящее время роботы, реализующие технологии сварки, применяются в основном в автомобилестроении, строительном дорожном машиностроении и энергомашиностроении при сварке узлов мелкосерийного и серийного производств со швами сложной формы и различной длины, когда требуется частая смена технологий сварки [62]. Наиболее часто используют сварку сталей в смесях аргона с 20–25% CO_2 электродной проволокой диаметром 1,2 мм на токах струйного переноса электродного металла или импульсно-дуговую сварку в смесях аргона с 10–15% CO_2 , реже — сварку в CO_2 порошковой проволокой на режимах, которые обеспечивают минимальное разбрызгивание и хороший внешний вид швов. При наплавке применяют порошковую проволоку. В качестве сварочных головок часто используют механизмы подачи проволоки полуавтоматов и держатели с гибкими шлангами. В циклах работы предусматривают операции по контролю положения электрода в начале сварки. После сварки каждого шва откусывают лишний выбег электродной проволоки и ее оплавленного конца, покрытого шлаком, что обеспечивает хорошее начало сварки следующего шва. После сварки нескольких деталей в программу работы включают операции по очистке сопла от брызг и его опрыскивание составом, уменьшающим прочность прилипания брызг к соплу и токоподводу горелки.

Для упрощения циклограмм работы роботов целесообразно использовать приемы, улучшающие начало и окончание сварки, а также сварочные горелки с токоподводами, обеспечивающими надежный контакт с электродной проволокой в нижней части накопника. При использовании роботов необходимо предусматривать меры по предупреждению механических травм обслуживающего персонала, удалению аэрозолей и повышению защиты от излучения дуги — не только прямого, но и отраженного.

Источники тока

Сварку в CO_2 и смесях CO_2 с O_2 и Ar плавящимся электродом выполняют на постоянном токе. Используют источники питания, обладающие пологопадающими, жесткими, комбинированными и падающими внешними характеристиками. По динамическим свойствам применяемые источники питания можно разделить на источники с низкими скоростями нарастания силы тока короткого замыкания $dI_{к.з.}/dt=10-30$ кА/с, со средними $dI_{к.з.}/dt=40-60$ кА/с, высокими $dI_{к.з.}/dt=70-200$ кА/с и очень высокими $dI_{к.з.}/dt>200$ кА/с. Для питания импульсной дуги применяют специальные источники [10, 14, 16, 25, 38 и др.]. Выбор статических и динамических характеристик источников диктуется диаметром электрода и методом сварки [12, 25, 38, 62 и др.].

Для сварки в 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 (0,6–1,4 мм) на режимах с частыми короткими замыканиями рекомендуются источники с пологопадающей или комбинированной внешней характеристикой и высокими скоростями нарастания силы тока короткого замыкания [7, 24, 38, 44].

Для сварки без коротких замыканий используют источники питания с пологопадающими и комбинированными внешними характеристиками, с высокими или средними скоростями нарастания силы тока короткого замыкания. Оптимальные для большинства случаев скорости нарастания силы тока короткого замыкания равны 70–110 кА/с. Указанные источники в наибольшей степени интенсифицируют саморегулирование дуги и обеспечивают высокую стабильность процесса сварки. Для сварки порошковой проволокой рекомендуются источники питания с пологопадающими внешними характеристиками и высокими скоростями нарастания силы тока короткого замыкания.

Для сварки с крупнокапельным переносом и редкими короткими замыканиями в CO_2 проволокой Св-08Г2С диаметром более 1,6 мм рекомендуют использовать источники с пологопадающей, комбинированной и падающей внешней характеристикой и низкими скоростями нарастания $I_{к.з}$ [7, 24, 38, 44]. Некоторые рекомендуемые пределы оптимальных скоростей нарастания силы тока короткого замыкания для сварки проволокой сплошного сечения, обеспечивающие качественное начало и стабильное течение процесса, приведены в табл. 37.

Для сварки в нижнем положении с хорошим формированием и небольшим разбрызгиванием скорость нарастания силы тока короткого замыкания намного ниже, чем для хорошего начала процесса. Поэтому рекомендуется в начале сварки повышать скорости нарастания силы тока короткого замыкания. Это повышение выполняется следующими методами:

- шунтированием части витков дросселя;
- шунтированием дросселя нихромовым сопротивлением [23]. В начале процесса его электрическое сопротивление невелико и индуктивность дросселя мала; по мере нагрева проходящим током оно увеличивается, сила шунтирующего тока уменьшается, и индуктивность дросселя растет;

- переключением обмоток дросселя выпрямителя;
- выполнением дросселя с дополнительными обмотками, изменяющими магнитный поток в его сердечнике;
- включением параллельно основному источнику тока низковольтного выпрямителя с $U_{х.х}=10-15$ В с высокими скоростями нарастания силы тока короткого замыкания.

Для улучшения начала сварки рекомендуют заострять электрод, откусывая его конец.

Сварочные выпрямители считаются перспективным типом источников постоянного тока. КПД выпрямителей выше, чем у генераторов, масса меньше, а стоимость эксплуатации ниже. Выпрямители для сварки в защитных газах делят по форме внешней характеристики на выпрямители с жесткой, пологопадающей, падающей и комбинированной ВАХ; по питающей сети — на однофазные и трехфазные (табл. 38); по конструкции — со ступенчатым, плавно-ступенчатым и плавным изменением выходного напряжения, работающие на промышленной частоте и высокочастотные инверторы, чопперы, копперы; по форме вторичного напряжения и тока — на выпрямители постоянного тока и импульсно-дуговые; по силе тока сварки — до 160–180 А, 315, 500, 630, 1200, 1600, 2000 А и более.

Однофазные выпрямители изготавливают обычно на малые значения силы тока до 150 А с падающей внешней характеристикой с плавным и ступенчатым изменением напряжения. Выпрямитель состоит из понижающего трансформатора с секционированными первичной и вторичной обмотками, выпрямительного блока, который набран из кремниевых вентилях и дросселя во вторичной цепи. Для снижения пульсаций выпрямленного тока в выпрямленную цепь включают конденсаторы на $(50-70) \cdot 10^3$ мкФ или изготавливают обмотки трансформатора с различной индуктивностью [8, 24].

Трехфазные выпрямители со ступенчатым изменением выходного напряжения и пологопадающими ВАХ состоят из понижающего трансформатора с секционированными первичной и вторичной обмотками, переключателя обмоток, выпрямительного блока, дросселя во вторичной цепи и системы принудительного воздушного охлаждения (рис. 55, а). Выпрямительный блок набирают из неуправляемых кремниевых вентилях, включенных по трехфазной схеме Ларионова. Дроссель изготавливают с секционированной обмоткой или из отдельных секций на ферромагнитном сердечнике с воздушным зазором. Число витков дросселя или зазор выбирают установочно с целью изменения скоростей нарастания силы тока в

Таблица 37. Оптимальные скорости нарастания $I_{к.з}$ для сварки в CO_2 проволокой Св-08Г2С (обратная полярность)

Диаметр электрода, мм	Вылет электрода, мм	dI/dt , для начала, кА/с	Оптимальные скорости нарастания $I_{к.з}$, кА/с				
			Сварка с короткими замыканиями				Сварка без коротких замыканий в нижнем положении
			в нижнем положении	в вертикальном «снизу вверх»	в вертикальном «сверху вниз»	в потолочном положении	
0,8	8–10	120–150	70–90	100–120	80–100	110–130	110–150
1,0	10–12	120–140	60–80	90–110	80–90	110–120	80–150
1,2	11–13	110–130	50–70	80–90	60–90	90–110	80–150*
1,4	12–15	100–120	40–60	50–80	50–80	80–100	80–150*
1,6	15–18	70–85	20–40	45–50	45–50	–	70–85*
2,0	18–23	60–80	15–25	–	35–45	–	60–80*

* Проволокой сплошного сечения полугруженной и погруженной дугой, порошковой проволокой. Начало сварки выполняется заостренным электродом или с малой каплей на конце электрода $d_k = (1,1-1,3)d_0$ при оптимальных вылетах.

Таблица 38. Техническая характеристика источников питания для сварки в защитных газах

Тип	Сила тока, А, при ПВ=60%	U _{x,x} , В	Пределы регулирования		Число ступеней	Индуктивность дросселя, мГн	Масса, кг
			силы тока, А	напряжения, В			
BC-300	385	42	50-385	17-38	24	0,2-0,3	120
BC-300Б	385	42	50-365	18-35	24	0,2-0,3	185
ВДГ 401	380	75	80-500	18-42	Плавное-ступенчатое	0,2-0,3	200
ВДГ 25-401*	400	20-55	50-400*	22-44	Плавное	0,2-0,3	200
КИГ 401	400	60	100-400	22-38	32	0,2-0,3	250
ВДГ 25-506*	500	20-55	100-500*	22-44	Плавное	0,2-0,3	230
BC-600	630	65	100-700	18-66	32	0,2-0,3	280
ВДГ 25-630*	630	20-55	100-630*	17-45	Плавное	0,2-0,3	260
КИГ 601	630	90	100-700	18-66	Ступенчатое	0,5	-
ВДГ-303-3	325	60	30-350	17-45	Плавное	0,2-0,3	140
ВДГ-601	630	90	700	18-66	Плавное	-	550
ПСГ 500	500	42	60-500	16-40	Плавное	-	320
ВДУ 25-506	500	20-72	100-500	17-45	Плавное	0,2-0,3	280
ВДУ 25-630-2*	630	20-72	100-630	17-48	Плавное	0,2-0,3	300
ВДУ-506**	500	82	50-500	17-45	Плавное	0,45	300
ВДУ 511**	500	70	50-500	17-45	Плавное	0,45	200
КИУ-501**	500	70	500-500	17-45	Плавное	0,45	-
ВДУ 601**	600	85	60-630	18-46	Плавное	0,45	290

* ПВ=100%. ** Выпрямители универсальные с крутопадающей и пологопадающей ВАХ.

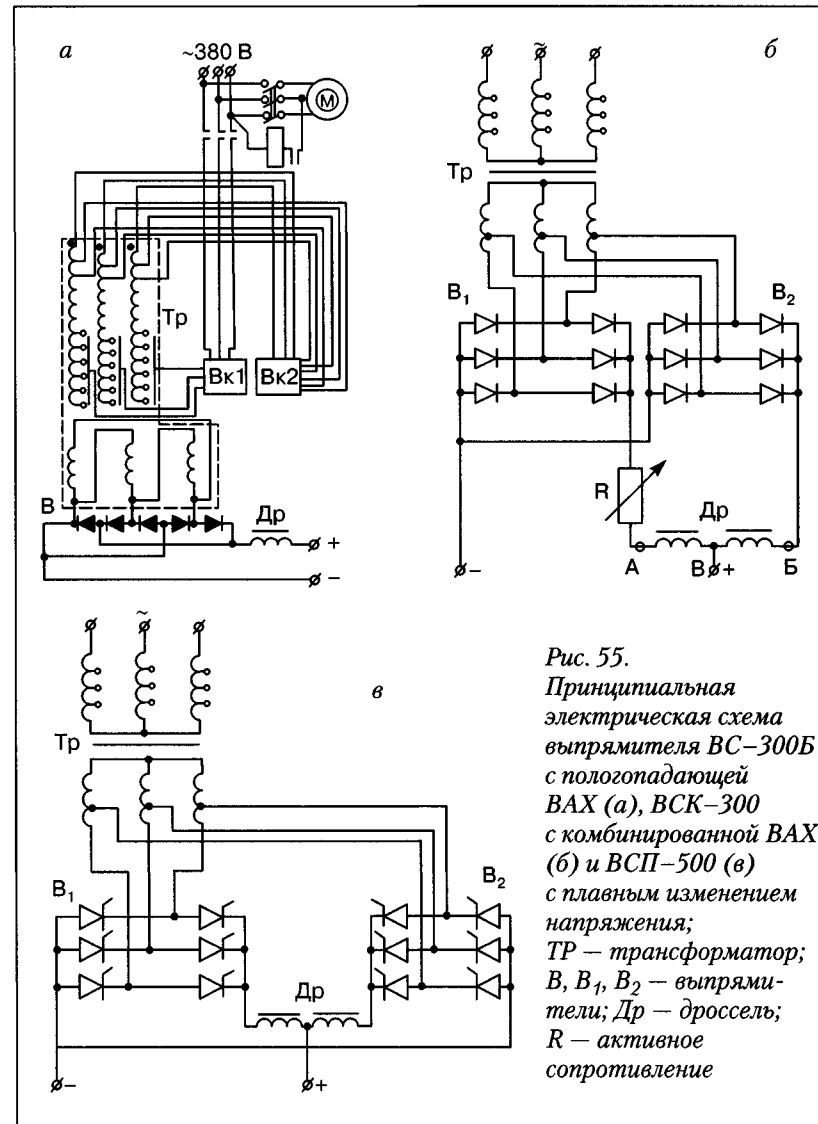


Рис. 55. Принципиальная электрическая схема выпрямителя ВС-300Б с пологопадающей ВАХ (а), ВСК-300 с комбинированной ВАХ (б) и ВСП-500 (в) с плавным изменением напряжения; ТР – трансформатор; В, В₁, В₂ – выпрямители; Др – дроссель; R – активное сопротивление

сварочной цепи для сварки в нижнем, вертикальном или потолочном положениях. Внешние характеристики этих выпрямителей пологопадающие (рис. 56, прямая 1). Скорость нарастания силы тока короткого замыкания высокая (рис. 57). По этой схеме устроены

выпрямители типа ВС (ВС-300, ВС-300Б, ВС-500, ВС-600 и ВС-630) [36], а также КИГ 401 и КИГ 601.

Выпрямители с комбинированной ВАХ на базе выпрямителей типа ВС изготавливают путем установки последовательно резистора и параллельного подключения к выходным клеммам дополнительного выпрямительного блока с напряжением холостого хода 12–15 В (см. рис. 55, б). В другом варианте выпрямитель с комбинированной внешней характеристикой получают на базе выпрямителей ВДУ-200, ВДУ-506 или ВДУ25-506, имеющих падающую ВАХ, путем параллельного подключения дополнительного выпрямителя с напряжением холостого хода 12–15 В с пологопадающей внешней характеристикой, например, приставки ОБ-458 [24, 43, 44]. Выполнение дополнительного блока однофазным или трехфазным обеспечивает программирование тока, улучшение начала сварки и заварку кратера.

Выпрямители с плавно-ступенчатым изменением напряжения – ВДГ-301, ВДГ-303, ВДГ-303-3, ВДГ-401 [24] – имеют ступенчатое изменение напряжения за счет изменения числа витков первичной обмотки трансформатора. Плавное дистанционное изменение напряжения внутри ступени производится дросселем насыщения. Выпрямители обеспечивают стабилизацию вторичного напряжения. Внешние характеристики выпрямителей пологопадающие. Величина индуктивности дросселя изменяется автоматически за счет дополнительной обмотки дросселя. На малых значениях силы тока индуктивность малая, а на больших достигает 0,5 мГн.

Выпрямители с комбинированной внешней характеристикой и плавно-ступенчатым изменением напряжения получают, исполь-

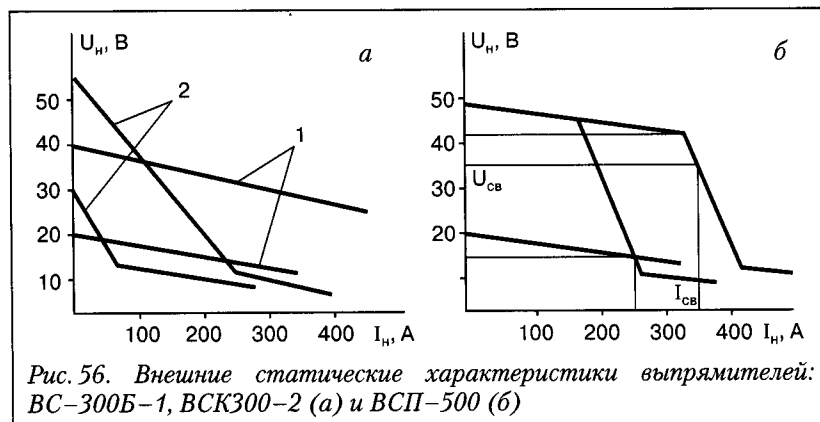


Рис. 56. Внешние статические характеристики выпрямителей: ВС-300Б-1, ВСК300-2 (а) и ВСП-500 (б)

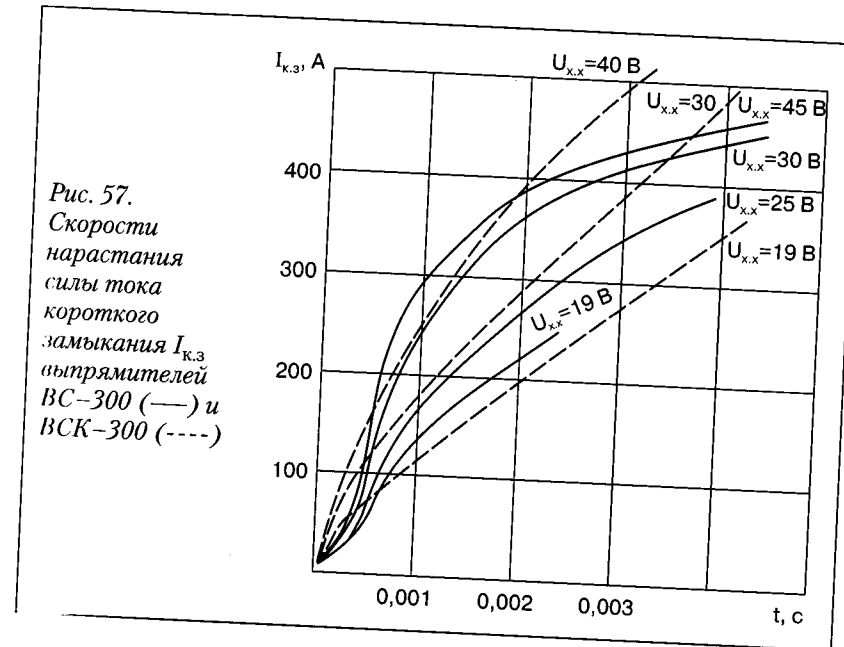


Рис. 57. Скорости нарастания силы тока короткого замыкания $I_{к.з}$ выпрямителей ВС-300 (—) и ВСК-300 (----)

зуя выпрямители типа ВД-201, ВД-306 или ВД-401 с дополнительным блоком типа приставки ОБ-458 [43, 52].

Выпрямители с плавным изменением вторичного напряжения изготавливают на базе силового трансформатора с нормальным рассеянием, тиристорного выпрямительного блока, позволяющего плавно изменять напряжение, и дросселя во вторичной цепи выпрямителя с целью уменьшения пульсации вторичного напряжения собирают по двойным трехфазным схемам с уравнивающим реактором, по шестифазной кольцевой схеме и по трехфазным симметричным мостовым схемам. Полууправляемая трехфазная мостовая схема (три тиристора – три диода) дает значительную пульсацию напряжения и приемлема для сварки на больших значениях силы тока. Дроссель несет функцию уменьшения пульсации напряжения и изменения скорости нарастания силы тока короткого замыкания. Дроссели выполняют с воздушным зазором, ступенчатым изменением индуктивности и со специальными обмотками управления, позволяющими дистанционно изменять индуктивность. Для получения пологопадающих внешних характеристик используют обратную связь по току и напряжению, а также по току нагрузки [24].

Для получения комбинированных ВАХ параллельно выходным клеммам тиристорных выпрямителей включают дополнительный выпрямительный блок (см. рис. 55), который позволяет повышать скорость нарастания тока короткого замыкания $dI_{кз}/dt$ в начале сварки. Для предупреждения оплавления токоподвода горелки выпрямители изготавливают с ограниченным напряжением холостого хода — пологопадающей внешней характеристикой на первой части ВАХ и падающей в диапазоне рабочих токов (см. рис. 56, б) [46]. Такая схема обеспечивает также уменьшение массогабаритных показателей выпрямителей. Техническая характеристика некоторых выпрямителей с плавным изменением напряжения приведена в табл. 38. Выпрямители ВДГ-601, ВДГ25-401-2, ВДГ25-630-2, ВДУ-601, КИУ 501 двухрежимные с дистанционным переключением двух заранее заданных вторичных напряжений. Для сварки в защитных газах плавящимся электродом успешно применяются универсальные выпрямители, имеющие пологопадающие и крутопадающие внешние характеристики, например ВДУ 506, разработанные ВНИИЭСО [24]. Предназначены они для сварки в защитных газах, сварки под флюсом и ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

Высокочастотные выпрямители — инверторные и чопперы. Инверторные выпрямители преобразовывают переменный ток промышленной частоты в постоянный ток высокой частоты в первичном контуре высокого напряжения. Благодаря преобразованию напряжения промышленной частоты 50 Гц в высокую частоту 5–60 кГц удается в 10–17 раз уменьшить массу и габаритные размеры силового трансформатора, а также расход активных материалов. На рис. 58

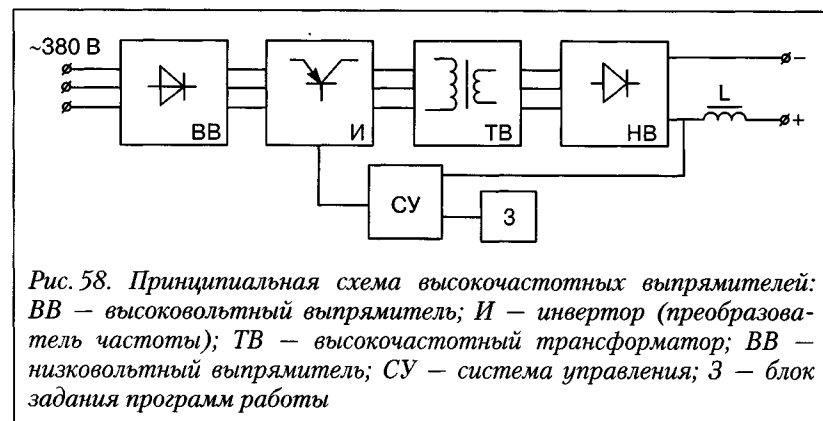


Рис. 58. Принципиальная схема высокочастотных выпрямителей: ВВ — высоковольтный выпрямитель; И — инвертор (преобразователь частоты); ТВ — высокочастотный трансформатор; НВ — низковольтный выпрямитель; СУ — система управления; З — блок задания программ работы

Тип	I_p при ПВ=60%, А	$U_{х.х. max}$ В	Пределы регулирования		Габаритные размеры, мм	Масса, кг
			тока, А	напряжения, В		
ВДУЧ-200У	200	12/65	30–200	16–24	600×280×386	32
ВДУЧ-350У	315	12/65	40–315	16–30	540×280×563	80
ВДУЧ-500	500	12/65	80–500	20–40	660×650×650	105
ВДУЧ-350-2*	315	55	50–315	14–32	550×300×550	80
ВДЧИ-302**	315	70	10–315	10–30	550×300×550	80
КЧД-302***	315	12	90–320	10–30	540×240×520	20
КСУ-320***	315	12	—	—	—	—

* 2-режимный. ** Чоппер. *** Конвертор.

приведена принципиальная схема высокочастотного сварочного выпрямителя. В современных выпрямителях зарубежных фирм инверторный блок построен на высокочастотных транзисторах типа IGBT и частотах 30–60 кГц. При использовании меньших частот увеличиваются габаритные размеры силового трансформатора и всего выпрямителя. Электронные цифровые схемы управления позволяют в широких пределах дистанционно изменять статические и динамические характеристики выпрямителя по жестким программам и с обратной связью от процесса сварки, а также задавать сочетания выходных параметров выпрямителя [16]. Высокочастотные выпрямители с цифровыми схемами управления изготавливаются всеми ведущими зарубежными фирмами для всех видов сварки, в том числе для сварки стационарной дугой и импульсно-дуговой сварки в защитных газах. В табл. 39 приведена техническая характеристика некоторых высокочастотных выпрямителей. В память высокочастотных выпрямителей часто закладывают сочетания выходных параметров, рекомендуемых для сварки конкретных материалов, толщин, типов соединений, способов сварки и др. Такие системы управления называют синергетическими. Однако оптимальные сочетания параметров сварки, закладываемые в память, обычно предусматривают строгое соблюдение требований к качеству сборки соединений, чистоте кромок соединений, составам защитных газов, длине, расположению и сечению сварочных кабелей, климатическим условиям эксплуатации. Несоблюдение норм не обеспечивает получение качественных соединений.

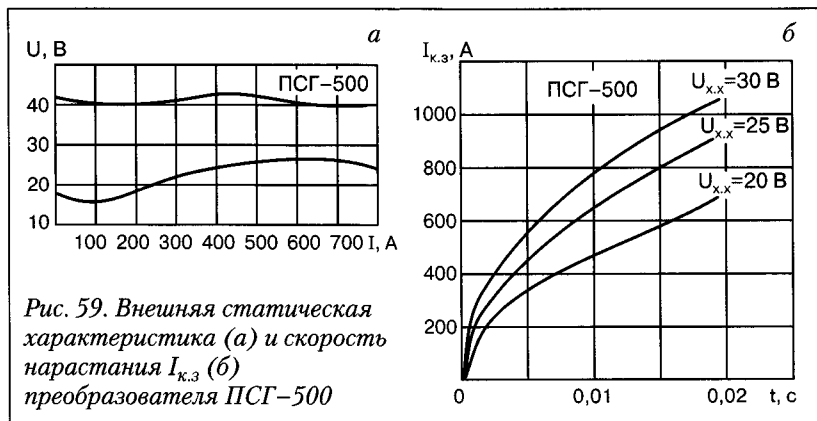


Рис. 59. Внешняя статическая характеристика (а) и скорость нарастания $I_{к.з}$ (б) преобразователя ПСГ-500

Преобразователь типа ПСГ-500. Преобразователь состоит из сварочного генератора и приводного асинхронного электродвигателя, смонтированных в одном корпусе, установленном на колесах. Генератор представляет собой четырехполюсную машину с независимым возбуждением и последовательной подмагничивающей обмоткой, которая обеспечивает получение жестких или пологовозрастающих внешних характеристик (рис. 59, а). Обмотка независимого возбуждения питается от сети через феррорезонансный стабилизатор напряжения и селеновый выпрямитель. Напряжение генератора регулируется реостатом в обмотке независимого возбуждения. Технические данные генератора преобразователя ПСГ-500 приведены в табл. 38. Генератор обладает высокими скоростями нарастания $I_{к.з}$ (рис. 59, б).

Дроссели А-780, А-780М, А-885 предназначены для снижения скорости нарастания силы тока короткого замыкания до 15–20 кА/с при сварке в CO_2 проволокой диаметром 1,6–2,5 мм на силе тока до 500 А с питанием от выпрямителей типа ВС 500 и ВС 600, что уменьшает разбрызгивание. Включают дроссели последовательно в сварочную цепь. Дроссели представляют собой индуктивную катушку с железным магнитопроводом. Обмотка дросселя секционирована, что позволяет получить три значения индуктивности и соответственно три скорости нарастания силы тока короткого замыкания. Обмотки дросселя А-780 в начале сварки шунтируются на 1,5–3,0 с, что улучшает начало сварки.

Приставка типа ОБ-458 [43] предназначена для повышения скоростей нарастания $I_{к.з}$ преобразователей типа ПС-300, ПСО-300,

ПС-500 и ПСО-500, необходимых для сварки в углекислом газе и гелии тонкой проволокой на режимах с частыми короткими замыканиями. Приставка представляет собой маломощный трехфазный выпрямитель с индуктивностью 0,2 мГ в цепи выпрямленного тока. Напряжение холостого хода равно 15 В. Приставка подключается параллельно генераторам. Поскольку напряжение холостого хода приставки ниже, чем напряжение сварки, то она работает только в моменты коротких замыканий, обеспечивая с задержкой $2 \cdot 10^{-5}$ с повышение скорости нарастания $I_{к.з}$ до 120–180 кА/с.

Источники питания для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в большинстве случаев состоят из двух блоков: источника постоянного тока и генератора импульсов. Блок источника постоянного тока обеспечивает стабильное горение дуги и течение процесса, а также установку заданного режима сварки. Импульсный блок генерирует импульсы строго определенных параметров, необходимых для изменения и управления процессом, и обеспечивает наложение их на разрядный промежуток.

Существующие генераторы импульсов для сварки плавящимся электродом можно разделить на следующие типы:

- без накопления энергии, формирующие импульсы из целой полуволны или части полуволны переменного тока различной частоты или из постоянного тока;
- с накоплением энергии в конденсаторе;
- с накоплением энергии в индуктивной катушке (дросселе).

По режиму работы существуют генераторы импульсов, работающие по жесткой наперед заданной программе и по программе с обратной связью от процесса сварки.

По типу генерируемых импульсов различают источники:

- униполярных импульсов одинаковых параметров;
- генерирующие группу униполярных импульсов различных наперед заданных параметров;
- генерирующие импульсы неодинаковой величины, задаваемые блоком управления с обратной связью от характера процесса сварки.

Простейшим источником питания последнего типа является выпрямитель с индуктивной катушкой в цепи выпрямленного тока, например типа ВС. При сварке тонкой проволокой в углекислом газе и гелии на низком напряжении и режимах с частыми короткими замыканиями, когда сила тока в цепи изменяется в значительных пределах, индуктивная катушка работает как нако-

питатель энергии и генератор импульсов с обратной связью от процесса сварки.

Генераторы импульсов с накоплением энергии в конденсаторе и без накопления энергии в большинстве случаев изготавливают статическими и включают параллельно блоку постоянного тока, в качестве которого используют обычные сварочные выпрямители и генераторы постоянной силы тока. Динамические свойства блока постоянного тока имеют существенное значение при ведении импульсного процесса с короткими замыканиями и значительно меньше при сварке без них. Однако для быстрого установления процесса сварки целесообразно в обоих случаях использовать источники, имеющие скорость нарастания силы тока короткого замыкания 90–110 кА/с.

Для обеспечения нормальной работы максимально допустимое напряжение выпрямителя постоянного тока должно быть выше, чем напряжение импульсов. В противном случае возможен пробой вентилей. Поскольку обратное напряжение выпрямителей с плогопадающей внешней характеристикой невелико, то обычно генераторы импульсов снабжают схемами защиты, обеспечивающими отключение генератора импульсов на холостом ходу. При использовании в качестве блока постоянного тока генераторов для предупреждения шунтирования импульсов тока якорем генератора в цепь якоря последовательно включают защитные кремниевые и германиевые вентили.

Генераторы импульсов без накопителя энергии. Генератор импульсов с шунтируемым сопротивлением состоит из источника постоянного тока с жесткой или плогопадающей внешней характеристикой, сопротивления и блока-переключателя. Периодическое кратковременное шунтирование резистора приводит к импульсному повышению напряжения и силы тока. В качестве переключателей используют механические вращающиеся коммутаторы, малогабаритные силовые контакторы с блоком управления и другие устройства [10, 38].

Генератор импульсов на основе неуправляемого выпрямителя изготавливают однополупериодным или двухполупериодным (рис. 60, а). Такой генератор обеспечивает получение импульсов длительностью, близкой к длительности полуволны питающего напряжения. Для получения импульсов тока длительностью 4,8–5,0 мс необходима частота сети 100 Гц, а длительностью 2,0–2,1 мс — 450 Гц.

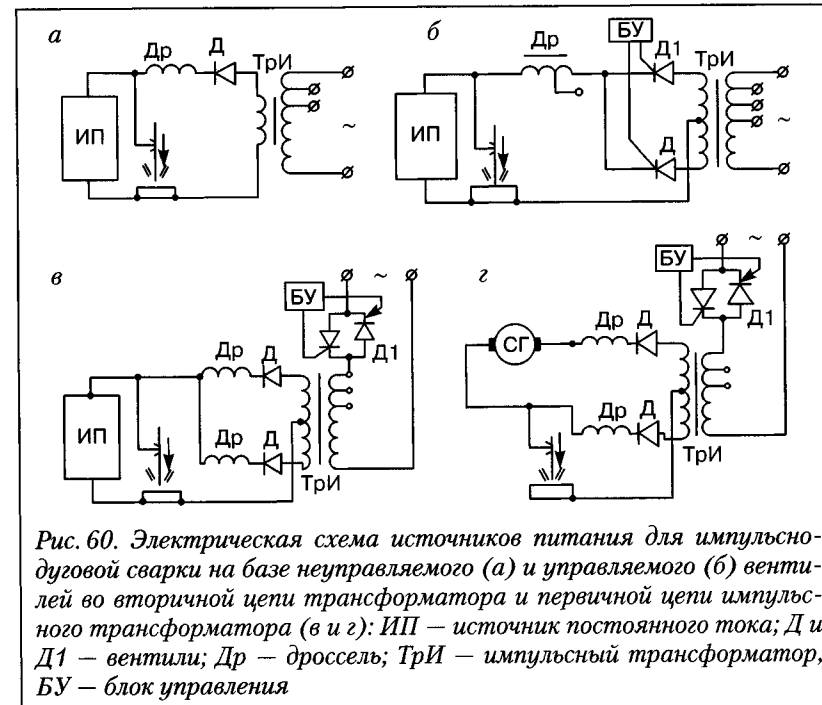


Рис. 60. Электрическая схема источников питания для импульсно-дуговой сварки на базе неуправляемого (а) и управляемого (б) вентилей во вторичной цепи трансформатора и первичной цепи импульсного трансформатора (в и г): ИП — источник постоянного тока; Д и Д1 — вентили; Др — дроссель; ТрИ — импульсный трансформатор, БУ — блок управления

Генератор импульсов на основе управляемого выпрямителя имеет выпрямительный мост, набранный из управляемых тиристоров и транзисторов. Генератор этого типа изготавливают однофазным однополупериодным, двухполупериодным или трехфазным (рис. 60, б), при этом получают частоту следования импульсов, равную соответственно одинарной, удвоенной и утроенной частоте питающей сети. Длительность импульсов может изменяться примерно от 1/4 длительности полуволны питающей сети. Параметры импульсов регулируют, изменяя коэффициент трансформации, угол включения управляемого вентиля и индуктивность дросселя в импульсной цепи. По данной схеме изготовлен генератор импульсов типа ГИ–ИДС–1, предназначенный для импульсно-дуговой сварки в инертных газах плавящимся электродом алюминия, меди, титана и их сплавов, нержавеющей и углеродистых сталей. Характеристика генератора типа ГИ–ИДС–1 приведена в табл. 40.

Генератор импульсов с управляющим прерывателем в цепи первичной обмотки трансформатора (рис. 60, в) [16, 38]. В каче-

Таблица 40. Техническая характеристика некоторых генераторов импульсов				
Характеристика	Тип генератора			
	ИИП-1*	ИИП-2*	ГИ-ИДС-1	ГИД-1
Свариваемые материалы	Сплавы алюминия	Цветные металлы, высоколегированные и конструкционные стали		
Диаметр электрода, мм	0,8–2	0,8–2,5		
Защитный газ	Аргон	Аргон, смеси Ar+O ₂ , Ar+CO ₂ (до 20%), Ar+N ₂ (до 25%), гелий		
Частота импульсов, имп./с	50	50	50 и 100	50 и 100
Диапазон регулирования: силы тока импульса, А времени импульса, мс	400–850	500–1000	500–1200	400–1200
	1,5–2,0	1,6–2,8	1,8–3,5	1,5–3,0
Число ступеней регулирования: силы тока импульса, А времени импульса, мс	3	3	3	Плавное
	4	4	3	Плавное
Потребляемая мощность, кВт·А	5	10	11,3–15,2	11
Габаритные размеры, мм	444×700×895	580×680×910	520×510×800	730×774×1185
Масса, кг, не более	180	250	160	200

* Разработаны ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.

стве блока постоянного тока может быть использован генератор (рис. 60, г). В качестве прерывателя используют электронные прерыватели или дроссель насыщения. Параметры импульсов можно регулировать, изменяя угол открытия управляющих прерывателей, коэффициент трансформации, индуктивное и активное сопротивление первичной и вторичной цепей. Частота следования импульсов задается блоком управления прерывателей и схемой включе-

ния выпрямительного моста генератора импульсов. Включение одного плеча выпрямительного блока на резистор R, по величине близкого к сопротивлению дуги, уменьшает частоту следования импульсов. На генераторах данного типа могут быть получены частоты следования импульсов 200, 150, 100, 50, 33, 25 имп./с и менее. Блок управления прерывателями обычно работает по жесткой программе, независимой от процесса сварки. По данной схеме устроен серийный генератор импульсов типа ГИД-1 (см. табл. 40).

Генераторы импульсов с емкостными накопителями энергии [16, 38] по сравнению с генераторами без накопителей обеспечивают возможность получения импульсов значительно меньшей длительности (от 0,5 мс при 50 Гц питающей сети) и ведения процесса сварки с обратной связью. Эти генераторы обычно имеют меньшую мощность и требуют менее мощной питающей сети при тех же параметрах импульсов, поскольку накопление энергии происходит за более длительное время, чем ее расходование.

Генераторы импульсов с конденсатором и управляемым диодом в цепи вторичной обмотки трансформатора [10, 16, 24, 38] наиболее широко используют в промышленности. Генераторы импульсов изготавливают однофазными с частотой следования 50 и 100 имп./с и трехфазными с частотой 150 имп./с. По этому принципу устроены серийно выпускаемые генераторы типа ИИП-1 и ИИП-2 (см. табл. 40). Электрическая схема обоих генераторов одинакова (рис. 61). Дроссель *Dr* служит для уменьшения скорости нарастания силы тока импульса и некоторого увеличения длительности импульсов. Схема защиты состоит из реле *P1*, *P2* и потенциометра *R4* и обеспечивает автоматическое прекращение подачи импульсов при прекращении сварки или при случайных длительных коротких замыканиях. Величину импульса тока и его длительность регулируют путем изменения зарядного напряжения, изменяя коэффициент трансформации трансформатора и емкость батареи конденсаторов (ступенчато при помощи переключателей *Вк1* и *Вк2*). Различаются генераторы главным образом мощностью трансформатора и емкостью, обеспечивающими получение различных импульсов тока.

Генератор типа ИПП-1 предназначен для сварки в инертных газах алюминиевых сплавов толщиной более 2,5 мм проволоками диаметром 1,2–2,0 мм и может быть использован для сварки меди и нержавеющей сталей в аргоне с кислородом проволокой диаметром 0,8–1,2 мм. Генератор типа ИПП-2 предназначен для сварки алюминия, меди, титана и их сплавов в аргоне и гелии, а также не-

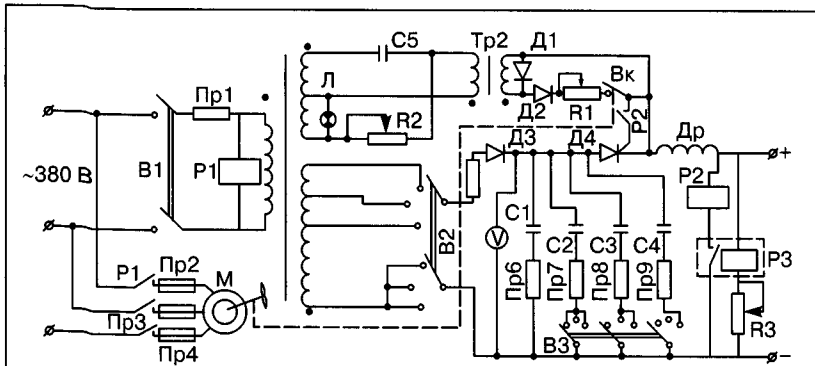


Рис. 61. Электрическая схема генератора импульсов типа ИИП-2: Тр1 и Тр2 — основной и вспомогательный трансформаторы; Д1, Д2, Д3 — неуправляемые выпрямители; Д4 — управляемый диод типа УПК-150; С1 — С5 — конденсаторы; В1 — В3 — выключатели; Р1 — воздушное реле; Р2, Р3 — реле блока защиты; Вк — контакт воздушного реле; R1 — R3 — сопротивления; М — двигатель воздушного охлаждения; Пр1—Пр9 — предохранители; Др — дроссель

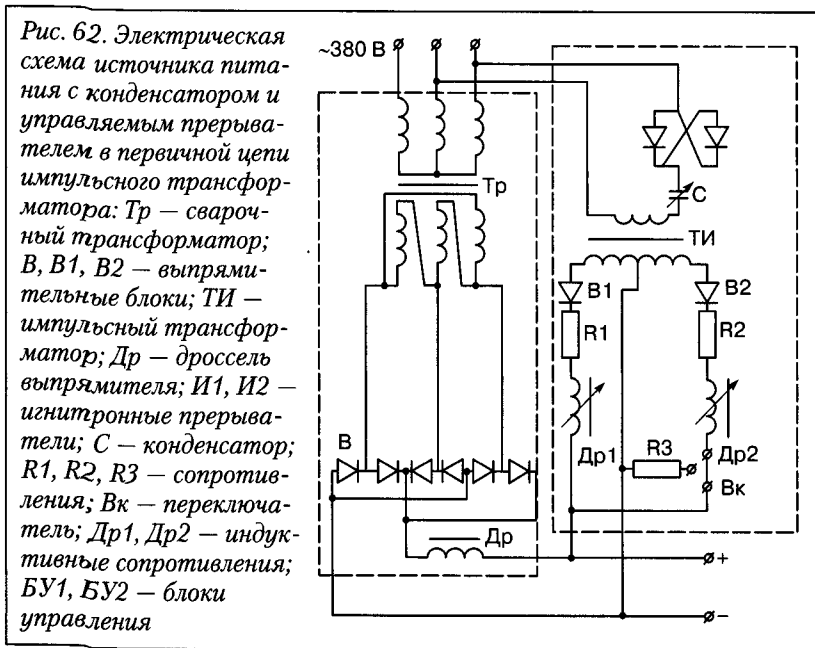


Рис. 62. Электрическая схема источника питания с конденсатором и управляемым прерывателем в первичной цепи импульсного трансформатора: Тр — сварочный трансформатор; В, В1, В2 — выпрямительные блоки; ТИ — импульсный трансформатор; Др — дроссель выпрямителя; И1, И2 — игнитронные прерыватели; С — конденсатор; R1, R2, R3 — сопротивления; Вк — переключатель; Др1, Др2 — индуктивные сопротивления; БУ1, БУ2 — блоки управления

ржавеющих и углеродистых сталей в аргоне, аргоне с кислородом и гелии проволокой диаметром 0,8–2,5 мм. При необходимости увеличения частоты следования импульсов генераторы подключают параллельно на соседние фазы питающей сети.

Генератор импульсов с конденсатором и управляемым прерывателем в цепи первичной обмотки трансформатора (рис. 62) позволяет получать импульсы тока длительностью более 0,5 мс и величиной до 3000 А. В качестве переключателей обычно используют игнитроны и реже управляемые кремниевые вентили, которые включают встречно-параллельно. Включают генератор импульсов параллельно, последовательно или смешанно (часть параллельно, а часть последовательно) с блоком постоянного тока. Помимо описанной схемы, конденсатор в цепи переменного тока может быть подключен параллельно первичной обмотке импульсного трансформатора, а в качестве управляемого переключателя использован дроссель насыщения. Изменение параметров импульсов осуществляется дросселем Др цепи первичной обмотки трансформатора.

Генераторы импульсов с емкостным накопителем энергии с обратной связью показаны на рис. 63. Зарядка конденсатора генератора, приведенного на рис. 63, а, производится от трехфазного выпрямителя высокого напряжения ВЗ. Питание зарядной цепи постоянным током с малой пульсацией напряжения обеспечивает стабильность параметров импульсов при значительных изменениях времени между подачей отдельных импульсов. Генератор импульсов с зарядным и разрядным управляемыми диодами (рис. 63, б) обеспечивает получение импульсов в широком диапазоне параметров. Генератор импульсов, имеющий управляемый диод только в цепи разряда конденсатора, а в зарядной цепи ограничительный резистор К, обеспечивает получение импульсов тока в значительно

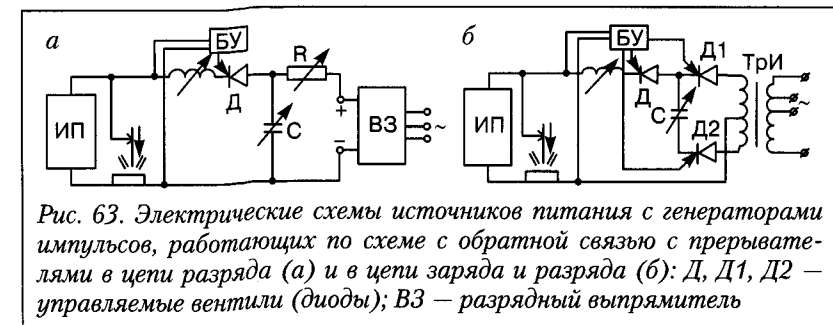


Рис. 63. Электрические схемы источников питания с генераторами импульсов, работающих по схеме с обратной связью с прерывателями в цепи разряда (а) и в цепи заряда и разряда (б): Д, Д1, Д2 — управляемые вентили (диоды); ВЗ — разрядный выпрямитель

более узком диапазоне параметров. Управляют разрядом конденсатора блоки управления от блока обратной связи. В качестве обратной связи могут быть использованы различные схемы. Наиболее часто используют ждущие мультивибраторы с реле времени. Сигналом на подачу импульса принимают резкое изменение напряжения при коротких замыканиях цепи.

Многопостовые системы питания сварочных постов [12, 24, 38]. При массовом использовании сварки в защитных газах целесообразно применять многопостовое питание, например, при сварке в углекислом газе проволокой диаметром 0,8–1,4 мм или 1,6–2,0 мм на одинаковых или близких между собой напряжениях. При этом сварку выполняют на близких напряжениях: 17–22; 28–32 или 36–38 В. При использовании проволоки диаметром 1,0–1,4 мм и 1,6–2,0 мм на отличающихся между собой напряжениях сварку ведут на напряжениях 18–22 и 28–34 В (иногда до 48 В).

Системы многопостового питания в этих случаях будут различными. При сварке на режимах с частыми короткими замыканиями разрядного промежутка, когда стабильность процесса, разбрызгивание и формирование шва обусловлены определенными скоростями нарастания $I_{к.з.}$, в цепь каждого сварочного поста необходимо включать индуктивную катушку (дроссель), которая уменьшает влияние одного поста на другие. Величина постовой индуктивности зависит от динамических характеристик источника питания и для сварки проволокой диаметром 0,8–1,4 мм берется равной 0,15–0,25 мГ. Если же процесс сварки ведут без коротких замыканий или с редкими короткими замыканиями, катушку индуктивности в цепь поста не включают. При двухдуговой сварке на одинаковых режимах регулирование выполняют одновременно на обоих дугах изменением напряжения источника питания. В этом случае могут быть использованы схемы, показанные на рис. 64, а–в. Схема на рис. 64, в обеспечивает меньшее влияние постов друг на друга. При выполнении сварки на близких режимах напряжение холостого хода источника питания устанавливают по максимальному необходимому напряжению сварки. Настройку напряжения на постах производят малогабаритными постовыми балластными реостатами или электронными регуляторами (рис. 64, г–е). При работе сварочных постов на режимах, значительно отличающихся друг от друга, напряжение на постах регулируют электронными регуляторами тока и напряжения — конверторами, обеспечивающими получение различных статических и динамических характеристик, необходимых для сварки [24, 38].

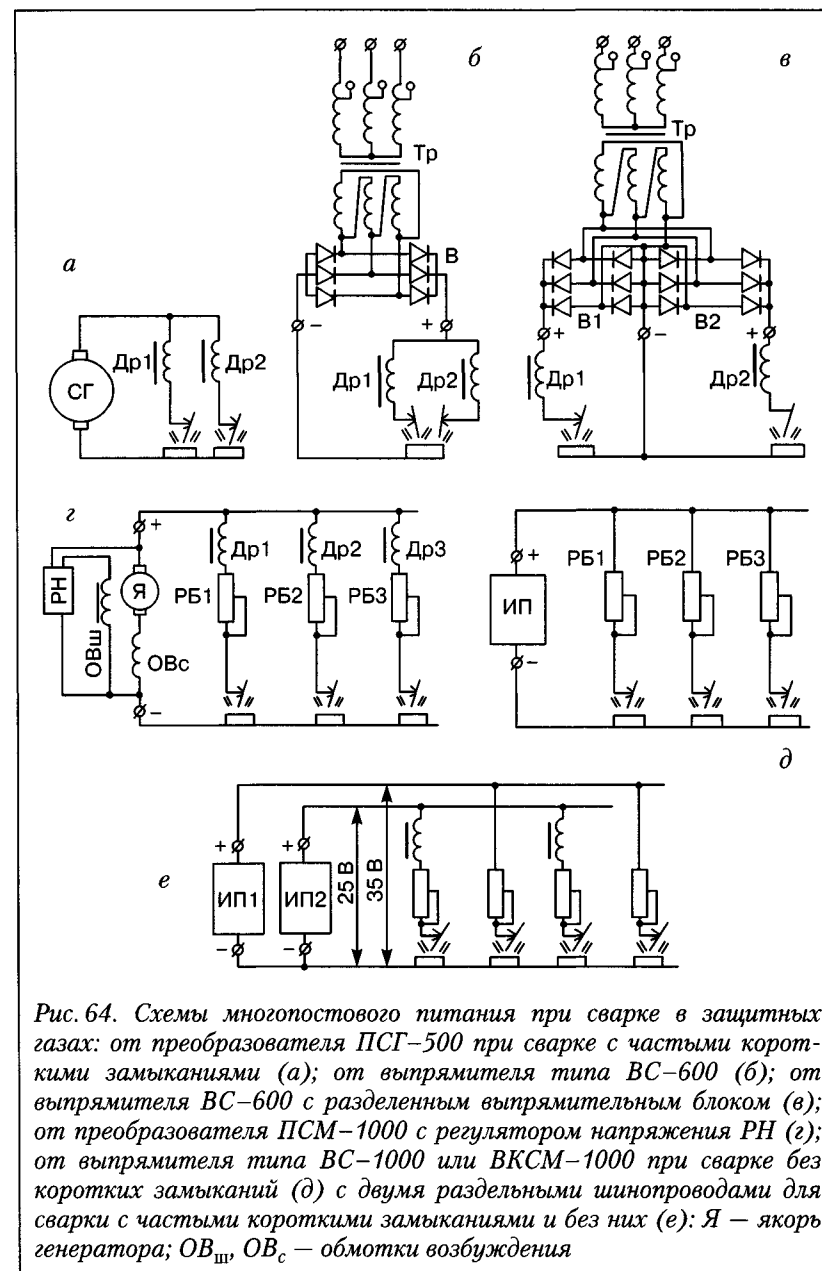


Рис. 64. Схемы многопостового питания при сварке в защитных газах: от преобразователя ПСГ-500 при сварке с частыми короткими замыканиями (а); от выпрямителя типа ВС-600 (б); от выпрямителя ВС-600 с разделенным выпрямительным блоком (в); от преобразователя ПСМ-1000 с регулятором напряжения РН (г); от выпрямителя типа ВС-1000 или ВКСМ-1000 при сварке без коротких замыканий (д) с двумя отдельными шинпроводами для сварки с частыми короткими замыканиями и без них (е): Я — якорь генератора; ОВ_ш, ОВ_с — обмотки возбуждения

В ряде случаев может оказаться более выгодным устройство многопостовой системы с двумя отдельными шинопроводами на различное напряжение, питаемыми от отдельных источников (см. рис. 64, е).

В качестве источников питания многопостовых систем могут быть использованы как генераторы, так и выпрямители с жесткими внешними характеристиками. Из выпускаемых промышленностью могут быть использованы преобразователи ПСГ-500, ПСМ-1000 и выпрямители ВС-600, ВС-1000, ИПП-1000, ВКСМ-1000, ВДМ-1601, ВДГ25-630, ВДМ25-1201, ВД25-1601, ВДМ-3001 и ВДМ25-1001 производства ООО «Амити» (Николаев). Для обеспечения нормальной работы преобразователя ПСМ-1000 рекомендуют использовать стабилизатор напряжения (рис. 64, з). Кроме стандартных источников питания, можно использовать специальные выпрямительные установки большой мощности на 5000 А типа ВДМ-5000, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона.

Оборудование для хранения, транспортировки и использования защитных газов

В промышленности применяют следующие системы обеспечения производств защитными газами: индивидуальную; централизованную с питанием от рампы баллонов и подачи защитного газа к сварочным постам по трубопроводу; централизованную с питанием от изотермической емкости и подачи газа по трубопроводу; централизованную с питанием от заводской станции защитного газа и подачи газа по трубопроводу (рис. 65).

При индивидуальной системе каждый сварочный пост питается от одного или нескольких баллонов с защитным газом, которые располагают у сварочного поста. Если сварочный пост подвижный, то баллоны перемещают вместе с постом. В комплект газовой аппаратуры при индивидуальной системе питания газом входят баллон с запасом защитного газа, понижающий редуктор, расходомер и газовый клапан-экономизатор. При питании углекислым газом перед понижающим редуктором устанавливают подогреватель газа, а при использовании влажного углекислого газа после редуктора ставят осушитель газа. Обычно газовый клапан-экономизатор ставят в сварочном аппарате.

При централизованном питании от рампы с баллонами (рис. 65, в) сварочные посты питаются газом от цехового трубо-

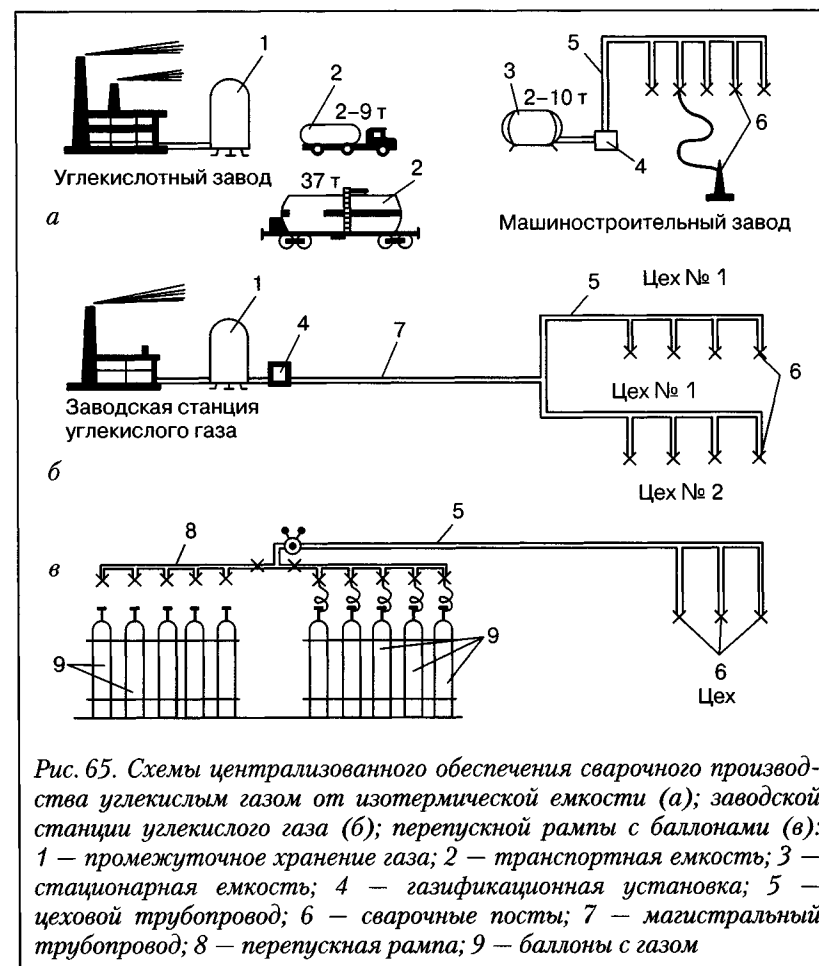


Рис. 65. Схемы централизованного обеспечения сварочного производства углекислым газом от изотермической емкости (а); заводской станции углекислого газа (б); перепускной рампы с баллонами (в): 1 — промежуточное хранение газа; 2 — транспортная емкость; 3 — стационарная емкость; 4 — газификационная установка; 5 — цеховой трубопровод; 6 — сварочные посты; 7 — магистральный трубопровод; 8 — перепускная рампa; 9 — баллоны с газом

провода, подключенного к группе баллонов. В комплект системы входят две группы баллонов, перепускная рампa с редукторами, понижающими давление газа от высокого в баллонах до установленного рабочего в трубопроводе, цеховой трубопровод, понижающие редукторы на каждом сварочном посту, расходомеры и газовые клапаны-экономизаторы также на каждом сварочном посту.

При централизованном питании от изотермической емкости (рис. 65, а) сварочные посты питаются газом от цехового трубопровода, подключенного к изотермической емкости с газификацион-

ной установкой. В комплект системы входят стационарная изотермическая емкость, газификационная установка, цеховой трубопровод, понижающие редукторы, расходомеры и газовые редукторы на каждом сварочном посту.

При централизованном питании от заводской станции защитного газа (рис. 65, б) сварочные посты питаются от цехового трубопровода, подключенного к магистральному трубопроводу, идущему от станции. В комплект данной системы входят собственно станция защитного газа, производящая углекислый газ из бросовых газов и аргона с кислородом, промежуточное хранилище газа, магистральный трубопровод, понижающие редукторы, расходомеры и постовые редукторы.

Баллоны. Для хранения и транспортировки сжатых и сжиженных защитных газов используют стальные баллоны ($P_y < 20,0$ МПа). Газ в этих баллонах находится при температуре окружающего воздуха. Баллоны изготовляют пяти типов из углеродистой и легированной сталей. Промышленность выпускает баллоны вместимостью от 2 до 55 л.

Для транспортировки аргона, гелия, углекислого газа, смесей и других защитных газов используют в основном баллоны вместимостью 40 л. Как было отмечено, аргон, гелий и их смеси находятся в баллонах в газообразном состоянии при давлении 15,0 МПа, а углекислый газ — в сжиженном при давлении 6,0–7,0 МПа. В баллон вместимостью 40 л при давлении 15,0 МПа и температуре +20 °С накачивают 6 м³ аргона, гелия или смеси. В такой же баллон при температуре 4–20 °С помещается 25 кг жидкого углекислого газа. Давление в баллоне с углекислотой существенно зависит от температуры воздуха. Так, при температуре 0 °С давление в баллоне составляет 3,554 МПа, а при +31 °С — уже 7,496 МПа. При испарении 25 кг жидкой углекислоты образуется 12,6 м³ углекислого газа.

Баллоны окрашивают в строго определенные цвета и делают на них надпись. Отбор аргона, гелия и их смесей с углекислым газом из баллонов производится через понижающий редуктор при давлении 0,2–1,5 МПа в зависимости от необходимого расхода. Для получения углекислого газа необходим подвод теплоты к жидкой углекислоте и ее испарение. При естественном обогреве баллона окружающим воздухом с температурой 22–25 °С можно обеспечить непрерывный отбор 20–25 л углекислого газа в минуту. При большем отборе газа происходит охлаждение жидкой углекислоты и снижение давления в баллоне. При снижении давления в баллоне

ниже 0,528 МПа (тройная точка) жидкая углекислота превращается в сухой лед, и процесс газификации практически прекращается. Поэтому для отбора газа более 30 л/мин при температуре 20 °С, а также расхода 20–25 л/мин при пониженной температуре необходимо питание поста от двух и более баллонов. В отдельных случаях производят искусственный подогрев баллонов. Во избежание взрыва баллона следует особенно тщательно соблюдать «Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением» и принимать меры, предупреждающие перегрев баллонов и превышение давления в них.

Редукторы [38, 57] предназначены для понижения давления газа до рабочего, при котором газ поступает в горелку, и поддержания постоянным рабочего давления. Для сварки в защитных газах при индивидуальном питании от баллонов, когда расход газа сравнительно небольшой (4–40 л/мин), желательно применять редукторы обратного действия малой пропускной способности с минимальной ценой деления манометра низкого давления и с наиболее чувствительным регулированием давления. Для сварки в защитных газах серийно выпускают редукторы (табл. 41) [57], а также редукторы-расходомеры У–30, У–30ДМ, УР–6ДМ (рис. 66). В их комплект введены сменные вставки (дюзы) с различным диаметром отверстий.

Таблица 41. Техническая характеристика редукторов, используемых при сварке в защитных газах

<i>Тип</i>	<i>Давление на входе, МПа</i>	<i>Пропускная способность, л/мин</i>	<i>Назначение</i>
АР 40 2*, АР 40 2ДМ	0,8–20	5–40	Для Аг и смесей (двухкамерный)
АР 40/У–30ДМ	0,3–20	5–30	Для Аг и СО ₂ (двухкамерный)
УР 6ДМ	0,8–10	5–30	Для СО ₂ (двухкамерный)
У 30 2ДМ	0,8–10	5–30	
ДЗР–1–59М	15	2,5–55	
У–30–2*, У–30–П2*, У–30ДМ	0,8–10	5–30	Для СО ₂ (с подогревателем, однокамерный)
АР–150–2*	1,5–2,0	150	Для Аг (рамповый)

Примечания. 1. Условный проход резиноканевого рукава 9 мм.
2. Знаком * отмечены редукторы производства Барнаульского завода «Автогенмаш» (РФ), остальные — ДОНМЕТ (Украина).

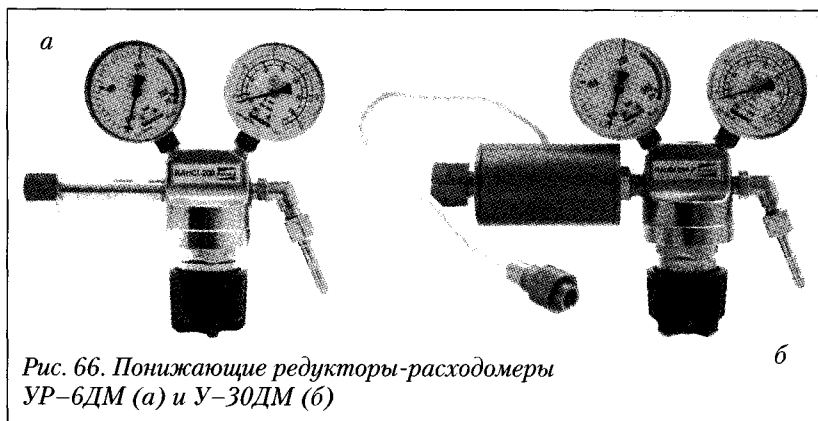


Рис. 66. Понижающие редукторы-расходомеры УР-6ДМ (а) и У-30ДМ (б)

Используют также редукторы с расходомерами поплавкового типа и подогревателями газа. Для сварки в защитных газах иногда применяют кислородные редукторы РК-53, РК-53Б, РКД-8 и др. Однако при малых расходах газа кислородные редукторы работают нестабильно. Для улучшения работы кислородных редукторов типа РК-53 на выходе из редуктора устанавливают дроссельную шайбу с малым отверстием (0,6–1,0 мм), повышающую давление в камере низкого давления, а также заменяют кислородный манометр низкого давления ацетиленовым манометром на 0,6 МПа. В этом случае редуктор может быть использован как редуктор-расходомер.

При централизованном питании сварочных постов газом рекомендуется каждый сварочный пост укомплектовать понижающим редуктором низкого давления, например типа РД-1, РД-1БМ, РДК-00, РДК-1-00. При питании газового трубопровода от рамп с баллонами используют обычно кислородные рамповые редукторы КРР-50, КРР-61.

Расходомеры газа. При сварке используют расходомеры поплавкового и дроссельного типов.

Расходомер поплавкового типа или **ротаметр** состоит из стеклянной трубки с внутренним коническим каналом. Трубка всегда должна быть расположена строго вертикально широким концом вверх. Внутри трубки находится свободно движущийся поплавок. Газ подводят к нижнему концу трубки и отводят от верхнего. При прохождении по ротаметру газ поднимает поплавок до тех пор, пока зазор между поплавком и стенкой трубки не достигнет такой величины, при которой напор струи газа уравновесит массу

поплавка. Чем больше расход газа, тем выше поднимается поплавок. Каждый ротаметр имеет индивидуальный градуировочный график, на котором показана зависимость между делениями шкалы ротаметра и расходом воздуха. Для определения расхода газов (аргона, гелия и др.) можно пересчитать показания ротаметра по приближенным формулам

$$Q_{CO_2} = 0,812 Q_{в}; Q_{Ar} = 0,851 Q_{в}; Q_{He} = 2,692 Q_{в}. \quad (19)$$

Изменяя массу поплавка, можно изменить пределы измерения ротаметра. Поплавки изготовляют из эбонита, дюралюминия, нержавеющей стали и других материалов.

Расходомер дроссельного типа по принципу работы основан на измерении 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 определенное давление. По перепаду давления судят о расходе. Для каждого расходомера и газа строят индивидуальный тарировочный график. Пределы измерения расходов изменяют, изменяя отверстия в диафрагме. На этом принципе построены расходомеры редукторов, указанные в табл. 42.

Газовый клапан-экономизатор используется для экономии защитного газа. Клапан целесообразно устанавливать как можно ближе к сварочной горелке. Наибольшее распространение получили электромагнитные газовые клапаны. В полуавтоматах находят применение также газовые клапаны, встроенные в ручку держателя. Газовый клапан необходимо включать так, чтобы были обеспечены предварительная или одновременная с зажиганием дуги подача защитного газа, а также последующая, после обрыва дуги, подача газа до полного

Таблица 42. Ориентировочные пределы измерений расхода воздуха

Тип расходомера	Материал поплавка	Пределы измерения, л/мин
РС-3А	Нержавеющая сталь	0,3–4,0
РС-3	Эбонит	0,67–6,0
	Дюралюминий	1,67–10,5
	Нержавеющая сталь	2,0–20,0
РС-5	Эбонит	10–66
	Дюралюминий	16–105
	Нержавеющая сталь	24–170

затвердевания ванны жидкого металла. Необходимо предусматривать также включение подачи газа без сварки, что необходимо для заполнения защитным газом газовой системы аппарата и настройки расхода защитного газа. Сочетание газового клапана, расположенного вблизи горелки, с редуктором-расходомером дроссельного типа и эластичным газовым шлангом обеспечивает хорошую достаточную защиту только при сварке на малых значениях силы тока.

Осушители газа применяют главным образом при сварке в углекислом газе. В промышленности используют осушители высокого и низкого давлений. Осушитель высокого давления устанавливают до понижающего редуктора. Он имеет малые размеры и требует частой замены влагопоглотителя, поэтому применение его во многих случаях нерационально. Осушитель низкого давления устанавливают после понижающего редуктора. Он часто имеет значительные размеры и не требует частой замены влагопоглотителя. Такой осушитель одновременно является ресивером газа, повышает равномерность его подачи. В качестве влагопоглотителя используют силикагель и алюмогель, реже медный купорос и хлористый кальций. Силикагель и медный купорос, насыщенные влагой, поддаются восстановлению путем прокалки при температуре 250–300 °С.

Подогреватель газа. При сварке в углекислом газе используют подогреватели, обычно электрические, высокого давления. Для безопасной работы подогреватели питают напряжением 20–36 В. На практике находят применение подогреватели двух типов: в первом, в виде змеевика, газ нагревается при прохождении по медной трубке, обогреваемой электрической спиралью, во втором углекислый газ проходит по каналам керамической вставки, в которые помещен электронагревательный элемент в виде спирали. Во избежание перегрева редуктора следует отделать его от подогревателя переходной трубкой длиной 100 мм.

Перепускные рамповые системы. При сварке в защитных газах находят применение перепускные рампы двух типов: первый — для подачи аргона, гелия и их смесей с углекислым газом, находящихся в баллонах в газообразном виде, и углекислого газа с газификацией диоксида углерода в баллонах; и второй — для подачи углекислого газа с газификацией в испарители (газификаторе).

Основными частями обеих систем являются собственно перепускные рампы и трубопровод, по которому газ подводится к сварочным постам. Эти трубопроводы во всех системах централизованного питания практически одинаковы.

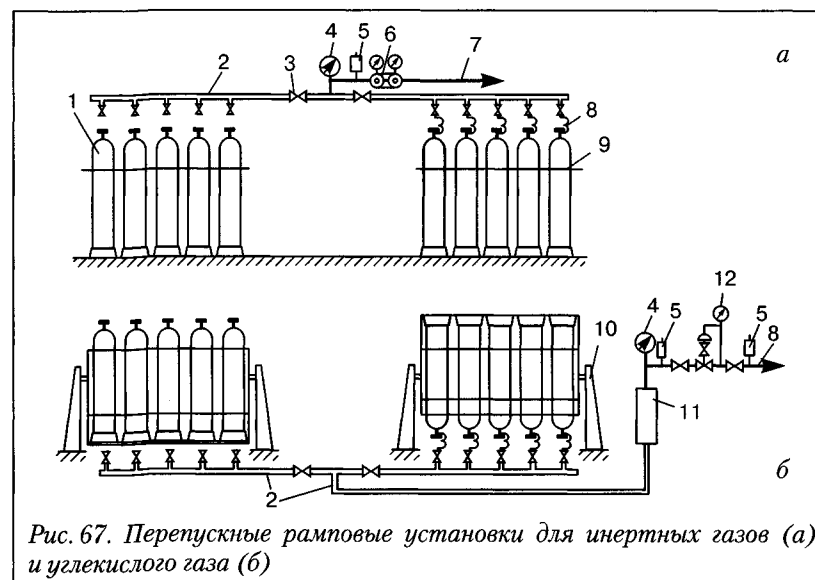


Рис. 67. Перепускные рамповые установки для инертных газов (а) и углекислого газа (б)

Перепускная рампа первого типа конструктивно выполняется по той же схеме, что и кислородная рампа (рис. 67, а) и состоит из двух групп баллонов 1 и 9 по 5–20 штук в каждой, коллектора 2 со змеевиками 8 для подключения баллонов к коллектору, перекрывающих вентилей 3 манометра 4, предохранительного клапана 5, рампового редуктора 6, обычно кислородного, и цехового трубопровода 7. Группы баллонов 1 и 9 попеременно подключают к коллектору 2 для питания его газом.

Цеховой трубопровод 7 выполняют в соответствии с нормами на устройство и эксплуатацию трубопроводов. Давление газа в трубопроводе устанавливают 0,8–1,5 или 3–5 МПа в зависимости от необходимого расхода газа. На каждый сварочный пост на трубопроводах с давлением 3–5 МПа устанавливают понижающий редуктор типа РД или РКД и расходомер. Опыт эксплуатации трубопроводов показывает, что трубопроводы с давлением 0,3–0,5 МПа обеспечивают стабильную подачу газа к сварочным постам, особенно при значительном количестве постов. Трубопроводы для подачи аргона окрашивают в серый цвет, гелия — в коричневый, азота, углекислого газа и аргона с кислородом — в черный. При эксплуатации перепускных рамповых систем необходимо строго соблюдать Правила на устройство и эксплуатацию рамп.

Для получения углекислого газа, транспортируемого в баллонах, используют рампу второго типа (рис. 67, б). Группы баллонов устанавливают на отдельные переворачивающиеся кантователи 10. Обе группы поочередно подключают к коллектору 2 при помощи змеевиков и перекрывающих вентилей 5. Жидкая углекислота из баллонов поступает в коллектор, а затем в испаритель 11 (газификатор), где подогревается и превращается в газ, который по трубопроводу подается к сварочным постам. Давление газа контролируется электроконтактным манометром 12. Такая рампа обеспечивает получение и подачу в трубопровод углекислого газа давлением до 0,45 МПа.

Цеховой трубопровод для подачи CO_2 выполняют таким же, как для подачи кислорода. Для обеспечения надежной подачи CO_2 к сварочным постам при большой длине трубопровода и различных расходах газа на отдельных постах необходимо устанавливать давление в трубопроводе 0,3–0,45 МПа, а на каждом посту ставить понижающий редуктор типа РД или РКД. Для надежной работы трубопровод следует выполнять с уклонами и устанавливать влагоотстойники. Это вызвано тем, что в баллонах с углекислым газом может содержаться значительное количество влаги. Для уменьшения непроизводительных потерь углекислого газа на каждом выходном штуцере трубопровода следует ставить запорный вентиль и обратный клапан-ниппель такого же типа, как на трубопроводах сжатого воздуха. Трубопровод для подачи CO_2 и его смесей окрашивают в черный цвет.



Рис. 68.
Изотермические емкости для транспортировки и хранения аргона и азота

Системы на основе изотермических емкостей состоят из стационарной емкости-накопителя, испарителя-газификатора и трубопровода подачи защитного газа к сварочным постам. Для транспортирования и хранения сжиженного переохлажденного углекислого газа используют транспортные емкости типа ЦЖУ и стационарные емкости-накопители типа НЖУ (табл. 43). Перелив сжиженного газа из транспортной емкости в стационарную осуществляется 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, ЦЖУ-9.

Для транспортировки и газификации аргона и смеси аргона с кислородом в сжиженном виде используют установки АГУ-2М, АГУ-8К, ЗТК-8/25, ЗТК 16/25 (рис. 68) и железнодорожные емкости типа 8Г/13, а также газификаторы ГКХ-8/16-2000, ГКХ-1/16 (табл. 44).

Заводские углекислотные станции. На ряде крупных машиностроительных заводов, потребляющих большое количество углекислого газа, построены заводские углекислотные станции. Большинство углекислотных станций работает на принципе отбора углекислого газа из дымовых газов различных котельных (сжигающих природный газ, уголь, мазут и др.). Для получения углекислого газа используют моноэтаноламин. На ряде спиртовых заводов построены установки для получения CO_2 из отходящих газов брожения, содержащих почти 100% диоксида углерода. При

Таблица 43. Техническая характеристика систем с изотермическими емкостями для углекислого газа

Параметр	Транспортные		Стационарные
	ТРЖК-7М	ЦЖУ 6,0-1,8	НЖУ 8,0-2,0
Номинальный объем, м ³	3,0	6,0	8,0
Масса жидкого CO_2 , кг	2950	6000	7850
Масса цистерны без CO_2 , кг	2200	3350	5100
Максимальное рабочее давление, МПа	2,0	1,8	2,0
Срок хранения, сут.	10	5	12
Рабочая температура, °С	-35...-45	-35...-45	-35...-45
Габаритные размеры, м	3,7×1,8×1,9	6,6×2,5×3,2	5,2×2,2×2,6

Таблица 44. Техническая характеристика систем для транспортировки и газификации жидкого кислорода, аргона и азота				
Параметр	АГУ-2М	АГУ-8К	СГУ-1*	УкрНИИПП (Харьков)
Вместимость резервуара, кг:				
кислород	1990	6000	–	–
аргон	2400	–	–	2660
азот	1440	–	–	–
Производительность при наполнении баллонов до 20 МПа, м ³ /ч:				
кислородом	425	450+30	200+12	–
аргоном	420	–	–	400
азотом	345	–	–	–
Максимальное давление газа, МПа	22	22	24	0,08–0,05
Температура выдаваемого газа, °С	20+10	20+10	20+10	20+10
Число баллонов, которое можно наполнить до 15 МПа, шт.	200	730	–	–
Выпуск установки	На автомобиле		Стационарная	
* Только газификация.				

нормальной температуре и высоком давлении (5–7 МПа) диоксид углерода хранят и транспортируют в баллонах высокого давления в сжиженном состоянии, газифицируют и подают к сварочным постам в газообразном виде по трубопроводу. При получении СО₂ в переохлажденном состоянии (минус 45 °С) при давлении 1,2–1,6 МПа его хранят и транспортируют в изотермических емкостях, газифицируют и подают к сварочным постам по трубопроводу в газообразном виде.

На ряде металлургических заводов (Днепровском, Алчевском) построены установки для получения аргона, аргона с кислородом, а также смесей аргона с кислородом и углекислым газом. Их поставляют в баллонах в газообразном состоянии при давлении 15 МПа и в изотермических цистернах в жидком переохлажденном состоянии. Смесей аргона с углекислым газом поставляют в баллонах при высоком давлении 15 МПа или получают смесь на заводах-потребителях, смешивая аргон и диоксид углерода, поставляемые в отдельных баллонах или изотермических емкостях. В последнем

случае смешивание производят после газификации газов в специальных смесителях с последующей подачей смеси по газопроводу при давлении 0,3–0,5 МПа и понижении давления газа на каждом сварочном посту редукторами типа РД или РКД.

Организация обеспечения сварочных предприятий защитными газами [12, 38]. 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, сосредоточенных на одном участке цеха или обслуживающих небольшую площадь, целесообразно организовывать централизованное питание постов защитными газами. При числе сварочных постов более 10 во всех случаях целесообразно организовать централизованное питание сварочных постов защитными газами. При этом предпочтение следует отдавать питанию трубопровода от изотермических емкостей с автоматической газификационной установкой. Для преобладающего числа случаев такая система является оптимальной.

При большом потреблении углекислого газа желательна следующая порайонная организация: сварочное предприятие оборудует у себя одну или несколько небольших стационарных емкостей (на 4–10 т) с автоматической испарительной газифицированной установкой и трубопровод, подводящий углекислый газ к сварочным постам. Доставку СО₂ на машиностроительный завод осуществляет фирма материально-технического обеспечения своей транспортной (автомобильной или железнодорожной) изотермической емкостью, транспортные емкости заправляются из районного межсезонного хранилища. Районное хранилище, в свою очередь, получает углекислый газ от близлежащих углекислотных заводов.

Организация обеспечения углекислым газом, при которой заводы-потребители сами содержат у себя транспортные емкости и вынуждены получать углекислый газ на углекислотных заводах, недостаточно совершенна. Заводские углекислотные станции строят только в отдельных случаях для крупных потребителей, если в данном районе (в радиусе 250–350 км) отсутствуют свободные ресурсы углекислого газа. Но и в этих случаях предпочтение следует отдавать строительству районных углекислотных станций, которые будут обеспечивать углекислым газом весь район.

Глава 6. Техника безопасности

Сварку в защитных газах и их смесях плавящимся электродом проводят открытой дугой, которая в большинстве случаев питается от источников тока, подключенных к сети переменного тока напряжением 220–380 В, и горит в среде защитного газа. Поэтому при выполнении сварочных работ необходимо обеспечить защиту сварщика от поражения электрическим током, светового, ультрафиолетового и теплового излучения дуги, воздействия электромагнитных полей, от ожогов брызгами расплавленного металла, отравления вредными парами и газами, выделяющимися из зоны сварки, от травмирования подвижными частями оборудования и баллонами с защитным газом при их падении и взрывах.

Поражение человека электрическим током происходит при прикосновении сварщика к токоведущим открытым частям сварочных проводов и аппаратуры, находящимся под высоким напряжением (рис. 69). При прохождении через тело тока силой более 0,05 А происходит судорожное сокращение мышц и гидролиз крови. При этом в крови образуются сгустки-тромбы, которые, отрываясь через некоторое время при неблагоприятных обстоятельствах, могут

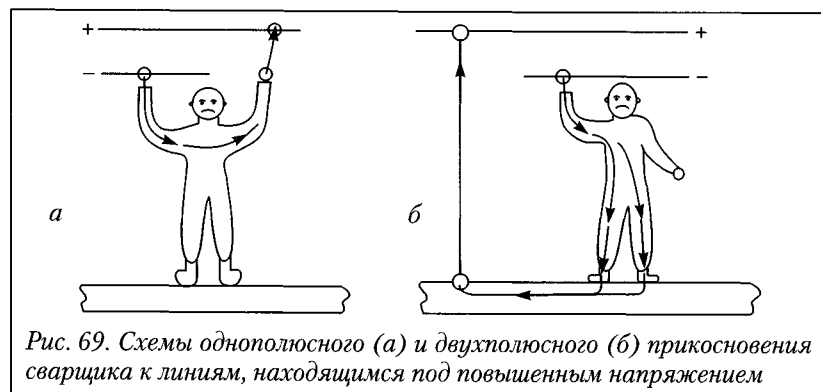


Рис. 69. Схемы однополюсного (а) и двухполюсного (б) прикосновения сварщика к линиям, находящимся под повышенным напряжением

Цифра	X1	X2
0	Нет защиты	Нет защиты
1	Защищено от твердых предметов диаметром более 50 мм и доступа внутрь на 100 мм до опасных частей	Защищено от вертикально падающих капель воды
2	Защищено от твердых предметов диаметром более 12,5 мм и доступа внутрь на 80 мм до опасных частей	Защищено от вертикально падающих капель воды при наклонах оболочки до 15° от вертикали
3	Защищено от твердых предметов диаметром более 2,5 мм и доступа внутрь на 100 мм до опасных частей	Защищено от брызг воды, падающих в направлениях до 60° от вертикали
4	Защищено от твердых предметов диаметром более 1 мм и доступа внутрь на 100 мм до опасных частей	Защищено от брызг воды, падающих в любом направлении

привести к смертельному исходу. Токи силой более 0,1 А смертельно опасны. Величина тока определяется напряжением между точками прикосновения и сопротивлением образовавшейся цепи. Сопротивление тела человека зависит от многих факторов (утомленности, состояния здоровья, наличия в организме алкоголя, влажности и грубости кожи и др.) и лежит в пределах от 20000 Ом при сухой коже до 500–1000 Ом при влажной потной коже [38, 61]. Для защиты от поражения электрическим током применяют защитную изоляцию, защитные корпуса оборудования и их заземление, если они электропроводны, заземление столов сварщика и свариваемого изделия, а также устройства автоблокировки, устройства снижения напряжения до безопасной величины, зависящей от условий, в которых выполняется сварка. По используемым средствам защиты, согласно ГОСТ 12.2.007.0–75 р.2 (см. Приложение 1) аппараты разделены на 5 классов (0; 0,1; 1; 11; 111). Степень защиты, обеспечиваемая оболочкой (корпусом), от доступа к опасным частям, попадания твердых предметов и воды, согласно ГОСТ 14254–96 обозначается кодом «1Р X1 X2» с двумя цифрами, где X1 определяет защиту от контакта с опасными токоведущими и подвижными частями, а X2 обозначает степень защиты от попадания в оборудование воды (табл. 45).

Величина безопасного напряжения зависит от внешних условий, в которых выполняется сварка. С точки зрения опасности по-

ражения человека электрическим током, согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), различают:

- помещения с повышенной опасностью;
- особо опасные помещения и работу на открытом воздухе или под навесами;
- помещения без повышенной опасности.

В соответствии с этим к сварочным аппаратам для дуговой сварки предъявляют требования по ограничению напряжения холостого хода. Максимальные напряжения холостого хода источников тока при работе в различных условиях не должны превышать значений, приведенных в *табл. 46*.

К среде с повышенной опасностью поражения электрическим током относят:

- помещения или рабочее место с ограничением свободы движения сварщика, вследствие чего сварщик должен выполнять сварку в неудобном положении (на коленях, лежа и т. п.), при наличии физического контакта с открытыми токопроводящими элементами, в том числе при выполнении сварки на свариваемом изделии;
- помещение или рабочее место, полностью или частично ограниченное открытыми токопроводящими элементами, с которыми у сварщика существует большая вероятность неизбежного или случайного контакта;

Таблица 46. Допустимые максимальные напряжения холостого хода сварочного источника тока при номинальном напряжении сети 380±15 В		
Условия сварки	Напряжение холостого хода, В, не более	
	постоянного тока (среднее значение)	переменного тока (эффективное значение)
Среда с повышенной опасностью поражения электрическим током	113	42
Ручная сварка покрытыми электродами при сопротивлении внешней цепи более 200 Ом	12	12
Среда без повышенной опасности поражения током	113	80
Сварка с механическим перемещением горелки и повышенной защитой сварщика	141	100
Сварка под флюсом	4	120

- мокрое, влажное или горячее помещение, где влажность или конденсация влаги значительно уменьшает сопротивление кожи человеческого тела и изолирующие свойства вспомогательных защитных средств (рукавиц, коврика и др.);
- открытые территории, не защищенные от атмосферных осадков или защищенные только навесами.

Повышенная защита сварщика предусматривает: автоматическое отключение напряжения холостого хода после прекращения сварки и степень защиты от прикасания к токоведущим частям не ниже 1Р20 по ГОСТ 14254–96 или наличие устройства снижения напряжения холостого хода.

Если напряжение холостого хода сварочных источников тока превышает значения, приведенные в *табл. 46*, то источник тока должен быть оборудован устройством, снижающим напряжение холостого хода до допустимого уровня в течение 0,3 с для среды с повышенной опасностью и в течение 2 с для среды без повышенной опасности поражения током.

При сварке в защитных газах плавящимся электродом возникают низкочастотные магнитные поля. Сварочные источники тока имеют специальные устройства для гашения электромагнитного излучения. Однако электромагнитные поля создаются также сварочными кабелями и величина их значительна (*рис. 70*). Для уменьшения электромагнитного излучения рекомендуется располагать источник тока как можно ближе к месту сварки, использовать как можно более короткие сварочные провода; располагать прямой и обратный провода рядом и скреплять их; присоединять сварочный кабель к детали как можно ближе к месту сварки. Сварщику рекомендуется размещаться с одной стороны от сварочных кабелей. Лицам с электростимуляторами сердца и слуховыми аппаратами не рекомендуется заниматься сварочными работами.

Работы на электросварочных установках должны выполняться с соблюдением требований ГОСТ 12.3.003–75 и ДСТУ 2456–93.

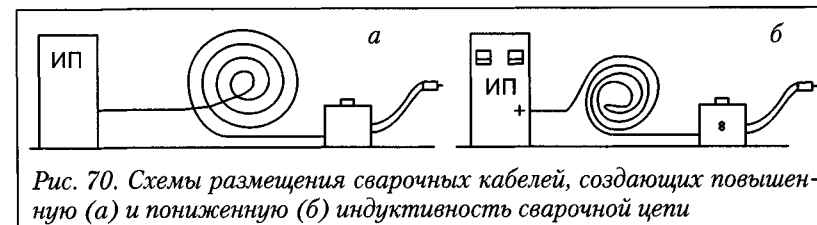


Рис. 70. Схемы размещения сварочных кабелей, создающих повышенную (а) и пониженную (б) индуктивность сварочной цепи

Таблица 47. Светофильтры серии С по ГОСТ 12.4.080–79, рекомендуемые для дуговой сварки в защитных газах плавящимся электродом

Защитный газ	Сила сварочного тока, А														
	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900
СО ₂	C1	C2	C3		C4	C5		C6		C7		C8	C9	C10	
Аргон и его смеси	C3	C4	C5	C6		C7		C8		C9		C10	C11	C12	

Необходимо работать в сухих неповрежденных перчатках, пользоваться сухой обувью на толстой резиновой подошве без металлических гвоздей и сухой спецодеждой. При работе на свариваемом изделии убедитесь, что оно заземлено. Внутри котлов, резервуаров, в колодцах сварщик должен работать с подручным, использовать изолирующие резиновые коврики или сухие деревянные подмости.

Для защиты глаз и кожи от интенсивного излучения дуги предназначены специальные щитки, маски и шлемы, изготавливаемые из фибры или пластмассы с защитными светофильтрами. Необходимо учитывать, что интенсивность излучения дуги зависит от тока сварки и состава защитного газа. Так, интенсивность излучения при сварке в смесях аргона с кислородом и углекислым газом выше, чем в чистом СО₂. Класс светофильтра выбирают в зависимости от силы тока сварки и защитного газа (табл. 47). В целях учета индивидуальных особенностей сварщика рекомендуется опробовать светофильтры на один номер больше и один номер меньше.

В последнее время выпускают маски и шлемы для сварщика со специальными светофильтрами типа «хамелеон», плотность которых при загорании дуги резко увеличивается и зависит от яркости излучения дуги, а после погасания дуги уменьшается, и светофильтр становится прозрачным. Очень хороши зеркальные светофильтры, отражающие ультрафиолетовые и тепловые лучи.

Вредно влияют на кожу человека не только прямые лучи, но и отраженное излучение. Для этого необходимо защищать тыльную сторону головы сварщика и глаза подсобных рабочих, а также снижать интенсивность отражения путем окраски стен и потолков ма-

товыми красками серых или зеленых цветов с добавкой оксида цинка, уменьшающего отражение ультрафиолетовых лучей, использовать переносные щиты и ширмы. Для защиты подсобных рабочих, работающих вместе со сварщиками, рекомендуется использовать защитные очки с более светлыми светофильтрами, изготавливаемыми из стекла ТС–1 или ТС–8. Из них изготавливают светофильтры трех классов, отличающихся по оптической плотности. Если на открытом участке одновременно работает несколько сварщиков, то для защиты их от соседних дуг рекомендуется использовать переносные ширмы. В вечернее и ночное время рабочее место сварщика должно хорошо освещаться, поскольку частые и резкие переходы от света к темноте утомляют глаза сварщика.

Особое внимание следует уделять защите от пылегазовыделения, которое при сварке в защитных газах сравнительно велико [18, 38, 73]. Количество, а также состав пыли и газов зависят от рода защитного газа, свариваемого материала, режима сварки и других факторов. Под воздействием ультрафиолетового излучения вокруг дуги образуется озон, а при попадании в зону дуги воздуха — также оксиды азота.

Многие из компонентов сварочного аэрозоля оказывают вредное воздействие на человека, и предельно допустимые концентрации их оговорены санитарными нормами. Пыль — это мелкие (до 1 мкм) частицы сконденсировавшихся паров. Токсичность их зависит от состава и кристаллического строения. Наиболее высока концентрация компонентов аэрозоля в облаке дыма, поднимающегося из зоны сварки. Концентрация этих же компонентов в зоне дыхания сварщика зависит от расположения сварщика по отношению к дуге, объема помещения, в котором ведется сварка, и характера движения воздуха в месте сварки.

По характеру загрязнения атмосферы у места сварки можно выделить три характерных вида конструкций: открытые плоскостные, полузакрытые и закрытые. К первым можно отнести всевозможные плосколистовые и рамные конструкции, свариваемые в цехах объемом более 150 м³, где имеются хорошие условия для быстрого рассеяния выделяющегося сварочного аэрозоля; ко второму типу — конструкции с различными небольшими отсеками, в которых условия свободного рассеяния аэрозоля затруднены; к третьему — конструкции с замкнутыми отсеками небольшого объема (менее 10 м³), в которых происходит скопление аэрозоля и быстрое изменение состава атмосферы.

Вдуваемый в зону сварки CO_2 не ядовит, но часть углекислого газа, попадающая в зону дуги, под действием высокой температуры разлагается на кислород и оксид углерода CO — ядовитый газ. Оксид углерода образуется также вследствие выгорания углерода из стали. Выходя из зоны сварки в области низких температур, CO окисляется, образуя углекислый газ CO_2 . Углекислый газ обладает более высокой плотностью, чем воздух, и поэтому скапливается в нижних частях помещения, вытесняя воздух. Следовательно, там, где ведется сварка в CO_2 , необходимо обязательно устраивать отсосы газа из нижних частей помещения. Особую предосторожность необходимо соблюдать при работе в закрытых отсеках и колодцах, устанавливая в них шланги приточной и вытяжной вентиляции из нижней части отсеков и колодцев.

Количество газов резко увеличивается при сварке окрашенного, покрытого жиром и антикоррозионными грунтами металла, а также покрытого эмульсиями для уменьшения прилипания брызг. При выборе растворителей для очистки кромок от жира нельзя использовать трихлорэтилен и дихлорэтан, так как при нагреве и взаимодействии с азотом возможно образование токсичного фосгена.

При сварке в защитных газах плавящимся электродом необходимо строго соблюдать требования пожарной безопасности, так как из зоны сварки вылетают искры и капли расплавленного металла, которые могут стать причиной пожара.

Следует также строго соблюдать Правила обращения с баллонами, содержащими защитные газы под высоким давлением. Нельзя допускать перегрева баллонов, резких толчков и ударов. В случае использования систем с подогревом баллонов с углекислым газом необходимо во избежание их взрыва укомплектовывать установки системами защиты от перегрева и превышения давления (термореле и газовым предохранительным клапаном).

Баллоны с защитными газами обязательно должны быть закреплены как на сварочных постах, так и в местах их хранения. Единичные баллоны необходимо транспортировать на ручных тележках или на специальных носилках. Запрещается переносить баллоны на руках. Редукторы, используемые для сварки в защитных газах, должны быть выкрашены в черный цвет. При отогреве редукторов и газовых систем запрещается применение открытого пламени. При эксплуатации систем централизованного питания защитными газами необходимо строго соблюдать специальные правила, оговоренные инструкциями.

Глава 7. Сертификация в области сварочного производства

В соответствии с Законом о защите прав потребителей [75] продукция, на которую законодательными актами или нормативными документами установлены обязательные требования относительно безопасности для жизни, здоровья потребителей, их имущества, окружающей природы подлежит обязательной сертификации. В перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации в Украине, утвержденный Приказом Госстандарта Украины от 30.08.2002 г. №498, включены отдельные виды сварочного оборудования и материалов (табл. 48).

Работа по сертификации выполняют уполномоченные Органы сертификации, аккредитованные в Украинской системе аккредитации и «Системе сертификации УкрСЕПРО». Сертификация оборудования проводится согласно ДСТУ 3413–96 на основе анализа эксплуатационной и технической документации, выполненной согласно ГОСТ 2.601–96 и ДСТУ 1.3–93, идентификации и испытаний оборудования, а серийного производства — после обследования производства [50].

Испытания оборудования проводятся в независимых испытательных лабораториях, также аккредитованных в системе «УкрСЕПРО». Сертификат соответствия на сварочное оборудование оформляется на основе анализов результатов работ. Орган сертификации предоставляет изготовителю право проставлять на изделия и на эксплуатационной документации знак Государственной сертификации согласно ДСТУ 2296–93 с указанием регистрационного номера Органа сертификации, выполнившего работы по сертификации [74–80].

Добровольная сертификация проводится на соответствие всем требованиям безопасности согласно ГОСТам, действующим на данное оборудование, и дополнительным требованиям, подтверждающим качество продукции.

Таблица 48. Оборудование, подлежащее обязательной оценке на безопасность

14. Сварочное оборудование				
14.1. Автоматы для электродуговой сварки и наплавки	29.40.60.500	ГОСТ 8213-75	ГОСТ 8213-75, п. 3	8515 31 00 00
14.2. Полуавтоматы для электродуговой сварки и наплавки	29.40.60.630 29.40.60.650	ГОСТ 18130-79	ГОСТ 18130-79, п. 4	8515 31 00 00
14.3. Генераторы и агрегаты сварочные вращательные	31.10.4	ГОСТ 2402-82 ГОСТ 304-82	ГОСТ 2402-82, п. 3 ГОСТ 304-82, п. 3	8502 8515
14.4. Машины, аппараты, устройства для газопламенной обработки: резакки ручные и машинные; генераторы ацетиленовые; генераторы (установки) электролизные	29.24.11.300 29.40.60	ГОСТ 12.2.007.8-75 ГОСТ 12.2.008-75 ГОСТ 13861-89	ГОСТ 12.2.007.8-75, п. 1; 4 ГОСТ 12.2.008-75, п. 1-4 ГОСТ 13861-89, п. 1; 8	8468
14.5. Выпрямители сварочные	31.10.50.350	ГОСТ 13821-77	ГОСТ 13821-77, п. 4	8504
14.6. Трансформаторы сварочные	31.10.43.300 31.10.42 31.10.42.90	ГОСТ 7012-77 ГОСТ 95-77	ГОСТ 7012-77, п. 4 ГОСТ 95-77, п. 4	8504
14.7. Машины для электроконтактной сварки	29.40.60.300 29.40.60.430	ГОСТ 297-80 ГОСТ 2489-94	ГОСТ 297-80, п. 4 ГОСТ 2489-94, п. 7	8515
14.8. Принадлежности для сварочного оборудования: электродержатели, щипки для защиты лица электросварщиков, плазматроны; горелки для сварки, пайки, резки и подогрева	29.40.78.500	ГОСТ 12.2.007.9-88 ГОСТ 12.2-008-75 ГОСТ 12.4.035-78 ГОСТ 5191-79 ГОСТ 1077-79 ГОСТ 14651-78 ГОСТ 290091-91	ГОСТ 12.2.007.9-88, п. 1; 2-7 ГОСТ 12.2-008-75, п. 1; 3 ГОСТ 12.4.035-78, п. 1; 2 ГОСТ 5191-79, п. 3 ГОСТ 1077-79, п. 3 ГОСТ 14651-78, п. 3; 7 ГОСТ 290091-91, п. 6	8468 8515 90 00 00 6506 10 80 00

27. Сварочные материалы				
27.1. Электроды для сварки и наплавки	28.73.15	ГОСТ 9466-75 ГОСТ 9467-75 ГОСТ 10051-75 ГОСТ 10052-75	ГОСТ 9466-75, п. 2; 3; п. 3-5 ГОСТ 9467-75 ГОСТ 10051-75, п. 2; 3; 4 ГОСТ 10052-75	8311 10
27.2. Проволока стальная для сварки и наплавки	28.73.15	ГОСТ 2246-70 ДСТУ 3671-97 (ГОСТ 10543-98)	ГОСТ 2246-70, п. 2; 3 ДСТУ 3671-97 (ГОСТ 10543-98), п. 3; 4	8311
27.3. Проволока порошковая для сварки и наплавки	28.73.15	ГОСТ 26271-84 ГОСТ 26101-84	ГОСТ 26271-84, п. 1; 2; 2a ГОСТ 26101-84, п. 1; 2	8311

Сертификаты, выданные в Украине, признаются в России, Белоруссии, Азербайджане, Армении, Грузии, Молдове, Казахстане, Киргизии и Таджикистане, с которыми заключены государственные соглашения. Соответственно в Украине признаются сертификаты, выданные государственными органами сертификации указанных стран, и взамен сертификатов выдаются свидетельства о признании, достаточные для выполнения таможенных процедур по ввозу оборудования. На рис. 71 показаны знаки сертификации, наносимые на сертифицированное оборудование в Украине, России, и знак СЕ, принятый в Европе.

В странах Европы также действуют свои системы сертификации, подобные системе УкрСЕПРО. Согласно общему положению, сертификация оборудования как средство подтверждения безопасности сварочного оборудования для жизни, здоровья, окружающей среды и имущества потребителя, проводится в соответствии с модульной схемой оценки безопасности. В результате в европейских странах изготовитель или поставщик оборудования под свою ответственность без испытаний оборудования или после испытаний на соответствие Нормам, действующим в Европе, ставит на изделиях знак «СЕ». Поэтому этот знак в Украине не может гарантировать соответствия требованиям безопасности сварочного оборудования требованиям ГОСТов, действующих в Украине. Европейская система сертификации предполагает периодические контрольные испытания образ-

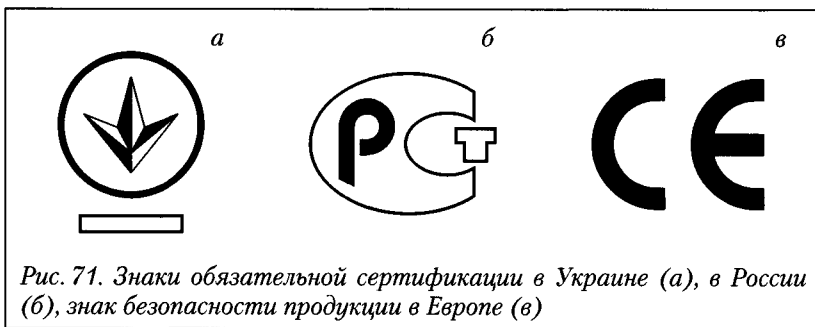


Рис. 71. Знаки обязательной сертификации в Украине (а), в России (б), знак безопасности продукции в Европе (в)

цов аппаратов, отбираемых из торговой сети или у изготовителя. В Европе также действуют независимые органы сертификации и аккредитованные испытательные лаборатории, которые проводят испытания оборудования на соответствие требованиям безопасности согласно нормам, действующим в Европе, и выдают свой сертификат соответствия. Между Украиной и странами Европы не заключены межгосударственные соглашения о взаимном признании сертификатов. Поэтому при ввозе в Украину сварочного оборудования и материалов, перечисленных в табл. 48, необходима обязательная сертификация оборудования согласно ДСТУ 3413-96.

Поскольку в настоящее время сертификация является важным фактором в подтверждении безопасности и качества продукции, способности производств стабильно изготавливать качественную продукцию, а также важным аргументом при получении заказов на изготовление продукции, то по инициативе предприятий проводится добровольная сертификация любой продукции сварочного производства, технологических процессов сварки и системы качества производства.

Приложение 1

1. Структура условного обозначения сварочного оборудования для дуговой сварки в защитных газах в соответствии с ГОСТ 8213-77, ГОСТ 13821-77 и ГОСТ 18130-79.

- 1 — обозначение вида изделия: АД — автомат; ПД — полуавтомат; ВД — выпрямитель;
- 2 — обозначение способа сварки: Ф — сварка под флюсом; Г — сварка в активных газах; И — сварка в инертных газах; У — сварка несколькими способами;
- 3 — номинальный сварочный ток при ПВ=60%;
- 4 — номер модификации аппарата;
- 5 — вид климатического исполнения согласно ГОСТ 15150-69;
- 6 — напряжение питающей сети, В;
- 7 — частота питающей сети;
- 8 — обозначение технических условий или ГОСТа.

Пример: ПДГ-200 УЗ, 380 В, 50 Гц, ГОСТ 18130.

2. Маркировка оборудования, изготавливаемого на предприятиях Европы, в соответствии с ДСТУ ІЕС 60974-1:2002.

a) Identification	1) Manufacturer Address		Trademark P-250			
	2) Type		3) Serial number			
4)	3~		5) ISO / IEC 60974-1			
	b) Welding output					
6)		8)	10) 20 A / 20,8 V to 250 A / 30 V			
			11) X	11a) 35 %	11b) 60 %	11c) 100 %
			7) S	9) $U_0 = 105 V$	12) I_2	12a) 250 A
			13) U_2	13a) 30 V	13b) 28 V	13c) 27 V
c) Energy input	14)		15) $U_1 = 230 V$	16) $I_{1max} = 57 A$	17) $I_{1eff} = 34 A$	
	1(3) - 50 Hz		$U_1 = 400 V$	$I_{1max} = 34 A$	$I_{1eff} = 20 A$	
	22) IP23		23)			

В качестве примера приведена маркировочная таблица полуавтомата для сварки в защитных газах с выпрямителем.

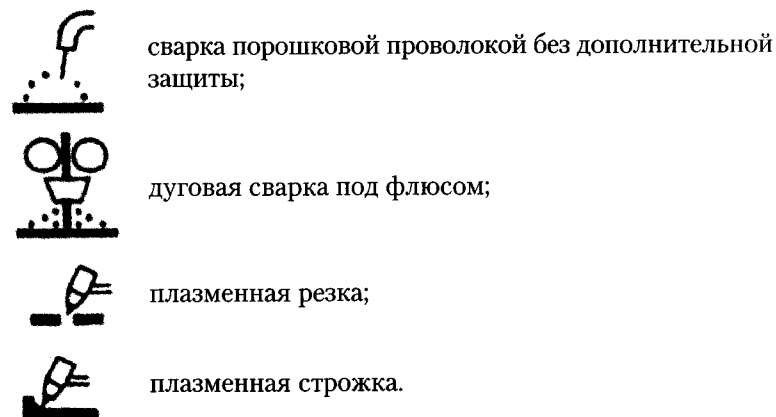
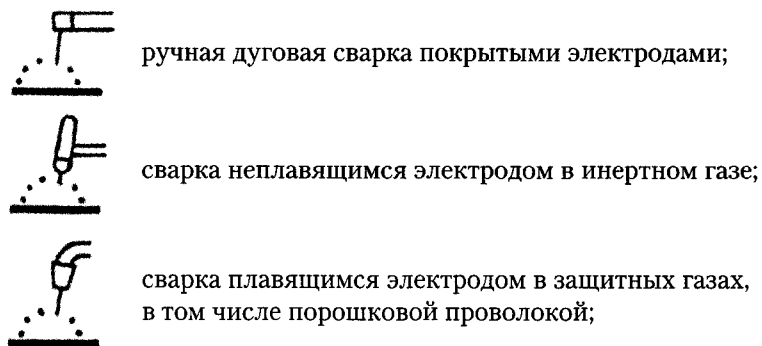
В *прямоугольнике 1* указывают фирму изготовителя и торговую марку, которая задается производителем.

В *прямоугольнике 2* указывают идентификационный тип изделия.

В *прямоугольнике 4* указывают символ сварочного источника тока:



В *прямоугольнике 6* указывают символ сварочного процесса, для которого предназначен аппарат:



В *прямоугольнике 7* указывают

S — символ источников, пригодных для сварки в условиях с повышенной опасностью.

В *других прямоугольниках* таблицы используются символы:

~ — переменный ток;

= — постоянный ток;

U_0 — холостой ход;

X — рабочий цикл — ПВ%;

I_2 — вторичный ток при указанном ПВ;

U_2 — вторичное напряжение при указанной силе тока (для постоянного тока — амплитудное значение; для переменного тока — эффективное значение);

U_T — пониженное напряжение холостого хода источников тока, предназначенных для работы в опасных условиях.

Приложение 2

Перечень стандартов, действующих в Украине, в области сварки в защитных газах

1. ГОСТ 2.601–95. Эксплуатационная документация.
2. ГОСТ 12.2.007.0–75, ССБТ. Изделия электротехнические. Требования безопасности.
3. ГОСТ 12.2.007.8–75, ССБТ. Устройства электросварочные и для плазменной обработки. Требования безопасности.
4. ГОСТ 12.2.008–75. Оборудования и аппаратура для газопламенной обработки металлов и термического напыления покрытий. Требования безопасности.
5. ГОСТ 12.3.003–86, ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности.
6. ГОСТ 12.4.035–78. Щитки защитные лицевые для электросварщиков. Технические условия.
7. ГОСТ 12.3.013, ССБТ. Очки защитные. Общие технические условия.
8. ГОСТ 2246–70. Проволока стальная сварочная. Технические условия.
9. ГОСТ 4997–75. Ковры диэлектрические резиновые. Технические условия.
10. ГОСТ 7871–75. Проволока сварочная из сплавов алюминия. Технические условия.
11. ГОСТ 7237–82Е. Преобразователи сварочные. Общие технические условия.
12. ГОСТ 8213–75. Автоматы для дуговой сварки плавящимся электродом. Общие технические условия.
13. ГОСТ 10543–82. Проволока стальная наплавочная. Технические условия.
14. ГОСТ 11969–93. Сварные швы. Положения при сварке. Определения и обозначения углов наклона и поворота.

15. ГОСТ 13385–78. Обувь специальная диэлектрическая, из полимерных материалов. Технические условия.

16. ГОСТ 13821–77Е. Выпрямители однопостовые с падающими внешними характеристиками для дуговой сварки. Общие технические условия.

17. ГОСТ 14771–76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

18. ГОСТ 14254–96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP).

19. ГОСТ 14771–76. Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные, основные типы, конструктивные размеры.

20. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

21. ГОСТ 16130–90. Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе. Технические условия.

22. ГОСТ 16842–82. Радиопомехи промышленные. Допустимые значения, методы испытаний. Нормы 8–95 и 8–72.

23. ГОСТ 18130–79. Полуавтоматы для дуговой сварки плавящимся электродом. Общие технические условия.

24. ГОСТ 20461–75. Гелий газообразный. Метод определения доли примесей эмиссионным спектральным анализом.

25. ГОСТ 25616–83. Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств.

26. ГОСТ 26101–84. Проволока порошковая наплавочная. Технические условия.

27. ГОСТ 26271–84. Проволока порошковая для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Общие технические условия.

28. ГОСТ 27265–87. Проволока сварочная из титановых сплавов. Технические условия.

29. ДСТУ EN 50199–2001. Електромагнітна сумісність. Обладнання для дугового зварювання. Загальні технічні вимоги.

30. ДСТУ ІЕС 60974–1:2004. Обладнання для дугового зварювання. Частина 1. Джерела живлення для дугового зварювання.

31. ДСТУ ІЕС 60974–7:2003. Обладнання для дугового зварювання. Частина 7. Пальники.

32. ДСТУ ІЕС 60974–11:2003. Обладнання для дугового зварювання. Частина 11. Електродотримачі.

33. ДСТУ ІЕС 60974–12:2003. Обладнання для дугового зварювання. Частина 12. Пристрої з'єднувальні для зварювальних кабелів.

34. ДСТУ ISO 14175–2004. Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання.

35. ДСТУ ISO 14175–2004. Матеріали зварювальні. Електродні дроти та наплавлений метал для дугового зварювання у захисному газі плавким електродом нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація.

36. ДСТУ 2456–94. Сварка дуговая и электрошлаковая. Требования безопасности.

37. ГОСТ 20461–75. Гелий газообразный. Метод определения доли примесей эмиссионным спектральным анализом.

38. ДНАОП 0.00–1.32–01. Правила побудови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок, Київ, 2001.

39. ПУЭ–85. Правила устройства электроустановок. Утверждены Минэнерго СССР, 06.07.84.

40. ДНАОП 0.00–1.21–98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Список литературы

1. Действие газодинамического удара, возникающего при разрыве перемычки электродного металла при сварке в CO_2 / А. И. Акулов и др. // Сварочное производство. — 1967. — № 12.
2. Аснис А. Е. и др. Сварка в смеси активных газов. — К.: Наукова думка, 1982. — 125 с.
3. Вайнерман А. Е. Сварка корпусных конструкций в среде углекислого газа. — Л.: Судостроение, 1967. — 176 с. с илл.
4. Дудко Д. А., Виноградский. Газоэлектрическая сварка с принудительным формированием швов // Автоматическая сварка. — 1957. — № 3.
5. А. с. № 475229 СССР. Устройство для дуговой сварки. (Пат. Франции №1400037, пат. Бельгии №650356, пат. Англии №1090118).
6. А. с. №1148741 СССР. Способ дуговой сварки плавящимся электродом.
7. А. с. №14135 СССР. Выпрямитель для дуговой сварки плавящимся электродом. (Пат. Украины № 1625611).
8. А. с. №1760699 СССР. Способ дуговой сварки плавящимся электродом.
9. А. с. №1826334 СССР. Выпрямитель для дуговой сварки плавящимся электродом.
10. Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н., Ленивкин В.А. Оборудование для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 8 с., с илл.
11. Заруба И.И., Потаповский А.Г., Лапчинский В.Ф. Влияние динамических свойств источников тока на процесс сварки в углекислом газе // Автоматическая сварка. — 1961. — №8.
12. Заруба И.И., Касаткин Б.С., Каховский Н.И., Потаповский А.Г. Сварка в углекислом газе. — К.: «Техніка», 1960, 1966. — 291 с.
13. Сравнительный анализ сварочно-технологических свойств современных выпрямителей для сварки в защитных газах / М. В. Карасев, В. И. Работинский и др. // Сварка в Сибири. — 2003. — № 2(10). — С. 22–30.
14. Особенности современных установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах / М. В. Карасев, Е. М. Вышемирский и др. // Автоматическая сварка. — 2004. — №12. — С. 38–41. (— 1955. — №5. — С. 40–45.)
15. А. с. №238044 СССР. Способ импульсно-дуговой сварки. (Пат. ФРГ №1615330, пат. Швеции №325462, пат. Франции №1520019, пат. США №3519780, пат. Англии №1181995, пат. Италии №796519).
16. А. с. №185425 СССР. Выпрямительное устройство для импульсно-дуговой сварки с обратной связью. (Пат. Франции №1531503; пат. Бельгии №698851).
17. Левченко О.Г. Влияние состава защитного газа и режима сварки на валовые выделения сварочного аэрозоля // Автоматическая сварка. — 1986. — №1. — С. 73–74.
18. Ленивкин В. А., Дюргеров П.Г., Сагиров Х.Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. — М.: Машиностроение, 1989. — 264 с., с илл.
19. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. — М.: Машиностроение, 1970. — 335 с., с илл.
20. Новожилов Н.М., Сулов В.Н. Сварка плавящимся электродом в углекислом газе. — М.: Машгиз, 1958. — 194 с.
21. Новожилов Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в активных газах. — М.: Машиностроение, 1972. — 167 с.
22. Новожилов Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в газах. — М.: Машиностроение, 1979. — 231 с.

23. **Новые** высокопроизводительные технологии сварки фирмы «Фрониус» // Автоматическая сварка. — 2004. — №7. — С. 39.
24. **Оборудование** для дуговой сварки. Справочное пособие / Под редакцией В. В. Смирнова. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1986. — 656 с. с илл.
25. **Порошковая** проволока для сварки в судостроении / Л. Н. Орлов, А. А. Голякевич, В. Н. Упырь, С. П. Гюк // Автоматическая сварка. — 2005. — №6. — С. 52–53.
26. А. с. №162262 СССР. Способ импульсно-дуговой сварки. (Пат. ФРГ №161353, пат. Англии №1164005, пат. Италии №833391, пат. Бельгии №697476).
27. А. с. №247430 СССР. Способ импульсно-дуговой сварки.
28. **Патон Б. Е., Потапьевский А. Г.** Виды процессов сварки в защитных газах стационарной и импульсной дугой // Автоматическая сварка. — 1973. — № 9.
29. **Пацкевич И. Р.** Исследование и применение вибродуговой наплавки. — М.: «Машиностроение», 1964.
30. **Петров А. В.** Перенос электродного металла в дуге и проплавление основного металла при сварке в защитных газах // Сварочное производство. — 1957. — №4 и №8.
31. **Подгаецкий В.В.** Поры, включения и трещины в сварных швах. — К.: Техніка, 1970. — 236 с., с илл.
32. **Потапьевский А. Г.** Сварка нержавеющей стали марки 1X18H9T толщиной 3 мм в защитной среде углекислого газа // Автоматическая сварка. — 1956. — № 5.
33. **Потапьевский А.Г., Порубиновский А.И.** Сварка тонколистового металла электродками в защитной среде углекислого газа // Автоматическая сварка. — 1957. — №6. — С. 99-103.
34. **Потапьевский А.Г.** Влияние составляющих режима сварки тонкой проволокой в среде углекислого газа на интенсивность металлургических реакций // Автоматическая сварка. — 1958. — №2. — С. 53-58.
35. **Потапьевский А.Г.** Сварка в защитных газах. — М.-К.: Машгиз, 1960. — 98 с. — София: Техника. — 1963.
36. **Потапьевский А.Г., Поединок Е.Т.** Выпрямитель типа ВС-300 для сварки в CO₂ // Автоматическая сварка. — 1962. — №3. — С. 76-78.
37. **Потапьевский А.Г.** К вопросу определения динамических свойств источников тока для сварки в углекислом газе // Автоматическая сварка. — 1962. — №7. — С. 43-49.
38. **Потапьевский А.Г.** Сварка в защитных газах плавящимся электродом. — М., «Машиностроение», 1974. — 240 с.
39. **Импульсно-дуговая** сварка в CO₂ стали толщиной 0,5–0,8 мм / А. Г. Потапьевский, М. Г. Лившиц и др. // Сварочное производство. — 1980. — №4.
40. **Потапьевский А.А.** Shielded gas Welding. — К.: Наукова думка, 1983.
41. **Потапьевский А.Г.** Сварка в углекислом газе. — М.: Машиностроение, 1984. — 80 с.
42. **Потапьевский А.Г., Будай А.А.** Импульсно-дуговая сварка вертикальных соединений корпусных конструкций // Судостроение. — 1986. — №6. — С. 55-56.
43. **Потапьевский А.Г., Корицкий В. А.** Приставка ОБ-458 // Автоматическая сварка. — 1988. — №6.
44. **Потапьевский А.Г., Худяков В.И.** Сварка в CO₂ от источников с комбинированной внешней характеристикой. — Оренбург: МНТЦ, 1990. — С. 26.
45. **Патент** Украины №90к. Держатель со шлангом.
46. А. с. №22187 Украины. Выпрямитель для дуговой сварки.
47. **Патент** №37051 Украины. Устройства для сварки тонкой проволокой.
48. **Патент** №36587 Украины. Устройства для дуговой сварки.
49. **Походня И.К., Суптель А.М., Шлепаков В.Н.** Сварка порошковой проволокой. — К.: Наукова думка, 1972. — 223 с.
50. **Примакова Е., Пироженок О.** Сертификация продукции, товаров, работ, услуг. 4-е изд. Харьков: Фактор, 2005. — 296 с.
51. **Разиков М.И.** Автоматическая наплавка в среде углекислого газа. — М.: Машиностроение, 1962. — 212 с.
52. **Рывкин А. Л., Гарбуль А. Ф., Кечаев И. П.** Новые источники и полуавтоматы для дуговой сварки. — МТТ. — 2006. — № 11(60).
53. **Розерт Р., Алимов А.Н., Микитенко А.М.** Организация производства бесшовных порошковых проволок в Украине // Автоматическая сварка. — 2005. — №4. — С. 43-46.
54. **Сагиров Х.Н., Дюргеров Н.Г., Морозкин И.С.** Зажигание сварочной дуги. — Ростов-на-Дону: Гефест, 1999. — 200 с.
55. **Сараев Ю. Н.** Управление переносом электродного металла при сварке в CO₂ с короткими замыканиями дугового промежутка (обзор) // Автоматическая сварка. — 1998. — № 12. — С. 16–23.
56. **Свещинский В.Г., Римский С.Т., Галинич В.И.** Сварка сталей в газовых смесях на основе аргона в промышленности Украины // Автоматическая сварка. — 1994. — №4.
57. **Сергиенко В.А., Гуменшаймер И.И.** Регуляторы расхода (редукторы) углекислого газа. — Сварщик. — 2003. — №5. — С. 21-24.
58. **Скоруход К.К., Семернев А.М.** Микропроцессорные системы управления сварочным оборудованием. — Сварщик. — 2003. — №1. — С. 22-23.
59. **Федько В. Т.** Теория, технология и средства снижения набрызгивания при сварке в углекислом газе. Томск: Изд-во Томского университета, 1998. — 192 с.
60. **Хейфец А.Л.** Сравнительная оценка некоторых способов уменьшения разбрызгивания металла при сварке в CO₂ // Автоматическая сварка. — 1986. — №3. — С. 58-60.
61. **Хренов К.К., Ярхо В.И.** Технология дуговой электросварки. — М.-Л.: Машгиз, 1940. — 408 с.
62. **Чвертко А.И., Пичак В.Г.** Оборудование для дуговой и шлаковой сварки и наплавки. — К.: Наукова думка, 1983. — 56 с. с илл.
63. **Чвертко А. И., Тимченко В. А.** Унифицированное оборудование для дуговой и шлаковой сварки и наплавки. — К.: Наукова думка, 1987. — 192 с.
64. **Шлепаков В.Н., Билинец А.В.** Порошковые проволоки с металлическим сердечником для сварки в защитных газах // Автоматическая сварка. — 2003. — №3. — С. 53.
65. **Пат. США** №3071680. Arc welding.
66. **Erdman-Jesnitzen F., Weinschenk H.E.** Beitrag zur Veränderung des Abschmelzcharakter von ummantelten Elektroden durch den elektrischen Anschlusskreis // Schweissen und Schneiden. — 1959. — N 12. — p. 447-454.
67. **Matsuda F., Ushio M., Yokoo T.** Pulsed GMAW- spattering in pulsed in CO₂ // Trans. JWRI. — voll4. — N 1. — 1985. — p. 13-19.
68. **Ushio M., Ito T., Koshiishi F. et al.** On spatter reduction in Pulsed CO₂ gas shielded welding. Tends in Welding Reserch. Presiding of the 511 Int.Conf., Callaway Gardnes Resort, Pine Mountain, Georgia USA, 1-5 June. — 1998. — P. 362-367.
69. **Tulbentci K.** MIG-MAG Ennelektrod ile Gazaiti Kaynagi. — Gedik Holding Yayni, Istanbul-Turkiye. — 1998 (in Turkish).
70. **Ruge J.** Handbuch der Schweisstechnik. — Band 1/2, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. — 1980.
71. **Smith A.A.** CO₂ shielded consumable elektrode arc welding Abington Hall, Abington-Cambridge. — 1970. — 136 p.
72. **Пат. США** №2886696. Electric arc Welding.
73. **N.N. Welding Handbook.** — Volume2. — Welding Processes, Eighth, American Welding Society, U.S.A. — 1991.
74. **ДСТУ** 3413-96 «Порядок проведения сертификации продукции».
75. **Закон** Украины «О защите прав потребителей» от 12.05.91 г. №1023-ХП.
76. **Декрет** КМУ «О стандартизации и сертификации» от 10.05.93 г. №46-93.
77. **Указ** Президента Украины «О введении единой регуляторной политики в сфере предпринимательства» от 22.01.2000 г. №89.
78. **Закон** Украины «О подтверждении соответствия» от 17.05.2001. №2406-111.
79. **Закон** Украины «О стандартизации» от 17.05.2001 г. №2408-111.
80. **Закон** Украины «Об аккредитации органов по оценке соответствия» от 17.05.2001 г. №2407-111.

Содержание

Предисловие	3
Глава 1. Классификация и электрофизические особенности сварки в защитных газах .. 4	
Сущность, классификация и виды процессов сварки	4
Дуга в защитных газах	17
Перенос электродного металла	28
Глава 2. Особенности сварки в активных газах	42
Активные газы	42
Сварка в углекислом газе	46
Сварка в смеси углекислого газа с кислородом	59
Сварка в смесях аргона с кислородом, аргона с углекислым газом и аргона с углекислым газом и кислородом	60
Сварка в смеси аргона с гелием и кислородом	66
Глава 3. Техника сварки в активных газах	67
Эффективность газовой защиты	67
Параметры режима сварки	70
Особенности техники сварки	73
Приварка болтов	90
Глава 4. Технология сварки сталей в активных газах	92
Особенности металлургических процессов	92
Технология сварки и наплавки углеродистых сталей	98
Технология сварки и наплавки чугуна	108
Сварка нержавеющей и кислотостойких сталей	110
Глава 5. Оборудование для сварки в защитных газах	114
Сварочные аппараты	114
Полуавтоматы — установки для механизированной сварки	126
Установки для автоматической сварки	133
Сварочные роботы	137
Источники тока	139
Оборудование для хранения, транспортировки и использования защитных газов	158
Глава 6. Техника безопасности	170
Глава 7. Сертификация в области сварочного производства	177
Приложения	181
Список литературы	187

Науково-технічне видання

ПОТАП'ЄВСЬКИЙ Аркадій Григорович

ЗВАРЮВАННЯ В ЗАХИСНИХ ГАЗАХ ЕЛЕКТРОДОМ, ЩО ПЛАВИТЬСЯ

Частина 1. ЗВАРЮВАННЯ В АКТИВНИХ ГАЗАХ

(російською мовою)

Редактор *Е. М. Юрлова*

Графіка *А. Є. Рубльова*

Верстка *Т. Д. Пашигорова*

Підписано до друку 19.10.2007. Формат 60×84/16. Папір офсетний. Гарнітура PetersburgС.
Офсетний друк. Умов. друк. арк. 11,16. Облік.-вид. арк. 7,61. Тираж 1000 прим. Зам. № 7-1557.

ДВП «Екотехнологія». Свідоцтво № 14288312 від 04.07.97.

Свідоцтво про внесення до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 1052. 03150 Київ, вул. Антоновича (Горького), 62.

ЗАТ «Віпол». Свідоцтво серія ДК № 572 від 28.08.2001.

03151, Київ, вул. Волинська, 60.

Плазменная наплавка

П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков,
И. А. Рябцев. — 2007. — 292 с.

Рассмотрены основные способы плазменной наплавки: плазменной струей с токоведущей присадочной проволокой, плазменной дугой с нейтральной и токоведущей проволоками, плазменной дугой горячей проволокой, плазменной дугой плавящимся электродом. Особое внимание уделено плазменно-порошковой наплавке.

Приведены требования к наплавочным порошкам, рассмотрены основные способы их производства, исследованы технологические особенности плазменной наплавки, приведена методика выбора режимов плазменно-порошковой наплавки, рассмотрены примеры наплавки ряда характерных деталей. Представлены сведения об оборудовании, рассмотрены конструкции и характеристики установок.

Современные технологии термической и дистанционной резки конструкционных материалов

А. А. Кайдалов. — 2007. — 456 с. с илл.

Приведены современные данные об основах физики и технологий резки материалов с применением различных методов термической и дистанционной резки: кислородной, плазменной, лазерной, водоструйной, взрывом, электронно-лучевой, ультразвуковой, солнечно-лучевой, электроэрозионной. Описаны технические требования, принципы построения и характеристики современного отечественного и зарубежного оборудования для данных методов. Даны сведения по технике безопасности при каждом методе резки. Освещен опыт промышленного применения указанных технологий.

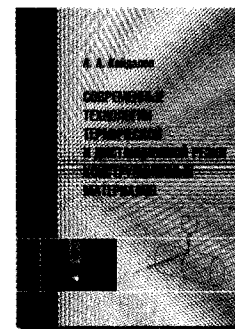
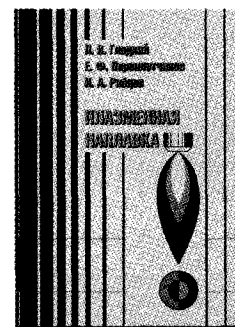
Рассмотрены специальные термические и дистанционные технологии резки: подводная резка, разделка боеприпасов и резка в медицине.

Приведены сведения по некоторым специальным технологиям механической резки: канатной резке, обработке торцов труб и прутков, глубокому фрезерованию для разделки кромок под сварку.

НОВЫЕ
КНИГИ

издательства

«ЭКОТЕХНОЛОГИЯ»



Для инженерно-
технических

работников,

заниматься в области

сварочного

производства,

преподавателей,

аспирантов

и студентов

технических вузов

Издательство «Экотехнология» предлагает:

Название	Цена (грн.)
Г. И. Лащенко. Плазменная резка металлов и сплавов. 2003. — 64 с.	12
Г. И. Лащенко. Плазменное упрочнение и напыление. 2003. — 64 с.	12
В. М. Бернадський, О. С. Осика, Л. О. Симоненко, Л. С. Філоненко. Російсько-український словник зварювальної термінології. Українсько-російський словник зварювальної термінології. 2001. — 224 с. ...	30
В. М. Бернадський та ін. Вчені і фахівці України в галузі зварювання і споріднених технологій. Довідник. 2002. — 144 с.	18
В. И. Лакомский, М. А. Фридман. Плазменно-дуговая сварка углеродных материалов с металлами. 2004. — 196 с.	24
И. А. Рябцев. Наплавка деталей машин и механизмов. 2004. — 160 с.	20
А. А. Кайдалов. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии. Издание 2-е, переработанное и дополненное. 2004. — 260 с.	60
О. С. Осика та ін. Англо-український словник зварювальної термінології. Українсько-англійський словник зварювальної термінології. 2005. — 256 с. ...	40
В. М. Корж. Газотермічна обробка матеріалів. Навчальний посібник. 2005. — 196 с.	40
В. Я. Кононенко. Газовая сварка и резка. 2005. — 208 с.	50
С. Т. Римский. Руководство по технологии механизированной сварки в защитных газах. 2006. — 60 с.	20
С. Н. Жизняков, З. А. Сидлин. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология. 2006. — 368 с.	60
А. Я. Ищенко и др. Алюминий и его сплавы в современных сварных конструкциях. 2006. — 112 с. с илл.	30
П. М. Корольков. Термическая обработка сварных соединений. 3-е издание, переработанное и дополненное. 2006. — 176 с.	40
А. Е. Анохов, П. М. Корольков. Сварка и термическая обработка в энергетике. 2006. — 320 с.	40
Г. И. Лащенко. Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом. 2006. — 384 с.	50
А. А. Кайдалов. Современные технологии термической и дистанционной резки конструкционных материалов. 2007. — 456 с.	50
П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев. Плазменная наплавка. 2007. — 292 с.	50
Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев. Плазменно-порошковая наплавка в арматуростроении. 2007. — 64 с.	20

Книги можно заказать в издательстве «Экотехнология» по адресу:
03150 Киев, ул. Горького, 66 или по тел./ф.: (044) 287-6502.

Цены на книги указаны без учета НДС и стоимости доставки.