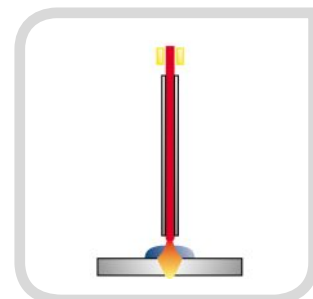


СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО ПО РУЧНОЙ СВАРКЕ СТЕРЖНЕВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ



Содержание

1	Предисловие	2
2	Технология	2
2.1	Общие сведения.....	2
2.2	Род сварочного тока.....	2
2.3	Типы электродов	3
2.4	Свойства отдельных типов покрытий.....	4
3	Какой электрод для какой цели	5
3.1	Выбор по техническим сварочным параметрам	5
3.2	Выбор по свойствам материала.....	7
4	Разделка свариваемых кромок	9
4.1	Типы сварных соединений	9
4.2	Подготовка кромок сварных соединений	9
5	Держатели электрода и сварочные кабели	10
6	Источники сварочного тока	10
6.1	Разновидности источников тока	11
6.2	Специальные функции на инверторах для ручной сварки стержневыми электродами	12
7	Выполнение сварки	13
7.1	Зажигание электрической дуги.....	13
7.2	Ведение электрода	14
7.3	Магнитное дутье.....	14
7.4	Сварочные параметры	15
8	Техника безопасности	15
9	Особенности применения данного метода на разных материалах	17
9.1	Нелегированные и низколегированные стали	17
9.2	Высоколегированные стали и никелевые сплавы	18
9.3	Наплавка.....	18
10	Применение ручной сварки стержневыми электродами.....	18
10.1	Варианты применения.....	19
11	Литература	20
12	Выходные данные.....	20

1 Предисловие

Ручная сварка стержневыми электродами или ручная сварка является одной из старейших технологий сварки, применяющейся еще и сегодня. Эта технология была впервые применена Славяновым, который в 1891 году первым использовал для электродуговой сварки вместо угольного электрода металлический стержень, представлявший собой одновременно электрод и сварочную присадку. Первые стержневые электроды не имели покрытия и поэтому сваривались не очень хорошо. Позднее электроды стали покрывать веществами, облегчающими сварку, защищающими металл шва и оказывающими металлургическое воздействие на процесс. Первый патент на электрод с покрытием был выдан в 1908 году. Электроды могут изготавливаться путем погружения либо опрессовки в экструдерных прессах. В настоящее время используются только электроды, изготовленные методом опрессовки.

Ручная сварка стержневыми электродами отличается тем, что требует относительно небольших вложений и может применяться в любой области. Эта технология может быть использована для сваривания большого количества материалов и гарантирует высокое качество сварных швов. Однако, в последнее время, в первую очередь по экономическим причинам, ее стали вытеснять другие технологии, которые предоставляют возможности механизации.

Данное справочное руководство описывает особенности этой технологии и содержит рекомендации по ее правильному использованию.

2 Технология

2.1 Общие сведения

Ручная сварка стержневыми электродами (номер процесса 111) относится к технологиям сварки плавлением, а точнее к технологиям электродуговой сварки плавящимся электродом. Стандарт ISO 857-1 (издание 1998) следующим образом определяет сварочные процессы этой группы (в переводе с английского):

Электродуговая сварка плавящимся электродом: процесс электродуговой сварки с

использованием электрода, расплавляемого в процессе сваривания.

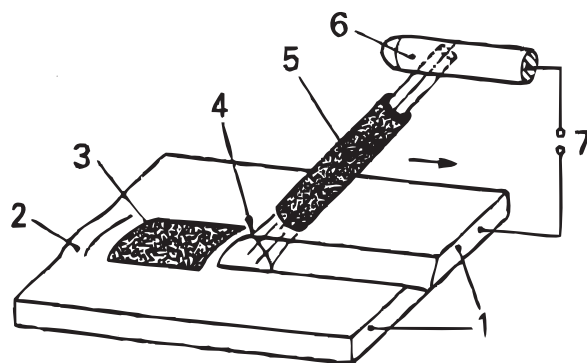
Электродуговая сварка плавящимся электродом без защитного газа: электродуговая сварка плавящимся электродом без подаваемого извне защитного газа и ручная электродуговая сварка плавящимся электродом: Электродуговая сварка, выполняемая вручную с использованием покрытого электрода.

В Германии последняя технология называется ручной сваркой стержневыми электродами или коротко ручной сваркой. Она характеризуется тем, что электрическая дуга горит между плавящимся электродом и сварочной ванной (Рис. 1).

Внешняя защита не используется, любая защита от воздействия атмосферы исходит от самого электрода. Таким образом, электрод является еще и сварочной присадкой. В покрытие входят шлак и (или) защитный газ, которые помимо всего прочего защищают каплю и сварочную ванну от содержащихся в атмосфере кислорода, азота и водорода

2.2 Род сварочного тока

Для ручной сварки стержневыми электродами в принципе может использоваться как постоянный, так и переменный ток, но не все типы оболочек стержневых электродов свариваются при синусоидальном переменном токе, например, им не свариваются электроды с чисто основным покрытием. При сваривании постоянным током большинства типов



- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1 Изделие | 5 Электрод с покрытием |
| 2 Сварочный шов | 6 Держатель электрода |
| 3 Шлак | 7 Источник питания |
| 4 Электрическая дуга | |

Рис. 1 Схема ручной электродуговой сварки согласно стандарту ISO 857-1

электродов электрод подключается к отрицательному, а изделие - к положительному полюсу. Исключением являются опять же основные электроды. Они лучше свариваются при подключении к положительному полюсу. То же относится и к определенным видам целлюлозных электродов. Подробнее об этом можно прочитать в разделе 2.3 Типы электродов.

Электрод - это инструмент сварщика. Он вводит горящую на нем дугу в сварное соединение и при этом расплавляет кромки шва Рис. 2.

В зависимости от типа соединения и толщины основного материала для этого необходимы различные силы тока. Так как допустимая нагрузка по току электродов, в зависимости от их диаметра и длины, ограничена, выпускаются стержневые электроды различной длины и диаметра. На Таблица 2 показаны регламентированные в стандарте DIN EN 759 габаритные размеры.

При увеличении диаметра основного стержня можно использовать более высокие сварочные токи.

2.3 Типы электродов

Составы электродов различных типов могут очень сильно отличаться друг от друга. Состав покрытия определяет характер расплавления

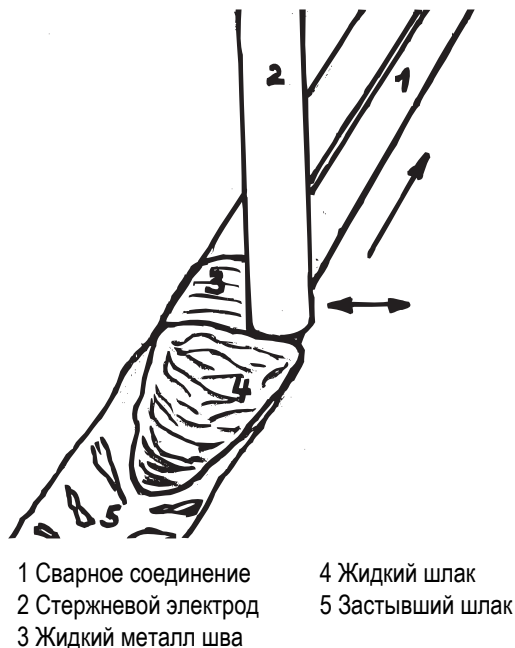


Рис. 2 Положение электрода в сварном соединении

Диаметр в мм, номинальный размер	Допустимое отклонение	Длина в мм, номинальный размер	Допустимое отклонение
1,6	± 0,06	200	± 3
2,0		-	
2,5		350	
3,2	± 0,10	350 - 450	± 3
4,0			
5,0			
6,0			

Таблица 2 Диаметры и длины стержневых электродов согласно стандарту DIN EN 759 "Электроды"

электрода, его сварочные свойства и показатели качества металла шва. Согласно DIN EN 499 у электродов для сваривания нелегированных сталей существуют покрытия следующих типов (см. Таблица 1).

При этом следует различать основные и смешанные типы. Используемые как условные обозначения буквы происходят от английских терминов. Здесь буква C=cellulose (целлюлоза), A=acid (кислый), R=rutile (рутил) und B=basic (основной). В Германии основную роль играет рутил. Покрытие стержневых электродов может быть тонким, средним и толстым. Поскольку покрытие рутиловых электродов может быть любой толщины, для электродов с толстым покрытием было введено отдельное обозначение RR.

У легированных и высоколегированных электродов такого разнообразия покрытий нет. У стержневых электродов для сваривания нержавеющей сталей, которые регламентированы в DIN EN 1600, различают, к примеру, электроды с рутиловым и основным покрытием, как и у электродов для сваривания

Тип	Покрытие
A	кислое
C	целлюлозное
R	рутиловое
RR	толстое рутиловое
RC	рутилово-целлюлозное
RA	рутилово-кислое
RB	рутиловое основное
B	основное

Таблица 1 Типы покрытий согласно DIN EN 499

жаропрочных сталей (DIN EN 1599), однако и в этом случае среди рутиловых электродов есть смешанные рутилово-основные типы, что впрочем никак не проявляется в обозначениях. Это относится, например, к электродам, имеющим лучшие свойства при проведении сварочных работ в стесненных условиях. Стержневые электроды для сваривания высокопрочных сталей (DIN EN 757) выпускаются только с основным покрытием.

2.4 Свойства отдельных типов покрытий

Состав и толщина покрытия имеют определяющее воздействие на сварочные характеристики. Это относится как к стабильности электрической дуги, так и к переходу материала при сваривании и вязкости шлака и сварочной ванны.

Особенное значение при этом имеет размер переходящих в дуге капель. На Рис. 3 схематично показан переход капель при использовании четырех основных типов покрытия [1].

Целлюлозный тип (Рис. 3, а) характеризуется переходом материала в виде средних или крупных капель. Покрытие состоит большей частью из органических компонентов, сгорающих в дуге и образующих при этом защитный газ для защиты места сварки. Так как покрытие содержит кроме целлюлозы и других органических веществ лишь небольшие доли стабилизирующих дугу элементов, при сваривании почти не образуется шлака.

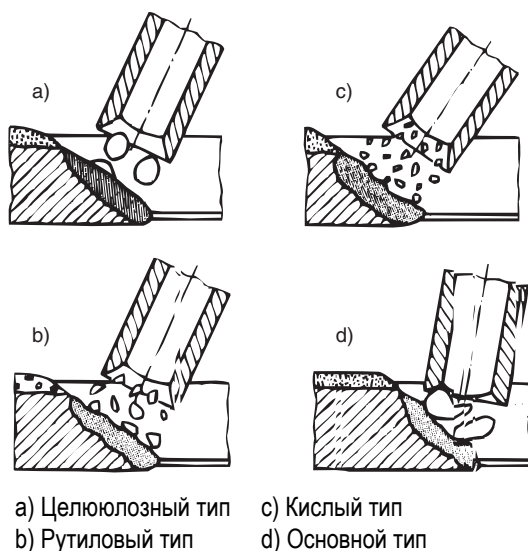


Рис. 3 Переход материала при использовании различных типов покрытия [1]

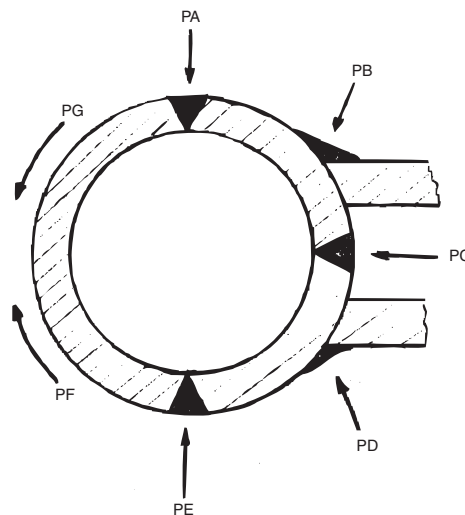


Рис. 4 Позиции при сварке согласно ISO 6947

Электроды с покрытием целлюлозного типа особенно хороши для сварки вертикальных швов сверху вниз (Рис. 4, пол. PG), так как при их использовании не нужно опасаться опережающего выделения шлака.

Кислый тип (А), при котором покрытие большей частью состоит из железной и марганцевой руды, выделяет в атмосферу дуги большие количества кислорода. Кислород проникает в металл шва и снижает его поверхностное натяжение. В результате получается переход материала в форме мелких капель и жидкий металл шва. Поэтому электроды такого типа не подходят для сварки в стесненных условиях. Кроме того, температура дуги очень сильно повышается, в результате чего становится возможным высокая скорость сварки, но появляется опасность подрезов. Описанные недостатки при вели к тому, что электроды с покрытием чисто кислотного вида в Германии практически не используются. Их место занял рутилово-кислый тип покрытия (RA), то есть тип, являющийся смесью кислого и рутилового покрытия. Такой электрод обладает соответствующими сварочными характеристиками.

Покрытие рутилового типа (R/RR) большей частью состоит из диоксида титана в форме минерального рутила (TiO_2) или ильменита ($TiO_2 \cdot FeO$) либо из искусственного диоксида титана. Электроды этого типа также характеризуются переходом материала в форме мелких или средних капель, спокойным расплавлением с малым количеством брызг, очень тонким рисунком шва, хорошей удаляемостью шлака и легким повторным

зажиганием. Последнее качество есть только у тех электродов с рутиловым покрытием, которые содержат большие доли TiO_2 . Это означает, что повторное зажигание уже оплавленного электрода возможно без удаления кратера покрытия (Рис. 5) [2].

Образованная в кратере пленка шлака обладает - при достаточно высоком содержании TiO_2 - практически проводимостью полупроводника, так что при установке кромки кратера на изделие возникает достаточно тока, чтобы зажигание дуги произошло и без соприкосновения стержня и изделия. Подобное спонтанное повторное зажигание всегда важно в тех случаях, когда процесс сваривания часто прерывается, например, при сваривании коротких швов.

Помимо чисто рутилового типа в эту группу покрытий входят и некоторые смешанные типы. Среди них следует упомянуть рутилово-целлюлозный тип (RC), в котором часть рутила заменяется целлюлозой. Так как при сварке целлюлоза сгорает, образуется меньше шлака. Поэтому этот тип может использоваться и при сваривании вертикальных швов, свариваемых сверху вниз (поз. PG). Но он обладает хорошими сварочными характеристиками и в других положениях. Другой смешанный тип - это рутилово-основной Тур (RB). Это покрытие несколько тоньше, чем покрытие типа RR. Это, а также особая шлаковая характеристика делают его особенно подходящим для сварки в вертикальном положении снизу вверх (PF).

Существует еще основной тип (B). В этом случае покрытие большей частью состоит из

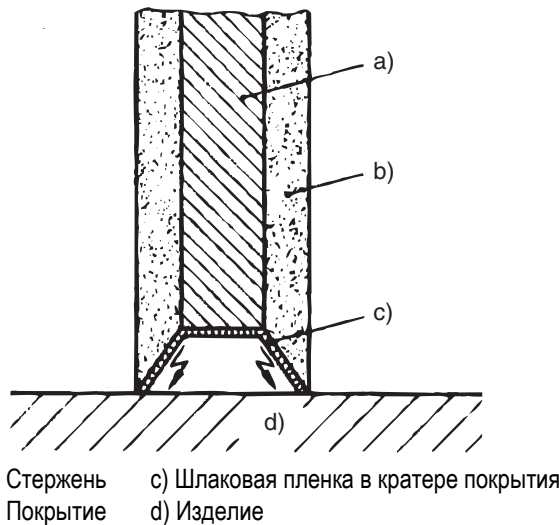


Рис. 5 Повторное зажигание на кратере покрытия

основных оксидов кальция (CaO) и магния (MgO), к которым в качестве разбавителя шлака примешивается плавиковый шпат (CaF_2). Плавиковый шпат в больших долях ухудшает свариваемость при переменном токе. Поэтому чисто основные электроды нельзя сваривать при синусоидальном переменном токе, однако существуют и смешанные типы с меньшим содержанием плавикового шпата в покрытии, которые можно использовать при таком роде тока. Переход материала основных электродов характеризуется средними и крупными каплями, а сварочная ванна получается вязкотекучей. Электрод используется для сварки в любых положениях. Но вследствие повышенной вязкости металла шва наплавленные валики получаются несколько более выпуклыми и грубыми. Металл шва обладает очень хорошими свойствами вязкости. Основные покрытия гигроскопичны. Поэтому следует тщательно обеспечивать сухость атмосферы при хранении таких электродов. Влажные электроды следует просушить. Однако, при сваривании сухих электродов металл шва обладает очень низким содержанием водорода.

Кроме электродов с нормальным выводом ($\leq 105\%$) существуют и такие, которые благодаря железному порошку, добавляемому поверх покрытия, обладают большим выводом, большей частью $>160\%$. Такие электроды называются электродами с железным порошком в покрытии или высокопроизводительными электродами. Благодаря высокой производительности при расплавлении их применение в большинстве случаев более экономически оправданно, чем применение нормальных электродов, тем не менее область их использования, как правило, ограничена вертикальным (PA) и горизонтальным (PB) позициями.

3 Какой электрод для какой цели

При выборе стержневых электродов следует учитывать свойства материала и технические сварочные параметры.

3.1 Выбор по техническим сварочным параметрам

Каждый тип электродов обладает специфическими сварочными характеристиками и, следовательно,

используется для решения конкретных сварочных задач.

Целлюлозные электроды (С) используют для сваривания труб больших диаметров кольцевыми швами, так как эти электроды хорошо подходят для сварки вертикальных швов сверху вниз (поз. РG). Предпочтительной областью применения этих электродов является прокладка трубопроводов, Рис. 6.

По сравнению со сваркой в вертикальном положении снизу вверх (поз. РF) здесь уже можно использовать относительно толстые электроды (4 мм) для корневого слоя. Это дает экономические преимущества.

Особым преимуществом рутилово-кислого типа (RA) является шлакоудаление в узких соединениях, в которых компактный шлак схватывается и плохо растворяется. Шлак электродов типа RA имеет пористую структуру, поэтому он разбивается специальным молотком на мелкие кусочки, которые потом можно легко удалить.

Особенные свойства рутиловых электродов (R, RR), а именно легкое повторное зажигание, хорошая удаляемость шлака и красивый внешний вид шва также определяют области их применения. Это сварка прихватками, а также сваривание угловых швов и верхних слоев, которое требует полного удаления шлака и хорошего внешнего вида шва.

Рутилово-целлюлозный тип (RC) хорошо сваривается в любых позициях, включая вертикальный шов, свариваемый сверху вниз.



Рис. 6 Сварка целлюлозными электродами в строительстве трубопроводов

Поэтому он может использоваться во всех областях, в особенности при монтаже. Прежде всего поэтому вариант с толстым покрытием, соответствующий также и высоким требованиям к внешнему виду шва, является универсальным вариантом на небольших предприятиях.

Электрод с рутилово-основным покрытием (RB) благодаря несколько менее толстому покрытию и его особым характеристикам особенно хорошо подходит для сварки корневых слоев и сварки в поз. РF. Предпочтительной областью применения является прокладка трубопроводов малого и среднего диаметра.

Основной электрод (В) подходит для сварки во всех положениях. Специальные типы подходят даже для вертикальной сварки сверху вниз. В любом случае внешний вид шва получается несколько хуже, чем при сварке другими типами. Однако при этом металл шва имеет "внутреннюю стоимость". Из всех типов электродов основные обладают лучшими характеристиками вязкости и наименьшей опасностью образования трещин металла шва. Поэтому их используют в тех случаях, когда основные материалы не имеют идеальных свойств свариваемости, например, для сталей с ограниченной свариваемостью или для большой толщины стенок. Кроме того, если требуется большая вязкость соединения, например, в конструкциях, которые при последующей эксплуатации будут подвергнуты воздействию низких температур. Низкое содержание водорода делает этот тип особенно подходящим для сваривания высокопрочных сталей.

3.2 Выбор по свойствам материала

Характеристики прочности и вязкости основного материала должны, как правило, достигаться и в металле шва. Для облегчения выбора электродов по этим параметрам в полном обозначении электрода согласно DIN EN 499 существуют и указания относительно минимальных значений предела текучести, прочности при растяжении и вязкости металла шва и относительно сварочных характеристик. На Таблица 3 показан пример такого обозначения.

Короткое условное обозначение E 46 3 В 42 Н5 содержит следующую информацию:

Стержневой электрод для ручной сварки (E) обладает пределом текучести мин. 460 Н/мм², прочностью при растяжении 530-680 Н/мм² и минимальным удлинением 20 % (46). Работа развития трещины, равная 47 джоулям, достигается при температуре -30 °С (3). Покрытие электрода основное (В). Кроме того, есть необязательные указания на вывод и предпочтительный вид тока. Приведенный в качестве примера электрод обладает выводом от 105 до 125 % и сваривается только при постоянном токе (4) в любых положениях кроме вертикального сверху вниз (2). Содержание водорода в металле шва составляет менее 5 мл/100г металла шва (Н5). Если металл шва кроме марганца содержит и другие легирующие

элементы, указание на них содержится перед показателем типа покрытия с обозначением химического элемента и, возможно, с указанием на процентное содержание (например, 1Ni).

Низкое содержание водорода важно при сваривании сталей, имеющих склонность к образованию трещин, вызванному воздействием водорода, например, высокопрочных сталей. В этом случае необходимую информацию дает показатель содержания водорода.

Похожие системы обозначений существуют для высокопрочных электродов (DIN EN 757), жаропрочных электродов (DIN EN 1599) и нержавеющей электродов (DIN EN 1600). У жаропрочных и нержавеющей электродов с основным материалом помимо характеристик прочности должны совпадать и характеристики жаропрочности и антикоррозионные свойства металла шва. Поэтому в этих случаях действует правило, согласно которому металл шва должно быть как можно ближе к легированию основного материала либо несколько выше.

Показатели работы развития трещины металла шва

Показатель	Минимальный предел текучести Н/мм ²	Предел прочности при растяжении Н/мм ²	Минимальное удлинение при разрыве, %
35	355	от 440 до 570	22
38	380	от 470 до 600	20
42	420	от 500 до 640	20
46	460	от 530 до 680	20
50	500	от 560 до 720	18

Показатель

Показатель	Температура минимальной работы развития трещины, равной 47 Дж, - °C
Z	нет требований
A	+20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

Условное обозначение типа покрытия

Тип	Покрытие
A	кислое
C	целлюлозное
R	рутиловое
RR	толстое
	рутиловое
RC	рутилово-целлюлозное
RA	рутилово-кислое
RB	рутиловое
	основное
B	основное

E 46 3 B 42 H5

Показатель	Вывод, %	Род сварочного тока
1	≤105	Переменный и постоянный ток
2		Постоянный ток
3	>105 ≤125	Переменный и постоянный ток
4		Постоянный ток
5	>125 ≤160	Переменный и постоянный ток
6		Постоянный ток
7		Переменный и постоянный ток
8	>160	Постоянный ток

1. все положения
2. все положения кроме вертикального шва, свариваемого сверху вниз
3. стыковое соединение в поз. РА, угловой шов в поз. РА- и RB
4. стыковое соединение в поз. РА, угловой шов в поз. РА
5. положения, как в пункте 3 плюс поз. PG

Показатель	Содержание водорода в металл шва, макс.
H5	5
H10	10
H15	15

Показатель содержания водорода в металле шва

Таблица 3 Условные обозначения электродов согласно DIN EN 499

4 Разделка свариваемых кромок

4.1 Типы сварных соединений

На Рис. 7 показаны важнейшие типы сварных соединений, используемых при ручной сварке стержневым электродом.

При стыковом шве в верхнем диапазоне толщины листа должна быть проведена подготовка корня шва с обратной стороны. Это рекомендуется и для предотвращения возникновения дефектов и при всех случаях сваривания подварочных слоев и при

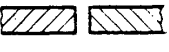


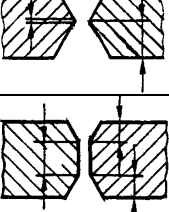
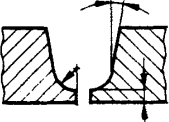
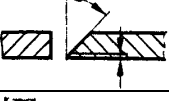


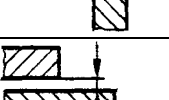

Тип соединения	Толщина изделия (мм)	Рисунок
Стыковой шов	с одной стороны 3-8 с двух сторон <8	
V-образный шов	с одной стороны 3-10 с подварочным швом 3-40	
Y-образный шов	с одной стороны 5-40 с подварочным швом >10	
X-образный шов	с двух сторон >10	
U-образный шов	с одной стороны >12 с подварочным швом >12	
V-образный шов	с одной стороны 3-10 с подварочным швом 3-30	
T-образ. соединение угловым швом	с одной стороны >2	
Угловое соединение угловым швом	с одной стороны >2 с двух сторон >3	
Соединение внахлестку угловым швом	с одной стороны >2	
Двустороннее соединение угловым швом	с двух сторон >2	

Рис. 7 Типы сварных соединений согласно DIN EN 29692-ISO 9692

двустороннем сваривании X-образных и двойных Y-образных швов в верхнем диапазоне толщины листа. У V-образных швов и швов HV фаза корня может быть несколько ломаной, высота притупления Y-образного шва зависит от используемой силы тока. U-образные швы и двусторонние U-образные швы по экономическим соображениям используются прежде всего при сваривании листов большой толщины, так как из-за небольшого угла раскрытия заполняемый объем шва меньше, чем при V-образных, Y-образных, X-образных и двойных Y-образных швах.

У угловых швов зазор между кромками должен быть как можно меньшим, чтобы в него не мог попасть шлак. Это касается в первую очередь T-образных соединений, соединений внахлестку и угловых швов.

4.2 Подготовка кромок сварных соединений

Разделка сварных кромок у нелегированных и низколегированных сталей производится, как правило, газовыми автогенными резаками. Высоколегированные стали и металлы, подвергаемые ручной сварке, могут разрезаться плазменной струей. Удаление возникающей при термической резке оксидной пленки требуется, как правило, только в исключительных случаях.

При наличии особенных требований в отношении соблюдения небольших допусков рекомендуется механическая доработка кромок. В особенности это относится к кольцевым швам. Современные технологии резки электронным или лазерным лучом чаще используются в механизированном производстве и являются скорее исключением при ручной сварке стержневым электродом.

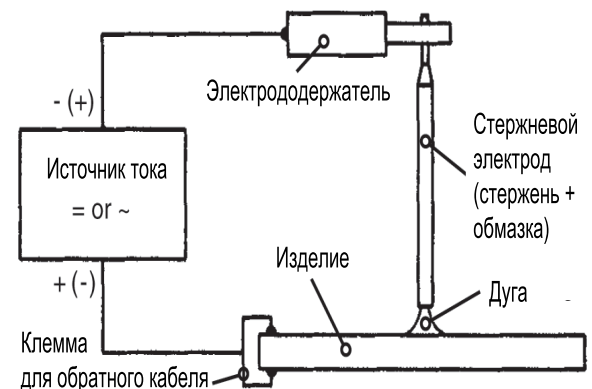


Рис. 8 Сварочный контур [2]

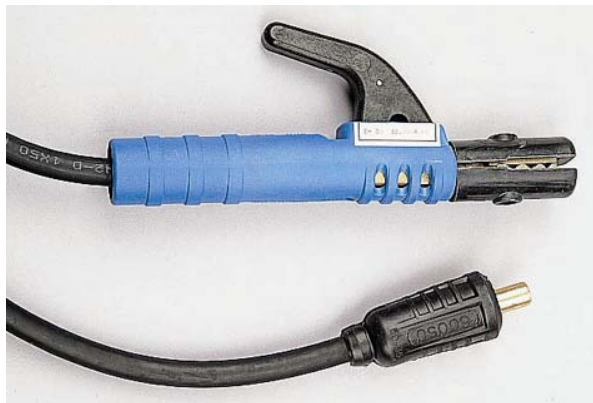


Рис. 9 Пример держателя электрода

5 Держатели электрода и сварочные кабели

На Рис. 8 показана токовая характеристика в сварочном контуре.

Электрод соединяется с одним из полюсов источника питания через держатель электрода (Рис. 9) и сварочные кабели. Другой полюс соединяется с изделием при помощи кабеля массы и зажима кабеля массы.

В зависимости от используемых диаметра электрода и силы тока выпускаются держатели различных размеров.

Ранее в Германии они были регламентированы в стандарте DIN 8569, Часть 1 и разделены на 5 классов по размеру. В Европе они описаны в стандарте DIN EN 60974, Часть 11.

Сечение и длина кабелей должны быть рассчитаны таким образом, чтобы падение напряжения, вызванное их сопротивлением, не превышало определенных значений. Согласно стандарту VDE эти значения составляют до 200 ампер 2 вольт и до 500 ампер 5 вольт. При определении необходимого сечения кабеля



Рис. 10 Сварочный источник питания EWM PICO 140

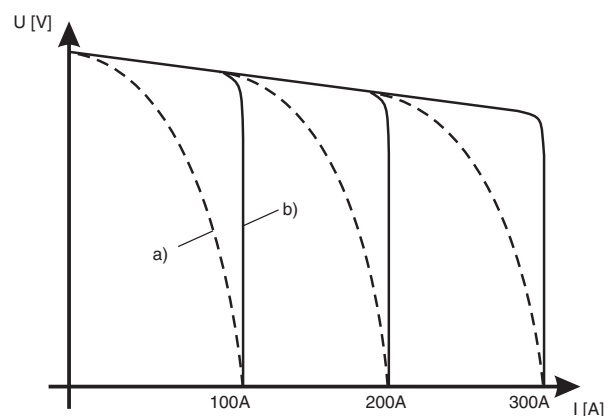
следует сложить длины сварочного кабеля и кабеля массы. Обычными сечениями кабеля при ручной сварке стержневым электродом в зависимости от используемой силы тока являются 25, 35, 50 и 70 мм².

6 Источники сварочного тока

Источник сварочного тока преобразует высокое сетевое напряжение в существенно более низкое сварочное напряжение и обеспечивает требуемые для сварки высокие значения силы тока, которые отсутствуют в сети. Кроме того, он способен поддерживать и регулировать необходимые значения тока. Для сварки может использоваться как переменный, так и постоянный ток.

Источники постоянного тока имеют универсальное применение, поскольку не все типы стержневых электродов пригодны для сварки синусообразным переменным током – см. также раздел Род сварочного тока. Источники сварочного тока для ручной сварки стержневыми электродами имеют одну падающую статическую характеристику, а именно - на большинстве стандартных источников тока (например, PICO 140, Рис. 10) в основном равномерно снижающуюся или (на электронных источниках тока в рабочей области) вертикально падающую (Рис. 11).

Таким образом, гарантируется, что при изменении длины дуги, неизбежной при ручной сварке стержневыми электродами, важнейший для качества сварного соединения параметр, сила тока, изменяется незначительно или совсем не изменяется.



- a) постоянно падающая характеристика
- b) вертикально падающая характеристика (характеристика стабилизированного тока)

Рис. 11 Характеристики для ручной сварки стержневыми электродами

6.1 Разновидности источников тока

Простейшим видом преобразования сетевого тока в сварочный ток является сварочный трансформатор. Он преобразует ток только с точки зрения силы тока и напряжения (трансформатор напряжения) и выдает синусообразный переменный ток для сварки. Принцип работы трансформатора показан на Рис. 12 [2].

Трансформатор подключается к осветительной электросети однофазно между первой фазой и внешним проводом либо между двумя фазами сети трехфазного тока. Регулировка разных значений силы тока становится возможной благодаря перемещению сердечника рассеяния, отведением обмоток на первичной стороне либо с помощью трансдуктора.

На сварочном выпрямителе ток после трансформации выпрямляется диодами или тиристорами, т.е. для сварки выдается постоянный ток. На простых сварочных выпрямителях трансформатор подключается одно- или двухфазно, на более мощных аппаратах - трехфазно ко всем трем фазам сети трехфазного тока. Последние выдают очень равномерный ток без большой пульсации. Однородность тока особенно важна при сварке основными электродами и сварке металлических сплавов, например, никелевых.

Регулировка сварочного выпрямителя на простых аппаратах производится на трансформаторе – см. Настройка сварочного трансформатора. Современные сварочные выпрямители регулируются тиристорами, т.е. управляемыми выпрямителями, путем управления фазовой отсечкой.

Все большую популярность в практическом использовании получают электронные

Железный сердечник (пакет из изолированных металлических пластинок)

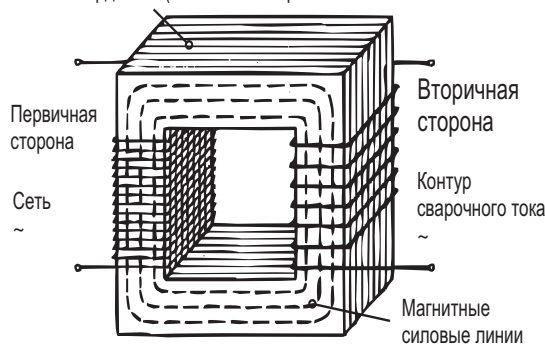


Рис. 12 Принцип работы трансформатора [2]



Рис. 13 Источник сварочного тока STICK 350 компании EWM

источники сварочного тока (инверторы) также для ручной сварки стержневыми электродами, Рис. 13.

Рис. 14 представляет блок-схему инвертора 3-го поколения с тактовой частотой до 100 кГц.

Эти источники тока имеют конструкцию, во многом отличную от традиционных источников тока. Ток, поступающий из сети, сначала выпрямляется, а затем снова разбивается путем включения и выключения за счет транзисторов с тактовой частотой до 100 кГц на короткие отрезки. Эта разбивка необходима для того, чтобы создать возможность трансформировать ток. Затем прерывистый ток переменным образом разряжается в трансформатор. Таким образом, на вторичной стороне возникает прямоугольно импульсный переменный ток с соответствующей частотой. Затем ток выпрямляется и выравняется дросселем. Высокая частота трансформируемого тока дает возможность использовать трансформаторы меньшей массы. Таким образом, становится возможным создание сварочных аппаратов, которые при

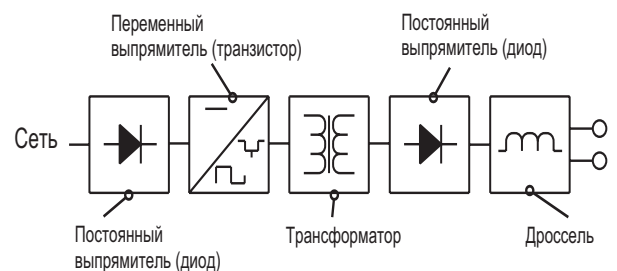


Рис. 14 Блок-схема инвертора 3-го поколения – тактовая частота до 100 кГц



Рис. 15 Инвертер TRITON 220 перем./пост. тока компании EWM для сварки ВИГ и ручной сварки стержневыми электродами

высокой мощности имеют очень незначительный вес. Благодаря этому они отлично подходят для использования на строительных площадках. Рис. 15 представляет инвертер Triton 220 перем./пост. тока компании EWM, применяемый для ручной сварки стержневыми электродами с силой тока до 180 ампер, массой всего 17,9 кг.

На инверторах уклон статической характеристики может изменяться в широких пределах. Поэтому они могут применяться в качестве многозадачных установок для нескольких сварочных процессов. При ручной сварке стержневыми электродами в большинстве случаев характеристика в рабочей области вертикально снижается (характеристика стабилизированного тока).

На электронных источниках тока многие задачи, решаемые на традиционных источниках тока с помощью таких компонентов, как сопротивления, дроссели и конденсаторы, решаются с помощью электронного управления. Поэтому устройство управления такими источниками тока настолько же важно, как и силовая часть. Регулирование тока производится, например, на тактируемых источниках путем изменения соотношения между временем включения/выключения тока. Изменение тактовой частоты также может использоваться для регулировки силы тока. А благодаря новой технике стало возможным также создание регулируемого источника тока, который уже давно требовался для сварочной техники. Контрольное устройство измеряет сварочный ток и напряжение и сравнивает их с заданными значениями. Если фактические

сварочные параметры отклоняются от заданных, например, из-за возникновения нежелательных сопротивлений в цепи сварочного тока, устройство управления выполняет подрегулировку. Это происходит очень быстро - в пределах микросекунд. Аналогичным образом возможно также ограничение тока короткого замыкания и улучшение $\cos\phi$ [3]. Гораздо лучший КПД и меньшие потери при холостом ходе инверторных источников тока получены также благодаря меньшей массе трансформатора.

На сегодняшний день современные инверторы выдают наряду с постоянным током также переменный ток с синусообразными и прямоугольными импульсами. Electrodes, например, с исключительно основным покрытием, которые не позволяют вести сварку синусообразным переменным током, успешно расплавляются при подаче прямоугольного переменного тока. Такая необходимость может возникнуть при наличии неблагоприятных условий дутья.

6.2 Специальные функции на инверторах для ручной сварки стержневыми электродами

Современные инверторные источники тока предлагают целый ряд специальных функций, облегчающих сварку и повышающих ее надежность [4]. Таким образом, можно отрегулировать силу дуги (форсаж), Рис. 17.

Если, например, напряжение электрической дуги из-за большой капли, образовавшейся на электроде, становится слишком коротким и падает ниже 8 вольт, сила тока автоматически повышается, Рис. 18.

Это может помочь электрической дуге освободиться и не погаснуть. Эта функция особенно важна при сварке электродами с целлюлозным, а также основным покрытием.

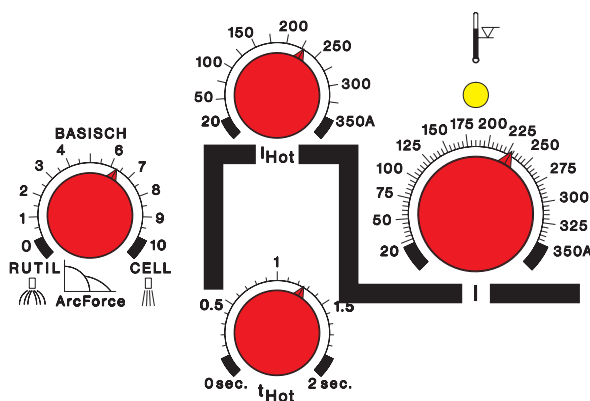


Рис. 17 Управление (обслуживание) современного источника тока STICK

Ширину электрической дуги, а значит и ее жесткость можно плавно изменять регулируемым дросселем. Более жесткая дуга требуется, например, при наличии неблагоприятных условий дутья.

За надежное зажигание дуги и достаточный прогрев на еще холодном основном материале в начале сварки следит функция Горячий пуск (Hotstart). Зажигание при этом производится с повышенной силой тока, Рис. 16.

Функция Antistick препятствует прокаливанию электрода, когда зажигание заканчивается неудачей, и электрод "прилипает" к изделию. Разогрев электрода, вызванный сопротивлением, может повредить покрытие вплоть до его отслаивания. На источниках тока, оборудованных соответствующей функцией, в случае, если после короткого замыкания зажигания нарастания напряжения не происходит, ток немедленно снижается до нескольких ампер. После этого электрод можно легко отделить от точки зажигания.

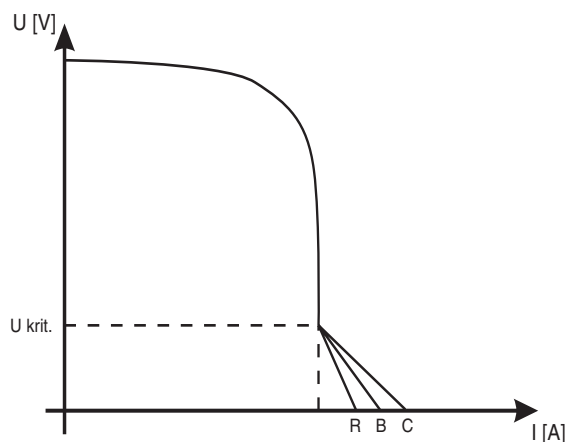


Рис. 18 Принцип регулировки силы дуги R= рутиловый электрод; B= основной электрод; C= целлюлозный электрод

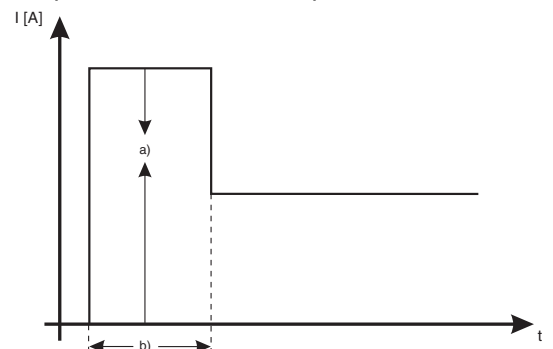
7 Выполнение сварки

Сварщику требуется хорошая подготовка, в частности, не только с точки зрения навыков, он должен также обладать соответствующими специальными знаниями, чтобы не допускать ошибок. Образовательные руководящие указания DVS (Немецкий союз сварки и смежных работ) признаны на международном уровне и в последнее время приняты также Международным союзом сварки (IIW).

Перед началом сварки, как правило, выполняется прихватка изделия. Точки прихватки должны иметь такую длину и толщину, чтобы при сварке не произошло недопустимого стягивания изделий и разрыва точек прихватки.

7.1 Зажигание электрической дуги

Процесс сварки при ручной сварке стержневыми электродами начинается



- a) Ток горячего старта
- b) Время горячего старта

Рис. 16 Принцип работы функции "Hotstart"

контактным зажиганием. Чтобы замкнуть электрическую цепь, необходимо сначала создать короткое замыкание между электродом и изделием, после чего слегка приподнять электрод – появляется электрическая дуга. Процесс зажигания не должен производиться за пределами шва, а только в тех местах, которые после горения дуги будут снова заплавлены. В точках, где зажигания так и не произошло, на соответствующих чувствительных материалах вследствие резкого нагрева могут возникнуть трещины.

На основных электродах, имеющих склонность к пористости, зажигание должно производиться за некоторое время до непосредственного

начала сварки. После этого дуга возвращается к начальной точке шва, и в ходе дальнейшей сварки первые капли, которые в большинстве случаев оказываются пористыми, снова заплавливаются.

7.2 Ведение электрода

Электрод подводится к поверхности металла вертикально или под небольшим углом. При выполнении движения он слегка наклоняется в направлении сварки. Видимая длина электрической дуги, т.е. расстояние между краем кратера и поверхностью изделия, должна примерно соответствовать диаметру центрального стержня. Основные электроды должны свариваться очень короткой дугой (расстояние = 0,5 x диаметра стержня). Для этого их следует вести под более крутым углом, чем рутиловые электроды.

В большинстве положений выполняется ниточный наплавленный валик, либо выполняется колебательное движение с увеличением высоты к кромкам шва. Только в положении PF выполняется широкий наплавленный валик по всей стороны шва. Как правило выполняется сварка опиранием, только в положении PF электрод прикасается колющим движением.

7.3 Магнитное дутье

Под дутьем понимается явление, при котором электрическая дуга удлиняется вследствие отклонения по центральной оси и издает при этом шипящий звук. Вследствие этого отклонения могут возникать непровары. Таким образом, провар может оказаться недостаточным, и при сварочном процессе с ведением шлака при опережающем движении шлака в шве могут возникать шлаковые включения.

Отклонение производится силами, возникающими в окружающем магнитном поле. Как любой проводник, по которому течет ток, электрод и электрическую дугу также окружает кольцеобразное магнитное поле, которое отклоняется в области дуги при переходе в основной материал. При этом магнитные силовые линии на внутренней стороне уплотняются, а на внешней расширяются – Рис. 19 (a) [2].

Дуга отклоняется в область с меньшей плотностью токовых линий. При этом она удлиняется и из-за повышения дугового напряжения издает шипящий звук. Противоположный полюс также оказывает отталкивающее воздействие на дугу.

Другая магнитная сила возникает из-за того, что магнитное поле лучше распространяется в ферромагнитном материале, чем в воздухе. Поэтому электрическая дуга притягивается большой массой стали – Рис. 19 (b). Это проявляется, например, в том, что при сварке на поддающемся намагничиванию материалу на кромках листа дуга отклоняется внутрь.

Отклонение дуги можно компенсировать путем соответствующего наклона электрода – Рис. 19 (c). Поскольку дутье при сварке постоянным

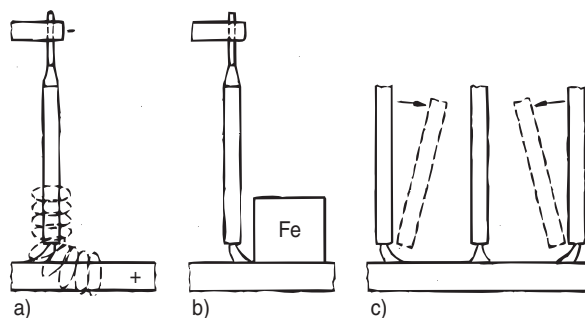


Рис. 19 Отклонение электрической дуги окружающими магнитными полями

токоом особенно сильно, его следует избегать или хотя бы существенно снизить выбром сварки переменным током, если это возможно.

Особенно сильным дутье может стать из-за окружающих масс стали при сварке корня. Здесь может помочь подход, когда магнитный поток поддерживается близко расположенными друг к другу, не слишком короткими прихватками.

7.4 Сварочные параметры

При ручной сварке стержневыми электродами регулируется только сила тока, напряжение дуги определяется длиной дуги, поддерживаемой сварщиком. При регулировке силы тока следует учитывать токонагрузочную способность используемого электрода данного диаметра. Таблица 5 дает ориентировочные данные токонагрузочной способности для электродов разного диаметра.

При этом применяется следующее правило: нижние границы применяются для сварки корня и положения PF, а верхние - для остальных положений, заполняющего и верхнего слоев. При возрастающей силе тока возрастает и мощность расплавления и связанная с ней скорость сварки. При возрастании тока провар также увеличивается. Указанные значения силы тока применяются только для нелегированных и низко легированных сталей. Для высоколегированных сталей и материалов на основе никеля ввиду высокого электрического сопротивления центрального стержня должны устанавливаться более низкие значения.

Регулируемые параметры для разных сварочных заданий приведены в Таблица 4, Таблица 6 и Таблица 7, [2], [5].

8 Техника безопасности

Диаметр (d, мм)	Длина (l, мм)	Сила тока (I, A)	Эмпирическое правило для силы тока, A
2,0	250/300	40... 80	20...40 x d
2,5	350	50...100	
3,2	350/400	90...150	30...50 x d
4,0	350/400	120...200	
5,0	450	180...270	
6,0	450	220...360	35...60 x d

Таблица 5 Значения силы тока в зависимости от диаметра электрода

При ручной сварке стержневыми электродами для сварщика существуют опасности, создаваемые дымом и газами, выделяющимися из оболочки стержневых электродов и испарении металла, излучения видимого спектра, а также ультрафиолетовым и инфракрасным излучением электрической дуги, а также опасность поражения электрическим током.

По действующим в настоящее время инструкциям по предотвращению несчастных случаев при ручной сварке стержневыми электродами на стационарных сварочных площадках должен быть предусмотрена отсасывающая вентиляция непосредственно на участке возникновения вредных газов. Только при кратковременной и нестационарной сварке при определенных условиях допускается свободный обдув или общая техническая вентиляция помещения.

Толщина листа, мм	Положение сварки	Тип шва	Тип электрода	Диаметр электрода, мм	Сила тока, ампер	Примечание
4			RA	2,5	75	-
				3,2	140	Корень
6	PA		B	4,0	180	Верхний слой
				3,2	120	Корень
10	PF		RB	4,0	170	Верхний слой
				3,2	95	Корень
15	PA	V	B	3,2	130	Корень
				4,0	170	Заполняющий и верхний слой
	PF		B	3,2	90	Корень
				4,0	140	Верхний слой
20	PA		B	4,0	160	Корень
				5,0	220	Заполняющий и верхний слой
	PF		B	3,2	90	Корень
				4,0	140	Заполняющий и верхний слой

Таблица 4 Регулируемые параметры для стыковых швов на нелегированных и низколегированных листовых материалах Значения из [2] и [5]

Толщина стенки, мм	Положение сварки	Тип шва	Тип электрода	Диаметр электрода, мм	Сила тока, ампер	Примечание	
8	PG	V	С	4,0	125	Корень	
					170	Горячий проход	
					150	Средний слой	
					130	Верхний слой	
10				4,0	130	Корень	
					180	Горячий проход	
					5,0	190	Средний слой
						175	Верхний слой
12				4,0	130	Корень	
					180	Горячий проход	
					5,0	200	Средний слой
						175	Верхний слой

Таблица 6 Регулируемые параметры для стыковых швов на трубах из нелегированной и низколегированной стали Значения из [2]

а-размер, мм	Положение сварки	Тип шва	Тип электрода	Диаметр электрода, мм	Сила тока, ампер	Примечание	
2	PG	T	RC	2,5	70	-	
3	PB		RR	3,2	130	-	
4			RR160	4,0	180	-	
			190		-		
5			RR	5,0	180	Корень	
			240		Верхний слой		
6			RR160	RR	4,0	290	-
			180			Корень	
			5,0		240	Верхний слой	
					255	-	
8			PF	B	3,2	110	Корень
	4,0				140	Верхний слой	

Таблица 7 Регулируемые параметры для угловых швов на нелегированной и низколегированной стали Значения из [2]

Излучение электрической дуги вызывает ослепление глаз и может привести к „выгоранию“ глаз, т.е. их воспалению. Однако излучение может также привести к ожогам кожи и явлениям, схожим с солнечным ожогом. Учитывая это, сварщик обязан защитить себя соответствующей защитной одеждой и щитком с соответствующими защитными фильтрами по стандартам EN 166 и EN 169. В качестве защитного фильтра следует использовать фильтры ступеней от 9 (для тонких электродов и низкой силы тока) до 14 (для толстых электродов и высокой силы тока). Прозрачное стекло перед защитным фильтром или прозрачные очки защищают от ожогов глаз при выбросах шлака.

Опасность поражения электрическим током при электродуговой сварке возникает в основном из-за напряжения холостого хода, т.к. оно является самым высоким напряжением, присутствующим при включенном источнике тока между двумя полюсами при простое сварки. В отличие от него присутствующее во время сварки напряжение дуги значительно ниже и составляет в зависимости от диаметра электрода и длины дуги около 20-30 вольт. Поэтому значение напряжения холостого хода ограничивается правилами предупреждения несчастных случаев. С постоянным током оно не должно превышать пикового значения 113 вольт, а с переменным - 113 вольт и эффективным значением 80 вольт.

Особенно велика опасность поражения электрическим током для сварщика при сварке в тесных и влажных помещениях и на/внутри массивных стальных конструкциях. Здесь допускаются источники постоянного тока с пиковым значением до 113 вольт. При переменном токе значение напряжения холостого хода еще более ограничено. Его пиковое значение не должно превышать 68 вольт, а эффективное - 48 вольт. Источники сварочного тока, выполняющие это требование, имеют особую маркировку. Аппараты, изготовленные в последнее время, имеют знак „S“ (Безопасность), на более старых имеется маркировка „K“ на источниках постоянного тока и „42 V“ на источниках переменного тока.

Однако сварщик должен и сам следить за тем, чтобы не касаться токоведущих деталей и иметь на себе изолирующую одежду, обувь с

хорошими резиновыми подошвами и кожаные перчатки. При работе на металлоконструкциях дополнительно рекомендуется использовать изолирующий мат.

9 Особенности применения данного метода на разных материалах

Ручная сварка стержневыми электродами применяется сегодня в основном для сварки нелегированных и низколегированных сталей, а также строительных сталей, жаростойких, высокопрочных и холодновязких сталей, а также нержавеющей хром-никелевых сталей и никелевых сплавов. Еще одной областью применения стержневых электродов является наплавка.

В отличие от этого сварка алюминия и алюминиевых сплавов, а также меди и медных сплавов стержневыми электродами с покрытием была практически полностью замещена сваркой в защитном газе и в настоящее время используется лишь в качестве крайнего средства, когда, например, на строительных площадках организация сварки в атмосфере защитного газа невозможна.

Ниже излагаются некоторые особенности и возможности применения для разных материалов.

9.1 Нелегированные и низколегированные стали

Для нелегированных и низколегированных сталей ручная сварка стержневыми электродами вследствие незначительной потребности применяется лишь на малых предприятиях с низкой интенсивностью сварочных работ, где приобретение более крупных сварочных установок экономически невыгодно. Кроме того, стержневые электроды еще применяются на строительных площадках, например, при сварке на открытом воздухе, где сварка в защитном газе требует сложных приготовлений для защиты от ветра, Рис. 20.

Во всех других случаях этот метод должен доказать свою экономическую эффективность по сравнению с другими, механизированными методами дуговой сварки. Поэтому там, где это возможно, применяются электроды высокой мощности с выводом 160-180 %. Рутиловые электроды с высоким выводом благодаря высокой скорости сварки и хорошему внешнему



Рис. 20 Применение в качестве источника питания инвертора PICO 140 (4,6 кг/140 А) на строительной площадке

виду шва очень хорошо подходят для сварки угловых швов с а-размером 3-5 мм.

В изготовлении напорных резервуаров и котлов популярностью пользуются основные стержневые электроды из-за отличных свойств сварочного соединения, причем более высокое качество соединений оказывается иногда более важным фактором, чем экономические соображения.

Высокопрочные стали, к которым относится также строительная сталь S355, если используется материал со значительной толщиной (>20 мм), имеют склонность к растрескиванию при сварке, если друг на друга накладываются три фактора, а именно высокое содержание водорода, высокие напряжения и резкое охлаждение после сварки. Таких трещин, вызванных водородом, легче всего избежать, если содержание водорода в металле шва удерживается низким (<5 мл/100 г). Поскольку при ручной сварке стержневыми электродами в противоположность сварке в защитном газе водород передается прежде всего из покрытия, для этих целей должны использоваться только сухие основные электроды. Влажные электроды и электроды, в отношении которых существует подозрение, что они набрали влагу, перед сваркой

необходимо просушить. В качестве ориентировочного значения для сушки можно использовать температуру 250-350 °С и время выдержки 1-2 часа, однако у разных производителей оно может быть различным. Лучше всего следовать инструкциями производителя.

9.2 Высоколегированные стали и никелевые сплавы

Относительно широкое применение ручная сварка стержневыми электродами получила еще в сфере изготовления химического оборудования при сварке нержавеющей CrNi-сталей. В противоположность сварке в защитном газе при ручной сварке стержневыми электродами сварной шов при охлаждении дополнительно защищен от атмосферы шлаком. Поэтому швы окисляются меньше. Возникающую оксидную пленку перед вводом компонента в эксплуатацию следует удалить щеткой, шлифованием, пескоструйной обработкой либо травлением, т.к. она ухудшает его характеристики коррозионной стойкости. Из-за меньшего окисления поверхности требуются меньшие издержки на чистку швов. Это может компенсировать некоторые экономические преимущества, которыми обладает сварка МАГ по сравнению с ручной сваркой стержневыми электродами. Иногда при сварке коррозионноустойчивых сталей из опасения непроваров сварке МАГ предпочитают ручную сварку стержневыми электродами.

Так как аустенитные стали не становятся хрупкими и не проявляют склонности к растрескиванию даже под воздействием водорода, для этих сталей применяются в основном электроды с рутиловым покрытием, которые отличаются хорошим внешним видом шва. Это касается в первую очередь угловых швов и верхних слоев. Для этого предлагаются электроды высокой мощности с долей вывода 160 %.

Электроды для сталей с высокими антикоррозионными характеристиками и никелевых сплавов поставляются, напротив, чаще всего с основным покрытием. Этот тип покрытия может оказаться необходимым для двухслойных сталей, которые из-за своей двухфазовой структуры более чувствительны к водородному охрупчиванию.

При сварке высоколегированных материалов следует избегать перегрева, так как они

ухудшают вязкость и коррозионную стойкость сварного соединения, и повышают вероятность возникновения горячих трещин. Поэтому на тонких изделиях рекомендуется время от времени делать паузы для охлаждения либо ускорять охлаждение путем подкладывания медных брусков.

9.3 Наплавка

Стержневые электроды позволяют выполнять легирование через покрытие для твердых сплавов, которые невозможно изготовить в форме массивной проволоки по причине деформируемости, например, чугуновые сплавы с высоким содержанием хрома. Альтернативой здесь является порошковая проволока, которая может легироваться через стержень, однако в этой сфере еще достаточно активно используется ручная сварка стержневыми электродами.

10 Применение ручной сварки стержневыми электродами

Ручная сварка стержневыми электродами в принципе может применяться уже начиная с толщины стенки 1,5 мм, однако многие производители стержневых электродов в настоящее время производят их для толщины не менее 2,0 мм Ø, так как очень тонкие листы в большинстве случаев свариваются сваркой ВИГ. Таким образом, минимальная доступная для сварки толщина листа для ручной сварки стержневыми электродами увеличивается до 2 мм.

Доля ручной сварки стержневыми электродами за последние годы постоянно снизилась в пользу сварки МИГ/МАГ. По новейшей статистике ее доля, в отношении ко всем методам дуговой сварки, на сегодня составляет около 7,5 % [6].

Основными областями применения до сих пор является судостроение, где применяются преимущественно угловые швы, и металлоконструкции, где стержневые электроды применяются в основном на строительных площадках. По преимуществам ручной сварки стержневыми электродами в изготовлении котлов, аппаратов и трубопроводов уже говорилось в предшествующих разделах. Еще одной дополнительной областью применения являются предприятия, отвечающие за текущий



Рис. 21 Применение ручной сварки стержневыми электродами в изготовлении резервуаров

ремонт оборудования, в частности, как стыковой, так и наплавной сварки.

10.1 Варианты применения

В качестве иллюстрации по многим другим сферам применения ниже приведены два примера типичных возможностей применения ручной сварки стержневыми электродами.

Рис. 21 представляет применение в сфере изготовления резервуаров.

На резервуар, изготовленном способом машинной сварки, необходимо приварить навешиваемые детали. Для этого подходит ручная сварка стержневыми электродами. Применение инвертера малого веса в качестве источника тока оказывается в этой ситуации особенно целесообразным. Можно отказаться



Рис. 22 Применение ручной сварки стержневыми электродами в изготовлении перил

от длинных, а значит толстых и менее гибких сварочных проводов, поскольку инвертор может быть установлен рядом или на самом изделии.

Второй пример (Рис. 22) показывает применение ручной сварки стержневыми электродами в изготовлении перил.

Многие слесарные мастерские и мелкие заводы металлоконструкций производят решетки, балконы и перила, которые предварительно изготавливаются в мастерской и окончательно собираются на строительной площадке. При этом возникает необходимость выполнения многочисленных коротких сварочных швов, для которых ручная сварка стержневыми электродами идеально подходит.

11 Литература

- [1] Killing, R.: Kompendium Schweißtechnik Band 1 – Verfahren der Schweißtechnik Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 128/1, DVS-Verlag Düsseldorf 1997
- [2] Killing, R.: Handbuch der Lichtbogenschweißverfahren Band 1 – Lichtbogenschweißverfahren, Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 76/I, DVS-Verlag Düsseldorf 1999.
- [3] Killing, R. und H. Lorenz: Schweißgeräte für das Lichtnetz – Schein und Wirklichkeit Metallbau H. 3/2000, S. 62-64.
- [4] Susa, F. und R. Killing: Moderne Multifunktionsanlagen – Eigenschaften und Anwendung DVS-Jahrbuch Schweißtechnik 2002, S. 158-164, DVS-Verlag Düsseldorf 2001
- [5] G. Aichele: Leistungskennwerte für Schweißen und Schneiden, Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 72, DVS-Verlag Düsseldorf 1994.
- [6] Killing, R.: Metallschutzgasschweißen hat weiter zugenommen – Anwendungsumfang der Schmelzschweißverfahren, Praktiker H. 11/2001, S. 435-436.

12 Выходные данные

Справочное руководство по сварке МИГ/МАГ, 2 издание 2002

Издание серии справочной литературы компании EWM "Все о сварке"

Все права сохранены.

Перепечатка, даже в виде выдержек, запрещена. Запрещается воспроизведение либо обработка, размножение или распространение при помощи электронных систем каких-либо частей данной брошюры в любой форме (фотокопия, микрофильм или иной способ) без письменного разрешения компании EWM.

© EWM HIGHTEC WELDING GmbH

Dr.-Günter-Henle-Str. 8

D-56271 Mündersbach

Тел.: +49(0)2680.181-121

Факс: +49(0)2680.181-161

<mailto:info@ewm.de>

<http://www.ewm.de>

Набор:

EWM HIGHTEC WELDING GmbH, Mündersbach

Печать:

Müller Digitaldruck GmbH, Montabaur

Мы предлагаем следующую информацию:

В серии справочной литературы «Вокруг сварки» можно найти пособия и разъяснительные плакаты по ручной сварке стержневыми электродами, сварке ВИГ, плазменной сварке и сварке МИГ/МАГ.



Кроме того, все эти сведения можно получить в Интернете по адресу. . .



www.ewm.de

Брошюры: изображения, темы, описание продуктов.



Специализированные статьи и другие материалы о высокопроизводительной сварке МАГ, плазменной сварке по алюминию или импульсной сварке ВИГ.



Продажа, консультации, обслуживание

EWM / HIGHTEC®
WELDING

SIMPLY MORE

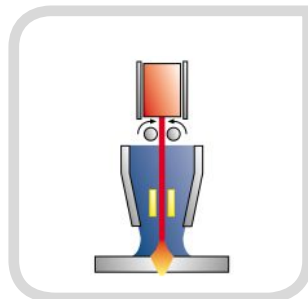
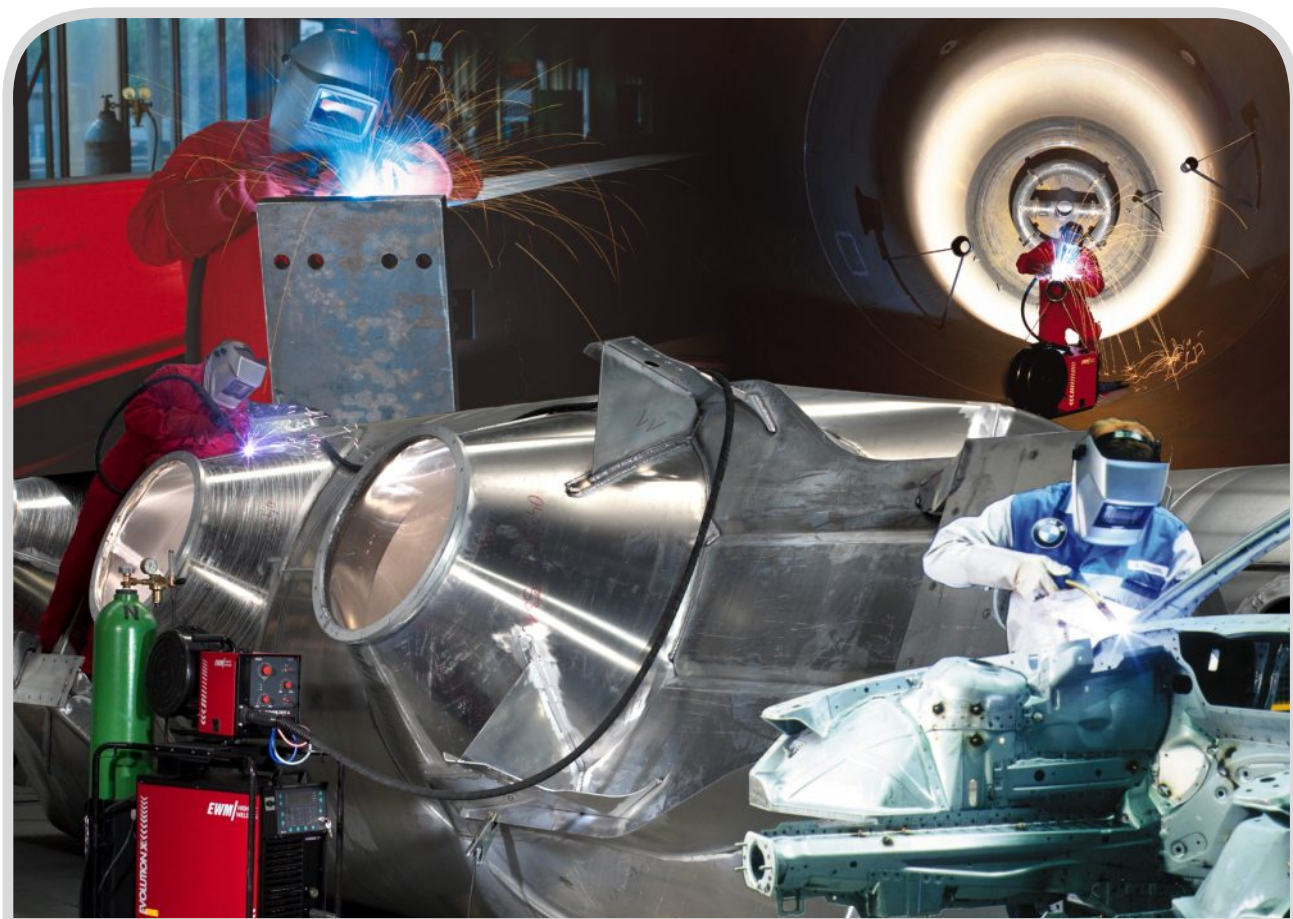
EWM HIGHTEC WELDING GmbH

Dr.-Günter-Henle-Strasse 8 · D-56271 Mündersbach
Phone +49(0)26 80-18 10 · Fax +49(0)26 80-18 12 44

www.ewm.de · info@ewm.de



СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО ПО СВАРКЕ МИГ/МАГ



Оглавление

1	Предисловие	2
2	Технология	2
2.1	Общие сведения.....	2
2.2	Род сварочного тока.....	3
3	Присадочный материал и вспомогательные материалы.....	3
3.1	Сорта проволочных электродов.....	3
3.2	Технические условия поставки проволочных электродов и порошковых проволочных электродов.....	4
3.3	Защитные газы	5
3.4	Свойства металла шва	7
4	Разделка свариваемых кромок.....	7
4.1	Типы сварных соединений	7
4.2	Подготовка кромок сварных соединений.....	7
4.3	Защита сварочной ванны от протекания.....	7
4.4	Формирование	8
5	Сварочные аппараты.....	9
5.1	Источники сварочного тока.....	10
5.2	Устройства подачи проволоки.....	11
5.3	Пакет шлангов и горелка	13
5.4	Управление	14
6	Переход материала при сварке МИГ/МАГ	15
6.1	Варианты дуги	15
6.2	Короткая дуга.....	15
6.3	Длинная дуга.....	16
6.4	Капельная дуга	16
6.5	Смешанная дуга	17
6.6	Импульсная дуга.....	17
6.7	Особые формы перехода материала.....	17
7	Настройка сварочных параметров	18
7.1	Настройка обычных установок.....	18
7.2	Синергетическая настройка сварочных параметров.....	19
7.3	Регулирование процесса сварки МИГ/МАГ	20
8	Выполнение сварки	21
8.1	Зажигание электрической дуги.....	21
8.2	Ведение горелки.....	21
8.3	Окончание сварки.....	21
8.4	Сварочные параметры.....	22
8.5	Возможности механизации	24
9	Техника безопасности	24
10	Особенности различных материалов	25
10.1	Нелегированные и низколегированные стали	25
10.2	Высоколегированные стали и никелевые сплавы.....	26
10.3	Алюминий и его сплавы	26
10.4	Прочие материалы	27
11	Применение сварки МИГ/МАГ.....	28
11.1	Отрасли производства	28
11.2	Варианты применения	28
12	Литература	28
13	Выходные данные	29

1 Предисловие

Сварка МИГ/МАГ (Рис. 1) является одной из самых современных технологий дуговой сварки. Она была изобретена в США и впервые использована там же в 1948 году.



Рис. 1 Сварка МАГ в мастерской

Вскоре эта технология пришла и в Европу. Сначала применялись только инертные газы или аргон, содержащий лишь небольшие доли активных компонентов (например, кислорода), поэтому такая технология сокращенно называлась S.I.G.M.A. Эта аббревиатура означает "shielded inert gas metal arc" - "дуговая сварка металлическим электродом в среде инертного газа". С 1953 года вместо дорогостоящих инертных газов, таких как аргон и гелий, русские стали использовать при сварке активный газ, а именно диоксид углерода (CO₂). Это стало возможным благодаря изобретению проволочных электродов, при использовании которых учитывались большие потери легирующих элементов при сварке в активном газе.

В настоящее время сварка МИГ/МАГ пользуется большой популярностью практически во всех отраслях промышленности от небольших мастерских до крупных предприятий, так как процесс сварки частично механизмуется уже на заводе-изготовителе оборудования, а впоследствии его можно полностью механизировать или автоматизировать.

Данная брошюра описывает особенности этой технологии и содержит рекомендации по ее надлежащему использованию.

2 Технология

2.1 Общие сведения

Новым в Германии термином, введенным стандартом ISO 857-1 и объединяющим все технологии электродуговой сварки, при которых в среде защитного газа расплавляется проволочный электрод, является термин "электродуговая сварка в среде защитного газа" (номер процесса - 13). Раньше в Германии употреблялся общий термин "сварка в среде защитного газа". В стандарте ISO эта технология определяется следующим образом (в переводе с английского): Электродуговая сварка с использованием проволочного электрода, при которой дуга и сварочная ванна защищаются от воздействия атмосферы газовой оболочкой от внешнего источника. В зависимости от вида используемого защитного газа различают дуговую сварку плавящимся электродом в инертном газе, номер процесса 131, если используется инертный газ, и дуговую сварку плавящимся электродом в активном газе, номер процесса 135, если используется активный газ.

В стандарте ISO 857-1 перечислены и другие варианты технологии сварки: сварка порошковой проволокой в активном газе (номер процесса 136), сварка порошковой проволокой в инертном газе (номер процесса 137), плазменная сварка в инертном газе (номер процесса 151) и газозлектрическая сварка

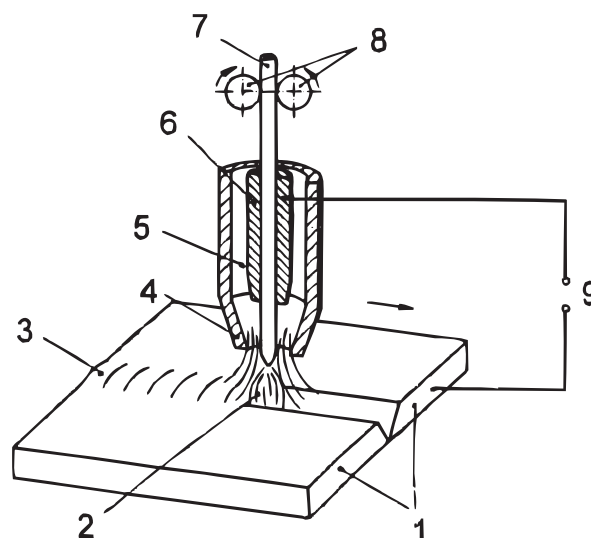


Рис. 2 Принцип электродуговой сварки в среде защитного газа согласно стандарту ISO 857-1



Рис. 3 Сваривание мелкозернистых конструкционных сталей в строительстве кранов

(номер процесса 73).

В данном справочном руководстве описываются только технологии сварки МИГ/МАГ. Принцип этой технологии заключается в том, что на подводимый от катушки при помощи двигателя подачи проволочный электрод незадолго до выхода из горелки подается ток через токоподводящий мундштук, благодаря чему между концом проволочного электрода и изделием горит электрическая дуга. Защитный газ подается через газовое сопло, концентрически окружающее проволочный электрод (Рис. 2).

Благодаря этому осуществляется защита наплавляемого металла от атмосферных газов - кислорода, водорода и азота. Помимо основной защитной функции защитный газ выполняет и другие задачи. Так как от него зависит состав атмосферы в области электрической дуги, он влияет также на ее электропроводность и, следовательно, на сварочные характеристики. Кроме того, вследствие процессов обгорания и потерь металла газ влияет на химический состав возникающего металла шва, то есть оказывает и металлургическое воздействие.

2.2 Род сварочного тока

За исключением последних разработок, сварка МИГ/МАГ производится постоянным током, при этом электрод подключается к положительному полюсу источника тока, а изделие - к отрицательному. При некоторых видах сварки порошковой проволокой используется уже и обратная полярность.

В последнее время в очень специфических случаях, например, при сварке МИГ очень

тонких алюминиевых листов, используется и переменный ток.

3 Присадочный материал и вспомогательные материалы

3.1 Сорта проволочных электродов

Плавящиеся проволочные электроды для сварки МИГ/МАГ нелегированных и мелкозернистых конструкционных сталей регламентированы в стандарте DIN EN 440. Согласно данному стандарту различаются 11 сортов сварочной проволоки в зависимости от ее химического состава. Кроме того, в стандарте описаны и те сорта сварочной проволоки, которые обычно используются только в других европейских странах. В Германии из приведенных в Таблица 1 сварочных проволок для нелегированных сталей в достойных упоминания объемах используются только сорта G2Si1, G3Si1 и G4Si1. Эти сорта содержат (в указанной последовательности) увеличивающиеся доли кремния и марганца, а именно в среднем от 0,65 до 0,9 % кремния и от 1,10 до 1,75 % марганца. Для сварки мелкозернистых сталей используются и сорта G4Mo и G3Ni1 и G3Ni2 (Рис. 3).

Порошковые проволочные электроды для сваривания этих сталей перечисляются в стандарте DIN EN 758. В зависимости от состава заполнителя покрытия различают типы с рутиловым и основным покрытием, а также типы с покрытием из металлического порошка. Помимо порошковых проволок для сварки МИГ/МАГ в DIN EN 758 регламентированы также порошковые проволоки с самозащитой, сваривающиеся и без дополнительно



Рис. 4 Наплавка слоя высокой твердости на винтовые конвейеры

Условное обозначение	Химический состав в % (м/мин) ¹⁾²⁾³⁾								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Al	Ti и Zr
G0	Любой другой оговоренный состав								
G2Si1	от 0,06 до 0,14	от 0,5 до 0,8	от 0,9 до 1,3	0,025	0,15	0,02	0,15	0,02	0,15
G3Si1		от 0,7 до 1,0	от 1,3 до 1,6						
G4Si1		от 0,8 до 1,2	от 1,6 до 1,9						
G3Si2		от 1,0 до 1,3	от 1,3 до 1,6						
G2Ti	от 0,04 до 0,14	от 0,4 до 0,8	от 0,9 до 1,4					от 0,05 до 0,2	от 0,05 до 0,25
G3Ni1	от 0,06 до 0,14	от 0,5 до 0,9	от 1,0 до 1,6	0,02	от 0,8 до 1,5	0,15	0,02	0,15	0,15
G2Ni2		от 0,4 до 0,8	от 0,8 до 1,4		от 2,1 до 2,7				
G2Mo	от 0,08 до 0,12	от 0,3 до 0,7	от 0,9 до 1,3	0,025	0,15	от 0,4 до 0,6	0,15	от 0,35 до 0,75	0,15
G4Mo	от 0,06 до 0,14	от 0,5 до 0,8	от 1,7 до 2,1						
G2Al	от 0,08 до 0,14	от 0,3 до 0,5	от 0,9 до 1,3						

1) Если значение не определено: Cr ≤ 0,15, Cu ≤ 0,35 и V ≤ 0,03. Доля меди в стали плюс покрытия не должна превышать 0,35 %.

2) Отдельные значения в таблице являются предельно допустимыми.

3) Результаты следует округлять до того же знака, что и установленные значения согласно стандарту ISO 31-0, Приложение В, Правило А.

Таблица 1 Условные обозначения химического состава проволочных электродов

подаваемого защитного газа. Они часто используются для наплавки (Рис. 4).

Проволочные электроды для сварки теплоустойчивых сталей регламентированы в стандарте DIN EN 12070, а порошковые проволочные электроды для этих сталей - в стандарте DIN EN 12071. Состав проволочных электродов варьируется от варианта, включающего только молибден, до проволок с содержанием хрома 1, 2,5, 5 и 9 %, а также проволочных электродов с содержанием хрома 12 %. Кроме того, в качестве легирующих элементов используются молибден, ванадий и вольфрам. Порошковые электроды могут содержать до 5 % хрома.

Проволочные электроды для сварки нержавеющей и жаропрочных сталей регламентированы в стандарте DIN EN 12072; порошковые проволочные электроды для этих сталей - в стандарте DIN EN 12073. В этих стандартах различаются присадки для мартенситных/ферритных хромистых сталей, аустенитных сталей, ферритных/аустенитных сталей и полноаустенитных сталей с высокими антикоррозионными характеристиками, а также специальных и жаропрочных типов.

Что касается проволочных электродов для сварки алюминия и его сплавов, в настоящее

время существует проект нового европейского стандарта (EN ISO 18273).

3.2 Технические условия поставки проволочных электродов и порошковых проволочных электродов

Проволоки, стержни и проволочные электроды для сварки в среде защитного газа производятся при помощи холодного волочения. При определенных технологических методах порошковые проволочные электроды могут изготавливаться и путем холодной прокатки.

Нормированные диаметры и допустимые предельные отклонения для проволочных электродов и порошковых проволочных электродов приведены в стандарте DIN EN 759. Диаметры варьируются от 0,6 до 4,0 мм. Однако, у массивных проволок для сварки МИГ/МАГ наиболее часто используемые диаметры составляют 0,8, 1,0, 1,2 и 1,6 мм. Диаметры порошковых проволок начинаются чаще всего от 1,0 мм. Кроме того, применяются и еще большие диаметры, например, 2,4 или 3,2 мм.

Нелегированные и низколегированные проволочные электроды применяются, как правило, в исполнении с медной поверхностью. Благодаря меди снижается сопротивление трения скольжения при подаче,

и улучшается электрический контакт. Медное покрытие не гарантирует сколь-либо значимой защиты от коррозии из-за своей пористости. Порошковые проволочные электроды можно меднить только в том случае, если они обладают сплошным покрытием без просветов.

Высоколегированные проволоки нельзя покрывать медью гальваническим или электролитическим способом. Они поставляются с белой поверхностью без покрытия. Сварные проволоки из алюминия также применяются с поверхностью без покрытия. Так как в мягкую поверхность алюминия могут вдавиться тянущие вещества, которые позднее при сварке приведут к порообразованию, у высококачественных проволок перед окончательной вытяжкой производится вытяжка для очистки.

Проволочные сварочные присадки для сварки в среде защитного газа поставляются на

катушках с воротом, оправкой либо на корзиночных катушках. Однако, существует еще и крупная тара, например бочечные катушки.

3.3 Защитные газы

Защитные газы для сварки МИГ/МАГ приведены в стандарте DIN EN 439. В нем регламентированы все защитные газы для электродуговой сварки и резки в среде защитного газа. Защитные газы делятся на 7 основных групп и подгруппы (Таблица 2).

В группу R входят смеси аргона и водорода, оказывающие раскисляющее действие. Газы группы R1 вместе с аргоном и гелием применяются для дуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в инертном газе и для сварки плазмой, газы подгруппы 2 с более высоким содержанием водорода (H) - для плазменной резки и для защиты корня шва (формирующие газы).

Условное обозначение ¹⁾		Компоненты в объемных процентах						Обычное применение	Примечания
Группа	Индекс	окисляющий		инертный		раскисляющий	химически пассивный		
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
R	1			Остаток ²⁾		>0-15		сварка ВИГ, плазменная сварка, плазменная резка, защита корня шва	
	2					>15-35			
I	1			100				сварка МИГ, сварка ВИГ, плазменная сварка, защита корня шва	
	2				100				
	3			Остаток	>0-95				
M1	1	>0-5		Остаток ²⁾		>0-5		слабо окисляющий	
	2								
	3								
	4	>0-5	>0-3						
M2	1	>5-25		Остаток ²⁾			МАГ		
	2		>3-10						
	3	>0-5							
	4	>5-25	>0-8						
M3	1	>25-50		Остаток ²⁾			МАГ		
	2		>10-15						
	3	>5-50	>8-15						
C	1	100		Остаток			сильно окисляющий		
	2	Остаток	>0-30						
F	1			Остаток		100	Плазменная резка, защита корня шва		
	2					>0-50		Остаток	

¹⁾ При примешивании компонентов, не указанных в данной таблице, смешанный газ называется специальным и обозначается буквой S. Подробные сведения о газовых смесях с обозначением S содержатся в разделе 4.

²⁾ Аргон можно заменить гелием на 95 %. Доля гелия указывается при помощи дополнительного индекса согласно Таблица 5, см. раздел 4.

Таблица 2 Классификация защитных газов для электродуговой сварки и резки (EN 439: 1994)

В группу I входят инертные газы. В нее входят аргон (Ar) и гелий (He), а также смеси аргона/гелия. Они используются для сварки ВИГ, МИГ и плазменной сварки, а также для защиты корня шва.

В большую группу M, подразделяющуюся на подгруппы M1, M2 и M3, входят газовые смеси для сварки МАГ. Здесь каждая группа также делится на 3 либо 4 подгруппы. Газы классифицируются в зависимости от окисляющих свойств от M1.1 до M3.3, т.е. M1.1 является слабо окисляющим, а M3.3 обладает наиболее сильными окисляющими свойствами. Главным компонентом этих смесей является аргон, в качестве активных компонентов примешиваются кислород (O) или диоксид углерода (CO₂) либо кислород и диоксид углерода (трехкомпонентные газовые смеси).

В числе газов для сварки МАГ в группу C входят чистый диоксид углерода и смесь диоксида углерода с кислородом. Последняя смесь однако не используется в Германии. Газы группы C обладают наиболее сильными окислительными свойствами, так как CO₂ распадается при высоких температурах электрической дуги, при этом помимо оксида углерода выделяются большие количества кислорода.

В группу F входят азот (N) и смесь азота с водородом. Оба эти газа могут быть использованы для плазменной резки и формования.

Кроме окислительных свойств состав газовой смеси влияет и на электрические и физические свойства области электрической дуги и, следовательно, на сварочные свойства.

Например, при добавлении гелия к аргону улучшается теплопроводность и теплосодержание атмосферы электрической дуги. И в том и в другом случае дуга содержит больше энергии, что ведет к лучшему проплавлению. Примешивание активных компонентов к смесям ведет, в том числе, к образованию более мелких капель при расплавлении проволочного электрода. Кроме того, улучшается теплопередача в электрической дуге. Это также является причиной лучшего проплавления.

Необходимый расход защитного газа рассчитывается при помощи эмпирического правила и составляет 10-12 диаметров проволоки в литрах в минуту. При сварке МИГ алюминия плавящимся электродом в инертном газе устанавливаются несколько большие значения расхода газа из-за высокой окисляемости материала; при смесях аргона и гелия - значительно большие вследствие невысокой плотности гелия. Сначала снижается давление газа, поступающего из баллона или из кольцевого трубопровода. Посмотреть установленное значение расхода можно на манометре, выверенном вместе с соплом, или на расходомере с поплавковым указателем.

Влияние защитных газов на процесс сварки будет еще рассмотрено подробнее позднее при описании различных видов электрической дуги.

Показатели свойств прочности и растяжения металла шва

Показатель	Минимальный предел текучести ¹⁾ Н/мм ²	Предел прочности при растяжении Н/мм ²	Минимальное удлинение при разрыве ²⁾ %
35	355	от 440 до 570	22
38	380	от 470 до 600	20
42	420	от 500 до 640	20
46	460	от 530 до 680	20
50	500	от 560 до 720	18

Показатели работы развития трещины металла шва

Показатель	Температура минимальной работы развития трещины металла шва, равной 47 Дж - °C
Z	нет требований
A	+20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

EN 440 – G 46 3 M G3Si1

3.4 Свойства металла шва

У сварочных присадок для нелегированных сталей и мелкозернистых конструкционных сталей при выборе комбинации проволоки и защитного газа основное значение имеет необходимость максимально приблизить характеристики прочности и вязкости металла шва к аналогичным характеристикам основного материала. Соответствующие рекомендации содержатся в стандарте DIN EN 440. Аналогично стержневым электродам существует система обозначений, на основании которой можно получить сведения о минимальных значениях предела текучести, удлинения при разрыве, прочности и работы развития трещины металла шва. Система обозначений наглядно объясняется в Таблица 3.

В выбранном примере проволочный электрод G3Si1 сваривается в среде газовой смеси (M). Металл шва при этой комбинации проволоки и защитного газа обладает минимальным пределом текучести 460 Н/мм², прочностью 530-680 Н/мм² и минимальным удлинением 20 % (46). Работа развития трещины, равная 47 джоулям, достигается при температуре -30 °C (3). Похожая система для характеристики металла шва, получаемого при использовании порошковых проволочных электродов, содержится в стандарте DIN EN 758.

Для теплостойких сталей, антикоррозионных и жаропрочных сталей и алюминиевых материалов действует правило, согласно которому для получения требуемых характеристик легирование металла шва должно быть как можно ближе к легированию свариваемого основного материала либо несколько выше. В таблицах соответствующих стандартов можно найти данные о минимальных значениях предела текучести, прочности при растяжении, удлинения и работы развития трещины металла шва для проволочных электродов и порошковых проволочных электродов для сваривания теплостойких и антикоррозионных либо жаропрочных сталей. Однако, эти значения не входят в данную систему обозначений.

Проволочный электрод для сварки МАГ теплостойкой стали 13 CrMo 4.5 имеет следующее обозначение согласно DIN EN 12070:

EN 12070 - G CrMo1Si

Проволочный электрод для сварки МАГ антикоррозионной стали CrNi с номером материала 1.4302 имеет следующее обозначение согласно DIN EN 12072:

EN 12072 - G 19 9 L

Обозначение проволочного электрода для сварки МИГ материала AlMg 5:

EN 18273 - G RAlMg5Mn

4 Разделка свариваемых кромок

4.1 Типы сварных соединений

На Рис. 5 показаны наиболее важные типы сварных соединений, применяемых при сварке стали МАГ.

Благодаря хорошим характеристикам проплавления при данном процессе швами с притуплением (швы без разделки кромок, Y-образные швы, двойные Y-образные швы) можно без заделки сваривать листы большей толщины, чем при ручной дуговой сварке. Однако, при материалах большей толщины во избежание дефектов рекомендуется заделка обратной стороны. Высота притупления зависит от используемой силы тока.

Для алюминиевых материалов большой толщины рекомендуется большой угол раскрытия кромок (70 - 90°) из-за повышенного отвода тепла.

4.2 Подготовка кромок сварных соединений

Разделка сварных кромок у нелегированных и низколегированных сталей производится, как правило, газовыми автогенными резаками. Высоколегированные стали и металлы, подверженные сварке МИГ/МАГ (например, алюминий) могут резаться плазменной струей. Удаление возникающей при термической резке оксидной пленки требуется, как правило, только в исключительных случаях. Особенности обработки алюминия с этой точки зрения будут более подробно рассмотрены ниже.

При наличии особых требований в отношении соблюдения небольших допусков рекомендуется механическая доработка кромок. В особенности это относится к кольцевым швам. Современные технологии резки электронным или лазерным лучом используются в механизированном производстве.

Тип соединения	Толщина изделия (мм)	Рисунок
Шов встык без подготовки кромок	с одной стороны 3-8 с двух сторон <8	
V-образный шов	с одной стороны 3-10 с подварочным швом 3-40	
Y-образный шов	с одной стороны 5-40 с подварочным швом >10	
X-образный шов	с двух сторон >10	
U-образный шов	с одной стороны >12 с подварочным швом >12	
V-образный шов	с одной стороны 3-10 с подварочным швом 3-30	
Одностороннее фланговое соединение тавровым швом	с одной стороны >2	
Угловое соединение тавровым швом	с одной стороны >2 с двух сторон >3	
Соединение внахлестку тавровым швом	с одной стороны >2	
Двустороннее соединение тавровым швом	с двух сторон >2	

Рис. 5 Типы сварных соединений согласно DIN EN 29692 – ISO 9692

4.3 Защита сварочной ванны от протекания

Если при ручной сварке сварщик контролирует процесс и может при помощи настройки правильной силы тока, положения электрической дуги в соединении и скорости сваривания добиться равномерного валика, наплавленного в корне шва, даже в неоднородном завариваемом зазоре, то при полностью механизированной сварке все - выбранное сварное соединение, установленный зазор, сварочные параметры и

расплавляемое количество присадочной проволоки - должно соответствовать друг другу. Поэтому для облегчения заваривания корня шва при машинной сварке зачастую применяют защиту сварной ванны от протекания (Рис. 6).

Если форма завариваемого зазора не слишком сильно варьируется на протяжении всего шва, в качестве естественной защиты от протекания можно использовать и притупление корня, например в соединениях без разделки кромок и Y-образных соединениях (внутренняя защита сварочной ванны от протекания). В зависимости от высоты притупления при сваривании первого слоя параметры следует выбирать так, чтобы притупление не расплавилось полностью. Тогда позднее при сваривании проварочного шва, как с заделкой, так и без нее, будет проварен и остаток притупления.

Искусственные (внешние) защиты ванны от протекания состоят, например, из металла, при сваривании большинства металлов и сплавов - из меди, при сваривании алюминия, имеющего низкую точку плавления - также из нержавеющей стали. В качестве защиты сварочной ванны от протекания используются и керамические подкладки. Подкладка необходима для предотвращения спонтанного протекания металла шва, например, в местах, где зазор несколько шире или где отсутствует притупление, то есть для остановки жидкого металла и образования корневого валика. Защита ванны от протекания также формирует обратную сторону корневого слоя. С этой целью она зачастую имеет специальную канавку.

Внутренняя защита сварочной ванны от протекания при помощи притупления



Стыковое соединение без скоса кромок Y-образное соединение

Внешняя защита сварочной ванны от протекания



V-образное соединение со скосом 2 кромок на медной подкладке



Рис. 7 Компактный аппарат с газовым охлаждением
SATURN 300 MIG

4.4 Формирование

Под этим понимают дополнительную подачу защитного газа на обратную сторону корня, где расплавляемый материал находится в жидком состоянии, но недостижим для защитного газа, подаваемого на верхнюю сторону. В отличие от сварки ВИГ, при которой из-за сравнительно невысокой скорости сваривания обратная сторона корня часто приобретает "выгоревший" внешний вид вследствие окисления, которое должен предотвратить формирующий газ, при сварке МИГ/МАГ это происходит не всегда.

Благодаря формированию также не происходит или, по меньшей мере, уменьшается образование оксидных пленок и побежалости на оборотной стороне корня шва. Это имеет важное значение, к примеру при сваривании антикоррозионных сталей, так как такие оксидные пленки снижают уровень антикоррозийной защиты сварного соединения. Поэтому после сварки их следует удалить при помощи щетки, облучения либо травления. Целесообразнее, однако, вовсе не допускать образования таких пленок при помощи формирования.

При сваривании труб можно просто перекрыть их концы и пустить внутрь трубы формирующий газ. При сваривании листов газ выходит из отверстий подкладки для защиты сварочной ванны от протекания. В качестве формирующего газа можно использовать аргон или смесь аргона с водородом. Однако, дешевые формирующие газы группы F согласно DIN EN 439 также могут быть использованы в различных целях. Они состоят,

например, из смеси водорода с азотом. При определенных условиях для формирования можно использовать и чистый азот.

5 Сварочные аппараты

Аппараты для сварки МИГ/МАГ состоят из источника питания, устройства управления и устройства подачи проволоки с пакетом шлангов и горелкой. Для различных целей они могут использоваться как компактные или универсальные устройства.

У компактного устройства (Рис. 7) источник питания, управление и устройство подачи проволоки размещены в одном корпусе.

Радиус действия равен длине пакета шлангов горелки. Она составляет 3-5 м в зависимости от диаметра используемого проволочного электрода. Поэтому компактные устройства используются обычно на постоянных рабочих местах, например, в сварочных постах или на производственных конвейерах. У универсального устройства (Рис. 8), называемого также некомпактным, устройство подачи проволоки размещается отдельно в кожухе и связано с источником тока и устройством управления при помощи промежуточного кабеля.

Его можно установить рядом с изделием, благодаря чему радиус действия увеличиться на 10-20 м по сравнению с компактным устройством. Поэтому универсальные



Рис. 8 Универсальный аппарат с водяным охлаждением **WEGA 400 MIG**

устройствами используются большей частью на сменных рабочих местах и строительных площадках.

5.1 Источники сварочного тока

Источник питания необходим для производства электрической энергии, необходимой для сварочного процесса. Кроме того, он понижает высокое напряжение сети и обеспечивает подачу требуемой высокой силы тока даже в случае короткого замыкания. Так как при сварке МИГ/МАГ используется, за исключением самых последних разработок, только постоянный ток, в качестве источников тока используются только выпрямители и инверторы. Источники питания для сварки МИГ/МАГ обладают горизонтальной либо слегка понижающейся статической характеристикой (характеристикой постоянного напряжения). Это необходимо для внутреннего регулирования процесса. Ниже это будет рассмотрено подробнее. У устройств, используемых в качестве многозадачных установок, статическая характеристика также перемещается в области от вертикально понижающейся до горизонтальной.

Сварочный выпрямитель состоит из трансформатора и последующих выпрямительных агрегатов. В то время как трансформатор преобразует высокое напряжение и низкую силу тока электросети в



Рис. 9 Инверторный мультипроцессный аппарат
PHOENIX PROGRESS

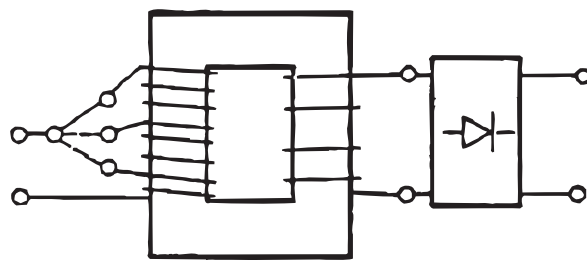


Рис. 10 Принцип машины с переключателем ступеней обмоток трансформатора

сварочный ток с низким напряжением и высокой силой тока, выпрямительные агрегаты выпрямляют поступающий от трансформатора переменный ток. Для того, чтобы соответствовать особым требованиям различных производственных задач, источники питания должны быть регулируемы. У простых устройств для сварки МИГ/МАГ регулирование производится при помощи расположенного с первичной стороны трансформатора ответвления обмотки и переключателя ступеней обмоток трансформатора. На Рис. 10 показан принцип машины с переключателем ступеней обмоток трансформатора.

При отводе большего или меньшего количества витков первичной обмотки меняется передаточное отношение трансформатора, как и напряжение на вторичной стороне. В несколько более дорогих источниках питания установка тока в выпрямительной части происходит при помощи управляемых выпрямителей (тиристоров). Схема подобной установки показана на Рис. 11.

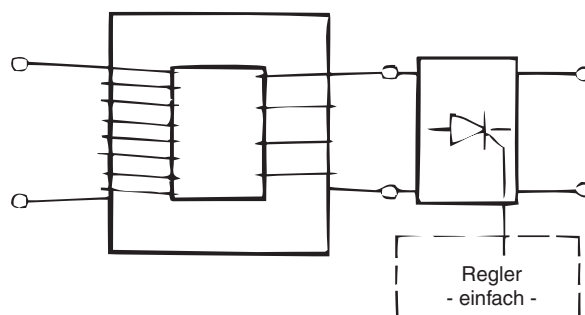


Рис. 11 Принцип источника питания с тиристорным управлением

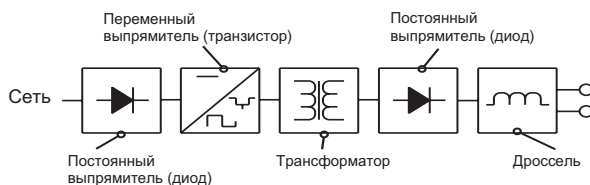


Рис. 12 Блок-схема инвертора 3 поколения

Благодаря соответствующей настройке тиристоры фильтруют большие или меньшие части полуволн переменного тока, что приводит к изменению сварочного напряжения.

Более требовательные аппараты сварки МИГ/МАГ в качестве источников питания оснащаются инверторами. Инвертор представляет собой электронный источник питания. Раньше в течение долгого времени применялись как аналоговые, так и электронные источники с генерацией импульсов на вторичной либо первичной стороне, в настоящее время используются электронные источники с генерацией импульсов на первичной стороне. Их принцип работы полностью отличается от обычных источников питания (Рис. 12).

Подаваемый от сети ток сначала выпрямляется, а затем, когда он уже может быть трансформирован, он разделяется на короткие отрезки при включении и выключении. Этот процесс называется тактированием. Он осуществляется благодаря быстро реагирующим электронным переключателям - транзисторам. Первые инверторы на транзисторах работали с импульсной частотой примерно 25 кГц. Сегодня новейшие транзисторы обеспечивают частоту 100 кГц и более.

После "прерывания" (тактирования) тока он трансформируется на требуемую высокую силу и низкое напряжение. За трансформатором возникает прямоугольный переменный ток, который затем еще раз выпрямляется. Преимущество высокой частоты заключается в том, что вес трансформатора может быть очень небольшим. Он непосредственно зависит от частоты трансформируемого тока. Благодаря этому существует возможность производства легких источников питания.

На электронных источниках тока многие задачи, решаемые на традиционных источниках тока с помощью таких компонентов, как сопротивления, дроссели и конденсаторы,

решаются с помощью электронного управления. Система управления этих источников так же важна, как и силовая часть. Регулирование тока производится, например, на тактируемых источниках путем изменения соотношения между временем включения/выключения тока. Изменение тактовой частоты также может использоваться для регулировки силы тока. Для генерации импульсного тока отношения времени включения и выключения циклически изменяются системой управления. Аналогичным образом можно и включить либо отключить ток в начале и конце сварки.

А благодаря новой технике стало возможным также создание регулируемого источника тока, который уже давно требовался для сварочной техники. Контрольное устройство измеряет сварочный ток и напряжение и сравнивает их с заданными значениями. Если фактические сварочные параметры отклоняются от заданных, например, из-за возникновения нежелательных сопротивлений в цепи сварочного тока, устройство управления выполняет подрегулировку. Подрегулировка производится очень быстро в μs -области. Аналогичным способом можно ограничить ток короткого замыкания и улучшить $\cos\phi$. Гораздо лучший КПД и меньшие потери при холостом ходе инверторных источников тока получен также благодаря меньшей массе трансформатора.

5.2 Устройства подачи проволоки

В устройстве подачи проволоки проволочный электрод подается к месту сварки в соответствии со скоростью его расплавления при помощи подающих роликов. При этом электрод вытягивается с катушки и проводится по пакету шлангов, на конце которого расположена горелка. Для этого перед подающими роликами расположен направляющий мундштук, приводящий проволоку в нужное положение, а позади роликов, в начале пакета шлангов - приемный мундштук для проволоки. Установки механизированной сварки оснащаются еще и промежуточным направляющим устройством, устраняющим предварительный изгиб проволоки, возникающий вследствие наматывания ее на катушку.



Рис. 13 Вид устройства подачи проволоки с 4-роликовым приводом

Подающие ролики приводятся в движение электродвигателем постоянного тока с плавно регулируемой установкой скорости вращения. В современных устройствах для регулируемой сварки скорость подачи проволоки измеряется тахометром и регулируется вне зависимости от нагрузки. При сварке МИГ/МАГ скорость подачи проволоки, как правило, составляет от 2 до 20 м/мин, в высокопроизводительных аппаратах и больше. Поэтому двигатели соединены с приводным валом передач.

Устройство подачи проволоки не должно

повредить поверхность проволочного электрода. Поэтому диаметр подающих роликов должен быть достаточно большим, чтобы удельное давление на поверхность проволоки не было слишком высоким. В отличие от 2-роликового привода при помощи 4-роликовых приводов подача проволоки может осуществляться с небольшим давлением прижима, но, тем не менее, без проскальзывания. Давление прижима между роликами можно еще снизить в том случае, если в движение приводится больше роликов. В 4-роликовых приводах все ролики многократно соединены между собой при помощи зубчатого соединения и приводятся в движение при помощи двигателя.

На Рис. 13 изображено устройство подачи проволоки с 4-роликовым приводом. На Рис. 14 виден привод в деталях.

Чаще всего только один ролик из пары подающих роликов имеет трапецевидную канавку, а ролик противодействия имеет гладкую поверхность (Рис. 15).

Таким образом, поверхность проволоки прилегает к роликам в 3 точках и благодаря этому не повреждается. Иногда в устройствах подачи порошковых и мягких проволочных электродов оба ролика имеют полукруглую канавку. Защита проволоки от повреждения важна и потому, что материал, сорванный с поверхности электрода, также попадает в пакет шлангов, который из-за этого может забиться. Усиленное истирание металлической поверхности возникает и в случае износа



Рис. 14 4-роликовый привод

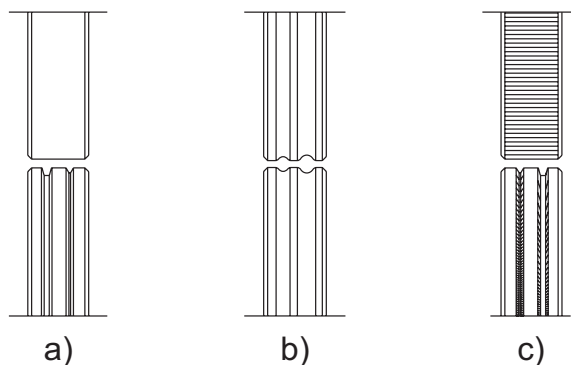


Рис. 15 Различные приводные ролики
а) сталь
б) алюминий
с) порошковая проволока

подающих роликов. Поэтому состояние роликов следует регулярно контролировать.

5.3 Пакет шлангов и горелка

В пакет шлангов входят все необходимые виды проводки, то есть электропроводка, шланг для подачи защитного газа, шланг подачи проволоки, управляющая линия, а у устройств, рассчитанных на высокие значения силы тока - также подача и отвод охлаждающей жидкости.

У аппаратов с водяным охлаждением электропроводка находится в линии рециркуляции воды. Поэтому сечение проводки может быть меньше, чем в аппаратах без охлаждения, а пакет шлангов становится более гибким. Шланг подачи проволоки при сварке нелегированных и низколегированных сталей представляет собой стальную спираль. При использовании проволочных электродов из хромоникелевой стали или из алюминия и других металлов для подачи используется шланг из износостойкого синтетического материала (например, тефлона). Синтетические шланги имеют лучший коэффициент трения, чем сталь. Благодаря линии управления управляющие сигналы передаются от горелки к системе управления. Для этого на держателе горелки находится переключатель, при помощи которого можно управлять необходимыми при сварке функциями.

На конце пакета шлангов находится сварочная горелка. На следующих рисунках показаны наиболее употребительные типы горелок.

Чаще всего применяют S-образные горелки (Рис. 16). Они обладают небольшим весом, благодаря чему обеспечивается очень хороший доступ дуги к месту сварки. Горелка для скоростной сварки отличается особенной формой и удобством (Рис. 17).

Следующим типом является сварочный пистолет. На Рис. 18 он изображен в качестве двухтактной горелки.



Рис. 16 S-образная горелка



Рис. 17 Горелка для скоростной сварки
HIGHSPEED

При двухтактном приводе проволочный электрод тянется расположенным в держателе горелки двигателем подачи и одновременно проталкивается в пакет расположенным в аппарате двигателем. Благодаря этому осуществляется беспроблемная подача мягкой и тонкой проволоки. Двухтактный привод зачастую используется в сварочных роботах и машинных сварочных установках, в которых из-за их конструкции проволочный электрод подается на большие расстояния. На Рис. 20 показана горелка для цифровой сварочной установки, при работе с которой можно считывать параметры сварочного процесса с дисплея и регулировать их с горелки.

У горелки с малой катушкой (Илл 19) миникатушка для проволоки расположена непосредственно на горелке, а двигатель подачи - в держателе.



Рис. 18 Двухтактная горелка



Рис. 20 Горелка с дисплеем и дистанционным регулятором

Благодаря этому проволока подается на очень короткое расстояние, поэтому возможна подача очень мягкой и тонкой проволоки. На Рис. 21 показано сечение S-образной горелки.



Илл 19 Горелка с малой катушкой

Хорошо видно, что служащая для подачи проволоки стальная спираль полностью подведена к токоподводящему мундштуку,

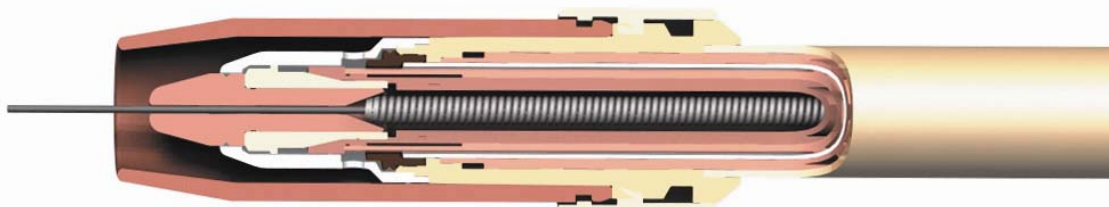


Рис. 21 Сечение головки горелки для сварки МИГ/МАГ

ввинченному в корпус сопла. Это необходимо для того, чтобы в случае сбоя подачи уже подведенная к передней части горелки проволока не изгибалась.

5.4 Управление

При помощи системы управления сварочной установкой возможна настройка различных функций, часть из которых потом можно вызывать по управляющей линии при помощи переключателя на горелке. Сюда входит и переключение с двухтактного на четырехтактный режим. Другие функции включают настройку "ползучей" скорости подачи проволочного электрода при зажигании и настройку времени затухания дуги при завершении сварки. Благодаря настраиваемой низкой скорости подачи проволочного электрода при зажигании процесс зажигания становится надежнее, так как еще слабо горящая дуга на холодном изделии не тушится быстро подаваемой проволокой. Настраиваемое время затухания предотвращает пригорание электрода в кратере в конце шва. Это достигается благодаря тому, что подача проволоки отключается чуть раньше, чем сварочный ток. Но если установлено слишком большое время затухания, проволока может пригореть к токоподводящему мундштуку. Другая программа предотвращает образование слишком большой капли на конце проволоки при окончании сварки, которая могла бы помешать при новом зажигании. Поэтому

образовавшаяся на конце проволоки капля отделяется при помощи одного импульса тока непосредственно перед завершением сварки. Последняя функция особенно важна для полностью механизированных установок, в то время как при частичной механизации процесса сварщик может обрезать конец проволоки перед новым зажиганием. Современные установки для сварки МИГ/МАГ делают возможным плавный пуск тока в начале и соответствующее понижение тока при окончании сварки.

6 Переход материала при сварке МИГ/МАГ

6.1 Варианты дуги

В зависимости от установленных сварочных параметров и используемого защитного газа при сварке МИГ/МАГ устанавливаются различные формы перехода материала, называемые также рабочими состояниями дуги. При этом значение имеют как физические явления, такие как поверхностное натяжение и вязкость металла, сила тяготения и плазмоток, так и электрические силы, например, лоренцева сила. Главное влияние на переход капле металла в шов в свободном падении имеет последняя электромагнитная сила. Лоренцева сила, называемая также пинч-эффектом, это сила, зависящая от окружающего магнитного поля и направленная радиально внутрь (Рис. 22). Она сужает расплавленный конец электрода и отрывает от него отдельные капли (англ. to pinch = сужать; откусывать).

В DIN 1910 - 4 классифицируются и описываются приведенные в Таблицы 4 виды дуги.

Вызываемые постоянным током формы перехода металла проявляются частью в нижней части диапазона мощности, т.е. при

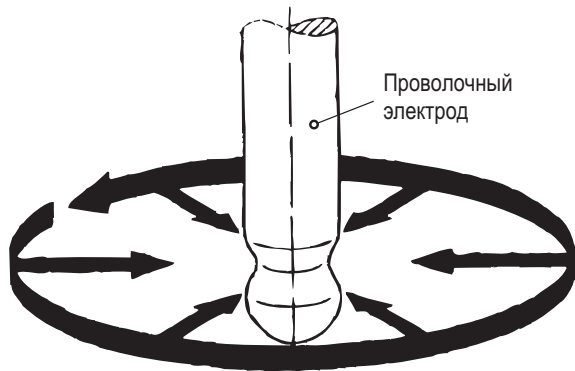


Рис. 22 Схематичное изображение действия пинч-эффекта [1]

низких силах тока и напряжениях, частью в верхней части диапазона мощности.

	Переход металла
Капельная дуга	от мельчайших до мелких каплей > практически свободна от короткого замыкания
Длинная дуга	крупные капли > не свободна от короткого замыкания
Короткая дуга	мелкие капли > при коротком замыкании
Импульсная дуга	Величина и частота падения каплей регулируются > практически свободна от короткого замыкания

Таблицы 4 Виды дуги согласно DIN 1910-4

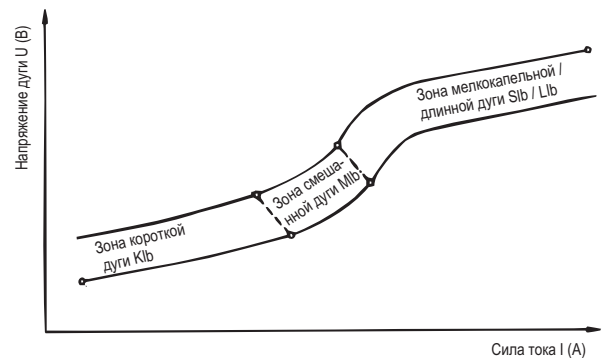


Рис. 23 Положение рабочих зон

На Рис. 23 схематично изображено их положение на U/I-диаграмме.

Импульсная дуга появляется на всем диапазоне мощности. Отдельные виды дуги описаны ниже.

6.2 Короткая дуга

Короткая дуга появляется в нижней части диапазона, т.е. при низких силах тока и напряжениях дуги. Ее название означает не только то, что речь идет об очень короткой дуге, но и то, что при такой дуге происходит

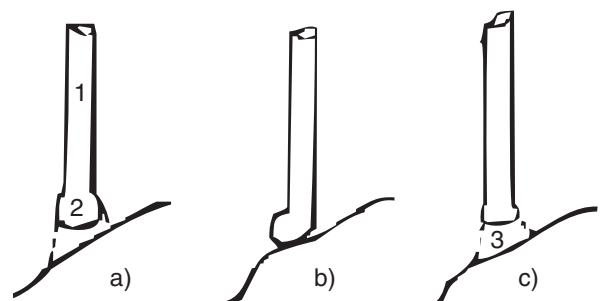


Рис. 24 Переход материала при короткой дуге

- 1: Проволочный электрод
- 2: Капли
- 3: Дуга

переход материала особого рода. На Рис. 24 показаны позиции перехода материала.

Под влиянием тепла дуги на конце электрода образуется маленькая капля (а), которая уже в скором времени входит в контакт со сварочной ванной из-за небольшой длины дуги. Возникает короткое замыкание, и дуга гаснет (b). Капля всасывается сварочной ванной с конца электрода вследствие воздействия поверхностного натяжения ванны, пинч-эффект не оказывает существенного влияния на отделение капли из-за небольшой силы тока. Затем дуга снова загорается (с). Этот процесс регулярно повторяется, в зависимости от используемого защитного газа, примерно 20-100 раз в секунду. Во время фазы короткого замыкания ток возрастает (ток короткого замыкания). Однако из-за небольших размеров капли фаза короткого замыкания длится очень недолго, и пики тока оказываются не очень высокими. Кроме того, скорость возрастания тока в обычных источниках ограничивается дроссельными катушками в сварочном контуре. Поэтому повторное зажигание дуги после короткого замыкания происходит плавно и без сильного брызгообразования. В инверторах избыточное возрастание тока предотвращается программным обеспечением источника питания.

При короткой дуге речь идет об относительно "холодном" процессе. Он проходит при всех защитных газах и в особенности подходит для сваривания корневых слоев, тонких листов и для сварки в стесненных условиях.

6.3 Длинная дуга

Длинная дуга возникает в верхней части диапазона мощности, когда сварка ведется в среде диоксида углерода или в среде защитных газов с высоким содержанием CO₂. Предел содержания CO₂ здесь немного превышает 25 %. Так как из-за физических характеристик атмосферы дуги в среде названных газов образование дуги на конце электрода очень ограничено, пинч-эффект в этом случае проявляется очень слабо или не проявляется совсем. Этот процесс перехода наглядно изображен на Рис. 25.

На конце электрода (а) образуются крупные капли, переходящие в изделие в основном под влиянием силы тяжести. При этом между каплями и сварочной ванной (b) зачастую образуются закорачивающие перемычки, по

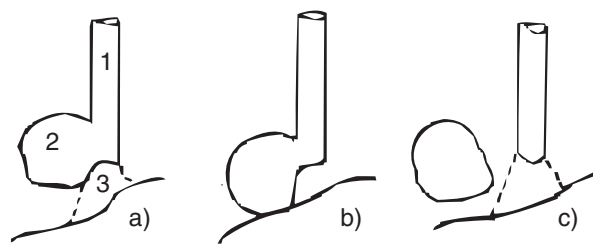


Рис. 25 Переход материала при длинной дуге
 1: Проволочный электрод
 2: Капли
 3: Дуга

которым в сварочную ванну переходит материал присадки. В отдельных случаях встречается и свободный переход очень крупных капель (с). Короткие замыкания длятся в этом случае дольше из-за большой массы капель. Вследствие этого возникают очень высокие токи замыкания, ведущие к сильному брызгообразованию при повторном зажигании дуги.

При этом процессе, проходящем в верхнем диапазоне силы тока и напряжения, возникает большая и горячая сварочная ванна. Поэтому этот процесс пригоден только для сварки в позициях PA и PB (Рис. 26). Сварка в стесненных условиях невозможна.

6.4 Капельная дуга

В среде аргона и смесей с высоким содержанием аргона дуга при образовании капли окутывает весь конец электрода, поэтому при достаточной силе тока пинч-эффект может

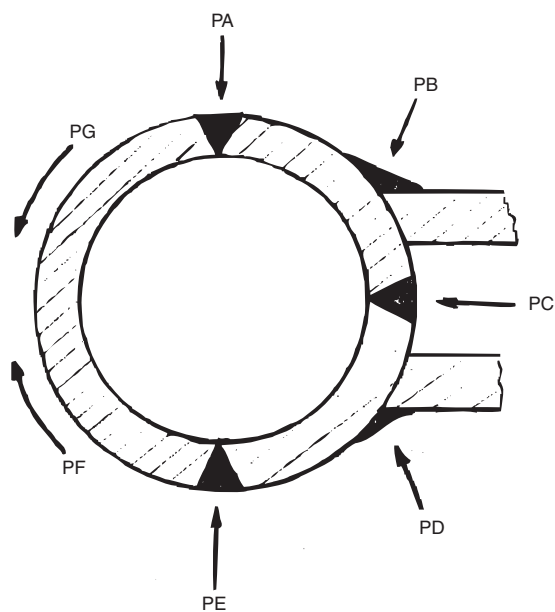


Рис. 26 Позиции при сварке согласно ISO 6947

проявиться оптимально (Рис. 27). При этом конец электрода (а) затягивается, и отдельные капли отделяются от электрода (b).

Переход материала происходит без короткого замыкания и значительного образования брызг. Капельная дуга появляется в среде богатых аргоном газов в верхнем диапазоне мощности. При этом виде дуги также образуется большая и горячая сварочная ванна, поэтому этот процесс допустим для сваривания в стесненном положении только с ограничениями.

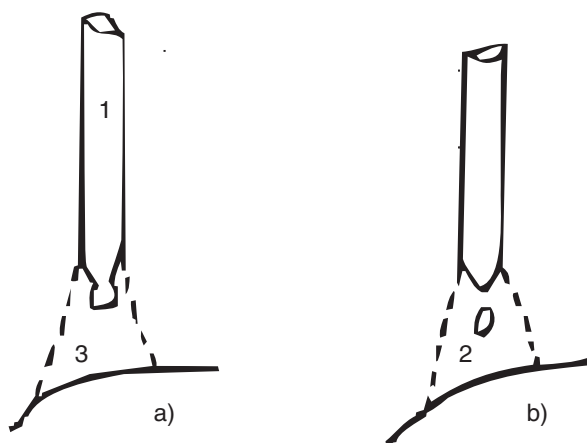


Рис. 27 Переход материала при капельной дуге
1: Проволочный электрод
2: Капли
3: Дуга

6.5 Смешанная дуга

Между короткой дугой, с одной стороны, и капельной и длинной дугами, с другой стороны, можно поместить смешанную дугу, при которой переход материала происходит как в коротком замыкании, так и в свободном падении. Однако в этой части диапазона возникает сильное брызгообразование, в том числе в среде богатых аргоном смесей. Поэтому рекомендуется избегать средней части диапазона силы тока либо использовать в ней импульсную дугу.

6.6 Импульсная дуга

Импульсная дуга появляется, если для сварки вместо постоянного тока используется импульсный ток. Регулируемыми параметрами этого вида дуги помимо скорости подачи проволоки являются, в зависимости от модуляции источника тока, основной ток и основное напряжение, импульсный ток и

импульсное напряжение, длительность и частота импульсов. Как видно на Рис. 28, под воздействием пинч-эффекта от конца электрода отделяется по одной капле в каждой импульсной фазе. Сварочный процесс характеризуется образованием маленьких капель и незначительным брызгообразованием.

При жестко заданных значениях основного тока (напряжения), импульсного тока (напряжения) и длительности импульса можно установить мощность при помощи подачи проволоки и регулировать длину дуги при помощи изменения частоты импульсов. Импульсная дуга появляется во всем диапазоне мощности и хорошо подходит для сварки в стесненных условиях при низких и средних значениях силы тока.

6.7 Особые формы перехода материала

Помимо описанных выше стандартных видов дуги существуют и особые формы, приобретающие важное значение лишь в последнее время.

При значениях силы тока, превышающих значения обычной дуги, т.е. при скорости подачи проволоки 1,2 мм более чем 15 м/мин, в среде газовых смесей возникает капельная дуга высокой мощности. Но она приводит к очень глубокому, прорезающему проплавлению, что может привести к дефектам шва. Поэтому эта дуга практически не используется. При повышении напряжения в этой части диапазона мощности дуга начинает вращаться, и область проплавления расширяется. Вращающаяся дуга используется для повышения мощности заполнения или для увеличения скорости сваривания для

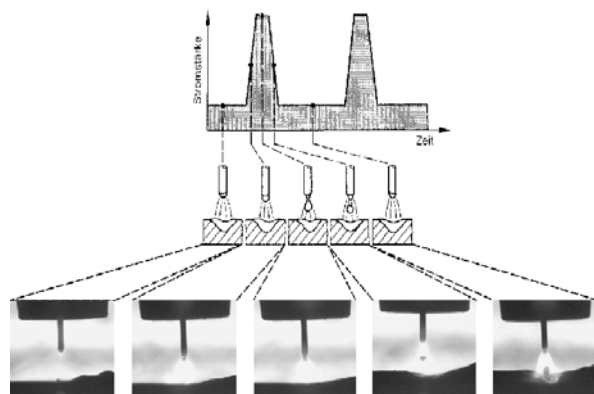
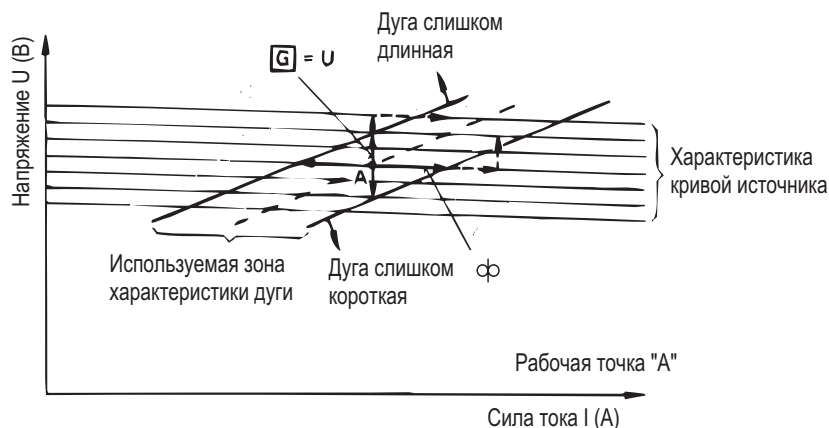


Рис. 28 Каплеотделение при импульсной дуге


Рис. 29 Благоприятные области дуги при сварке МИГ/МАГ [1]

заполняющих и верхних слоев стыковочных швов и тавровых швов толстостенных деталей.

В случае с короткой дугой высокой мощности речь идет о процессе с переходом материала в типичном режиме короткого замыкания. Она возникает при силах тока в диапазоне обычной капельной дуги, но при значительно меньшем напряжении дуги.

Названные варианты высокой мощности для сварки МИГ/МАГ используются, за некоторыми исключениями, только в условиях полной механизации.

7 Настройка сварочных параметров

7.1 Настройка обычных установок

В отличие от ручной дуговой сварки и дуговой сварки ВИГ для настройки установок для сварки МИГ/МАГ необходимы два процесса управления. Ниже этот процесс подробно объясняется на примере настройки машины с переключателем ступеней обмоток трансформатора.

Для сварки МИГ/МАГ используются источники стабилизированного напряжения. Поэтому требуемое напряжение выбирается путем настройки определенной графической характеристики на грубом и тонком переключателях ступеней обмотки трансформатора, а наиболее благоприятная длина дуги достигается при настройке подходящей скорости подачи проволоки. На Рис. 29 видно, как изменение настройки источника питания и скорости подачи проволоки влияют на положение рабочей точки.

Рабочая точка (А) - это точка пересечения заданной графической характеристики

источника и характеристики дуги. Она характеризуется силой тока I_s и напряжением U_s . При повышении скорости подачи дуга становится короче, и рабочая точка перемещается по кривой источника направо, сила тока повышается. При уменьшении скорости подачи эффект будет обратным. Таким образом требуемая сила

тока настраивается при помощи потенциометра для подачи проволоки. Но при повышении силы тока дуга сокращается. Чтобы дуга не была слишком короткой, одновременно следует соответствующим образом повысить напряжение. Для повышения напряжения нужно установить на переключателе ступеней расположенную выше кривую, для требуемого уменьшения напряжения дуги кривая должна располагаться ниже. При наиболее распространенной слегка понижающейся горизонтальной кривой источника изменение нужного параметра всегда приводит к незначительному изменению другого. При абсолютно горизонтальной кривой такое взаимное влияние отсутствует.

Для достижения оптимальных условий сварки дуга не должна быть ни слишком короткой, ни слишком длинной. При слишком короткой дуге короткие замыкания и, следовательно, брызгообразование проявляются сильнее. Короткие замыкания распознаются по треску дуги. При увеличивающейся длине дуги существует противоположная опасность проникновения воздуха в дугу и, следовательно, порообразования. К тому же увеличивается тенденция к образованию подрезов. Слишком длинную дугу сварщик может распознать по шипению дуги. Линия идеальных рабочих точек, т.е. идеальная рабочая кривая проходит по U/I-диаграмме примерно диагонально. В действительности существует пригодный диапазон характеристики дуги. Это рабочая область, в которой следовало бы производить сварку. На Рис. 30 представлены рабочие зоны для проволочного электрода из сплава Si/Mn и двух различных газовых смесей.

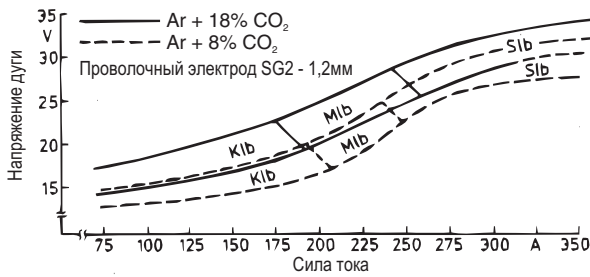


Рис. 30 Рабочие зоны для двух аргоновых смесей [1]
Klb = короткая дуга
Mlb = смешанная дуга
Slb = капельная дуга
 Проволочный электрод SG2 = G3Si-EN 440

К благоприятным сварочным условиям ведут все рабочие точки, находящиеся в пределах рабочих зон. Рабочие точки, расположенные ниже, означают слишком короткие дуги, а расположенные выше верхней граничной линии ведут к слишком длинным дугам. Рабочие зоны всегда относятся к определенному проволочному электроду. Так как замена защитного газа приводит к изменению физических условий в атмосфере дуги, рабочая зона также относится только к одному определенному газу.

При сварке импульсным током во всей зоне возникает импульсная дуга. Так как переход материала в любом случае происходит без короткого замыкания, границы зоны смещаются при низких и средних силах тока и при несколько более высоких напряжениях дуги.

7.2 Синергетическая настройка сварочных параметров

Так как сварщики достаточно высокой квалификации есть не на всех предприятиях, современные установки для сварки МИГ/МАГ предоставляют возможность упрощенной настройки сварочных параметров, например, мультипроцессный аппарат PHOENIX (Рис. 31).

Уже в 70-е годы появились системы управления при помощи одной кнопки, в которых мощность настраивалась при изменении скорости подачи проволоки при помощи одного потенциометра с поворотным движком, при помощи той же кнопки управления производилось плавное регулирование кривых в определенном передаточном отношении, то есть производилось одновременное изменение напряжения. При помощи другой кнопки производилась определенная коррекция рабочей точки.

Сегодня стандартом для установок для сварки МИГ/МАГ является еще большее упрощение управления. Идеальные рабочие характеристики для часто встречающихся задач сварки сохраняются в памяти машины. Оператор при помощи, например, толковых клавиш задает только свариваемый материал, требуемый диаметр проволоки и подключаемый защитный газ. При этом вызывается заранее запрограммированная идеальная рабочая характеристика. Плавное регулирование мощности производится одной



Рис. 31 Мультипроцессный аппарат PHOENIX



Рис. 33 Дисплей сварочного аппарата PHOENIX 300 EXPERT

кнопкой, для индивидуальных потребностей относительно оптимальной длины дуги существует кнопка коррекции. На Рис. 33 и Рис. 32 изображены дисплеи современной сварочной установки, имеющие еще больше функций настройки.

В средней части можно поставить задачу при помощи толчковых клавиш. При этом кроме материала и диаметра проволочного электрода и защитного газа вводятся данные о том, производится ли сварка массивной проволокой или порошковой и есть ли дополнительные задания, например, пайка МИГ или наплавка. Так как эта установка является многозадачной, в этом поле задается и необходимое изменение характеристики других процессов (сварка ВИГ, ручная сварка стержневыми электродами). В левой части дисплея при помощи верхней вращающейся ручки можно установить мощность, средняя рукоятка служит для коррекции длины дуги, а нижняя изменяет динамику дуги при помощи регулируемой дроссельной катушки. Относящиеся к выбранной рабочей точке сила тока и напряжение показываются в верхней части дисплея. Используемые данные сварочного процесса можно сохранить и при



Рис. 32 Дисплей сварочного аппарата PHOENIX PROGRESS

необходимости вызвать позднее.

7.3 Регулирование процесса сварки МИГ/МАГ

Заданные сварочные параметры во время сваривания должны по возможности оставаться постоянными. При сварке МИГ/МАГ за это отвечает внутреннее регулирование. Ниже объясняется его принцип действия.

Протекание процесса регулирования легче всего понять, если предположить, что дуга выходит из некоей верхней области и опускается на одну ступень. Изменение силы тока и напряжения дуги при этом показаны на Рис. 34.

Рабочая точка AI соответствует параметрам, при которых дуга горит на этой ступени. При переходе ступени дуга удлиняется, и рабочая точка перемещается от AI к AI. Сила тока при этом уменьшается на значение Δi . Падение напряжения незначительно, так как характеристика источника слегка понижается. Возвращение слишком длинной дуги к первоначальной длине обеспечивает внутреннее регулирование. При более низкой силе тока i_I расплавляется меньше проволоки, чем раньше. Так как скорость подачи остается неизменной, постепенно дуга становится короче, так как в нее вводится больше проволоки, чем расплавляется в ней. Таким образом через короткое время исходная длина дуги восстанавливается, и дуга снова горит с заранее заданными силой тока и напряжением. Это регулирование практически безынерционно и, следовательно, производится очень быстро.

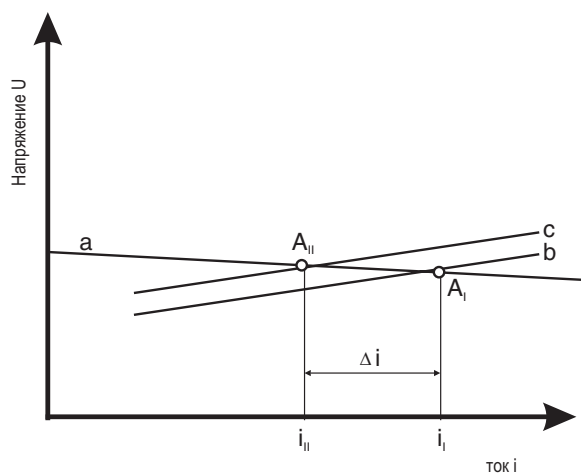


Рис. 34 Внутреннее регулирование (i-регулирование) – Ход кривой силы тока и напряжения при прохождении одной ступени

Речь идет об эффекте саморегулирования системы, поэтому он и называется внутренним регулированием или Δ -регулированием (от intern - внутренний).

8 Выполнение сварки

Сварщик, занимающийся сваркой МИГ или МАГ, должен иметь хорошее образование не только в практической области, но и теории, описывающей особенности технологии. Это необходимо для предупреждения ошибок.

8.1 Зажигание электрической дуги

После включения переключателя горелки проволочный электрод приходит в движение с установленной скоростью. Одновременно при помощи реле тока к нему подключается электрический ток, и начинается подача защитного газа. При прикосновении к поверхности изделия возникает короткое замыкание. Из-за высокой плотности тока на конце электрода в точке соприкосновения начинается испарение материала, и происходит зажигание дуги. При высокой скорости подачи еще слабая дуга может быть потушена быстро подаваемой проволокой, так что зажигание произойдет только со второй или третьей попытки. Поэтому рекомендуется производить зажигание на сниженной скорости подачи и переключаться на требуемую высокую скорость только после того, как дуга начнет гореть стабильно. Современные установки для сварки МИГ/МАГ имеют такую функцию, как так называемая "ползучая скорость". Зажигание должно производиться только в пределах соединения и на тех местах, которые сразу после зажигания должны быть снова расплавлены. От непроваренных точек зажигания могут расходиться трещины из-за высокой скорости остывания этих локально нагретых мест.

8.2 Ведение горелки

Горелка наклоняется на 10° - 20° в направлении сваривания и ведется волоочащим или колющим движениями (Рис. 35).

Расстояние между горелкой и изделием должно быть таким, чтобы расстояние между свободным концом электрода (нижней кромкой токоподводящего мундштука) и точкой соприкосновения дуги и изделия составляло примерно 10-12 диаметров проволоки. При слишком сильном наклоне горелки существует

опасность всасывания воздуха в защитный газ. Колющее движение горелки обычно используется при сварке массивной проволокой, волоочащее - при использовании порошковой проволоки со шлакообразующим покрытием. Горелка ведется слегка волоочащим движением и в позиции PG. Сварка вертикального шва сверху вниз (поз. PG) производится, как правило, при сваривании тонких листов. У более толстых листов существует опасность, что из-за опережающего металла шва возникнут дефекты сцепления. Дефекты сцепления из-за опережающего металла шва могут возникнуть и сварке в других положениях при слишком низкой скорости сваривания. Поэтому следует избегать раскачивания горелки с широкой амплитудой, за исключением позиции PF. Обычной формой маятникового движения является открытый треугольник.

8.3 Окончание сварки

Нельзя резко тушить дугу в конце шва или убирать горелку от конечного кратера. В первую очередь при сваривании толстых листов, где в наплавленных валиках большого объема могут возникнуть глубокие кратеры, рекомендуется медленно отводить дугу от ванны или, если позволяет установка, задать программу заполнения конечного кратера. У большинства установок можно задать также определенное время, в течение которого подача газа еще будет продолжаться, чтобы последний еще жидкий металл шва застывал в среде защитного газа.

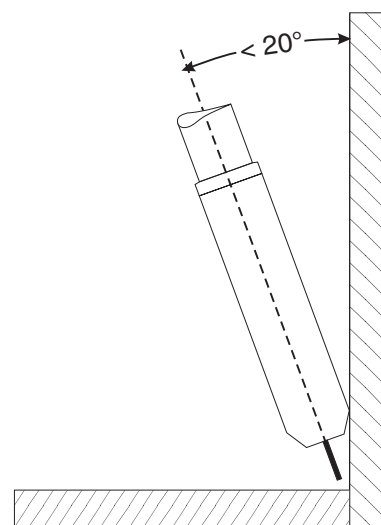


Рис. 35 Положение горелки по отношению к основному материалу

Но это будет действовать только в том случае, если горелка еще некоторое время будет находиться в конце шва.

8.4 Сварочные параметры

Нижняя граница возможного применения этой технологии для сваривания стыковых швов составляет примерно 0,7 мм на нелегированной стали, ок. 1 мм для нержавеющей стали и около 2 мм для алюминиевых материалов.

Корневые слои и тонкие листы свариваются, как правило, короткой дугой или в нижней части диапазона мощности импульсной дуги. Для заполняющих, верхних и подварочных слоев толстых листов задается капельная или длинная дуга при помощи установки более высокой мощности. Но эти работы можно проводить и импульсной дугой с очень незначительным брызгообразованием.

Ориентировочные значения соответствующих сварочных данных для стыковых и тавровых швов можно взять из таблиц от Таблица 5 до Таблица 9.

Толщина листа, мм	Тип соединения	Угол раскрытия кромок, °	Расстояние притупления, мм	Позиция	Диаметр пров. электр., мм	Подача проволоки, м/мин	Сила тока, ампер	Напряжение дуги, вольт	Слой
1	I	-	0	PA	0,8	3,8	70	18	1
2					1,0	4,3	125		
4			1,5	PG	0,8	7,1	130	19	
			2,0	PA		4,8	135		
6	V	50	2,0	PG		5,4	160	20	2
				PA	1,0	4,3	125	19	
			PA	1,2	3,1	135	18	1	
					8,1	270	28	2	
			PF	1,0	3,7	100	17	1	
								2	
8	V	50	2,5	PA	1,2	3,2	135	19	1
						9,0	290	28	2
			PF	1,0	4,5	120	18	1	
								2	
10	V	50	3,0	PA	1,2	3,2	130	19	1
							9,2	300	29
			PF	1,2	3,2	130	19	1	
					4,2	160	20	2	
			PA	1,2	3,8	140	19	1	
								2	
15	V	50	3,0	PA	1,2	3,2	130	19	1
							9,2	300	29
			PF	1,2	3,2	130	19	1	
					4,2	160	20	2	
			PA	1,2	3,8	140	19	1	
								2	
20	V	50	3,0	PA	1,2	3,2	130	19	1
							9,2	300	29
			PF	1,2	3,2	130	19	1	
					4,2	160	20	2	
			PA	1,2	3,8	140	19	1	
								2	
PA	1,2	9,5	310	29	3				
					4				
PA	1,2	9,5	310	29	5				
					6				

Таблица 5 Ориентировочные значения для сварки МАГ стыковых соединений нелегированной и низколегированной стали.
Проволочный электрод: G3Si1/G4Si1
Защитный газ: Газовая смесь M2.1
Значения согласно [1] и [2]

сварного шва РА, значения согласно [1] и [2]

Толщина листа, мм	Тип соединения	Угол раскрытия кромок, °	Расстояние притупления, мм	Позиция	Диаметр пров. электр., мм	Подача проволоки, м/мин	Сила тока, ампер	Напряжение дуги, вольт	Слой
1	I	-	0	PG	0,8	4,0	70	15	1
2			1,5	PA		3,5	100	16	
4			2,0	PG		4,0	105	17	
6			2,5	PA		1,0	3,4	95	
8	V	60	2,0		10,0	200	26	2	
12					4,4	110	16	1	
					10,0	200	26	2	
				3,0	110	17	1		
					1,2	8,0	250	28	2
									3
									4

Таблица 6 Ориентировочные значения для сварки МАГ стыковых соединений нержавеющей хромоникелевой стали.
Проволочный электрод: G199L,
Защитный газ: Газовая смесь M1.2
Значения согласно [2]

а-размер, мм	Позиция	Диаметр проволочного электрода, мм	Подача проволоки, м/мин	Сила тока, ампер	Напряжение дуги, вольт	Количество слоев
1,0	PA/PB	0,8	3,8	65	17	1
	PG					
2,0	PA/PB	0,8	7,3	130	19	
	PG					
3,0	PB	1,0	10,6	215	23	
	PG					
4,0	PA/PB	1,0	10,7	220	23	
5,0	PB					
6,0	PB	1,2	9,5	300	29	
8,0	PF	1,0	4,7	115	18	
	PB	1,2	9,5	300	29	
10,0	PF	1,0	4,8	130	19	
	PB	1,2	9,5	300	29	
	PF	1,2	4,2	165	19	

Таблица 8 Ориентировочные значения для сварки МАГ тавровых соединений нелегированной и низколегированной стали.
Проволочный электрод: G3Si1/G4Si1,
Защитный газ: Газовая смесь M2.1
Значения согласно [1]

Толщина листа, мм	Тип соединения	Угол раскрытия кромок, °	Высота притупления, мм)*	Диаметр проволочного электрода, мм	Подача проволоки, м/мин	Сила тока, ампер	Напряжение дуги, вольт	Слой		
2	I	-	2	0,8	5,0	110	20	1		
4			4	1,2	3,1	170	22			
6	У-образный	70	1,5	1,6	6,0	220	26	2		
8					6,8	220	26	1		
10					60	2,0	6,0	170	24	2
12							7,2	230	26	G
					1,2	13,7	240	26	1	
						12,2	220	28	2	
						15,6	250	28	G	

*) без расстояния между поверхностями притупления G= подварочный шов

Таблица 7 Ориентировочные значения для сварки МИГ стыковых соединений алюминия
Проволочный электрод: GRAIMg5,
защитный газ: аргон, положение

а-размер, мм	Позиция	Диаметр проволочного электрода, мм	Подача проволоки, м/мин	Сила тока, ампер	Напряжение дуги, вольт	Количество слоев
2,0	PB	0,8	6,5	100	17	1
	PG					
3,0	PB	1,0	9,0	200	24	
	PG					
4,0	PB	1,0	10,4	220	26	
5,0						
6,0						

Таблица 9 Ориентировочные значения для сварки МАГ тавровых соединений нержавеющей хромоникелевой стали 1.4541.
Проволочный электрод: G 19 9 L,
защитный газ: Газовая смесь M1.2
Значения согласно [2]

Необходимую для сварщика информацию о значениях тока и напряжения можно увидеть на измерительных инструментах, зачастую встроенных в аппараты. При импульсной сварке индикаторные приборы показывают среднее арифметическое силы тока и напряжения дуги, выводимое из импульсной и основной фаз при установленной частоте импульсов. Поэтому данные таблицы могут служить также источником ориентировочных значений для импульсной дуговой сварки МИГ/МАГ. Если измерительные приборы не установлены, измерения можно производить при помощи внешних приборов, либо сварщик должен ориентироваться на указанные в таблицах скорости подачи проволоки. Тогда он должен настраивать правильную длину дуги, ориентируясь на то, что он видит и слышит.

8.5 Возможности механизации

При частично механизированной сварке МИГ/МАГ подача сварочной присадки и защитного газа, а также регулирование длины дуги уже производятся механически, вручную осуществляется только перемещение горелки.

Существует возможность осуществить полную механизацию простыми средствами, для этого нужно закрепить горелку и перемещать ее со скоростью сваривания при помощи движущейся тележки над изделием либо стационарно закрепить горелку и перемещать осесимметричное изделие под горелкой при помощи сварочного вращателя (Рис. 36).



Рис. 36 Полностью механизированный процесс сваривания

Концепция процесса делает его подходящим и для сложных задач по механизации, например, в тех случаях, когда сваривание одного изделия производится одновременно несколькими горелками. Это является одной из важных причин, делающих сварку МИГ/МАГ абсолютным лидером среди всех технологий дуговой сварки, выполняемой промышленными роботами.

9 Техника безопасности

При сварке МИГ/МАГ капли проникают через дугу. Из-за высоких температур в этой области испарение металла в этом случае сильнее, чем при сварке ВИГ. Поэтому выделяется больше вредных газов и дыма. При использовании порошковых проволочных электродов доля вредных веществ увеличивается за счет испарения компонентов покрытия. Поэтому вытяжка вредных веществ непосредственно в месте их возникновения обязательна всегда, как в случае длительного местного сваривания, так и в случае кратковременных работ. В том случае, если работы не производятся в одном месте, достаточно естественной либо технической вентиляции помещения, за исключением сваривания высоколегированных сталей. При сварке МИГ/МАГ необходимо использовать устройство вытяжки, интегрированное в горелку Рис. 37.

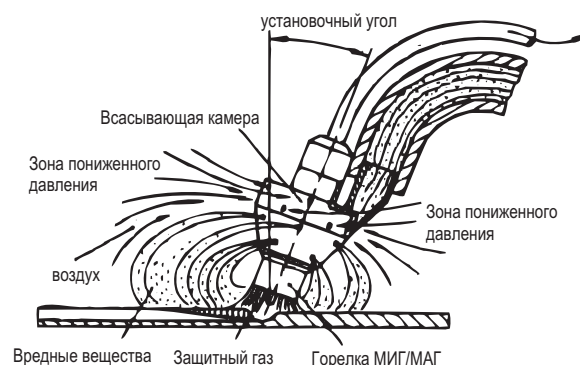


Рис. 37 Интегрированное в горелку устройство вытяжки

Важно, чтобы всасывающее сопло было сконструировано таким образом, чтобы защитный газ не отсасывался от места сваривания.

Кроме того, сварщик должен быть защищен от излучения дуги и от электроопасности. Против инфракрасного и ультрафиолетового излучения при сварке МИГ/МАГ сварщика, как правило, защищает маска, благодаря которой обе руки сварщика остаются свободными. В защитную маску встроен защитный фильтр. Эти фильтры регламентированы заново в стандарте DIN EN 169. Существует несколько ступеней защиты, информация о которых должна наноситься на стекло и сохраняться долгое время. При сварке МИГ/МАГ используются фильтры защитной ступени 10-15, в зависимости от выбранной силы тока, при этом ступень 10 используется при меньшей силе тока, а ступень 15 - при большей.

Наибольшую электрическую опасность представляет напряжение холостого хода. Это самое высокое напряжение на включенном источнике тока между розетками при негорящей дуге. После зажигания дуги напряжение значительно ниже, при сварке МИГ/МАГ оно составляет 17-30 вольт. Согласно правилам техники безопасности VBG 15 источник питания может обладать пиковым значением напряжения холостого хода для постоянного тока в нормальном режиме не более 113 вольт. У аппаратов переменного тока, используемых для сварки МИГ/МАГ в новейших разработках, это значение также составляет 113 вольт, однако эффективное значение ограничено 80 вольтами. При наличии повышенной электрической опасности, например, при сварочных работах в тесных помещениях или на больших массах железа, для переменного тока действуют сниженные значения, например, пиковое значение 68 вольт и эффективное значение 48 вольт. Новые сварочные источники тока, соответствующие этому требованию, имеют условное обозначение "S" согласно DIN EN 60974-1. Другие источники питания могут иметь еще и обозначения "K" (постоянный ток) или "42 V" (переменный ток). От электрического удара сварщика надежнее всего защищают неповрежденные кожаные сварочные перчатки и хорошо изолированная рабочая одежда, в том числе обувь.

10 Особенности различных материалов

Уже было сказано, что технология сварки МИГ/МАГ подходит для сваривания большого количества различных материалов. Ниже будут рассмотрены особенности сваривания этих материалов.

10.1 Нелегированные и низколегированные стали

Нелегированные и низколегированные стали свариваются в среде газовых смесей M1, M2, M3 или в среде чистого диоксида углерода (Рис. 38). Однако в Германии большей частью используются газовые смеси вследствие незначительного брызгообразования, в первую очередь, в верхней части диапазона мощности. В целом эти стали хорошо свариваются технологией сварки МАГ. Исключение составляют высокоуглеродистые марки, например, E 360 (ранее St. 70) с содержанием углерода около 0,45 %. Из-за сильного провара металл шва при смешивании получает относительно много углерода, что угрожает возникновением горячих трещин. Средствами против этого могут быть любые средства, уменьшающие провар и, следовательно, смешивание. Сюда относятся низкие значения силы тока, а также сваривание с несколько опережающим протеканием металла шва - внимание: опасность возникновения дефектов сцепления.

Порообразование у нелегированных и низколегированных сталей происходит большей частью из-за азота. Он может выделяться при перемешивании при сварке



Рис. 38 Сварка МАГ несущих балок в строительстве стальных конструкций

сталей с высоким содержанием азота, например, нитрированных сталей. Однако, большей частью он проникает из воздуха вследствие негерметичности колокола защитного газа. Надежную защиту обеспечивает правильно заданное количество защитного газа, а также отсутствие завихрений в потоке защитного газа, вызываемых, например, брызгами, попавшими в сопло, или нестабильностью процесса. Диоксид углерода менее восприимчив к этому виду порообразования, чем газовые смеси. У смесей восприимчивость снижается с увеличением доли CO₂.

10.2 Высоколегированные стали и никелевые сплавы

Эта группа материалов в принципе также хорошо сваривается при сварке МИГ/МАГ. В качестве защитного газа для высоколегированных сталей используются смеси аргона и кислорода с содержанием кислорода 1-5 % (M1.1) или аргон с содержанием CO₂ до 2,5 % (M1.2). При сваривании антикоррозионных сталей серьезную проблему представляют оксидные пленки, остающиеся на шве и рядом с ним после сваривания. Их следует полностью удалить при помощи щетки, облучения либо травления, до того, как изделие пойдет в эксплуатацию, так как они снижают антикоррозионную защиту. Затраты на очистку после сварки МАГ больше, чем после ручной сварки стержневыми электродами, при которой шлаковый слой мешает доступу кислорода к поверхности шва при высоких температурах. Поэтому части экономической выгоды при частично механизированной сварке может быть потеряна вследствие дополнительных затрат на доработку. Смеси с содержанием CO₂ в этом отношении несколько лучше смесей с содержанием O₂. Поэтому доля их использования растет. Доля диоксида углерода в защитном газе не должна быть слишком большой, так как разлагающийся в дуге газ ведет к насыщению металла шва углеродом и, как следствие, к снижению антикоррозионной защиты. Допустимое содержание CO₂ ограничено максимум 5 %.

При сваривании антикоррозионных сталей следует избегать любого перегрева, так оно может привести к охрупчиванию и снижению антикоррозионной защиты из-за выделения

карбида хрома. Поэтому процесс ввода тепла должен постоянно контролироваться, кроме того, возможно, следует делать паузы, чтобы изделие могло остыть. Для материалов группы полнаустенитных сталей рекомендована "холодная" сварка для предотвращения появления горячих трещин.

Так как аустенитные стали не становятся хрупкими под воздействием водорода, для повышения мощности (увеличения скорости сваривания) к аргону можно примешать несколько процентов водорода. Но содержание H₂ не должно превышать 7 % из-за возможности порообразования. Двухслойные стали, обладающие двойной структурой из аустенита и феррита, напротив, больше тяготеют к образованию трещин под воздействием углерода.

Никелевые сплавы свариваются, как правило, в среде аргона технологией МИГ. У чистого никеля и некоторых сплавов небольшие добавки водорода могут снизить поверхностные напряжения и улучшить этим рисунок шва.

10.3 Алюминий и его сплавы

Алюминиевые материалы, как правило, свариваются технологией МИГ (Рис. 39).

Как правило, в качестве защитного газа используется аргон. Из-за высокой теплопроводности алюминия особенно эффективны в этом случае добавки гелия. Как



Рис. 39 Сварка МИГ алюминия в автомобильной промышленности

уже было сказано, гелий улучшает теплопроводность и содержание тепла в атмосфере защитного газа. Это ведет к более глубокому и широкому провару, как схематично показано на Рис. 40.

Если глубокий провар не нужен, например, при сваривании тонких листов, процесс сварки при той же форме провара можно вести быстрее. Из-за высокой теплопроводности алюминия изделия с более толстым сечением можно предварительно нагревать. Это не только обеспечивает надежность провара, но и снижает риск порообразования, так как металл шва имеет больше времени для дегазации при застывании. При использовании защитных газов с содержанием гелия - доли составляют обычно 25 % или 50 % - предварительное нагревание можно сократить, а при более тонких стенках от него можно совсем отказаться. Благодаря этому высокая цена газов, содержащих гелий, частично оправдывается.

При сварке МИГ сложностей с удалением тугоплавкой оксидной пленки на сварочной ванне нет, так как электрод подключается к положительному полюсу (катодная очистка). Тем не менее, рекомендуется удалить пленки непосредственно перед свариванием при помощи скребка или щетки, так как пленка гигроскопична и из нее в металл шва может проникнуть водород. Водород - это единственная причина порообразования при сваривании алюминиевых материалов. В жидком состоянии алюминий обладает относительно высокой способностью растворять водород, а в твердом алюминии этот газ практически не растворяется. Поэтому, если порообразование недопустимо, весь водород, проникший в металл при сварке, должен быть удален до застывания. Это не всегда возможно, прежде всего у изделий большой толщины. Поэтому в толстых

изделиях из алюминия невозможно добиться швов, совершенно не имеющих пор. Положительное влияние предварительного нагревания уже было упомянуто выше.

Сплавы AlMg и AlSi склонны к образованию горячих трещин при сварке, если содержание кремния составляет примерно 1 %, а содержание магния - около 2 %. Этой области легирования следует избегать при помощи соответствующей присадки. Чаще всего, проволочный электрод, чье легирование на один уровень выше, чем легирование сплава изделия, лучше, чем электрод с таким же легированием.

10.4 Прочие материалы

Кроме вышеназванных материалов достаточно часто сваркой МИГ свариваются также медь и медные сплавы. Из-за высокой теплопроводности чистая медь должна быть предварительно сильно нагрета во избежание дефектов сцепления.

Металл шва из бронзовой проволоки, например, из алюминиевой или оловянной бронзы, обладает хорошими антифрикционными свойствами. Поэтому он используется для наплавки на поверхности скольжения. При таких работах на железных материалах провар должен поддерживаться небольшим при помощи соответствующих мер, так как железо обладает лишь незначительной растворимостью в меди. Оно включается в металл шва в виде шариков и снижает эксплуатационные характеристики.

Схожие условия действуют и при пайке МИГ. Эта технология используется, например, для соединения оцинкованных листов в автомобилестроении. В качестве присадки используются проволочные электроды из кремнистой или оловянной бронзы. Благодаря низкой точке плавления этих бронз снижается испарение цинка. Возникает меньше пор, и защитное цинковое покрытие сохраняется и рядом со швом, и на обратной стороне. Здесь тоже следует избегать проникания провара в стальной материал, а сцепление должно осуществляться, как и при высокотемпературной пайке, исключительно благодаря силам диффузии и адгезии. Это достигается правильной настройкой сварочных параметров и особым положением горелки, благодаря которому дуга горит только на жидкой сварочной ванне.

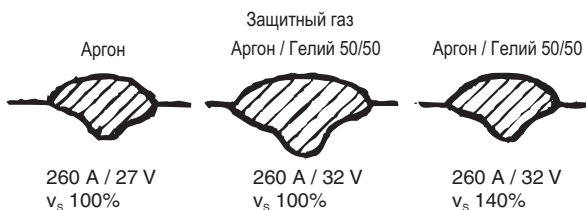


Рис. 40 Профиль провара при разных защитных газах. Материал: AlMg3, Проволочный электрод: Ø1,6 мм

11 Применение сварки МИГ/МАГ

11.1 Отрасли производства

Доля этой технологии во всех технологиях электродуговой сварки в пересчете на реализованный металл шва составляет по последним данным статистики около 80 %.

Практически не существует такой промышленной отрасли, в которой не применялась бы сварка МИГ/МАГ. Основными сферами применения являются транспортное машиностроение, например, производство автомобилей, локомотивов и рельсовых транспортных средств. В этой области применение алюминия также растет. Кроме того, технология используется при возведении стальных конструкций и в мостостроении, и в судостроении, и в машиностроении. В производстве кранов и землеройных машин используется все больше высокопрочных сталей, для которых особенно подходит технология сварки МАГ, так как металл шва содержит мало водорода, благодаря чему не возникают холодные трещины. Несколько в меньшей степени сварка МАГ представлена в котло- и приборостроении и в строительстве трубопроводов, где из-за отличных характеристик металла шва в первую очередь еще используется сварка основными стержневыми электродами.

Однако не только в промышленном, но и в ремесленном производстве практически нет мастерской в которой бы не использовалась сварка МАГ. Это относится как к автомобильным, так и к слесарным мастерским и небольшим заводам по производству металлоконструкций.

11.2 Варианты применения

В завершение приводим некоторые избранные варианты применения для наглядной иллюстрации надлежащего использования сварки МИГ/МАГ.

На Рис. 38 показано применение сварки МАГ при возведении стальных конструкций.

В углах несущих балок, изображенных на рисунке, видны тавровые швы или двойные швы HV. У более длинных несущих балок поперек направления главной нагрузки свариваются также стыковые швы. Для них действуют специальные правила относительно отсутствия дефектов.

В кузовах легковых автомобилей помимо многочисленных точек контактной сварки встречаются и короткие швы, сваренные по технологии МАГ (Рис. 41).

Оцинкованные листы соединяются также пайкой МИГ. Кузова из алюминия подвергаются контактной сварке и сварке МИГ.

На Рис. 42 показана сварка МИГ при производстве прицепных цистерн для автозаправщиков, производимых из сплавов алюминия.

Во избежание сложностей с подачей относительно мягкой алюминиевой проволоки сварка ведется при помощи двухтактного привода.



Рис. 41 Пайка МИГ при сборке кузова



Рис. 42 Сварка МИГ при производстве прицепных цистерн

12 Литература

- [1] R. Killing: Handbuch der Schweißverfahren, Teil 1: Lichtbogenschweißen, Fachbuchreihe Schweißtechnik, Band 76/I, DVS-Verlag Düsseldorf 1999
- [2] G. Aichele: Leistungskennwerte für Schweißen und Schneiden, Fachbuchreihe Schweißtechnik, Band 72, DVS Verlag Düsseldorf 1994

13 Выходные данные

Справочное руководство по сварке МИГ/МАГ, 2 издание 2002

Издание серии справочной литературы компании EWM "Все о сварке"

Все права сохранены.

Перепечатка, даже в виде выдержек, запрещена. Запрещается воспроизведение либо обработка, размножение или распространение при помощи электронных систем каких-либо частей данной брошюры в любой форме (фотокопия, микрофильм или иной способ) без письменного разрешения компании EWM.

© EWM HIGHTEC WELDING GmbH

Dr.-Günter-Henle-Str. 8

D-56271 Mündersbach

Тел.: +49(0)2680.181-121

Факс: +49(0)2680.181-161

<mailto:info@ewm.de>

<http://www.ewm.de>

Набор:

EWM HIGHTEC WELDING GmbH, Mündersbach

Печать:

Müller Digitaldruck GmbH, Montabaur

Мы предлагаем следующую информацию:

В серии справочной литературы «Вокруг сварки» можно найти пособия и разъяснительные плакаты по ручной сварке стержневыми электродами, сварке ВИГ, плазменной сварке и сварке МИГ/МАГ.



Кроме того, все эти сведения можно получить в Интернете по адресу. . .



www.ewm.de

Брошюры: изображения, темы, описание продуктов.



Специализированные статьи и другие материалы о высокопроизводительной сварке МАГ, плазменной сварке по алюминию или импульсной сварке ВИГ.



Продажа, консультации, обслуживание

EWM / HIGHTEC®
WELDING

SIMPLY MORE

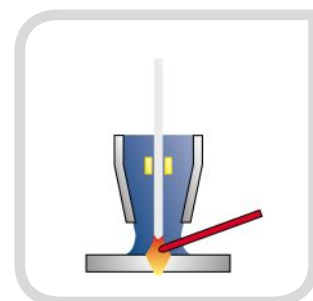
EWM HIGHTEC WELDING GmbH

Dr.-Günter-Henle-Strasse 8 · D-56271 Mündersbach
Phone +49(0)26 80-18 10 · Fax +49(0)26 80-18 12 44

www.ewm.de · info@ewm.de



СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО ПО СВАРКЕ ВИГ



Оглавление

1	Предисловие	2
2	Метод сварки	2
2.1	Общие сведения	2
2.2	Вид тока	3
2.3	Электроды	3
2.4	Защитные газы	4
3	Разделка свариваемых кромок	5
3.1	Формы кромок	5
3.2	Разделка кромок под сварку	5
3.3	Подкладка	5
3.4	Формовка	5
4	Сварочная горелка	6
4.1	Охлаждение	6
4.2	Конструкция горелки	7
4.3	Конструкция электрода	7
5	Сварочные аппараты	7
5.1	Устройство управления	7
5.2	Источники тока	9
6	Выполнение сварки	11
6.1	Выбор присадки для сварки	11
6.2	Настройка расхода защитного газа	11
6.3	Очистка поверхности изделия	12
6.4	Зажигание электрической дуги	12
6.5	Ведение горелки	13
6.6	Эффект магнитного выдувания дуги	13
6.7	Положения сварного шва	14
6.8	Параметры сварки	14
6.9	Сварка импульсами тока	16
6.10	Возможности механизирования процесса сварки	16
6.11	Техника безопасности	17
7	Особенности различных материалов	17
7.1	Нелегированная и низколегированная сталь	18
7.2	Аустенитные хромоникелевые стали	18
7.3	Алюминий и алюминиевые сплавы	18
7.4	Медь и медные сплавы	20
7.5	Другие материалы	20
8	Применения сварки ВИГ	21
8.1	Отрасли производства	21
8.2	Примеры применения	21
9	Литература	23
10	Публикации	23

1 Предисловие

Сварка ВИГ (Рис. 1) – полное название согласно DIN 1910, части 4, дуговая сварка вольфрамовым электродом в среде инертного газа – была впервые применена в США и в 1936 году стала известна как аргоно-дуговая сварка. В Германии ее начали применять только после Второй мировой войны. В англоговорящих странах этот процесс называется сваркой TIG (от англ. «Tungsten» - «вольфрам, вольфрамовый»). Сварка ВИГ по сравнению с другими методами сварки плавлением отличается рядом преимуществ. Во-первых, ее универсальное применение. Если металл вообще пригоден к сварке плавлением, то его можно сварить посредством данного процесса. Во-вторых, это очень „чистый“ процесс, который не приводит к образованию брызг и отличается малой степенью вредности. При правильном применении он гарантирует высококачественное сварное соединение.

Особым достоинством сварки ВИГ является то, что в ней, по сравнению с другими сварочными процессами, используются плавящийся электрод, разъединяются внесение присадки для сварки и сила тока. Поэтому сварщик может оптимально настроить ток на сварочное задание и внести необходимое количество присадки для сварки для выполнения сварочного задания. Это делает процесс



Рис. 1 TRITON 260 DC, Сварка ВИГ, охлаждающий змеевик

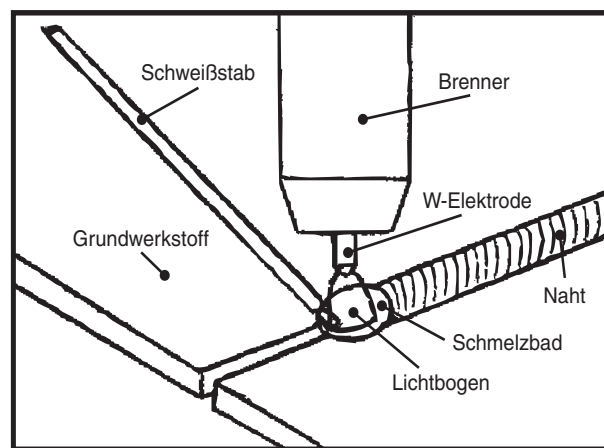


Рис. 2 Принцип сварки ВИГ

особенно пригодным для сварки корня шва и при сварке в стесненных условиях. Благодаря названным выше преимуществам сегодня сварка ВИГ эффективно применяется во многих отраслях промышленности и ремеслах. Разумеется, при ручном применении такая сварка требует хорошей подготовки и умения сварщика. Данная брошюра призвана разъяснить особенности процесса сварки ВИГ, а также возможно пробудить к ней интерес фирм, которые еще не применяют сварку ВИГ, хотя имеют дело со сварочными заданиями, для которых предназначен данный метод сварки.

2 Метод сварки

2.1 Общие сведения

Сварка ВИГ относится к сваркам в защитном газе с нерасходуемым электродом (процесс №14). ISO 857-1 даёт следующее объяснение метода в переводе с англ.:

«Дуговая сварка в защитном газе с использованием нерасходуемого электрода из чистого или легированного вольфрама, при котором электрическая дуга и расплав защищены оболочкой инертного газа»

При дуговой сварке вольфрамовым электродом в среде инертного газа (процесс №141) электрическая дуга горит свободно, при плазменной же сварке электрической дугой (процесс № 15), которая также относится к сваркам в защитном газе с нерасходуемым электродом, дуга сжата, как показано на схеме процесса Рис. 2.

Диаметр электрода [мм]	Постоянный ток [A]				Переменный ток [A]	
	Отрицательный электрод		Положительный электрод		Чистый вольфрам	Вольфрам с оксидом
	Чистый вольфрам	Вольфрам с оксидом	Чистый вольфрам	Вольфрам с оксидом		
1,6	40-130	60-150	10-20	10-20	45-90	60-125
2,0	75-180	100-200	15-25	15-25	65-125	85-160
2,5	130-230	170-250	17-30	17-30	80-140	120-210
3,2	160-310	225-330	20-35	20-35	150-190	150-250
4,0	275-450	350-480	35-50	35-50	180-260	240-350
5,0	400-625	500-675	50-70	50-70	240-350	330-460

Таблица 1: Рекомендуемые диапазоны силы тока для вольфрамовых электродов согласно DIN EN 26848

Данный процесс получил свое название от вида электрода (вольфрамового) и используемого защитного газа (инертного). При правильном применении электрод не плавится из-за высокой точки плавления вольфрама (3380°C). Он только носитель электрической дуги. Присадка для сварки вводится вручную в форме присадочных прутков, а при полностью механизированной сварке вводится в виде проволоки механизмом подачи. Защитный газ concentрично обтекает электрод, выходя из сопла защитного газа, и защищает его и металл шва от воздействия атмосферы.

2.2 Вид тока

Как правило, для сварки ВИГ применяется постоянный ток. При сварке стали и других металлов и сплавов на электроде находится холодный отрицательный полюс, а на изделии – горячий положительный полюс. Токонгрузочная способность и стойкость электрода при такой полярности значительно выше, чем при сварке на положительном полюсе. Переменный ток применяют для сварки алюминия и его сплавов, а также некоторых сортов бронзы, то есть материалов, которые образуют тугоплавкие оксиды или очень вязкие расплавы оксидов. Об этом пойдет речь далее. При сварке переменным током токонгрузочная способность ниже, чем при сварке постоянным током на отрицательном полюсе – см. также Таблица 1.

Также имеются различия в характеристике провара. Он лучше всего при сварке постоянным током на отрицательном полюсе.

При сварке переменным током провар из-за более тупой формы электрода более плоский и широкий, а при сварке на положительном полюсе из-за низкой токонгрузочной способности - наименьший,

Рис. 3.

2.3 Electrodes

Вольфрамовые электроды из-за высокой точки плавления не могут изготавливаться литьем. Поэтому они изготавливаются методом порошковой металлургии путем спекания с последующим сжатием и упрочнением. Стандартные диаметры электродов согласно DIN EN 26848 (ISO 6848) составляют 0,5-10 мм. Чаще всего применяют электроды диаметром 1,6; 2,0; 2,5; 3,2 и 4,0 мм. Стандартная длина электрода – 50, 75, 150 и 175 мм. Длина также зависит от конструкции горелки.

Наряду с электродами из чистого вольфрама имеются такие, к которым перед спеканием добавляется 0,5-4 % оксида тория, циркония, лантана или церия. При применении чистых вольфрамовых электродов образуется очень спокойная дуга, но оксидосодержащие электроды имеют следующее преимущество. При эксплуатации они меньше нагреваются, так как работа выхода электронов из заключенного в электродах оксида значительно меньше, чем из чистого вольфрама. Зажигаемость дуги, токонгрузочная способность и стойкость лучше у оксидосодержащих электродов. Таблица 1 содержит для сравнения рекомендованные диапазоны силы тока для чистых вольфрамовых электродов и электродов с примесью оксидов на обоих полюсах постоянного тока и при переменном токе согласно DIN EN 26848. Благодаря примеси оксида возрастает токонгрузочная

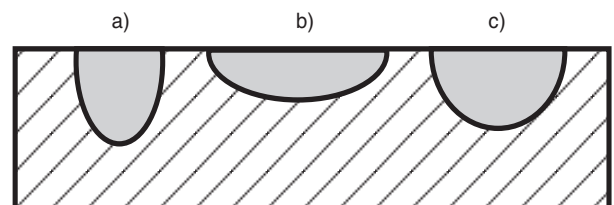


Рис. 3:
Провар при различных видах тока
a) постоянный ток (отрицательный полюс)
b) постоянный ток (положительный полюс)
c) переменный ток

Условные обозначения	Химический состав				Распознавательная окраска	
	Содержание оксида		Примеси	Вольфрам		
	% (м/м)	Вид				% (м/м)
WP	-	-	≤ 0,20	99,8	зелёная	
WT 4	от 0,35 до 0,55	ThO ₂		другие		синяя
WT 10	от 0,80 до 1,20					желтая
WT 20	от 1,70 до 2,20					красная
WT 30	от 2,80 до 3,20					фиолетовая
WT 40	от 3,80 до 4,20					оранжевая
WZ 3	от 0,15 до 0,50	ZrO ₂				коричневая
WZ 8	от 0,70 до 0,90					белая
WL 10	от 0,90 до 1,20	LaO ₂				черная
WC 20	от 1,80 до 2,20	CeO ₂				серая

Таблица2 Вольфрамовые электроды согласно DIN EN 26848

способность.

Ранее применялись вольфрамовые электроды с содержанием примерно 2% оксида тория. Но их применение в настоящее время снижается. Торий является альфа-излучателем, поэтому содержащие оксид тория электроды испускают слабое радиоактивное излучение. Оно не опасно для сварщика, однако увеличивает общую лучевую нагрузку. Намного опаснее, когда вдыхается шлифовальная пыль, образующаяся при заточивании электрода. Поэтому сегодня намного чаще применяют вольфрамовые электроды, содержащие «благоприятный для дуговой сварки» оксид лантана или церия.

Распознать электрод можно по условному обозначению и распознавательной окраске, которые установлены стандартом Таблица2.

2.4 Защитные газы

Как следует из названия процесса, для сварки ВИГ, как правило, применяются инертные газы. Защитные газы нормированы стандартом DIN EN 439. Согласно данному стандарту они имеют обозначения I1, I2 и I3. Наиболее часто при сварке ВИГ в качестве защитного газа применяется аргон (I1). Степень его чистоты должна составлять минимум 99,95%. Для металлов, имеющих очень хорошую теплопроводимость, таких как, алюминий или медь, также используется гелий (I2). При использовании гелия в качестве защитного газа электрическая дуга имеет более высокую температуру. Но, в первую очередь, происходит

более равномерное распределение температуры между ядром и краем электрической дуги. Чистый гелий редко применяется при сварке ВИГ, за исключением особых случаев. Уже сравнительно давно применяется смесь аргона и гелия (I3) с содержанием гелия 25, 50 или 75%. Благодаря этому удается снизить температуру предварительного нагрева, например, толстых алюминиевых структур, для достижения достаточного провара. Более того, можно повысить скорость сварки.

При сварке ВИГ нержавеющей хромоникелевой стали для этой цели применяется смесь аргона и водорода (R1), при этом содержание водорода во избежание образования пор должно составлять не более 5%.

Расход защитного газа определяется диаметром газового сопла газа и окружающего воздушного потока. Ориентировочным значением для аргона может быть объемный расход 5-10 л/мин. На ветру или сквозняке Рис. 4 при определенных условиях необходим больший расход. При использовании смеси аргона и гелия из-за низкой плотности гелия необходим более высокий расход.



Рис. 4 Сварка ВИГ поручня

3 Разделка свариваемых кромок

3.1 Формы кромок

Наиболее важные формы кромок, применяемых при сварке ВИГ, изображены на Рис. 5.

Тонкие листы можно соединять с одной или с двух сторон бескосным стыковым швом. Если толщина листа настолько велика, что невозможно произвести проплавление с обеих сторон, необходимо скосить бока кромок. Угол разделки кромок соответствующего V-образного стыка в большинстве случаев равняется 60°, для алюминия – 70°. Для предотвращения проплавления край листа в области корня шва часто слегка притупляется. При выраженном притуплении речь уже идет не о V-образной, а об Y-образной кромке. Сталь можно сваривать в один слой только при толщине до 6 мм. При большей толщине необходима многослойная сварка.

Для тонких листов применяется также соединение внахлестку. Совершенно иначе для сварки ВИГ применяют соединение с отбортовкой кромок. Отогнутые вверх края листа расплавляются под дугой без присадки для сварки и в таком способе соединяются. При угловом соединении с одной или обеих соединяемых сторон снимают фаски.

3.2 Разделка кромок под сварку

Подготовка боков кромок нелегированной и низколегированной стали чаще всего производится путем газовой резки. Для высоколегированной стали, алюминия и металлических сплавов применяется плазменная, лазерная или электронно-лучевая резка. Тонкие листы часто разрезаются путем

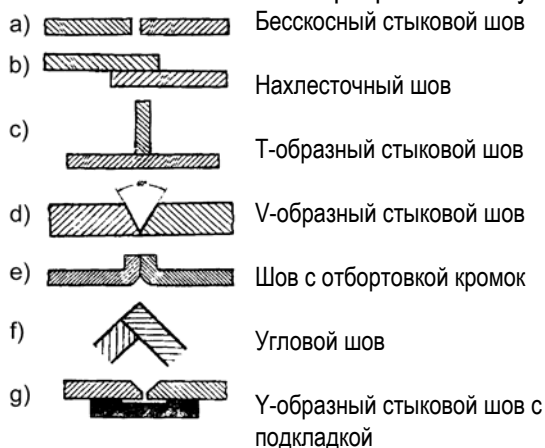


Рис. 5 Наиболее важные формы кромок при сварке ВИГ

механической резки (ножницами), в то время как кромки более толстых материалов проходят еще и механическую обработку (точение, строгание).

3.3 Подкладка

При ручной сварке сварщик наблюдает за протеканием сварки и путем настройки правильной силы тока, положения электрической дуги в кромке, скорости сварки и количества вносимой присадки для сварки получает равномерный валик, наплавленный в корне шва, даже при неодинаковом зазоре в корне шва. В то же время при полностью механизированной сварке необходимо, чтобы соответствовало все – от зазора в корне шва, правильно настроенных параметров сварки до количества непрерывно вносимой присадки для сварки.

Поэтому для облегчения заварки корня при механической сварке часто используется подкладка, см. Рис. 5. Такие подкладки есть практически для всех металлов и сплавов. Они изготавливаются из меди. Для алюминия, который имеет низкую точку плавления - из нержавеющей стали. Используются также керамические подкладки. Подкладка предотвращает вытекание металла шва в местах с более широким зазором. Таким образом металл задерживается, и образуется валик, наплавленный в корне шва. Подкладка также придает форму нижней стороне корня шва. Для этой цели в ней часто предусмотрен желобок.

3.4 Формовка

Под формовкой понимают дополнительную подачу защитного газа на обратную сторону шва, где свариваемый материал тоже находится в жидком состоянии, но до него не доходит защитный газ, подающийся на верхнюю сторону. Особенно при сварке ВИГ с ее относительно низкой скоростью сварки обратная сторона шва из-за окисления часто выглядит «пережженной». Это явление устраняется с помощью формовочного газа. Холодный защитный газ способствует формованию обратной стороны шва. Отсюда он и получил свое название «формовочный газ».



Рис. 6 Сварочные работы ВИГ в химической промышленности

Путем формовки удается предотвратить или уменьшить образование оксидной пленки и цвета побежалости на обратной стороне шва. Это важно, например, при сварке нержавеющей стали, поскольку оксидная пленка снижает устойчивость к коррозии сварного соединения, Рис. 6.

При сварке труб можно просто заглушить их и ввести внутрь формовочный газ. При сварке листов он может подаваться из отверстий пластины подкладки. В качестве формовочного газа может использоваться смесь аргона и водорода. Стандартом DIN EN 439 (группа F) нормируются недорогие формовочные газы. Они состоят, например, из смеси водорода и азота. При определенных условиях для формования может также использоваться чистый азот.

4 Сварочная горелка

Сварочная горелка является инструментом для сварки ВИГ. Ее функции особенно влияют на сварной шов. На Рис. 7 показана сварочная горелка ВИГ с газовым охлаждением.

Горелка соединена со сварочным аппаратом пакетом шлангов. С помощью пакета шлангов протягиваются сварочный кабель, шланг подачи защитного газа, а также кабель управления, благодаря которому нажатием кнопок на пульте управления горелки можно включать и выключать различные функции.

4.1 Охлаждение

Для горелок, которые рассчитаны на силу тока около 150 А, достаточно охлаждения протекающим защитным газом и окружающим воздухом. Горелки более высокой мощности имеют водяное охлаждение. В этом случае при помощи пакета шлангов протягиваются шланги для подвода и отвода воды, причем сварочный кабель охлаждается отводимой водой. Благодаря этому можно обойтись небольшим поперечным сечением, за счет чего пакет шлангов остается гибким. Для этой цели в пакете шлангов имеется комбинированный токо-водопроводный кабель. Датчик напора, который чаще всего устанавливается на сварочном аппарате, контролирует, чтобы при недостаточной или отсутствующей подаче охлаждающей воды отключался сварочный ток.

Поскольку вода относительно дорога, то для охлаждения используют преимущественно аппараты с обратным водяным охлаждением и закрытым контуром охлаждения.

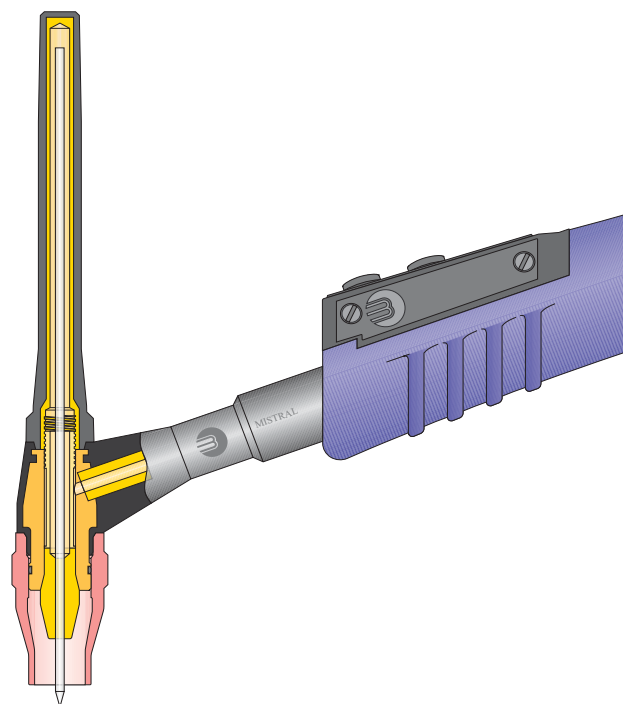


Рис. 7 Сварочная горелка ВИГ с газовым охлаждением

4.2 Конструкция горелки

Вольфрамовый электрод находится на зажимной втулке и фиксируется путем затягивания головки горелки. Длина головки горелки выбирается в зависимости от цели применения. При сварке в узком месте она может быть значительно короче, чем показанная на рис. Рис. 8.

Важную функцию выполняет пульт управления горелки. Он может быть в форме одной или двух кнопок или иметь форму тумблера, который переключается вперед и назад. При нажатии на кнопки включается и выключается сварочный ток, а также регулируется ток во время сварки. При этом можно настроить скорость изменения тока.

Диаметр вольфрамового электрода зависит от применяемой силы тока, вида тока (постоянный/переменный) и полярности. При выборе диаметра могут быть полезными приведенные на Таблица 1 диапазоны изменения силы тока.

На нижнем конце сварочной горелки находится газовое сопло. Оно может быть металлическим или керамическим. Диаметр газового сопла должен соответствовать сварочному заданию. Если необходимо защитить большую сварочную ванну, то газовое сопло тоже должно быть большим. Поэтому указывается отношение к силе тока или к диаметру электрода. Вольфрамовый электрод выступает над газовым соплом в зависимости от его диаметра на 2 мм при тонких электродах или до 3 мм при более толстых электродах.

4.3 Конструкция электрода

При сварке постоянным током (отрицательный полюс) вольфрамовый электрод обычно конусообразно заостряется. Это достигается, как правило, шлифовкой. Шлифовку необходимо выполнять таким образом, чтобы на отшлифованном конце шлифовальные царапины располагались только в продольном направлении. Тогда электрическая дуга будет



Рис. 8 Диаграмма горения сварочной горелки ВИГ

спокойнее, чем при поперечных царапинах. Угол заострения рассчитывается из отношения диаметра электрода к длине конца электрода. Это соотношение должно приблизительно равняться 2,5.

При правильно настроенной силе тока расплавляется только малая часть конца электрода, и там образуется маленький шарик. При этом дуга зажигается особенно спокойно. Поэтому рекомендуется приплавить этот шарик еще перед началом сварки путем кратковременной перегрузки. В современных аппаратах есть возможность выбрать такую функцию на устройстве управления.

При сварке переменным током термическая нагрузка вольфрамового электрода значительно выше, чем при сварке постоянным током (отрицательный полюс). Поэтому при таком виде тока электрод либо совсем не заостряется, либо заостряется в форме усеченного конуса, с соотношением обоих диаметров 2:1.

При сварке постоянным током (положительный полюс), что применяется крайне редко, электрод не затачивается.

Необходимо обратить внимание, что форма конца электрода значительно влияет на характеристику провара. При использовании острых электродов провар узкий и глубокий, а при использовании притупленных электродов при тех же условиях – более плоский и широкий, Рис. 9.

5 Сварочные аппараты

Сварочные аппараты ВИГ состоят из источника тока и устройства управления.

5.1 Устройство управления

Устройство управления включает, регулирует и сохраняет постоянный сварочный ток. Кроме того, оно имеет дополнительные функции, которые делают возможной сварку или облегчают ее, Рис. 10.

При выключении в конце сварочного шва у современных аппаратов может временно снижаться ток для заполнения точки (спад тока). Также ток может ступенчато повышаться в начале сварки (нарастание тока). Эти функции можно запустить в 2-х- или 4-х- тактом режиме с пульта управления горелки. Таким образом, получается сварочная

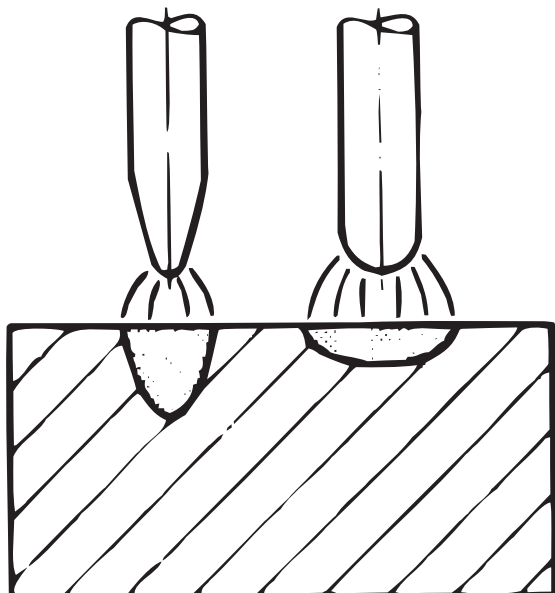


Рис. 9 Провар при различных формах конца электрода

программа, которая схематически изображена на Рис. 11.

У современных аппаратов настроенное время спада и нарастания остается постоянным, независимо от настроенной величины тока. Можно также настроить время подачи защитного газа до и после сварки.

В устройство управления встроен узел зажигания. Дуга ВИГ может зажигаться контактом между электродом и изделием, однако при этом существует опасность повреждения конца электрода, после чего дуга будет гореть неспокойно. Кроме того, в сварочный шов может перенестись вольфрам, который из-за высокой точки плавления не расплавится и останется в шве инородным телом. Поэтому при применении простых аппаратов, не имеющих устройств для бесконтактного зажигания, зажигание производится за пределами шва на заходной планке или на лежащем рядом медном листе.

Существуют разные способы выполнить зажигание без повреждения электрода. При зажигании импульсами высокого напряжения, которое иногда еще называют высокочастотным зажиганием, между электродом и изделием прикладывается переменное напряжение величиной в несколько тысяч вольт (например, 6-8 кВ). С пульта управления горелки можно задать, чтобы очень короткие импульсы напряжения (например, 0,5-1 мкс) в форме искрового промежутка переходили от электрода к

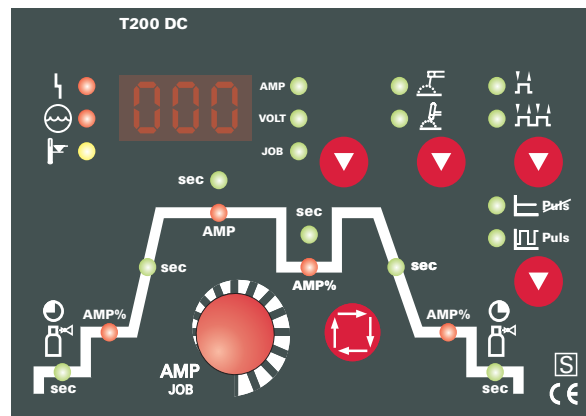


Рис. 10 Устройство управления инверторного источника тока EWM для сварки ВИГ TRITON 220 DC PowerSinus

изделию с частотой 100 Гц при сварке постоянным током, при переменном токе – с частотой 50 Гц, а при использовании современных аппаратов – с настроенной частотой сварочного тока. Искровой промежуток можно слышать и видеть. Он ионизирует молекулы газа в пространстве между электродом и изделием, и при приближении конца электрода на несколько миллиметров к месту зажигания дуга бесконтактно зажигается. Эмпирическое правило гласит, что зажигание возможно на расстоянии в 1 мм на каждые 1000 В напряжения зажигания. Во избежание неумышленного контакта между электродом и изделием лучше всего установить горелку наискось на край газового сопла, как показано на Рис. 13, и, выравнивая горелку, приближать конец электрода, пока не загорится дуга.

Только после этого газовое сопло снимается с изделия и принимается нормальное положение горелки. При сварке с синусоидальным переменным током, чтобы снова зажечь дугу после прохождения тока и напряжения через нуль, нужно воспользоваться приспособлением

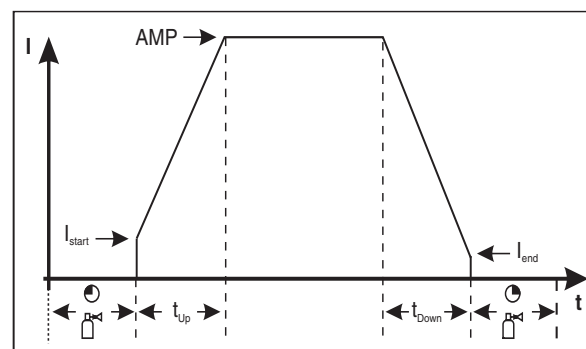


Рис. 11 Циклограмма в начале и конце сварки

для зажигания.

Второй возможностью является так называемое зажигание "Lift-Arc". Это контактное зажигание, при котором не повреждается электрод, поскольку при контакте протекает очень низкий ток. Только когда после подъема электрода зажигается слабая дуга, подключается настроенный в устройстве управления сварочный ток.

К другим функциям устройства управления относятся переключение из нормального режима в импульсный режим и, в случае необходимости, на другой метод сварки, при этом, при необходимости, можно также изменить характеристику.

5.2 Источники тока

Источник тока преобразует сетевой переменный ток с высоким напряжением и низкой силой тока в сварочный ток с высокой силой тока и низким напряжением и, при необходимости, выпрямляет ток. Для сварки ВИГ используется как переменный, так и постоянный ток.

Наиболее простым и дешевым источником сварочного тока является сварочный трансформатор. Он состоит из первичной катушки с множеством тонких намоток и вторичной катушки с несколькими толстыми намотками. Сетевой ток повышает или понижает сетевое напряжение в зависимости от числа намоток этих катушек. Сварочный трансформатор обычно имеет спадающую статическую характеристику. Различная сила сварочного тока настраивается при помощи регулировки магнитным шунтом, трансдуктора или отвода в первичной обмотке.

Сварочный выпрямитель состоит из трансформатора с присоединенным выпрямительным агрегатом, Рис. 12.

В качестве выпрямителя сегодня используются кремниевые диоды или тиристоры. Переменный ток, предварительно

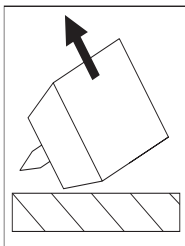


Рис. 13 Зажигание импульсами высокого

преобразованный трансформатором на необходимую силу тока и напряжение, преобразуется ими в постоянный ток. В простейших сварочных выпрямителях используется однофазное подключение (двухполупериодная схема). Они дают сварочный ток с достаточным коэффициентом пульсации. Улучшение выравнивания тока достигается при преобразовании и выпрямлении всех 3 фаз переменного тока (шестиимпульсная мостовая схема). Простые выпрямители предлагаются также в качестве так называемых комбинированных устройств, которые могут переключаться на подачу постоянного или переменного сварочного тока. Сварочные выпрямители для сварки ВИГ имеют спадающую статическую характеристику. Ее можно настроить при помощи регулировки магнитным шунтом, трансдуктора или отвода в первичной обмотке в цепи переменного тока или импульсно-фазовым регулятором тиристора.

Современные аппараты для сварки ВИГ (Рис. 15) в качестве источника тока оснащены инвертором.

Инвертор является электрическим источником тока, который работает по совершенно другому принципу действия, чем традиционные источники тока (Рис. 16).

Ток, идущий из сети, сначала выпрямляется, в процессе чего он становится преобразуемым, после этого путем включения и выключения он разделяется на короткие участки. Этот процесс называется тактированием. Процесс возможен благодаря быстро реагирующим электронным выключателям, транзисторам. Первые транзисторные инверторы работали с тактовой частотой 25 кГц. Сегодня существует возможность применять усовершенствованные транзисторы с тактовой частотой 100 кГц и выше.

После «прерывания» (тактового импульса) тока он преобразуется на необходимую высокую

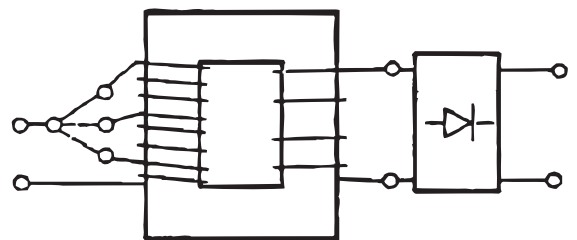


Рис. 12 Принципиальная схема сварочного



Рис. 15 TRITON 220 DC, сварочный инверторный аппарат для сварки ВИГ

силу тока и низкое напряжение. После трансформатора возникает прямоугольный переменный ток, который после этого еще раз выпрямляется. Благодаря высокой тактовой частоте масса трансформатора может быть очень маленькой. Она зависит непосредственно от частоты преобразуемого тока. Поэтому есть возможность изготавливать источники тока небольшой массы. Современные аппараты для сварки ВИГ с напряжением 260 А/20,4 В весят всего 24,5 кг – Рис. 14.

Предыдущее касалось силового блока источников тока.

У электронных источников тока многие функции, для выполнения которых традиционные источники тока требуют такие компоненты, как резисторы, дроссели и конденсаторы, выполняются при помощи электронного устройства управления. Поэтому устройство управления источником тока так же важно, как и его силовой блок. Регулировка тока, например, у импульсных источников происходит путем изменения отношения между временем включения и выключения тока. Для изменения силы тока можно также использовать изменение тактовой частоты. Для производства импульсного тока устройством управления циклично изменяется отношение времени включения/выключения. Подобным образом осуществляется нарастание / спад тока.

Благодаря современной технике стало возможным использование регулируемых источников тока, так необходимых для

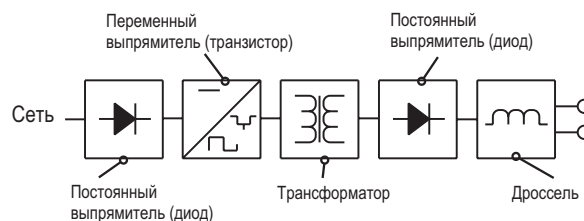


Рис. 16 Блок-схема инвертора 3-го поколения, тактовая частота до 100 кГц

сварочных процессов. Контрольный прибор измеряет сварочный ток и сварочное напряжение и сравнивает с установленными значениями. Если установленные параметры сварки изменяются, например, из-за нежелательного сопротивления в сварочной цепи, то устройство управления выполняет соответствующую регулировку. Это происходит очень быстро, в μ s-диапазоне. Подобным образом можно ограничить короткое замыкание и повысить cos ϕ . Повышение КПД и снижение потери при холостом ходе инверторных источников тока происходит уже благодаря уменьшению массы трансформатора.

Источники сварочного тока могут иметь следующие характеристики: горизонтальную (стабильного напряжения), слегка спадающую или вертикально спадающую в рабочей зоне (стабильного тока) – Рис. 17.



Рис. 14 TRITON 260 DC, сварочный инверторный аппарат для сварки ВИГ

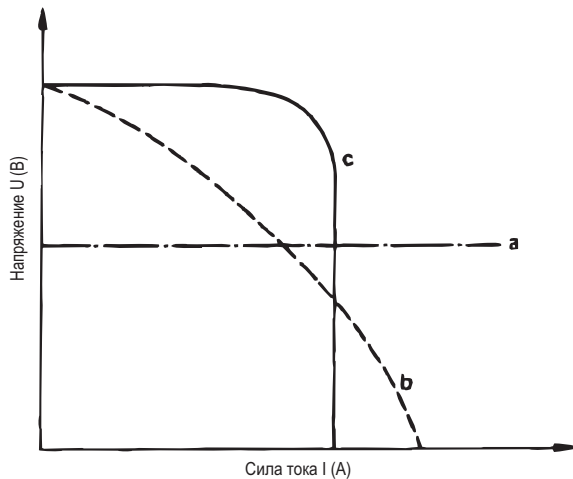


Рис. 17 Статические характеристики источников сварочного тока

У многих современных источников тока легко изменяется характеристическая кривая, благодаря чему они могут использоваться во многих процессах (мультипроцессорные аппараты). Инверторные источники тока для сварки ВИГ имеют характеристику стабильного тока (Рис. 17,с), то есть в рабочей зоне статическая характеристика вертикально спадает. Это означает, что при изменении длины дуги, чего не всегда удается избежать при ручной сварке, изменяется только напряжение, а не сила тока. Благодаря этому обеспечивается достаточный провар и постоянная мощность плавления. Такие же характеристики можно применить и к ручной дуговой сварке. Если источник тока используется для сварки МИГ/МАГ, то при переключении на этот процесс настраивается характеристика стабильного напряжения (Рис. 17 ,а).

Многие инверторные источники являются программируемыми, что необходимо при механизированной сварке, например, орбитальной сварке ВИГ или при использовании роботов.

6 Выполнение сварки

Сварщик, выполняющий сварку ВИГ, кроме теоретических знаний, должен иметь также практические навыки. Их можно получить на курсах по сварке, которые, к примеру, организывает *Schweißen und verwandte Verfahren e.V.* (Немецкий союз по сварочным и близким к ним процессам) в собственных помещениях и учебных заведениях.

6.1 Выбор присадки для сварки

Присадка для сварки ВИГ имеет форму прутка, а при полностью механизированной сварке вводится в виде проволоки механизмом подачи.

Как правило, выбирается родственная основному материалу присадка для сварки. Но иногда в металлургии необходимо, чтобы присадка по некоторым легирующим элементам слегка отличалась от основного материала. Это касается, например, углерода, содержание которого в целях трещиностойкости должно быть как можно меньше. В таких случаях говорят об уподобленных основному материалу присадках. Бывают также случаи, когда необходимы чужеродные основному материалу присадки. Например, при сварке трудносвариваемых углеродистых сталей, где применяются аустенитные присадки, а иногда даже никелевые сплавы.

Диаметр присадки для сварки зависит от сварочного задания. Он определяется толщиной материала, а также диаметром вольфрамового электрода, Таблица 3 содержит диаметры электродов, газовых сопел, присадочных прутков, соответствующих разной толщине листа.

Длина сварочного прутка, как правило, составляет 1000 мм. Сварочные прутки поставляются в связках и для того, чтобы избежать путаницы, на каждом из них должны быть либо характеристика согласно DIN, либо торговое обозначение.

6.2 Настройка расхода защитного газа

Расход защитного газа настраивается как объемный расход в л/мин. Он определяется размером сварочной ванны, а значит диаметром электрода, диаметром газового сопла, расстоянием от сопла до поверхности основного материала, окружающим воздушным потоком и видом защитного газа – см. раздел «Защитные газы». Эмпирическое правило гласит, что при использовании в качестве защитного газа аргона и наиболее частых диаметрах вольфрамовых электродов от 1 до 4 мм необходимо подавать 5-10 л защитного газа в минуту.

Измерение расхода производится косвенным методом при помощи манометра, который измеряет давление перед встроенным соплом.

Шкала манометра проградуирована непосредственно в л/мин. Более точными являются измерительные приборы, которые измеряют расход посредством стеклянной трубки и поплавкового указателя непосредственно в текущем в горелку газовом потоке –Рис. 18.

6.3 Очистка поверхности изделия

Для хорошего результата сварки важно перед началом сварки основательно очистить бока кромок и поверхность изделия в области применения сварки. Поверхности должны быть отполированы и свободны от жира, грязи и краски. Также по возможности необходимо удалить слой окалины. Для этого часто достаточно обработать поверхность щеткой. В тех местах, где этого не достаточно, необходимо отшлифовать или механически обработать поверхность. Для коррозионностойких материалов можно применять только щетки из нержавеющей стали, иначе может возникнуть налет ржавчины от стальных частичек, попадающих на поверхность. Для алюминия из-за возникновения пор особенно важно, чтобы на поверхности не осталось толстых оксидных пленок. Об этом пойдет речь далее. Для очистки и обезжиривания применяются соответствующие растворители. Внимание! При применении хлоросодержащих растворителей существует опасность образования ядовитых паров.

6.4 Зажигание электрической дуги

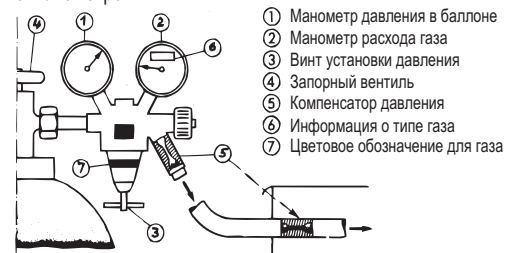
Толщина листа [мм]	Диаметр вольфрамового электрода [мм]	Размер газового сопла №	Диаметр присадочного прутка материала [мм]
1	1,0	4	1,6
2	1,6	от 4 до 6	2,0
3	1,6	6	2,5
4	2,5	от 6 до 8	3,0
5	от 2,5 до 3,0	от 6 до 8	3,2
6	3,2	8	4,0
8	4,0	от 8 до 10	4,0

Таблица 3 Диаметр вольфрамового электрода, размер газового сопла и диаметр присадочного прутка при различной толщине листа

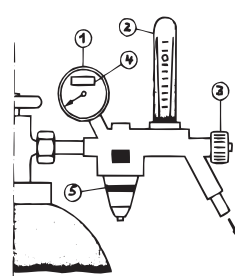
Электрическая дуга никогда не должна загораться за пределами стыка на основном материале, она должна загораться так, чтобы место загорания непосредственно вслед за этим снова расплавлялось при сварке. В начале сварки раскаленный основной материал очень быстро охлаждается в месте загорания за счет большой массы холодного материала. Последствиями такого скорого охлаждения могут стать затвердения, возможно с трещинами, и поры. Быстрого охлаждения можно избежать, если загорание производится непосредственно в начале сварочного шва и все дефекты, которые могут возникнуть, сразу же снова расплавляются.

Контактное загорание должно применяться только в качестве исключения, если применяемый старый сварочный аппарат не имеет приспособления для загорания (загорание импульсами высокого напряжения) – см. также раздел 5.1 Устройство управления. В этом случае загорание происходит на медной пластинке, вложенной встык рядом с началом сварочного шва. От нее дуга тянется к началу шва, и начинается сварка. При контактном загорании непосредственно на основном материале в металл шва может попасть вольфрам, который не плавится из-за высокой точки плавления. При просвечивании из-за высокого поглощения рентгеновских лучей его можно распознать как белое место.

С манометром



- ① Манометр давления в баллоне
- ② Манометр расхода газа
- ③ Винт установки давления
- ④ Запорный вентиль
- ⑤ Компенсатор давления
- ⑥ Информация о типе газа
- ⑦ Цветовое обозначение для газа



- ① Манометр давления в баллоне
- ② Измерительная трубка с плавающим шариком
- ③ Винт установки давления
- ④ Информация о типе газа
- ⑤ Цветовое обозначение для газа

Рис. 18 Измерение расхода защитного газа

6.5 Ведение горелки

При сварке ВИГ применяется «сваривание налево», Рис. 19. Однако это определение является точным только тогда, когда сварщик ведет горелку правой рукой, а присадочный материал левой рукой, как это принято у правой и если смотреть на положение с позиции сварщика. Более точно определяется направление сварки, когда говорят, что сварочный пруток ведется горелкой.

Это относится ко всем положениям, если только это не сварка вертикального шва сверху вниз. Иногда при сварочных заданиях из-за высокой мощности плавления применяют сварку направо.

Горелка устанавливается под углом 20° к вертикали в направлении сварки, сварочный пруток при этом подводится спереди практически горизонтально, под углом 15° к поверхности изделия.

Вначале дуга плавит сварочную ванну. Потом в ней под дугой плавится сварочный пруток, причем сварщик выполняет прутком касательные движения вперед и назад. При этом пруток при сварке подвигают не слишком далеко под дугу, иначе снизится провар в основном материале. Это полезно и при сварочных заданиях, когда необходимо как можно меньшее перемешивание.

При соединительной сварке конец стержня должен оплавиться в переднем крае сварочной ванны. При этом сварщик должен следить за тем, чтобы расплав при касательных движениях не вышел из среды защитного газа. Последствием может стать окисление прутка и попадание оксида в сварочную ванну.

Как правило, сварку выполняют небольшими качательными движениями. Тогда меньше всего повреждается среда защитного газа. В

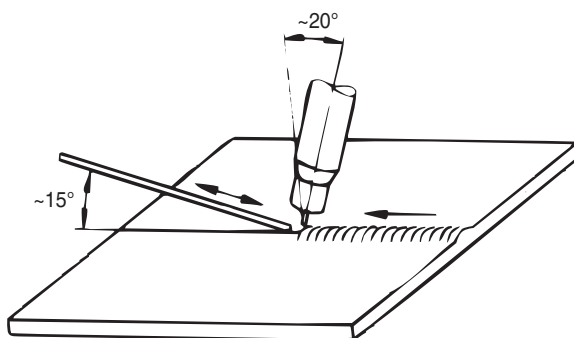


Рис. 19 Размещение горелки и присадочного прутка

[1]

позиции РГ (вертикально вверх) нужно выполнять небольшие качательные движения горелки и сварочного стержня. То же самое относится к прослойкам в толщине, которые нельзя больше наполнить одним наплавленным валиком, и которые слишком малы для двух валиков.

6.6 Эффект магнитного выдувания дуги

Под эффектом выдувания дуги понимают явление, когда при отклонении дуги от центральной оси она удлиняется и шипит. При таком отклонении могут образоваться дефекты. Так, провар может стать недостаточным, и при сварочных процессах с образованием шлака в шве могут появиться шлаковые включения.

Отклонение происходит из-за сил, вызываемых окружающим магнитным полем. Как и каждый проводник с током, электрод и электрическую дугу окружает кольцеобразное магнитное поле. Оно отклоняется в области дуги при переходе в основное вещество. Из-за этого силовые линии магнитного поля на внутренней стороне сжимаются, а на внешней стороне расширяются – (Рис. 20а).

Электрическая дуга отклоняется в область пониженной плотности магнитных силовых линий. При этом она удлиняется, и из-за повышенного напряжения дуги получается шипящий звук. Противоположный полюс, таким образом, оказывает отталкивающее действие на дугу.

Воздействие другой силы сдвига проявляется потому, что магнитное поле лучше распространяется в ферромагнитном материале, чем в воздухе. Поэтому дуга притягивается большими массами металла.

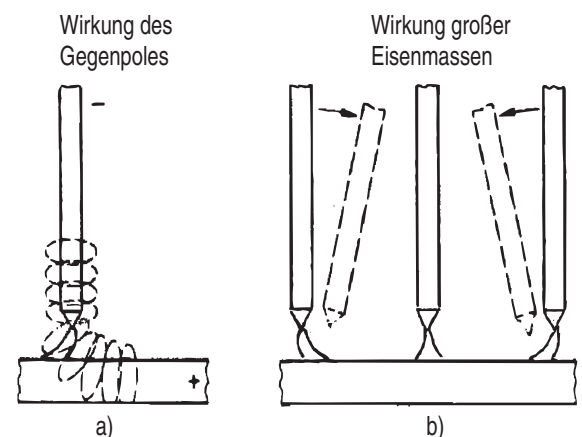


Рис. 20 Эффект магнитного выдувание дуги

Это проявляется, например, в том, что дуга при сварке на намагничивающемся материале на концах листа сворачивается вовнутрь.

Отклонение дуги можно устранить установкой электрода под углом – (Рис. 20b). Поскольку эффект выдувания дуги особенно высок при сварке постоянным током, то необходимо, где это возможно, заменять его переменным током или, как минимум, понижать.

Особенно сильным эффект выдувания дуги может быть при сварке корня шва из-за окружающей массы металла. Помочь здесь могут тесно расположенные рядом не слишком короткие прихватки, поддерживающие магнитный поток.

6.7 Положения сварного шва

Согласно ISO 6947, положения сварного шва обозначаются PA – PG. Они располагаются, если смотреть на трубу сверху (PA), по часовой стрелке в алфавитном порядке – Рис.21.

Позиция PA соответствует той, которую раньше в Германии обозначали горизонтальным положением или положением «в лодочку». Далее следует положение стыкового шва PC (горизонтальный на вертикальной стене) и PE (потолочный шов), а также позиции таврового сварного шва PB (горизонтальный) и PD (горизонтальный/потолочный). При сварке листов PF означает, что шов сваривается вертикально снизу вверх, а PG – вертикально сверху вниз. На трубе собрано множество позиций. Позиция PF действует, если труба сваривается в потолочном положении без вращения в обе стороны снизу вверх, позиция

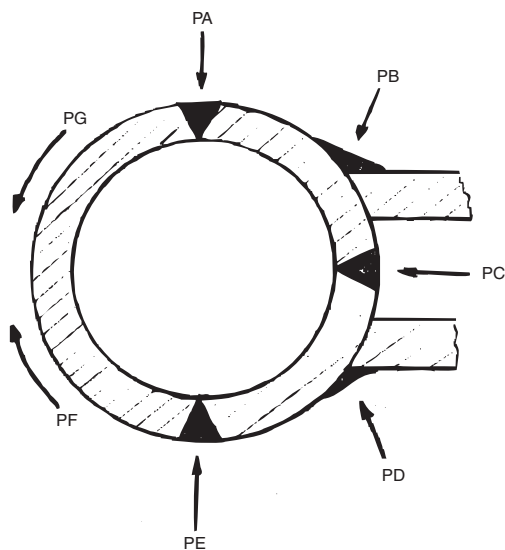


Рис.21 Положения сварных швов согласно ISO 6947

PG действует соответственно тогда, когда шов сваривается вертикально сверху вниз. ВИГ сварку можно выполнить во всех положениях. При этом параметры режима сварки должны соответствовать параметрам других методов сварки в данном положении.

6.8 Параметры сварки

Нижние границы применения сварки ВИГ для стали – 0,3 мм, для алюминия и меди – 0,5 мм. Верхние границы сварки ограничены экономической целесообразностью. Мощность плавления процесса не очень высокая. Поэтому сваркой ВИГ часто заваривается только корень шва, а во всех остальных случаях применяют другие методы (E, МАГ), имеющие более высокую мощность.

При выборе параметров сварки нужно помнить, что на сварочном аппарате настраивается только сила тока, а напряжение дуги определяется длиной дуги, которую соблюдает сварщик. При этом напряжение растет с увеличением длины дуги. За ориентировочное значение для сварки проплавлением постоянным током (отрицательный полюс) берут достаточную для проплавления силу тока: 45 А на 1 мм толщины стенки. При сварке алюминия переменным током необходимо иметь 40 А/мм.

Подходящими параметрами сварки стыкового шва на различных материалах могут быть от Таблица 4 до Таблица 8 .

Толщина листа [мм]	Форма кромки	Число положений	Диаметр вольфрамового электрода [мм]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
1,0	I	1	1,0	45	32
2,0	I	1	1,6	100	30
3,0	I	1	1,6	125	30
4,0	I	2	2,4	170	25
5,0	I	2	3,2	225	22
6,0	V	2	4,0	300	20

Таблица 4 Ориентировочные значения сварки ВИГ высоколегированной стали
Вид тока: Постоянный ток («-» полюс) – Поз. РА – Защитный газ: Аргон [1]

Толщина листа [мм]	Форма кромки	Число положений	Диаметр вольфрамового электрода [мм]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
4,0	I	2	2,0	90	24
6,0	I	2	2,4	110	20
8,0	I	2	2,4	120	18
10,0	DV	2	2,4	120	16
12,0	DV	2	3,2	140	15

Таблица 5 Ориентировочные значения для сварки ВИГ алюминия, вид тока: Переменный ток – Поз. PF – Защитный газ: Аргон [3]

Материал	Толщина листа [мм]	Форма кромки	Число положений	Диаметр вольфрамового электрода [мм]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
Чистый никель	1,0	I	1	1,0	65	13
	1,5	I	1	1,6	90	12
	3,0	I	1	2,4	140	10
	5,0	V	3	2,4	145	12
	10,0	V	8	2,4	150	12
Медь	1,5	I	1	1,6	130	28
	3,0	I	1	3,2	200	25
	5,0	I	2	4,0	270	15

Таблица 6 Ориентировочные значения для сварки ВИГ никеля и меди, вид тока: Постоянный ток («-» полюс) – Поз. РА – Защитный газ: Аргон [3], [1]

Толщина листа [мм]	Форма кромки	Число положений	Диаметр вольфрамового электрода [мм]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
1,0	I	1	1,0	60	32
2,0	I	1	1,6	110	30
3,0	I	1	1,6	140	30
4,0	I	2	2,4	190	25
5,0	I	2	3,2	250	22
6,0	V	2	4,0	350	20

Таблица 7 Ориентировочные значения для сварки ВИГ нелегированной и низколегированной стали
Вид тока: Постоянный ток («-» полюс) – Поз. РА – Защитный газ: Аргон [1]

Толщина листа [мм]	Форма кромки	Число положений	Диаметр вольфрамового электрода [мм]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин.]
1,0	I	1	1,6	75	26
2,0	I	1	2,0	90	21
3,0	I	1	2,4	125	17
4,0	I	1	3,2	160	15
5,0	V	2	3,2	165	от 14 до 17
6,0	V	2	4,0	185	от 10 до 15

Таблица 8 Ориентировочные значения для сварки ВИГ алюминия, вид тока: Переменный ток – Поз. РА – Защитный газ: Аргон [3]

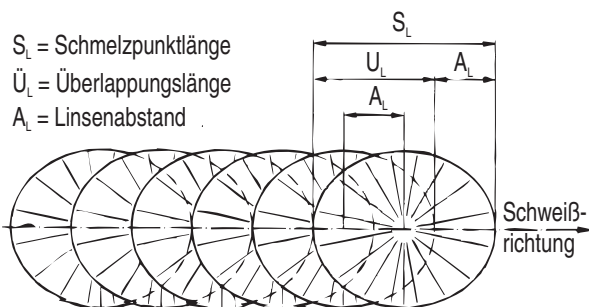


Рис. 24 Структура сварного шва, состоящего из отдельных сварных точек [2]

6.9 Сварка импульсами тока

При сварке импульсным током сила тока и напряжение изменяются в ритме частоты импульсов между нижним и верхним значениями импульса – Рис. 22.

Современные инверторные источники позволяют настроить импульсную частоту в диапазоне от 0,5 до 300 Гц. Специальные источники имеют частоту в кГц диапазоне.

В высоком частотном диапазоне реализуются такие эффекты, как уменьшение размера зерен в металле шва и сужение дуги, в низком диапазоне частот из-за лучшего управления сварочной ванной при сварке в неудобных положениях прежде всего выбирается позиция РF. Это происходит следующим образом (Рис. 24):

Под влиянием высокого импульсного тока происходит провар основного материала и образуется точечная сварочная ванна. Она начинает затвердевать под действием

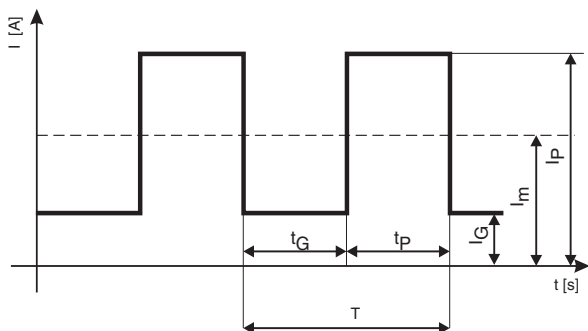


Рис. 22 Временная зависимость сварочного тока при импульсной сварке

- I_G : Главный ток
- I_m : Средний ток
- I_p : Импульсный ток
- t_G : Период главного тока
- t_p : Период импульсного тока
- T : 1 период = $1/f$
- f : частота тока в сети

следующего низкого главного тока, начиная от края, пока следующий импульс тока снова не расплавит и не увеличит е. Между тем дуга уже перешла на скорость сварки, и поэтому сварной шов при импульсной сварке ВИГ образуется из многих соединенных внахлестку сварочных точек. Диаметр сварочной ванны в среднем меньше, чем при сварке равномерным током, что позволяет лучше сваривать в неудобных положениях. Несмотря на это обеспечивается достаточный провар. Описанный эффект наступает только тогда, когда наступает достаточная разность температур в сварочной ванне между фазами главного и импульсного тока. Это возможно только при импульсной частоте чуть ниже 5 Гц.

К недостаткам можно отнести то, что скорость сварки при импульсной сварке необходимо значительно снизить. Сварщик также различает пульсацию в низком частотном диапазоне частот как раздражающее мерцание дуги. Поэтому этот вариант сварки ВИГ меньше используется при ручной сварке, где сварщик имеет другие возможности для контроля сварочной ванны, в отличие от механизированной сварки ВИГ.

6.10 Возможности механизирования процесса сварки

Метод ручной сварки ВИГ (Рис. 23) можно механизировать довольно простыми средствами. В этом есть необходимость при



Рис. 23 TIG 230 DC, сварка ВИГ в пищевой промышленности

сварке листов длинными продольными швами или частой сварке кольцевых швов на трубообразных изделиях.

При сварке продольными швами горелка прифланцовывается к простому ходовому механизму, с которым она передвигается по свариваемому стыку. Если в геометрии кромки встречаются дефекты, то рекомендуется использовать подкладку.

При сварке кольцевых швов горелка стационарно подвешивается, а изделие двигается во вращателе под горелкой.

При сварке ВИГ сложных изделий применяются сварочные роботы.

Во всех случаях, когда необходим присадочный материал, он подается к дуге в виде проволоки устройством подачи.

6.11 Техника безопасности

Сварка ВИГ является очень чистым процессом. Практически не возникает вредных газов и дыма, поэтому действующие инструкции по технике безопасности не требуют их отвода непосредственно в месте возникновения. Достаточно свободного проветривания или технической вентиляции помещения. Но сварщик должен обезопасить себя от излучения дуги и опасности поражения электрическим током.

Для защиты от инфракрасного и ультрафиолетового излучения сварщик ВИГ обычно одевает на голову маску сварщика, Рис. 23, которая освобождает обе его руки для управления горелкой и внесения присадочного материала. В маску сварщика встроен специальный защитный фильтр. Эти фильтры недавно были стандартизированы в стандарте DIN EN 169. Есть разные степени защиты, которые должны быть надежно нанесены на стекло. При сварке ВИГ в зависимости от применяемой силы тока используются фильтры со степенью защиты от 9 до 14, причем 9-я степень относится к сварке с низкой силой тока, а 14-я – с высокой.

Наибольшую электрическую опасность представляет напряжение холостого хода. Это самое высокое напряжение, которое возникает на включенном источнике тока между соединительными муфтами, если не загорается электрическая дуга. После зажигания дуги напряжение значительно падает, при сварке ВИГ до 12-20 В. Согласно правилам техники

безопасности UVV VBG 15 пиковое напряжение холостого хода источников постоянного тока при нормальной эксплуатации должно быть макс. 113 В. У аппаратов, работающих на переменном токе, это значение тоже равняется 113 В, но действующее значение не должно превышать 80 В. При повышенной электрической опасности, например, при сварке в узких местах или на больших металлических массах, для переменного тока действуют сниженные значения, например, пиковое значение 66 В и действующее значение 48 В. Новые источники сварочного тока, которые отвечают данному требованию, согласно DIN EN 60974-1 имеют знак «S». Старые источники тока обозначаются символами «K» (постоянный ток) или «42 В» (переменный ток). От поражения электрическим током сварщика лучше всего защищают кожаные сварочные перчатки без повреждений и хорошо изолированная рабочая одежда, включая обувь.

7 Особенности различных материалов

Как уже говорилось, метод сварки ВИГ подходит для сваривания самых разных материалов. При этом одни материалы свариваются постоянным током, другие - переменным. В Таблица 9 указано, какие

Материал	Постоянный ток		Переменный ток
	Электрод – Плюс	Электрод «+» минус	
Углеродистая сталь	XX	-	-
Нержавеющая сталь	XX	-	-
Алюминий, сплавы алюминия	-	X ¹⁾	XX
Магний, сплавы магния	-	X ¹⁾	XX
Медь	XX	-	-
Алюминиевая бронза	X	-	XX
Кремнистая бронза	XX	-	-
Латунь	X	-	XX
Никель, сплавы никеля	XX	-	X
Титан	XX	-	-

Таблица 9 Подходящий для различных материалов вид тока Защитный газ: чистый аргон

¹⁾ только для тонких материалов

XX = наилучшие результаты,

X = пригодный,

- = не рекомендуется

материалы лучше сваривать постоянным током, а какие - переменным.

Далее описываются особенности различных материалов.

7.1 Нелегированная и низколегированная сталь

Эти стали можно соединять всеми методами сварки плавлением. При выборе метода сварки чаще руководствуются экономическими соображениями, чем качеством. Поэтому сварка ВИГ, отличающаяся низкой мощностью, не часто применяется для сварки этих сталей. Исключением является сварка корня шва. При толщине стенки более 6 мм сваркой ВИГ заваривается только корень шва, а остальные операции выполняются методами сварки большей мощности. Вторым исключением является сварка трубопроводов малых диаметров. Для таких случаев нет ничего лучшего, чем сварка ВИГ.

Особенность состоит в том, что может начаться порообразование, например, в нелегированной трубной стали (например, P235), которая содержит мало кремния, а также при приваривании таких труб к основанию котла. Порообразование может начаться у сталей глубокой вытяжки, успокоенных только алюминием, если сварка выполняется с малым количеством присадочного материала. Из-за поглощения кислорода из атмосферы, чего нельзя полностью избежать даже при сварке в среде защитного газа, металл шва становится беспокойным, и из-за образования монооксида углерода в металле шва могут образоваться поры. Для устранения порообразования вносят как можно больше кремний-магниевого присадочного материала, благодаря чему кислород соединяется без вреда для шва.

7.2 Аустенитные хромоникелевые стали

Этот материал особенно хорошо подходит для сварки ВИГ, поскольку благодаря хорошей вязкости металла шва образуются хорошо подогнанные гладкие верхние валики шва и плоская нижняя сторона корня шва.

В результате относительно небольшой скорости сварки ВИГ и низкой теплопроводности хромоникелевых сталей при малой толщине стенки легко достигается перегрев. Из-за этого могут образоваться горячие трещины, которые снижают коррозионную стойкость. Перегрева при

необходимости можно избежать, если использовать перерывы на охлаждение или охлаждение самого изделия. Охлаждение будет также способствовать уменьшению коробления, которое из-за высокого коэффициента расширения у хромоникелевых сталей больше, чем у нелегированных сталей.

У конструкций, подвергающихся впоследствии коррозионному воздействию, после сварки с поверхности шва и с обоих краев основного материала необходимо при помощи щетки, излучения, шлифовки или легкого травления удалить оставшуюся оксидную пленку и побежалость. Только после этого конструкции пригодны к дальнейшей эксплуатации. В противном случае оксидные пленки приведут к сильному коррозионному разрушению. Это также относится к сварке труб, где необходимо очистить обе стороны корня шва. Поскольку механическую обработку произвести очень трудно, то рекомендуется предотвращать окисление при помощи формовки – см. раздел 3.4 Формовка.

7.3 Алюминий и алюминиевые сплавы

Для сварки материалов из алюминия, за исключением случаев, описанных ниже, применяется переменный ток. Это необходимо для устранения на расплаве тугоплавкой оксидной пленки. Точка плавления оксида

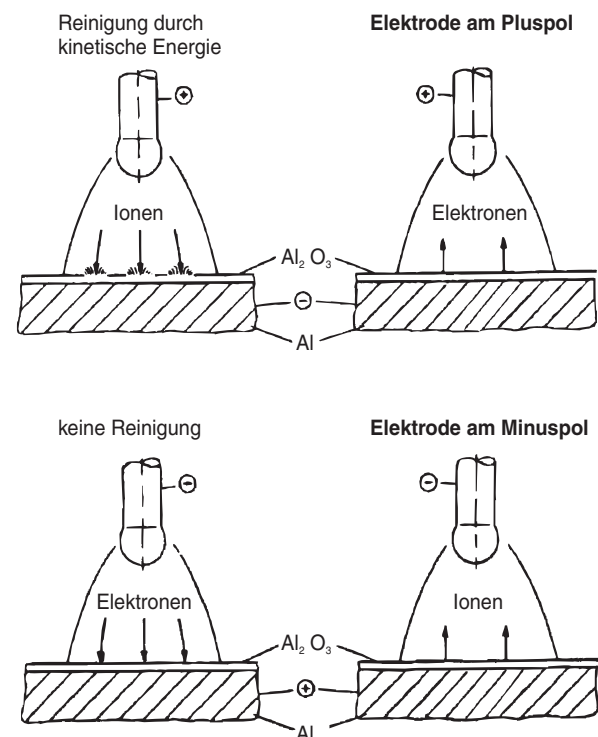


Рис. 25 Иллюстрация очищающего эффекта

алюминия (Al_2O_3) составляет около 2050 °С. При этом основной материал, например, чистый алюминий, плавится уже при температуре 650 °С. Алюминий имеет такое большое химическое сродство с кислородом, что, если поверхность основного материала перед сваркой очистить щеткой или скребком от окиси, то на поверхности расплава очень скоро вновь образуется оксидная пленка. Эта пленка из-за высокой точки плавления лишь частично расплавляется под электрической дугой. Таким образом, если бы сварка осуществлялась постоянным током (отрицательный полюс), то большая часть поверхности покрывалась бы прочным слоем оксида алюминия. Это делает невозможным наблюдение за расплавом и затрудняет внесение присадочного материала. Конечно, оксидный слой можно было бы устранить путем использования флюсующих добавок, как это происходит при пайке, но это означало бы и дополнительные расходы.

При сварке переменным током открывается возможность разрушить и устранить оксидный слой при помощи носителей заряда в электрической дуге. Для этого подходят только ионы, поскольку электроны из-за своей малой массы не обладают достаточной для такого процесса кинетической энергией. На Рис. 25 показан поток носителей заряда в электрической дуге.

Когда отрицательный полюс находится на электроде, электроны перемещаются от электрода к изделию, а остаточные ионы от изделия к электроду. При такой полярности невозможен очищающий эффект. При обратной полярности более тяжелые ионы попадают на поверхность изделия. За счет своей кинетической энергии они могут разрушить и устранить оксидный слой.

Если бы сварка выполнялась на горячем положительном полюсе, то у электрода была бы очень низкая токозагрузочная способность. Поэтому данный вариант сварки ВИГ применим только для сварки очень тонких алюминиевых конструкций (с толщиной стенки до 2,5 мм). Компромиссное решение предлагает переменный ток. Когда на электроде находится позитивная полуволна, возникает очищающий эффект. Следующая за ней негативная полуволна снова охлаждает электрод. Поэтому

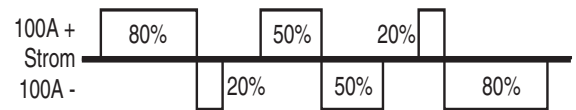


Рис. 26 Варианты настройки баланса полуволн при прямоугольном переменном токе

говорят об очищающей и охлаждающей полуволнах. Токозагрузочная способность при сварке переменным током меньше, чем при сварке постоянным током на отрицательном полюсе. Но она значительно выше, чем при сварке на положительном полюсе – см. также Таблица 1. Это показывает, что для достаточного очищающего эффекта совсем не нужно целой позитивной полуволны, а достаточно 20 или 30%. Именно это используется в современных источниках тока для сварки ВИГ. Они производят искусственный прямоугольный переменный ток, в котором с помощью быстро реагирующих выключателей (транзисторов) на электрод попеременно переключается положительный и отрицательный полюс источника постоянного тока. При этом баланс отношения обоих полуволн может изменяться, например, от 20 % положительной/80 % отрицательной до 80 % положительной/20 % отрицательной (Рис. 26).

Меньшая фаза положительного полюса обеспечивает более высокую токозагрузочную способность электрода, а при одинаковой установке тока – большую стойкость. В таких так называемых «прямоугольных источниках» может часто изменяться и частота искусственного переменного тока, например, от 50 до 300 Гц. Повышение частоты способствует сохранению электрода.

Прямоугольный искусственный переменный ток обладает и другими преимуществами. Поскольку ток при смене полярности имеет очень крутую характеристику, то время запаздывания дуги при прохождении через ноль значительно короче, чем при синусоидальной форме тока. Поэтому происходит более надежное зажигание, даже без использования приспособления для зажигания, а электрическая дуга в целом стабильнее. При этом повторные зажигания дуги сопровождаются сильным гудением. Современные источники тока для сварки ВИГ позволяют выполнять сварку постоянным током, а также синусоидальным и прямоугольным переменным током, Рис. 27.

В настоящее время также применяют вариант сварки ВИГ на отрицательном полюсе, при котором используется защитный газ с высоким содержанием гелия (например, 90 % He / 10 % Ar). При сварке на отрицательном полюсе, как уже было описано, оксидная пленка на поверхности не разрушается. Однако она расплавляется при высокой температуре мощной гелиевой дуги. Поэтому она лишь немного повреждается. Сварка ВИГ постоянным током на отрицательном полюсе в среде гелия благодаря лучшему провару применяется, в первую очередь, при ремонтных сварках литых деталей из алюминий-кремниевых сплавов.

Следующей особенностью сварки такого материала, как алюминий, является его чувствительность к порообразованию при поглощении водорода. Тут ситуация намного критичнее, чем при сварке стали. Тогда как сталь при переходе из жидкого в твердое состояние еще обладает способностью растворять в себе водород в объеме 8 см³ на 100 г металла шва, то алюминий в твердом состоянии практически не обладает такой способностью. Это значит, что весь водород, который поглощается при сварке, должен покинуть металл шва до того, как тот затвердеет. В противном случае в металле шва образуются поры.

Источниками водорода при сварке ВИГ алюминия, в первую очередь, могут быть оксидные пленки на основном материале. Они связывают влагу, и поэтому их надо удалить



Рис. 27 TRITON 220 AC/DC, инверторный сварочный аппарат для сварки ВИГ

перед сваркой щеткой или скребком. С другой стороны, дуга спокойнее, если на поверхности находится оксидная пленка, так как она легче испускает электроны, чем чистый металл. Поэтому необходимо найти компромисс между стабильной электрической дугой и достаточной стойкостью против порообразования. Более эффективным показал себя способ, когда перед сваркой поверхность изделия основательно очищается от окисей, но сварка выполняется только через час или два, когда образуется новый тонкий оксидный слой. Порообразованию способствуют также оксидная пленка на поверхности сварочного прутка. Поэтому присадочные материалы из алюминия необходимо хранить очень тщательно и не очень долго.

7.4 Медь и медные сплавы

Сварка меди усложняется, прежде всего, большой теплопроводностью меди. Поэтому при высокой толщине материала необходимо подогреть, как минимум, начало сварочного шва. Далее эффект подогрева развивается сварочным теплом, поэтому обширный прогрев необходим только при толщине стенки > 5 мм. Метод сварки ВИГ позволяет использовать для прогрева саму дугу, когда тепло вносится в начало сварочного шва вращательными движениями удлиненной дугой.

Чистая медь, а также многие ее сплавы свариваются постоянным током и электродом на отрицательном полюсе. Переменным током свариваются только некоторые сорта бронзы, такие как латунь и алюминиевая бронза.

7.5 Другие материалы

Кроме уже описанных материалов, для которых применяется сварка ВИГ, необходимо также отметить никель и его сплавы. Наиболее важными являются хромоникелевые сплавы (например, инконель) и медноникелевые сплавы (например, монель-металл). Сварка ВИГ может также применяться для титана и его сплавов. Для этих материалов лучше всего подходит постоянный ток с отрицательно поляризованным электродом. При сварке титана необходимо, чтобы в среде защитного газа находилась не только область сварочного шва, но и металл на значительном удалении от места сварки, а чтобы избежать цвета побежалости, необходимо подавать защитный газ и на обратную сторону шва. Иначе

материал станет хрупким из-за поглощения атмосферных газов.

8 Применения сварки ВИГ

Примеры использования сварки ВИГ показаны на Рис. 28 по Рис. 32. Методом сварки ВИГ соединяются преимущественно тонкостенные изделия, у толстых же материалов этим методом сваривается только корень шва, а сварка заполняющего и облицовочного слоев выполняется более эффективными методами. Поэтому согласно статистике лишь 2% от общего количества выполненных в Германии сварочных швов выполнены сваркой ВИГ. Такое состояние можно оценить, как неблагоприятное, так как оно одновременно свидетельствует о большом расходе присадочного материала. При сварке ВИГ обычно расходуется мало присадки для сварки. Поэтому реальная доля данного метода сварки должна быть выше, хотя она все равно не достигнет доли, приходящейся на ручную сварку электрической дугой, которая составляет около 7,5%. Несмотря на это сварка ВИГ является очень важным методом сварки. Ее преимущества уже были описаны выше в этой брошюре.

8.1 Отрасли производства

Сварка ВИГ применяется, в основном, в производстве котлов, резервуаров, приборостроении и строительстве трубопроводов, в авиационно-космической промышленности, а также при изготовлении продольно сварных труб из высококачественной стали.

Сварка ВИГ широко применяется также в инструментальном производстве, поскольку позволяет восстанавливать очень тонкие контуры, например, штампов и режущих инструментов.

8.2 Примеры применения

На Рис. 29 показано применение ручной сварки ВИГ в приборостроении.

На корпус из нержавеющей хромоникелевой стали (W.-Номер 1.4301) приваривается фланец. Используемый сварочный аппарат TRITON 160 DC обеспечивает до 160 А постоянного тока при продолжительности включения 50 %.



Рис. 28 Применение PICOTIG 160 HF

Пример сварки хромоникелевой стали в химической промышленности показан на Рис. 30

На трубопроводах из данного материала кольцевые швы выполняются сваркой ВИГ постоянным током. Здесь применяется более эффективный сварочный аппарат TRITON 260 DC с номинальным током 260 А. При этом метод сварки ВИГ выбран потому, что



Рис. 29 TRITON 160 DC, сварка ВИГ в аппаратостроении



Рис. 30 TRITON 260 DC, сварка ВИГ трубопроводов

требуется безупречное проплавление корня шва снаружи. При таких сварочных работах необходима формовка внутренней части трубы. Как уже упоминалось, особой областью применения сварки ВИГ является авиационно-космическая промышленность. На Рис. 31 показано применение данного процесса при ремонте смесительной камеры двигателя самолета.

Основным материалом здесь является высокожаропрочный и коррозионностойкий



Рис. 31 Сварка ВИГ при ремонте деталей силового агрегата



Рис. 32 Сварка ВИГ при приваривании труб к трубным решеткам

никелевый сплав.

На Рис. 32 показано, как трубы из жаропрочной стали привариваются к трубной решетке теплообменника. Здесь речь идет о ручной сварке.

Но очень часто такие сварочные работы механизуются. В этом случае горелка центрируется внутри трубы при помощи зажимной оправки. Она движется, как правило, начиная с позиции перед РА по круговой траектории вокруг трубы (орбитальная сварка). При этом также можно добавлять присадочный материал. Поскольку друг за другом проходятся все позиции – от горизонтальной до нисходящей, от потолочной до восходящей, то используемые для этого источники сварочного тока можно запрограммировать, чтобы параметры сварки каждой позиции оптимально согласовывались друг с другом. Такие орбитальные сварки ВИГ также применяются для стыковых швов на трубах. В таких случаях горелка движется в цанговом зажиме вокруг трубы.

9 Литература

[1] R. Killing: Handbuch der Schweißverfahren, Teil 1: Lichtbogenschweißen Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 76/I, DVS-Verlag GmbH Düsseldorf 1999

[2] R. Killing: Kompendium der Schweißtechnik Band 1: Verfahren der Schweißtechnik Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 128/I, DVS-Verlag GmbH Düsseldorf 1997

[3] G. Aichele: Leistungskennwerte für Schweißen und Schneiden Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 72, DVS-Verlag GmbH Düsseldorf 1994

10 Публикации

Справочное руководство по сварке ВИГ, издание 2, 2002 г.

Из сводного издания EWM «Вокруг сварки»

Все права защищены

Перепечатка, даже в виде выдержек, запрещена. Запрещается без письменного согласия фирмы EWM тиражировать и распространять брошюру, а также отдельные ее части в любой форме (фотокопия, микрофильм или иной способ).

© EWM HIGHTEC WELDING GmbH

Dr.-Günter-Henle-Str. 8

D-56271 Mündersbach

Тел.: +49(0)2680.181-121

Факс: +49(0)2680.181-161

<mailto:info@ewm.de>

<http://www.ewm.de>

Набор:

EWM HIGHTEC WELDING GmbH, Mündersbach

Печать:

Müller Digitaldruck GmbH, Montabaur

Мы предлагаем следующую информацию:

В серии справочной литературы «Вокруг сварки» можно найти пособия и разъяснительные плакаты по ручной сварке стержневыми электродами, сварке ВИГ, плазменной сварке и сварке МИГ/МАГ.



Кроме того, все эти сведения можно получить в Интернете по адресу. . .



www.ewm.de

Брошюры: изображения, темы, описание продуктов.



Специализированные статьи и другие материалы о высокопроизводительной сварке МАГ, плазменной сварке по алюминию или импульсной сварке ВИГ.



Продажа, консультации, обслуживание

EWM / HIGHTEC®
WELDING

SIMPLY MORE

EWM HIGHTEC WELDING GmbH

Dr.-Günter-Henle-Strasse 8 · D-56271 Mündersbach

Phone +49(0)26 80-18 10 · Fax +49(0)26 80-18 12 44

www.ewm.de · info@ewm.de