

**ESAB** ОБУЧЕНИЕ И ПОДГОТОВКА



**MIG/MAG-  
СВАРКА**



# Содержание

Введение.....	3	Сварочные материалы.....	12
		<i>Сплошная или порошковая проволока?.</i>	12
Краткое описание.....	4		
		Защитные газы.....	13
Принцип сварки.....	5		
<i>Сварочные параметры.....</i>	5-6	Охрана труда.....	14
<i>Что происходит в дуге?.....</i>	7	<i>Дымы и газы.....</i>	14
<i>Короткая дуга.....</i>	7	<i>Ультрафиолетовое излучение.....</i>	14-15
<i>Переходная дуга.....</i>	7	<i>Прочие факторы.....</i>	15
<i>Струйный перенос.....</i>	8		
<i>Короткий пульс .....</i>	8	Практические рекомендации для	
		MIG/MAG-сварки.....	16
Преимущества, ограничения и области		<i>Подготовка кромок.....</i>	16
применения.....	9	<i>Выбор присадочной проволоки и</i>	
		<i>защитного газа.....</i>	16
Оборудование.....	10-11	<i>Влияние параметров сварки.....</i>	16
<i>Источники питания.....</i>	10	<i>Подбор напряжения и скорости</i>	
<i>Подающие механизмы.....</i>	10	<i>подачи проволоки.....</i>	16-17
<i>Сварочные горелки и их шланг-</i>		<i>Угол наклона горелки.....</i>	18
<i>пакеты.....</i>	11	<i>Скорость сварки.....</i>	18
<i>Газовое оборудование.....</i>	11	<i>Расстояние от контактного</i>	
		<i>наконечника до изделия .....</i>	18

## Введение



Если проанализировать динамику изменений потребления сварочных материалов в мире для различных видов сварки, представленную диаграммой на следующей странице, то видно, что MIG/MAG-сварка показывает самый значительный прирост. Причиной такого роста являются высокая производительность данного процесса сварки, а также простота его автоматизации. Данный рост произошел за счет вытеснения процесса ручной дуговой сварки покрытым электродом, который до этого являлся наиболее широко применимым способом сварки. В настоящее время в Европе, Японии и США MIG/MAG является самым часто применяемым видом сварки.

MIG/MAG-сварка была разработана в 1940 году в США как способ сварки алюминия. В качестве защитного газа использовались аргон или гелий. Для сварки

сталей MIG/MAG-процесс не использовался до тех пор, пока не стало ясно, что в качестве защитного газа может использоваться чистая углекислота\*. Сварка выполнялась только в нижнем пространственном положении, при этом она давала изрядное количество брызг. Усовершенствование источников питания, а также переход на меньшие диаметры проволок и аргон-углекислотные сварочные смеси позволили значительно снизить количество образующихся брызг и выполнять сварку в различных пространственных положениях.

В промышленном производстве MIG/MAG-процесс начал применяться только с 60-х годов. Однако далее данный вид сварки стал активно развиваться и совершенствоваться в направлениях связанных с разработкой новых сварочных материалов, источников питания и защитных газов.

---

*\*разработано в 1952 г. совместно ЦНИИТМАШем и Институтом электросварки имени Е.О. Патона, авторы сварки в углекислом газе плавящимся электродом К.В. Любавский, К.М. Новожилов, Г.З. Волошкевич и др.).*

## Краткое описание

Популярность MIG/MAG-процесса с каждым годом неуклонно растет. На сегодняшний день это наиболее часто применяемый вид сварки в Западной Европе, США и Японии. Причиной тому послужили высокая производительность данного процесса и простота его автоматизации.

Принцип данного процесса сварки заключается в том, что в дугу непрерывно подается металлическая проволока, которая в ней плавится. В данном случае проволока выполняет функцию, как электрода, так и присадочного материала. Электрическая энергия, необходимая для горения дуги, подается от сварочного источника питания. Сварочная дуга и расплавленный металл от воздействия атмосферы защищаются газом, который может быть как инертным, так и активным. Их отличие в том, что инертный газ не вступает в реакцию с расплавленным металлом.

Например, аргон и гелий являются инертными газами. Активные же газы принимают участие в процессах, которые протекают в сварочной дуге и расплавленном металле. Аргон с добавками углекислого газа или кислорода является активным газом.

Для получения наилучших результатов, крайне важно, чтобы были правильно установлены все параметры сварки. К основным параметрам MIG/MAG-сварки относятся сварочное напряжение, скорость подачи проволоки и расход защитного газа.

При MIG/MAG, как и при других видах сварки, человек подвергается воздействию ряда неблагоприятных факторов, оказывающих отрицательное воздействие на его здоровье. Поэтому крайне важно уделять серьезное внимание средствам защиты сварщика, чтобы свести к минимуму их влияние. Основными вредными факторами, связанными с MIG/MAG-сваркой, являются выделяемые при данном процессе думы и

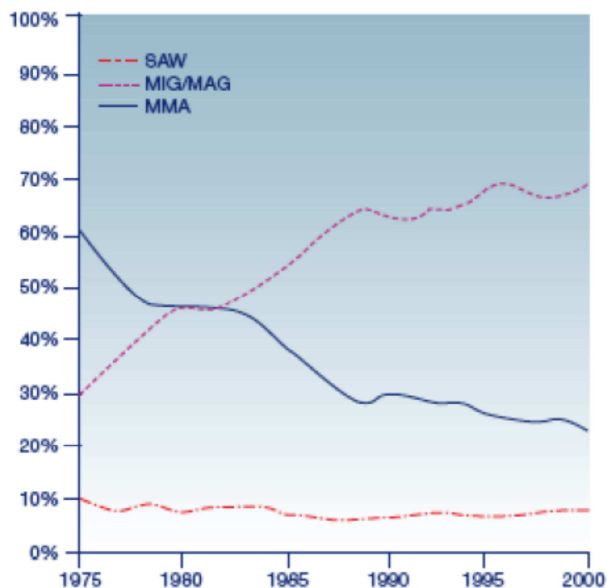


Рис.1. Распределение объемов применения различных сварочных процессов в Западной Европе. Сопоставлялись три процесса – MIG/MAG проволокой сплошного сечения, ручная дуговая сварка покрытым электродом (MMA) и дуговая сварка под флюсом (SAW)

газы в сочетании с жестким ультрафиолетовым излучением, исходящим от сварочной дуги. Современные средства защиты позволяют максимально полно изолировать сварщика от воздействия этих вредных факторов на его здоровье. К таким средствам можно отнести сварочные горелки, совмещенные с системой удаления дыма непосредственно из зоны сварки, сварочные маски, позволяющие видеть все, что происходит в процессе подготовки к сварке, но мгновенно затемняющиеся при зажигании дуги, а также системы подачи чистого воздуха в зону дыхания, что практически полностью исключает воздействие выделяемого при сварке озона на здоровье человека.

## Принцип сварки

MIG/MAG-процесс относится к электродуговым способам сварки, при котором электрическая дуга используется для плавления основного и присадочного металлов, из расплава которых формируется окончательный сварочный шов. К дуговым методам также относятся ручная сварка покрытым электродом (ММА), сварка в защитном газе неплавящимся вольфрамовым электродом (TIG), плазменная сварка и сварка под флюсом (SAW).

На рисунке 2 схематически представлен принцип дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе (MIG/MAG). Дуга (1) горит между изделием и металлической проволокой, которая непрерывно подается в зону сварки и плавится. При данном способе металлическая проволока одновременно выполняет функцию, как электрода, так и присадочного материала. Она наматывается на катушку (3) и подается в зону сварки подающими роликами (4) через наплавляющий канал (5), проходящий внутри шланг-пакета (6) сварочной горелки (7). Электрическая энергия на дугу поступает от сварочного источника (8). Сварочный ток на электрод передается через контактное сопло (9) (более известное под названием «контактный наконечник») находящееся внутри сварочной горелки. Обычно на контактное сопло подключается к положительному полюсу сварочного источника, а изделие к минусу. После возбуждения дуги по цепи начинает протекать сварочный ток.

Защитный газ (10) подается через газовое сопло (11), расположенное вокруг контактного сопла. Данная конструкция позволяет защитить электрод, дугу и расплавленный металл от воздействия окружающей атмосферы. Защитный газ может быть как инертным, т.е. неактивным и не принимающим участие в процессах, которые протекают в сварочной дуге и сварочной ванне, так и активным. В зависимости от типа защитного газа, процессы сварки подразделяются на MIG (дуговая сварка плавящимся электродом в инертном газе) и MAG (дуговая сварка плавящимся электродом в активном газе).

Общее название этих процессов дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе имеет аббревиатуру GMAW. Данная аббревиатура чаще встречается в США.

В случае, когда подача присадочного материала происходит автоматизировано, а перемещение горелки по стыку изделия вручную, данный способ MIG/MAG-сварки обычно называют полуавтоматической. Данный способ сварки достаточно легко автоматизируем за счет применения системы механического перемещения сварочной горелки или самого изделия.

## Сварочные параметры

При MIG/MAG-сварке процесс задается рядом различных параметров.

Среди них:

- Напряжение на дуге (длина дуги)
- Скорость подачи сварочной проволоки (которая определяет величину сварочного тока)
- Индуктивность (на большинстве источников питания может регулироваться)
- Расход защитного газа
- Скорость сварки
- Угол наклона горелки
- Вылет электрода (расстояние от контактного наконечника до изделия)

Для получения наилучших результатов данные параметры должны сочетаться друг с другом. Первые три параметра задаются на источнике питания или на подающем механизме. Они подбираются в зависимости от марки основного материала, его толщины, типа разделки кромок, диаметра проволоки, пространственного положения сварки и типа

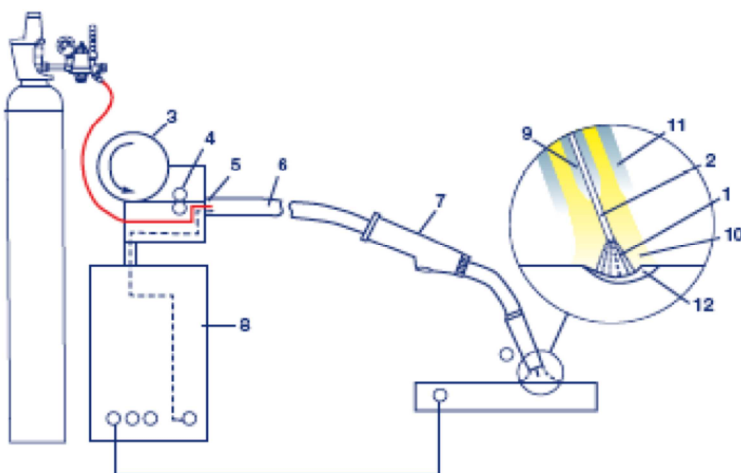


Рис.2. Принцип MIG/MAG-сварки

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| 1. Дуга               | 7. Сварочная горелка |
| 2. Электрод           | 8. Источник питания  |
| 3. Катушка проволоки  | 9. Контактное сопло  |
| 4. Подающий ролик     | 10. Защитный газ     |
| 5. Направляющий канал | 11. Газовое сопло    |
| 6. Шланг-пакет        | 12. Сварочная ванна  |

защитного газа. Ориентировочные параметры сварки приведены в таблице на рис.3. Данная таблица помогает сварщику правильно подобрать рабочую точку, см. диаграмму на рис.4. Рабочая точка должна попадать в рабочую область, которая определяется комбинацией присадочного материала и защитного газа, при этом тепловая мощность, выделяемая дугой, должна быть правильно подобрана под конкретное изделие. Кроме скорости подачи проволоки, напряжения и защитного газа, на получаемый результат сварки также можно влиять изменением индуктивности источника питания. Принципы подбора этих параметров достаточно детально рассматриваются в последней главе данного справочника. Скорость сварки, угол наклона горелки и вылет электродной проволоки – это параметры, которые сварщик должен сам контролировать в процессе сварки, и их влияние также рассмотрено в последней главе.

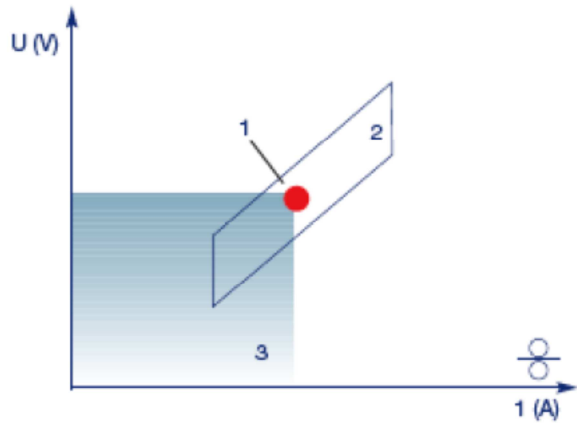


Рис. 4  
Понятия:  
1. Рабочая точка  
2. Рабочая область  
3. Тепловая мощность, выделяемая дугой

	Толщина пластины	Зазор	Расход электродной проволоки	Диаметр проволоки	Производительность наплавки	Скорость подачи проволоки	Ток сварки	Скорость сварки		
	мм	мм	кг/м	мм	кг/час	м/мин	А	м/час	см/мин	
	1	0	0,02	0,6	1,0	7,0	60	50	83	
	1,5	0,5	0,02	0,8	1,5	6,0	90	48	80	
	2	1,0	0,03	0,8	1,7	6,8	110	50	83	
	3	2,0	0,06	0,8	3,0	8,0	125	33	55	
	3	2,0	0,06	1,0	3,4	6,0	150	38	63	
	4	1,0	0,09	1,0	2,2	6,4	160	24	40	
	5	1,0	0,12	1,0	2,2	6,4	160	17	28	
	6	1,5	0,17	1,0/1,2	2,1/2,9	6,0/5,5	150/200	36/26	60/43	
	8	1,5	0,30	1,0/1,2	2,1/3,9	6,0/7,8	150/260	26/17	43/28	
	10	2,0	0,50	1,0/1,2	2,1/5,1	6,0/10,0	150/320	21/13	35/21	
	<b>Толщина шва*</b>									
	2		0,05	0,6	1,2	8,4	70	24	40	
	2		0,05	0,8	1,6	6,8	110	32	53	
	3		0,10	0,8	1,9	8,3	130	19	32	
	3		0,10	1,0	2,4	7,0	170	24	40	
	4		0,16	1,0	2,7	8,2	195	17	28	
	5		0,25	1,2	3,9	7,8	260	16	26	
	6		0,33	1,2	3,9	7,8	260	12	20	
	8		0,33	1,2	4,8	9,5	300	14	22	
	8		0,58	1,2	4,8	9,5	300	8,5	14	
	1,5		0,02	0,6	1,0	7,0	60	50	83	
	2		0,03	0,8	1,6	6,8	110	53	88	
	3		0,05	0,8	1,9	8,2	130	38	63	
	4		0,07	0,8	2,0	9,0	140	29	48	
	4		0,07	1,0	2,6	7,5	180	37	62	
	5		0,10	1,0	2,6	7,5	180	26	43	
	6		0,15	1,2	3,5	7,0	240	23	38	
	8		0,26	1,2	3,7	7,5	250	18	30	
	10		0,40	1,2	5,0	10,0	320	12	20	
	12		0,58	1,2	5,0	10,0	320	9	15	

\* Толщина шва равна катету шва умноженного на  $\sqrt{2}$

Рис.3 Пример таблицы с устанавливаемыми параметрами сварки

## Что происходит в дуге?

Самым главным процессом, происходящим при дуговой сварке, является переход плавящегося присадочного материала в сварочную ванну. На характер этого процесса влияют различные факторы, такие как состав защитного газа, ток сварки, напряжение на дуге, материал и диаметр электродной проволоки. В зависимости от этого, процессы подразделяют на перенос металла короткими замыканиями, переходную дугу и струйный перенос присадочного материала. Четвертый тип переноса металла получают при использовании пульсирующего процесса сварки, разновидности MIG/MAG сварки, который все чаще находит применение в последние годы.

## Короткая дуга

Процесс сварки с короткими замыканиями дуги является наиболее часто встречающимся типом переноса присадочного материала при MIG/MAG сварке. Сварка «короткой дугой» происходит при достаточно низких значениях дугового напряжения и сварочного тока, см. рис.5. Это означает, что тепловложение в изделие не очень велико, поэтому короткая дуга является предпочтительной при сварке тонкостенных изделий и при сварке в различных пространственных положениях, т.к. размеры расплавленной ванны невелики и она быстро кристаллизуется. В процессе сварки короткой дугой образуются достаточно крупные капли,

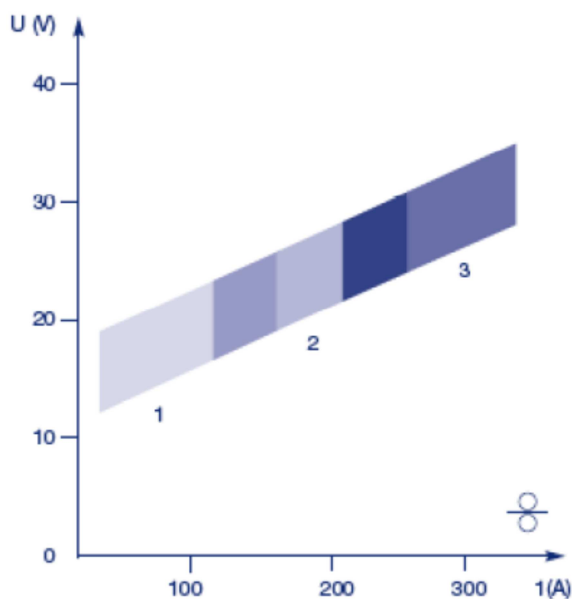


Рис. 5. Рабочие зоны различных типов дуг. Тип и ее точное положение зависит от защитного газа и диаметра электродной проволоки.

1. Короткая дуга
2. Переходная дуга
3. Струйный перенос присадочного металла

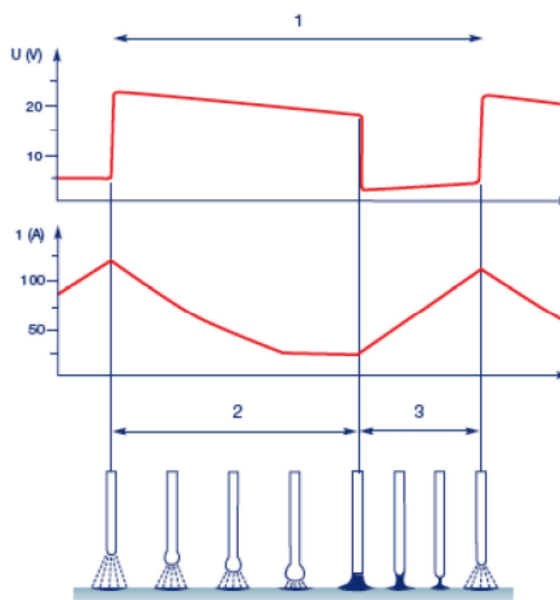


Рис. 6. На конце электродной проволоки формируется капля расплавленного металла. Когда она становится достаточно крупной, происходит ее контакт со сварочной ванной и дуговой промежуток замыкается. В этот момент ток сварки резко повышается, и капля отделяется от проволоки. Дуга зажигается снова. При этом происходит образование некоторого количества сварочных брызг, связанное с резкими повышениями сварочного тока в момент замыкания дугового промежутка.

1. Цикл сварки «короткой дугой»
2. Время горения дуги
3. Время короткого замыкания

которые периодически закорачивают дуговой промежуток, см. рис.6. Количество таких коротких замыканий находится в интервале от 30 до 200 в секунду. В эти моменты дуга исчезает и образуется некоторое количество сварочных брызг. Попадание этих брызг на изделие приводит к тому, что возникает необходимость в его финишной зачистке после сварки. Причем этот отрицательный эффект характерен для всех марок проволок. Правильно настроенная дуга издает равномерно трещащий звук.

## Переходная дуга

При небольшом повышении сварочного тока и напряжения, образуется так называемая «переходная дуга». Образующиеся капли имеют различные размеры и могут, как замыкать дуговой промежуток, так и не замыкать его. В результате имеем нестабильную дугу, которая создает большое количество сварочных брызг и дыма. В связи с этим рекомендуют избегать сварку в этой зоне.

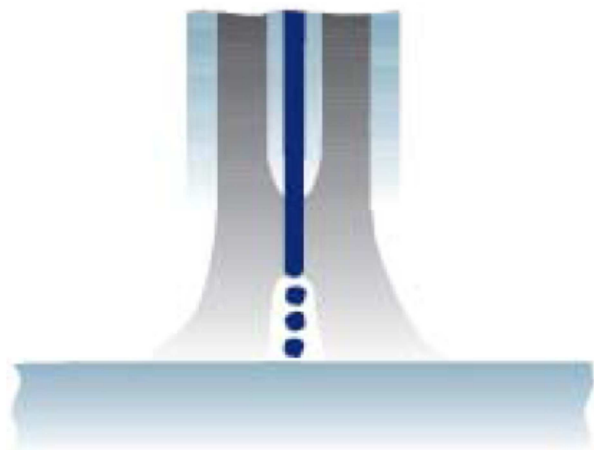


Рис. 7. Струйный перенос присадочного металла

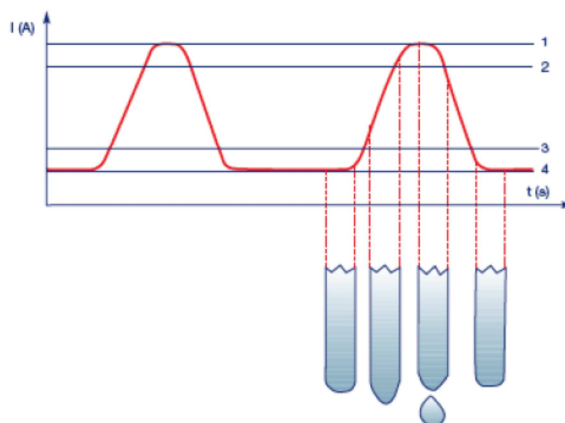


Рис. 8. Принцип пульсирующей дуги

1. Ток в импульсе
2. Критическое значение тока
3. Действующее значение сварочного тока
4. Значение «дежурного» тока

## **Струйный перенос**

Когда для конкретного диаметра проволоки и типа защитного газа сварочный ток и напряжение достигают достаточно высоких значений, расплавленный присадочный материал мелкими каплями переходит в сварочную ванну, не замыкая дугового промежутка, см. рис.7. При сварке со струйным переносом, дуга достаточно стабильна и не образуется крупные брызги, которые прилипают к изделию. Данный процесс характеризуется высокой производительностью, а потому его, например, рекомендуют применять для наплавки заполняющих слоев при сварке толстостенных изделий. При этом в изделие вкладывается достаточно много тепловой энергии, и как следствие, расплавленная ванна имеет достаточно большие размеры. Поэтому сварку в режиме струйного переноса рекомендуют выполнять только в нижнем положении.

## **Короткий пульс**

Пульсирующая дуга совмещает в себе преимущества, как короткой дуги, так и струйного переноса – другими словами, тихая стабильная дуга сочетается с достаточно умеренным вложением тепла в изделие. Это достигается благодаря использованию пульсирующего сварочного тока, см. рис. 8. При каждом импульсе этого тока капля отрывается от сварочной проволоки. Благодаря этому капли не замыкают дуговой промежуток, брызги имеют маленький размер, а дуга очень стабильна. Величина дежурного тока невелика, что позволяет поддерживать действующее значение сварочного тока на достаточно низком уровне. Как следствие, тепловложение в изделие не очень велико, что позволяет выполнять сварку в различных пространственных положениях и варить достаточно тонкие пластины.



## Преимущества, ограничения и области применения

Основными преимуществами MIG/MAG процесса сварки являются его высокая производительность, относительно низкое вложение тепла в изделие и простота его автоматизации. В сравнении с процессом сварки покрытым электродом (ММА-сваркой), его более высокая производительность в первую очередь объясняется тем, что нет необходимости тратить время на смену электрода и удаление шлака с наплавленного металла. Кроме того, скорость плавления присадочного материала значительно выше из-за более высокой плотности сварочного тока, протекающего через него.

MIG/MAG процесс является одним из наиболее легко приспособляемых видов сварки и может применяться для:

- сварки тонких пластин (толщин более 0,5 мм). Чтобы избежать деформаций и короблений при сварке небольших толщин, требуется свести к минимуму удельное тепловложение. При наплавке заполняющих проходов у толстостенных изделий, данный процесс позволяет получить высокие значения производительности.
- сварки всех стандартных конструкционных материалов, таких как низкоуглеродистые, низколегированные и высоколегированные стали, алюминия и его сплавов, а также некоторых других металлов и сплавов.
- сварки во всех пространственных положениях.

Благодаря этим преимуществам MIG/MAG процесс нашел широкое применение, как в крупномасштабном производстве, так и в мелком. Он используется в автомобилестроении, сварке строительных и оффшорных конструкций, судостроении и многих других отраслях.

MIG/MAG-сварку можно охарактеризовать одновременно как легко, так и трудно осваиваемый и применяемый вид сварки. Если речь идет просто о сварке двух деталей друг с другом, без каких либо особых требований к свойствам сварного соединения, то данный вид сварки очень прост для применения. С другой стороны, если требуется глубокий провар, не допускаются несплавления или газовые поры и т.п., MIG/MAG процесс требует от сварщика соответствующих знаний и навыков.

Также свои ограничения в применимость данного вида сварки вносит то, что оборудование состоит из нескольких узлов, оно на много дороже и более громоздко в сравнение с оборудованием для ММА-сварки. К тому же, применение данного способа сварки вне цеха весьма ограничено, т.к. газовая защита весьма чувствительна к сквознякам. Конструкция сварочной горелки в некоторой степени снижает полноту контроля над ситуацией в процессе сварки.



## Оборудование

Принципиально MIG/MAG оборудование состоит из следующих узлов: источник питания, подающий механизм, сварочная горелка с кабелем и шланг-пакетом, а также системы подачи защитного газа, см. рис.2 на стр.5.

### Источники питания

Источник питания обеспечивает систему постоянным током и необходимым уровнем напряжения. По конструкции источники питания можно подразделить на выпрямители со ступенчатым переключением напряжения, тиристорные и инверторные. Один из них показан на рис.8.

Источники питания, позволяющие варить пульсирующим сварочным током, как правило, имеют синергетическое управление. Это означает, что сварщику достаточно установить необходимую скорость подачи проволоки и исходную информацию о материале сварочной проволоки, ее диаметре, а также типе защитного газа. Далее источник сам установит необходимые параметры пульсации сварочного тока и соответствующее напряжение.

Из параметров сварки на источнике питания задается рабочее напряжение, и, если возможно, величина индуктивности. Напряжение на дуге напрямую связано с длиной дугового промежутка. Чтобы в процессе сварки не происходило колебаний длины сварочной дуги, источник питания должен иметь жесткую или полого падающую внешнюю вольт-амперную характеристику.



Рис. 8. Фотография сварочного оборудования – источник питания AristoMig 500 с подающим механизмом AristoFeed и панелью управления U8

### Подающие механизмы

Подающий механизм состоит из двух основных узлов, ступицы для установки катушки с проволокой и самой системы подачи, см. рис.9. Ступица должна быть оснащена регулируемой тормозной системой, останавливающей вращение катушки в момент прекращения подачи проволоки. Система подачи предназначена для проталкивания электродной проволоки в направляющий канал через шланг-пакет к сварочной горелке. Системы подачи проволоки могут иметь различные варианты конструктивных решений. Например:

- с двумя подающими роликами, когда один является ведущим, а другой прижимным.
- с двумя подающими роликами, получающими привод от одного двигателя
- с четырьмя роликами, получающими привод от одного двигателя
- с четырьмя роликами, получающими привод от двух последовательно включенных двигателей

Общим для всех этих схем является то, что они проталкивают проволоку через шланг-пакет. Также можно встретить комбинацию этих систем, когда электродная проволока проталкивается по системе стандартным подающим механизмом с одной стороны и тянется специальным подающим механизмом, смонтированным на горелке с другой стороны. Эта система, называемая push-pull (тяги-толкай), позволяет использовать более длинные кабели и шланг-пакеты. Ее также рекомендуют использовать для алюминиевых проволок, т.к. это один из вариантов решения проблемы ее недостаточной жесткости. Размер канавки у



подающих роликов должен соответствовать диаметру применяемой проволоки. Некоторые типы роликов имеют канавки под различные диаметры, что позволяет выбирать нужную геометрию канавки изменением положения подающего ролика.

Рис. 9. Фотография подающего механизма – AristoFeed 30

## Сварочные горелки и их шланг-пакеты

Конструкция сварочной горелки со шланг-пакетом показана на рис.10. Наиболее важными деталями сварочной горелки являются контактный наконечник и кнопка-выключатель для старта и остановки процесса сварки. Именно в контактном наконечнике происходит передача тока на сварочную проволоку. Часть проволоки,



Рис.10 Сварочная горелка со шланг-пакетом  
 1. Контактный наконечник  
 2. Газовое сопло  
 3. Кнопка-выключатель  
 4. Шланг-пакет  
 5. Сварочная проволока  
 6. Направляющий канал для проволоки  
 7. Газовый канал  
 8. Электрический сварочный кабель

по которой протекает сварочный ток называется «вылетом электрода». Контактный наконечник является сменным и должен соответствовать типу и диаметру проволоки. Контактный наконечник находится внутри газового сопла, которое предназначено для создания эффективной газовой защиты проволоки, дуги и расплавленного металла от окружающей атмосферы. Газовое сопло также является сменным и должно соответствовать расходу газа, типу свариваемого материала, силе тока и ряду других параметров. Чтобы поддерживать газовую защиту на эффективном уровне, необходимо регулярно очищать сопло от сварочных брызг.

Существует много типов сварочных горелок. Для полуавтоматической сварки наиболее часто применяют горелки с изогнутыми шейками, как показано на рис.10. Такая конструкция позволяет выполнять сварку как в труднодоступных местах, так и в различных пространственных положениях. Горелки для автоматической сварки обычно прямые. Сварочные горелки подразделяются на водо- и самоохлаждаемые. Второй тип охлаждается за счет окружающего воздуха и проходящего защитного газа. Водяное охлаждение более эффективное. Выбор между само- и водоохлаждаемой горелкой зависит от таких факторов, как величина применяемого сварочного тока, типа защитного газа, продолжительности непрерывного включения и типа сварного соединения.

Шланг-пакет заключен в оболочку и представляют собой каналы, по которым в зону сварки подводятся сварочная проволока, электроэнергия и защитный газ. В водоохлаждаемых горелках в шланг-пакет также входят каналы с разъемами, по которым циркулирует охлаждающая жидкость. Обычно длина шланг-пакета составляет 3 или 4,5 м.

## Газовое оборудование

Сварочный защитный газ может поступать:

- из газового баллона
- из газовой рампы
- от газовых станций со сжиженным газом

Последние два обычно применяются при централизованной системе подачи защитного газа. Далее газ распределяется на газовые посты, установленные в зонах выполнения сварочных работ.

На рис.11 показана система подачи газа от баллона. Газовый шланг подключается к подающему механизму. Далее газ через шланг-пакет поступает в сварочную горелку. Соленоидный клапан регулирует поток защитного газа при старте и окончании процесса сварки.

Давление защитного газа в полных баллонах обычно составляет 200 бар\*. Для его снижения до необходимого рабочего, к баллону должен быть подключен регулятор давления, см. рис.11. Данный регулятор должен быть укомплектован устройством, позволяющим поддерживать расход газа на постоянном уровне. Редуктор-расходомер обычно рассчитан на какой-то определенный газ, а потому на другом газе он будет некорректно показывать его расход.

\* В России 150 бар

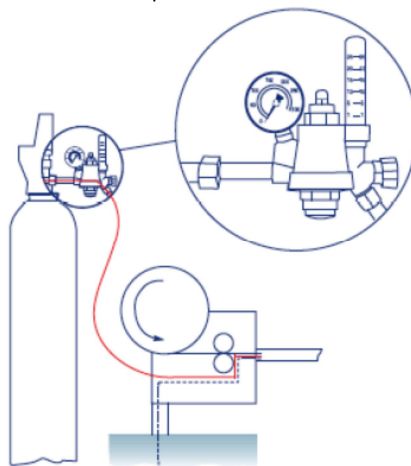


Рис.11. Система подачи защитного газа с газовым баллоном

## Сварочные материалы

Сварочные проволоки для MIG/MAG сварки изготавливаются из различных сплавов, а также различаются диаметрами. Они поставляются в бобинах или на различных катушках. Кроме функции присадочного материала она играет роль и электрода. Очень важно чтобы проволока подавалась максимально равномерно и имела хороший контакт с наконечником. Проволоки для низкоуглеродистых и низколегированных сталей обычно покрыты слоем меди. Это покрытие предохраняет проволоку при хранении и транспортировке, а также придает ей смазывающий эффект. Намотка на катушки может быть как свободной, так и рядной, см. рис.12.

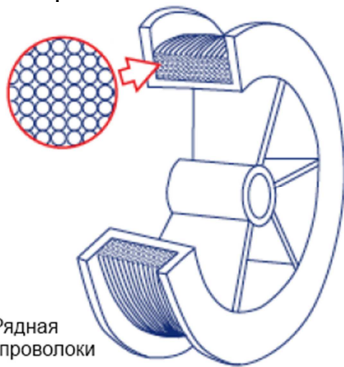


Рис.12. Рядная намотка проволоки

Для обеспечения равномерной подачи проволоки крайне важны два фактора, величина пружинения по диаметру намотки (*cost*) и по подъему витка (*helix*). Методика измерения этих параметров проиллюстрирована на рис.13. Если радиус предварительного прогиба проволоки очень мал, она будет проталкиваться по направляющему каналу с большим сопротивлением, а если велик, ухудшится ее контакт с наконечником. Для проволоки диаметром 1,2 мм оптимальный радиус витка, свободно лежащего на горизонтальной плоскости, должен быть равен ~400 мм. Величина подъема витка не должна превышать 25 мм, иначе проволока на выходе из контактного наконечника, а вместе с ней и дуга, будут совершать вращательное движение.

При выборе материала сварочной проволоки руководствуются принципом идентичности химического состава и механических свойств с основным металлом. Производители сварочных материалов в своих каталогах прописывают назначения своих материалов, что облегчает их правильный выбор.

Важно, чтобы до момента использования, сварочный материал хранился в заводской упаковке. Влага, грязь, пыль или жир на проволоке могут привести к образованию сварочных дефектов.

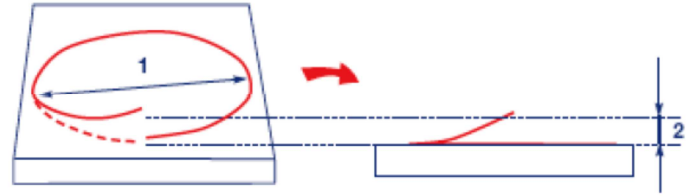


Рис.13. Проверка пружинения по диаметру намотки (1) и по подъему витка (2)

### Сплошная или порошковая проволока?

Между проволокой сплошного сечения и порошковой есть различия. Вторые представляют собой трубчатую оболочку наполненную флюсом или металлическим порошком см. рис. 14. На сегодняшний день наиболее часто применяемыми являются проволоки сплошного сечения, однако объемы потребления порошковых проволок неуклонно растут. Из расчета на килограмм, порошковая проволока значительно дороже сплошной, соответственно обходиться дороже и стоимость наплавленного металла. Однако для некоторых задач порошковые проволоки дают такие преимущества, которые полностью оправдывают их более высокую цену. Например, некоторые из них обеспечивают великолепные сварочно-технологические характеристики при сварке в положении вертикаль на подъем, другие высокую ударную вязкость при низких температурах или высокую производительность. Некоторыми порошковыми проволоками можно варить без газовой защиты. Их называют самозащитными и предназначены они для работы на открытых площадках, т.к. они менее чувствительны к сквознякам в сравнении с газозащитными. К недостаткам самозащитных проволок относятся образование большого количества брызг, шлака и сварочных дымов. В этих дымах содержатся аэрозоли бария, предельно допустимая концентрация которых весьма ограничена. Проволоки сплошного сечения для MIG/MAG сварки обычно выпускаются диаметрами от 0,6 до 2,4 мм, а порошковые от 0,9 до 2,4 мм.

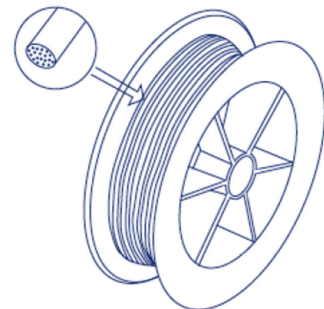


Рис.14. Порошковая проволока

## Защитные газы

Основной функцией защитного газа при MIG/MAG сварке являются защита расплавленной ванны, электрода и дуги от вредного влияния окружающего воздуха см. рис. 15. Если воздуху будет позволено контактировать с расплавленной ванной, конечные механические свойства шва будут ухудшаться. Проникновение воздуха в защитную атмосферу также скажется на поведении дуги. Производитель защитного газа должен гарантировать требуемую его чистоту до точки поставки клиенту. Далее, уже потребитель должен исключить попадание в него каких-либо примесей на пути от хранилища газа до сварочной горелки. Другими словами, чтобы свести к минимуму риск загрязнения защитного газа необходимо выполнить ряд нижеперечисленных операций.

- После длительной остановки, редуктор и газовые магистрали необходимо продуть защитным газом.
- Проверить герметичность газовых магистралей и мест их соединения.
- Установить требуемый расход защитного газа.
- Сильно не наклонять сварочную горелку. Если угол наклона очень острый, воздух будет подсасываться за счет эффекта инжекции.

Состав защитного газа влияет на ряд факторов, таких как характер переноса сварочного материала, форма и глубина проплавления, скорость сварки. Потому очень важно правильно подобрать марку защитного газа под соответствующую задачу. Например, навигатор на сайте компании AGA позволит вам правильно подобрать марку защитного газа.

Для MIG-сварки алюминия и его сплавов используют инертные газы аргон или гелий, либо их смеси. Для сварки сталей чистый аргон не используют, т.к. дуга имеет очень нестабильный характер. Поэтому для нержавеющей сталей применяют аргон в смеси с добавлением небольшого количества углекислого газа или кислорода. Для сварки конструкционных

нелегированных или низколегированных сталей используют аргоновые смеси с более высоким (8-23%) содержанием углекислого газа. Эти газовые смеси относятся к активным, а потому сварка в этих газах носит термин MAG-сварка. Нелегированные стали можно также сваривать в чистой углекислоте. Углекислый газ стоит дешевле аргоновой смеси, однако, имеет ряд серьезных недостатков. В сравнении со смесью, скорость сварки более низкая, а режимы подобрать намного сложнее. Кроме того, образуется больше дыма и брызг. Также при сварке в углекислоте невозможно добиться чистого струйного переноса присадочного материала, какие бы скорости подачи проволоки и напряжения на дуге не устанавливались бы. Для достижения хорошего результата при сварке в режиме короткой пульс, содержание  $\text{CO}_2$  в сварочной смеси должно быть ниже 16%.

Защитный газ также может влиять на условия работы сварщика. Примером тому может служить линейка защитных газов компании AGA, выпускаемая под брендом MISON<sup>®</sup>, разработанная специально для того, чтобы снизить содержание озона в рабочей зоне. Озон – это вредный газ, оказывающий негативное влияние на здоровье человека, образующийся в большем или меньшем количестве при любом процессе дуговой сварки. Количество образующихся сварочных дымов также зависит от выбранного защитного газа. Например переход с аргоновой сварочной смеси с содержанием 20% углекислоты на смесь с содержанием 8%  $\text{CO}_2$  снижает количество сварочных дымов более чем на 50%.

Кроме того, очень важно правильно установить расход защитного газа. Если его расход слишком мал, это не позволяет достаточно полно оттеснить воздух из зоны сварки, см. рис. 16а. С другой стороны, если расход слишком велик, поток становится турбулентным и появляется риск подсоса воздуха в дугу, см. рис. 16б. Расход газа устанавливают на баллонном редукторе-расходомере. Приблизительно считается, что расход газа в л/мин должен равняться диаметру защищаемого пятна в мм. Если вы хотите быть абсолютно уверенным в правильности установки расхода газа, его можно проверить небольшим расходомером, одеваемого на выход сопла.



Рис.15. Защитный газ при MIG/MAG сварке



Рис.16а. Если расход защитного газа слишком мал, воздух попадает в зону сварки



Рис.16б. Если расход защитного газа слишком велик, возникает турбулентность потока

## Охрана труда

Если не проводить специальных мероприятий по охране труда, при MIG/MAG сварке, как и при любом другом виде сварки, сварщик подвергает свое здоровье определенным рискам. Основной вред здоровью человека при MIG/MAG сварке наносят сварочные дымы и газы, загрязняющие воздух, и ультрафиолетовое излучение дуги.

### Дымы и газы

Загрязнителями воздуха, образующимися при сварке, являются газы и дымы. Дымы образуются из-за испарения в дуге расплавленного металла. Эти испарения конденсируются и окисляются при контакте с окружающим воздухом. Поэтому большинство дымов представляют собой оксиды различных элементов. Источниками дымов при сварке, в первую очередь и в основном, являются присадочные сварочные материалы, и именно они определяют состав сварочных дымов. Шлакообразующие компоненты также влияют на состав дымов. Соответственно, вред, наносимый здоровью различными сварочными дымами при их попадании в организм человека через органы дыхания, может быть различным, и определяется компонентами, входящими в их состав. Газами, образующимися при MIG/MAG сварке и представляющими опасность для здоровья, являются озон ( $O_3$ ), оксиды азота ( $NO$  и  $NO_2$ ) и угарный газ ( $CO$ ). Эти газы образуются под воздействием экстремально высокой температуры или ультрафиолетового излучения дуги. Чтобы вредное воздействие на здоровье этих дымов и газов снизить, необходимо:

- обеспечить соответствующий объем общей вентиляции.
- использовать местные вытяжные системы, т.к. всасывают вредные вещества до того как они попадут в зону дыхания человека или общую атмосферу цеха. Существует несколько типов местных вытяжных систем, таких как стационарные вытяжки, вытяжные рукава, мобильные вытяжные сопла или вытяжки встроенные в сварочную горелку, см. рис. 17. Тип вытяжки подбирается исходя из каждой конкретной ситуации.

Сварщик должен:

- избегать нахождения головы в шлейфе сварочных дымов и газов поднимающихся от зоны сварки.
- в особых случаях применять дополнительные компоненты для защиты органов дыхания. К таким компонентам относятся респираторы,

сварочные маски с системой подачи под нее свежего воздуха и кислородно-дыхательная аппаратура.

- использовать соответствующий защитный газ. Для снижения концентрации озона – опасного для здоровья газа образующегося в процессе сварки, можно использовать какой либо из газов под брендовым названием MISON<sup>®</sup>, производимых компанией AGA. Количество сварочных дымов можно уменьшить более чем на 50%, если аргон-углекислотную смесь с содержанием 20% углекислого газа заменить на смесь с содержанием 8% углекислого газа.
- обеспечить корректность сварочных параметров. Дуга должна быть мягкой и стабильной без образования брызг.

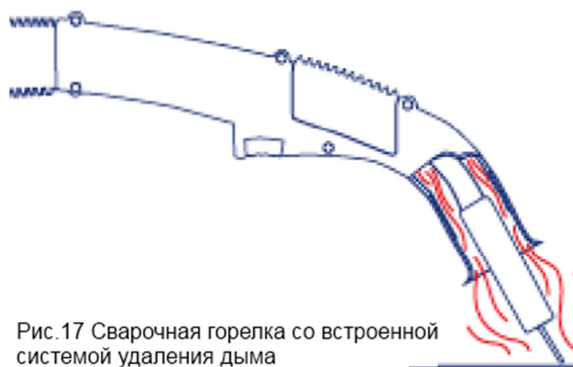


Рис. 17 Сварочная горелка со встроенной системой удаления дыма

### Ультрафиолетовое излучение

Электрическая дуга испускает электромагнитное излучение в видимом, инфракрасном (ИК) и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах. УФ излучение может повредить роговицу глаза («поймать зайчиков»), что может привести к катаракте или вызвать ожог кожи. ИК и интенсивное видимое излучение могут вызвать повреждение сетчатки глаза. Поэтому, жизненно важно, чтобы глаза сварщика были защищены специальным стеклом (сварочным светофильтром). Обычно эти светофильтры подразделяются по уровню их затемнения. Чем выше затемнение, тем ниже доза повреждающего излучения попадает на глаза. При прочих равных условиях, интенсивность излучения зависит от величины сварочного тока. Рекомендуемая зависимость степени затемнения от величины сварочного тока приведена в таб.1.

Масштаб затемнения	MIG	MAG
	Ток [A]	Ток [A]
10	до 100	до 80
11	100-175	80-125
12	175-250	125-175
13	250-350	175-300
14	350-500	300-450
15	500 и более	450 и более

Таб.1. Интенсивность затемнения сварочных светофильтров для MIG/MAG сварки

В последние годы широкое применение нашли стекла с так называемыми жидкокристаллическими светофильтрами. Данный светофильтр всегда остается прозрачным, пока идет процесс подготовки к сварке. Как только зажигается дуга, светофильтр в течение 0,6 миллисекунды автоматически затемняется. После окончания сварки светофильтр опять становится прозрачным, позволяя свету беспрепятственно проходить сквозь него. Варить в маске с ЖК светофильтром на много безопаснее и комфортнее. В то же время качество сварки возрастает.

Также нельзя забывать и о защите других рабочих вокруг от интенсивного излучения сварочной дуги. Наилучшим способом решения этой проблемы является ограждение места сварки шторами или мобильными ширмами.

От УФ излучения необходимо защищать не только глаза, но и кожу. На обожженном



Рис.18. Сварочная маска с ЖК светофильтром

месте кожа может покраснеть и облезть.

Костюм сварщика должен полностью закрывать тело и плотно прилегать к шее. Перчатки должны иметь длинные манжеты, закрывающие рукава сварочного комбинезона. Голову, а также шею должна защищать сварочная маска, см. рис.18.

### Прочие факторы

Выше упомянуты все факторы, связанные с негативным воздействием на здоровье, с которыми приходится сталкиваться при сварке. Однако существует и ряд других рисков, которые напрямую не ассоциируются со спецификой MIG/MAG сварки, но при этом всегда связаны с производствами, где применяются сварочные процессы, например физические нагрузки, шум, тепловое излучение, риск возникновения несчастного случая и т.д. Когда вопрос касается сварки, огромной проблемой также являются заболевания костно-мышечной системы.



## Практические рекомендации для MIG/MAG-сварки

### Подготовка кромок

Для MIG/MAG сварки в основном используют те же виды разделок кромок, что и под MMA сварку. Например, сварку небольших толщин выполняют без разделки по зазору или без него, а при сварке больших толщин сварку ведут в V-образную разделку, которую получают за счет скоса кромок или конструкции собираемого узла. Перед началом сварки, кромки и прилегающие к ним зоны необходимо очистить. Влага, грязь, окислы, масло и другие виды загрязнений могут служить причиной образования дефектов сварного шва.

### Выбор сварочной проволоки и защитного газа

Перед сваркой необходимо убедиться, что выбранные защитный газ и проволока сочетаемы и применимы для решения вашей задачи. Вопросы выбора защитных газов были обсуждены ранее в главе «Защитные газы». Рекомендации по типам и расходам газов, в зависимости от типа и диаметра электродной проволоки, можно найти в каталогах поставщиков сварочных материалов. При переходе с одного диаметра проволоки на другой, необходимо обратить внимание на соответствие подающего канала, роликов и контактного наконечника диаметру новой проволоки.

### Влияние параметров сварки

Правильность установки параметров сварки очень сильно влияет на результат сварки. Параметры можно подразделить на те, которые задаются с оборудования и те, которые поддерживаются человеком в процессе сварки. К первым относятся напряжение, скорость подачи проволоки и индуктивность, ко вторым – угол наклона горелки, вылет электродной проволоки и скорость сварки.

### Подбор напряжения и скорости подачи проволоки

Устанавливаемые значения скорости подачи проволоки (которая определяет величину тока сварки,  $I$ ) и напряжения ( $U$ ) зависят от толщины свариваемого металла, типа сварного соединения, пространственного положения, типа и диаметра

сварочной проволоки, типа защитного газа которые планируется использовать. Эти контрольные значения можно найти в таблицах справочников или нормативной документации. Данные таблицы помогают найти корректную начальную точку сочетания этих параметров, см. рис.19. Данная точка должна находиться внутри рабочей области параметров сварки для выбранного сочетания сварочных материалов, и при этом обеспечивать корректную величину тепловложения требуемую для изделия.

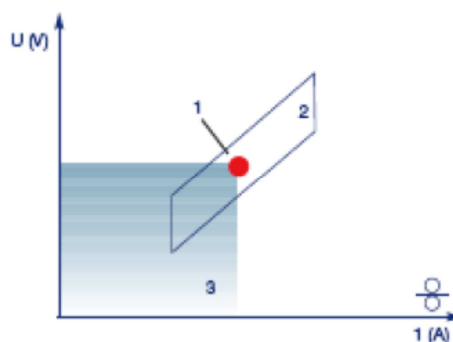


Рис.19  
1. Выбранное соотношение параметров  
2. Рабочая области параметров сварки  
3. Тепло выделяемое дугой

При сварке человек не видит, в какой точке рабочей области параметров он находится. Однако это можно оценить по поведению дуги и результату сварки. Если параметры подобраны корректно, дуга стабильна и имеет правильную длину. При этом тепловложение в изделие оптимально и брызг не образуется. Наплавленный валик имеет гладкую поверхность и плавный переход к основному металлу. Рассмотрим, что произойдет, если рабочая точка выйдет из рабочей области параметров. Для примера возьмем сварку «короткой дугой» в углекислом газе. Сначала поднимем напряжение, оставив скорость подачи неизменной, см. рис.20.

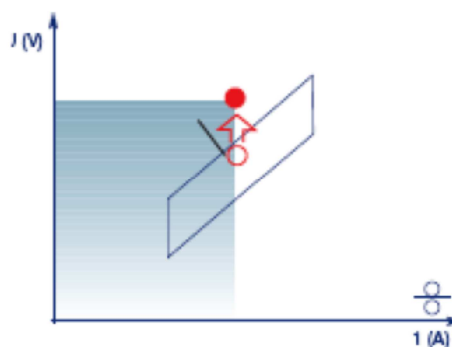


Рис.20. Для выбранной скорости подачи проволоки напряжение слишком высоко



Для данной скорости подачи проволоки напряжение слишком велико. Подающий механизм подает в зону сварки меньшее количество проволоки, чем может быть расплавлено. На конце проволоки появляется крупная капля, совершающая небольшие вращательные движения и появляются брызги. Сварка становится медленнее, а на кромках образуются подрезы. Теперь, чтобы вернуться в рабочую область параметров сварки, начнем поднимать скорость подачи проволоки, см. рис.21.

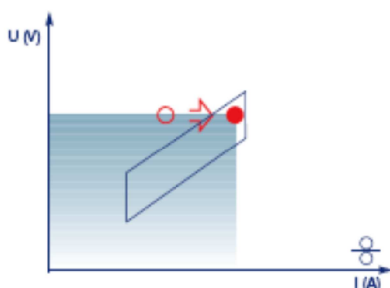


Рис.21. Напряжение и скорости подачи проволоки слишком высоки, что приводит к очень высокому тепловложению в изделие

Дуга опять становится стабильной, но рабочая точка находится в верхней зоне рабочей области. Для нашего изделия тепловыделение дуги оказывается очень высоким. Возрастает риск получения прожога, особенно на тонком изделии. Теперь, не меняя скорости подачи проволоки, начинаем снижать напряжение до исходного уровня, что приводит к выходу рабочей точки из рабочей области параметров сварки, см. рис.22. Для данной скорости подачи проволоки напряжение оказывается слишком мало. Выделяемого тепла недостаточно чтобы расплавить электродную проволоку. В результате

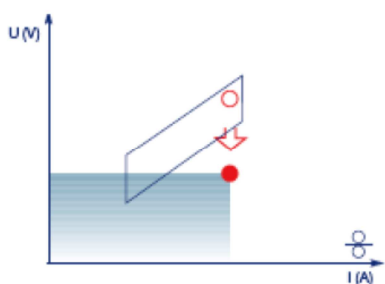


Рис.22. Для данной скорости подачи проволоки напряжение слишком мало

дуга укорачивается настолько, что проволока начинает утыкаться в изделие. При этом чувствуется, что горелка пытается, как бы сама себя поднимать. Такое низкое тепловыделение приводит к тому, что формируется достаточно гладкий, но колеблющейся по ширине наплавленный валик с высоким округлым усилением и невысокой глубиной проплавления.

Теперь будем уменьшать скорость подачи проволоки, опять возвращаясь в рабочую зону.

Возвращаем рабочую точку в более нижнюю часть рабочей зоны, чем это было установлено в самом начале, см. рис.23. Дуга опять становится стабильной, но тепловыделение для нашего изделия очень низкое. В результате холодный наплавленный валик ровно не растекается по свариваемой поверхности. В дополнение можно получить недостаточное проплавление.

Находим оптимальную рабочую точку, параллельно поднимая скорость подачи проволоки и напряжение. Другими словами в качестве резюме можно сказать, что в рабочей точке должно поддерживаться правильное соотношение между скоростью подачи проволоки и напряжением и выполняться два условия.

1. Рабочая точка всегда должна оставаться внутри рабочей области параметров сварки для выбранной комбинации сварочной проволоки и защитного газа.
2. Рабочая точка должна находиться на уровне обеспечивающим такое тепловыделение, которое необходимо для оптимального проплавления свариваемого изделия.

В дополнении к скорости подачи проволоки и напряжению, на сварочном источнике можно устанавливать третий параметр сварки называемой индуктивностью. Она изменяется подключением сварочного кабеля к одному из двух или трех разъемов вторичной цепи источника питания либо плавной регулировкой, так называемой электронной индуктивности. Снижая индуктивность, мы уменьшаем тепловложение в изделие, увеличиваем частоту коротких замыканий проволоки на сварочную ванну, и повышаем вязкость расплавленной ванны, что весьма желательно при сварке небольших толщин. При сварке больших толщин требуется большее тепловложение, поэтому надо устанавливать более высокое значение индуктивности. При сварке в режиме «струйного переноса» индуктивность не оказывает ни какого влияния на процесс сварки.

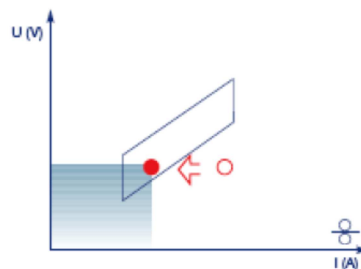


Рис.23. Если напряжение и скорость подачи слишком малы, тепловыделение дуги тоже недостаточно

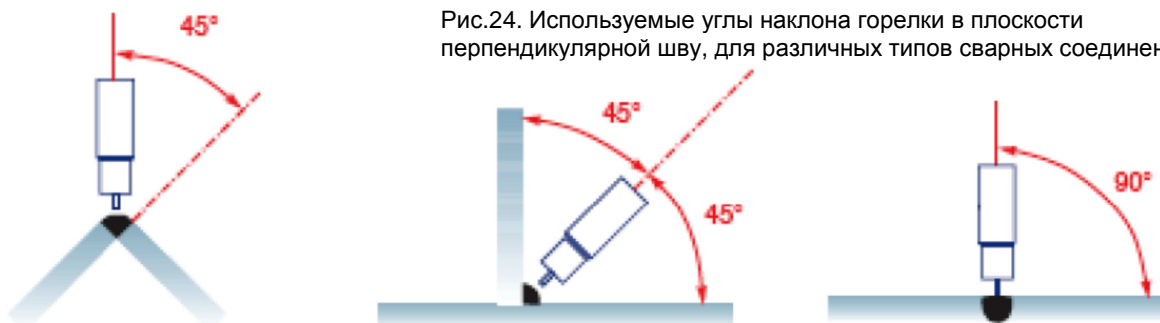


Рис.24. Используемые углы наклона горелки в плоскости перпендикулярной шву, для различных типов сварных соединений

### Угол наклона горелки

Величина угла наклона сварочной горелки относительно продольного направления сварного шва зависит от пространственного положения при сварке. Приблизительно считается, что этот угол не должен превышать  $15^\circ$  относительно перпендикуляра к сварному шву, см. рис.25. На этом же рисунке проиллюстрирована разница в положении горелки при сварке углом вперед и углом назад. При сварке углом назад, сварочная горелка наклонена в направлении хвостовой части сварочной ванны. Большая часть тепла при этом вкладывается в расплавленную ванну, при этом глубина проплавления увеличивается. Сварка углом вперед является более часто используемой и среди прочего применяется для сварки тонкостенных деталей и изделий из алюминия.

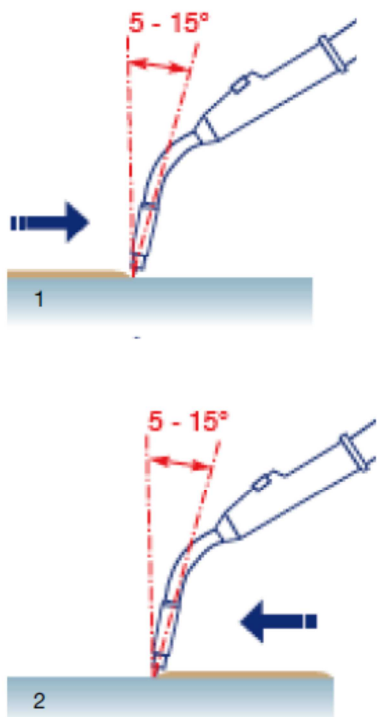


Рис.25. Сварочная горелка имеет наклон в направлении продольной оси шва. 1 – сварка углом назад. 2 – сварка углом вперед

### Скорость сварки

Скорость сварки также оказывает значительное влияние на форму шва и глубину проплавления. Если скорость сварки слишком велика для выбранного напряжения и скорости подачи проволоки, то удельное тепловложение в единицу длины шва будет недостаточным. Шов получится узким, а проплавление недостаточным. Если же скорость сварки слишком мала, то тепловложение в шов и сварочную ванну будет излишним. Из-за этого сварочная ванна будет иметь очень большие размеры, создавая вокруг себя очень широкую зону термического влияния.

### Расстояние от контактного наконечника до изделия

В процессе сварки сварщик может варьировать расстояние от контактного наконечника до точки сварки, см. рис.26, изменяя положение горелки относительно изделия. Данное расстояние необходимо сохранять неизменным в течение всего процесса сварки; иначе говоря, варьируя данное расстояние, мы оказываем влияние на величину сварочного тока, и изменяем тепловложения в изделие. Корректным считается расстояние от контактного наконечника до изделия в диапазоне от 10 до 20 мм при сварке проволокой сплошного сечения и до 25 мм при сварке порошковой проволокой.

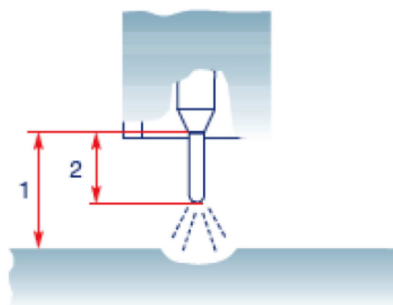


Рис.26. Расстояния:  
1 – от контактного наконечника до изделия  
2 – вылет электродной проволоки

Notes

A large rectangular area of the page is filled with a fine grid, intended for taking notes. The grid is composed of small squares and covers most of the page's width and height. The background of the entire page is a faded, yellow-tinted image of industrial machinery, including what appears to be a robotic arm or welding equipment, with the ESAB logo visible on some parts.

## **Содержание**

- Введение
- Краткое описание
- Принцип сварки
- Сварочные параметры
- Что происходит в дуге?
- Короткая дуга
- Переходная дуга
- Струйный перенос
- Короткий пульс
- Преимущества, ограничения и области применения
- Оборудование
- Источники питания
- Подающие механизмы
- Сварочные горелки и их шланг-пакеты
- Газовое оборудование
- Сварочные материалы
- Сплошная или порошковая проволока?
- Защитные газы
- Охрана труда
- Дымы и газы
- Ультрафиолетовое излучение
- Прочие факторы
- Практические рекомендации для MIG/MAG-сварки
- Подготовка кромок
- Выбор присадочной проволоки и защитного газа
- Влияние параметров сварки
- Подбор напряжения и скорости подачи проволоки
- Угол наклона горелки
- Скорость сварки
- Расстояние от контактного наконечника до изделия



**За дополнительной информацией обращайтесь в офисы ООО «ЭСАБ».**

Москва т.+7 (495) 663 20 08, ф. 663 20 09,

Санкт-Петербург т. +7 (812) 644 01 41, ф. 644 01 42,

Екатеринбург т. +7(343) 286 38 91, ф. 382 07 96,

Казань т. +7(843) 291 75 37, 291 75 48, ф. 291 75 38,

Новосибирск т./ф. +7(383) 328 13 58, моб. +7 (913) 202 70 98

Орел т./ф. +7(4862) 55 89 44, моб. +7 (919) 209 52 15,

Ростов-на-Дону т./ф. +7 (8632) 95 03 85,

Хабаровск т./ф. +7 (4212) 75 91 25, моб. +7 (914) 172 91 30

Киев т. +38 (044) 583 55 67, ф. 583 51 66,

Алматы т. +7 (727) 352 86 60, ф. 352 86 61,

Минск т. +375 (17) 328 60 49, т./ф. 328 60 50

e-mail [esab@esab.ru](mailto:esab@esab.ru) Полный список дистрибьюторов на [www.esab.ru](http://www.esab.ru)