

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ

В. Д. Горбач, докт.техн.наук, В. П. Бочкарев, В. К. Назарук
(ФГУП ЦНИИТС)

УДК 621.791.755.037-52

Перспективным направлением повышения качества сварных соединений и производительности труда при изготовлении конструкций из алюминиевых сплавов и коррозионно-стойких сталей является полуавтоматическая плазменная сварка. Однако полуавтоматы для плазменной сварки неплавящимся электродом, которые могли бы успешно заменить ручную аргодуговую сварку, отечественной промышленностью и за рубежом не выпускаются. В связи с этим в ФГУП ЦНИИТС разработан и изготовлен новый полуавтомат ППН-200 (рис. 1) для плазменной сварки и наплавки алюминиевых сплавов и коррозионно-стойких сталей малых толщин на постоянном токе прямой и обратной полярности.

Основные технические характеристики опытного образца полуавтомата ППН-200

Потребляемая мощность при номинальном рабочем токе, кВт·А (не более)	6
Номинальный рабочий ток, А	200
Продолжительность включения (ПВ), %	60
Пределы регулирования тока, А	20—200
Диаметр присадочной проволоки, мм	0,6—1,6
Пределы регулирования скорости подачи присадочной проволоки, м/ч	40—300
Диаметр кассеты, мм	до 300
Расход газа, л/мин:	
защитного	5—10
плазмообразующего	0,1—1
Масса, кг (не более):	
плазматрон	0,6
блок управления	20
насосная станция	35
источник питания	22

Новизна полуавтомата заключается в сочетании процесса высококонцентрированного ввода теплового потока в свариваемое изделие с механизированной подачей нетоковедущей сварочной проволоки и эффективной очистки поверхности металла от окисной пленки в процессе сварки и наплавки, а также в новом принципе возбуждения сварочной дуги между электродом и изделием. Это позволяет повысить качество сварных соединений, увеличить производительность труда в 1,5—2 раза, сократить трудоемкость изготовления сварных конструкций, расширить функциональные возмож-



Рис. 1. Общий вид опытного образца полуавтомата ППН-200

ности полуавтомата, построенного по модульному принципу.

В состав опытного образца полуавтомата входят следующие модули: инверторный источник сварочного тока «Master-2500», плазматрон, насосная станция охлаждения плазматрона, блок управления с механизмом подачи сварочной проволоки (рис. 2), кабели и шланги подачи защитного и плазмообразующего газа и охлаждающей жидкости. Инверторный источник относится к новому поколению современного сварочного оборудования на базе микропроцессорного управления. Входящий в состав источника блок управления MEL обеспечивает работу источника на крутопадающей внешней вольтамперной характеристике, а также возможность предварительного задания сварочного тока и его регулирования во время работы источника от местного или дистанционного

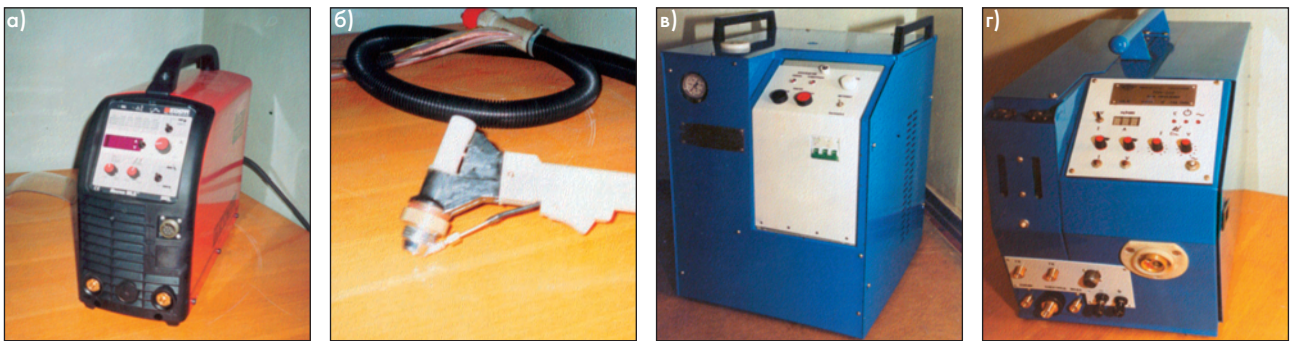


Рис. 2. Модули полуавтомата: а — инверторный источник «Master 2500»; б — плазматрон; в — насосная станция охлаждения плазматрона; г — модуль управления с механизмом подачи сварочной проволоки

регулятора, цифровую индикацию тока и напряжения сварки, регулировку динамики и тока возбуждения дуги. В источнике предусмотрены аварийные блокировки при перегреве и коротком замыкании сварочной цепи.

Технические параметры источника сварочного тока «Master-2500»

Ток сварки, А	от 10 до 350
Номинальный ток сварки, А	250
Напряжение холостого хода, В	80
КПД, %	86
Коэффициент мощности	0,95
Рабочая частота силового преобразователя, кГц	20
Масса, кг	20
Габаритные размеры, мм	500 x 180 x 390

По своим техническим параметрам «Master-2500» соответствует современному уровню и может быть использован при плазменной сварке и наплавке неплавящимся электродом алюминия, его сплавов и коррозионно-стойких сталей.

Модуль плазматрона рассчитан на токи от 20 до 200 А, расход плазмообразующего газа 0,1–1,0 л/мин, защитного — 5–10 л/мин. Масса плазматрона 0,6 кг.

Надежность системы охлаждения плазматрона повышена за счет усовершенствования гидравлической схемы насосной станции и распределения потоков жидкости, отводимых от анода и сопла плазматрона отдельно на два радиатора охлаждения. После прохождения через радиаторы вода из каждого радиатора поступает на реле контроля протока для анода и сопла, а затем сбрасывается в бак-накопитель. Новая схема позволила существенно увеличить быстродействие работы системы контроля протока воды через плазматрон, а следовательно, повысить надежность работы насосной станции.

Увеличение срока службы плазмообразующего сопла плазматрона обеспечено путем изменения конструкции торцевой части, при этом существенно снизилось его термическое сопротивление и нагрев. Стойкость защитного сопла увеличена в результате изменения конструкции крепления сопла к корпусу (улучшен контакт сопла с охлаждаемым корпусом).

Модуль плазматрона оснастил сменными электродами для сварки на прямой и обратной полярности. Для прямой полярности применяется вольфрамовая вставка, а для обратной — медь особой чистоты. В целях снижения массы и сокращения трудоемкости изготовления корпус плазматрона изготовлен из составных частей (капролон плюс тонкостенный алюминиевый корпус) взамен цельной заливки полиуретаном. Есть комплект плазмообразующего и защитного сопел для сварки стыковых и тавровых соединений толщиной от 1,5 до 6 мм. В целях повышения стойкости защитного сопла и исключения двойного дугообразования при сварке тавровых соеди-

нений защитное сопло покрыто жаростойкой силикатной эмалью.

При создании модуля блока управления обеспечено расширение функциональных возможностей полуавтомата, удобство работы с блоком управления, повышение технологичности конструкции. Функциональные возможности полуавтомата расширены за счет возбуждения малоамперной дуги между электродом и изделием и последующего нарастания тока дуги до рабочего значения. Это обеспечило повышение надежности и увеличение срока службы плазматрона, возможность предварительного задания параметров сварки и их цифровой индикации, независимого регулирования времени снижения тока и скорости подачи проволоки при заварке кратера.

Модуль блока управления имеет следующие конструктивные особенности: рабочее положение кассеты с проволокой принято вертикальным; печатные платы также расположены в вертикальной плоскости, а для удобства обслуживания к ним предусмотрен свободный доступ; плата цифровой индикации

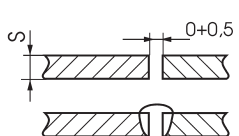
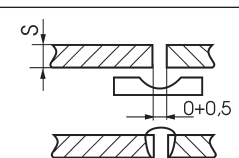
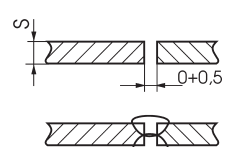
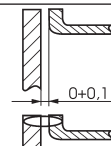
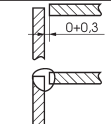
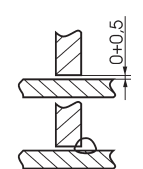
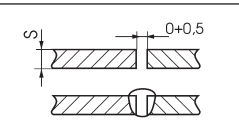
Таблица 1

Результаты испытаний сварных образцов из сплава марки АМг-61, выполненных полуавтоматом

Толщина металла, мм	Предел прочности σ , МПа		σ_{cc}/σ_{om} (среднее значение)	Место разрушения сварного соединения
	Основной металл, σ_{om}	Сварное соединение, σ_{cc}		
3	359	353	1,0	Основной металл
	353	357		
	351	356		
	351	338	0,9	Зона термического влияния
		304		
288			Шов	
5	353	313	0,94	Зона термического влияния
	356	344		
	357	348		

Таблица 2

Конструктивные элементы сварных соединений из алюминиевых сплавов и режимы плазменной сварки

Условное обозначение шва	Подготовка кромок свариваемых деталей и форма шва	Толщина, мм	Ток, А	Диаметр присадочной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Диаметр плазмобразующего сопла, мм	Расход аргона, л/мин		Примечание
							Плазма	Защита	
C2		1,5	35-40	0,8	120-150	1,8-2,0	0,3-0,4	5-6	Удаление выпуклости обратной стороны шва в соответствии с ОСТ5.9.153
		2	45-50		130-160				
		3	60-70		150-180				
		5	100-120	1,0-1,2	170-200	2,5-3,0	0,5-0,7	6-8	
		6	150-170	200-230	3,0-4,0	0,5-0,8	8-10		
C4		1,5	37-42	0,8	120-150	1,8-2,0	0,3-0,4	5-6	Для термически неупрочняемых сплавов допускается расплавление сварочной дугой выпуклости обратной стороны шва
		2	50-55		130-160				
		3	65-75		150-180				
		5	110-130	1,0-1,2	170-200	2,5-3,0	0,5-0,7	6-8	
		6	160-190	200-230	3,0-4,0	0,5-0,8	8-10		
C7		3	50-60	0,8	120-140	2,0-2,5	0,4-0,6	5-6	Перед наложением шва с обратной стороны необходимо удалить корень шва первого прохода по ОСТ5.9.153
		5	90-110	1,0-1,2	130-160	2,5-3,0	0,5-0,7	6-8	
		6	140-160		150-180	3,0-4,0	0,5-0,8	8-10	
Y1		2	35-40	0,8	100-120	1,8-2,0	0,3-0,4	5-6	—
Y4		3	50-60	0,8	110-130	2,0-2,5	0,4-0,6	8-10	—
		5	70-90		120-140	2,5-3,0	0,5-0,7	10-12	
		6	80-100	1,0-1,2	140-160	3,0-4,0	0,5-0,8		
T1		1,5	45-50	0,8	240-300	1,8-2,0	0,3-0,4	5-6	—
		2	55-60		240-300				
		3	70-80	0,8-1,0	240-300	2,0-2,5	0,4-0,6	6-8	
		5	110-130	1,0-1,2	200-240	2,5-3,0	0,4-0,6	6-8	
		6	130-150	1,2	200-240	3,0-4,0	0,5-0,8	8-10	
C2		1,5	70-90	0,6	200-250	1,8-2,5	0,3-0,5	6-8	—
		2	80-100		220-300	2,0-3,0	0,4-0,6		
		3	120-140	0,6-0,8		3,5-4,0	0,6-0,8	8-10	

размещена на лицевой панели; силовой токоподвод, шланги подачи воды и газа, трансформаторы питания и выходной трансформатор осциллятора размещены в нижней части блока управления; для удобства перемещения блока предусмотрена удлиненная (до 250 мм) ручка.

В качестве механизма подачи присадочной проволоки для опытного образца полуавтомата выбран серийный механизм SL-K250 KMAT 18/25 фирмы KEMPII. Он предназначен для подачи стальной и алюминиевой проволоки со скоро-

стью до 18 м/мин. Масса механизма вместе с двигателем составила около 2,5 кг. Понижающий редуктор выполнен на базе капроновых шестерен и практически бесшумен в работе. Механизм подачи поставляется совместно с евроразъемом сварочной горелки.

При изготовлении модуля насосной станции охлаждения плазматрона:

с целью соблюдения техники безопасности электроаппаратура сгруппирована в отдельный герметичный блок, который имеет сальники

для выхода проводов, удобен в обслуживании;

обеспечение стабильной работы гидравлической системы охлаждения плазматрона достигается использованием серийных датчиков протока, отличающихся высоким быстродействием при срабатывании системы аварийной блокировки работы насосной станции;

для уменьшения шума работы насосной станции в ее схему управления введена блокировка включения вентиляторов обдува радиаторов охлаждения при нагреве охлаждаю-

Таблица 3

Корректируемые элементы сварных соединений из коррозионно-стойкой стали и режимы плазменной сварки

Условное обозначение шва	Подготовка кромок свариваемых деталей и форма шва	Толщина, мм	Ток, А	Диаметр присадочной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Диаметр плазмобразующего сопла, мм	Расход аргона, л/мин	
							Плазма	Защита
С4		1,5	80–100	0,6	200–250	2,0–3,0	0,3–0,5	6–8
		2	90–110				0,4–0,8	
		3	130–150	0,6–0,8	220–300	3,0–4,5	0,6–1,0	8–10
		4	160–190	0,8–1,0				
С7		4	140–170	0,6–0,8	200–300	3,0–4,0	0,6–1,0	8–10
		6	160–200	0,8–1,2				
У1		2	70–90	0,6	180–250	2,5–3,0	0,3–0,5	6–8
У4		3	80–120	0,8	200–300	2,0–3,0	0,4–0,8	6–8
		5	120–150			3,0–4,0	0,8–1,0	8–10
		6	140–170					
Т1		1,5	80–110	0,6	240–300	2,0–3,0	0,5–0,8	6–8
		2	100–130	0,6–0,8		3,0–3,5	0,6–1,0	
		3	130–160			3,0–4,0		8–10

щей жидкости до температуры выше 40 °С.

При разработке технологии изготовления сварных конструкций процесс формирования рабочих режимов плазменной сварки является определяющим. Режимы сварки существенно влияют на качество и трудоемкость выпускаемой продукции. Например, одну и ту же конструкцию можно варить с разделкой кромок или без, односторонним или двухсторонним швом, с удалением проплава механическим путем и с последующей подваркой или переплавлением проплава при сварке без применения присадочной проволоки.

На режимы плазменной сварки существенно влияют применяемая технологическая оснастка, наличие ложементов и его конструкция, а также выбор схемы сварки всей конструкции. Формирование режимов сварки неплавящимся электродом при обратной полярности существенно отличается от режимов аргодуговой сварки на переменном токе с ручной или механизированной подачей присадочной проволоки. Главными параметрами являются: сварочный ток, диаметр плазмобразующего сопла, скорость подачи присадочной проволоки и ее диаметр, расход плазмобразующего и защитного газа.

Для определения режимов плазменной сварки использовали опытный образец полуавтомата ППН-200, сборочно-сварочные приспособления, обеспечивающие сварку на подкладке из коррозионно-стойкой стали и без нее алюминиевых сплавов, меди, коррозионно-стойких сталей. Сварочные материалы применяли следующие: алюминиево-магниевый сплав марки 1561 (АМг-61) толщиной 2, 3, 5 и 6 мм, сварочную про-

волоку марки ОК18.22 фирмы ЭСАБ. При сварке коррозионно-стойких сталей использовали сталь марки 12Х18Н10Т и проволоку марки 04Х19Н11МЗ фирмы Elga.

В качестве защитного и плазмобразующего газа использовали аргон высшего сорта по ГОСТ 10157. Сварку выполняли на образцах длиной 200 мм. По типу соединений применяли стыковые, угловые и тавровые. Сварка осуществля-

Таблица 4

Режимы механизированной плазменной наплавки алюминиевых сплавов

Ток, А	Диаметр присадочной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Диаметр плазмобразующего сопла, мм	Расход аргона, л/мин	
				Плазма	Защита
60–75	0,8	150–200	3,0–3,5	0,5–0,8	6–8
90–130	1,0–1,2	180–250	4,0–4,5		8–10
120–180	1,2–1,4	200–300	4,5–5,0	0,8–1,0	

Таблица 5

Режимы механизированной плазменной наплавки коррозионно-стойких сталей

Ток, А	Диаметр присадочной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Диаметр плазмобразующего сопла, мм	Расход аргона, л/мин	
				Плазма	Защита
80–120	0,6–0,8	150–180	3,0–3,5	0,5–0,8	6–8
120–160	0,8	170–220	4,0–4,5		8–10
150–200	0,8–1,0	200–260	4,5–5,0	0,8–1,0	

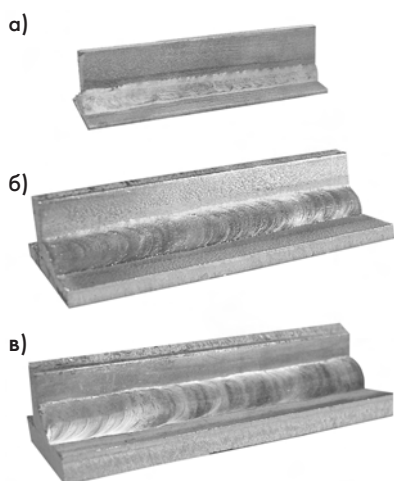


Рис. 3. Внешний вид сварных тавровых соединений из сплава АМг-61 толщиной: а — (1,5+1,5) мм; б — (3+3) мм; в — (5+5) мм

лась углом вперед или назад при сварке стыковых соединений и углом назад при сварке тавровых и угловых соединений. Плазматрон охлаждался автономно (общий расход воды 3—3,2 л/мин). Сварку образцов толщиной от 1,5 до 6 мм проводили при силе сварочного тока 35—200 А, скорости подачи проволоки 100—300 м/ч, диаметре плазмообразующего сопла 2,8—5 мм, расходе плазмообразующего газа 0,3—1,0 л/мин, защитного газа 5—10 л/мин. Сварку образцов из алюминиевого сплава выполняли на обратной полярности, коррозионно-стойкой стали — на прямой. Качество сварных соединений проверяли внешним осмотром (измеряли размеры сечения шва, определяли качество защиты шва от окисления и деформации образца), применением радиографического и металлографического контроля, проведением механических испытаний на растяжение и изгиб (табл. 1).

Данные испытаний показывают, что стыковые соединения из сплава АМг-61 удовлетворяют требованиям

ОСТ5Р9153, предел прочности сварных соединений составляет 0,90—0,97 предела прочности основного металла. При испытании на изгиб все образцы с качественным проваром корня шва имели угол загиба 180°.

Конструктивные элементы сварных соединений и режимы плазменной механизированной сварки неплавящимся электродом приведены в табл. 2, 3.

Рабочие режимы плазменной наплавки отработывались на плоских образцах, причем на обратной полярности для всех материалов. Параметры плазменной наплавки не отличаются от плазменной сварки, но их значения имеют отличия. Плазменная наплавка выполняется дугой с меньшей плотностью тока, что позволяет проводить наплавку при минимальном перемешивании наплавленного материала с основным металлом. В целях уменьшения плотности тока применяли плазмообразующие сопла с большим диаметром центрального отверстия, чем при сварке.

При наплавке образец нагревается до более высоких температур, чем при сварке, в связи со значительным увеличением наплавленного материала на единицу площади. Чтобы не допустить окисления поверхности предыдущего наплавленного валика, увеличивали расход защитного газа или применяли дополнительный обдув защитным газом в зависимости от конфигурации образца (изделия). Кроме того, процесс наплавки на обратной полярности позволяет очищать поверхность предыдущего валика от окисления за счет разрушения окисной пленки отрицательно заряженными частицами. Такая очистка обеспечивает высокую смачиваемость наплавленного материала и в случае перекрытия наплавливаемых валиков до 30% получается поверхность без «западания» между швами.



Рис. 4. Образцы механизированной плазменной наплавки: а — сплава АМг-61; б — стали 12Х18Н10Т

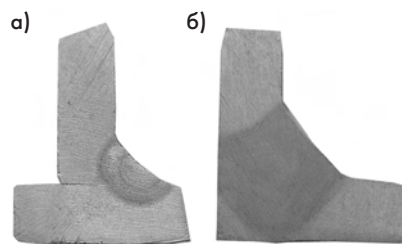


Рис. 5. Макрошлифы тавровых соединений с конструктивным непроваром (а) и сквозным проплавлением (б), материал АМг-61 толщиной 5 мм

Рабочие режимы (табл. 4, 5) отработывали по следующей схеме. Первоначально выбирали сварочный ток в зависимости от толщины и конфигурации изделия, а затем для данного тока устанавливали остальные параметры. Образцы, выполняемые механизированной плазменной сваркой и наплавкой, показаны на рис. 3—5.

Заключение. 1. Изготовлен полуавтомат для механизированной плазменной сварки и наплавки неплавящимся электродом на постоянном токе прямой и обратной полярности тонколистовых конструкций из алюминиевых сплавов и коррозионно-стойких сталей, позволяющий выполнять стыковые, угловые, нахлесточные и тавровые соединения во всех пространственных положениях.

2. Новизной разработанного полуавтомата является сочетание высококонцентрированного ввода теплового потока в свариваемое изделие с механизированной подачей нетоковедущей сварочной проволоки и эффективной очистки поверхности металла от окисной пленки в процессе сварки и наплавки, а также принцип возбуждения сварочной дуги между электродом и изделием. Это позволяет повысить качество сварных соединений, увеличить производительность труда, сократить трудоемкость изготовления сварных конструкций, расширить функциональные возможности полуавтомата.

3. Отработаны рабочие режимы полуавтоматической плазменной сварки и наплавки тонколистовых конструкций для стыковых, угловых и тавровых соединений, на основании которых выпущен руководящий документ РД5Р ГКЛИ 3220-070—2005 «Конструкции из алюминиевых сплавов и коррозионно-стойких сталей толщиной от 1,5 до 6 мм. Типовой технологический процесс механизированной сварки и наплавки».