

## СПОСОБЫ СВАРКИ СВАРКА ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ

Сварка плазменной дугой находит все более широкое применение в различных отраслях техники.

Плазменная дуга характеризуется весьма высокой температурой (до 30 000° С) и широким диапазоном регулирования ее технологических свойств [10].

По сравнению с аргоно-дуговой сваркой в связи с более высокой проплавляющей способностью плазменная сварка обладает следующими преимуществами: повышенная производительность, меньшая величина зоны термического влияния, более низкие деформации при сварке, пониженный расход защитных газов, более высокая стабильность горения малоамперной дуги и меньшая чувствительность качества шва к изменению длины дуги.

Для получения плазменной дуги служит устройство, называемое плазмотроном. Существует два типа плазмотронов — с дугой прямого (рис. 126, а) и с дугой косвенного действия (рис. 126, б).

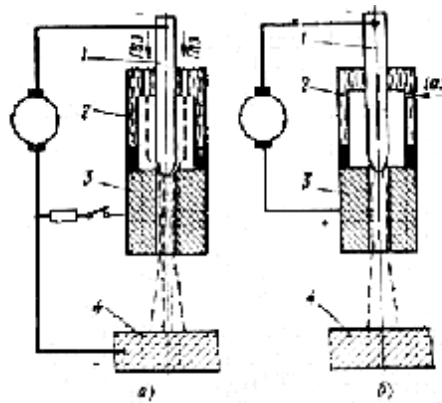


Рис. 126. Схемы устройства плазмотронов: а — с дугой прямого действия; б — с дугой косвенного действия

В плазмотронах прямого действия плазменная дуга создается между стержневым (как правило, вольфрамовым) электродом 1, вмонтированным в газовую камеру 2, и свариваемым изделием 4.

Сопло 3 электрически нейтрально и служит для сжатия и стабилизации дуги.

В плазмотронах косвенного действия плазменная дуга создается между электродом 1 и соплом 3.

Для плазменной сварки обычно применяют плазмотроны с дугой прямого действия.

Сжатие столба дуги происходит следующим образом: рабочий газ, проходящий через столб дуги, нагревается, ионизируется и выходит из сопла плазмотрона в виде плазменной струи.

Плазменная струя дуги прямого действия имеет почти цилиндрическую форму, немного расширяющуюся к изделию (рис. 127, а).

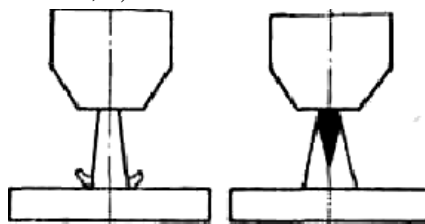


Рис. 127. Внешний вид: а (слева) - плазменной струи, совмещенной со столбом дуги прямого действия; б (справа) - плазменной струи, выделенной из столба косвенного действия.

Плазменная дуга косвенного действия имеет форму ярко выраженного конуса с вершиной, обращенной к изделию и окруженной факелом (рис. 127, б).

Слой газа, омывающий столб дуги снаружи, остается относительно холодным, образуя тепловую и электрическую изоляцию между плазменной дугой и каналом сопла. Плотность тока дуги в плазмотронах достигает до  $100 \text{ А/мм}^2$ , а температура  $15\,000\text{—}30\,000^\circ \text{С}$ .

Плазменная струя, истекающая из плазмотрона с дугой прямого действия, совмещена со столбом дуги в отличие от плазмотронов с дугой косвенного действия и поэтому характеризуется более высокой температурой и тепловой мощностью.

Процесс возбуждения дуги непосредственно между электродом и изделием осуществить очень трудно. В связи с этим вначале возбуждается дуга между электродом и соплом (дежурная), а затем при касании ее факела изделия происходит автоматическое зажигание основной дуги между электродом и изделием.

Дежурная дуга при устойчивом процессе горения основной отключается. Дежурная дуга обычно питается от того же источника, что и основная, через токоограничивающее сопротивление.

В плазмотронах с дугой прямого действия в изделие вводится дополнительное тепло за счет электронного тока и к. п. д. их значительно выше, чем у плазмотронов с дугой косвенного действия. В связи с этим плазмотроны с дугой прямого действия целесообразно применять для сварки, резки, наплавки, а плазмотроны с дугой косвенного действия — для напыления, нагрева и т. п.

Плазменная дуга может быть широко использована: при сварке тонколистового материала толщиной менее 1 мм, включая тугоплавкие металлы, при сварке металлов с неметаллами, для наплавки и нанесения покрытий путем расплавления электродной или дополнительно подаваемой в дугу присадочной проволоки, для пайки, для разделительной резки и поверхностной обработки различных материалов.

Режимы сварки плазменной дугой приведены в табл. 152 [4, 10]

152. Режимы сварки плазменной дугой

Марка материала	Толщина листов, мм	Скорость сварки, м/ч	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Расход газа, л/мин
0X18H10T	1,0	40	65	22	0,3 —0,5
АМг-6	3	50	120 150 220 300 350 380	16	2-3
	4	30		18	3-4 4-5
	5				
	6				
	7	25		20	5-6
	8				

Технические характеристики горелок для выполнения сварки плазменной дугой конструкции института металлургии им. А. А. Байкона АН СССР приведены в табл. 153.

153. Характеристика плазменных головок ИМЕТ

Тип и варианты исполнения	Мощность, кВт	Максимальная сила тока, А		Диаметр, мм			Длина канала сопла, мм	Углубление, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Основные области применения
		С раздельным соплом и каналом *	С совмещенным соплом и каналом**	Электрод	Сопло	Канал					
ИМЕТ-104 для автоматической работы	15	180	300	2—6	1,5-5	4—8	4 — 10	15-30	50X240	0,6	Сварка, резка
ИМЕТ-105 для автоматической работы	25	250	500	4-8	3—10	6—10	5 — 10	15-27	60X220	1,4	Нанесение покрытий, резка, наплавка
ИМЕТ-106 для ручной и автоматической работы	15	-	300	4—6	3-5	-	6 — 8	10-12	50X110	0,35	Резка
* Со струей, выделенной из столба дуги. ** Со струей, выделенной или совпадающей со столбом дуги.											

Технические характеристики выпускаемой серийно аппаратуры для плазменной сварки даны в табл. 154.

154. Аппаратура для плазменной сварки

Установка и назначение	Напряжение холостого хода, В	Номинальная сила сварочного тока, А	Предел регулирования силы тока, А	Потребная мощность, кВт	Масса, кг	Завод-изготовитель
УПСР-300-2, разработана ВНИИЭ-СО, предназначена для сварки нержавеющей и малоуглеродистых сталей толщиной 1—5 мм	65	300	30-300	-	18	Завод «Электрик»
АП-4 * (источник питания), разработан ИЭС имени Е. О. Патона ЛИ УССР, предназначен для сварки различных металлов и сплавов толщиной от десятков микрон до нескольких миллиметров	40	30	1—30	1.2	55	Симферопольский Электромашиностроительный завод
АП-5 *, назначение такое же, как и у АП-4	40	100	5 — 100	4,0	150	То же
А-1255, разработана ИЭС имени Е. О. Патона АН УССР, предназначена для микроплазменной сварки металлов и сплавов толщиной до 1 мм	55	10	1-10	0,8	54	Опытный завод ИЭС имени Е. О. Патона
А-1326, назначение такое же, как и у А-1255	80	30	1-30	2,5	150	

\* При дополнительном комплектовании плазмотронами.

Примечания: 1. Напряжение питающей сети 380 В.

2. Диаметр вольфрамового электрода установки УПСР-300-2 2 — 3 мм.

3. Пределы регулирования импульса тока и паузы для установок АП-4 и АП-5 0,03 — 0,6 с.

4. Время гашения дуги установок АП-4 и АП-5 1 — 10 с.

## ЭЛЕКТРОННО\_ЛУЧЕВАЯ СВАРКА

Этот способ сварки основан на использовании энергии, высвобождаемой при торможении потока ускоренных электронов в свариваемых материалах [6]. Преобразование кинетической энергии в тепловую характеризуется высоким к. п. д.

Преимущества электронно-лучевой сварки: отсутствие окисления расплавленного металла и гарантированное высокое качество сварного соединения, возможность сварки тугоплавких металлов, большая скорость сварки, не уступающая дуговой сварке.

Схема установки для электронно-лучевой сварки показана на рис. 128.

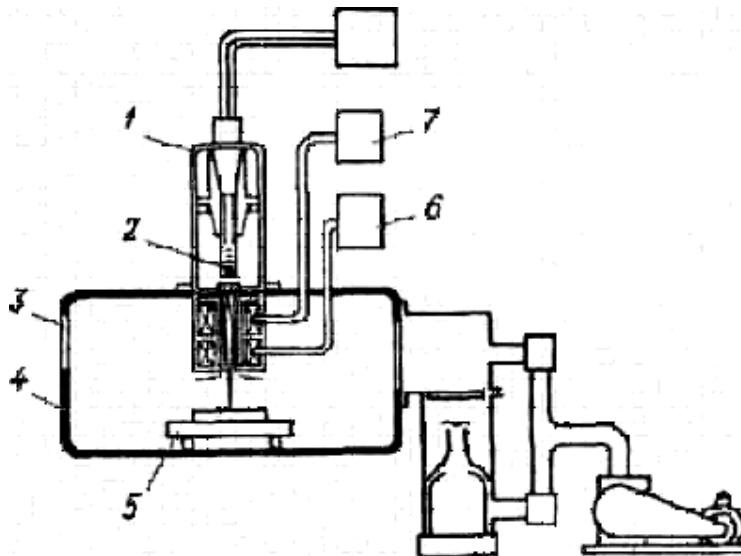


Рис. 128. Схема установки для электронно-лучевой сварки

Она включает следующие основные элементы: электронно-лучевую сварочную пушку 1 с системами управления и электропитания, формирующую поток электронов, электроны могут быть ускорены до энергии 20—30 кэВ (низковольтные пушки), 30—100 кэВ (пушки с промежуточным ускоряющим напряжением), 100—200 кэВ (высоковольтные пушки), вакуумную камеру 4 с люками загрузки и выгрузки деталей, механизмами перемещения свариваемых деталей 5 и со смотровыми окнами 3, вакуумную систему, обеспечивающую при сварке в рабочем объеме камеры разрежение  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  мм рт. ст.

Поток электронов, эмитируемых катодом, формируется предварительно электростатическим полем в области катод—анод.

Регулировка величины тока луча производится путем подачи отрицательного напряжения на управляющий (прикатодный) электрод 2.

Величина удельной энергии, высвобождаемой в месте бомбардировки металла потоком электронов, может изменяться с помощью системы электромагнитной фокусировки луча 7.

Для совмещения пятна нагрева со сварным стыком при отклонении последнего от геометрической оси пушки или при сварке по сложному контуру служит система электромагнитного отклонения луча 6.

Электронно-лучевые пушки изготовляют стационарными или перемещаемыми внутри вакуумной камеры. Размеры вакуумной камеры определяют габариты свариваемого изделия. Установки для сварки изделий малых и средних габаритов, как правило, снабжают специальными механизмами для перемещения изделий.

Электронным лучом можно сваривать вольфрам, молибден и другие тугоплавкие металлы, которые обычными методами не свариваются.

Режимы электронно-лучевой сварки встык без разделки кромок приведены в табл. 155.

155. Режимы электронно-лучевой сварки некоторых металлов

Материал	Толщина, мм	Режим сварки			Прибли- зитель- ная ширина шва, мм
		Ускоряю- щее напряже- ние, к В	Сила тока луча, мА	Скорость сварки, м/ч	
Вольфрам	0,5	18 — 20	40—50	60	1,0
	1,0	20—22	75 — 80	50	1,5
Тантал	0,5	18 — 20	30—40	60—75	1,0
	1,0	20—22	50	50	1,5
Молибден	1,0	18—20	60 — 80	60—75	3,0
	2,0	20—22	130—150	50	
Ниобий	1,0	18 — 20	50	60	
Медь	1,0	18 — 20	100—120	60 — 70	
Титан ВТЗ-1	1,0	18-20	50—60	60—80	
Константан	1,5	18 — 20	50-60	50—70	1,5
Сталь Х18Н9Т	1,5	18 — 20	50—60	60 — 70	
	10	18—20	50—60	50	
	20	20—22	240 270	50	
	35	20—22	600	20	
Молибден и вольфрам	0,5+0,5	18 — 20	45-50	35—50	1,0
Бронза Бр.Х0,8 и титан ВТЗ-1	1 + 1	18 — 20	90—100	50-60	1,5
Молибден и нио- бий	1 + 1	18-20	60 — 65	60	

Технические характеристики отечественных и зарубежных установок для электронно-лучевой сварки даны в табл. 156.

156. Универсальные установки для электронно-лучевой сварки мелких и средних изделий

Тип установки	Назначение	Габаритные размеры вакуумной камеры, мм	Параметры пушки и источника питания *	Изготовитель
ЭЛУ-4	Универсальная установка	$\varnothing 700$ , $l \approx 1200$	$\frac{60}{35}$	Тбилисский завод «Электросварка» им. Патона
У-3М2	Многопозиционная установка для сварки продольных и кольцевых швов на изделиях длиной 250 мм и диаметром 70 мм	$\varnothing 529$ , $l \approx 1000$	$\frac{25}{500}$	Киевский завод порционных автоматов имени Ф. Э. Дзержинского
А.306.02	Универсальная установка для сварки изделий электронной техники	$500 \times 500 \times 500$	$\frac{20}{150}$	Электропромышленность СССР
А.306.05		$500 \times 500 \times 500$	$\frac{25}{200}$	
У-74	Специализированная установка для сварки труб с трубными досками	$\varnothing 800$ , $l \approx 1000$	$\frac{40}{75}$	Опытный завод ИЭС имени Е. О. Патона
У-101	Специализированная установка для сварки труб большой длины встык и вварки пробок в трубы	$500 \times 500 \times 500$	$\frac{25}{500}$	

Тип установки	Назначение	Габаритные размеры вакуумной камеры, мм	Параметры пушки и источника питания *	Изготовитель
443	Универсальная промышленная установка	550×550× ×550	$\frac{40}{50}$	Фирма Снаки
456		1200×500× ×750	$\frac{30}{350}$	
УХ-20-30-48		—	$\frac{30}{350}$	
2410		Ø 760, l ≈ 1070	$\frac{30}{200}$	США
ЕВ-2		Ø 550, l ≈ 600	$\frac{20}{150}$	
JEVW-2B	Универсальная установка лабораторного типа	Ø 550, l ≈ 660	$\frac{25}{30}$	Япония
JEVW-2C		Ø 800, l ≈ 1200	$\frac{25}{100}$	
JEVW-3A		400×400× ×400	$\frac{25}{30}$	
JEVW-4A	Специализированная установка для сварки пакетов из листов 300× ×1000×200 мм	800×800× ×800	$\frac{30^{**}}{500}$	
JEVW-5B	Специализированная установка для сварки пакетов из листов 1500× ×3000×300 мм	6000×4450× ×1200	$\frac{50^{**}}{500}$	

\* В числителе указано ускоряющее напряжение в кВ, в знаменателе — сила тока пучка в мА.  
\*\* Две пушки.

### СВАРКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Ультразвук — это волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц твердых тел, жидкостей, газов, происходящее с частотой более 16—20 кГц.

Сущность процесса ультразвуковой сварки состоит в том, что при приложении колебаний высокой частоты к свариваемым деталям в них возникают касательные напряжения, вызывающие пластические деформации материала свариваемых поверхностей [9].

В результате механических колебаний в месте соединения металла развивается повышенная температура, зависящая от свойств свариваемого материала. Эта температура способствует возникновению пластического состояния материалов и их соединению. В местах сварки образуются совместные кристаллы, обеспечивающие прочность сварного соединения.

Длительность процесса сварки исчисляется для деталей малой толщины долями секунды. Схема установки, разработанной МВТУ и МЭИ, для получения точечных соединений



ультразвуком показана на рис. 129.

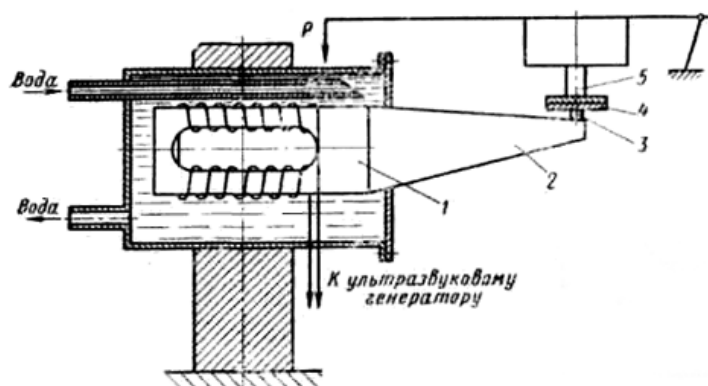


Рис. 129. Схема сварки с использованием ультразвука: 1 – вибратор, 2 – волновод, 3 – выступ, 4 – свариваемое изделие, 5 – зажим.

Вибратор 1, обмотка которого питается током высокой частоты, изготовлен из пирмендюра и охлаждается водой. Вибратор служит для преобразования тока высокой частоты в механические колебания, которые передаются на волновод 2, являющийся одновременно усилителем-концентратором механических колебаний.

На конце волновода имеется выступ 3, который служит одним из электродов. При сварке деталь 4 зажимают между выступом 3 волновода и подвижным зажимом 5, через который передается на деталь необходимое для сварки давление. Сварка происходит в момент включения электрического тока высокой частоты на обмотку вибратора.

Сварка ультразвуком по сравнению с другими видами сварки имеет ряд преимуществ:

не происходит нагрева значительных объемов металла до температуры плавления или близких к ней. В связи с этим сварка ультразвуком незначительно изменяет физико-химические свойства металла;

для получения сварного соединения требуется малая электрическая мощность;

возможность производить сварку плакированных и оксидированных поверхностей, так как при этом способе сварки пластические деформации происходят лишь в тонком слое у поверхности соприкосновения соединяемых деталей, способствующих разрушению хрупких окисных и других имеющихся здесь пленок. Не требуется тщательная подготовка поверхностей свариваемых деталей, обычно ограничиваются их обезжириванием.

Этот способ можно применять как для сварки двух листов малой толщины, так и для пакетной сварки, сварки разнородных металлов (нержавеющих сталей с алюминием, меди с алюминием и др.), деталей малой и большой толщины, трудносвариваемых металлов (молибдена, вольфрама, тантала, циркония и др.), а также для сварки пластмасс.

Экспериментально установлено, что прочность соединения, выполненного сваркой ультразвуком, во многих случаях превосходит прочность соединения, полученного контактной сваркой.

Рекомендуемые режимы сварки алюминия и его сплавов, меди, титана и его сплавов, циркония приведены в табл. 157.

## 157. Режимы ультразвуковой сварки некоторых металлов и их сплавов

Марка материала	Толщина, мм	Параметры режима			Материалы накопечника	Твердость материала накопечника HB
		Контактное усилие	Время сварки, с	Амплитуда колебаний, мкм		
Алюминий и его сплавы						
Al	0,3—0,7 0,8—1,2 1,3—1,5	20—30 35—50 50—70	0,5—1,0 1,0—1,5 1,5—2,0	14—16	Сталь 45	160—180
Д1АМ	0,3—0,7	30—60	0,5—1,0			
АМ16	0,3—0,5	30—50	1,0—1,5	17—19 22—24		
АМ13	0,6—0,8	60—80	0,5—1,0			
Д16АМ	0,3—0,7	30—60	0,5—1,0	18—20		
	0,8—1,0	70—80	1,0—1,5			
	1,1—1,3	90—100	2,0—2,5			
	1,4—1,6	110—120	2,5—3,5			
Д16АТ	0,3—0,7	50—80	1,0—2,0	20—22	Сталь ШХ15	330—350
	0,8—1,0	90—110	2,0—2,5			
	1,1—1,3	110—120	2,5—3,0			
	1,4—1,6	130—160	3,0—4,0			
Д16АТ анодированный	0,4	50	1,0	22—24		
	0,6	60	1,25			
	1,8	80	1,0	24—26		
	1,0	100	2,0			
Медь						
М1	0,3—0,6	30—70	1,5—2,0	16—20	Сталь 45	160—180
	0,7—1,0	80—100	2,0—3,0			
	1,1—1,3	100—130	3,0—4,0			
Титан и его сплавы						
АТ3	0,2	40	0,3	16—18	Накопечник с твердой наплавкой	60 *
АТ3 АТ4	0,25 0,65	80	0,25	22—24		
АТ4	0,25 0,5	40 60	1,0	16—18 18—20		20 60 *
	0,5	80	0,5	20—22		
ВТ1	0,8	90	1,5	22—24	20	
	1,0	120		18—20		
	0,5 0,5—0,5	90	0,25	23—25	20	

Примечание. Радиус сферы накопечника при сварке алюминия и его сплавов, титана и его сплавов и циркония равен 10 мм, а при сварке меди — 10—15 мм.

\* Твердость HRC.

При сварке сталей различных толщин колебания вводят со стороны более тонкой детали. Технические характеристики установок для выполнения сварки ультразвуком приведены в табл. 158.

158. Установки для ультразвуковой сварки

Параметры	УЗСМ-1	УЗСМ-2	УЗСМ-3	УТ-4	УЗТШ-1	НО20-019	МТУ-0,4	МТУ-1,5	МТУ-4
Мощность магнитострикционного ультразвукового преобразователя, кВт . . . . .	2,5—4,0	2,5—4,0	1,0	4,0	4,0	0,5	0,4	1,5	4,0
Рабочая частота, кГц . . . . .	19,5	19,5	22	20	20	14—19	24,5	22,1	18
Наибольшая толщина свариваемой детали, мм . . . . .	1,5 *1	—	—	—	—	1,0 **	0,2	0,5 **	1,2
Пределы регулирования контактного усилия, кгс . . . . .	20—200	20—140	5—20	5—200	10—200	2—40	8—60	15—150	50—550
Пределы регулирования времени сварки, с . . . . .	0,1—4,0	—	—	0,1—2,0	0,2—8	0,2—5,7	—	—	—
Род привода, создающего контактное усилие . . . . .	Пневматический	Рычажно-механический	Рычажный	Рычажно-механический	Пневматический	Рычажно-механический	Пневматический		
Скорость сварки, м/ч . . . . .	—	4,5—150	—	—	4,5—145	—	—	—	—
Габаритные размеры в мм:									
высота . . . . .	1250	1320	150	1020	1440	1300	1200	1400	1400
ширина . . . . .	430	490	150	635	570	670	450	500	500
длина . . . . .	670	950	750	680	745	1000	610	650	650
Масса, кг . . . . .	120	200	8	70	240	105	60	82	105
Источник питания (генератор) . . . . .	УЗГ-2,5 или УЗГ-5	УЗГ-2,5	УЗГ-5 или ГУЗ-56	А624-12	УМ-1-0,4	УЗМ-1,5	УМЗ-10		

\*1 По алюминию.  
\*2 По вольфраму.  
\*3 По меди.

## ДИФфуЗИОННАЯ СВАРКА В ВАКУУМЕ

Способ сварки основан на диффузионном соединении материалов в вакууме без их расплавления [4, 8]. Образование подобного соединения объясняется возникновением металлических связей за счет локальной пластической деформации при повышенной температуре, значительным сближением поверхностей, а также взаимной диффузией в поверхностных слоях контактирующих материалов.

Диффузионная сварка в вакууме по сравнению с другими способами имеет следующие преимущества: дает возможность соединять разнородные материалы без каких-либо особых трудностей, позволяет выполнять соединения из очень тонких элементов в сочетании с элементами значительной толщины, обеспечивает равнопрочность основного металла и сварного соединения, позволяет соединить любые материалы, изготовленные стандартными методами, в процессе сварки отсутствует плавление металла, что исключает влияние на сварное соединение целого ряда неблагоприятных металлургических явлений, удешевляет конструкцию (в частности, за счет отсутствия флюсов, припоев и т. п.).

Процесс сварки с помощью диффузионного соединения условно подразделяют на две стадии.

На первой стадии происходит нагрев материалов до высокой температуры и приложение давления, что вызывает пластическое течение микровыступов, разрушение и удаление различных пленок на контактирующих поверхностях. При этом образуются многочисленные участки непосредственного металлического контакта (металлические связи).

На второй стадии происходит ликвидация оставшихся микро-несплошностей и образование объемной зоны взаимного соединения под действием процессов диффузии.

Для получения соединения материалов с помощью диффузионной сварки с технологической

точки зрения необходимо выполнить следующие операции: очистить соединяемые поверхности (лучше всего металлической щеткой) и устранить возможность дальнейшего их окисления, приложить сжимающее усилие, нагреть соединяемые детали, обеспечив выдержку их при заданной температуре.

С помощью диффузионной сварки в вакууме можно соединять однородные и разнородные черные, цветные металлы и сплавы, а также металлокерамические изделия с металлами. Оптимальные режимы диффузионной сварки некоторых металлов и сплавов приведены в табл. 159.

159. Режимы диффузионной сварки некоторых металлов и сплавов

Материал	Температура сварки, К	Удельное давление, кгс/мм <sup>2</sup>	Время сварки, мин	Температура плавления, К	$T/T_{пл}$
<i>Алюминий и его сплавы</i>					
Алюминий АД1 + ковар Н29К18А . . .	723	0,1—0,2	5	913	0,7
Силумин Д1 + сталь 38ХН10А . . . . .	643	0,2	10	776	0,8
Алюминий АД1 + медь М1 . . . . .	723	0,3	8	913	0,7
Сплав АМг6 + сплав АМг6 . . . . .	773	0,2	10	883	0,87
<i>Медь и ее сплавы</i>					
Медь М1 + медь М1	1153	0,56	8	1356	0,84
Медь М1 + ковар Н29К18А . . . . .	1123	0,3	10	1356	0,83
Медь М1 + сталь 45	1123	0,5	10	1356	0,83
Медь МБ + молибден М2—1 . . . . .	1173	0,5	15	1356	0,86
<i>Прочие металлы</i>					
Сталь 45 + сталь 45	1273	1,2	5	1623	0,78
Никобий + никобий . .	1573	1,5	10	2743	0,57
Молибден + никобий	1673	1	20	2743	0,61
Молибден + молибден	1873	1	20	2898	0,64
Вольфрам + вольфрам	2273	1	20	3683	0,62
Молибден + вольфрам	2173	2	30	2898	0,75
Вольфрам + рений + молибден . . . . .	2173	2	30	2898	0,75

Для выполнения диффузионной сварки разработано более 40 типов сварочных диффузионных вакуумных установок (СДВУ).

Сварочные диффузионные вакуумные установки состоят из следующих основных узлов: вакуумной системы для обеспечения вакуума в рабочей камере, системы для создания давления на соединяемые детали, системы для подъема и опускания камеры, электросистемы и системы автоматизации (привод и управление узлами установки).

Технические характеристики сварочных диффузионных вакуумных установок приведены в табл. 160.

## 160. Установки диффузионной сварки в вакууме\*4

Установка и назначение	Количество камер (число позиций)	Размеры рабочего пространства, мм	Максимальная температура, °C	Диапазон рабочих усилий, кгс	Степень разрежения в рабочей камере, мм рт. ст.	Габаритные размеры установки без источника нагрева, мм	Источник нагрева (тип высокочастотного генератора)	Проектирующая организация, калькулятор
СДВУ-4М, многопозиционная сварочная установка для сварки резцов, угольников, магнитов и т. д.	1 (12)	619×364×186	1200	25—480	$10^{-4}$ $10^{-3}$	1610×1070×1775	ЛЗ-67	ПНИЛДСВ
СДВУ-6, лабораторная сварочная установка	1	360×315×270	1200	20—1200	$5 \cdot 10^{-4}$	850×660×1760	ЛЗ-13	
СДВУ-15-1, для сварки различных деталей из металлов и неметаллов	1 (1)	Ø 350; H=500 (Ø 250; H=350)*1	1500	13,5—16 800	$10^{-4}$	1050×830×2305	ЛЗ-67	
СДВУ-15-2	2 *	320×345×500	1500	450—21 000	$2 \cdot 10^{-4}$	2350×970×2335	ЛЗ-67	
СДВУ-12, полуавтоматическая установка для сварки металлов, сплавов и неметаллов	1 (2)	Ø 50; H=100	1100	350—500**	$5 \cdot 10^{-4}$	1270×720×1400	ЛЗ-13	
СДВУ-30, для сварки крупногабаритных изделий	1	Ø 460; H=430	1900	35 000	$10^{-4}$ — $5 \cdot 10^{-4}$	6100×1200×3350	ЛЗ-107	

Установка и назначение	Количество камер (число позиций)	Размеры рабочего пространства, мм	Максимальная температура, °C	Диапазон рабочих усилий, кгс	Степень разрежения в рабочей камере, мм рт. ст.	Габаритные размеры установки без источника нагрева, мм	Источник нагрева (тип высокочастотного генератора)	Проектирующая организация, калькулятор
СДВУ-7, многопозиционная установка для сварки высокопрочного конструктива	(1) (8)	Ø 26—36; L 165—340	1400	950—8000**	$10^{-4}$ — $10^{-3}$	1700×1100×1610	ПТВ 102/3600 на 100 кВт	Московский завод «Бросс»
СДВУ-24, для сварки тугоплавких материалов	1 (2)	Ø 185; H=155	—	—	$5 \cdot 10^{-4}$ — $1 \cdot 10^{-3}$	350×680×1440	—	ПНИЛДСВ
ТОР-39, многопозиционная установка для сварки пластин твердого сплава с чистотой микрон и ситкой микрометрии	1 (2)	—	—	550—8520	$10^{-4}$	—	ЛЗ-2-87	Московский инструментальный завод «Калейда»
УДСВ-ЖС-2, универсальная установка для сварки металлов и сплавов	1 (1)	D < 800; L < 360	—	16 000	(2+1) $10^{-4}$	1360×850×3000	—	г. Москва
УДСВ-ЛТ, для сварки газовых турбин	1 (1)	H=300; площадь S=1600 см <sup>2</sup>	—	4 350	$10^{-4}$	1400×900×1840	ЛЗ-67	г. Нижний Новгород, Никольский кораблестроительный институт
СЖМС 327000	1 (1)	Ø 150; H=180	1100	50—10 000	$2 \cdot 10^{-4}$ — $5 \cdot 10^{-3}$	1550×1000×2110	150 800 Вт на 25 кВт	—

Установка и назначение	Количество камер (число позиций)	Размеры рабочего пространства, мм	Максимальная температура, °C	Диапазон рабочих условий, кгс	Степень разрежения в рабочей камере, мм рт. ст.	Габаритные размеры установки без источника нагрева, мм	Источник нагрева (тип высокотемпературного генератора)	Проектирующая организация, калыкодержатель
A306-10	1 (1)	$\varnothing 80$ ; $H=100$	1300	5—500	$2 \cdot 10^{-4} +$ $+5 \cdot 10^{-3}$	1530×1440× ×2010	—	—
A306-11, для сварки металлоконструкций в среде защитных газов (водорода)	1 (1)	$\varnothing 80$ ; $H=100$	1300	100—10 000	Водород $p=0,04$ ат, азот $p=$ $=0,06 +$ $+0,08$ ат для продувки	1655×1400× ×2050	—	—
A306-20, для сварки металлических узлов в вакууме и металло-керамических узлов в водороде	1 (1)	$\varnothing 120$ ; $H=180$	1100	100—10 000	$2 \cdot 10^{-4} +$ $+5 \cdot 10^{-3}$ водород и азот для продувки	2570×1500× ×2100	A-624.25 на 25 кВт	—
СДВУ-32, полуавтоматическая установка для сварки металлов и неметаллических материалов	1 (1)	$L=320$ ; $B=345$ ; $H=500$ (300×250× ×400)	—	248—9 050	$5 \cdot 10^{-4}$	1050×830× ×2305	Л32-67	ПНИЛДСВ
18; установка для плавления диффузионной сварки, термической обработки и очистки металлов в тлеющем разряде	1 (1)	—	2660	≤1000	$5 \cdot 10^{-4}$ до 1 атм	—	—	—

Установка и назначение	Количество камер (число позиций)	Размеры рабочего пространства, мм	Максимальная температура, °C	Диапазон рабочих условий, кгс	Степень разрежения в рабочей камере, мм рт. ст.	Габаритные размеры установки без источника нагрева, мм	Источник нагрева (тип высокотемпературного генератора)	Проектирующая организация, калыкодержатель
СДВУ-17 (АЛ-38-01-02-03), предназначенная для сварки в вакууме крупногабаритных деталей	1 (1)	$\varnothing 180$ ; высота до 100 кг	1100— 1500	—	$1 \cdot 10^{-3}$	1030×830× ×2550	—	Московский комбинат твердых сплавов им. Соловьева
Применяется в процессе сжатия 1000 т предназначенно для сварки в вакууме в процессе прессования через матрицу	—	$\varnothing 50$ ; $L \sim 600$	1500	1 000 000	$1 \cdot 10^{-4} +$ $+1 \cdot 10^{-3}$	—	—	г. Москва, ВИАМ

\* В скобках указаны габаритные размеры свариваемых деталей  
 \* Одна позиция в каждой камере  
 \* На одном штифте  
 \* См. диффузионное соединение в вакууме металлов, сплавов и неметаллических материалов Сборник научных трудов VI Международной конференции под ред. Н. Ф. Колосова М., ПНИЛДСВ, 1971, с. 269-271  
 II. Имя автора: 1. Патрик Лазаров в установках А306-10, А306-11 — разнотемпературная установка с тлеющим разрядом — ионизацией, и газовой — вакуумной установкой СДВУ-17 имеет разнотемпературную и ионизационную нагреватель.

3. Система сжатия деталей гидравлическая, установка А306-10 имеет механическую (пружинную) систему.  
 8. Обозначение размеров: L — длина; H — высота; B — ширина; D — диаметр; S — площадь основания.

## СВАРКА ТРЕНИЕМ

При сварке этим способом для нагрева соединяемых деталей используют тепло, образующееся в стыке при трении двух поверхностей в результате преобразования механической энергии в тепловую непосредственно в свариваемом узле. Сварка трением имеет целый ряд преимуществ по сравнению с другими видами стыковой сварки: высокую производительность, высокое и стабильное качество сварного соединения, позволяет сваривать разнородные металлы и сплавы в различных сочетаниях, характеризуется высокими энергетическими показателями (при сварке трением углеродистой стали обыкновенного качества удельная электрическая мощность равна  $15\text{--}20\text{ Вт/мм}^2$ , а при электрической контактной сварке  $120\text{--}150\text{ Вт/мм}^2$ ) и улучшает условия труда.

Сварка трением может быть использована при изготовлении инструмента (сверл, разверток и т. п.), различной арматуры для железобетона и т. п.

Возможен ряд схем процесса сварки трением. Простая и наиболее распространенная из них показана на рис. 130, а, ее применяют при соединении встык двух круглых стержней или труб относительно небольшой длины. Две свариваемые детали располагают соосно, одна из них 1 закреплена неподвижно, другая 2 приводится во вращение вокруг их общей оси. На сопряженных поверхностях деталей, прижатых одна к другой осевым усилием  $P$ , возникают силы трения, вызывающие выделение тепла и интенсивный нагрев этих поверхностей, а также прилегающего к ним металла до температуры, достаточной для осуществления сварки давлением (для углеродистых сталей обыкновенного качества составляет  $900\text{--}1350^\circ\text{C}$ ). При достижении температуры сварки процесс трения должен быть резко прекращен. Сварка заканчивается естественным охлаждением деталей при сжимающем осевом усилии.

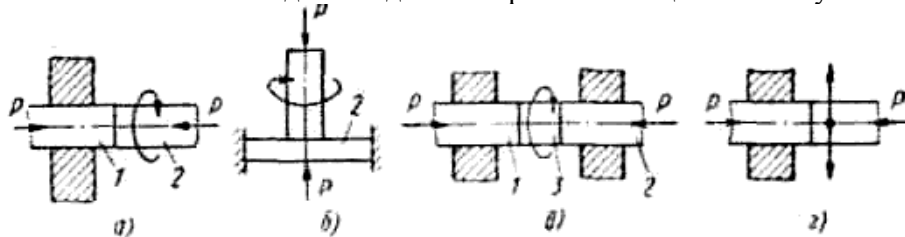


Рис. 130. Схема процесса сварки трением:

а — соединение встык двух круглых деталей; б — сварка стержней или труб впритык к пластинам или дискам; в — приварка торцов деталей к промежуточному диску; г — сварка вибротрением; 1 и 2 — свариваемые детали; 3 — вспомогательный стержень (кольцо, стержень)

Схема (рис. 130, б) для сварки стержней или труб впритык к дискам или пластинам (2) незначительно отличается от приведенной выше, эту схему широко используют.

Сварку трением встык массивных или длинных труб или стержней можно производить по другой схеме (рис. 130, в). Торцы двух массивных деталей (1 и 2) поджимают к промежуточному вспомогательному диску (кольцу, стержню 3), приводимому во вращение, и приваривают к нему, образуя соединение, состоящее из трех частей. Эта схема представляет большой интерес для выполнения монтажных работ, но она пока еще не нашла широкого применения в промышленности.

Сущность способа сварки вибротрением (рис. 130, г) заключается в том, что для сварки невращающихся деталей различной формы применяют колебательное перемещение одной из соединенных деталей по отношению к другой.

Технология сварки трением характеризуется скоростью вращения детали, удельным давлением при нагреве, удельным давлением при проковке (сварке) и величиной осадки.

Ориентировочные режимы сварки трением различных металлов приведены в табл. 161.

# 161. Режимы сварки трением некоторых металлов

Металл	Диаметр деталей, мм	Частота относительного вращения, об/мин	Давление, кгс/мм <sup>2</sup>		Осадка, мм	Маши- ное время сварки, с
			при нагреве	при осадке		
Обыкновенные металлы						
Сталь:						
Ст3 . . .	20	1000	5	5	5	5
Ст3 . . .	40	1000	10	10	10	20
Ст3 . . .	16	1000	5	5	5	4,5
45 . . .	10	2000	4	4	5	3
45 . . .	10	2000	4	4	5	4,5
4Х13 . . .	10	1500	12	12	3—4	3
20Х . . .	12	2000	4	4	4	4
60ХСХА . . .	20	1500	5	10	6	10
20Г2С . . .	20	1000	4,5	4,5	4	10
20Х11СА . . .	10	1500	10	10	4	2
30Х8Н10А . . .	10	1500	10	10	4	2
40Х . . .	15	1200	3	7	6	—
35 . . .	30—35	1200	3,5	6,5—7	7	—
50Г (шпилька)	25/70	1000	3	6	10	12
50Г (шпилька)	50/32	1000	3	6	6	9
85 (45) (шпилька)	160/120	900	0,6—1	10—12	25	40 *
Х18Н9Т . . .	20/100	800	4,0	17	17	50 *
Цветные метал- лы:						
Алюминий АД1 . . .	50	1000	0,6	0,8	7	3

Металл	Диаметр деталей, мм	Частота относительного вращения, об/мин	Давление, кгс/мм <sup>2</sup>		Осадка, мм	Маши- ное время сварки, с
			при нагреве	при осадке		
Алюминий АД1 . . .	40	760	3	3	30	10
Дюралюми- ний . . .	40	750	10	10	20	13
Медь . . .	40	1000	3,5	15	20	30
Латунь Л62	16	3000	3,3	3,3	7	3
Разнородные металлы						
Сталь:						
Х18Н9Т и 45	20	3000	8	8	7	3
Х12М и 45 . .	20	3000	8	8	7	4
3Х19Н9МВВТ (ЭИ1572) и 40Х . . .	20	1000	6	21	1,8	9
3Х19Н9МВВТ и ОХМ . . .	28	1000	6	21	2,2	14
Р18 и 45Х . .	10—22	1900— 2100	8—12	18—22	3—4	2—8
35 и 50Г . .	12 (шпиль- ка) и плите (50Г)	1200	От 0,5 до 10		6	2
Цветные метал- лы и стали:						
Латунь ЛМц58-2 и сталь 20	30	1500	2,5	2,5	7	8
Алюминий АД1 и сталь Ст3 . . .	40	760	5	5	13—15	3,5—4
Алюминий АД1 и медь М1	32	1000	3	20	18	—

\* Контроль процесса по времени.



Для выполнения сварки трением можно использовать различные типы токарных, сверлильных станков, а также выпускают специальные сварочные машины, технические характеристики которых приведены в табл. 162.

162. Машины для сварки трением, разработанные ВНИИЭСО, ЧТЗ, КТИАМ и ГАЗ

	Универсальные полуавтоматы						Специализированные полуавтоматы							
	МСТ-1	МСТ-2	МСТ-22-3	МСТ-31	МСТ-23	МСТ-35	МСТ-41	МСТ-51	МСТ-4	МСТ-6	ЧТЗ № Т-9953-232	ЧТЗ № Т-9953-276	КТИАМ № 132-00	ГАЗ 45-V-20210
Мощность привода вращения, кВт	10	10	10	20	10	20	40	75	4,5×2	2,8	10	40	20	20
Напряжение питающей сети, В . . .	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	380	380	380	220/380	220/380	220/380	220/380	220
Число оборотов шпинделя в минуту . . . . .	1430	1430	1430	930	1500	1000	750	500	1430	4000	740—2800	2800	830	700
Осевое усилие, кгс:														
минимальное	400	400	250	1000	500	1000	2000	4000	500	50	600	5000	1000	2000
максимальное	4500	4500	4500	10 000	5000	10 000	20 000	40 000	1600	400	4500	50 000	120 000	30 000
Диаметр свариваемых заготовок, мм . . . . .	10—22	10—22	10—22	15—40	10—25	16—34	20—50	32—70	12—14	10—12	10—22	24—55	16—40	22—44
Максимальная длина свариваемых заготовок, мм:														
вращающейся	—	—	—	1000	1000	500	2000	2500	—	—	310	200	150	200
невращающейся . . . . .	—	—	—	—	Неограниченная		—	—	100—1190	—	175	Неограниченная		
Машинное время сварки, с . . . . .	5—12	5—12	5—12	10—30	10—20	10—30	15—45	—	5	2,5	5—12	12—60	10—20	12—40
Производительность сварки стыков в час . . .	150	75	150—200	60	150	120	100	70	1500 пар стыков в смену	400	120—140	50—100	60—120	60—120
Габаритные размеры, мм:														
длина . . . . .	1790	1790	—	—	1550	1760	2130	2840	—	—	2100	3000	2400	—
ширина . . . . .	700	700	—	—	550	700	765	950	—	—	850	1750	1050	—
высота . . . . .	1185	1185	—	—	1185	1290	1330	1770	—	—	1230	1500	1450	—
Масса машины, кг	850	900	—	—	1500	2000	3200	—	—	—	1500	3500	2500	2500

При использовании пуансонов с хорошо развитой опорной частью и достаточно высоким давлением на эту часть прочность сварного соединения увеличивается по мере углубления рабочих выступов в металл. Подобная зависимость наблюдается как при двустороннем, так и при одностороннем деформировании свариваемых деталей.

Однако при двустороннем деформировании максимальное значение прочности достигается при углублении, почти равном толщине свариваемых деталей, а при одностороннем деформировании — при углублении, равном около 60% толщины свариваемых деталей. В практике применяются следующие методы сварки: без предварительного зажатия свариваемых деталей, с предварительным зажатием свариваемых деталей, с односторонним деформированием свариваемых деталей.

**Точечная сварка без предварительного зажатия деталей** (рис. 131).

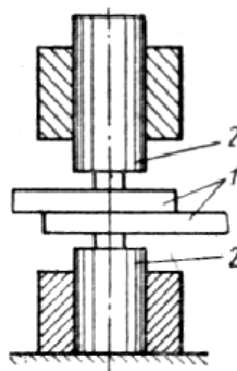


Рис. 131. Схема сварки без предварительного зажатия свариваемых деталей: 1 – свариваемые детали, 2 – пуансоны.

Детали 1, подготовленные к сварке, устанавливаются между расположенными пуансонами 2.

При воздействии определенного усилия рабочие выступы пуансонов вдавливаются в металл, обеспечивая необходимую для его сварки деформацию. Для получения заданной прочности сварного соединения необходимо приложить соответствующее давление рабочего выступа пуансона, обеспечивающее деформацию свариваемого материала и продавливание пуансона на заданную глубину. Для сварки алюминия это давление составляет  $17\text{—}25 \text{ кгс/мм}^2$  площади торца рабочего выступа пуансона. При сварке меди оно должно быть увеличено в 2—4 раза.

Наиболее рациональная форма рабочих выступов пуансонов прямоугольная и круглая.

Ширину или диаметр рабочего выступа пуансона берут равными 1—3 толщинам свариваемых деталей в зависимости от толщины последних.

В случае сварки разнородных материалов диаметры круглых или ширины прямоугольных рабочих выступов пуансонов рекомендуется брать обратно пропорциональными твердости этих материалов.

Недостатком описанного способа сварки является коробление деталей, что особенно затрудняет сварку деталей больших толщин (свыше 4 мм), а также деталей, изготовленных из материала со сравнительно малой пластичностью (нагартованная медь, алюминий и т. д.).

Вследствие коробления сварка каждой последующей точки ослабляет или разрушает смежную, ранее сваренную точку.

**Точечная сварка с предварительным зажатием деталей** (рис. 132).

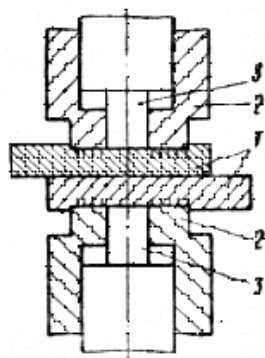


Рис. 132. Схема сварки с предварительным зажатием деталей: 1 – свариваемые детали, 2 – прижимы, 3 – пуансоны.

Этот способ сварки позволяет устранить основные недостатки, присущие способу сварки без предварительного зажатия деталей. Рабочий выступ пуансона изготавливают в виде отдельной детали, подвижной относительно опорной части, предназначенной для зажатия деталей с начала процесса сварки и до его окончания. Зажатие деталей между опорными частями (прижимами) 2 производят до вдавливания рабочих выступов пуансонов 3 в металл (деталь) / или одновременно с ним. За счет этого устраняется коробление свариваемых деталей и увеличивается прочность сварного соединения.

Прочность сварного соединения растет с увеличением глубины вдавливания рабочих пуансонов в металл. Максимальная прочность получается в том случае, когда рабочие пуансоны углубляются в металл почти на полную его толщину.

При этом способе сварки давление на прижимы рекомендуются в пределах 3—5 кгс/мм<sup>2</sup>. Площадь прижима должна превышать площадь торца рабочего выступа пуансона в 15—20 раз.

В частности, при сварке алюминия конечное давление на рабочий пуансон составляет 40—150 кгс/мм<sup>2</sup> площади торца его рабочего выступа в зависимости от толщины свариваемого металла.

При сварке полосовых материалов рекомендуется применять зажимные плиты (кондукторы, рис. 133). В плитах делают сквозные калиброванные отверстия 3 по размерам и форме рабочих пуансонов 4, служащие для них направляющими.

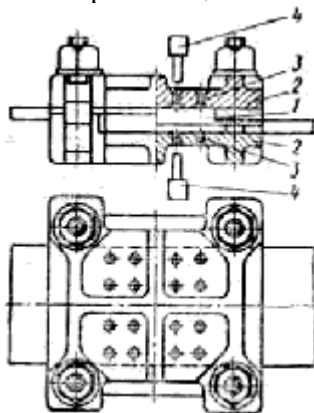


Рис. 133. Схема сварки с предварительным зажатием свариваемых деталей в кондукторе: 1 - свариваемые детали, 2 - прижимные плиты, 3 - отверстия, 4 - пуансоны.

Использование этих кондукторов дает возможность уменьшить массу сварочных клещей, их конструкцию, исключает разметку и прихватку деталей перед сваркой.

**Точечная сварка с односторонним деформированием (рис. 134).**

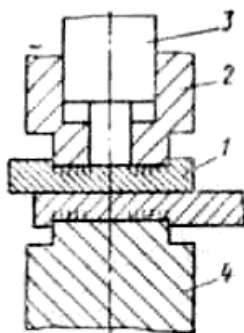


Рис. 134. Схема сварки с односторонним деформированием свариваемых деталей: 1 - свариваемые детали, 2 - прижим, 3 - пуансон, 4 - основание.

Этот способ сварки применяют в том случае, когда требуется ровная поверхность сварного соединения с какой-то одной стороны соединения по техническим или эстетическим требованиям.

В этом случае соединяемые внахлестку детали 1 располагаются на плоском основании 4, а рабочий пуансон 3 заданной формы и размеров вдавливаются в эти детали.

Прочность сварного соединения при одностороннем деформировании достигает максимального значения, при глубине вдавливания пуансона около 60% толщины свариваемых деталей. В отличие от сварки при двустороннем деформировании дальнейшее увеличение углубления пуансона не приводит к росту прочности сварного соединения.

При сварке с односторонним деформированием деталей различной толщины вдавливание рекомендуется выполнять со стороны более тонкого металла, а при значительной разнице в толщинах (в частности, 10+1 мм) сварка невозможна.

В случае сварки меди с алюминием вдавливание рекомендуется производить со стороны меди (только, если толщина меди меньше толщины алюминия). Глубина вдавливаемого в металл рабочего выступа пуансона рекомендуется равной 1,5—2,0 толщине детали, в которую вдавливаются пуансон при сварке алюминия с алюминием и 2,0—3,0 толщине меди при сварке ее с алюминием (вдавливание пуансона в медь).

Для устранения разрезания материала углы рабочих выступов пуансона рекомендуется закруглять по радиусу около 0,2 мм.

Процесс сварки выполняют на любых механических, пневматических или гидравлических прессах, создающих необходимое давление. Рабочие части пресса — пуансоны, зажимные плиты, направляющие и фиксирующие детали — изготавливают применительно к свариваемым деталям. Пуансоны применяют различной формы: круглые (плоские и сферические), клиновидные, квадратные, прямоугольные, эллиптические, в зависимости от конфигурации изделия.

Кроме того, существуют специальные установки для точечной сварки. Некоторые из них, разработанные во ВНИИЭСО, имеют следующие назначение и характеристики.

Передвижная пневмогидравлическая установка типа УГХС-5 для оконцевания медными флажками выводов громоздких алюминиевых обмоток, доставка которых к стационарной машине с неподвижной сварочной головкой (например, УГХС-10) затруднен, для приварки медных отводов к алюминиевым обмоткам галетного типа в процессе их намотки и для сварки алюминиевых шин толщиной до 5 мм; максимальное сварочное усилие 5 тс, давление сжатого воздуха 4 кгс/см<sup>2</sup>, расход на одну сварку 0,1 м<sup>3</sup>, масса установки 110 кг, клещей 7 кг, габаритные размеры 640X550X650 мм.

Машина МХСА-50 для армирования деталей с размерами участков до 60X60 мм<sup>2</sup>, армируемых медными накладками, максимальное усилие 50 тс, давление сжатого воздуха 5 кгс/см<sup>2</sup>, расход на одну сварку 0,0014 м<sup>3</sup>, ход рабочего штока поршня 10 мм, масса машины 280 кг, габаритные размеры 400X680X1490 мм.

Машина МХСА-120 для армирования медными накладками выводов алюминиевых обмоток, шин, линейных зажимов и других деталей с размерами армируемого участка до 120X120 мм<sup>2</sup>, максимальное давление масла в гидросети 200 кгс/см<sup>2</sup>, потребляемая электрическая мощность 10 кВт, максимальное расстояние между плитами 262 мм, ход поршня гидроцилиндра 83 мм, масса машины 1380 кг, габаритные размеры 1200X60X1730 мм.

Пневмопресс ПП-1 для прихватки медных накладок к алюминиевым деталям перед холодной сваркой при армировании, усилие пресса при давлении сжатого воздуха 4 кгс/см<sup>2</sup> равно 800 кгс, расход сжатого воздуха на одну прихватку (сварку) 0,0005 м<sup>3</sup>, производительность 20 прихваток (сварок) в минуту, масса 40 кг, габаритные размеры 220X300X600 мм.

**Сварка непрерывным швом** (шовная сварка рис. 135).

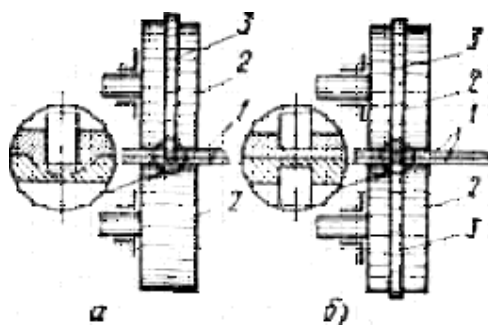


Рис. 135. Схема шовной (роликовой) сварки: а – с односторонним деформированием, б – с двусторонним деформированием, 1 – свариваемые детали, 2 – ролики, 3 – рабочие выступы.

При этом способе сварки металл деформируют вдавливанием в него рабочих выступов вращающихся роликов. Для сварки прямых листов непрерывные швы непригодны, так как уменьшают сечение деталей и по этой линии может произойти излом. Поэтому такой способ сварки используют для различных кольцевых и продольных швов в замкнутых контурах.

Для шовной сварки алюминия и его мягких сплавов рекомендуются следующие параметры шовной сварки: диаметр ролика должен быть примерно  $50S$ , ширина рабочего выступа  $(1 \div 5) S$ , высота рабочего выступа  $(0,8 \div 0,9) S$ , где  $S$  — толщина свариваемых деталей.

Ширина опорной части ролика должна быть в 2-3 раза больше ширины рабочего выступа [8].

Стандартное оборудование для холодной шовной сварки не выпускают, а только отдельные предприятия создают специализированное оборудование для ее выполнения. В частности, завод «Электрик» создал шовную установку для приварки днища к электрочайнику. Средняя линейная скорость вращения ролика 3 м/мин, усилие, приложенное к роликам, может изменяться от 1,5 до 8 тс. Для сварки, например, алюминия толщиной  $2 + 1,5 = 3,5$  мм рабочее усилие на роликах равно 1,8 тс.

**Стыковая сварка.** При этом способе соединяемые детали закрепляют в специальных зажимах, расположенных соосно, а торцы свободных, выпущенных из зажимов концов деталей примыкают один к другому.

Величина выпущенных концов зависит от свариваемых сечений и материала. При осевой осадке выпущенные концы пластически деформируются и в месте стыка образуется сварное соединение.

Место сварки всегда имеет утолщение по сварному стыку.

Схемы зажимных устройств показаны на рис. 136.

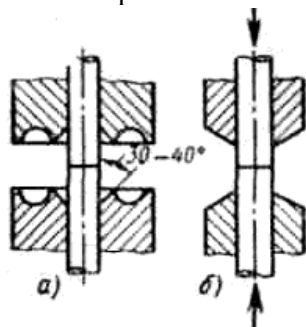


Рис. 136. Схема зажимов для холодной стыковой сварки: а – с затрудненным истечением металла, б – со свободным истечением металла.

При сварке по первой схеме происходит затрудненное истечение деформируемого металла и необходимо прикладывать большие прессовые усилия, при сварке по второй схеме требуются меньшие усилия прессования, при этом обеспечиваются высокие показатели прочности.

Длина вылета рабочей части детали (по данным Г. П. Сахатского) должна быть для алюминия  $(1 \div 1,2) d$ ; для меди  $(1,25 \div 1,75) d$ ; для свинца  $(0,9 \div 1,1) d$ ; для серебра  $(1,25 \div 1,50) d$ , где  $d$  — диаметр стержня или размер меньшей стороны прямоугольника.

Рекомендуемые (оптимальные) длины вылетов для холодной сварки деталей приведены в табл. 163—165.

163. Длина вылета, обеспечивающая прочное соединение при сварке алюминиевых деталей круглого и прямоугольного сечения

Размеры сечения или диаметр провода, мм	Минимальная		Оптимальная (рекомендуемая)		Максимально допустимая	
	мм	%	мм	%	мм	%
6×60	4	67	6	100	8	130
10×20	7	70	10		13	
10×100	6	48	9		16	
12,5×20	0,9	50	1,8	100	2,5	140
∅ 1,8	1,2		2,4		3,3	
∅ 2,4	1,4		2,8		3,9	
∅ 2,8	1,7		3,5		5	
∅ 3,5	4		6		11	
∅ 8	5		7		14	
∅ 10	6	35	9	75	17	
∅ 12	7		10		28	
∅ 20	11		15		42	
∅ 30		37		50		

Примечание. В процентах приведены отношения длин вылета к диаметру или толщине образцов.

164. Длина вылета, обеспечивающая прочное соединение при сварке медных проводов круглого и прямоугольного сечения (см. примечание к табл. 163.)

Размеры сечения или диаметр провода, мм	Минимальная		Оптимальная (рекомендуемая)		Максимально допустимая	
	мм	%	мм	%	мм	%
6×80	6	100	7,5	125	9	
10×20	10		12	120	15	
∅ 1,81	1,4		2,0	110	2,7	
∅ 2,44	1,9	80	2,7		3,7	150
∅ 2,83	2,3		3,1		4,2	
∅ 3,53	2,8		3,9	100	5,3	
∅ 5	4	75	5,5		7,5	
∅ 8	6		8		12	
∅ 10	8	80	10	75	15	
∅ 12	9	75	12		18	
∅ 20	10	50	15		30	

165. Длина вылета, обеспечивающая прочное соединение при сварке медных проводов с алюминиевыми (см. примечание к табл. 163)

Диаметр или сечение провода, мм	Минимальная						Рекомендуемая			
	суммарная		по алюминию		по меди		суммарная		по алюминию	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Ø 1,81	2,9		0,5		1,5		4,2		1,8	
Ø 2,44	3,9	160	0,7	30	2,0	80	5,6	230	2,4	100
Ø 2,83	4,5		0,8		2,3		6,5		2,8	
Ø 3,54	5,6		1,1		2,8		8,1		3,5	
Ø 8	10	125	4		6	75	14	175	5	75
Ø 10	12	120	5	50	7	70	17	190		80
Ø 12	14	117	6		8	67	18	150	8	65
Ø 20	20	100	9	45	11	55	25		11	55
Ø 28	28		13	47	15	54	35	130	15	
10×20	22	220	9	90	13	130	25	260	12	120

Диаметр или сечение провода, мм	Рекомендуемая		Максимально допустимая							
	по меди		суммарная		по алюминию		по меди			
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Ø 1,81	2,4		5,4		3,3		3,3			
Ø 2,44	3,2	130	7,3		4,4		4,4		180	
Ø 2,83	3,7		8,5		5,2		5,2			180
Ø 3,54	4,6		10		6,3		6,3			
Ø 8	8	100	24		14	175	14	175		
Ø 10	10		30		18	180	18	180		
Ø 12		85	36			150		150		
Ø 20	15	75	56	260	28	140	28	140		
Ø 28	21		75	270	38	135	38	135		
10×20	14	140	30	300	15	150	15	150		

При сварке алюминия с медью вылет алюминиевого стержня должен быть меньше, чем медного, примерно на 30—50%.

При выполнении стыковой сварки усилие осадки для проводов из одного и того же материала растет линейно с увеличением длины вылета. Величину удельного усилия осадки можно определить с помощью кривых, показанных на рис. 137. При сварке алюминия с медью нужно руководствоваться зависимостью усилия осадки от длины вылета при сварке меди.

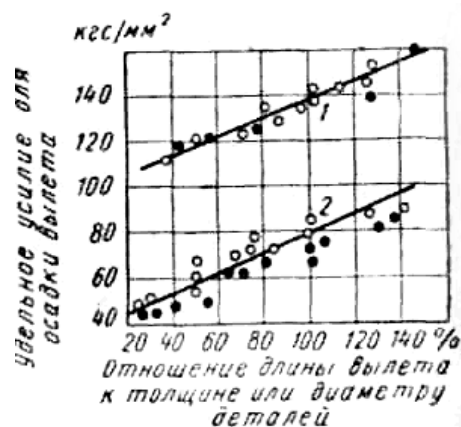


Рис. 137. Зависимость удельного усилия осадки от относительной длины вылета: 1 — при сварке алюминия; 2 — при сварке меди; ○ — провода круглого сечения; ● — провода прямоугольного сечения

Величина усилия зажатия деталей при использовании зажимных устройств замкового типа и при наличии насечки на губках должна быть не менее 45% от усилия осадки.

Основные технические характеристики некоторых машин для стыковой сварки приведены в табл. 166.

166. Основные технические характеристики некоторых машин для стыковой холодной сварки, разработанных во ВНИИЭСО

Машина и назначе- ние	Напряжение питающей сети, В	Потребная электри- ческая мощность, кВт	Табличес- кое давление сжа- того воздуха, кг/см²	Максимальное угле- ное давление, кг	Максимальное давлени- е масла в гидросистеме, кг/см²	Максимальное расхо- ждение зажимных губок, мм	Расход сжатого воз- духа на одну сварку, л	Максимальное расхо- ждение между внутрен- ними торцами зажим- ных губок, мм	Габаритные размеры в плане, мм	Высота, мм	Масса, кг
МСХС-6-3: сварка алюми- ниевых проводов сече- нием 2—80 мм², медных и алюминиевых с медны- ми сечениями 2—80 мм²	—	—	До 6	6	—	Не огра- ничено	0,005	11	455×320	300	52
МСХС-8: сварка алюми- ниевых проводов сече- нием 2—80 мм², медных и алю- миниевых с медными сече- ниями 2—50 мм²	380	0,25	До 6	6	—	8	0,018	16	920×740	1270	160
МСХС-30: сварка медных контактных проводов сече- нием 20—100 мм² и медных с алюминиевыми сечениями до 300 мм²	380	1,0	—	30	250	16	—	72	500×1100	1100	350
МСХС-35: сварка алюми- ниевых проводов сече- нием 20—200 мм², медных 20—150 мм² и медных с алюминиевыми сечениями 20—200 мм²	380	1,7	—	35	60	12	—	40	1120×820	1240	720



Машина и назначение	Напряжение питающей сети, В	Потребная электрическая мощность, кВт	Рабочее давление сжатого воздуха, кгс/см <sup>2</sup>	Максимальное усилие осадки, тс	Максимальное давление масла в гидросети, кгс/см <sup>2</sup>	Максимальное раскрытие зажимных губок, мм	Расход сжатого воздуха на одну сварку, м <sup>3</sup>	Максимальное расстояние между внутренними торцами зажимных губок, мм	Габаритные размеры в плане, мм	Высота, мм	Масса, кг
МСХС-120: сварка алюминиевых деталей сечением 100—1500 мм <sup>2</sup> , медных и алюминиевых с медными сечением 100—1000 мм <sup>2</sup>	380	17	—	120	100	41	—	70	1850X1320	1600	3500
МСХС-80: сварка алюминия сечением 100—1000 мм <sup>2</sup> , меди — 100—600 мм <sup>2</sup> и меди с алюминием сечением 100—800 мм <sup>2</sup>	380	10	—	80	50	36	—	70	1810X1350	1500	2500
МСХС-20-3: сварка алюминиевых проводов сечением 30—120 мм <sup>2</sup> , медных и алюминиевых с медными — 30—120 мм <sup>2</sup> , медных контактных проводов сечением до 100 мм <sup>2</sup>	380	5,5	—	20	100	16	—	30	1000X920	1440	700

Кроме того, для стыковой холодной сварки применяют следующие ручные инструменты:

ручные клещи для сварки проводов диаметром 0,8—2 мм;

ручные клещи КС-6 для сварки проводов диаметром 1,7—3,6 мм с четырьмя сменными комплектами наконечников, масса клещей 1,4 кг;

настольный станок СНС-3 для сварки алюминиевых проводов сечением до 25 мм<sup>2</sup>, медных сечением до 10 мм<sup>2</sup>, а также алюминиевых проводов сечением до 10 мм<sup>2</sup> с медным сечением до 6 мм<sup>2</sup>, масса станка 12 кг;

приспособление ПС-7 для сварки круглых алюминиевых проводов сечением 1,1—5 мм<sup>2</sup> и медных сечением 1,1—2,5 мм<sup>2</sup>, масса приспособления 4 кг, габаритные размеры 300X190X65 мм.