

КУРС ЛЕКЦИЙ-ПРЕЗЕНТАЦИЙ  
по дисциплине

**«ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ  
СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ»**

лекция №4

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

к.т.н., доцент кафедры «ОиТСП»

БЕНДИК Татьяна Ивановна

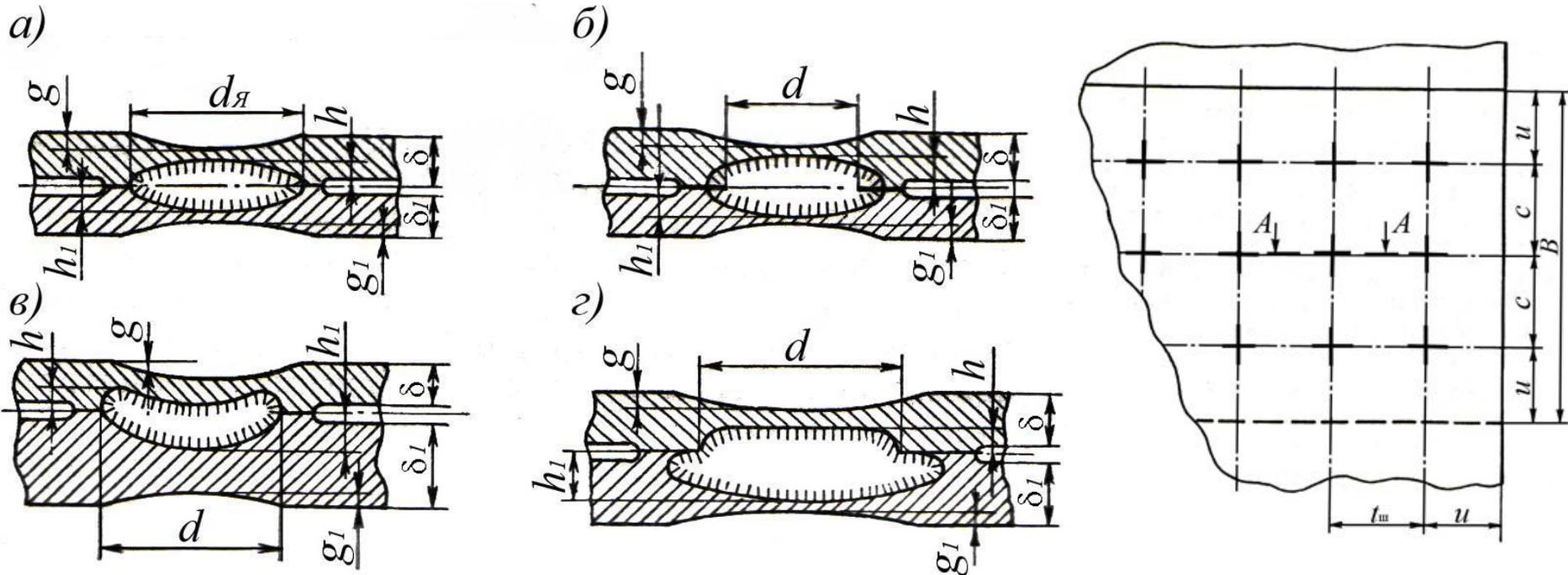
# СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ №4

## Тема 5 . Технология контактной точечной сварки

- Основные параметры режима точечной сварки и их влияние на размеры и прочность точек
- Выбор рациональной конструкции соединений
- Свариваемость различных групп конструкционных металлов с учетом их свойств

# КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Точечная сварка чаще всего применяется для соединения деталей внахлестку. При точечной сварке обязательным условием является получение **ЛИТОГО ЯДРА** диаметром  $d_{\text{я}}$ . Другими параметрами являются величины проплавления  $h_1$  и  $h$ , глубины вмятин  $g_1$  и  $g$ , величина нахлестки  $B$ , расстояние от центра точки до края нахлестки  $U$ , шаг точек в ряду  $t_{\text{ш}}$



а – неплакированные металлы; б – плакированные металлы; в – детали неравной толщины; г – разноименные металлы

# ГОСТ 15878-79 Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры

Стандарт устанавливает конструктивные элементы и размеры сварных соединений из сталей, сплавов на железоникелевой и никелевой основах, титановых, алюминиевых, магниевых и медных сплавов, выполняемых КТ, КР и КШС. Стандарт не распространяется на сварные соединения без расплавления металла.

мм

Способ сварки	Группа соединения	$\delta - \delta_1$	d, не менее	Однорядный шов В, не менее		f, не менее	c, не менее
				Стали, сплавы на железоникелевой и никелевой основах, титановые сплавы	Алюминиевые, магниевые и медные сплавы		
КТ	А	0,3	2,5	6	10	8	9,0
		Св. 0,3 до 0,4	2,7	7			
		Св. 0,4 до 0,6	3,0	8			
		Св. 0,6 до 0,7	3,3	9	12	11	13,0
		Св. 0,7 до 0,8	3,5	10			
		Св. 0,8 до 1,0	4,0	11			
		Св. 1,0 до 1,3	5,0	13			
		Св. 1,3 до 1,6	6,0	14	16	17	20,5
		Св. 1,6 до 1,8	6,5	15			
		Св. 1,8 до 2,2	7,0	17			
		Св. 2,2 до 2,7	8,0	19	22	30	36,0
		Св. 2,7 до 3,2	9,0	21			
		Св. 3,2 до 3,7	10,5	24			
		Св. 3,7 до 4,2	12,0	28	32	45	54,0
		Св. 4,2 до 4,7	13,0	31			
		Св. 4,7 до 5,2	14,0	34			
		Св. 5,2 до 5,7	15,0	38	40	55	66,0
Св. 5,7 до 6,0	16,0	42					

Примечание. Допускается уменьшение размеров f и c, при этом размер d должен соответствовать указанным в таблице.

мм

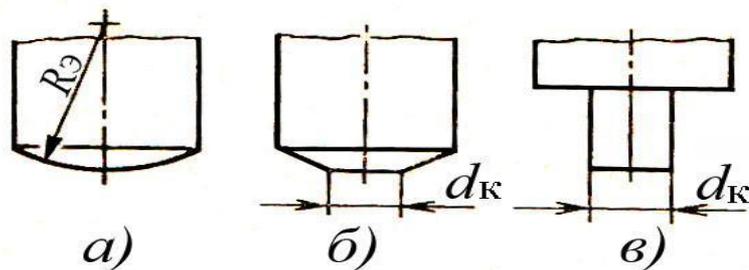
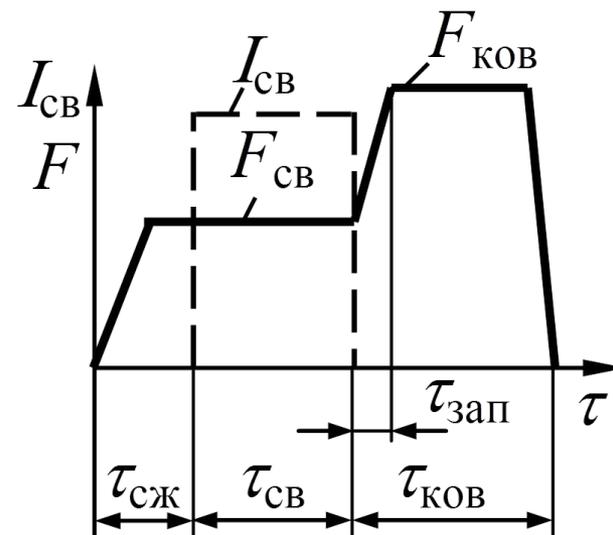
Способ сварки	Группа соединения	$\delta - \delta_1$	d, не менее	Однорядный шов В, не менее		f, не менее	c, не менее
				Стали, сплавы на железоникелевой и никелевой основах, титановые сплавы	Алюминиевые, магниевые и медные сплавы		
КТ	Б	0,3	1,5	4	6	7	8,5
		Св. 0,3 до 0,4	1,7	5			
		Св. 0,4 до 0,5	2,0	6	8	9	10,0
		Св. 0,5 до 0,6	2,2	7			
		Св. 0,6 до 0,8	2,5	8			
		Св. 0,8 до 1,0	3,0	9	12	12	15,0
		Св. 1,0 до 1,3	3,5	10			
		Св. 1,3 до 1,6	4,0	11	14	16	18,0
		Св. 1,6 до 1,8	4,5	12			
		Св. 1,8 до 2,2	5,0	13	16	20	24,0
		Св. 2,2 до 2,7	6,0	15			
Св. 2,7 до 3,2	7,0	17	20	26	31,0		

Примечание. Допускается уменьшение размеров f и c, при этом размер d должен соответствовать указанным в таблице.

Ориентировочно минимальные размеры d<sub>я</sub> можно определить по формуле:  $d_{я} = 2 \delta + 3$ ; где  $\delta$  – толщина свариваемых деталей, мм.

**параметры  
режима КТС**

- величина сварочного тока  $I_{св}$
- время протекания сварочного тока  $\tau_{св}$
- сварочное усилие  $F_{св}$
- ковочное усилие  $F_{ков}$
- время приложения ковочного усилия  $\tau_{ков}$
- время запаздывания  $\tau_{зап}$
- форма и размеры электродов



Могут применяться электроды со сферической (радиусом  $R_э$ ), конической (диаметром контактной поверхности  $d_к$ ) и плоской (диаметром контактной поверхности  $d_к$ ) рабочими поверхностями. Угол заточки конической формы электрода 120-140.

Выбор размеров рабочей поверхности производится исходя из следующих соотношений:

$$d_э = (0,9 \dots 1,2) d_я; \quad R_э = (15 \dots 20) d_я$$

Увеличение  $d_э$  и  $R_э$  электродов вызывает увеличение площади контактов электрод–деталь и деталь–деталь, что приводит к снижению  $d_я$  и прочности соединений.

С увеличением  $I_{\text{СВ}}$  и  $t_{\text{СВ}}$  количество выделившейся при сварке теплоты возрастает, в связи с чем размеры и прочность соединений увеличиваются. При чрезмерном увеличении  $I_{\text{СВ}}$  и  $t_{\text{СВ}}$  возможны перегрев, образование точки большого размера, конечные внутренние и наружные выплески. При этом значительно растут вмятины от электродов и снижается прочность точки.

С увеличением  $F_{\text{СВ}}$  площади контактов электрод–деталь и деталь–деталь возрастают, что снижает интенсивность тепловыделения и увеличивает отвод теплоты из зоны сварки. Поэтому при постоянстве остальных параметров режима увеличение  $F_{\text{СВ}}$  приводит к уменьшению  $d_{\text{я}}$  и прочности соединений, а снижение  $F_{\text{СВ}}$  – к увеличению  $d_{\text{я}}$ . Рост  $d_{\text{я}}$  и прочности соединений при увеличении  $I_{\text{СВ}}$  и  $t_{\text{СВ}}$  и снижении  $F_{\text{СВ}}$  ограничивают из-за появления выплесков расплавленного металла.



Технологический процесс контактной точечной сварки узлов состоит из следующих операций:

- 1.Изготовление деталей
- 2.Подготовка деталей под сварку . Поверхности деталей должны быть свободны от окалины и ржавчины, детали из горячекатаных сталей должны предварительно пройти мехобработку (пескоструйную, абразивную и т.д.) или подвергаться травлению в водных растворах кислот. Обезжиривание деталей производится ацетоном или другими растворителями. Детали из магниевых и алюминиевых сплавов должны пройти мехобработку для удаления толстой тугоплавкой оксидной пленки.
- 3.Сборка и прихватка. Сборка должна осуществляться с минимальными зазорами (0,3-0,5 мм на длине 100 мм).
- 4.Сварка
- 5.Правка, механическая обработка, термообработка ( при необходимости)
- 6.Антикоррозионная защита
- 7.Контроль

# Свариваемость различных групп конструкционных металлов

## Теплофизические свойства некоторых металлов и сплавов

Исходные данные	Металл или сплав									
	Нержавеющая сталь 12X18H10T	Сталь 20, сталь 3, сталь 08кп	Медь МЦ, МО	Алюминий АЕ, А1, АД	Титановый сплав		Алюминиевый сплав		Сталь	
					BT6	OT4	АМг	АМц	30ХГСА	ХН60ВТ
$\alpha_{ср}, \text{мм}^2/\text{с}$	5,4	10	96	83	3	4	45	65	10,4	2,5
$c_{ср}, \text{Дж}/(\text{г}\cdot^\circ\text{C})$	0,54	0,71	0,43	1	0,54	0,58	0,82	0,82	0,48	0,44
$\gamma \cdot 10^{-3}, \text{г}/\text{мм}^3$	7,86		8,94	2,7	4,6	4,6	2,78	2,8	7,85	8,8
$\alpha_{ср}, 1/^\circ\text{C}$	0,0006	0,004		0,005						
$\rho_{ср} \cdot 10^6, \text{Ом}\cdot\text{мм}$	970	800	58	74	160	142	75	42	210	1200
$\lambda_{ср}, \text{Вт}/(\text{мм}\cdot^\circ\text{C})$	0,023	0,033	0,37	0,23	0,008	0,01	0,1	0,16	0,04	0,01
$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	1440	1530	1083	657	1660	1660	620	654	1480	1400

Удельное электросопротивление  $\rho$  и теплопроводность  $\lambda$  в значительной степени определяют жесткость режима сварки. При малых  $\rho$  и большой  $\lambda$  выбирают жесткий режим. Такой режим применяется при сварке алюминиевых и магниевых сплавов, меди и её сплавов. Для сварки коррозионно-стойких сталей, имеющих большое  $\rho$  и невысокую  $\lambda$ , выбирают мягкий режим с малой силой сварочного тока и большим временем его протекания.

Коэффициенты линейного расширения и температуропроводности влияют на остаточные деформации.

## Свариваемость различных групп конструкционных металлов

Низкоуглеродистые стали, имеющие низкую чувствительность к термическому циклу и выплескам, успешно варят как на мягких, так и на жестких режимах.

Применяют наиболее часто две циклограммы: с постоянным сварочным усилием и с повышенным ковочным усилием.

Первая применяется при сварке сталей толщиной до 2 мм с применением электродов с плоской рабочей поверхностью. Вторая – при сварке сталей толщиной свыше 2 мм с применением электродов со сферической рабочей поверхностью.

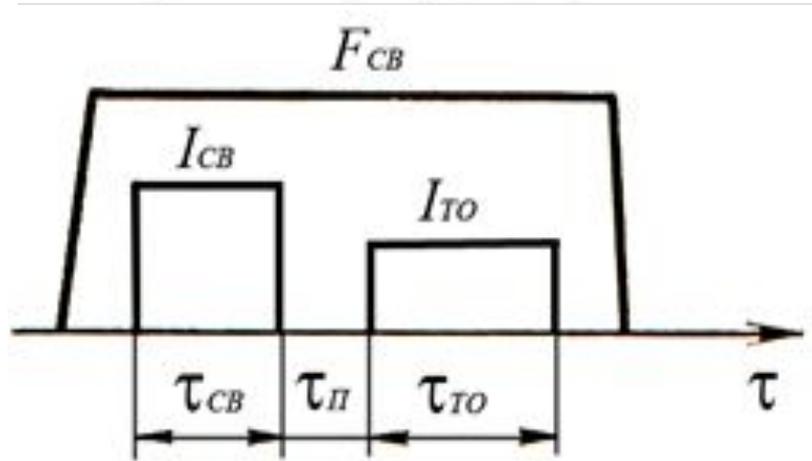
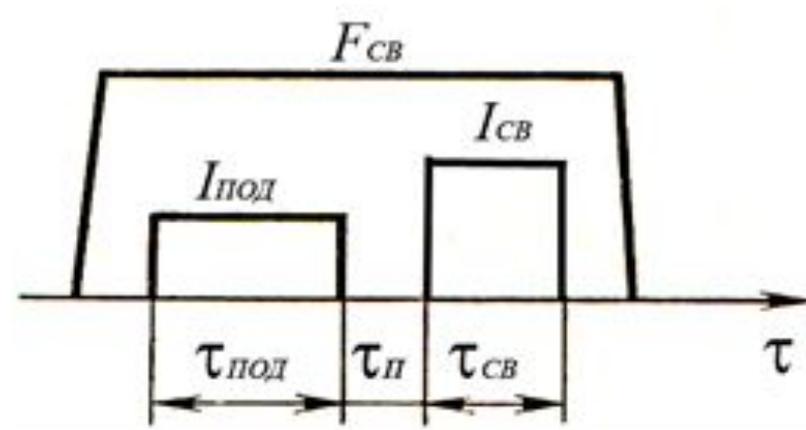
Табл. 3.2. Основные параметры режима контактной точечной сварки низкоуглеродистых сталей

Толщина металла $\delta$ , мм	Сварочный ток $I_{св}$ , кА	Время протекания сварочного тока $\tau_{св}$ , с	Сварочное усилие $F_{св}$ , кН	Ковочное усилие $F_{ков}$ , кН	Время проковки $\tau_{ков}$ , с	Максимальное время запаздывания $\tau_{зап}$ , с	Минимальный диаметр литого ядра $d_2$ , мм
1,0	9,5	0,16	2,5	2,5	1,0	–	4,5
1,2	10,5	0,2	3,5	3,5	1,1	–	5,0
1,5	12,0	0,25	4,5	4,5	1,2	–	6,0
2,0	13,0	0,32	6,5	13,0	1,8	0,24	7,0
3,0	15,0	0,48	9,5	19,0	2,5	0,32	9,0
4,0	19,0	1,0	14,0	28,0	3,5	0,44	12,0
6,0	25,0	1,6	20,0	40,0	6,0	0,62	16,0

**Среднеуглеродистые стали** обладают более высокими  $\rho_0$  и сопротивлением деформации. Они склонны к закалке и кристаллизационным трещинам. В литом ядре и околочечной зоне при неблагоприятных параметрах режима точечной сварки образуется твердый и хрупкий мартенсит.

При сварке сталей этой группы применяются мягкие режимы с временем протекания сварочного тока в 4...5 раз большим, чем при сварке низкоуглеродистых сталей. Полезен также предварительный подогрев или последующая термообработка.

Усилия сжатия  $F_{св}$  увеличивают в 1,5...2 раза по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей.



$$\tau_{под} = \tau_{то} = (1,5 \dots 1,8) \tau_{св};$$

$$\tau_{п} = (1,1 \dots 1,5) \tau_{св};$$

$$I_{под} = I_{то} = (0,7 \dots 0,8) I_{св}.$$

При сварке сталей толщиной свыше 2 + 2 мм часто применяют циклограмму процесса с увеличенным ковочным усилием и тремя импульсами тока.

Установлено, что температура отпуска, обеспечивающая оптимальную пластичность металла зоны сварки, составляет 550...600 °С. Ток термообработки  $I_{ТО}$  и продолжительность его протекания часто связаны уравнением

$$i^{6,5} \cdot r = 0,52,$$

$$\text{где } i = I_{ТО} / I_{СВ}; r = \tau_{ТО} / \tau_{СВ}.$$

Толщина деталей, мм	Режимы сварки закаливаемых низколегированных сталей					
	Сварка		$t_{ш}, \text{ с}$	Термообработка		$F_{св}, \text{ кН}$
	$I_{св}, \text{ кА}$	$t_{св}, \text{ с}$		$I_{д}, \text{ кА}$	$t_{д}, \text{ с}$	
0,5	5—6	0,32—0,4	0,3—0,5	4—5	0,5—0,6	2—3
0,8	5,5—6,2	0,36—0,44	0,4—0,6	4,5—5,2	0,6—0,74	2,5—3,5
1	6,2—6,7	0,42—0,5	0,6—0,7	4,8—5,5	0,68—0,78	4—5
1,2	7,2—7,7	0,46—0,54	0,7—0,9	5—6	0,72—0,86	5—6
1,5	8,7—9,2	0,56—0,64	0,8—1,1	6,2—7,4	0,86—0,96	6—8
2	10—11	0,74—0,84	1—1,4	7—8	1,1—1,3	8—10
2,5	11,5—12,5	1—1,1	1,1—1,5	8—9	1,3—1,9	10—12
3	13—14	1,2—1,4	1,3—1,6	8—10	1,8—2,2	11—14

Высокоуглеродистые стали при изготовлении сварных конструкций применяются редко. Сварку этих сталей надо осуществлять на мягких режимах сварки или на режимах, предусматривающих предварительный подогрев и последующую термообработку (см. рис. 3.10).

Сварка на очень мягком режиме при ограниченном времени проковки уменьшает скорость охлаждения за счет разогрева большой зоны металла вокруг сварной точки, что для некоторых марок сталей позволяет получить соединение с достаточной пластичностью. Однако такой режим вызывает большие остаточные деформации, снижает производительность и увеличивает расход электроэнергии. После сварки высокоуглеродистых сталей на умеренно мягком режиме требуется полная термическая обработка изделия в печи.

Низколегированные стали (содержание легирующих элементов Mn, Ni, Cr, Si, Ti, Zr, Nb, Mo и др. до 2,5 %) соединяют точечной сваркой на тех же режимах, что и среднеуглеродистые стали.

**Стали аустенитного класса** (12Х18Н10Т, 04Х18Н10Т и др.) отличаются высокой прочностью и пластичностью. Они обладают высоким  $\rho_0$  и малой  $\lambda$ . Поэтому при сварке этих сталей ток существенно меньше, чем при сварке низкоуглеродистых сталей.

При сварке сталей толщиной до 2 мм применяют циклограмму с постоянным сварочным усилием, а при сварке металла толщиной более 2 мм – с повышенным ковочным усилием.

Толщина деталей, мм	Режимы сварки коррозионно-стойких сталей		
	$I_{св}$ , кА	$t_{св}$ , с	$F_{св}$ , кН
0,3	5—5,5	0,06—0,08	1,5—2
0,5	4,5—5	0,08—0,12	2,5—3
0,8	4,5—5	0,12—0,16	3—4
1	5—5,7	0,16—0,18	3,5—4,5
1,2	5,5—6	0,18—0,2	4,5—5,5
1,5	6—7,5	0,2—0,24	5—6,5
2	7,5—8,5	0,24—0,3	8—9
2,5	9—10	0,3—0,34	10—11
3	10—11	0,34—0,38	12—14

**Жаропрочные стали и сплавы** (ХН75МБТЮ, ХН70Ю, ХН38ВТ и др.), а также сплавы повышенной жаропрочности (ХН70ВМТЮФ, ХН56ВМТЮ и др.) отличаются большим  $\rho_0$  и невысокой  $\lambda$ . Поэтому сварочный ток составляет 60...70 % от тока при сварке низкоуглеродистых сталей. Время протекания тока соответственно увеличивают в 2...4 раза, а усилие сжатия – в 2,5...4 раза. Чаще всего используют циклограммы А и Б. Применяются электродные материалы с повышенной твердостью (до 240 МПа).

Толщина деталей, мм	Режимы сварки жаропрочных сплавов		
	$I_{св}$ , кА	$t_{св}$ , с	$F_{св}$ , кН
0,3	5—6	0,14—0,2	4—5
0,5	4,5—5,5	0,18—0,24	5—6
0,8	5—6	0,22—0,34	6,5—8
1	6—6,5	0,32—0,4	8—10
1,2	6,2—6,8	0,38—0,48	10—12
1,5	6,5—7	0,5—0,62	12,5—15
2	7—7,5	0,58—0,76	15,5—17,5
2,5	7,5—8,2	0,78—0,96	18,5—19,5
3	8—8,8	1—1,3	20—21,5

**Титановые сплавы** имеют высокое  $\rho_o$ , поэтому при их сварке ток снижают на 30...40 % по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей. Они обладают хорошей свариваемостью как на мягких, так и на жестких режимах. Чаще всего используется циклограмма А.

Толщина деталей, мм	Режимы сварки титановых сплавов		
	$I_{св}$ , кА	$t_{св}$ , с	$F_{св}$ , кН
0,3	4,5—5	0,04—0,08	0,75—1
0,5	4—5	0,08—0,1	1—1,5
0,8	4,5—5	0,12—0,14	1,5—2
1	5—5,5	0,14—0,16	2—2,5
1,2	5,5—6	0,16—0,18	2,5—3
1,5	6,5—7,5	0,18—0,22	3—3,5
2	8—9	0,24—0,26	4—5,5
2,5	8,5—9,5	0,28—0,3	6—7,5
3	10—11	0,32—0,34	8—10

**Алюминиевые и магниевые сплавы** характеризуются малым  $\rho_0$ , большой  $\lambda$  и высоким коэффициентом линейного расширения  $\alpha$ . Поверхность алюминиевых сплавов покрыта тугоплавкой пленкой окислов, которую перед сваркой необходимо удалять. Сварку выполняют на жестких режимах электродами со сферической поверхностью. Применяется циклограмма с повышенным ковочным усилием Б.

**Магниевые сплавы** чувствительны к массопереносу в контакте электрод–деталь, что вызывает необходимость частой зачистки электродов.

Толщина деталей, мм	Режимы сварки алюминиевых и магниевых сплавов и латуни на машинах переменного тока						
	Усилие электродов, кН		Время включения ковочного усилия, $t_k$ , с	Параметры тока			
	$F_{св}$	$F_k$		$I_{св}$ , кА	$t_{ш}$ , с	$t_{св}$ , с	$t_{сп}$ , с
Алюминиевые сплавы типа Д16АТ							
0,5	2,2 2			17 16	— 0,04	0,08	— 0,12
0,8	3,5 3	—	—	19 18	— 0,04	0,1	— ,14
1	4,5 3,5			24 23	— 0,04	0,12	— 0,14
1,5	6,5 5,5 4,5	— — 10	— — 0,24	30 29 27	— 0,06 0,06	0,16	— 0,16 0,16
	4,5	12	0,18	28	—		—
2	8 7 6,5 6,5	— — 12 15	— — 0,32 0,24	35 33 31 32	— 0,08 0,08 —	0,20	— 0,18 0,18 —
Алюминиевые сплавы типа АМгАМ							
0,5	1,3			16		0,08	
0,8	1,9			18		0,1	
1	2,5	—	—	22	—	0,12	—
1,5	3,5			27		0,14	
2	5			32		0,18	
Магниевые сплавы							
0,8	3			20		0,1	
1	4	—	—	24	—	0,12	—
1,5	5			27		0,14	
2	7			30		0,18	
Латунь типа Л62							
0,5	1,2			15		0,1	
0,8	1,7			17		0,14	
1	2	—	—	19	—	0,16	—
1,5	3			24		0,2	
2	4			30		0,24	

**Медь и её сплавы** имеют малое  $\rho_0$  и большую  $\lambda$ . Свариваемость их улучшается по мере повышения  $\rho_0$  и снижения  $\lambda$ .

Чистую медь сваривают, используя медные электроды со вставками из вольфрама или молибдена, а также промежуточные прокладки (тонкая фольга) из более тугоплавкого металла толщиной 0,05...0,3 мм, помещаемые в контактах электрод–деталь.

**Никель** чаще всего сваривают двумя импульсами тока: первый подогревает металл зоны сварки, второй – сваривает. Хорошие результаты дает применение модуляции переднего фронта импульса тока.

При сварке никеля на конденсаторных машинах наблюдается сильное проявление явления Пельтье, поэтому, если не принять специальных мер, сварная точка смещается в одну из свариваемых деталей (нужно уменьшать размеры верхнего электрода и делать его не из меди, а из бронзы)

**Тугоплавкими металлами** условно считают металлы с температурой плавления выше 1700 °С.

Табл. 3.3. Температура плавления тугоплавких металлов

Металл	Цирконий <u>Zr</u>	Ванадий <u>V</u>	Хром <u>Cr</u>	Ниобий <u>Nb</u>	Молибден <u>Mo</u>	Гафний <u>Gf</u>	Тантал <u>Ta</u>	Рений <u>Re</u>	Вольфрам <u>W</u>
$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	1852	1900	1903	2500	2620	2222	2996	3180	3410

Сварка тугоплавких химически активных сплавов вольфрама и молибдена осложняется их высокими температурами плавления, высокой теплопроводностью и электропроводностью. Сочетание подобных свойств вызывает появление в контактах электрод–деталь очень высоких температур, быстрое смятие, подплавление и схватывание рабочей поверхности электродов с поверхностью свариваемого металла. Применяются различные технологические приемы для предотвращения схватывания медного электрода с поверхностью металла. Например, при сварке металлов толщиной 0,1...1 мм эти приемы заключаются в следующем:

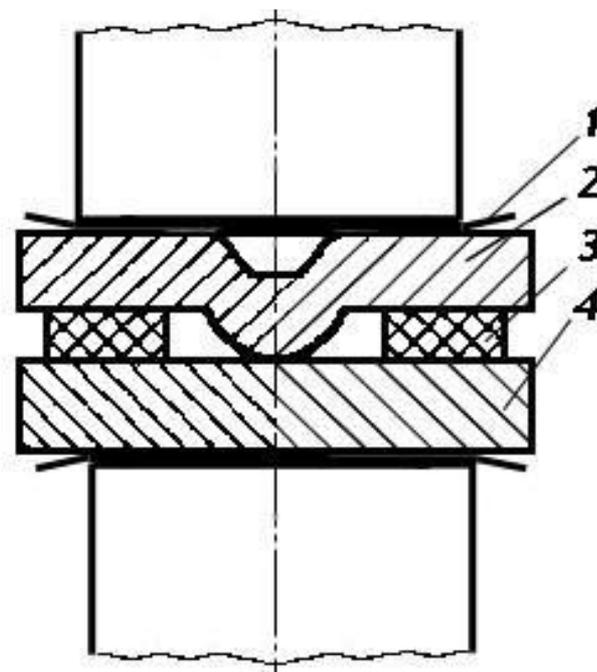
- 1) на поверхность свариваемого металла предварительно наносят тонкий слой графита;
- 2) используют составной электрод (наконечник делают из вольфрама);
- 3) усиленно охлаждают медный электрод (например, жидким азотом или охлаждающими жидкостями с низкой температурой замерзания).

При сварке деталей из вольфрама рекомендуется погружать их в воду и использовать промежуточные прокладки из тантала или никеля.

Молибден сваривают, применяя промежуточные прокладки из титана и меди. Хорошие результаты получаются при рельефно-точечной сварке с использованием теплового экрана и изолирующих прокладок.

Изолирующая прослойка располагается в стыке между соединяемыми металлами и способствует концентрации тока в контакте деталь–деталь и развитию в нем максимальных температур и деформации.

Точечная сварка тантала, ниобия и ванадия обеспечивает получение высокопрочных и пластичных соединений. Применяются более жесткие режимы, чем для титановых сплавов, с применением циклограммы с постоянным усилием сжатия.



Рельефно-точечная сварка с использованием теплового экрана и изолирующей прокладки: 1 – тепловой экран; 2 – деталь с рельефом; 3 – изолирующая прокладка; 4 – деталь без рельефа

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

**КАКИЕ БУДУТ ВОПРОСЫ?**