

# Технологические основы сварки сталей различных классов

Группа	Материалы
1	2
M01(W01)	Углеродистые и низколегированные конструкционные стали перлитного класса с пределом текучести до 360 МПа
M02(W02)	Низколегированные теплоустойчивые хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые стали перлитного класса
M03(W03)	Низколегированные конструкционные стали перлитного класса с пределом текучести свыше 360 МПа
M04(W04)	Высоколегированные (высокохромистые) стали мартенситного, мартенситно-ферритного и ферритного классов с содержанием хрома от 10 % до 30 %
M05(W05)	Легированные стали мартенситного класса с содержанием хрома от 4 % до 10 %
M06	Чугуны
M07	Арматурные стали железобетонных конструкций
M11(W11)	Высоколегированные стали аустенитно-ферритного и аустенитного классов
M21(W21)	Чистый алюминий и алюминиево-марганцевые сплавы
M22(W22)	Нетермоупрочненные алюминиево-магниевые сплавы
M23(W23)	Термоупрочненные алюминиевые сплавы
M31	Медь
M32	Медно-цинковые сплавы
M33	Медно-никелевые сплавы
M34	Бронзы
M41	Титан и титановые сплавы
M51	Никель и никелевые сплавы
M00	Материалы, не вошедшие в обозначенные выше группы



## Состав и свойства среднеуглеродистых сталей

Марка стали	Содержание, %			Свойства при растяжении, не менее						
	C	Mn	Si	$\sigma_{B'}$ МПа	$\sigma_T$ , МПа при толщине металла, мм			$\delta$ , % при толщине металла, мм		
					до 16	16-40	40-100	до 16	16-40	40-100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ст4кп	0,18-0,27	0,4-0,7	≤0,07	410-520	260	250	240	25	24	22
Ст4пс	0,18-0,27	0,4-0,7	0,05-0,17	420-540	270	260	250	24	23	21
Ст4сп	0,18-0,27	0,4-0,7	0,12-0,30	420-540	270	260	250	24	23	21
Ст5пс	0,28-0,37	0,50-0,80	0,05-0,17	500-640	290	280	270	20	19	17
Ст5сп	0,28-0,37	0,50-0,80	0,15-0,35	500-640	290	280	270	20	19	17
Ст5Гпс	0,22-0,30	0,80-1,20	≤0,15	460-600	290	280	270	20	19	17
25	0,22-0,30	0,50-0,80	0,17-0,37	550-700	375	315	–	19	21	–
30	0,27-0,35	0,50-0,80	0,17-0,37	600-750	400	355	295	18	20	21
35	0,32-0,40	0,50-0,80	0,17-0,37	630-780	430	380	315	17	19	20
40	0,37-0,45	0,50-0,80	0,17-0,37	650-800	460	400	355	16	18	19

# Свариваемость

Свариваемость (соединяемость) — свойство материала образовывать неразъемное соединение с требуемым качеством и уровнем физико-механических и функциональных свойств соединения как в процессе его получения, так и при эксплуатации изделия.

**Физическая** свариваемость предполагает способность металлов образовывать в результате сварки каким-либо способом монолитные соединения с химической связью. Большинство металлов и сплавов обладают хорошей физической свариваемостью.

**Технологическая** свариваемость представляет собой технико-экономический показатель и характеризует возможность получения сварного соединения требуемого качества, удовлетворяющего требованиям надежности конструкции при эксплуатации и наименьшей стоимости при изготовлении.

# Горячие трещины

Прямые методы:

- 1) определение механических свойств в температурном интервале хрупкости;
- 2) испытания с принудительным деформированием образцов, подвергнутых сварочному нагреву;
- 3) технологические пробы, на которых деформации металла в температурном интервале хрупкости регулируются выбором конструкции, размеров образца, последовательности и режимов сварки.

Показатель Уилкинсона (H.C.S):

$$H.C.S. = 1000 \cdot C \cdot (S + P + Si/25 + Ni/100) / (3 \cdot Mn + Cr + Mo + V)$$

По DIN EN 1011-2:

$$UCS = 230C + 190S + 75P + 45Nb - 12,3Si - 5,4Mn - 1$$

При UCS < 10 сталь имеет высокую сопротивляемость образованию трещин, а при UCS > 30 - низкую.

$$\frac{Cr_{\text{э}}}{Ni_{\text{э}}} = \frac{Cr + Mo + 1,5Si + 2(Al + Ti) + Nb + W + 0,5Ta}{Ni + 0,5Mn + 30C + 12B + Co}$$

при

S+P=0,02.....0,035 -

>1,5 - стойкая

при S+P = 0,02 <1,5 -

склонная

# Холодные трещины

- 1) по характеру оценки- на прямые и косвенные;
- 2) по характеру показателей склонности - качественные, количественные и полуколичественные;
- 3) по характеру использования показателей склонности - сравнительные и прикладные.

Углеродный эквивалент:

ГОСТ 2772-88

$$C_9 = C + Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + Ni/40 + Cu/13 + V/14 + P/2$$

Европейская ассоциация по сварке (МИС) :

$$C_9 = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$$

Япония:

$$C_9 = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4$$

США:

$$C_9 = C + (Mn+Si)/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$$

# Холодные трещины

Группа сталей	Свариваемость	Эквивалент Сэ, %	Технологические меры			
			Подогрев		Термообработка	
			перед сваркой	во время сварки	перед сваркой	после сварки
1	Хорошая	< 0,25	-	-	-	Желательна
2	Удовлетворительная	0,25...0,35	Необходим	-	Желательна	Необходима
3	Ограниченная	0,35...0,45	Необходим	Желательна	Необходима	Необходима
4	Плохая	> 0,45	Необходим	Необходим	Необходима	Необходима



# Холодные трещины

Методика Д.Сефериана:

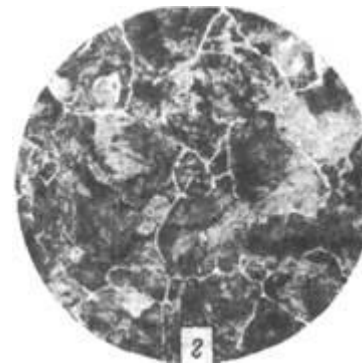
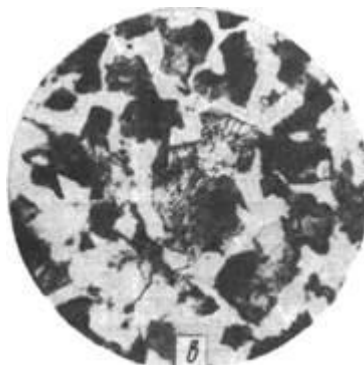
$$C_{\text{Э}} = C + \frac{Mn}{9} + \frac{Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13}$$

$$C_{\text{Э}}^{\text{I}} = 0,005\delta \cdot C_{\text{Э}}$$

$$C_{\text{Э}}^{\text{III}} = C_{\text{Э}} + C_{\text{Э}}^{\text{I}} = C_{\text{Э}} (1 + 0,005\delta)$$

$$T_{\text{под}} = 350 \sqrt{C_{\text{Э}}^{\text{III}} - 0,25}$$

# Углеродистые стали



а

б

в

Феррит + перлит –  
а + (а+Fe<sub>3</sub>C) - 0,2-0,3% С

Перлит + феррит –  
(а+Fe<sub>3</sub>C) + а - 0,4-0,5 % С

Перлит + феррит –  
(а+Fe<sub>3</sub>C) + а 0,5-0,7% С

# Низколегированные стали

По химическому составу стали разделяются на низколегированные и легированные.

В зависимости от вида основных легирующих элементов сталь называют: марганцовистой, хромистой, хромомолибденованадиевой и т.п.

По структуре, полученной при охлаждении на воздухе после нагрева до 900 °С, стали бывают ферритно-перлитными, перлитными, бейнитными и мартенситными.

По свойствам они подразделяются на стали: нормальной и повышенной прочности; хладостойкие; жаропрочные (теплоустойчивые); устойчивые против атмосферной коррозии и коррозии в морской воде; упрочняемые термической и термохимической обработкой и т.п.

По назначению стали классифицируются на две основные группы:

- строительные, применяемые в основном для изготовления сварных конструкций, для которых не предусматривается, за некоторым исключением, термическая обработка;
- машиностроительные, предназначенные, главным образом, для производства деталей механизмов и машин, корпусных конструкций и т.п. В настоящее время широко внедряется технология изготовления комбинированных ковано-, штампо-, литосварных деталей. Большинство такого рода деталей подвергается последующей термической или химико-термической обработке.

# Сварка теплоустойчивых сталей

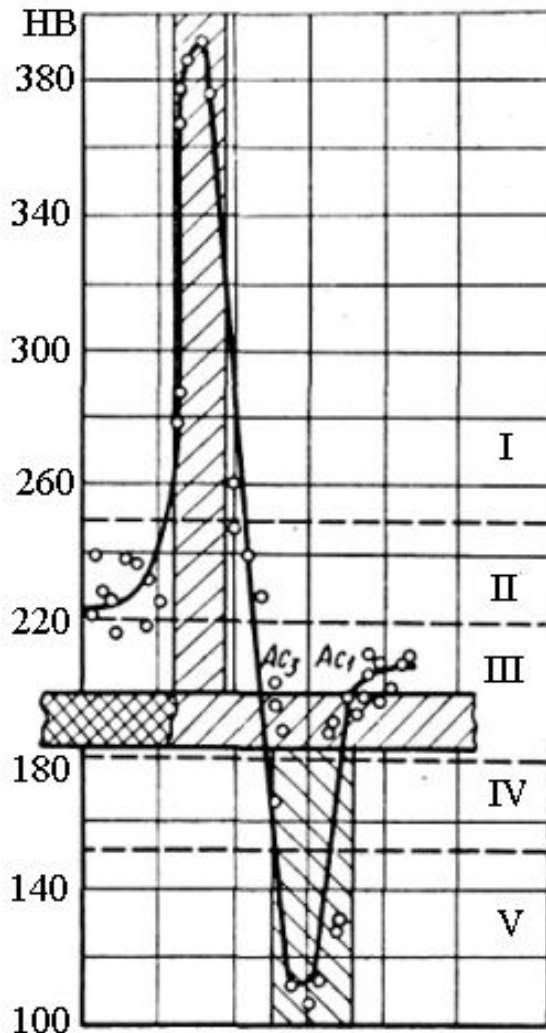


Диаграмма распределения твердости по зонам сварного соединения: зона сплавления – зона белой полосы:

- I – недопустимая область HV>250;
- II – допустимая область HV 220-250;
- III – оптимальная область HV 180-220;
- IV - допустимая область HV 180-160;
- V – недопустимая область HV<160

Хромомолибденовые стали с малым содержанием углерода (сталь 12ХМ) рекомендуется сваривать с предварительным подогревом до 200 °С. При более высоком содержании в стали углерода температуру предварительного подогрева повышают до 250-300 °С.

Хромомолибденованадиевые стали (20ХМФЛ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф) сваривают электродами ЦЛ-20-63 (тип Э-ХМФ) со стержнем из проволоки Св-08ХМФА, либо электродами ЦЛ-27 и ЦЛ-39 со стержнем из проволоки

Св-08ХМФБ. В этом случае необходим предварительный и сопутствующий подогрев до 300-350 °С. После сварки сварные соединения подвергают высокому отпуску при температуре 700-740 °С в течение 2-3 ч.

# Сварка среднелегированных сталей

- Выбор среднелегированных сталей для сварных конструкций
- Регулирование термического цикла сварки
- Применение сварочных проволок с возможно более низкой температурой плавления
- Уменьшение содержания водорода в основном металле и в металле шва
- Термообработка сварных соединений сразу же после окончания сварки
- Предварительная наплавка кромок
- Прочие методы борьбы с холодными трещинами: Проковка сварных соединений, Понижение температуры сварных соединений ниже  $0^{\circ}\text{C}$  сразу же после их остывания до комнатной температуры, Предупреждение увлажнения сварных соединений после окончания сварки