

Свариваемость сталей и сплавов

Свариваемость – способность стали (металла) или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее эксплуатационным требованиям.

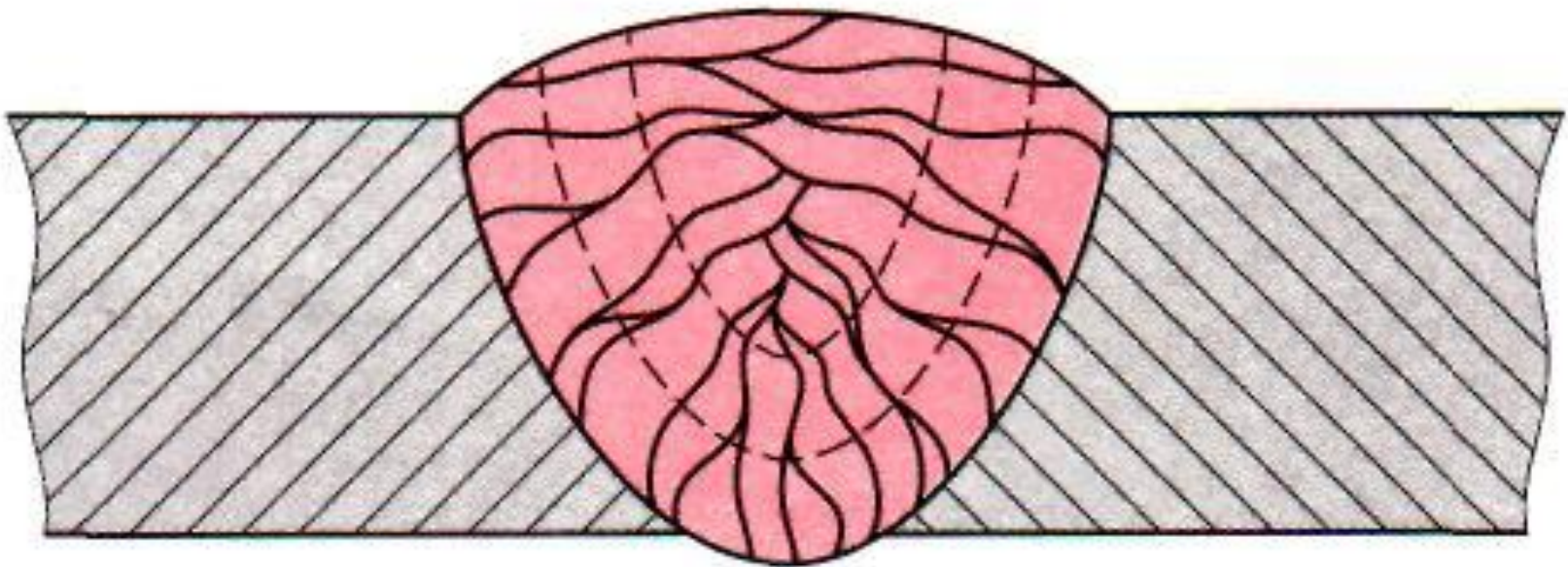
В сварочной практике различают свариваемость физическую и технологическую

- **Физическая свариваемость — свойство материалов давать монолитное соединение с химической связью.** Такой свариваемостью обладают практически все технические сплавы и чистые металлы, а также ряд сочетаний металлов с неметаллами
- ***Технологическая свариваемость отражает реакцию материала на тепловое, силовое и металлургическое воздействие сварки.*** Эта реакция оценивается при сравнении механических свойств металла сварных соединений и одноименных свойств основного металла (например, прочности, пластичности, ударной вязкости и др.).

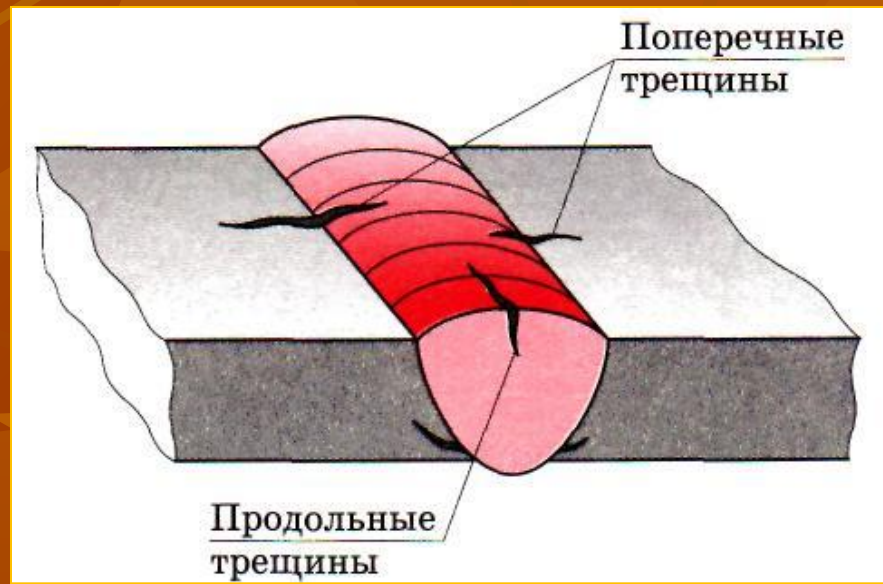
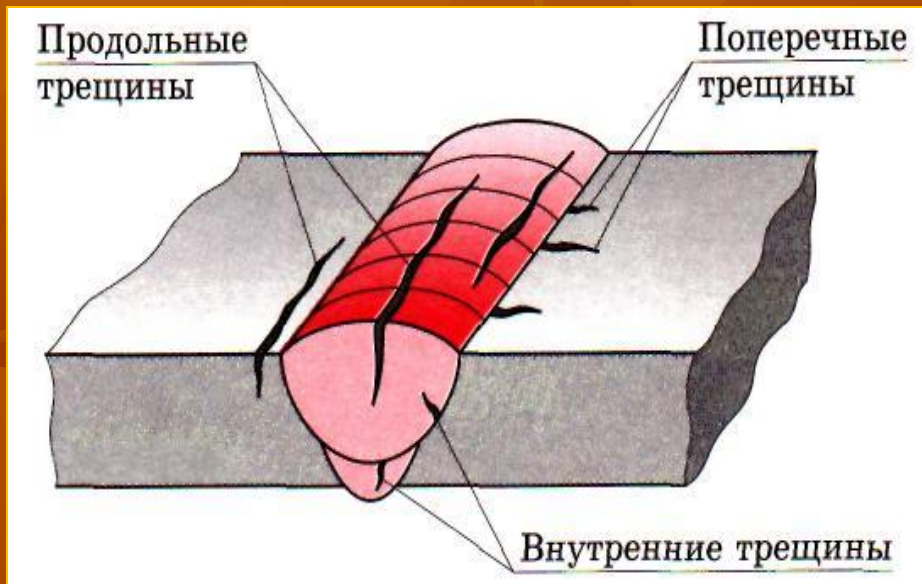
- При сварке плавлением свариваются металлы, имеющие хорошую взаимную растворимость. **Хорошую свариваемость имеют все однородные металлы**, например сталь со сталью, чугун с чугуном, медь с медью и т. п.
- **Любые металлы при сварке плавлением могут образовывать сварные соединения удовлетворительного качества.**

Физическая свариваемость

Монолитное соединение

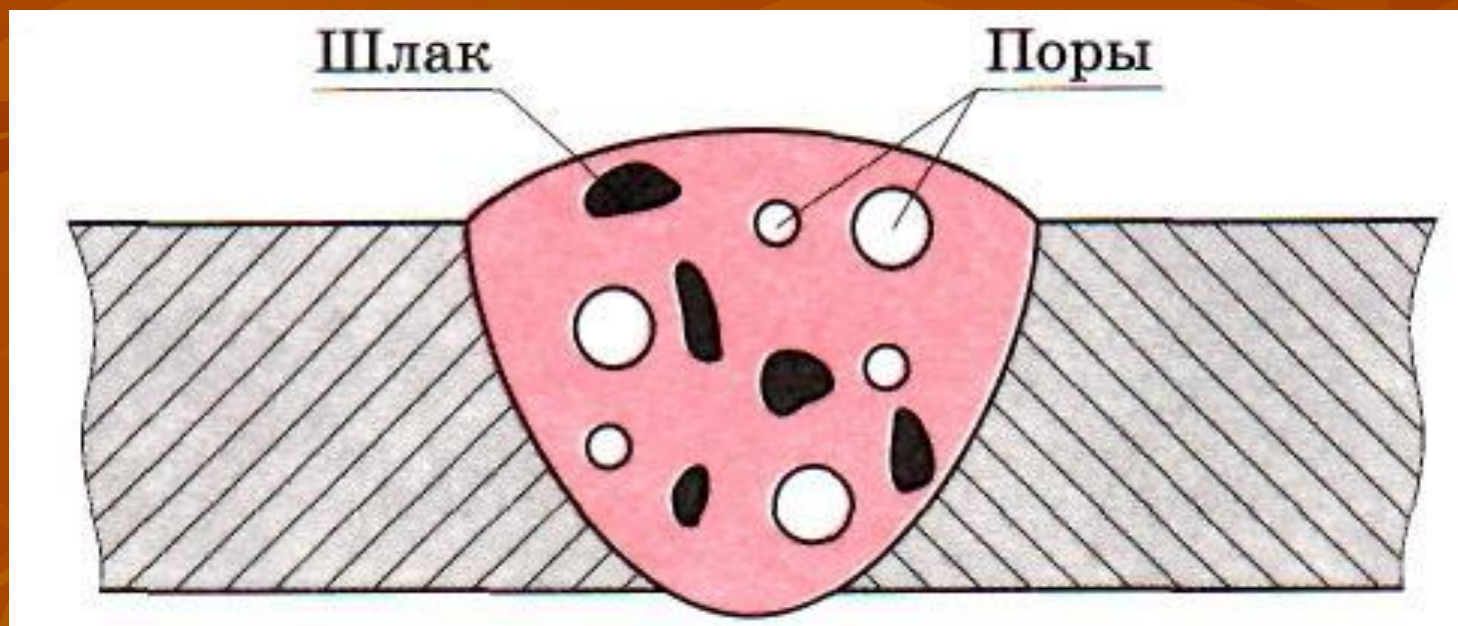


Технологическая свариваемость



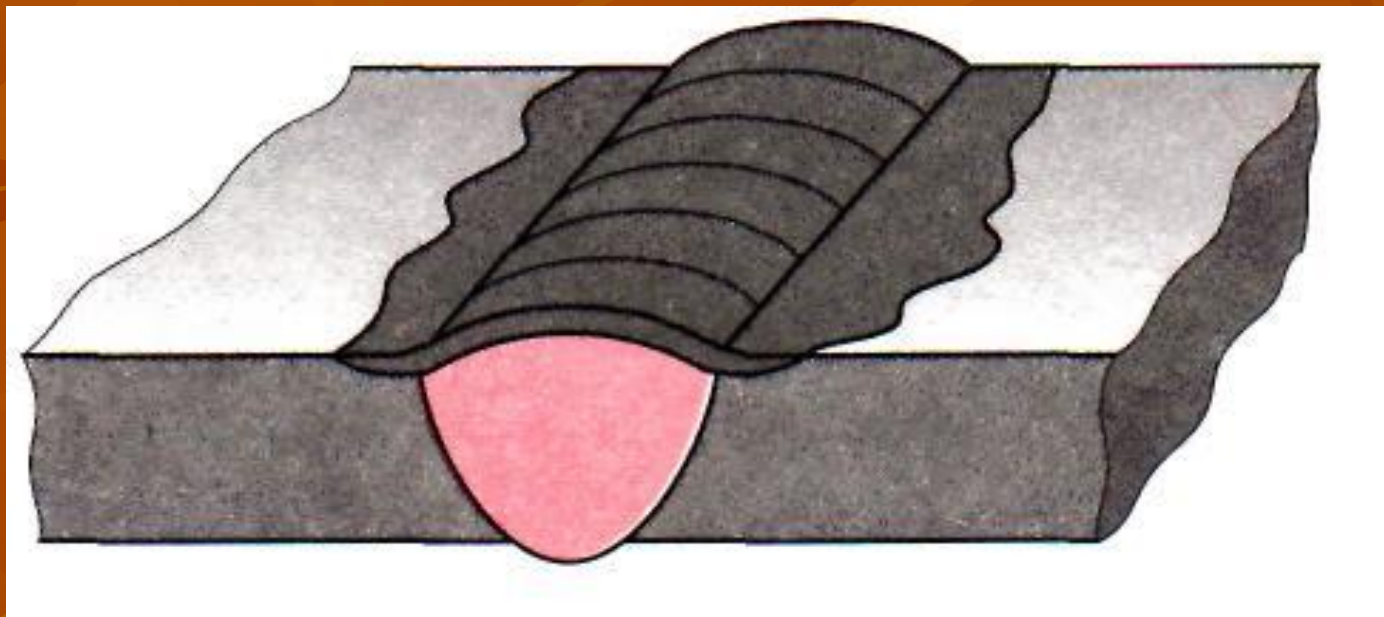
Стойкость к образованию горячих и холодных трещин

Технологическая свариваемость



Отсутствие пор и шлаковых включений

Технологическая свариваемость



Отсутствие оксидных пленок на
поверхности металла

- **При сварке плавлением свариваются только те металлы, которые имеют хорошую взаимную растворимость.**
- **Хорошо свариваются все однородные металлы**
- **Для обеспечения свариваемости разнородных металлов применяют третий металл, обладающий взаимной растворимостью со свариваемыми металлами**

- **Разница между металлами, обладающими хорошей и плохой свариваемостью, заключается в том, что при сварке последних необходима более сложная технология (строгое соблюдение параметров режима, предварительный подогрев, термическая обработка, облицовка кромок, последующая термообработка и т.д.).**

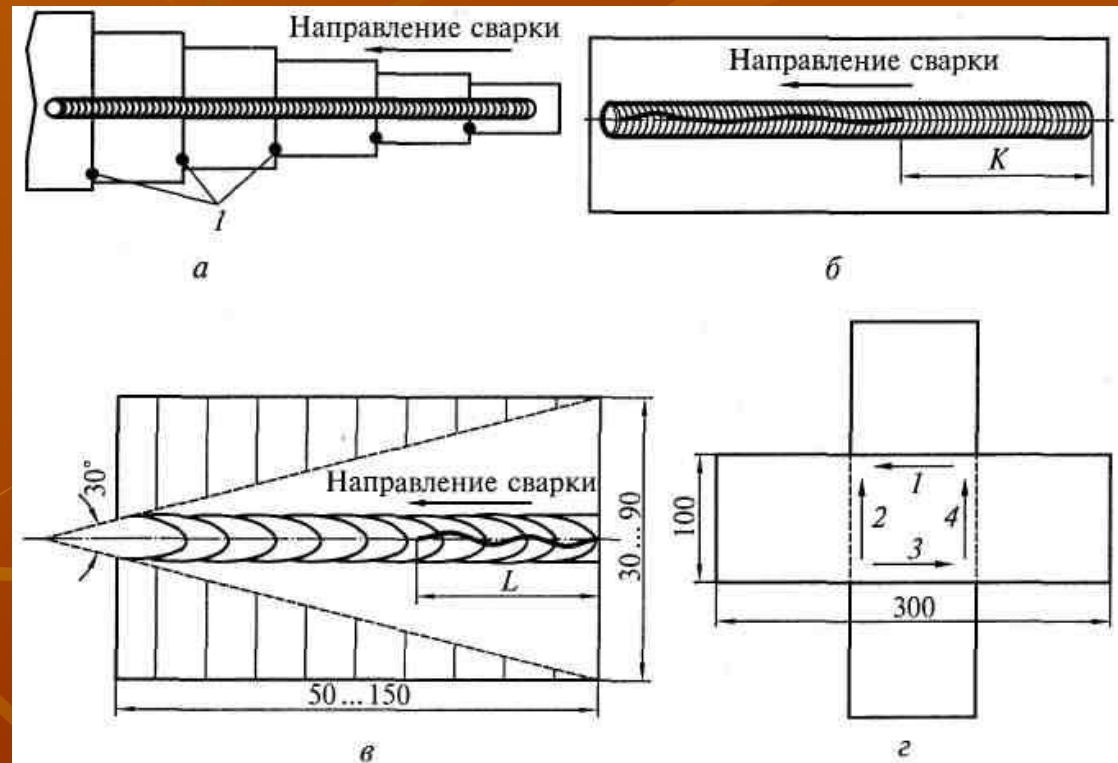
Признаки плохой свариваемости

Склонность металла к

- ◆ перегреву
- ◆ образованию закалочных структур
- ◆ охрупчиванию в зоне сварки
- ◆ образованию трещин в металле шва и переходной зоне
- ◆ Образованию других дефектов при сварке (пор, раковин, несплавлений и т.д.)

**Существует примерно
150 способов
определения свариваемости
металлов и их сплавов**

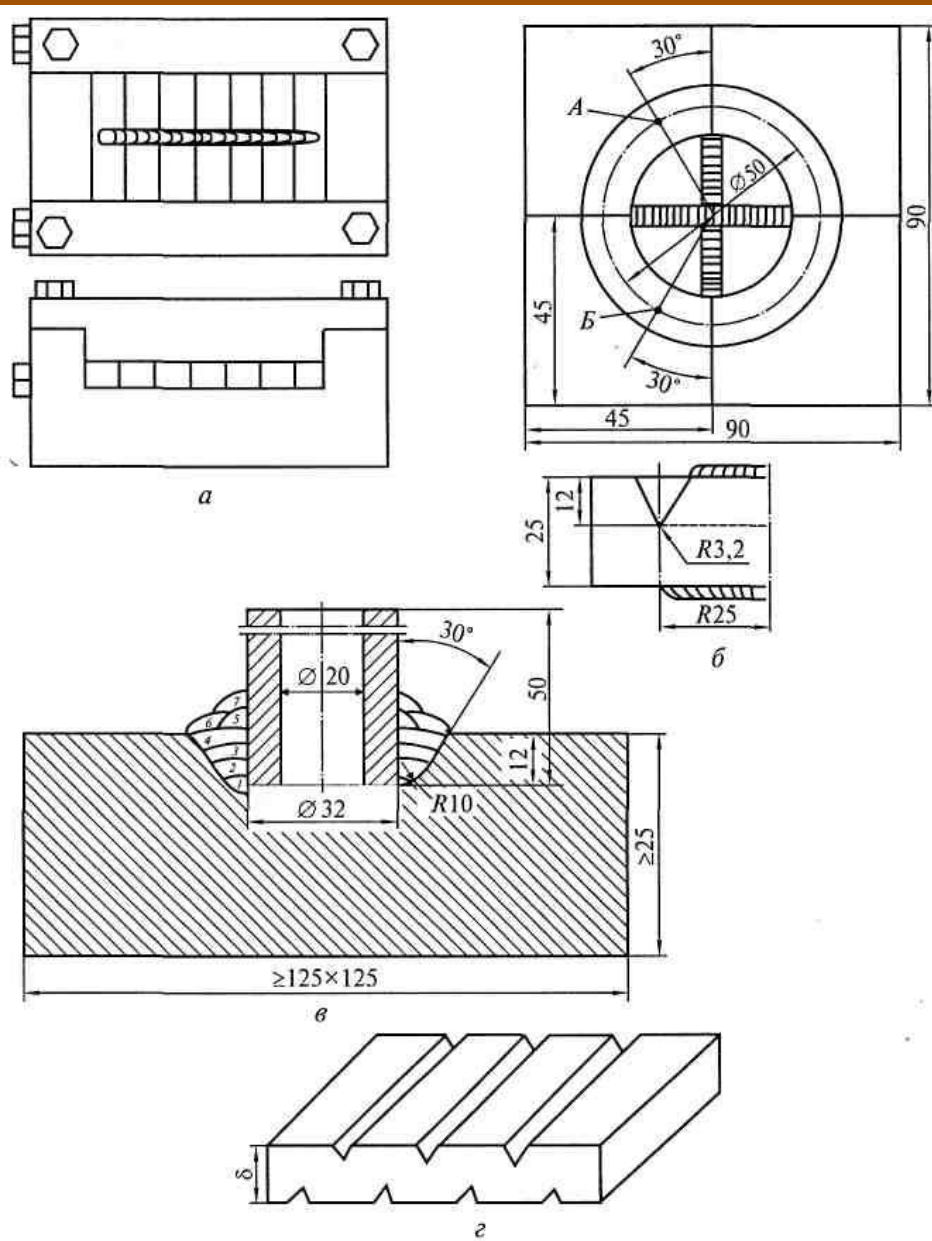
Оценка стойкости материалов против образования горячих (кристаллизационных) трещин



а) составная листовая проба МГТУ;
в) проба Ходкрофта – «рыбья кость»;
(Al и Mg сплавы)

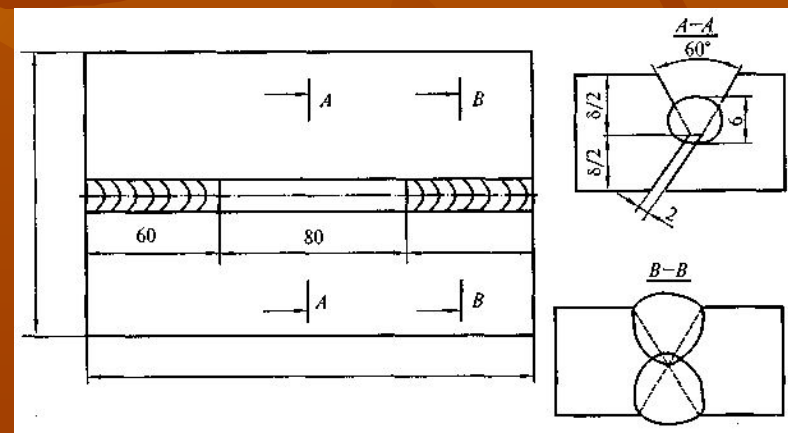
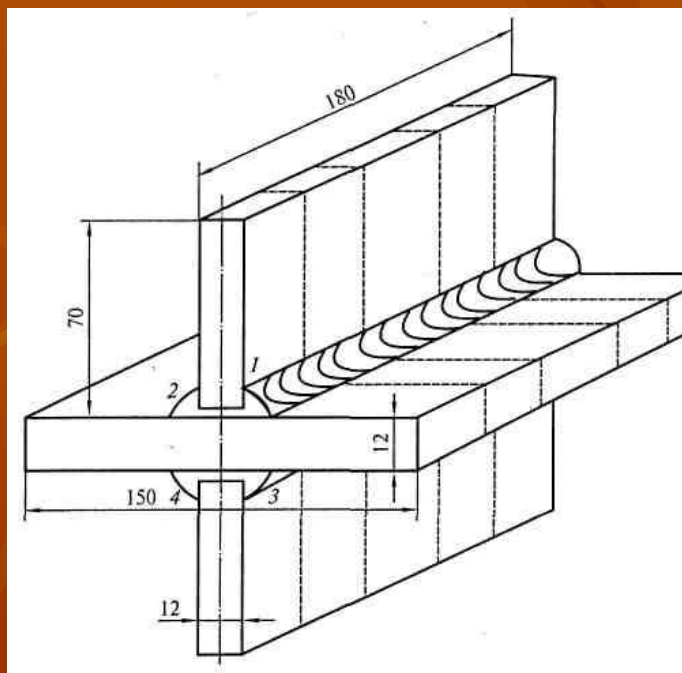
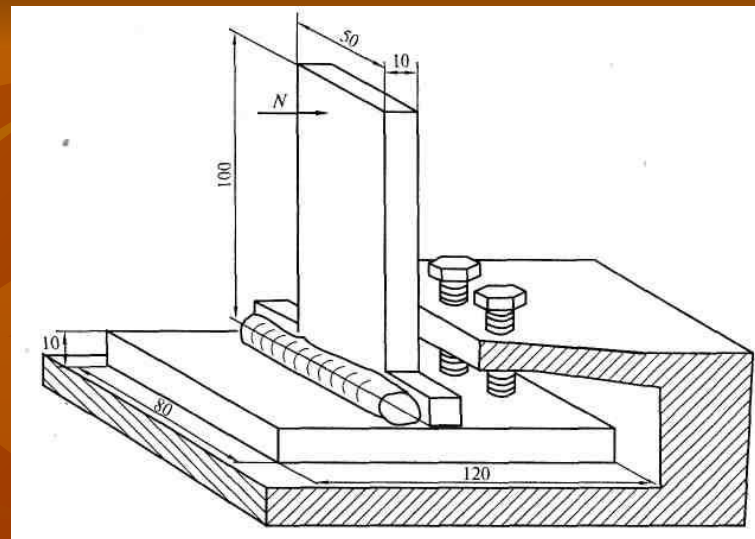
б) проба ИМЕТ;
г) крестовидная проба

Оценка стойкости материалов против образования горячих (кристаллизационных) трещин



- а) проба Пеллини;*
- б) кольцевая сегментная проба;*
- в) проба с кольцевым многослойным швом;*
- г) образец с канавками*

Оценка стойкости материалов против образования ХОЛОДНЫХ трещин



- *Метод МГТУ*
- *Проба «Тэккен»*
- *Крестовая проба (Канада)*

Свариваемость стали

в зависимости от ее химического состава

- Наибольшее влияние на свариваемость стали оказывает количество содержащегося в ней
 - ✓ углерода
 - ✓ легирующих компонентов

С увеличением содержания углерода и ряда легирующих элементов свариваемость сталей ухудшается.

Количественная характеристика свариваемости:

Эквивалентное содержание углерода

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15},$$

где C – содержание углерода, %;

Mn, Cr... - содержание легирующих элементов, %

Количественная характеристика свариваемости

Свариваемость (группа свариваемости)	$C_{\text{экв}}$, %	Марки сталей	
		углеродистых	легированных
Хорошая (I)	Не более 0,25	Ст1, Ст2; стали 08, 10, 15, 20, 25	15Г, 20Г, 15Х, 15ХА, 20Х, 15ХМ, 10ХСНД, 10ХГСНД, 15ХСНД
Удовлетвори- тельная (II)	0,25 ... 0,35	Ст5; стали 30, 35	12ХН2, 12ХН3А, 20ХН3А, 20ХН, 20ХГСА, 30Х, 30ХМ, 25ХГСА
Ограниченная (III)	0,35 ... 0,45	Ст6; стали 40, 45	35Г, 40Г, 45Г, 40Г2, 35Х, 40Х, 45Х, 40ХМФА, 40ХН, 30ХГС, 30ХГСА, 35ХМ, 20Х2Н4МА
Плохая (IV)	Свыше 0,45	Стали 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85	50Г, 50Г2, 50Х, 50ХН, 45ХН3МФА, ХГС, 6ХС, 7Х3

Особенности сварки сталей разных групп свариваемости

Группа свариваемости	Условия сварки
I	Без ограничений, в широком диапазоне режимов сварки независимо от толщины металла, жесткости конструкций, температуры окружающей среды
II	Сварка при температуре окружающей среды не ниже -5°C , толщине металла менее 20 мм и отсутствии ветра; подогрев до температуры 150°C
III	Сварка с предварительным или сопутствующим подогревом до температуры 250°C в ограниченном диапазоне режимов сварки
IV	Сварка с предварительным и сопутствующим подогревом; термообработка после сварки

V.11. Влияние химических элементов на характеристики сталей

Характеристика	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	V	Mo	Ti	Al
Временное сопротивление	+++	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	○
Предел текучести	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	○
Относительное удлинение	=	-	-	=	○	○	○	○	-	-	○	○
Твердость	+++	+	+	+	-	+	+	○	+	+	+	○
Ударная вязкость	-	=	-	=	-	+	+	○	○	○	-	○
Усталостная прочность	+	○	○	○	○	○	○	○	+++	+++	○	○
Свариваемость	-	-	○	-	○	○	○	-	÷	+	+	○
Стойкость против коррозии	○	-	+	+	○	+	+	+++	+	+	○	○
Холодноломкость	○	○	○	+	○	-	-	-	○	○	○	○
Красноломкость	+	+	○	○	+	○	○	○	○	-	○	○

Условные обозначения: + — повышает; ++ — значительно повышает; --- — снижает; = — значительно снижает; ○ — не влияет.

Оценка склонности сталей к образованию трещин

Наиболее простым способом оценки свариваемости сталей является оценка их склонности к образованию горячих трещин по расчету показателя UCS (по EN 1011—2) на основе содержания (%) легирующих элементов. Метод оценки разработан в России.

UCS— единицы склонности к горячим трещинам.

Для углеродистых и низколегированных сталей расчет ведут по выражению:

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

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

Оценка склонности сталей к образованию трещин

Склонность низколегированных сталей к образованию холодных трещин можно использовать расчет по эквиваленту углерода $S_{экв}$ (%) по соотношению:

$$S_{экв} = C + Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + Ni/40 + Mo/4 + V/14 + Cu/13 + P/2$$

Медь и фосфор учитывают, если их содержание: $Cu > 0,5$ %, $P > 0,05$ %.

Стали, у которых $S_{экв} > 0,35\%$, считают склонными к образованию холодных трещин.

Увеличение толщины свариваемого материала ухудшает его свариваемость и в ряде случаев это надо учитывать.

Оценка склонности сталей к образованию трещин

Для низкоуглеродистых сталей:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + Mn/6 + 0,0025S \leq 0,5 \%$$

Для легированных сталей:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + Mn/20 + Ni/15 + (Cr + Mo + V)/10 + 0,0025S \leq 0,45 \%$$

Если полученная величина $C_{\text{ЭКВ}}$ выше указанных значений, то при сварке стали следует производить ее предварительный подогрев, температуру которого определяют по соотношению

$$T_{\text{под}} = 350\sqrt{C_{\text{ЭКВ}} - 0,25}$$

Показатели склонности к горячим трещинам

N	Наименование показателя	Параметрическое уравнение	Вид оценки	Область применения
1	Эквивалент углерода	$C_{\text{ЭКВ}} = C_{\text{Ф}} + 2S + \frac{P}{3} + \frac{Si - 0,4}{4} +$ $+ \frac{Mn - 0,8}{8} + \frac{Ni}{8} + \frac{Cu}{10} + \frac{Cr - 0,8}{10}$	<0.35-0.40 не склонен	НУС и НЛС общего назначения
2	Фактор склонности	$HCS = \frac{C(S+P+Si/25+Ni/100)}{3Mn+Cr+Mo+V} \cdot 10^3$	<4 не склонен	Стали $\sigma_{\text{в}} < 700$
			<2 не склонен	Стали $\sigma_{\text{в}} > 700$
3	Единица склонности	$UCS = 230C + 190S + 75P +$ $+ 45Nb - 12,3Si - 5,4Mn - 1$	<10 - стойкий >30 - склонный	Микро- легированные стали с Nb
4	Критич. скорость деформ., мм/мин	$V_{\text{кр}} = 19 - 42C - 411S - 3,3Si +$ $+ 5,6Mn + 6,7Mo$	>6 - стойкий <1,8 - склонный	Легированные стали
5	Хромо- никелевый эквивалент	$\frac{Cr_s}{Ni_s} = \frac{Cr + 1,37Mo + 1,5Si + 2Nb + 3Ti}{Ni + 0,31Mn + 22C + 14,2N + Cu}$	>1,5 - не склонный <1,5 - склонный	Высоколег. стали аустенитн. класса
6	Фактор склонности	$L = 299C + 8Ni + 142Nb -$ $- 5,5(\% \delta Fe) - 105$	L > 0 - склонный L < 0 - не склонный	Стали аустенитно- ферритного класса