

# Металлические конструкции в современном строительстве

## МАТЕРИАЛЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ



ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ

[pk.tsogu.ru](http://pk.tsogu.ru)

28 39 77

© Корсун Н.Д., 2017

© ТИУ, 2017

# ЛИТЕРАТУРА ПО КУРСУ

- **Металлические конструкции** / под ред. Ю. И. Кудишина .— 12-е изд., стер. — М. : Академия, 2010 .— 682 с.
- **Металлические конструкции: в 3 т.: Т.1. Элементы конструкций** / под ред. В. В. Горева .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш.шк., 2001 .
- **Барабаш, М. С.** Современные технологии расчета и проектирования металлических и деревянных конструкций / М. С. Барабаш, М. В. Лазнюк, М. Л. Мартынова, Н. И. Пресняков / Под ред. проф. Нилова А. А. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 328 с.
- **Проектирование металлических конструкций:** Спец. курс / В. В. Бирюлев, И. И. Кошин, И. И. Крылов, А. В. Сильвестров. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432 с.

# 1. ВИДЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ



**Сталь** -  
самый  
распространенный  
металл в  
строительстве

Виды металлов:

- **стали**
- **алюминиевые сплавы**
- **чугун**

# Марки сталей

Группа сталей	ГОСТ27772-88	ГОСТ535; ГОСТ19281	ИСО
Малоуглеродистые	С235	Ст3кп	Е 235 (Fe360) - А
	С245	Ст3пс	Е 235 (Fe360) - В
	С255	Ст3сп5	Е 235 (Fe360) - С
	С275	Ст4сп	Е 275 (Fe430) - С
	С285	Ст5пс	Е 355 (Fe510) - В, Fe490
	С285	Ст5сп	Е 355 (Fe510) - С, Fe490
			Ст6пс, Ст6сп
Низколегированные	С345	09Г2С-12	
	С375	14Г2, 15ХСНД	
	С390	14Г2АФ,	

# Применение марок сталей в прокате

**ГОСТ 27772-88** – фасонный и листовой прокат

- С235, С245, С255, С275, С285, С345, С345К, С375, С390, С390К, С440, С590, С590К

**ГОСТ 535-2005** - сортовой и фасонный прокат

**ГОСТ 14637-89** – толстолистовой прокат

- Ст0, Ст1кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3сп, Ст4сп, Ст5пс

**ГОСТ 19281-89** – стали повышенной прочности

- 09Г2, 09Г2С, 09Г2Д, 15ХСНД, 10ХНДП, 10ХСНД

Обозначения:

С – кремний, Г – марганец, П – фосфор, Н – никель,

Х – хром, Д – медь, Ф – ванадий, М – молибден,

Т – титан, Ю – алюминий

**! Стали по ГОСТ 27772-88 – основные марки сталей.**

# Химический состав стали

Основные компоненты	+	—
Феррит	пластичен	не прочен
Цементит	прочен	хрупок
Перлит	- смесь пластинок феррита и цементита	
Составляющие		
Углерод (до 0,22%)	повышает: прочность, твердость, закаливаемость	понижает: пластичность, относительно удлинение, обрабатываемость, свариваемость
Примеси	марганец, кремний	фосфор, сера, кислород, азот, водород
Легирующие добавки (до 2,5%)	марганец, кремний, алюминий, ванадий, медь, хром, никель,	ухудшают свариваемость

# Физические характеристики металлов

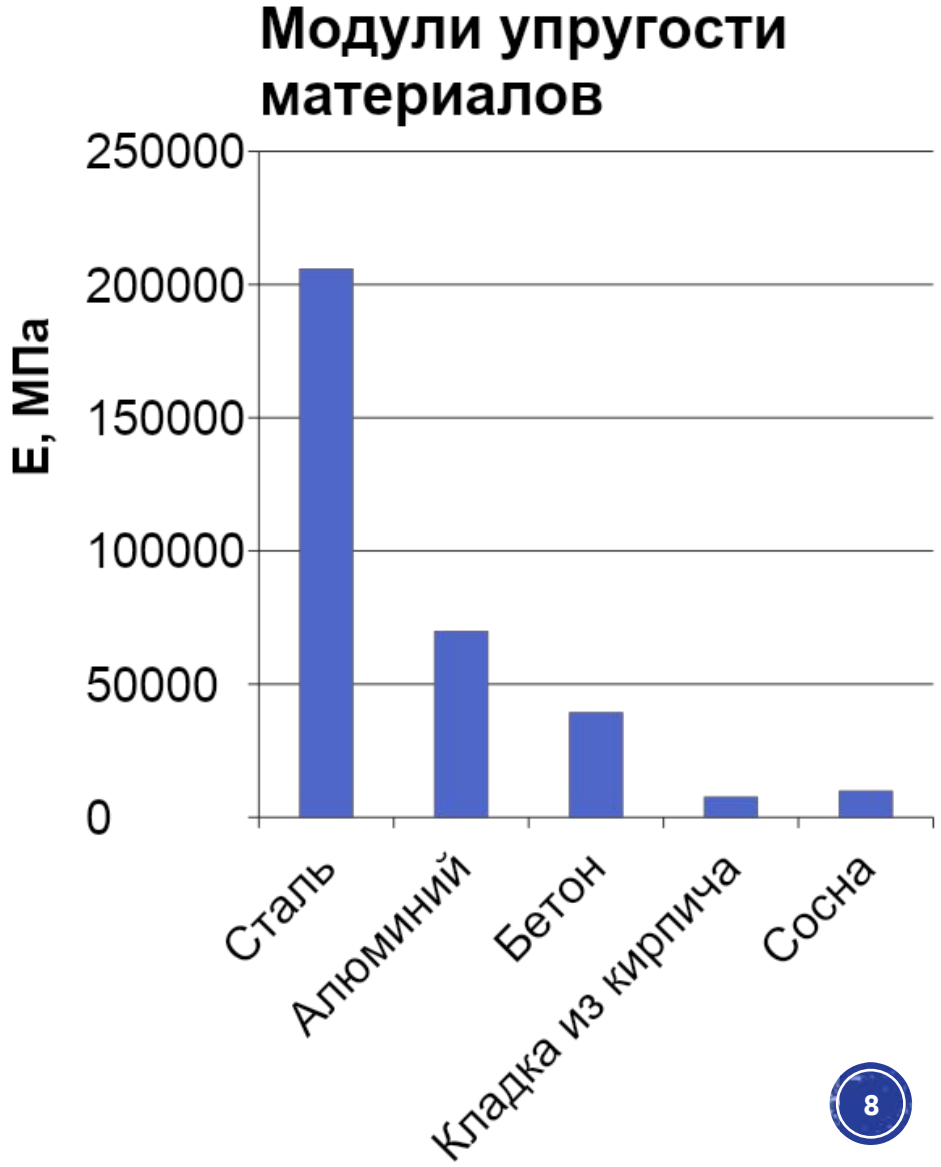
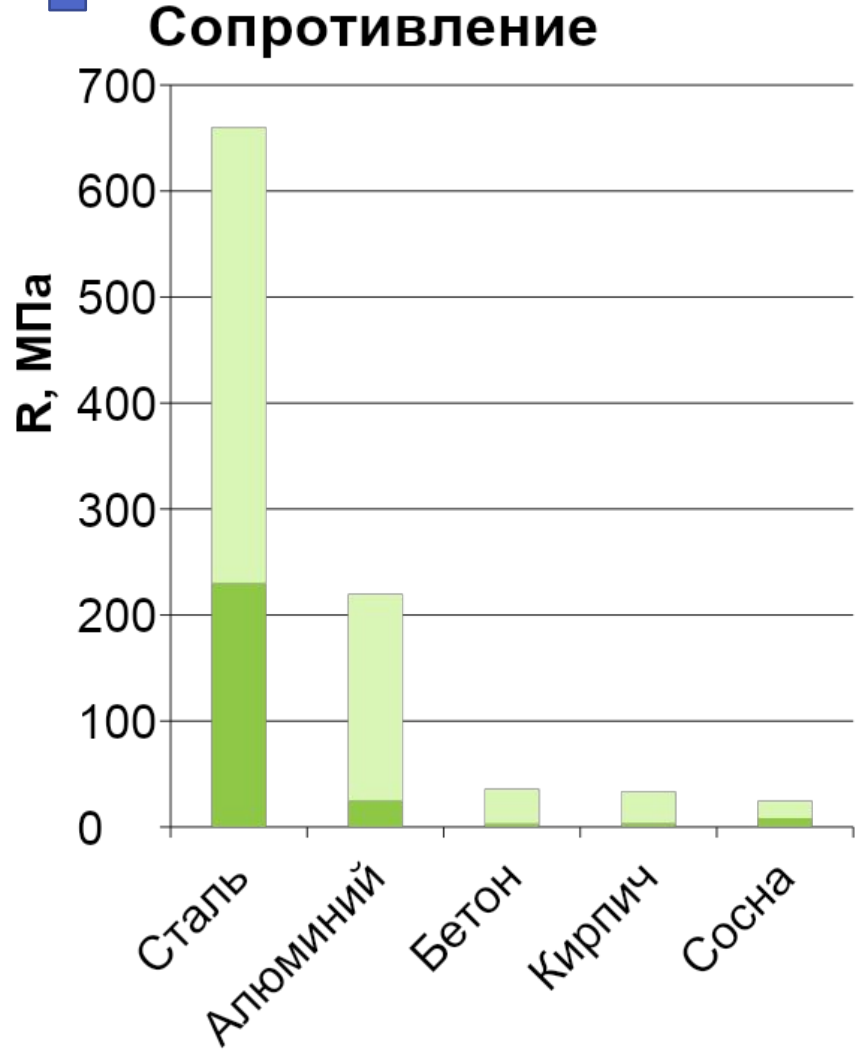
Показатель	Ед. изм.	Сталь	Чугун	Алюминиевые сплавы
$\gamma$	кгс/м <sup>3</sup>	$7,85 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$
$\alpha$	°С <sup>-1</sup>	$0,12 \cdot 10^{-4}$	$0,1 - 0,12 \cdot 10^{-4}$	$0,23 \cdot 10^{-4}$
$E$	кгс/см <sup>2</sup>	$2,1 \cdot 10^6$	$1 - 1,3 \cdot 10^6$	$0,7 \cdot 10^6$
$\sigma$	кгс/см <sup>2</sup>	$0,8 \cdot 10^6$	$0,4 - 0,5 \cdot 10^6$	$0,27 \cdot 10^6$

## Механические свойства сталей

Показатель	Ед. изм.	Обычные стали	Стали повышенной прочности	Стали высокой прочности
$\sigma_y$	МПа	225 - 285	305 - 390	> 400
$\sigma_u$	МПа	360 - 390	460 - 540	> 560
$\delta$	%	17 - 24	14 - 20	14 - 20
КС при T=-20/ -40/-70/мех.ст.	Дж/см <sup>2</sup>	29/-/-29	-/34-39/29-34/29	-/34/29/-

# 2. СВОЙСТВА СТАЛЕЙ

## + Высокая прочность и упругость





# + Надежность

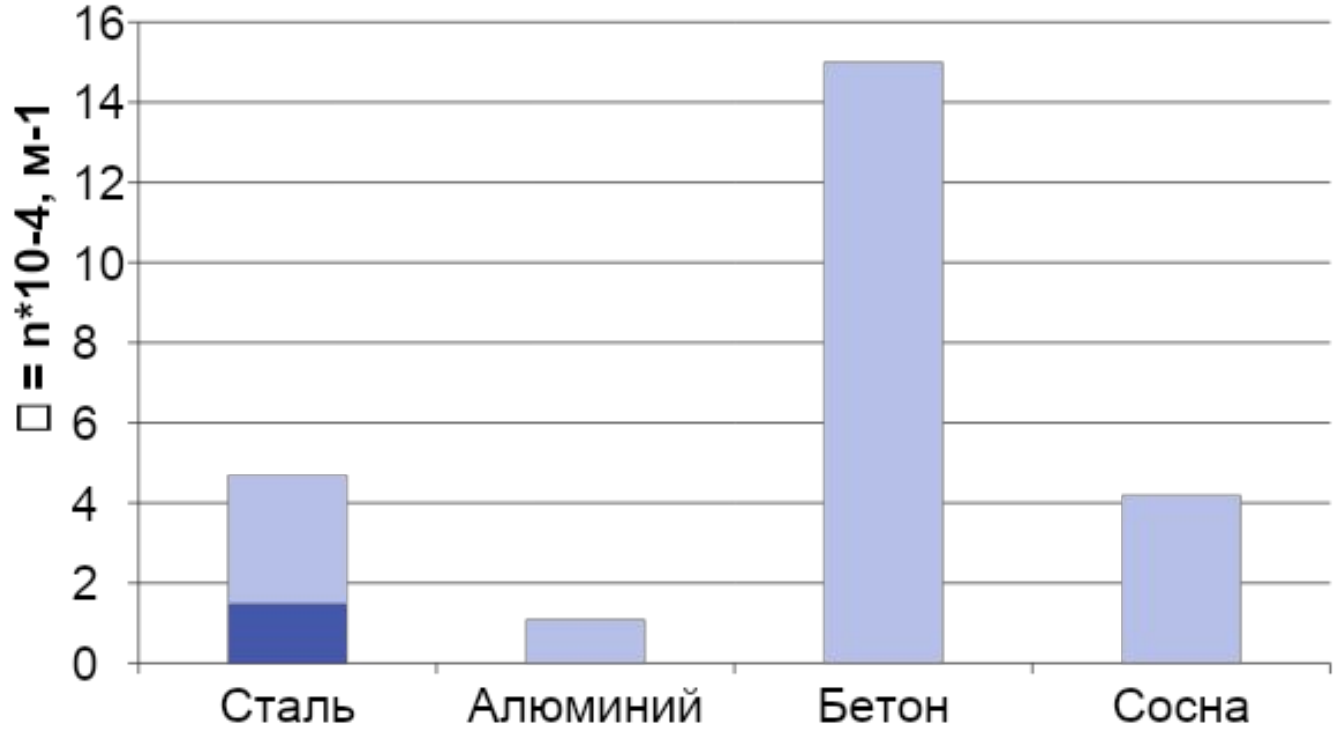
**Надежность** – это свойство объекта сохранять заданные функции в течение требуемого промежутка времени

**Коэффициент надежности**  
по материалу для сталей по ГОСТ 27772-88

$$\gamma_m = 1,025$$

# + Легкость

Показатель легкости



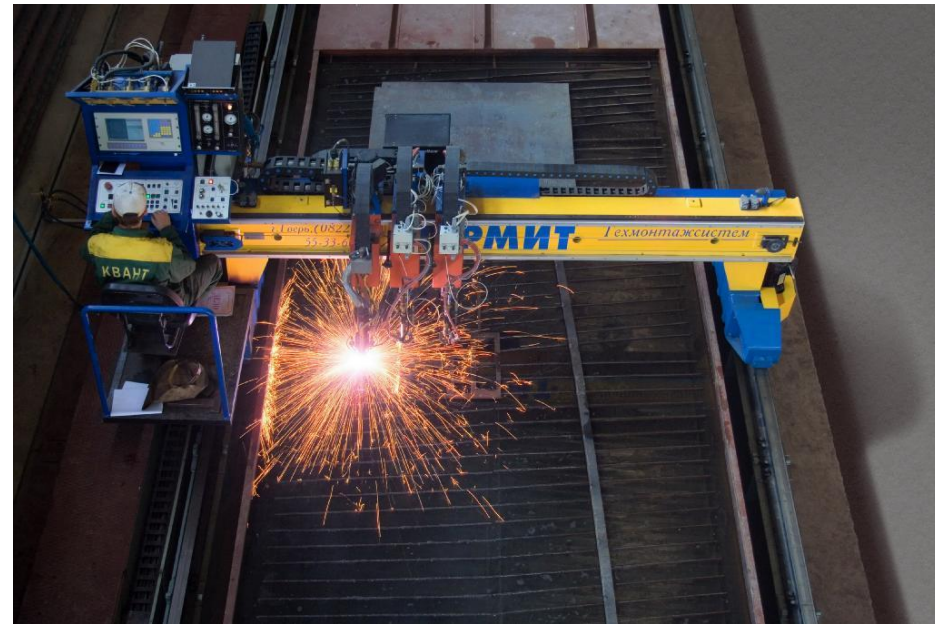
$$n = \gamma / R, \text{ м}^{-1}$$

# + Непроницаемость

Плотность стали

$$\gamma = 7850 \text{ кг/м}^3$$

# + Индустриальность



## **+** Ремонтпригодность

Металлические конструкции легко поддаются усилению, перевооружению и реконструкции при помощи сварки и болтов, даже без прекращения эксплуатации здания

## **+** Оборачиваемость

Металлические конструкции в результате физического износа и морального старения изымаются из эксплуатации, в виде металлического лома поступают на заводы по выплавке стали и возвращаются в строительство

## Низкая коррозионная стойкость



**Коррозия металла** – процесс окисления путем проникания кислорода в структуру металла. Средняя скорость коррозии - 0,1 мм/год. Максимальная – 1,6 мм/год.

На скорость распространения коррозии влияют:

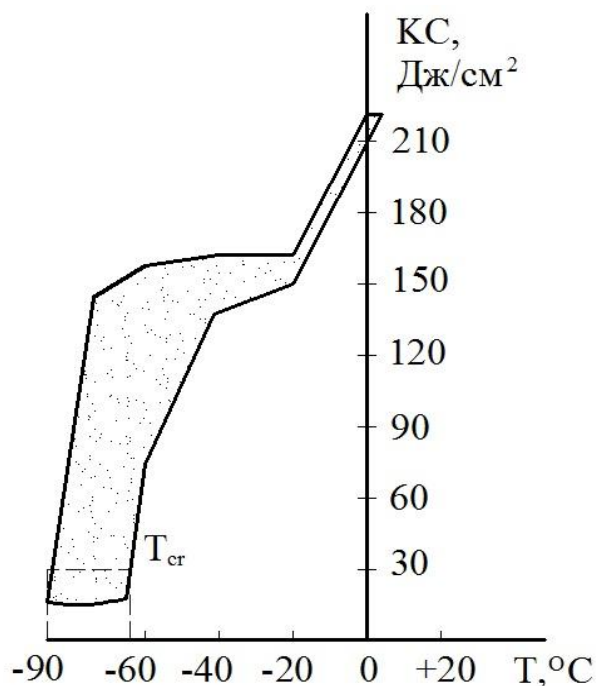
- влажность воздуха (критическая влажность 65-70%)
- агрессивные примеси в воздухе (сернистый газ, двуокись углерода, аммиак, хлористый водород, хлор)
- ПЫЛЬ
- *площадь открытой поверхности* металлических конструкций

Последствия коррозии - местные ослабления сечений элементов и узлов.

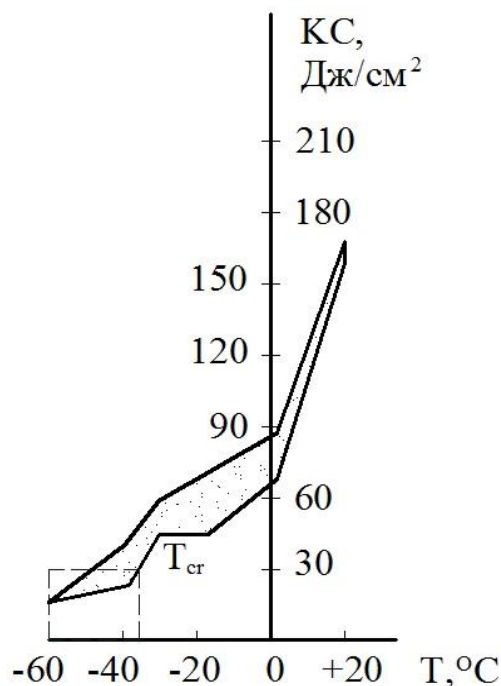
# Склонность к хрупкому разрушению

Переходу стали в хрупкое состояние способствуют:

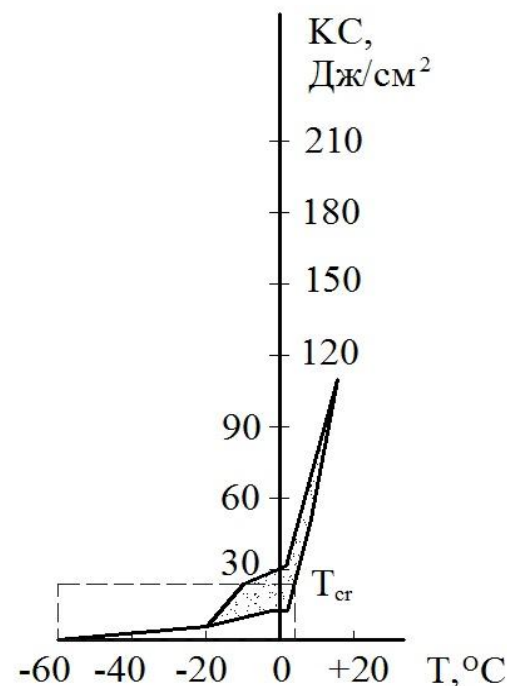
- низкая температура
- динамические воздействия
- объемное напряженное состояние
- резкие изменения формы конструкций
- крупнозернистость металла



**U-образный надрез**



**V-образный надрез**



**Трещина**

# Низкая огнестойкость

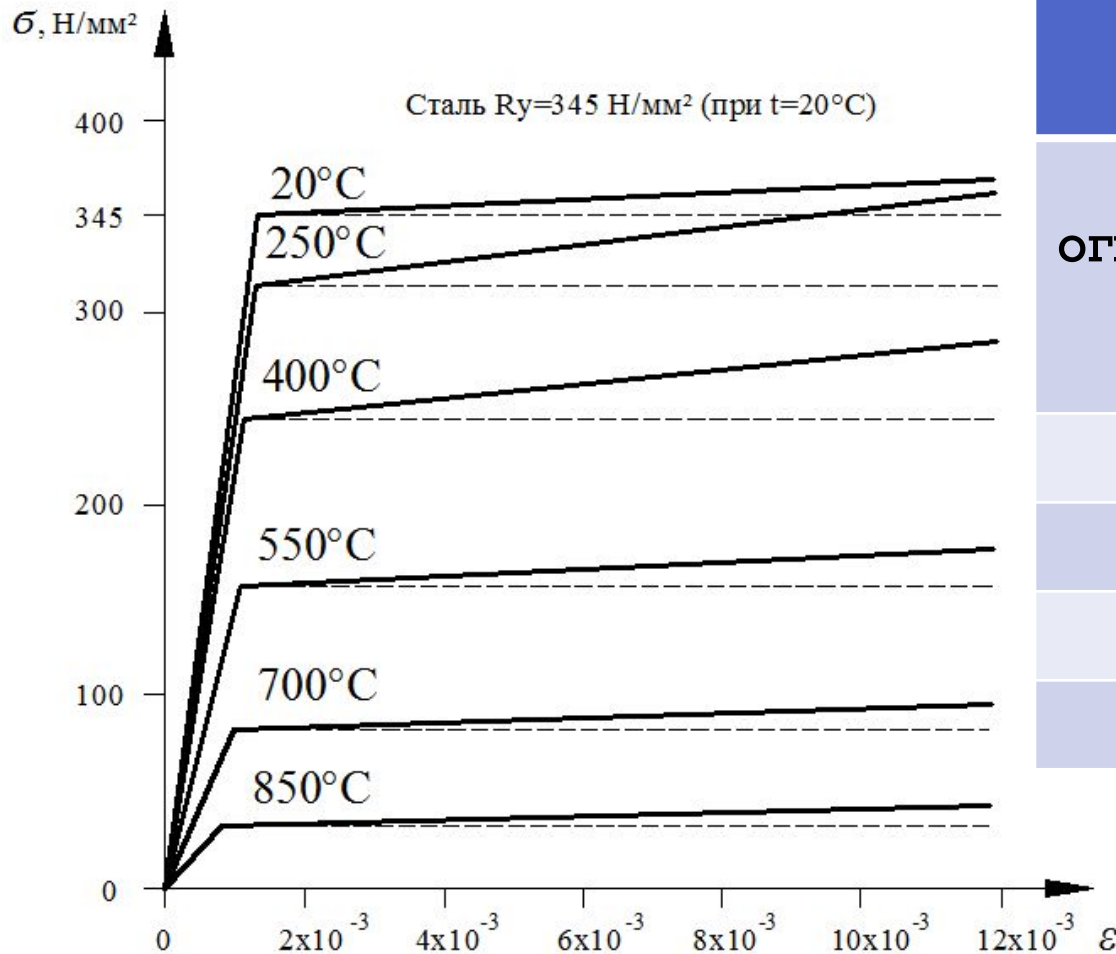


Диаграмма напряжение – относительная деформация при различной температуре

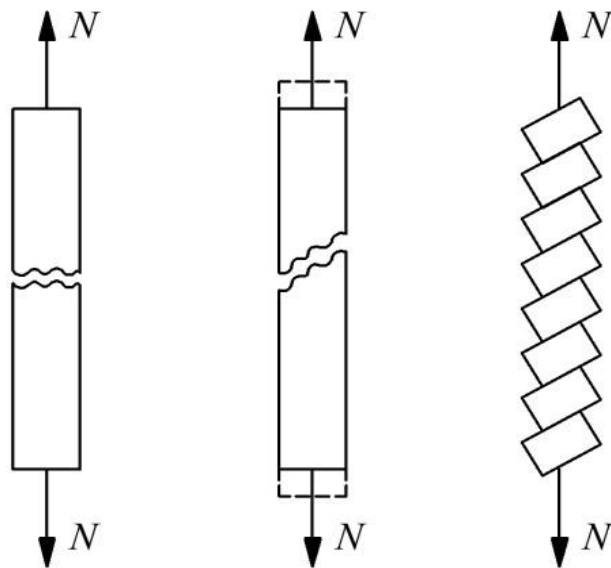
## Требуемые пределы огнестойкости

Степень огнестойкости и здания	Колонны	Фермы, балки, прогоны
I	R 120	R 30
II	R 90	R 15
III	R 45	R 15
IV	R 15	R 15

**Незащищенные** металлические конструкции **толщиной металла 5 - 30 мм** имеют предел огнестойкости **R 7 – R 27**.

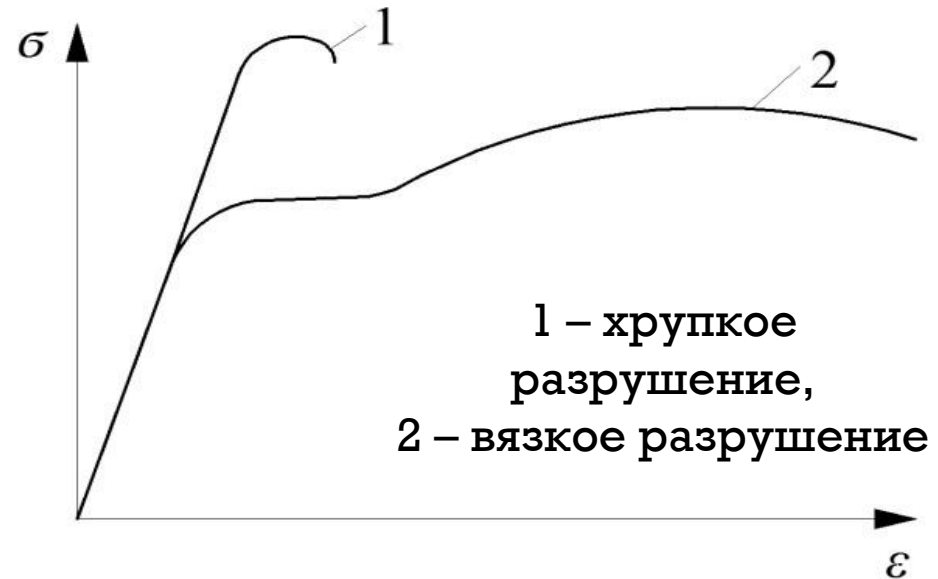
# 3. РАБОТА СТАЛИ ПОД НАГРУЗКОЙ

## Виды и механизм разрушения



отрыв

сдвиг



**Хрупкое разрушение** происходит путем **отрыва**, без заметных деформаций.

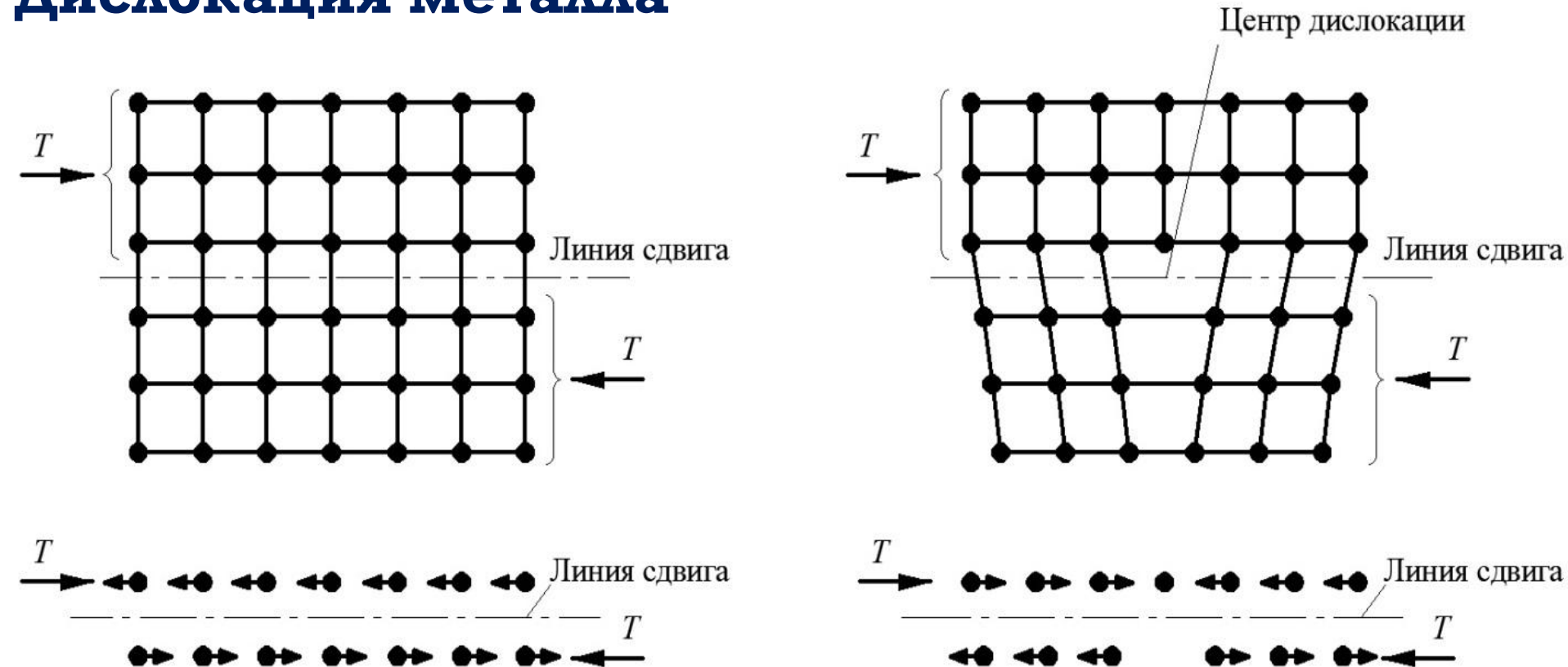
**Пластическое разрушение** является результатом **сдвига**, сопровождается значительными деформациями.

**Вид разрушения** зависит от вида напряженного состояния, наличия концентраторов напряжений и пр. условий работы

# Прочность стали

- Прочность межатомной связи на отрыв  $\approx 330$  тс/см<sup>2</sup>
- Прочность межатомной связи на сдвиг  $\approx 130$  тс/см<sup>2</sup>
- Прочность стали при растяжении  $3,6 \div 7,0$  тс/см<sup>2</sup>
- Прочность стали при сдвиге  $1,3 \div 3,5$  тс/см<sup>2</sup>

## Дислокация металла





# Одноосное растяжение

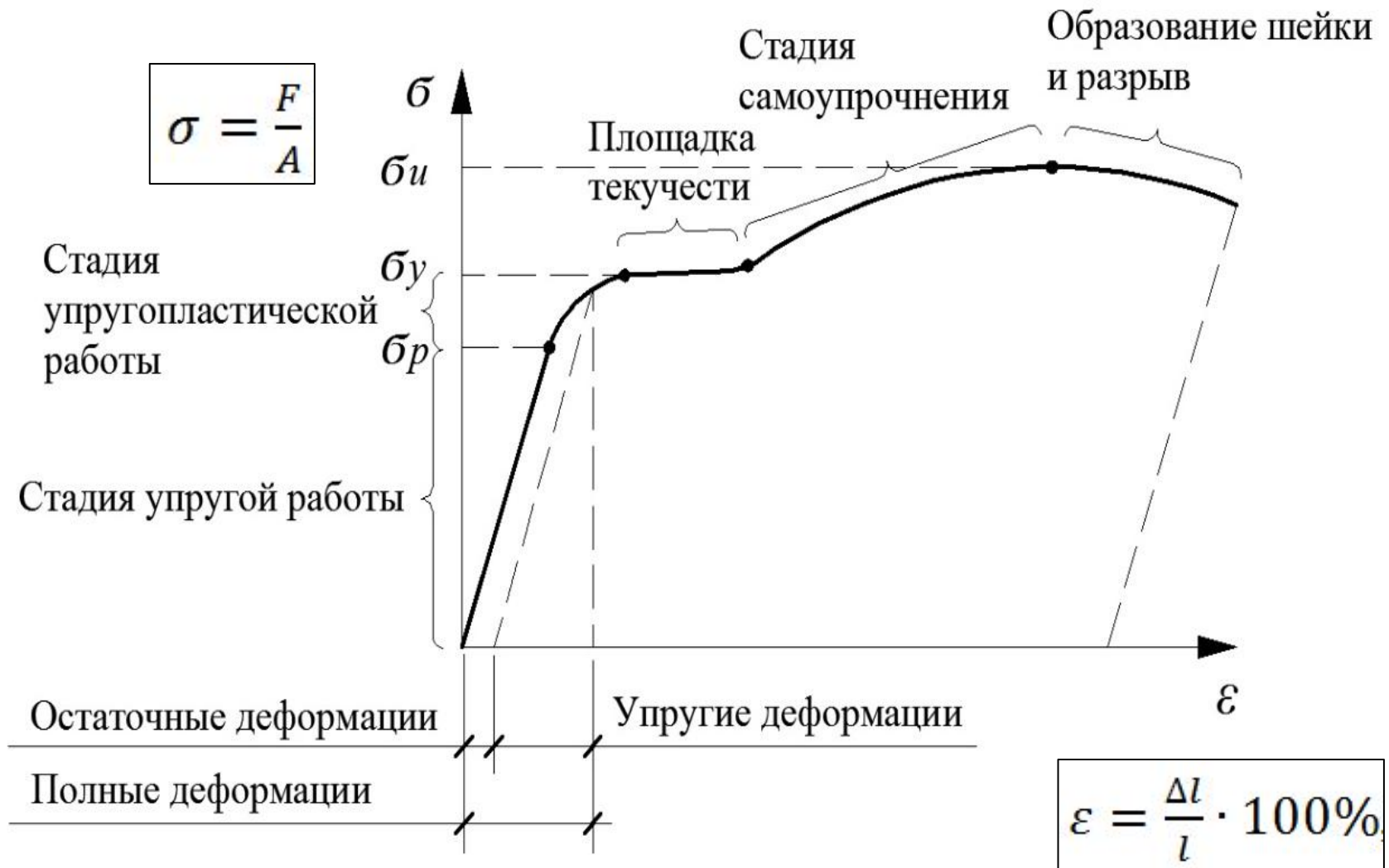
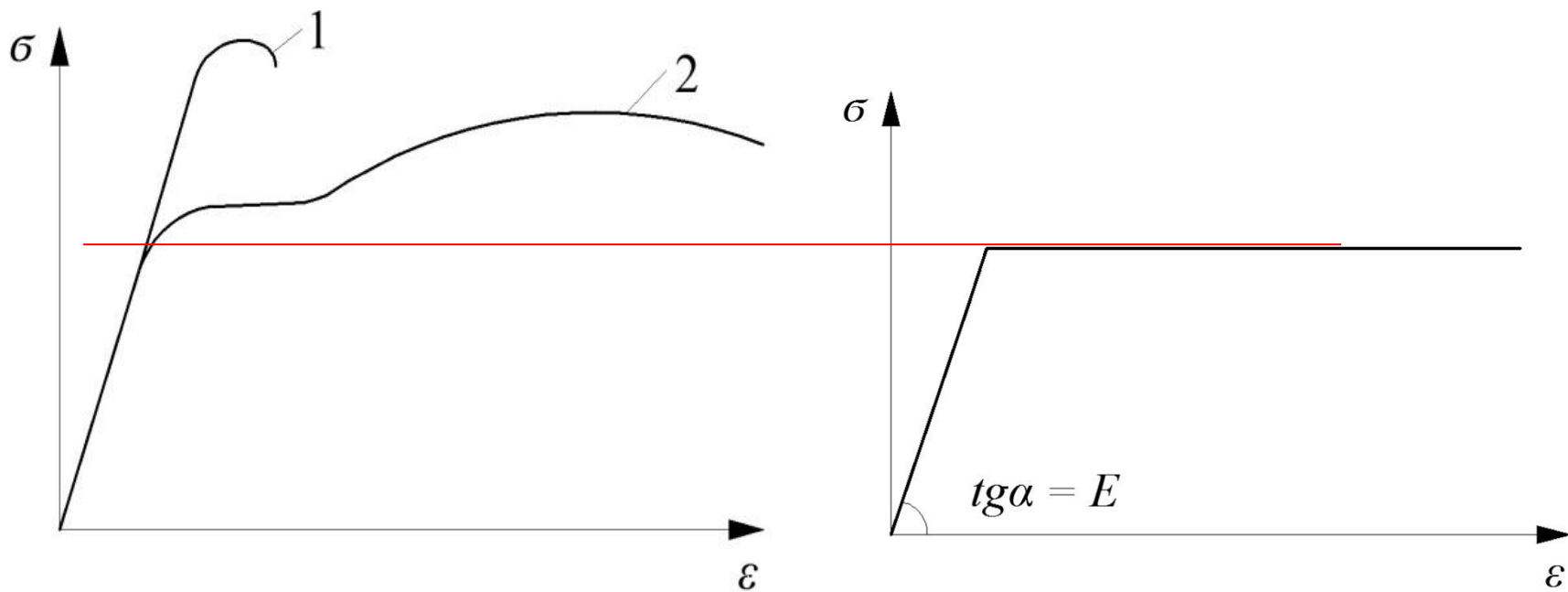


Диаграмма растяжения углеродистой стали

# Идеализированная диаграмма работы стали

## Диаграмма Прандтля

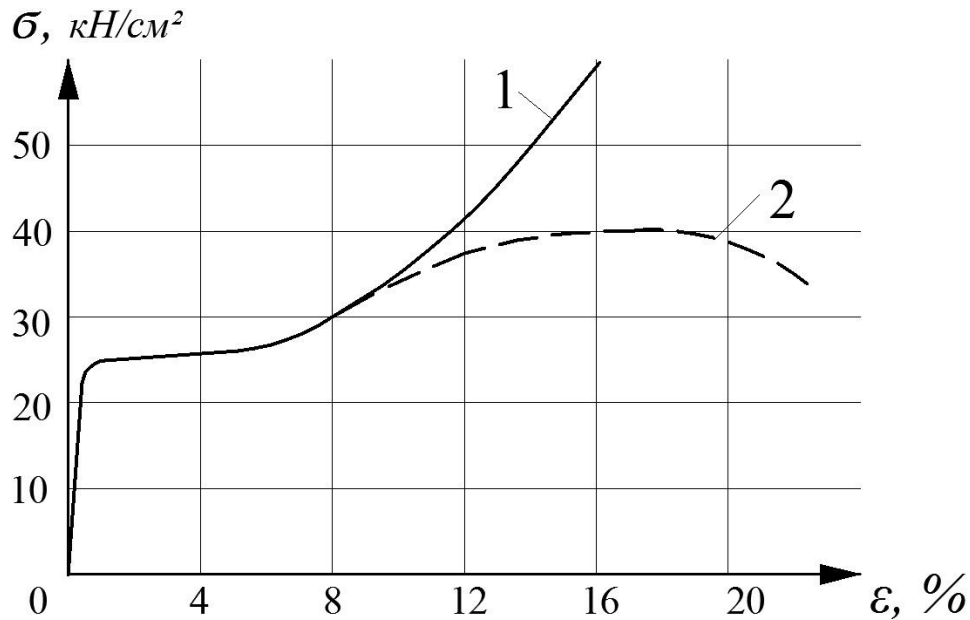


1 – низколегированная  
сталь,  
2 – малоуглеродистая сталь

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

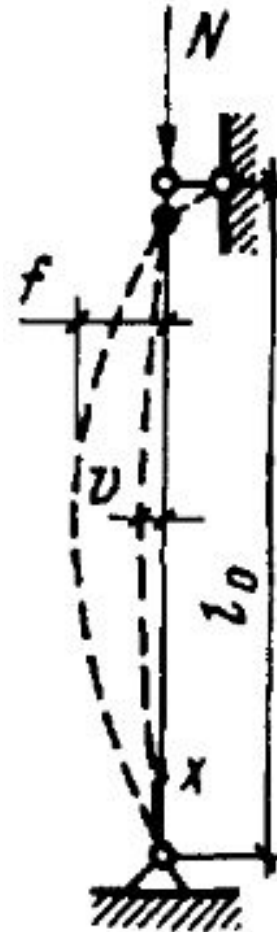
# Одноосное сжатие

## Сжатие длинного образца



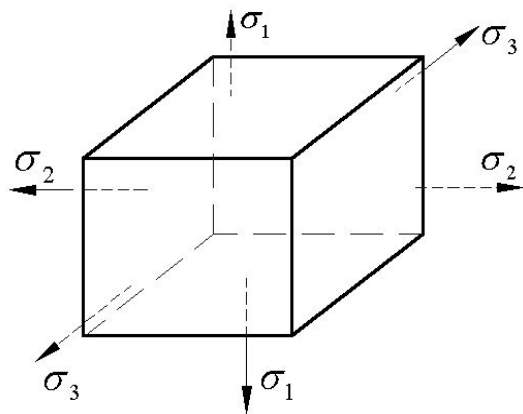
1 – сжатие **короткого образца**,  
2 – растяжение эталонного образца

$$\sigma = \frac{F}{A}$$



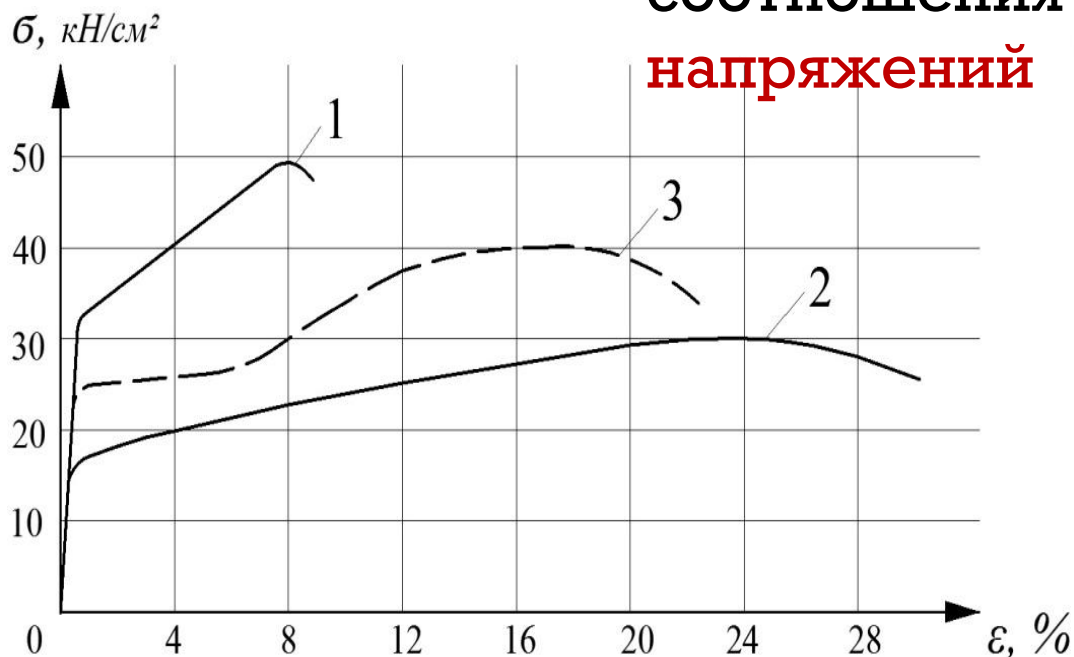
$$\sigma = \frac{N}{\varphi A}$$

# Сложное напряженное состояние



$\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  - главные нормальные напряжения

При сложном напряженном состоянии **переход в пластическое состояние зависит от знака и соотношения действующих напряжений**



- 1 - напряжения одного знака;
- 2 - напряжения разных знаков;
- 3 - одноосное растяжение ( $\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 = 0$  и  $\sigma_3 = 0$ )

# Условие перехода стали в пластическую

**ст** в главных напряжениях:

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)} = \sigma_y.$$

в нормальных и касательных напряжениях:

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \leq R_y.$$

при двuosном (плоском) напряженном состоянии

$$\sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{zx} = 0, \quad \sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2}.$$

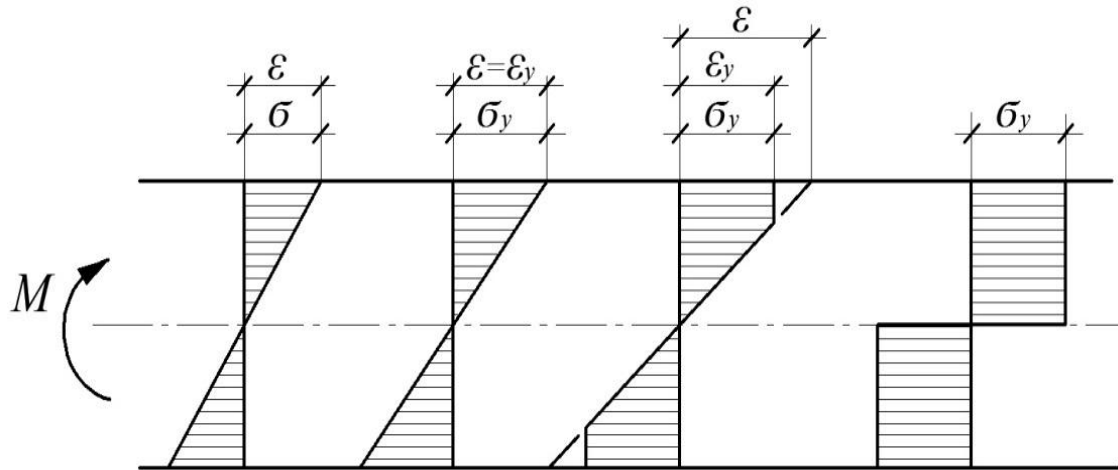
при простом изгибе

$$\sigma_y = \sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{zx} = 0, \quad \sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}.$$

при простом сдвиге

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{zx} = 0, \quad \sigma_{ef} = \sqrt{3\tau_{xy}^2} = R_y.$$

# Работа стали при изгибе. Шарнир пластичности



$$\sigma = \pm \frac{M}{W'}$$

Предельный момент, отвечающий шарниру пластичности

$$M_{pl} = \sigma_y \int y dA = \sigma_y 2S,$$

Пластический момент сопротивления сечения

$$W_{pl} = 2S$$

Для прямоугольного сечения

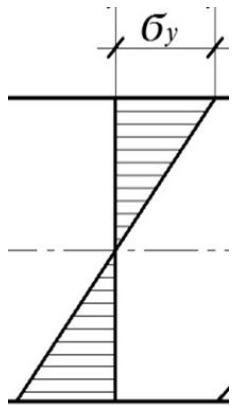
$$W_{pl} = 1,5W$$

для прокатного двутавра или швеллера

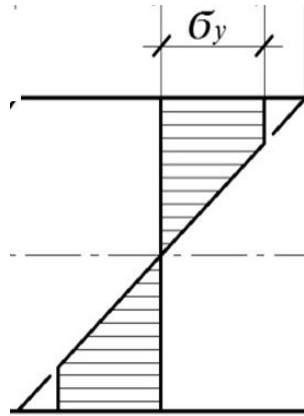
$$W_{pl} = (1,12 \div 1,13)W$$

Для разрезных балок сплошного сечения, несущих статическую нагрузку, нормами разрешается допускать развитие пластических деформаций.

# Классы элементов конструкций по НДС

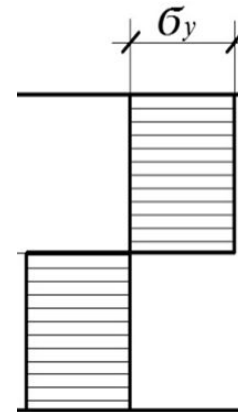


$$|\sigma| \leq R_y$$



$$|\sigma| = R_y$$

$$|\sigma| < R_y$$



$$|\sigma| = R_y$$

**1-й класс –  
упругое состояние**

**2-й класс –  
упругопластическое  
состояние**

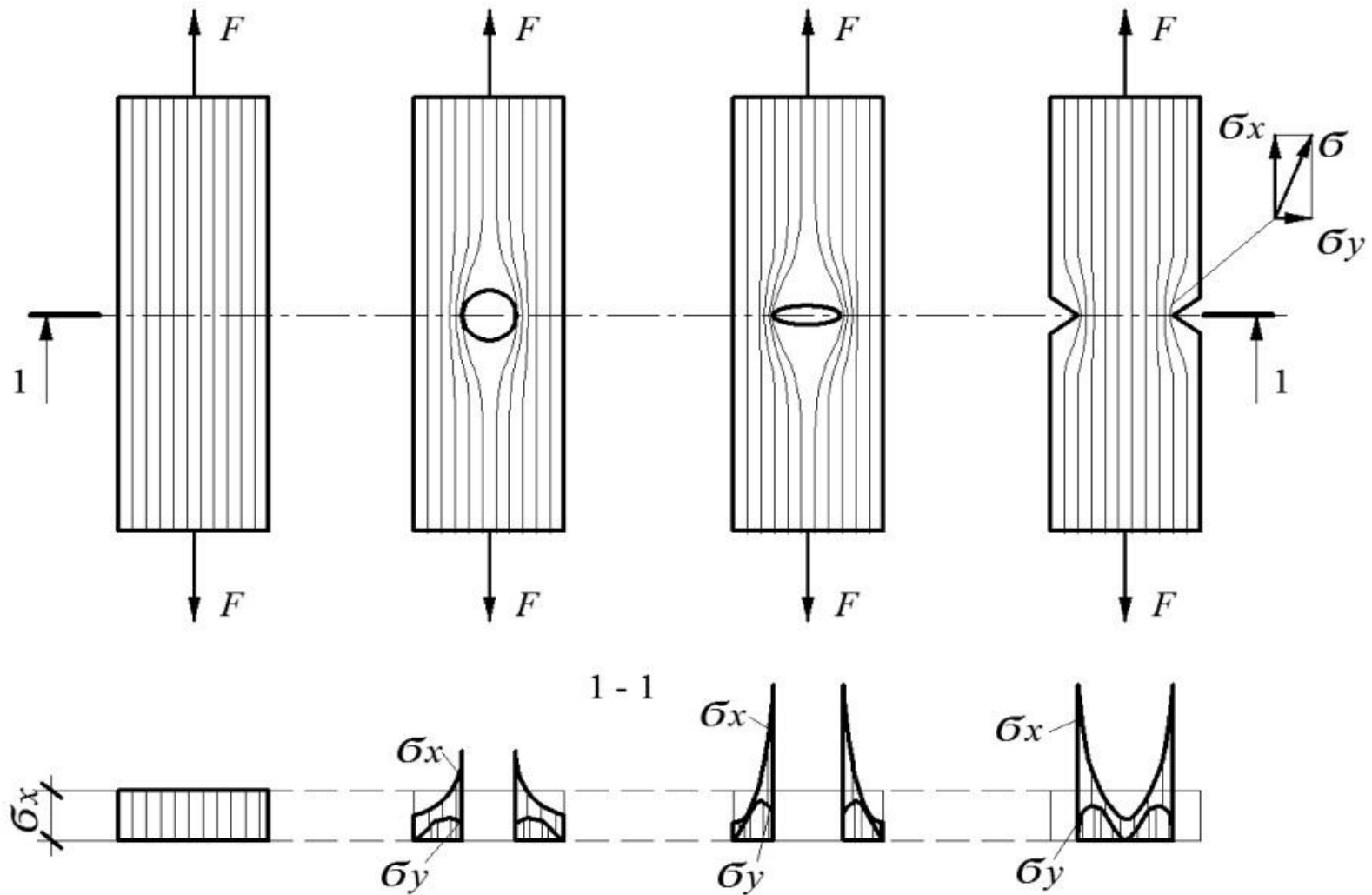
**3-й класс –  
пластическое  
состояние (условный  
пластический  
шарнир)**

напряжения по всей  
площади сечения не  
превышают  
расчетного  
сопротивления стали

напряжения в одной  
части сечения не  
превышают, а в другой  
достигли расчетного  
сопротивления стали

напряжения по всей  
площади сечения  
достигла расчетного  
сопротивления стали

# Концентрация напряжений



Главные напряжения в местах искривленных силовых потоков соответствуют сложному напряженному состоянию.



## 4. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ

**СП 16.13330.2011 «СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции»**

Напряженное состояние	Расчетные сопротивления
Растяжение, сжатие, изгиб: по пределу текучести	$R_y = R_{yn} / \gamma_m$
по временному сопротивлению	$R_u = R_{un} / \gamma_m$
Сдвиг	$R_s = 0,58 R_{yn} / \gamma_m$
Смятие торцевой поверхности	$R_p = R_{un} / \gamma_m$

# Группы конструкций

1

сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях

подкрановые балки, балки рабочих площадок, фасонки ферм, пролетные строения транспортерных галерей

2

сварные конструкции, работающие на статическую нагрузку при воздействии одноосного или однозначного двухосного растяжения

фермы, ригели рам, балки перекрытий и покрытий, опоры транспортерных галерей

3

сварные конструкции, работающие преимущественно при воздействии сжимающих напряжений

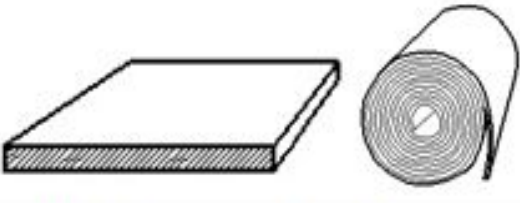



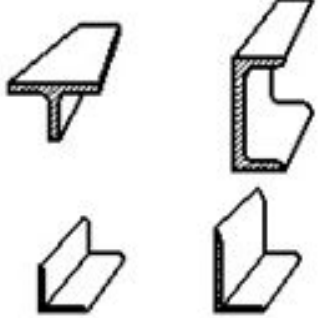
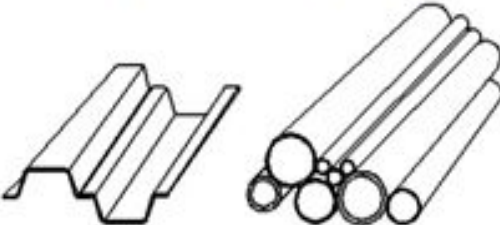
колонны, стойки, опорные плиты

4

вспомогательные конструкции и элементы

связи, элементы фахверка, лестницы, ограждения

# 5. ПРОФИЛИ И СЕЧЕНИЯ

Прокат		
Листовой	Профильный	
	Сортовой	Фасонный
		
<p>Вторичные профили (гнутые, сварные)</p>		
		

# Листовая сталь

❑ **Сталь горячекатаная по ГОСТ 19903-74\*** -  $t=0,4 - 160$  мм,  $b \geq 500$  мм, поставляется в пакетах и рулонах (при  $t < 12$  мм)

❑ **Сталь холоднокатаная по ГОСТ 19904-90** –  $t=0,35 - 5$  мм,  $b \geq 500$  мм, поставляется в листах и рулонах (при  $t < 3,5$  мм)

! Холоднокатаная сталь значительно дороже горячекатаной.

❑ **Сталь широкополосная универсальная по ГОСТ 82-70\*** (имеет ровные края) -  $t=6 - 60$  мм,  $b = 200 - 1050$  мм

! Применение универсальной стали уменьшает трудоемкость

Примеры условных обозначений:  
изготовления конструкций

–8×1500×6000 ГОСТ 19903-74\*

t20 ГОСТ 19903-74\*

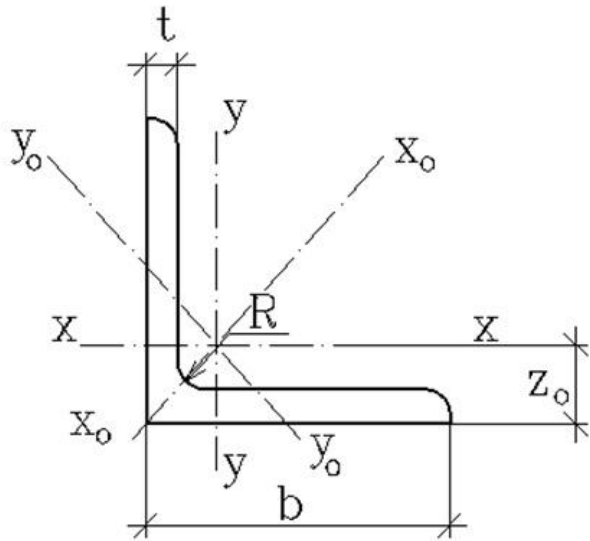
Лист  $\frac{8 \times 1500 \times 6000 \text{ ГОСТ } 19903-74^*}{\text{С345-3 ГОСТ } 27772-88}$

–20 ГОСТ 19903-74\*

# Уголковые

## Профиль прокатная угловая равнополочная по ГОСТ

8



$t = 5 \div 20$  мм,  $b = 50 \div 250$  мм

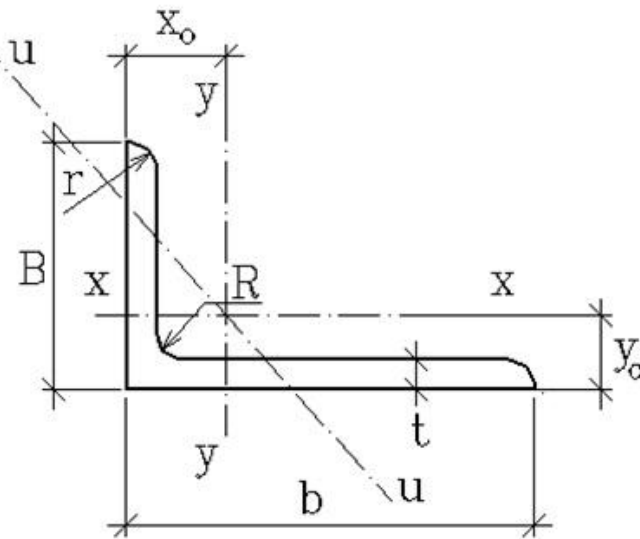
Примеры условных обозначений:

L 140×10 ГОСТ 8509-93

УГОЛОК  $\frac{140 \times 10 \text{ ГОСТ } 8509 - 93}{\text{С245 ГОСТ } 27772 - 88}$

## Сталь прокатная угловая неравнополочная по ГОСТ

8510



$t = 5 \div 16$  мм,  $b = 75 \div 200$  мм,  $B = 50 \div 125$  мм

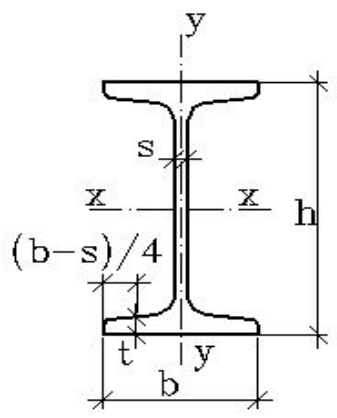
Примеры условных обозначений:

L 75×50×5 ГОСТ 8510-86\*

УГОЛОК  $\frac{75 \times 50 \times 5 \text{ ГОСТ } 8510 - 86^*}{\text{С275 ГОСТ } 27772 - 88}$

# Двутавр

## Двутавры стальные горячекатаные по ГОСТ 8239-89



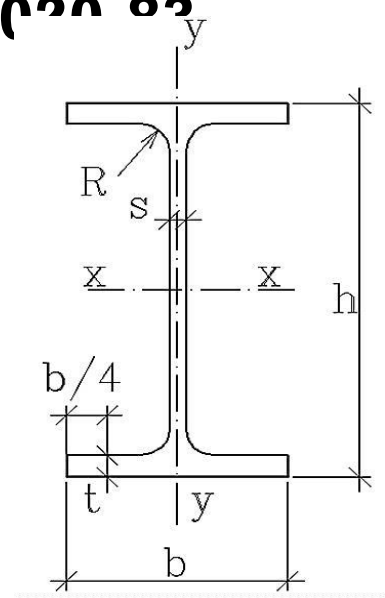
$h = 100 \div 600$  (160 ÷ 200) мм,  $b = 55 \div 190$  (81 ÷ 100) мм

Примеры условных обозначений:

I 20 ГОСТ 8239-89

Двутавр  $\frac{20 \text{ ГОСТ } 8239-89}{\text{С345-3 ГОСТ } 27772-88}$

## Двутавры с параллельными гранями полков по ГОСТ 26020-83



Тип Б:  $h = 100 \div 1013$  мм,  $b = 55 \div 320$  мм

Тип Ш:  $h = 193 \div 718$  мм,  $b = 150 \div 320$  мм

Тип К:  $h = 195 \div 431$  мм,  $b = 200 \div 400$  мм

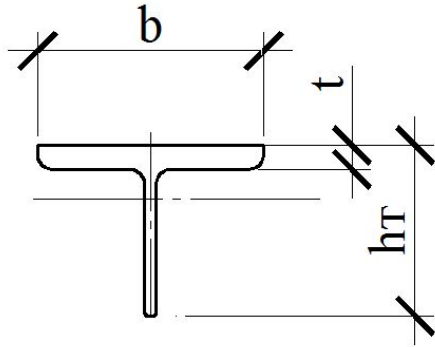
Примеры условных обозначений:

I 45Б2 ГОСТ 26020-83

Двутавр  $\frac{45Б2 \text{ ГОСТ } 26020-83}{\text{С255 ГОСТ } 27772-88}$

# Тавры

## Тавры с параллельными гранями полок, получаемые продольной разрезкой пополам двутавров по ГОСТ 26020-83



Тип БТ:  $h_T=115 - 507$  мм,  $b=110 - 320$  мм

Тип ШТ:  $h_T=96 - 359$  мм,  $b=150 - 320$  мм

Тип КТ:  $h_T=97 - 215$  мм,  $b=200 - 400$  мм

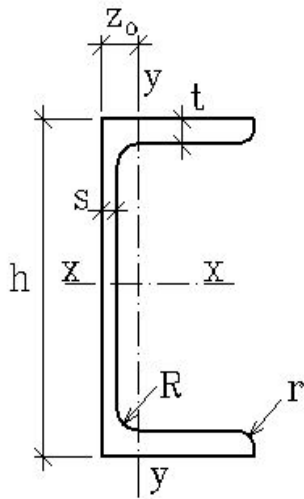
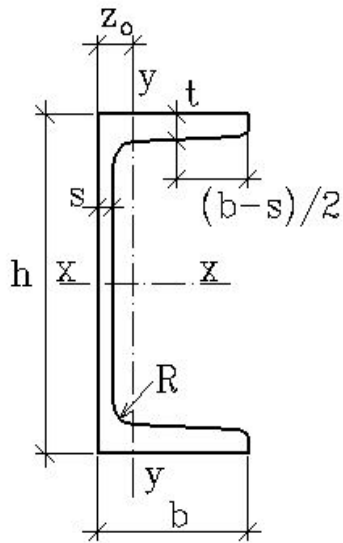
Примеры условных обозначений:

Т 11,5БТ1 ГОСТ 26020-83

Тавр  $\frac{11,5БТ1 \text{ ГОСТ } 26020-83}{С345-3 \text{ ГОСТ } 27772-88}$

# Швеллеры

## Швеллеры стальные горячекатаные по ГОСТ 8240-97



Швеллеры с уклоном полок

$h = 80 \div 400$  мм,  $b = 40 \div 115$  мм

Примеры условных обозначений:

[ 16 ГОСТ 8240-97

Швеллер  $\frac{16 \text{ ГОСТ } 8240-97}{\text{С285 ГОСТ } 27772-88}$

Швеллеры с параллельными гранями полок

$h = 80 \div 240$  мм,  $b = 40 \div 90$  мм

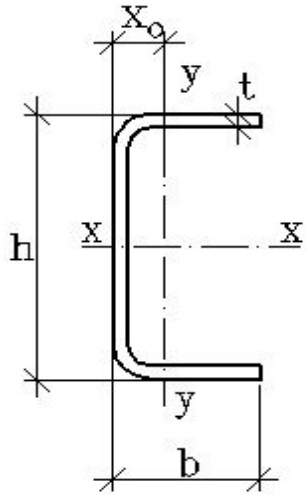
[ 24П ГОСТ 8240-97

Швеллер  $\frac{24\text{П} \text{ ГОСТ } 8240-97}{\text{С345-3 ГОСТ } 27772-88}$



# Гнутые профили

## Гнутые равнополочные швеллеры по ГОСТ 8278-83\*



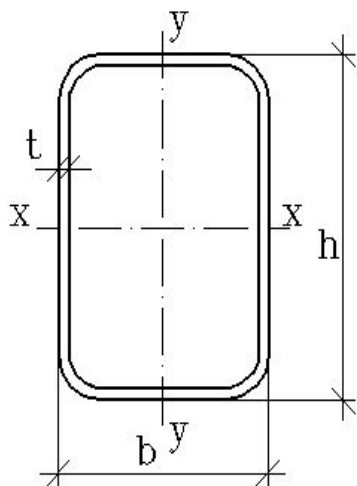
$t = 3 \div 8$  мм,  $b = 32 \div 100$  мм,  $h = 60 \div 300$  мм

Примеры условных обозначений:

ГН [ 100×50×3 ГОСТ 8278-83\*

Швеллер  $\frac{100 \times 50 \times 3 \text{ ГОСТ } 8278-83^*}{\text{С245 ГОСТ } 27772-88}$

## Гнутые замкнутые сварные профили прямоугольного сечения по ТУ 67-2287-80



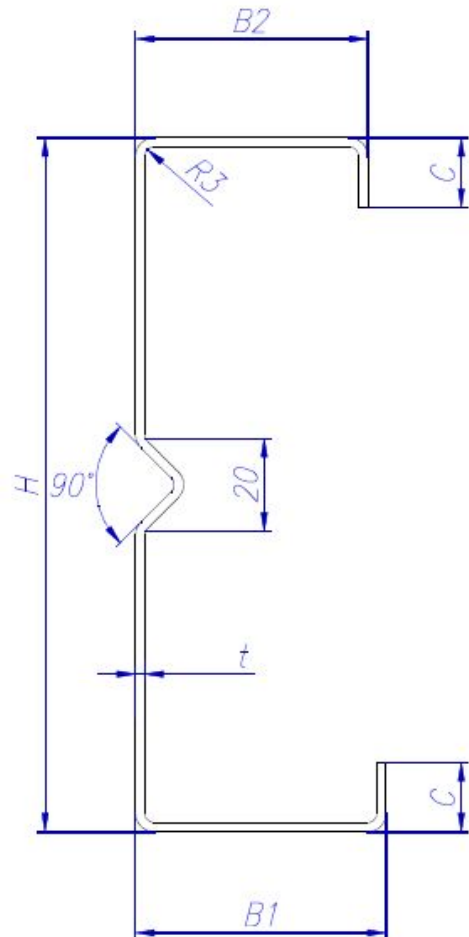
$t = 3 \div 8$  мм,  $b = 80 \div 160$  мм,  $h = 120 \div 200$  мм

Примеры условных обозначений:

ГН 0 140×100×5 ТУ 67-2287-80

Труба  $\frac{140 \times 100 \times 5 \text{ ТУ } 67-2287-80}{\text{С255 ГОСТ } 27772-88}$

# Профили стальные гнутые несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений ТУ 1120-011-54108389-2014



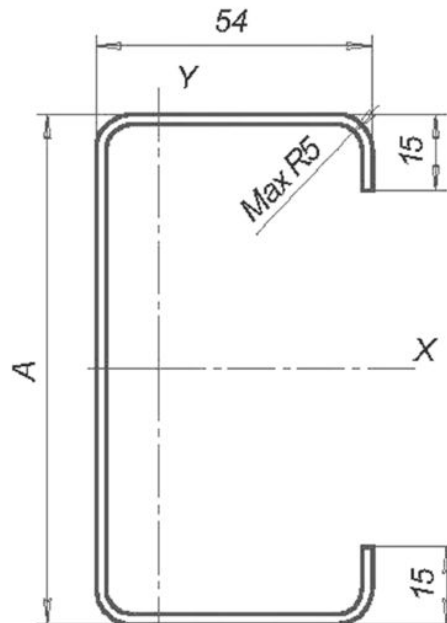
## Профиль стоечный :

$h=100 - 300$  мм,  $b_1=54$  мм,  $b_2=50$  мм,  
 $t=0,8 - 2,0$  мм

Пример условного обозначения:

АРС ПС-300-50-1,5 ТУ

1120-011-54108389-2014



## Профиль стоечный упрощенный:

$h=100 - 200$  мм,  $b_1=54$  мм,  
 $b_2=50$  мм,  $t=0,8 - 2,0$  мм

Пример условного обозначения:

АРС ПСУ-150-50-0,8 ТУ

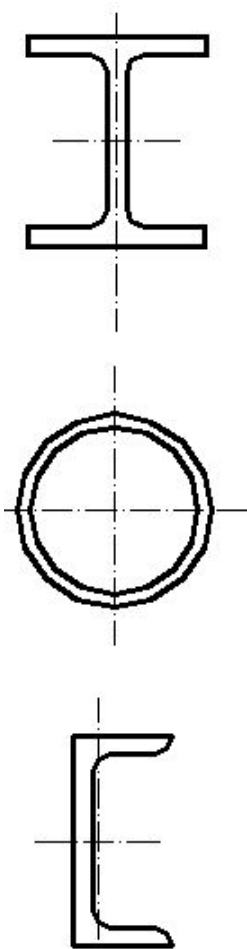
1120-011-54108389-2014

# **Правила использования профилей**

- При проектировании отдельных конструктивных элементов, а также конструкций в целом следует использовать минимально необходимое число различных профилей.
- При применении в одном отправочном элементе уголков, тавров или полос одного номинального размера, но разной толщины, градация толщин должна быть не менее 2 мм.
- Не допускается применять в одном отправочном элементе одинаковые профилиразмеры из разных марок сталей.
- Не допускается применять в одном объекте профилированные листы одной номинальной высоты, но разной толщины

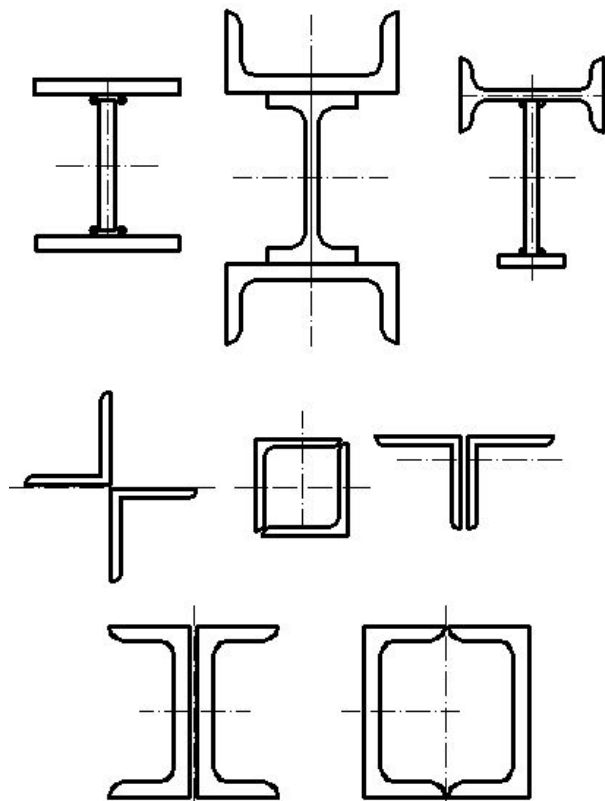
# Типы сечений

## Простые



## Составные

### Сплошные



### Сквозные

