

Металлы и сплавы, их строение.  
Классификация и маркировка сталей.  
Влияние химических элементов на  
свариваемость. Основы термической  
обработки металлов.

К.т.н., доц., Пантелеенко Екатерина  
Федоровна

# ВНИМАНИЕ

- Актуальность нормативных актов, на которые присутствуют ссылки в данном материале, следует проверять на сайте [tnpa.by](http://tnpa.by), так как изменения в законодательной базе Республики Беларусь происходят постоянно
- Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящим лекционным материалом следует руководствоваться замененными (измененными) ТНПА.
- СНИП имеют статус технического нормативного правового акта на переходный период до их замены техническим нормативным правовым актом, предусмотренным Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

# КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

## сварной шов

### Химич. состав

Сварочный материал  
Перемешивание с базовым мат.  
Выгорание элементов  
Поглощение элементов  
Химические реакции: сварочная ванна/шлак; сварочная ванна/газ

### Микро-структура

Химический состав  
Скорость охлаждения

### Дефекты шва

Газовые поры  
Горячие трещины  
Холодные трещины  
Включения  
Недостаток расплавления

## зтв

### Микроструктура

Химический состав основного материала  
Свойства основного металла  
Термодинамический цикл сварки: увеличение зернистости; рекристаллизация; расплавление; деформационное старение

### Дефекты шва

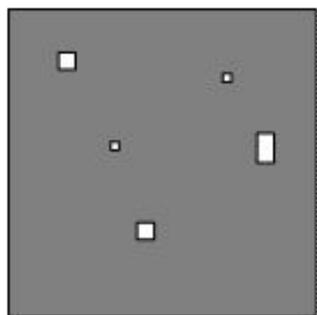
Расслаивание  
Холодные трещины  
Рекристаллизационные трещины

## общее качество

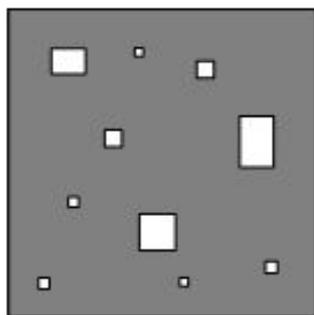
### Дефекты шва

Конфигурация сварного шва  
Наплыв  
Недостаточный провар  
Геометрические дефекты: полые; недостаточное заполнение; превышение усиления; недопустимые деформации; смещение кромок и т.д.

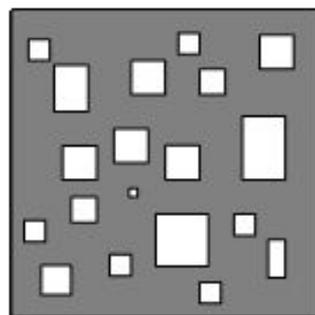
# кристаллизаци я



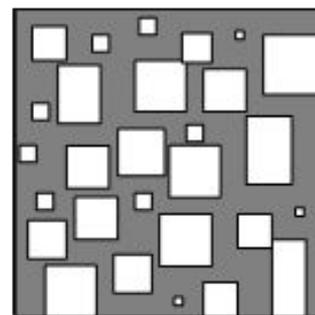
1 с



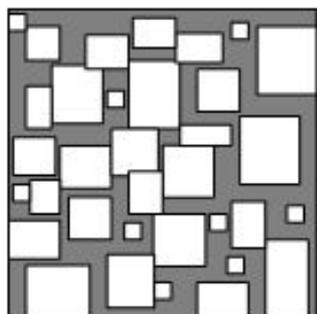
2 с



3 с



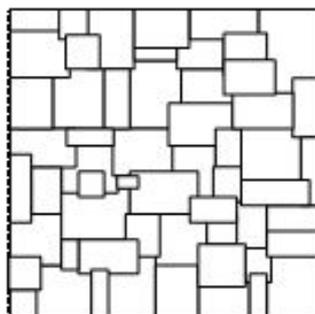
4 с



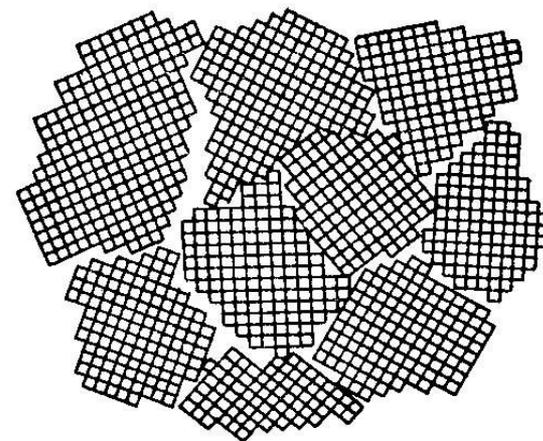
5 с



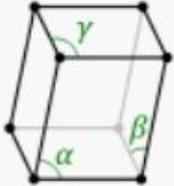
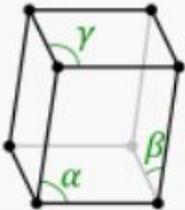
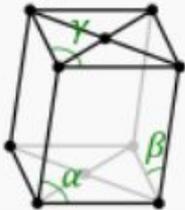
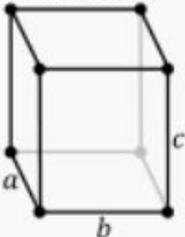
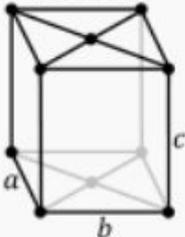
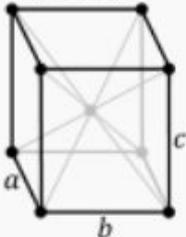
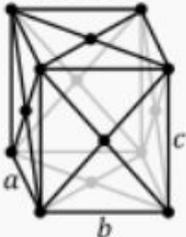
6 с



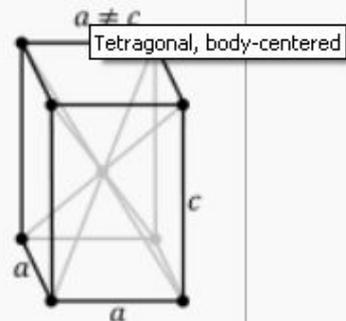
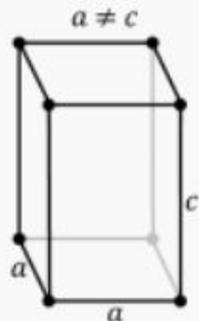
7 с



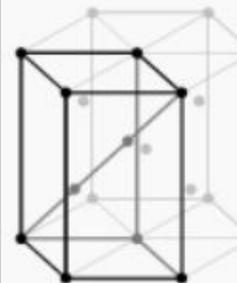
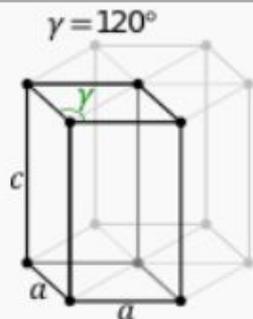
Огюст Браве́ (фр. Auguste Bravais; 1811-1863) — французский физик и один из основателей кристаллографии. Положил начало геометрической теории структуры кристаллов, найдя в 1848 году основные виды пространственных решёток и высказав гипотезу о том, что они построены из закономерно расположенных в пространстве точек.

Сингония	Тип центрировки ячейки Браве				
	примитивная	базо-центрированная	объёмно-центрированная	гране-центрированная	дважды объёмно-центрированная
Триклинная (параллелепипед)	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 				
Моноклинная (призма с параллелограммом в основании)	$\beta \neq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 	$\beta \neq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 			
Ромбическая (прямоугольный параллелепипед)	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	

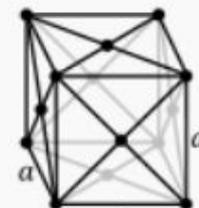
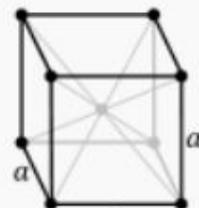
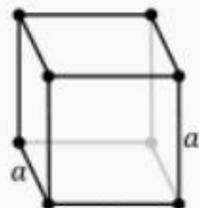
Тетрагональная  
(прямоугольный  
параллелепипед с квадратом  
в основании)



Гексагональная  
(призма с основанием  
правильного центрированного  
шестиугольника)

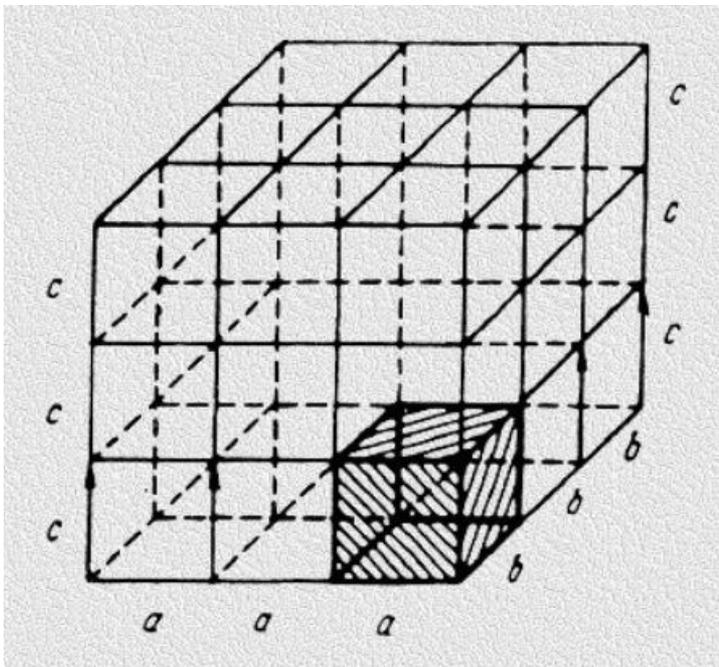


Кубическая  
(куб)



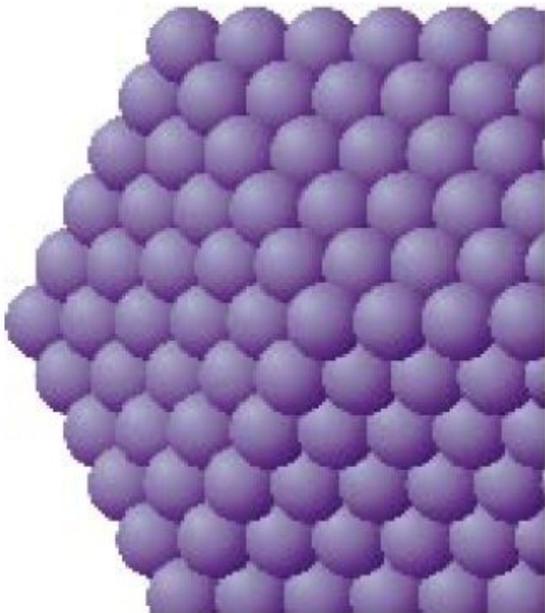
**Кристаллы** – твердые тела с трехмерной периодической атомной структурой, имеющие при равновесных условиях образования естественную форму правильных симметричных многогранников.

Кристаллические тела могут быть монокристаллами и поликристаллами. Поликристаллические тела состоят из многих сросшихся между собой хаотически ориентированных маленьких кристалликов, которые называются кристаллитами. Большие монокристаллы редко встречаются в природе и технике. Чаще всего кристаллические твердые тела, в том числе и те, которые получаются искусственно, являются

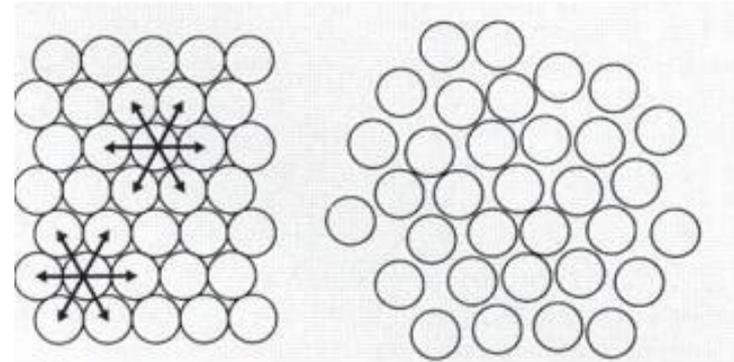
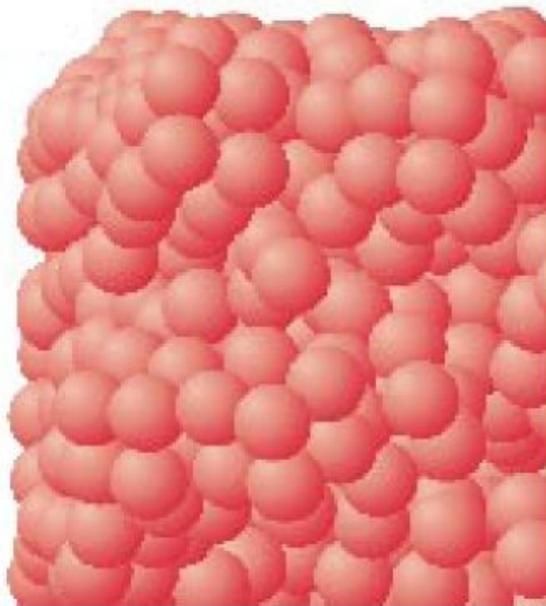


Кристаллическая решетка – регулярное расположение в кристаллах частиц, характеризующееся периодической повторяемостью в трех измерениях

а



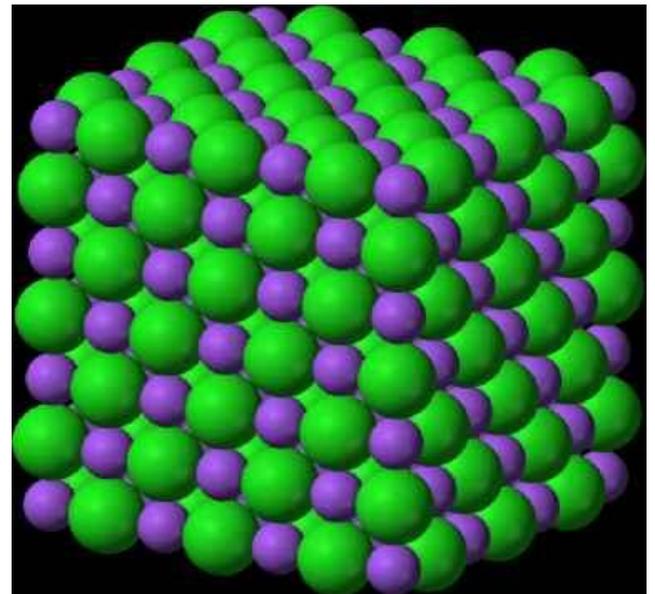
б

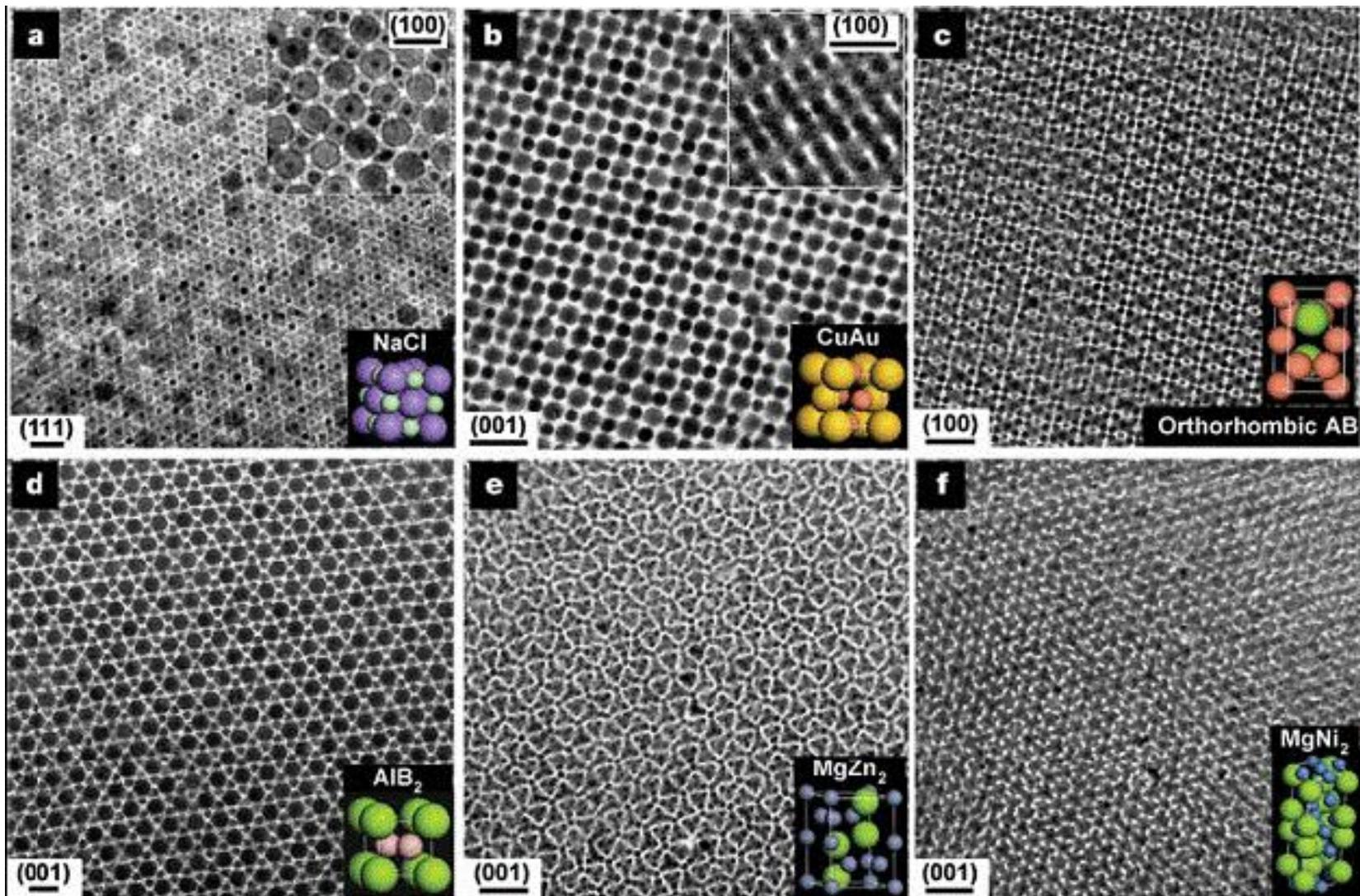


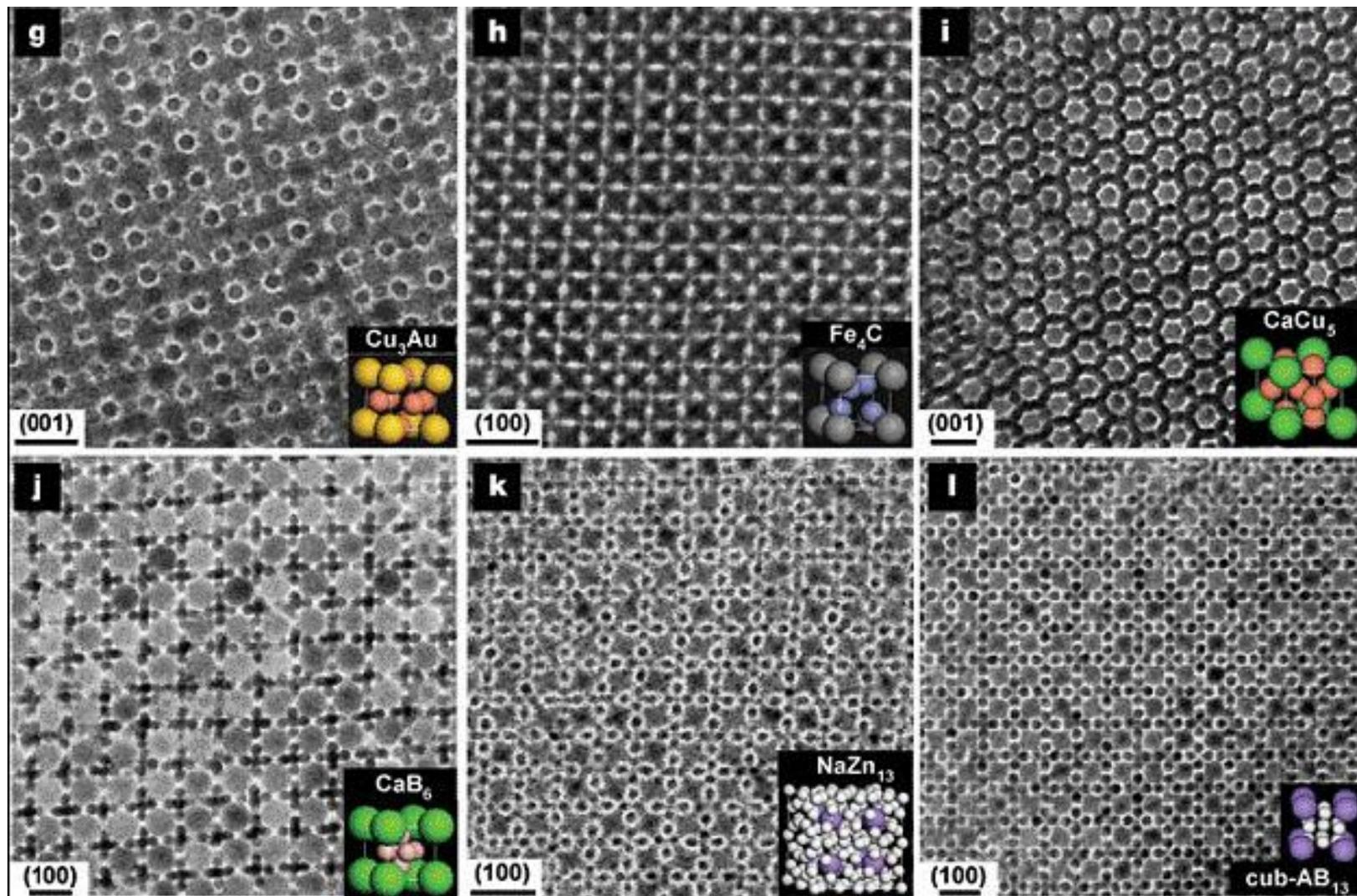
Упорядоченное  
расположение

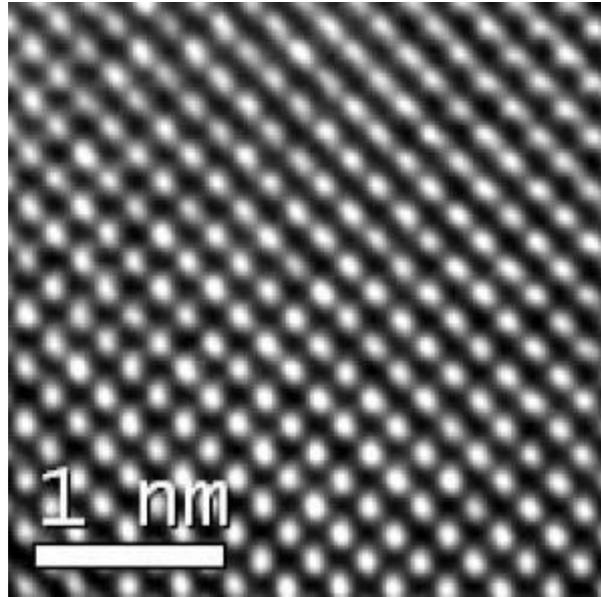
Рис. 3. Компьютерные модели структуры дальнего (а) и ближнего (б) порядка

Для веществ в жидком или газообразном состоянии характерна согласованность в расположении соседних частиц (ближний порядок), кристаллические вещества имеют дальний порядок – строгую повторяемость во всех направлениях одного и того же структурного элемента (элементарной ячейки) на протяжении сотен







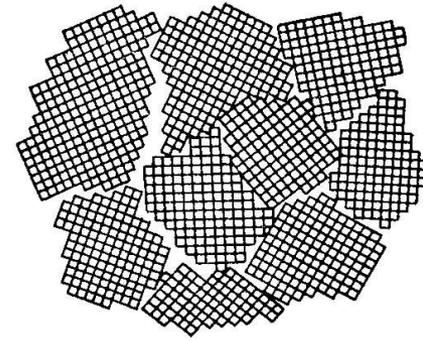


The photo accompanying this story, for instance, is what the microscope's lens sees when it hones in on an aluminum alloy sample used for beverage cans. It was observed at an astounding 14-million Times magnification. The scale bar is 1-nanometer or the equivalent of 1/50,000 of an average human hair.

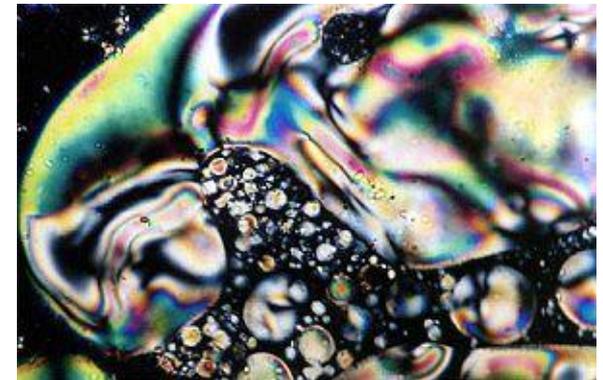
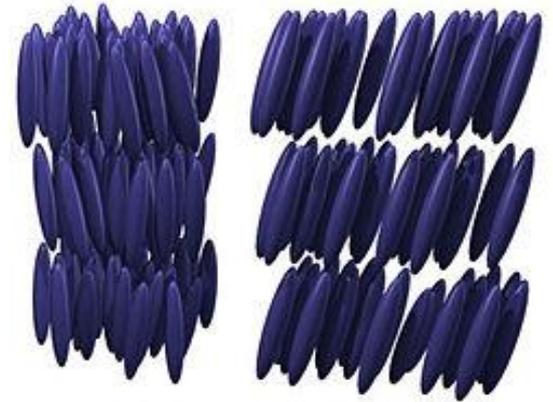
# кристаллы

Монокристаллы  
(кварц, алмаз,  
сапфир  
фианит)

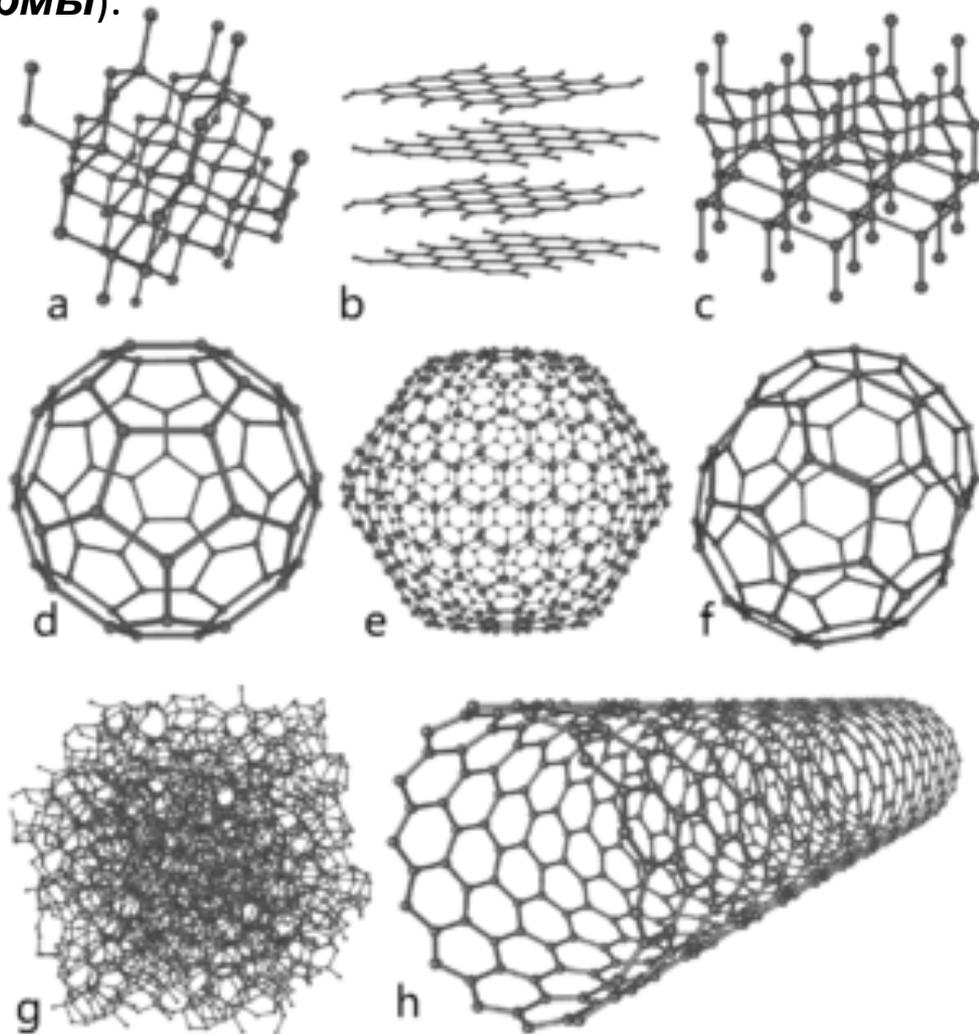
Поликристаллы  
(сахар,  
металлы)



Жидкие кристаллы (сокращённо ЖК) — вещества, обладающие одновременно свойствами как жидкостей (текучесть), так и кристаллов (анизотропия). По структуре ЖК представляют собой жидкости, похожие на желе, состоящие из молекул вытянутой формы, определённым образом упорядоченных во всем объёме этой жидкости. Наиболее характерным свойством ЖК является их способность изменять ориентацию молекул под воздействием электрических полей, что открывает широкие возможности для применения их в промышленности



**Аллотро́пия** (от др.-греч. *αλλος* — «другой», *τροπος* — «поворот, свойство») — существование двух и более простых веществ одного и того же химического элемента, различных по строению и свойствам — так называемых аллотропных модификаций или форм. Явление аллотропии обусловлено либо различным составом молекул простого вещества (**аллотропия состава**), либо способом размещения атомов или молекул в кристаллической решётке (**аллотропия формы**).



- a) Алмаз,
- b) Графит,
- c) Лонсдейлит,
- d) C<sub>60</sub> (фуллерены),
- e) C<sub>540</sub>,
- f) C<sub>70</sub>,
- g) Аморфный углерод и
- h) однослойная углеродная нанотрубка.

Свойства материалов зависят от природы атомов, из которых они состоят, и силы взаимодействия между ними. Аморфные материалы характеризуются хаотическим расположением атомов. Поэтому свойства их в различных направлениях одинаковы, или, другими словами, аморфные материалы **изотропны**. В кристаллических материалах расстояния между атомами в разных кристаллографических направлениях различны. Например, в ОЦК решетке в кристаллографической плоскости, проходящей через грань куба, находится всего один атом, так как четыре атома в вершинах одновременно принадлежат четырем соседним элементарным ячейкам:  $(1/4) \cdot 4 = 1$  атом. В то же время в плоскости, проходящей через диагональ куба, будут находиться два атома:  $1 + (1/4) \cdot 4 = 2$ .

Из-за неодинаковой плотности атомов в различных направлениях кристалла наблюдаются разные свойства. Различие свойств в кристалле в зависимости от направления испытания называется **анизотропией**

Анизотропия свойств характерна для одиночных кристаллов или для так называемых монокристаллов. Большинство же технических литых металлов, затвердевших в обычных условиях, имеют поликристаллическое строение. Они состоят из большого числа кристаллов или зерен (рис. 1.4, а). При этом каждое отдельное зерно анизотропно. Различная ориентировка отдельных зерен приводит к тому, что в целом свойства поликристаллического металла являются усредненными.

- Поликристаллическое тело характеризуется **квазиизотропностью** — кажущейся независимостью свойств от направления испытания. Квазиизотропность сохраняется в литом состоянии, а при обработке давлением (прокатке, ковке), особенно, если она ведется без нагрева, большинство зерен металла приобретает примерно одинаковую ориентировку — так называемую текстуру (рис. 1.4, б), после чего металл становится анизотропным. Свойства деформированного металла вдоль и поперек направления главной деформации могут существенно различаться. Анизотропия может приводить к дефектам металла (расслою, волнистости листа). Анизотропию необходимо учитывать при конструировании и разработке технологии получения деталей.

**Полиморфизм** – свойство некоторых веществ существовать в нескольких кристаллических модификациях. Наоборот, разные вещества могут иметь полное подобие атомного строения. **Изоморфизм** – свойство различных веществ кристаллизоваться в одинаковых структурах

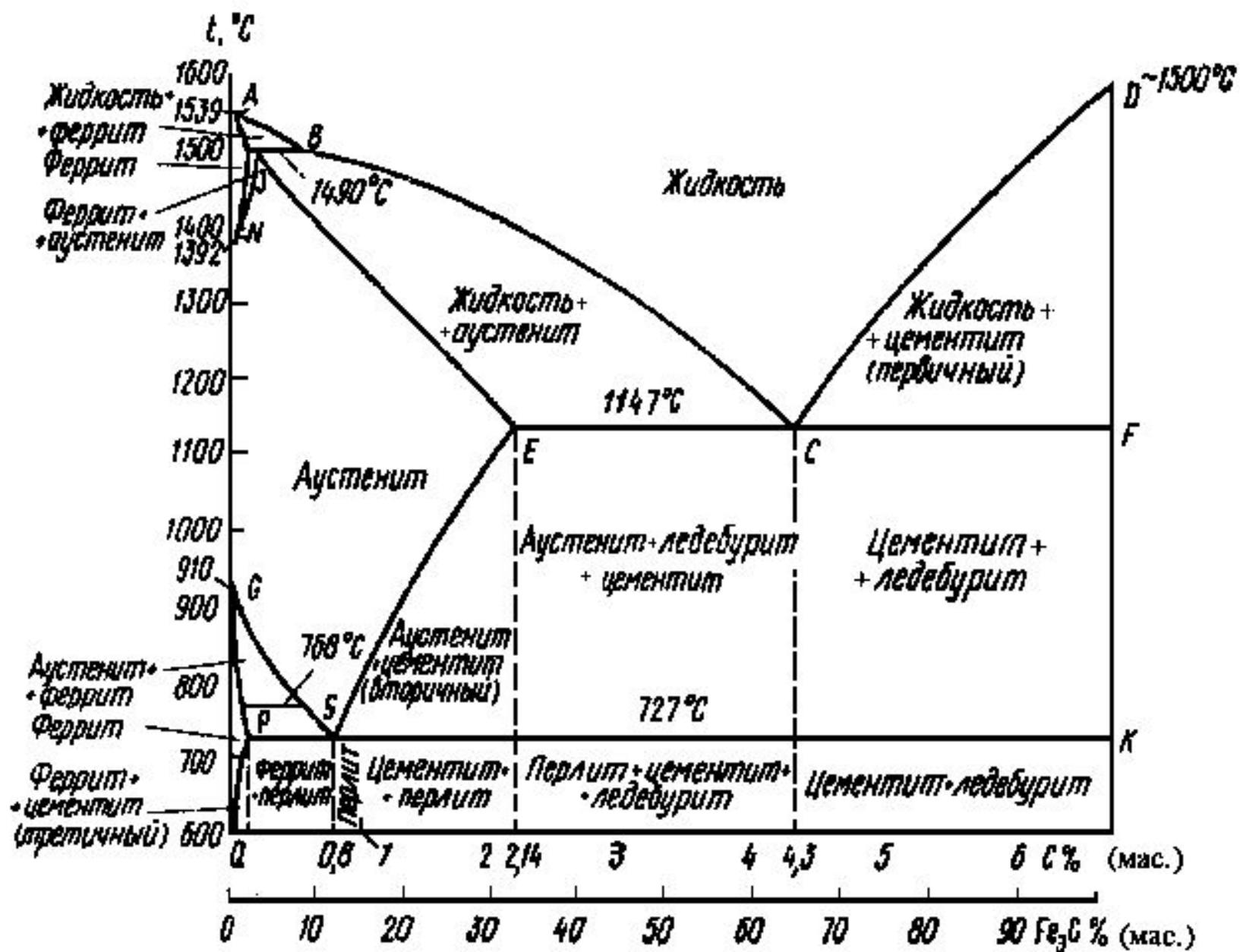
**Типы кристаллических решеток важнейших  
металлических элементов**

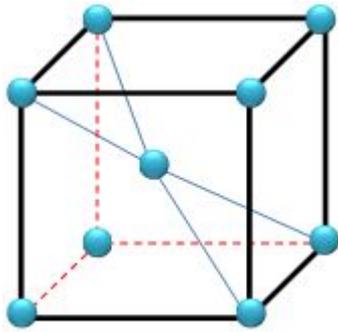
А. Металлы с одним типом решетки

Тип решетки	Координационное число	Коэффициент компактности	Металл
ГЦК	12	74	Ag, Au, Pt, Cu, Al, Pb, Ni
ОЦК	8	68	Na, K, V, Nb, Cr, Mo, W
ГП	12	74	Be, Mg, Zn, Cd

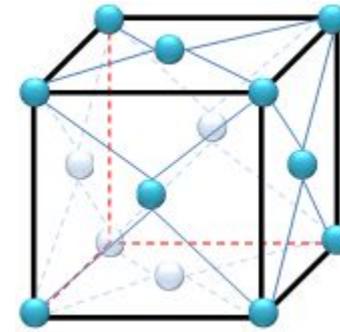
Б. Металлы с полиморфным превращением

Металл	Тип решетки	Температура превращения, °С
Ca	ГЦК « ГП	450
Ce	ГП «ГЦК	477
Zr	ГП «ОЦК	882
Ti	ГП «ОЦК	882
Fe	ОЦК«ГЦК«ОЦК	911, 1 392





Для чистого железа



	Тип кристаллической решетки	Условия существования	Параметр кристаллической решетки	Название модификации	Обозначение модификации	Примечание
1	ОЦК	$-273^{\circ}\text{C}$ $-768^{\circ}\text{C}$	0,286 нм (при $20^{\circ}\text{C}$ )	феррит	$\alpha$	Магнитно
2		$768^{\circ}\text{C} - 911^{\circ}\text{C}$			$\beta$	
3	ГЦК	$911^{\circ}\text{C}$ $-1392^{\circ}\text{C}$	0,365 нм (при $950^{\circ}\text{C}$ )	аустенит	$\gamma$	Немагнитно
4	ОЦК	$1392^{\circ}\text{C} - 1539^{\circ}\text{C}$	0,293 нм (при $1425^{\circ}\text{C}$ )	феррит	$\delta$	

Для сталей и чугунов температура превращения  $\alpha$  в  $\gamma$  железо –  $727^{\circ}\text{C}$

## Структурные составляющие сталей и чугунов

Наименование	Краткое описание	Условие образования	Температуры устойчивости структуры	Физические свойства	Твердость НВ
Аустенит	Твердый раствор углерода и других элементов в $\gamma$ -железе. Содержит до 2% углерода	При затвердевании жидкого раствора с содержанием углерода не более 4,3%	Выше $A_{c3}$ , $A_{c1}$	Мягко, немагнитен, тягуч, мало упруг, обладает электрическим сопротивлением	170-220
Феррит	Твердый раствор углерода и других элементов в $\alpha$ -железе. Содержит до 0,006% углерода	При медленном охлаждении доэвтектоидной стали ниже $A_{r3}$ , выделяется из аустенита	Ниже $A_{c3}$	Мягко, очень тягуч, мало упруг, магнитен при температуре ниже точки Кюри	60-100
Цементит	Химическое соединение железа с углеродом - карбид железа $Fe_3C$ . Содержит 6,67% углерода	Первичный - из жидкого раствора при содержании углерода свыше 4,3%; вторичный - из аустенита при медленном охлаждении	Ниже $A_{c3}$	Тверд, хрупко, магнитен до температуры 210 °С	820
Перлит	Эвтектоидная смесь цементита с ферритом	При медленном охлаждении аустенита в результате диффузии углерода	Ниже 723 °С	Более тверд и прочен, чем феррит, но менее пластичен, магнитен	160-230
Мартенсит	Твердый раствор углерода и других элементов в $\alpha$ -железе с искаженной тетрагональной решеткой	При охлаждении аустенита со скоростью выше критической	Ниже 150 °С	Хрупко, тверд, магнитен, теплопроводность и электропроводность низкая	650-700
Троостит	Высокодисперсная смесь феррита и карбидов	При нагреве мартенсита до 250-400 °С	До 500 °С	Магнитен, менее прочен и более электропроводен чем мартенсит	350-450
Игольчатый троостит	Высокодисперсная смесь феррита и карбидов	При изотермическом превращении аустенита в пределах температур 250-400 °С	До 500 °С	Тверд, малопластичен, магнитен	Свыше 350
Сорбит	Дисперсная смесь феррита и карбидов	При нагреве мартенсита в пределах от 400 °С до $A_{c1}$	До $A_{c1}$	Пластичен, вязок, магнитен	230-320
Ледебурит	Эвтектическая смесь аустенита и цементита при температуре выше 723 °С и перлита и цементита при температуре ниже 723 °С. Содержит 4,3% углерода	При затвердевании жидкого сплава с содержанием углерода свыше 2%	Ниже 1130 °С	Хрупко	900-1000

## монотектическое превращение

— превращение жидкой фазы в две новые: твердую и жидкую, отличающуюся от исходного состава; в равновесных условиях происходит при постоянной температуре.

## перитектическое превращение

— образование твердой фазы в результате взаимодействия жидкой и другой твердой фазы, отличающейся от новой составом и структурой; в равновесных условиях протекает при постоянной температуре.

## фазовое превращение

— переход одних фаз в другие при изменении термодинамических параметров (температуры, давления, концентрации). К фазовым переходам I рода относятся плавление, кристаллизация, полиморфное, эвтектическое, монотектическое, эвтектоидное и многие другие превращения. К фазовым переходам II рода относятся переход при нагревании из ферромагнитного в парамагнитное состояние и обратный переход при охлаждении, определенный случаи упорядочивания.

## диффузионное превращение

— фазовое превращение, при котором кристаллы новой фазы образуются в результате диффузионного перемещения атомов. При диффузионном превращении диффузия может идти как на дальние, так и на ближние расстояния. К диффузионному превращению относятся нормальное полиморфное превращение, распад твердого раствора и эвтектоидное превращение. Диффузионные превращения возможны только при достаточно высоких температурах. Например, в чистом железе при переохлаждении  $\gamma$ -Fe до температур в интервале 911 — 750 °C происходит диффузионное превращение  $\gamma \rightarrow \alpha$

## бездиффузионное превращение

— фазовое превращение при котором атомы упорядоченно кооперативно перемещаются (сдвигаются) на расстояния меньше межатомных без обмена атомов местами так, что соседи любого атома в исходной фазе остаются его соседями в новой мартенситной фазе. Часто бездиффузионное превращение называют сдвиговым превращением.

## эвтектическое превращение

— образование двух или более твердых фаз из жидкой; в равновесных условиях происходит при постоянной температуре

## полиморфное превращение

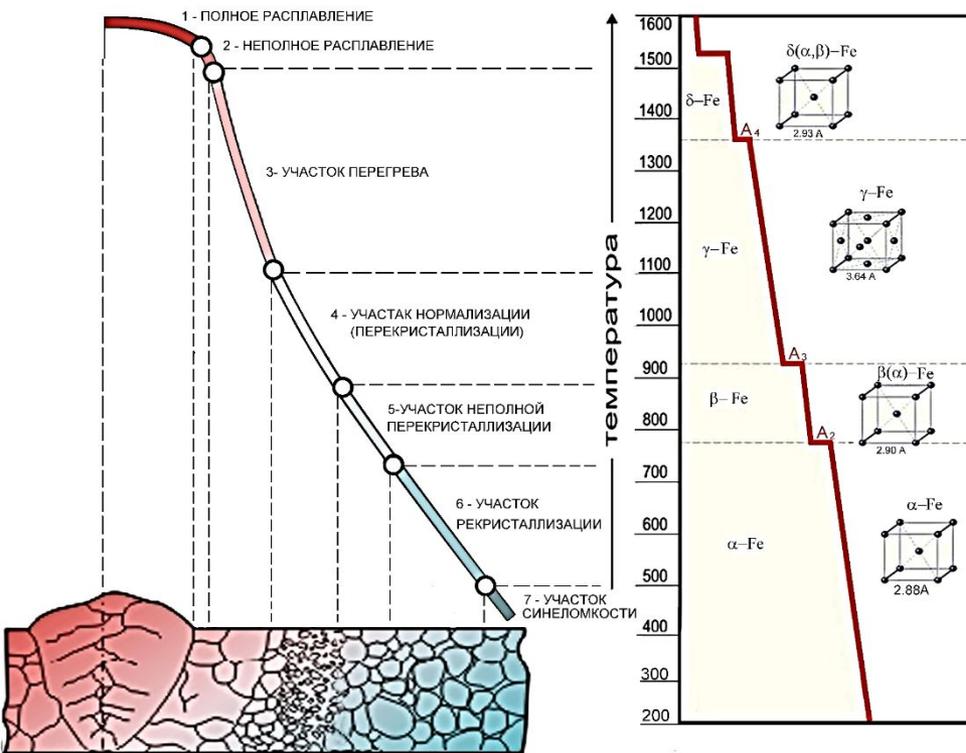
— фазовое превращение, состоящее в перестройке кристаллической решетки из одной полиморфной модификации в другую (более стабильную) при изменении температуры, давления или концентрации (Смотри Полиморфизм). Полиморфное превращение происходит постепенным зарождением центров и роста кристаллов новой фазы аналогично кристаллизации из жидкого состояния.

## аллотропическое превращение

— переход простых веществ из одной аллотропической модификации в другую, более термодинамически устойчив при изменении внешних условий (температуры, давления)

## магнитное превращение

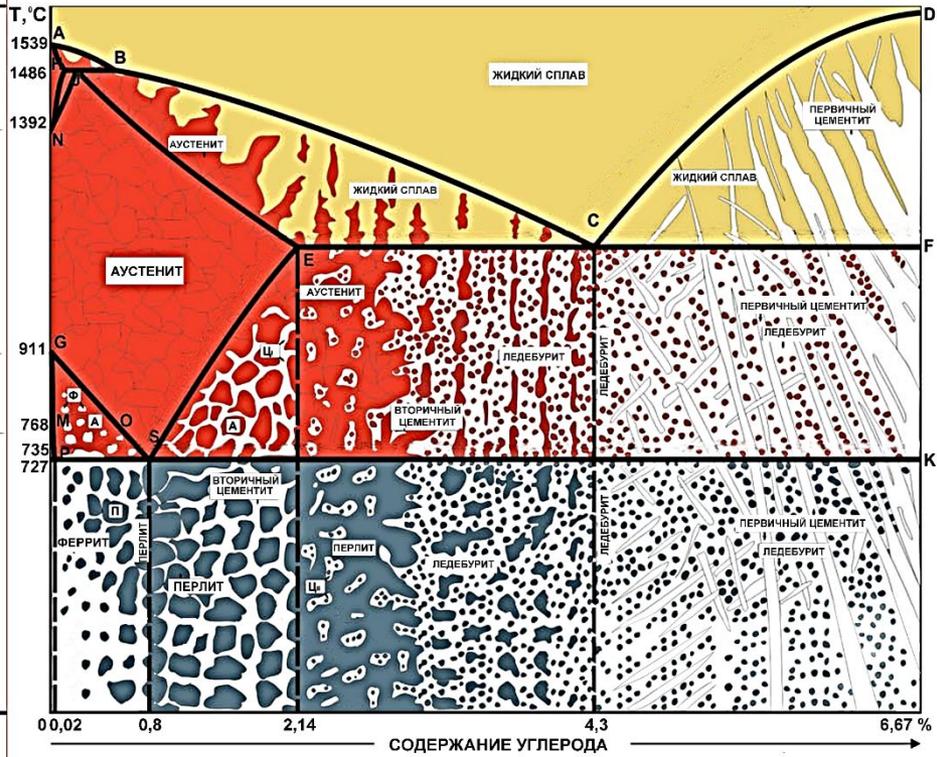
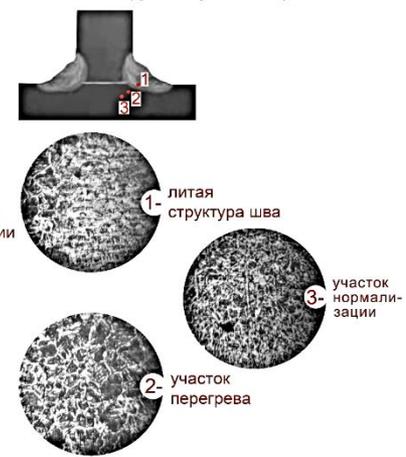
— переход вещества в состояние с другим характером взаимодействия магнитных моментов атомов; фазовое превращение II рода. Магнитное превращение не сопровождается ни одним типичным для полиморфного превращения явлением: изменением кристаллической решетки, перекристаллизацией и тепловым гистерезисом превращения.



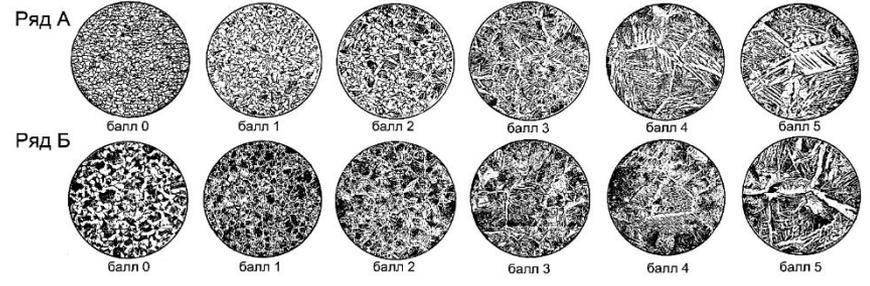
Структура сварного шва стали Ст.3, выполненного сваркой под флюсом проволокой Св-08



Структура углового сварного шва стали Ст.3, выполненного ручной дуговой сваркой



Шкала для оценки развития видманштеттовой структуры в перлитных сталях после перегрева x 100



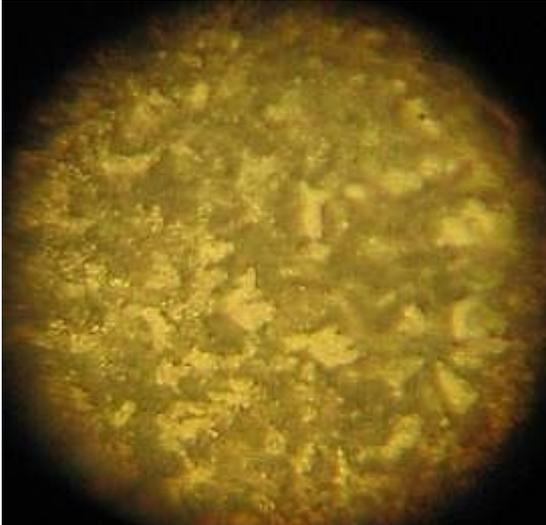
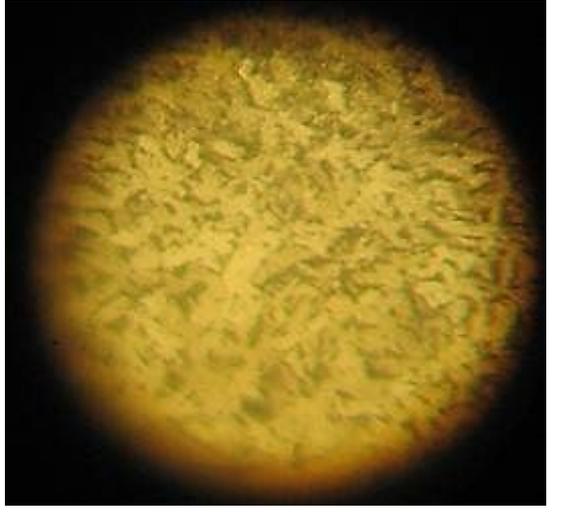
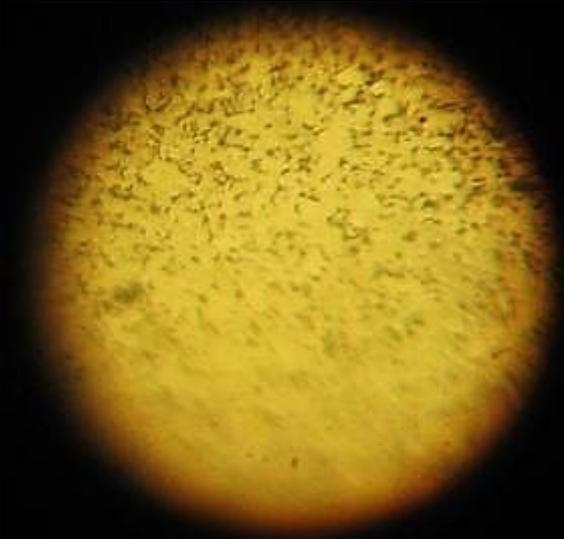
Балл	Ряд А	Ряд Б
0	Феррито перлитная структура с отсутствием признаков видманштетта	Перлитно-ферритная структура с отсутствием признаков видманштетта
1	Наличие ферритных зерен с неправильной осколчатой формой	Наличие зерен феррита осколчатой формы и небольшого количества отрослов от сетки феррита по границам зерен
2	Наличие отдельных участков, имеющих игольчатое строение	Наличие игл. отходящих от сетки феррита по границам зерен
3	Видманштеттова структура с тонкими иглами, отходящими от ферритной сетки и расположенными внутри зерен	Видманштеттова структура со значительным количеством тонких игл внутри зерен и отходящих от сетки по границам зерен
4	Ярко выраженная видманштеттова структура	Ярко выраженная видманштеттова структура с большой количеством длинных игл, отходящих от сетки феррита по границам зерен
5	Ярко выраженная грубая видманштеттова структура с массивными иглами и ферритной сеткой по границам зерен	Ярко выраженная грубая видманштеттова структура с массивными иглами и толстой ферритной сеткой по границам зерен

**Участок неполной перекристаллизации** охватывает металл, подвергшийся нагреву в интервале температур точек от  $A_{c_1}$  до  $A_{c_3}$ . Для низкоуглеродистой стали этот интервал температур составляет немногим более  $100^{\circ}\text{C}$  (от  $725$  до  $850^{\circ}\text{C}$ ). Металл на этом участке подвергается только частичной перекристаллизации. Поэтому здесь наряду с зёрнами основного металла, не изменившимися при нагреве, присутствуют зёрна, образовавшиеся при перекристаллизации.

**Участок рекристаллизации** наблюдается при сварке стали, подвергавшейся пластической деформации. На этом участке в интервале температур  $450-700^{\circ}\text{C}$  из обломков зёрен зарождаются и растут новые равноосные зёрна. Если до сварки металл не подвергался пластической деформации (например, литые сплавы), процесс рекристаллизации не имеет места.

**Участок синеломкости** охватывает температурный интервал  $200-400^{\circ}\text{C}$ , при котором появляются синие цвета побежалости на поверхности металла. Характеризуется тем, что при сварке низкоуглеродистых сталей, содержащих более  $0,005\% \text{O}_2$ ,  $0,005\% \text{N}_2$ ,  $0,005\% \text{N}_2$  и  $0,0005\% \text{H}_2$  на участке наблюдается резкое падение ударной вязкости. Это связано с тем, что из пересыщенного твёрдого раствора выпадают избыточные составляющие, в данном случае азот, углерод, которые в виде тонкодисперсных нитридов и карбидов скапливаются вокруг дефектных участков кристаллической решетки, повышая прочность и снижая пластичность.

Вид сварки	Средние размеры участков, мм			Общая протяжённость указанных участков ЗТВ, мм
	перегрева	нормализации	неполной перекристаллизации	
Дуговая сварка покрытыми электродами	2,2	1,6	2,2	6,0
Под флюсом	0,8-1,2	0,8-1,7	0,7-0,8	2,5-3,7
В среде углекислого газа	0,7-1,0	0,6-1,5	0,5-0,7	1,8-3,2
Электрошлаковая	4,0	3,0-4,0	4,0-5,0	11,0-14,0

<p>Литой шов х 250</p> 	<p>Линия сплавления</p> 	<p>Зона перегрева</p> 
<p>Участок нормализации</p> 	<p>Основной металл</p> 	

Типичная микроструктура зон сварного соединения низкоуглеродистой стали Ст3

# ГОСТ 5640-69 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты

Видманштеттова структура. Образуется при сварке при скорости остывания после перегрева выше 100 °С/мин. Вызывает ухудшение механических характеристик металлов и сплавов:

- снижение ударной вязкости и прочности;
- склонность к хрупкому разрушению;
- плохая сопротивляемость динамическим нагрузкам.

Факторами, способствующими ее формированию, являются:

- значительное укрупнение аустенитных зерен;
- высокая скорость охлаждения металла;
- наличие в составе марганца, хрома и молибдена.

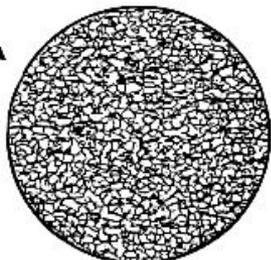
Как исправить:

- ТО
- используют легирующие добавки, снижающие способность стали к перегреву
- применяют такие металлы и сплавы, которые обладают наследственной мелкозернистостью

ПЕРЕЖОГ – неисправимый дефект

## Шкала для оценки развития видманшеттовой структуры в перлитных сталях после перегрева x 100

Ряд А



балл 0



балл 1



балл 2



балл 3

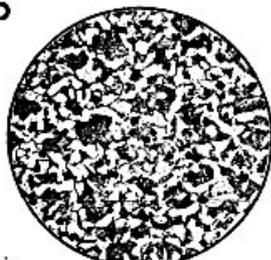


балл 4

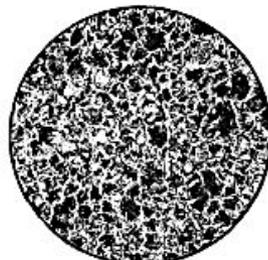


балл 5

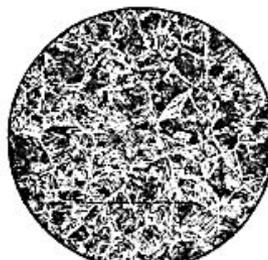
Ряд Б



балл 0



балл 1



балл 2



балл 3



балл 4



балл 5

**Балл**

**Ряд А**

**Ряд Б**

0	Феррито-перлитная структура с отсутствием признаков видманшкетта	Перлитно-ферритная структура с отсутствием признаков видманшкетта
1	Наличие ферритных зерен с неправильной оскольчатой формой	Наличие зерен феррита оскольчатой формы и небольшого количества отростков от сетки феррита по границам зерен
2	Наличие отдельных участков, имеющих игольчатое строение	Наличие игл, отходящих от сетки феррита по границам зерен
3	Видманшкеттова структура с тонкими иглами, отходящими от ферритной сетки и расположенными внутри зерен	Видманшкеттова структура со значительным количеством тонких игл внутри зерен и отходящих от сетки по границам зерен
4	Ярко выраженная видманшкеттова структура	Ярко выраженная видманшкеттова структура с большим количеством длинных игл, отходящих от сетки феррита по границам зерен
5	Ярко выраженная грубая видманшкеттова структура с массивными иглами и ферритной сеткой по границам зерен	Ярко выраженная грубая видманшкеттова структура с массивными иглами и толстой ферритной сеткой по границам зерен

# Показатели механических свойств

Предел текучести

$\sigma_T$ , МПа

Предел прочности

(временное сопротивление)

$\sigma_B$ , МПа

Относительное

удлинение

для коротких образцов  $\delta_5$  %

(длина в 5 раз больше ширины)

для длинных образцов  $\delta_{10}$  %

Пластичность

стали

оценивают испытанием на изгиб

(угол изгиба),

$\alpha$ , град

Ударная вязкость),

$\alpha_H$ , МДж/м<sup>2</sup>

Испытания стандартных образцов Шарпи на копре КСV, КСУ

Относительное удлинение коротких образцов имеет большие значения, чем относительное удлинение длинных образцов. Это объясняется неравномерным распределением деформаций по длине образца, т.е. наличием «шейки»

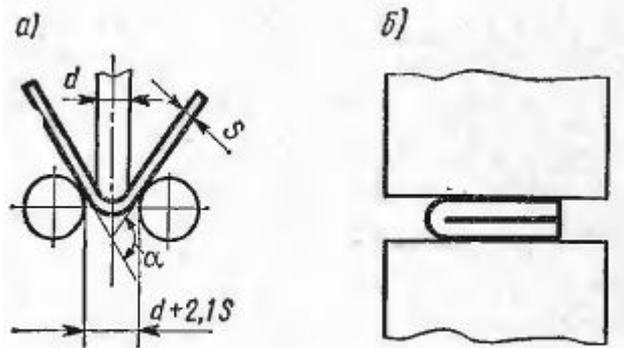
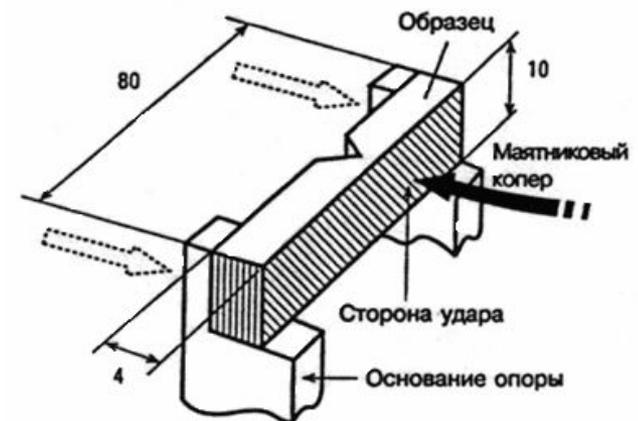


Рис. 1.2. Схемы испытаний на изгиб



Образец Шарпи

# Классификация сталей

## По химическому составу:

### 1. Углеродистые

- низкоуглеродистые (содержание углерода ниже 0,2%);
- среднеуглеродистые (содержание углерода в пределах 0,2% - 0,45%);
- высокоуглеродистые (содержание углерода выше 0,5%).

### 2. Легированные

- низколегированные (ниже 2,5%);
- среднелегированные (в пределах 2,5% - 10%);
- высоколегированные (более 10%).

## По назначению:

- конструкционные,
- инструментальные
- специального назначения
  - ✓ нержавеющие (коррозионно-стойкие);
  - ✓ жаростойкие;
  - ✓ жаропрочные;
  - ✓ износостойкие;
  - ✓ магнитные;
  - ✓ немагнитные и т. д.

# Классификация сталей

## По качеству и способу производства:

- обыкновенного качества — содержащие до 0,06% серы и 0,07% фосфора;
- качественные — до 0,035% серы и 0,035% фосфора;
- высококачественные — не более 0,025% серы и 0,025% фосфора;
- особо высококачественные — не более 0,015% серы и 0,025% фосфора.

## По степени раскисления:

- спокойные;
- полуспокойные;
- кипящие.

## По способу выплавки

мартеновская  
сталь

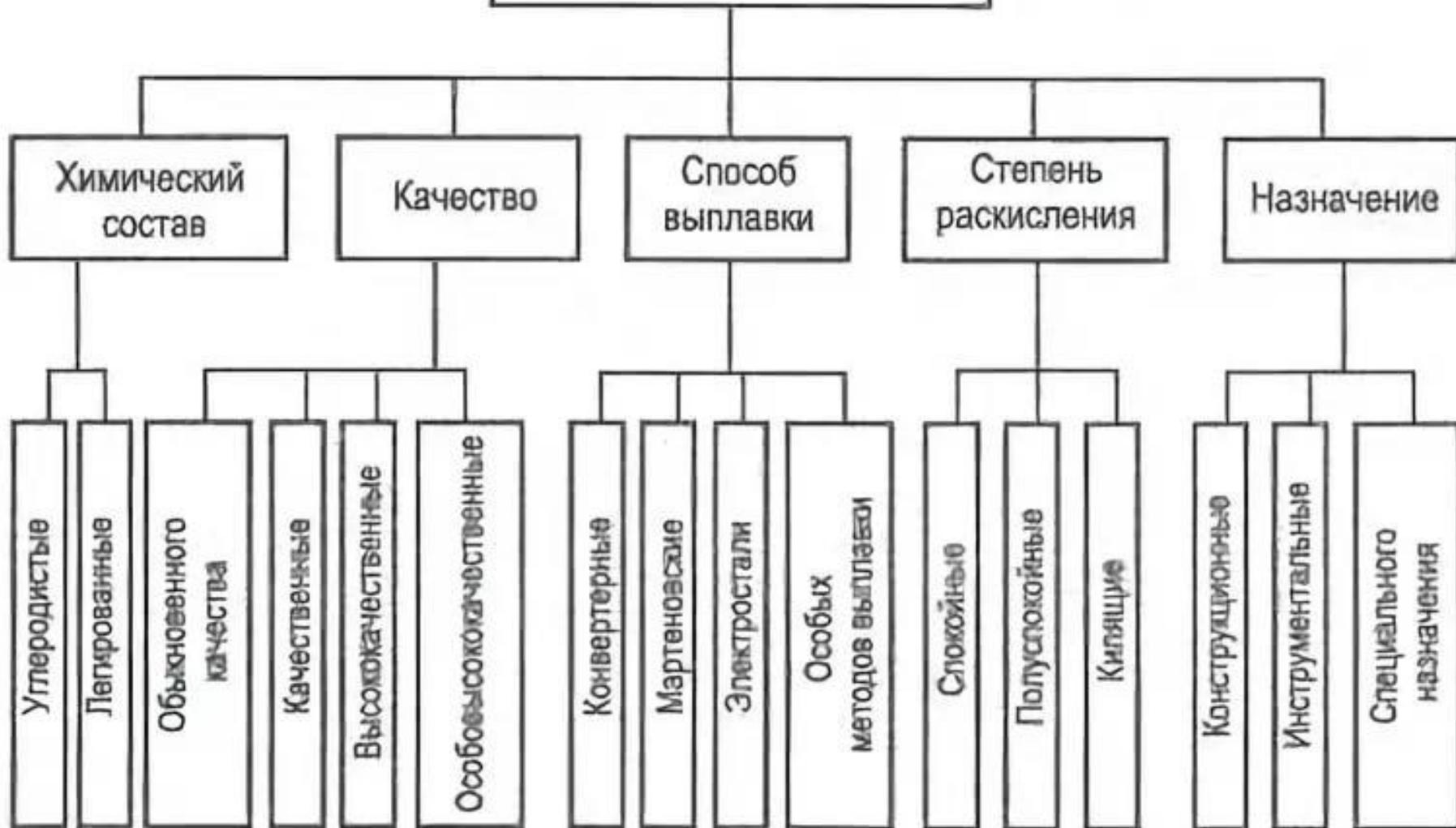
(до 1960 г.  
только этот способ)

кислородно-  
конверторная  
при низкой чистоте  
используемого для  
продувки кислорода  
в сталь попадает азот,  
который снижает хладо  
стойкость и повышает  
склонность к  
механическому старению

электросталь  
отличается повышенной  
чистотой по содержанию  
серы и фосфора, а также  
примесей олова, сурьмы,  
висмута, вызывающих  
отпусчную хрупкость

электрошлаковый  
переплав  
содержание серы и  
фосфора  
в 2-3 раза ниже, неметал  
лические включения  
имеют малые размеры  
и равномерно  
распределены

# Классификация сталей



## **ГОСТ 380-2005 Сталь углеродистая обыкновенного качества**

Стали углеродистые обыкновенного качества содержат до 0,07% фосфора, 0,06% серы, 0,06...0,49% углерода и в равновесном состоянии имеют ферритно-перлитную структуру.

Изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Стб. Стандартом предусмотрена также сталь с повышенным (0,8...1,1%) содержанием марганца: Ст3Гпс, Ст3Гсп и Ст5Гпс. Наиболее распространенная сталь Ст3сп имеет  $s = 380...490$  МПа,  $s_{0,2} = 210...250$  МПа и  $d = 25..22\%$ , а Ст5сп —  $s = 500...600$  МПа,  $s_{0,2} = 240...280$  МПа и  $d = 20...17\%$ . Чем больше толщина изделия проката, тем ниже значения приведенных характеристик. По условиям поставки стали обыкновенного качества классифицируются на три группы, буквенное обозначение которых (кроме А) указывают в начале марки:

- А — поставляемые по механическим свойствам (Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст3, Стб) для изготовления изделий, не подвергающихся горячей обработке;
- Б — поставляемые по химическому составу (БСт0, БСт1, ..., БСтб) для изготовления изделий, подвергающихся горячей обработке;
- В — поставляемые по механическим свойствам и химическому составу (ВСт1<sup>А</sup> ВСт2, ..., ВСт5) для изготовления сварных конструкций.

Дополнительными индексами указываются степень раскисления и характер затвердевания стали (например, Ст3кп, Ст5пс, Стбсп). В группе А при отсутствии обозначений сп, пс, кп подразумевается сталь спокойная.

## ***Качественные углеродистые стали***

Стали углеродистые конструкционные качественные (ГОСТ 1050-74) содержат не более 0,35% фосфора, не более 0,04% серы, 0,05...0,6% углерода. Маркировка 08, 08кп, 10, 15, 20, .... 65. Двухзначные числа в марке показывают содержание углерода в сотых долях процента.

## ***Инструментальные углеродистые стали***

В углеродистых инструментальных сталях (ГОСТ 1435-74) буква У в обозначении марки означает "углеродистая сталь", а цифра показывает содержание углерода в десятых долях процента. У7 ... У13А

Основная масса легированных сталей выплавляется качественными. Отличие в обозначении качественных, высококачественных и особо высококачественных сталей заключается в том, что в конце марки высококачественных сталей приписывается буква А, а особо высококачественных — буква Ш. **Стали, используемые в металлоконструкциях, различаются по ряду признаков, отражающих их изготовление, служебные свойства и область применения:**

**СПОСОБ ВЫПЛАВКИ,**

**СТЕПЕНЬ РАСКИСЛЕННОСТИ,**

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ,**

**СОСТОЯНИЕ ПОСТАВКИ,**

**УРОВЕНЬ (класс) ПРОЧНОСТИ,**

**КАТЕГОРИЯ (класс) КАЧЕСТВА ПО ХЛАДНОСТОЙКОСТИ.**

## Легированные стали. Маркировка.

Азот — А

Алюминий — Ю

Бериллий — М

Бор — П

Вольфрам — В

Ванадий — Ф

Кобальт — К

Кремний — С

Марганец — Г

Медь — Д

Молибден — М

Магний — Ш

Ниобий — Б

Никель — Н

Селен — Е

Титан — Т

Фосфор — П

Хром — Х

Цирконий — Ц

Редкоземельные металлы —  
Ч

15ХА, 30ХГТ, 40ХФМА, 12Х2Н4А, 38Х2МЮА, Н18Л9М5Т,  
09Г2С,  
10ХСНД, 14Г2, 10Х18Н10Т

# Маркировка стали по ГОСТ 27772-88

**C 245**

Сталь строительная

$R_{уп}$  для наименьшей толщины  
(с округлением до 5 МПа).

ГОСТ 27772-88 «Прокат для  
строительных конструкций. Общие  
технические условия»

**C 345Д**

Сталь повышенной  
коррозионной стойкости  
(с добавкой меди)

**C 345К**

Вариант хим. состава

# Маркировка стали по другим стандартам

Группа поставки

А - по механическим свойствам

Б - по химическому составу

В - по механическим свойствам  
и химическому составу

ГОСТ 380-88 «Сталь углеродистая  
обыкновенного качества»

Вст3пс6

Категория стали  
(1...6), указывает  
вид испытаний на  
ударную вязкость

Сталь «3»

Степень раскисления

сп - спокойная

пс - полуспокойная

кп - кипящая

Вст3Гпс5

Сталь с повышенным  
содержанием  
марганца

ГОСТ 19281-73 «Сталь  
низколегированная сортовая и  
фасонная»

Стали, поставляемые  
по разным  
стандартам,  
взаимозаменяемы

содержание  
углерода 0,09%

09Г2С

кремний до 1%

марганец до 2%

# Структурные классы сталей.

В зависимости от структуры, легированные стали классифицируют:

*По структуре в условиях равновесия (медленное охлаждение) :*

1. Перлитные:

- Доэвтектоидные
- Эвтектоидные
- Заэвтектоидные

2. Ледебуритные

По структуре после охлаждения на воздухе (по Гийе):

1. Перлитные
2. Мартенситные
3. Аустенитные

*По составу:*

1. Никелевые
2. Хромистые
3. Хромоникелевые
4. Хромоникельмолибденовые и др.

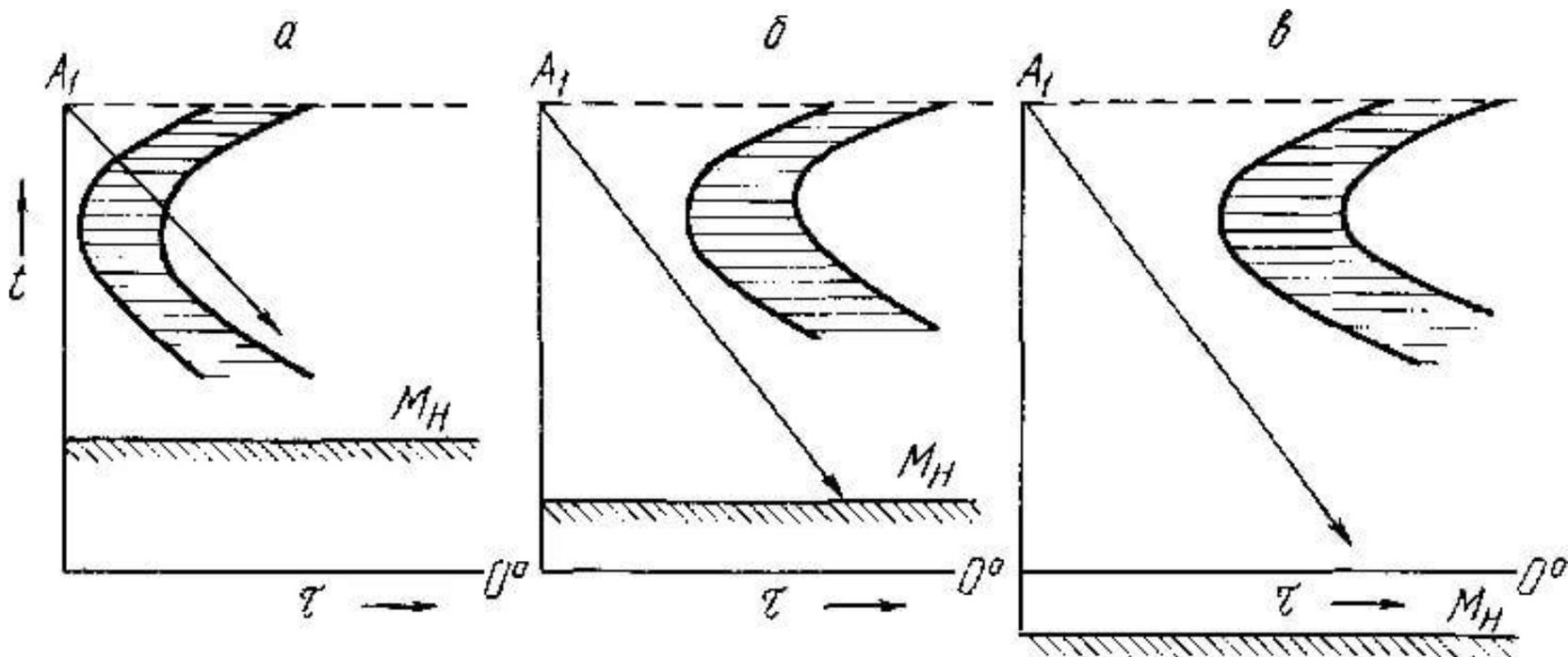


Диаграмма изотермического распада аустенита для сталей перлитного (а), мартенситного (б) и аустенитного (в) классов:  $A_1$  – температура выше  $723^\circ\text{C}$ ; горизонтальная штриховка – область образования перлита;  $M_H$  – область образования мартенсита

# ГОСТ ISO 15608-201 Сварка. Рекомендации по системе группирования металлических материалов (2018 год)

Группа	Тип стали
1	Стали с минимальным пределом текучести не более 460 Н/мм <sup>2</sup> и максимальным содержанием легирующих компонентов: C≤0,25 Si≤0,6 Mn ≤1,8 Mo≤0,7 S≤0.045 P≤0.045 Cu≤0.4 <sup>b</sup> Ni≤0.5 V≤0,1 Ti ≤0.05
2	Термомеханически обработанные мелкозернистые стали и стальное литье с минимальным пределом текучести более 360 Н/мм <sup>2</sup>
3	Закаленные и отпущенные стали, дисперснотвердеющие стали, за исключением нержавеющей с минимальным пределом текучести более 360 Н/мм <sup>2</sup>
4	Стали с максимальным содержанием Cr = 0.75 % Mo ≤0.7% V≤0.1%
5	Стали с содержанием Cr от 0,75 до 10 % и Mo ≤1,2%
6	Стали с максимальным содержанием Cr ≤12,5 % и Mo ≤1,2% и V≤0.35
7	Ферритные или мартенситные стали с C≤0.35% и 10.5 %≤Cr≤30%
8	Аустенитные стали Ni ≤31%
9	Стали, легированные никелем не более 10%
10	Аустенитно-ферритные (дулексные) стали
11	Стали не указанные в группах 1-10 и 0,25 %≤C≤0,85

# ГОСТ ISO 15608-201 Сварка. Рекомендации по системе группирования металлических материалов (2018 год)

Группа	Подгруппа	Тип стали
1		Стали с установленным минимальным пределом текучести $R_{eH} \leq 460 \text{ Н/мм}^2$ <sup>a</sup> и химическим составом, %: $C \leq 0,25$ ; $Si \leq 0,60$ ; $Mn \leq 1,8$ ; $Mo \leq 0,70$ <sup>b</sup> ; $S \leq 0,045$ ; $P \leq 0,045$ ; $Cu \leq 0,40$ <sup>b</sup> ; $Ni \leq 0,5$ <sup>b</sup> ; $Cr \leq 0,3$ (0,4 для литья) <sup>b</sup> ; $Nb \leq 0,06$ ; $V \leq 0,1$ <sup>b</sup> ; $Ti \leq 0,05$
	1.1	Стали с установленным минимальным пределом текучести $R_{eH} \leq 275 \text{ Н/мм}^2$
	1.2	Стали с установленным минимальным пределом текучести $275 \text{ Н/мм}^2 < R_{eH} \leq 360 \text{ Н/мм}^2$
	1.3	Нормализованные мелкозернистые стали с установленным минимальным пределом текучести $R_{eH} > 360 \text{ Н/мм}^2$
	1.4	Стали с улучшенной коррозионной стойкостью по отношению к кислороду воздуха, химический состав которых может превышать граничные значения содержания отдельных элементов, приведенных для группы 1
2		Термомеханически обработанные мелкозернистые стали и литейные стали с установленным минимальным пределом текучести $R_{eH} > 360 \text{ Н/мм}^2$
	2.1	Термомеханически обработанные мелкозернистые стали и литейные стали с установленным минимальным пределом текучести $360 \text{ Н/мм}^2 < R_{eH} \leq 460 \text{ Н/мм}^2$
	2.2	Термомеханически обработанные мелкозернистые стали и литейные стали с установленным минимальным пределом текучести $R_{eH} > 460 \text{ Н/мм}^2$
3		Улучшенные закалкой и отпуском и дисперсионно-закаленные мелкозернистые стали, за исключением нержавеющей сталей, с установленным минимальным пределом текучести $R_{eH} > 360 \text{ Н/мм}^2$
	3.1	Улучшенные закалкой и отпуском мелкозернистые стали с установленным минимальным пределом текучести $360 \text{ Н/мм}^2 < R_{eH} \leq 690 \text{ Н/мм}^2$
	3.2	Улучшенные закалкой и отпуском мелкозернистые стали с установленным минимальным пределом текучести $R_{eH} > 690 \text{ Н/мм}^2$
	3.3	Дисперсионно-закаленные мелкозернистые стали, за исключением нержавеющей сталей

4		Низколегированные ванадием Cr-Mo-(Ni) стали с содержанием Mo $\leq 0,7$ % и V $\leq 0,1$ %
	4.1	Стали с содержанием Cr $\leq 0,3$ % и Ni $\leq 0,7$ %
	4.2	Стали с содержанием Cr $\leq 0,7$ % и Ni $\leq 1,5$ %
5		Cr-Mo стали, свободные от ванадия, с содержанием C $\leq 0,35$ %
	5.1	Стали с содержанием $0,75$ % $\leq$ Cr $\leq 1,5$ % и Mo $\leq 0,7$ %
	5.2	Стали с содержанием $1,5$ % $<$ Cr $\leq 3,5$ % и $0,7$ % $<$ Mo $\leq 1,2$ %
	5.3	Стали с содержанием $3,5$ % $<$ Cr $\leq 7,0$ % и $0,4$ % $<$ Mo $\leq 0,7$ %
	5.4	Стали с содержанием $7,0$ % $<$ Cr $\leq 10,0$ % и $0,7$ % $<$ Mo $\leq 1,2$ %

Группа	Подгруппа	Тип стали
6		Высоколегированные ванадием Cr-Mo-(Ni) стали
	6.1	Стали с содержанием $0,3$ % $\leq$ Cr $\leq 0,75$ %, Mo $\leq 0,7$ % и V $\leq 0,35$ %
	6.2	Стали с содержанием $0,75$ % $<$ Cr $\leq 3,5$ %, $0,7$ % $<$ Mo $\leq 1,2$ % и V $\leq 0,35$ %
	6.3	Стали с содержанием $3,5$ % $<$ Cr $\leq 7,0$ %, Mo $\leq 0,7$ % и $0,45$ % $\leq$ V $\leq 0,55$ %
	6.4	Стали с содержанием $7,0$ % $<$ Cr $\leq 12,5$ %, $0,7$ % $<$ Mo $\leq 1,2$ % и V $\leq 0,35$ %
7		Ферритные, мартенситные или дисперсионно-закаленные нержавеющие стали с содержанием C $\leq 0,35$ % и $10,5$ % $\leq$ Cr $\leq 30$ %
	7.1	Ферритные нержавеющие стали
	7.2	Мартенситные нержавеющие стали
	7.3	Дисперсионно-закаленные нержавеющие стали
8		Аустенитные нержавеющие стали с содержанием Ni $\leq 31$ %
	8.1	Аустенитные нержавеющие стали с содержанием Cr $\leq 19$ %
	8.2	Аустенитные нержавеющие стали с содержанием Cr $> 19$ %
	8.3	Аустенитные марганцевые нержавеющие стали с содержанием $4$ % $<$ Mn $\leq 12$ %
9		Легированные никелем стали с содержанием Ni $\leq 10,0$ %
	9.1	Легированные никелем стали с содержанием Ni $\leq 3,0$ %
	9.2	Легированные никелем стали с содержанием $3,0$ % $<$ Ni $\leq 8,0$ %
	9.3	Легированные никелем стали с содержанием $8,0$ % $<$ Ni $\leq 10,0$ %
10		Аустенитные ферритные нержавеющие стали (дуплексные)
	10.1	Аустенитные ферритные нержавеющие стали с содержанием Cr $\leq 24$ %
	10.2	Аустенитные ферритные нержавеющие стали с содержанием Cr $> 24$ %
11		Стали с химическим составом элементов, идентичным сталям группы 1 <sup>c</sup> , за исключением содержания $0,25$ % $<$ C $\leq 0,85$ %
	11.1	Стали, отнесенные к группе 11, с содержанием $0,25$ % $<$ C $\leq 0,35$ %
	11.2	Стали, отнесенные к группе 11, с содержанием $0,35$ % $<$ C $\leq 0,5$ %
	11.3	Стали, отнесенные к группе 11, с содержанием $0,5$ % $<$ C $\leq 0,85$ %

Примечание – Основываясь на фактические химические составы продукции, стали группы 2 могут быть отнесены к сталям группы 1.

<sup>a</sup> В соответствии с требованиями стандартов на стальную продукцию,  $R_{eH}$  может быть заменено на  $R_{p0,2}$  или

$R_{10,5}$

<sup>b</sup> Допускается более высокое значение, если Cr + Mo + Ni + Si + V  $\leq 0,75$  %.

<sup>c</sup> Допускается более высокое значение, если Cr + Mo + Ni + Si + V  $\leq 1$  %.

## ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ СТАЛЕЙ НА КЛАССЫ

Класс стали	Марка стали
Углеродистый	Ст3, 10, 20, 15К, 16К, 18К, 20К, 20ЮЧ
Низколегированный марганцовистый, марганцевокремнистый	16ГС, 17ГС, 17Г1С, 09Г2С, 10Г2СФ, 10Г2С1, 10Г2, 10Г2С1Д, 09Г2, 09Г2СЮЧ, 16ГМЮЧ, 09Г2СФБ
Низколегированный хромомолибденовый, хромомолибденованадиевый	12МХ, 12ХМ, 12Х1МФ, 15ХМ, 10Х2ГНМ, 1Х2М1, 20Х2МА, 15Х2МФА
Мартенситный	15Х5, 15Х5М, 15Х5ВФ, 12Х8ВФ, 20Х13, Х9М, 12Х13
Ферритный	08Х13, 08Х17Т, 15Х25Т
Аустенитный	10Х14Г14Н4Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 03Х17Н14М3, 12Х18Н12Т, 02Х18Н11, 02Х8Н22С6, 03Х19АГ3Н10Т, 07ХГ3АГ20, 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 03Х21Н21М4ГБ
Сплавы на железоникелевой никелевой основе	и 06Х28МДТ, 03Х28МДТ, ХН32Т
Аустенитно-ферритный	08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 08Х18Г8Н2Т, 15Х18Н12С4ТЮ

## КЛАССЫ ПРОЧНОСТИ И КАТЕГОРИИ КАЧЕСТВА ПО ХЛАДНОСТОЙКОСТИ(строительные стали)

1 класс прочности : сталь класса С225 (предел текучести  $\geq 225$  МПа) – сталь нормальной прочности

2-4 класс прочности: предел текучести  $\geq 285$  МПа,  $\geq 325$  МПа,  $\geq 390$  МПа – сталь повышенной прочности

5- класс прочности: предел текучести  $\geq 440$  МПа,  $\geq 590$  МПа,  $\geq 735$  МПа – сталь высокой прочности

Обычно 1 классу соответствует прокат углеродистой стали обыкновенного качества в горячекатаном состоянии), последующим классам от 2 до 6 – прокат низколегированной стали в горячекатаном или нормализованном состоянии. Возможно получение проката 2 и 3 классов путем термического и термомеханического упрочнения или контролируемой прокатки.

Все строительные стали по хладнотойкости делят на 3 группы:

I – без гарантированной хладнотойкости;

II – с гарантированной хладнотойкостью для металлоконструкций, эксплуатируемых в обычных температурных условиях ( расчетная температура не ниже минус 40 С);

III – с гарантированной хладнотойкостью для конструкций, эксплуатируемых при расчетной температуре ниже минус 40 С (северное исполнение).

Свариваемость – способность материала образовывать качественное сварное соединение, отвечающее эксплуатационным требованиям.

Группа сталей	Свариваемость	Эквивалент $C_3$ , %	Технологические меры			
			подогрев		термообработка	
			перед сваркой	во время сварки	перед сваркой	после сварки
1	Хорошая	< 0,2	-	-	-	Желательна
2	Удовлетворит.	0,2 - 0,35	Необходим	-	Желательна	Необходима
3	Ограниченная	0,35 - 0,45	Необходим	Желателен	Необходима	Необходима
4	Плохая	> 0,45	Необходим	Необходим	Необходима	Необходима

### **Хорошая**

Шов качественный. Не требуется предварительного нагрева.

### **Удовлетворительная**

Чтобы создать качественное сварное соединение, стальные изделия необходимо предварительно разогреть.

### **Ограниченная**

Перед сваркой металлические изделия сначала разогревают, а после их соединения подвергают еще и термической обработке.

### **Плохая**

Такая сталь характеризуется тем, что во время сварки (после нее) на поверхности образуются трещины, а также могут возникать «закалочные» структуры, снижающие прочность и надежность соединения, делающие его хрупким.

# Углеродный эквивалент

Для оценки сварных характеристик проката, идущего на создание конструкций, применяют понятие **углеродный эквивалент**, утвержденную ГОСТ ГОСТ 27772-88 :

$$C_{\text{э}} = C + (P/2) + (Cr/5) + (Mn/6) + (Cu/13) + (V/14) + (Si/24) + (Ni/40)$$

Дает оценку склонности к образованию холодных трещин. Температуру подогрева ( $T$ , °C) можно очень примерно определить по формуле:  $T = 350 * (C_{\text{об}} - 0,25)^{0,5}$ , где  $C_{\text{об}}$  - общий углеродный эквивалент, %  
 $C_{\text{об}} = C_{\text{э}} * (1 + 0,005 * \delta)$ , где  $\delta$  - толщина металла свариваемой детали, мм

Европейская ассоциация по сварке (МИС) рекомендует зависимость

$$C_{\text{э}} = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15,$$

а нормы Японии - зависимость

$$C_{\text{э}} = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4.$$

**ГОСТ 14637-89 « Прокат толстолистовой из углеродистой стали **обыкновенного качества.** Технические условия».**

Стандарт распространяется на толстолистовой горячекатаный прокат из углеродистой **стали обыкновенного качества (Ст0, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст3Гпс по ГОСТ 380)** , изготовляемый шириной 500 мм и более, толщиной от 4 до 160 мм включ.

Таблица 1

Категория	Нормируемая характеристика								Марка стали
	Х.С.	Механические свойства при растяжении и изгибе до параллельности сторон	Ударная вязкость						
			КСУ			КСV			
			при температуре, °С			после механического старения	при температуре, °С		
плюс 20	минус 20	минус 40	0	плюс 20					
1	—	+	—	—	—	—	—	—	Ст0, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс
2	+	+	—	—	—	—	—	—	Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст5пс, Ст3сп, Ст3Гпс
3	+	+	+	—	—	—	—	—	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4пс, Ст4сп
4	+	+	—	+	—	—	—	—	Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп
5	+	+	—	+	—	+	—	+	Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп
6	+	+	—	—	+	+	+	—	Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп

**Примечания:**  
 1. Знак «+» означает, что характеристику нормируют, знак «—» — не нормируют.  
 2. Для проката из стали марки Ст0 предел текучести и ударная вязкость не нормируются.  
 3. Прокат категорий 2 и 3 из стали марок Ст3пс и Ст3сп толщиной 5 мм и более, кроме проката, предназначенного для передела на трубы, изготовляют по согласованию изготовителя с потребителем.  
 4. Для проката категории 5, предназначенного для передела на трубы, нормируют КСУ при температуре минус 20 °С и один из двух других показателей ударной вязкости: КСУ после механического старения или КСV при температуре плюс 20 °С.

По ГОСТ 380 – 2005:  
**группа А** – сталь поставляется по механическим свойствам;  
**группа Б** – сталь поставляется по химическим свойствам;  
**группа В** – сталь поставляется по механическим и химическим свойствам (наиболее дорогостоящие стали).

## ГОСТ 14637-89 « Прокат толстолистовой из углеродистой стали **обыкновенного качества. Технические условия**».

2.1.7. Механические свойства горячекатаного проката при испытании на растяжение и изгиб должны соответствовать нормам, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Предел текучести $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> ), для толщин, мм				Относительное удлинение $\delta_5$ , %, для толщин, мм			Изгиб до параллельности сторон ( $a$ — толщина образца, $d$ — диаметр оправки) для толщин, мм	
		до 20	св. 20 до 40	св.40 до 100	св. 100	до 20	св.20 до 40	св. 40		
		не менее							до 20	св.20
Ст0	Не менее 300 (31)	—	—	—	—	23	22	20	$d=2,5a$	
Ст2кп	320-410(33-42)	215 (22)	205 (21)	195 (20)	185 (19)	33	32	30	$d=1,5a$	$d=2,5a$
Ст2пс, Ст2сп	330-430(34-44)	225 (23)	215 (22)	205 (21)	195 (20)	32	31	29		
Ст3кп	360-460(37-47)	$J>35$ (24)	225 (23)	215 (22)	195 (20)	27	26	24		
Ст3пс, Ст3сп	370-480(38-49)	245 (25)	235 (24)	225(23)	205 (21)	26	25	23		
Ст3Гпс	370-490(38-50)									
Ст3Гсп	390-570(40-58)	255 (26)	245 (25)	—	—	23	24	—		
Ст4пс, Ст4сп	410-530(42-54)	265 (27)	255 (26)	245 (25)	235 (24)	24	23	21	$d=2,5a$	$d=1,5a$
Ст5пс, Ст5сп	490-630(50-64)	285 (29)	275 (28)	265 (27)	255 (26)	20	19	17	$d=3,5a$	$d=4,5a$
Ст3Гпс	450-590(46-60)									

Стандарт распространяется на толстолистовой горячекатаный прокат из углеродистой стали обыкновенного качества ( 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25,30,35, 40, 45, 50, 55, 60 (ГОСТ 1050), 08Ю (ГОСТ 9045), 15Г,20Г, 3-Г, 40Г,50Г, 10Г2, 35Г2, 20Х, 30Х, 38ХА, 40Х,45Х (ГОСТ 4543), 65, 70, 60Г, 65Г, 70Г (ГОСТ 14959) изготовляемый шириной 500 мм и более, толщиной 4 -160 мм

Таблица 3 — Механические свойства проката

Марка стали	Толстолистовой прокат						Широкополосный нормализованный прокат или нормализованные заготовки			
	без термической обработки, после контролируемой прокатки или нормализованный			отожженный или высокоотпущенный						
	Предел текучести $\sigma_{\tau}$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Временное сопротивление $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Предел текучести $\sigma_{\tau}$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Временное сопротивление $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Предел текучести $\sigma_{\tau}$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Временное сопротивление $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Относительное сужение поперечного сечения $\psi$ , %
	не менее									
08кп, 08Ю	+	310(32)	34	+	270(28)	34	175(18)	290(30)	35	60
08пс	+	310(32)	32	+	270(28)	32	175(18)	290(30)	35	60
08	+	310(32)	32	+	270(28)	32	196(20)	320(33)	33	60
10кп	+	320(33)	32	+	270(28)	32	185(19)	310(32)	33	55
10пс	+	330(34)	32	+	290(30)	32	185(19)	310(32)	33	55
10	+	330(34)	32	+	290(30)	32	205(21)	330(34)	31	55
15кп	+	340(35)	30	+	300(31)	31	205(21)	350(36)	29	55
15пс	+	370(38)	30	+	320(33)	30	205(21)	350(36)	29	55
15	+	370(38)	30	+	320(33)	30	225(23)	370(38)	27	55
20кп	+	380(39)	27	+	340(35)	28	225(23)	380(39)	27	55
20пс	+	410(42)	28	+	370(38)	28	225(23)	380(39)	27	55
20	+	410(42)	28	+	370(38)	28	245(25)	410(42)	25	55
25	+	440(45)	25	+	400(41)	26	275(28)	450(46)	23	50
30	+	480(49)	24	+	430(44)	24	295(30)	490(50)	21	50

Марка стали	Механические характеристики		
	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
09Г2	450	310	21
14Г2	470	340	21
16ГС	500	330	21
09Г2С	500	350	21
10Г2С1	520	380	21
15ГФ	520	380	21
15ХСНД	500	350	21
10ХСНД	540	400	19
16Г2АФ	600	450	20

**Примечание: толщина проката 4-10 мм**

Из приведенных низколегированных сталей стали 10ХСНД и 15ХСНД используют в ответственных конструкциях (мостостроение). Стали 09Г2С, 16ГС применяют в сварных листовых конструкциях. В тяжелых конструкциях, работающих под высокими нагрузками, применение низколегированных сталей может привести к существенному снижению расхода металла (до 30 – 35 %). При этом, несмотря на более высокую стоимость низколегированной стали по сравнению с низкоуглеродистыми, может быть снижена и стоимость изготовления конструкции за счет меньшего расхода металла.

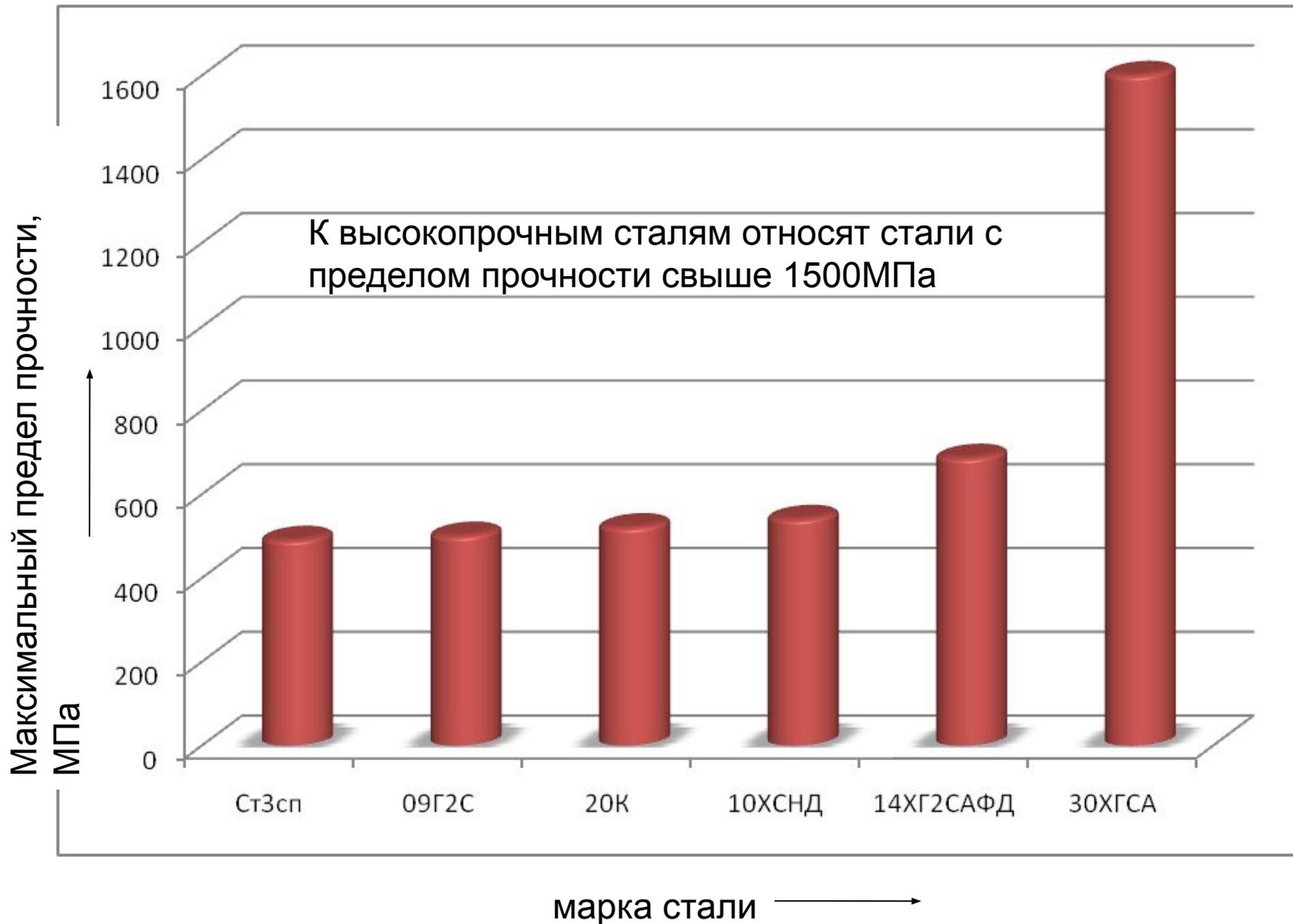
## ГОСТ 5520-79 «Прокат листовой из углеродистой, низколегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия»

Стандарт распространяется на листовую прокат из углеродистой, низколегированной и легированной стали (15К, 16К, 18К, 20К, 22К (углеродистые), 09Г2С, 16ГС, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С, 14ХГС (низколегированные), 12ХМ, 10Х2М, 12Х1МФ (теплоустойчивые)) толщиной от 4 до 160 мм в горячекатаном и термически обработанном состоянии, пригодный для сварки и предназначенный для изготовления деталей и частей котлов и сосудов, работающих под давлением при комнатной, повышенной и минусовых температурах.

Т а б л и ц а 4а

Марка стали	Толщина листа, мм	Предел текучести, $\sigma_s$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Временное сопротивление $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Относительное удлинение $\delta_s$ , %	Ударная вязкость КСЧ, Дж/см <sup>2</sup> (кгс·м/см <sup>2</sup> ), при температуре, °С			Ударная вязкость КСЧ после механического старения при +20 °С, Дж/см <sup>2</sup> (кгс·м/см <sup>2</sup> )
					+20	−40	−70	
не менее								
09Г2С	До 5	345(35)	490(50)	21	—	—	—	29(3,0)
	От 5 до 10	345(35)	490(50)		64(6,5)	39(4,0)	34(3,5)	
	» 10 » 20 включ.	325(33)	470(48)		59(6,0)	34(3,5)	29(3,0)	
	Св. 20 » 32 »	305(31)	460(47)		59(6,0)	34(3,5)	29(3,0)	
	» 32 » 60 »	285(29)	450(46)		59(6,0)	34(3,5)	29(3,0)	
	» 60 » 80 »	275(28)	440(45)		59(6,0)	34(3,5)	29(3,0)	
» 80 » 160 »	265(27)	430(44)	59(6,0)	34(3,5)	29(3,0)			
10Г2С1	До 5	355(36)	490(50)	21	—	—	—	29(3,0)
	От 5 до 10	345(35)	490(50)		64(5,5)	39(4,0)	29(3,0)	
	» 10 » 20 включ.	335(34)	480(49)		59(6,0)	29(3,0)	24(2,5)	
	Св. 20 » 32 »	325(33)	470(48)		59(6,0)	29(3,0)	24(2,5)	
	» 32 » 60 »	325(33)	450(46)		59(6,0)	29(3,0)	24(2,5)	
	» 60 » 80 »	295(30)	430(44)		59(6,0)	29(3,0)	24(2,5)	
» 80 » 100 »	295(30)	430(44)	59(6,0)	29(3,0)	24(2,5)			
16ГС	До 5	325(33)	490(50)	21	—	—	—	29(3,0)
	От 5 до 10	325(33)	490(50)		59(6,0)	39(4,0)	29(3,0)	
	» 10 » 20 включ.	315(32)	480(49)		59(6,0)	29(3,0)	24(2,5)	
	Св. 20 » 32 »	295(30)	470(48)		59(6,0)	29(3,0)	24(2,5)	
	» 32 » 60 »	285(29)	460(47)		59(6,0)	29(3,0)	24(2,5)	
	» 60 » 160 »	275(28)	450(46)		59(6,0)	29(3,0)	24(2,5)	

# Сравнение предела прочности сталей



Стали повышенной прочности могут подвергаться улучшению. Закалка производится не с прокатного, а со специального нагрева. В процессе охлаждения протекают промежуточное и мартенситное превращения. Обязательно проводят высокий отпуск. Конечная структура – дисперсный сорбит отпуска.

Механические свойства после улучшения для сталей одних и тех же марок по сравнению с горячекатаным состоянием:

- прочность повышается на 20-25 %;
- ударная вязкость гарантируется не только при  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но и при  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Одновременное требование, предъявляемое к таким сталям: высокая прочность и малая склонность к хрупким разрушениям. Эта проблема решается несколькими способами: карбонитридным упрочнением, термообработкой, контролируемой прокаткой, созданием малоперлитных и бейнитных структур.

Карбонитридное упрочнение представляет собой способ воздействия на структуру и свойства путем образования упрочняющих дисперсных карбонитридных фаз при легировании стали V и Nb (иногда дополнительно Ti и Al) в сочетании с повышенным содержанием азота (до 0,03 %).

# ГОСТ 27772— 2015 « ПРОКАТ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. Общие технические условия

Таблица 4 — Механические свойства листового и широкополосного универсального проката и заготовок для гнутых профилей

Наименование стали	Толщина, мм	Механические свойства											
		Предел текучести $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	Временное сопротивление $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> , не менее								KCU после механического старения
					KCU		KCV			KCU			
					при температуре, °C								
Не менее		-20	-40	-70	0	-20	-40	-60	+20				
С235	от 2,0 до 3,9 включ.	235	360	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	4,0	235	360	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
С245	от 2,0 до 3,9 включ.	245	370	20	—	—	—	—	—	—	—	—	
	» 4,0 » 30 »	235	370	24	29	—	—	34	—	—	—	29	
С255	от 2,0 до 3,9 включ.	255	380	20	—	—	—	—	—	—	—	—	
	» 4,0 » 10 »	245	380	25	29	29	—	34	34	—	—	29	
	св. 10 » 20 »	245	370	25	29	29	—	34	34	—	—	29	
	» 20 » 40 »	235	370	25	29	29	—	34	34	—	—	29	
С345	от 2,0 до 3,9 включ.	345	490	21	—	—	—	—	—	—	—	—	
	» 4,0 » 10,0 »	345	490	21	—	39	34	—	34	34	—	29	
	» 10 » 20,0 »	325	470	21	—	34	29	—	34	34	—	29	
	» 20,0 » 40,0 »	305	460	21	—	34	29	—	34	34	—	29	
	» 40,0 » 60,0 »	285	450	21	—	34	29	—	34	34	—	29	
	» 60 » 80 »	275	440	21	—	34	29	—	34	34	—	29	
С345К	» 80 » 160 »	265	430	21	—	34	29	—	34	34	—	29	
	от 4,0 до 10 включ.	345	470	20	—	39	—	—	—	—	—	—	
С355	от 8,0 до 16 включ.	355	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—	
	св. 16 » 40 »	345	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—	
	» 40 » 60 »	335	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—	
	» 60 » 80 »	325	460	21	—	—	—	—	34	34	—	—	
	» 80 » 100 »	315	460	21	—	—	—	—	34	34	—	—	
» 100 до 160 »	295	460	21	—	—	—	—	34	34	—	—		

# ГОСТ 27772— 2015 « ПРОКАТ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. Общие технические условия

Окончание таблицы 4

Наименование стали	Толщина, мм	Механические свойства										
		Предел текучести $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	Временное сопротивление $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> , не менее							
					KCU		KCV			KCU после механического старения		
		Не менее		при температуре, °С								
		-20	-40	-70	0	-20	-40	-60	+20			
С355-1	от 8 до 16 включ.	355	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
	св. » 16 » 40 »	345	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
	» 40 » 50 »	335	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
С355К	от 8,0 до 16 включ.	355	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
	св. » 16 » 40 »	345	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
	» 40 » 50 »	335	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
С355П	от 8,0 до 16 включ.	355	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—
	св. 16 » 40 »	345	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—
С390-1	от 8,0 до 50 включ.	390	520	20	—	—	—	—	—	34	34	—
С390	от 8,0 до 50 включ.	390	520	20	—	—	—	—	—	34	29	—
С440	от 8,0 до 50 включ.	440	540	20	—	—	—	—	—	66	66	—
С550	от 8,0 до 50 включ.	540	640	17	—	—	—	—	—	66	66	—
С590	от 8,0 до 40 включ.	590	685	14	—	—	—	—	—	66	66	—

## Примечания

1 Максимальное значение временного сопротивления « $\sigma_B$ » для проката из стали С390, С390-1, С440, С550, С590 не должно превышать установленные нормы более чем на 160Н/мм<sup>2</sup>.

2 Знак «—» означает, что показатель не нормируется.

3 Относительное удлинение ( $\delta_{80}$ ) листового проката толщиной от 2,0 мм до 2,8 мм включительно из стали С235 должно быть не менее 28 %, С245 — не менее 26 %, С255 — не менее 25 %.

4 Для стали С355П предел текучести  $\sigma_T$  при температуре 600°С должен быть не менее 200 Н/мм<sup>2</sup>, временное сопротивление  $\sigma_B$  — не менее 240 Н/мм<sup>2</sup>.

Таблица 5 — Механические свойства фасонного проката

Наименование стали	Толщина проката, мм	Механические свойства									
		Предел текучести $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	Временное сопротивление $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> , не менее						
					KCU			KCV			KCU после механического старения
		не менее		при температуре, °С							
		-20	-40	-70	0	-20	-40	+20			
С245	от 4 до 20 включ.	245	370	25	29	—	—	34	—	—	29
	» 20 » 40 »	235	370	24	29	—	—	34	—	—	29
С255	от 4 до 10 включ.	255	380	25	29	29	—	34	34	—	29
	св. 10 » 20 включ.	245	370	25	29	29	—	34	34	—	29
	» 20 » 40 »	235	370	24	29	29	—	34	34	—	29
С345	от 4 до 10 включ.	345	480	21	—	39	34	—	34	—	—
	св. 10 » 20 »	325	470	21	—	34	29	—	34	—	—
	» 20 » 40 »	305	460	21	—	34	—	—	34	—	—
С345К	от 4 до 10 включ.	345	470	20	—	39	—	—	—	—	—
С 355	от 8 до 16 включ.	355	470	21	—	34	34	—	34	—	—
	св. 16 » 40 »	345	470	21	—	34	34	—	34	—	—
С355-1	от 8 до 16 включ.	355	480	21	—	34	34	—	34	—	—
	св. 16 » 40 »	345	480	21	—	34	34	—	34	—	—
С390	от 8 до 10 включ.	390	520	20	—	34	34	—	34	34	—
	св. 10 » 20»	380	500	20	—	34	34	—	34	34	—
	» 20 » 40 »	370	490	20	—	34	34	—	34	34	—
<p>Примечания</p> <p>1 Для проката из стали С345, С355, С355-1 определение ударной вязкости KCU при температуре минус 70 °С проводят на профилях толщиной до 11 мм включ., по согласованию изготовителя с потребителем — толщиной до 40 мм включ.</p> <p>2 Знак «—» означает, что показатель не нормируют.</p>											

Согласно СНиП II-23-81 «Стальные конструкции» в зависимости от степени ответственности конструкций зданий и сооружений, а также от условий их эксплуатации все конструкции разделяются на четыре группы (I, II,III,IV).

Сталь	ГОСТ или ТУ	Категория стали для климатического района строительства (расчетная температура, °С*		
		II <sub>4</sub> (-30 > t ≥ -40) II <sub>5</sub> и др. (t ≥ -30)	I <sub>2</sub> , II <sub>2</sub> и II <sub>3</sub> (-40 > t ≥ -50)	I <sub>1</sub> (-50 > t ≥ -65)
Группа 1. Сварные конструкции либо их элементы, работающие в особо тяжелых условиях или подвергающиеся непосредственному воздействию динамических, вибрационных или подвижных нагрузок [подкрановые балки; балки рабочих площадок и т.п.				
C255 C285 C345 C375 C390 C390K C440	ГОСТ 27772-88 Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия	+ + 3 3 + + +	- - 3 3 + + + <sup>б)</sup>	- - 4 <sup>а)</sup> 4 <sup>а)</sup> + <sup>б)</sup> + <sup>б)</sup> + <sup>в)</sup>
Группа 2. Сварные конструкции либо их элементы, работающие при статической нагрузке (фермы; ригели рам; балки перекрытий и покрытий; косоуры лестниц; опоры ВЛ)				
C245 C255 C275 C285 C345 C345K C375 C390 C390K C440 C590 C590K	ГОСТ 27772-88	+ <sup>г)</sup> + + <sup>г)</sup> + 1 + 1 + + + +	- - - - 3 - 3 + + + -	- - - - 4 <sup>а,д)</sup> - 4 <sup>а,д)</sup> + <sup>б)</sup> + <sup>б)</sup> + <sup>в)</sup> -
ВСтЗкп толщиной до 4 мм	ГОСТ 10705-80 группа В, табл. 1	2 <sup>е)</sup>	2 <sup>е)</sup>	-
ВСтЗпс до 5,5 мм	То же	2 <sup>е)</sup>	-	-
ВСтЗпс 6-10 мм	То же	6	-	-

### Марки по действующей нормативно-технической документации

Наименование стали	Марки по действующим стандартам	
	Марка стали	Обозначение стандарта
С235	Ст3кп2	ГОСТ 380-88, ГОСТ 535-88
С245	Ст3пс5	ГОСТ 380-88, ГОСТ 535-88
	Ст3сп5	ГОСТ 380-88, ГОСТ 535-88
С255	Ст3Гпс, Ст3Гсп	ГОСТ 380-88
С275	Ст3пс	ГОСТ 380-88
С285	Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп	ГОСТ 380-88
С345	12Г2С	-
	09Г2С	ГОСТ 19282-73
С345Д	12Г2СД	-
	09Г2СД	-
С345К	10ХНДП	ГОСТ 19282-73
С375	12Г2С	-
С375Д	12Г2СД	-
С390	14Г2АФ	ГОСТ 19282-73
С390Д	14Г2АФД	ГОСТ 19282-73
С390К	15Г2АФДпс	ГОСТ 19282-73
С440	16Г2АФ	ГОСТ 19282-73
С440Д	16Г2АФД	ГОСТ 19282-73
С590	12Г2СМФ	-
С590К	12ГН2МФАЮ	-

**Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополосного универсального и фасонного проката по ГОСТ 27772–88 для стальных конструкций зданий и сооружений**

Сталь	Толщина проката <sup>1</sup> , мм	Нормативное сопротивление <sup>2</sup> , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> ), проката				Расчетное сопротивление <sup>3</sup> , МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), проката			
		листового, широкополосного универсального		фасонного		листового, широкополосного универсального		фасонного	
		$R_{ср}$	$R_{сж}$	$R_{ср}$	$R_{сж}$	$R_{ср}$	$R_{сж}$	$R_{ср}$	$R_{сж}$
С235	От 2 до 20	235 (24)	360 (37)	235 (24)	360 (37)	230 (2350)	350 (3600)	230 (2350)	350 (3600)
	Св. 20 до 40	225 (23)	360 (37)	225 (23)	360 (37)	220 (2250)	350 (3600)	220 (2250)	350 (3600)
	Св. 40 до 100	215 (22)	360 (37)	–	–	210 (2150)	350 (3600)	–	–
	Св. 100	195 (20)	360 (37)	–	–	190 (1950)	350 (3600)	–	–
С245	От 2 до 20	245 (25)	370 (38)	245 (25)	370 (38)	240 (2450)	360 (3700)	240 (2450)	360 (3700)
	Св. 20 до 30	–	–	235 (24)	370 (38)	–	–	230 (2350)	360 (3700)
С255	От 2 до 3,9	255 (26)	380 (39)	–	–	250 (2550)	370 (3800)	–	–
	От 4 до 10	245 (25)	380 (39)	255 (26)	380 (39)	240 (2450)	370 (3800)	250 (2550)	370 (3800)
	Св. 10 до 20	245 (25)	370 (38)	245 (25)	370 (38)	240 (2450)	360 (3700)	240 (2450)	360 (3700)
	Св. 20 до 40	235 (24)	370 (38)	235 (24)	370 (38)	230 (2350)	360 (3700)	230 (2350)	360 (3700)
С275	От 2 до 10	275 (28)	380 (39)	275 (28)	390 (40)	270 (2750)	370 (3800)	270 (2750)	380 (3900)
	Св. 10 до 20	265 (27)	370 (38)	275 (28)	380 (39)	260 (2650)	360 (3700)	270 (2750)	370 (3800)
С285	От 2 до 3,9	285 (29)	390 (40)	–	–	280 (2850)	380 (3900)	–	–
	От 4 до 10	275 (28)	390 (40)	285 (29)	400 (41)	270 (2750)	380 (3900)	280 (2850)	390 (4000)
	Св. 10 до 20	265 (27)	380 (39)	275 (28)	390 (40)	260 (2650)	370 (3800)	270 (2750)	380 (3900)
С345	От 2 до 10	345 (35)	490 (50)	345 (35)	490 (50)	335 (3400)	480 (4900)	335 (3400)	480 (4900)
	Св. 10 до 20	325 (33)	470 (48)	325 (33)	470 (48)	315 (3200)	460 (4700)	315 (3200)	460 (4700)
	Св. 20 до 40	305 (31)	460 (47)	305 (31)	460 (47)	300 (3050)	450 (4600)	300 (3050)	450 (4600)
	Св. 40 до 60	285 (29)	450 (46)	–	–	280 (2850)	440 (4500)	–	–
	Св. 60 до 80	275 (28)	440 (45)	–	–	270 (2750)	430 (4400)	–	–
	Св. 80 до 160	265 (27)	430 (44)	–	–	260 (2650)	420 (4300)	–	–
С345К	От 4 до 10	345 (35)	470 (48)	345 (35)	470 (48)	335 (3400)	460 (4700)	335 (3400)	460 (4700)
С375	От 2 до 10	375 (38)	510 (52)	375 (38)	510 (52)	365 (3700)	500 (5100)	365 (3700)	500 (5100)
	Св. 10 до 20	355 (36)	490 (50)	355 (36)	490 (50)	345 (3500)	480 (4900)	345 (3500)	480 (4900)
	Св. 20 до 40	335 (34)	480 (49)	335 (34)	480 (49)	325 (3300)	470 (4800)	325 (3300)	470 (4800)
С390	От 4 до 50	390 (40)	540 (55)	–	–	380 (3850)	530 (5400)	–	–
С390К	От 4 до 30	390 (40)	540 (55)	–	–	380 (3850)	530 (5400)	–	–
С440	От 4 до 30	440 (45)	590 (60)	–	–	430 (4400)	575 (5850)	–	–

Продолжение таблицы 51

	Св. 30 до 50	410 (42)	570 (58)	–	–	400 (4100)	555 (5650)	–	–
C590	От 10 до 36	540 (55)	635 (65)	–	–	515 (5250)	605 (6150)	–	–
C590К	От 16 до 40	540 (55)	635 (65)	–	–	515 (5250)	605 (6150)	–	–

1. За толщину фасонного проката следует принимать толщину полки (минимальная его толщина 4 мм).
  2. За нормативное сопротивление приняты нормативные значения предела текучести и временного сопротивления по ГОСТ 27772–88.
  3. Значения расчетных сопротивлений получены делением нормативных сопротивлений на коэффициенты надежности по материалу, определенные в соответствии с п. 3.2\*, с округлением до 5 МПа (50 кгс/см<sup>2</sup>).
- Примечание. Нормативные и расчетные сопротивления из стали повышенной коррозионной стойкости (см. примеч. 5 к табл. 50\*) следует принимать такими же, как для соответствующих сталей без меди.

Таблица 51, а.

Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и изгибе труб для стальных конструкций зданий и сооружений.

Марки стали	ГОСТ или ТУ	Толщина стенки, мм	Нормативное сопротивление <sup>1</sup> , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )		Расчетное сопротивление <sup>2</sup> , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	
			$R_{yk}$	$R_{yk}$	$R_{yk}$	$R_{yk}$
ВСт3кп, ВСт3пс, ВСт3сп	ГОСТ 10705–80*	До 10	225 (23,0)	370 (38,0)	215 (2200)	350 (3550)
ВСт3пс, ВСт3сп	ГОСТ 10706–76*	5–15	245 (25,0)	370 (38,0)	235 (2400)	350 (3550)
20	ГОСТ 8731–87	4–36	245 (25,0)	410 (42,0)	225 (2300)	375 (3800)
16Г2АФ	ТУ 14-3-567–76	6–9	440 (45,0)	590 (60,0)	400 (4100)	535 (5450)

1. За нормативные сопротивления приняты минимальные значения предела текучести и временного сопротивления, приводимые в государственных общесоюзных стандартах или технических условиях, МПа (кгс/мм<sup>2</sup>). В тех случаях, когда эти значения в государственных общесоюзных стандартах или технических условиях приведены только в одной системе единиц – (кгс/мм<sup>2</sup>), нормативные сопротивления, МПа, вычислены умножением соответствующих величин на 9,81 с округлением до 5 МПа.
2. Значения расчетных сопротивлений получены делением нормативных сопротивлений, МПа, на коэффициенты надежности по материалу, определяемые в соответствии с п. 3.2\*, с округлением до 5 МПа; значения расчетных сопротивлений, кгс/см<sup>2</sup>, получены делением расчетных сопротивлений, МПа, на 0,0981.

Примечание. Нормативные сопротивления труб из стали марки 09Г2С по ГОСТ 8731–87 устанавливаются по соглашению сторон в соответствии с требованиями указанного стандарта; расчетные сопротивления – согласно п. 3.2\* настоящих норм.

Арматурная сталь в виде стержней, профилей применяется для армирования железобетонных конструкций. Арматурные стали в зависимости от механических свойств делят на классы: А-I, II, III используют для ненапряженных конструкций, а более высокопрочные стали классов А-IV и выше для напряженного железобетона. По мере увеличения класса прочности возрастает степень легирования стали.

## **СТБ 1704-2012 АРМАТУРА НЕНАПРЯГАЕМАЯ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. Технические условия**

Арматуру следует производить из сталей спокойных и полуспокойных марок согласно таблице:

Класс арматуры	Углерод	Марганец	Кремний	Сера	Фосфор	Медь	Азот	Углеродный эквивалент $C_{eq}$
S240	0,22 (0,24)	0,60 (0,65)	0,27 (0,30)	0,040 (0,045)	0,040 (0,045)	0,27 (0,30)	(0,011) (0,012)	0,40 (0,45)
S500	0,22 (0,24)	Не регламентируется		0,050 (0,055)	0,050 (0,055)	0,80 (0,85)	0,012 (0,014)	0,50 (0,52)
<i>Примечание — В скобках указан химический состав в готовом изделии.</i>								

## **СТБ 2174-2011 ИЗДЕЛИЯ АРМАТУРНЫЕ СВАРНЫЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. Техн**

Значения временного сопротивления соединений из арматуры, МПа, при классе			
S240	S400	S500 <sup>1)</sup>	S500 <sup>2), 3)</sup>
300	485	540	525
<sup>1)</sup> Арматура, изготовленная с профилем по СТБ 1704 (рисунки 1 и 4). <sup>2)</sup> Арматура, изготовленная с профилем по СТБ 1704 (рисунки 2 и 3) или по СТБ 1341. <sup>3)</sup> Для арматуры диаметром 4,0; 5,0; 5,5 мм — не менее 515 МПа.			

СТБ 1341-2009 АРМАТУРА ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННАЯ ГЛАДКАЯ НЕНАПРЯГАЕМАЯ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. Технические условия

СТБ EN 10080-2011 АРМАТУРА ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. АРМАТУРА СВАРИВАЕМАЯ .Общие технические условия

ГОСТ 20072-74 «Сталь теплоустойчивая. Технические условия».  
 Предназначаются для изготовления деталей, работающих в нагруженном состоянии при температуре до 600 С в течение длительного времени.

перлитного класса 12ХМ, 12Х1МФ, 15ХМ, 15Х1М1Ф

мартенситного класса 15Х5М

### 12ХМ

Механические свойства при T=20°C

Сортамент	Размер	Напр.	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta_5$	$\psi$	KCU
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м <sup>2</sup>
Ист. ГОСТ 5520-79			430-550	235-245	18-22		490-590
Трубы	Ø 273 x 28	Прод.	455	284	31.5	66.5	1930

Характеристики ползучести и длительной жаропрочности легированной и высоколегированной стали, применяемой для длительных сроков службы под напряжением

Марка стали		Рекомендуемый режим термической обработки				Температура испытания, °С	Предел длительной прочности (неразрушающее напряжение), Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> ), за время, ч		Предел ползучести, соответствующий 1 % общей деформации, Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> ), за время, ч	
Новое обозначение	Старое обозначение	Закалка (нормализация)		Отпуск (старение)			10000	100000	10000	100000
		Температура нагрева, °С	Среда охлаждения	Температура нагрева, °С	Среда охлаждения					
12МХ	—	920	Воздух	680—690	Воздух	480	245(25,0)	196(20,0)	216(22,0)	147(15,0)
						510	157(16,0)	118(12,0)	—	69(7,0)
						540	108(11,0)	69(7,0)	—	34(3,5)
12Х1МФ	12ХМФ	960—980	Воздух	740—760	Воздух	520	196(20,0)	157(16,0)	177(18,0)	127(13,0)
						560	137(14,0)	106(10,8)	116(11,8)	82(8,4)
						580	118(12,0)	88—98	88(9,0)	61(6,2)

## ГОСТ 5632-72 «Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки

**КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ** (нержавеющие), обладающие стойкостью против электрохимической и химической коррозии (атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой, межкристаллитной коррозии, коррозии под напряжением и др. (12X18H10T)

**ЖАРОПРОЧНЫЕ**, способные работать в нагруженном состоянии при высоких температурах (от 0,3 Тпл) в течение определённого времени и обладающие при этом достаточной стойкостью

(15X12BH14Ф)

**ЖАРОСТОЙКИЕ** (окалиностойкие), обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550 С, работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии

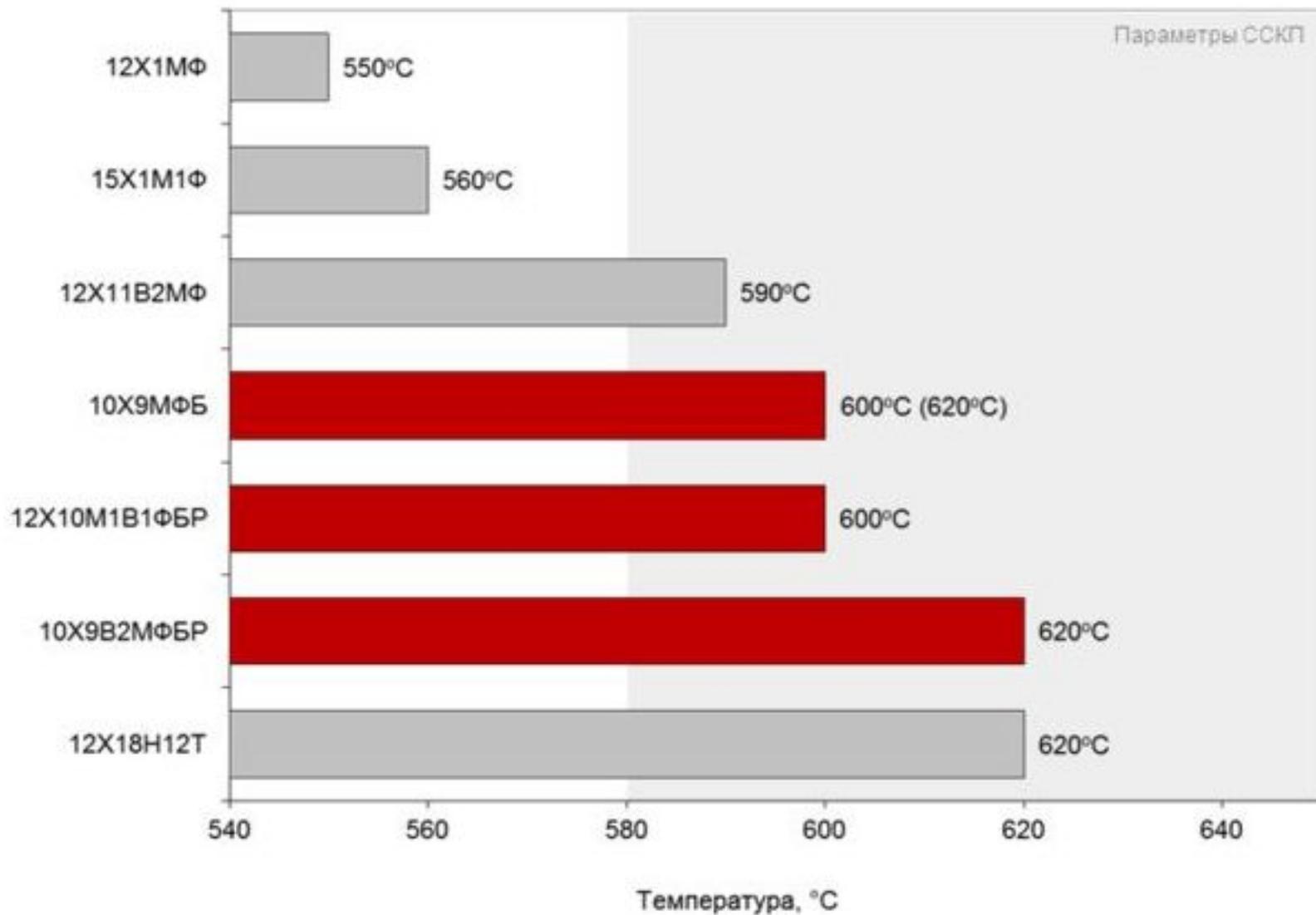
(20X25H20C2)

ЭЛЕМЕНТ	Обозн. в марке	Прокаливаемость	Твердость и прочность	Пластические свойства	Обезуглероживаемость	Жаропрочность	Окалиностойкость
Алюминий	Ю	Понижает	Повышает	Несколько повышает	Повышает	Не влияет	Значительно повышает
Бор	Р	Увеличивает	Повышает	Понижает		Повышает	Понижает
Ванадий	Ф	Понижает	Повышает	Повышает		Повышает	Понижает
Вольфрам	В	Увеличивает	Повышает	Повышает	Повышает	Повышает	Понижает
Кобальт	К	Понижает	Слабо повышает		Повышает	Повышает	Повышает в сочетании с никелем и хромом
Кремний	С	Увеличивает	Повышает	Понижает	Повышает		Повышает
Марганец	Г	Увеличивает	Повышает			Повышает	Понижает
Молибден	М	Увеличивает	Повышает	Повышает	Повышает	Повышает	Понижает
Никель	Н	Увеличивает	Повышает	Повышает		Повышает	Повышает с хромом
Ниобий	Б		Понижает	Повышает		Повышает	
Титан	Т	Понижает	Повышает	Повышает		Повышает	Понижает
Хром	Х	Увеличивает	Повышает				Повышает

Под **жаростойкостью** (окалиностойкостью) понимают сопротивление металла окислению в газовой среде при высоких температурах. К жаростойким относят стали, работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии при температурах выше 550°С. Для повышения окалиностойкости сталь легируют элементами (хромом, алюминием и кремнием), имеющими большее сродство к кислороду, чем железо, и образующими на поверхности стали плотные оксидные пленки. В связи с тем, что диффузия (особенно кислорода) через эти пленки затруднена, наличие на поверхности указанных тонких пленок приводит к торможению процесса дальнейшего окисления. Стали, легированные Cr и Si, называют *сильхромами*; Cr и Al – *хромалями*; Cr- Al-Si – *сильхромалями*.

Дополнительное легирование Ni повышает **жаропрочность** сталей. Для жаропрочных сплавов на никелевой основе жаростойкость обеспечивается легированием Cr. Легирование Mo, W, Co, а также Ta, Nb ухудшает жаростойкость, но повышает жаропрочность сплавов.

Жаростойкие свойства растут с увеличением содержания Cr в стали. Сталь, содержащая 5 % Cr, сохраняет окалиностойкость до 600°С (15Х5), 9 % (40Х9С2) - до 800°С, 17 % (08Х17Т) - до 900°С. Хромистые марки сталей относятся к сталям ферритного класса.



**Жаропрочность** — способность конструкционных материалов работать под напряжением в условиях повышенных температур без заметной остаточной деформации и разрушения.

Легирование повышает жаропрочности сталей за счет: возрастания энергии межатомной связи в твердых растворах (следовательно, затормаживаются диффузионные процессы); легирования и термической обработки (закалка с последующим старением), которые формируют специальную гетерогенную структуру, состоящую из твердого раствора вкрапленных в него дисперсных карбидных или интерметаллидных фаз, когерентных с основой.

Жаропрочные стали перлитного класса - это низколегированные стали (12Х1МФ, 25Х1М1Ф, 20Х1М1Ф1БР и др.), содержащие 0,08÷0,25 % С и легирующие элементы - Cr, V, Mo, Nb. Ряд легирующих элементов (например, Mo, Cr), растворяясь в феррите, затормаживают диффузионные процессы, повышая тем самым прокаливаемость, температуру рекристаллизации и жаропрочность сталей (*трубы пароперегревателей, арматура паровых котлов, детали крепежа*).

Стали мартенситного и мартенситно-ферритного классов (15Х11МФ, 11Х11Н12В2МФ, 15Х12ВНМФ, 18Х12ВМБФР и др.) используются при температурах до 580 - 600°С (*детали газовых турбин и паросиловых установок*).

К жаропрочным сталям аустенитного класса относятся стали 09Х14Н16Б, 09Х14Н19В2БР, 45Х14Н14В2М (*роторы, диски, лопатки газовых турбин*,

**Коррозия** - это самопроизвольное разрушение металлов и сплавов в результате химического, электрохимического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой

По типу агрессивных сред, в которых протекает процесс разрушения, коррозия может быть следующих видов:

- газовая коррозия;
- атмосферная коррозия;
- коррозия в неэлектролитах;
- коррозия в электролитах;
- подземная коррозия;
- биокоррозия;
- коррозия под воздействием блуждающих токов.

По условиям протекания коррозионного процесса различаются следующие виды:

- контактная;
- щелевая;
- при неполном погружении;
- при полном погружении;
- при переменном погружении;
- при трении;
- межкристаллитная;
- под напряжением

По характеру разрушения:

- сплошная коррозия, охватывающая всю поверхность:
  - равномерная;
  - неравномерная;
  - избирательная;
- локальная (местная) коррозия, охватывающая отдельные участки:
  - пятнами;
  - язвенная;
  - точечная;
  - сквозная;
  - межкристаллитная (расслаивающая в деформированных заготовках и ножевая в сварных соединениях).

Главная классификация производится по механизму протекания процесса.

- химическая;

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ																			
←										→									
уменьшается свойство атома отдавать электроны (окисляться) $Me^{\circ}$																			
Li	Cs	K	Ba	Ca	Na	Mg	Al	Zn	Fe	Co	Ni	Sn	Pb	H	Cu	Ag	Hg	Pt	Au
-3,04	-3,01	-2,92	-2,9	-2,87	-2,71	-2,36	-1,66	-0,76	-0,44	-0,28	-0,25	-0,14	-0,13	0	+0,34	+0,8	+0,85	+1,28	+1,5
$Li^{+}$	$Cs^{+}$	$K^{+}$	$Ba^{2+}$	$Ca^{2+}$	$Na^{+}$	$Mg^{2+}$	$Al^{2+}$	$Zn^{2+}$	$Fe^{2+}$	$Co^{2+}$	$Ni^{2+}$	$Sn^{2+}$	$Pb^{2+}$	$2H^{+}$	$Cu^{2+}$	$Ag^{+}$	$Hg^{2+}$	$Pt^{2+}$	$Au^{2+}$
→										←									
увеличивается свойство иона присоединять электроны (восстанавливаться) $Me^{+}$																			

# КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ СТАЛИ

хромистые  
ферритные  
20Х13,

Это наиболее экономлегированная группа сталей, но широкое использование в качестве конструкционного материала ограничено из-за склонности к росту зерна, которое невозможно устранить термообработкой, пониженной хладостойкости сварных соединений ( до -40С) и недостаточной способностью к формоизменению при холодном деформировании.

хромоникелевые  
аустенитные  
12Х18Н10

Эти стали являются коррозионностойкими во многих средах окислительного характера (азотная кислота) в широком диапазоне концентраций и температур, обладают жаростойкостью (600-800С) и жаропрочностью при умеренных температурах

хромомарганцевые  
аустенитные  
10Х14Г14Н4Т

Замена Ni на Mn позволяет удешевить сталь и получить аустенитную структуру. При штамповке, гибке и вытяжке обладают более высокой способностью к наклепу по сравнению с Cr-Ni сталями. Обладают коррозионной стойкостью в ряде кислот невысоких концентраций и температур

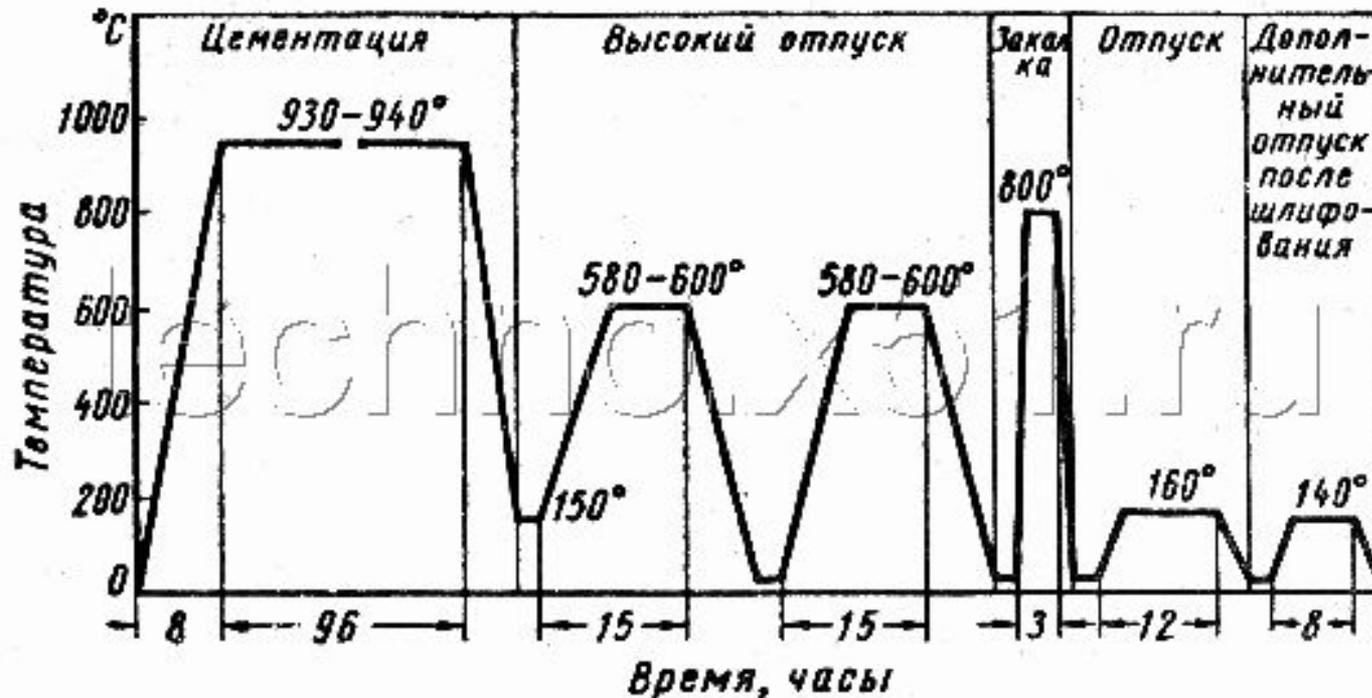
хромоникелевые,  
хромоникельмолебде-  
новые аустенитно-  
ферритные  
08Х22Н6Т

По сравнению с аустенитными сталями аустенитно-ферритные стали характеризуются более высокой прочностью ( в 1,5-2 раза), более высокой стойкостью к МКК и против коррозионного растрескивания в хлоридных и щелочных средах

## Термическая обработка

Термическая обработка (термообработка) стали, цветных металлов — совокупность операций теплового воздействия на металлы (иногда в сочетании с химическими механическим воздействием) с целью изменения структуры, а следовательно и свойств металла.

Термическая обработка (термообработка) приводит к существенным изменениям свойств стали, цветных металлов, сплавов. Химический состав металла не изменяется.



Нагрев заготовки — ответственная операция. От правильности ее проведения зависят качество изделия, производительность труда. Необходимо знать, что в процессе нагрева металл меняет свою структуру, свойства и характеристику поверхностного слоя и в результате от взаимодействия металла с воздухом атмосферы, и на поверхности образуется окалина, толщина слоя окислы зависит от температуры и продолжительности нагрева, химического состава металла. Стали окисляются наиболее интенсивно при нагреве больше  $900^{\circ}\text{C}$ , при нагреве в  $1000^{\circ}\text{C}$  окисляемость увеличивается в 2 раза, а при  $1200^{\circ}\text{C}$  — в 5 раз.

Пережог — неисправимый брак. При ковке изделий из низкоуглеродистых сталей требуется меньше число нагревов, чем при ковке подобного изделия из высокоуглеродистой или легированной стали.

При нагреве металла требуется следить за температурой нагрева, временем нагрева и температурой конца нагрева. При увеличении времени нагрева — слой окислы растет, а при интенсивном, быстром нагреве могут появиться трещины.

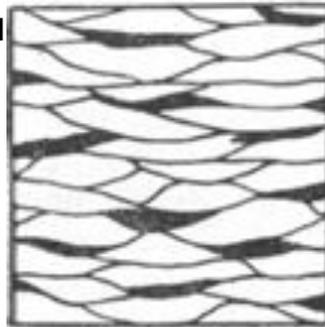
Выделяют 4 основных группы ТО: отжиг первого рода, отжиг второго рода, закалка, отпуск. Все они отличаются по основным параметрам.

### Отжиг первого рода

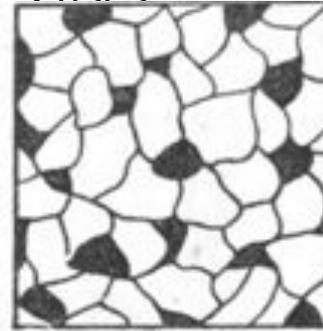
Способствует устранению неравновесности структуры (появляется при быстром охлаждении, деформировании, сварке, механической обработке и др. технологических процессах). Эти процессы могут протекать и естественным путем (при н.у.), но нагрев их просто ускоряет.

Диффузионный или гомогенизирующий – проводят для устранения ликвации (неоднородности химсостава), чаще всего возникающей в процессе кристаллизации. Заключается в нагреве до  $1050 \dots 1200^\circ\text{C}$ , выдержке в течение  $10 \dots 100$  часов и медленном охлаждении в печи

Рекристаллизационный – проводят для устранения наклепа: нагрев до  $0,3 \dots 0,4 T_{\text{пл}}$ , выдержка  $1 \dots 2$  часа



а



б

пластической деформации, сопровождается увеличением прочности и твёрдости и снижением пластичности, ударной вязкости

Низкий отжиг – для устранения внутренних напряжений, возникающих в зоне термического влияния после сварки, при неравномерном охлаждении отливок, после механической обработки. Состоит из нагрева до  $150 \dots 700^\circ\text{C}$ , выдержки и последующего медленного охлаждения.



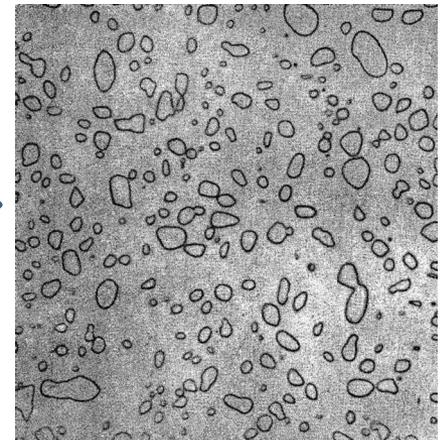
## Отжиг второго рода (фазовая перекристаллизация)

Полный отжиг – нагрев стали до температуры на  $30..50^{\circ}\text{C}$  выше  $A_{c3}$ , выдержка и медленное охлаждение до  $500..600^{\circ}\text{C}$  с печью, а затем на воздухе. Обычно применяют для доэвтектоидных сталей.

Неполный отжиг – нагрев стали на  $30..50^{\circ}\text{C}$  выше  $A_{c1}$ , выдержка и медленное охлаждение с печью. Обычно проводят для заэвтектоидных сталей и называют **сфероидизацией**, т.к. входящий в состав стали перлит из пластинчатого превращается в зернистый.

Нормализационный отжиг (нормализация) – нагрев доэвтектоидной стали до  $T$  на  $30..50^{\circ}\text{C}$  выше  $A_{c3}$ , заэвтектоидной – на  $30..50^{\circ}\text{C}$  выше  $A_{c1}$ , выдержка и охлаждение на воздухе. Такое охлаждение обеспечивает мелкозернистое строение стали и повышает твердость и прочность стали, в отличие от полного отжига. Иногда применяют вместо полного или неполного отжига

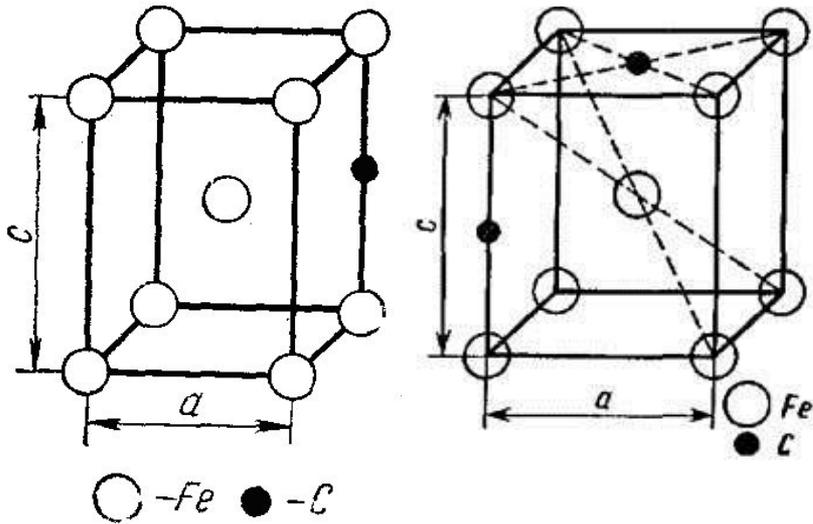
Изотермический отжиг – нагрев до  $T$  на  $30..50^{\circ}\text{C}$  выше  $A_{c3}$ , выдержка, затем перенос в другую печь с заданной температурой (ниже  $A_1$ ) и изотермическая выдержка до полного распада аустенита. Улучшается обрабатываемость резанием, применяют обычно для небольших деталей.



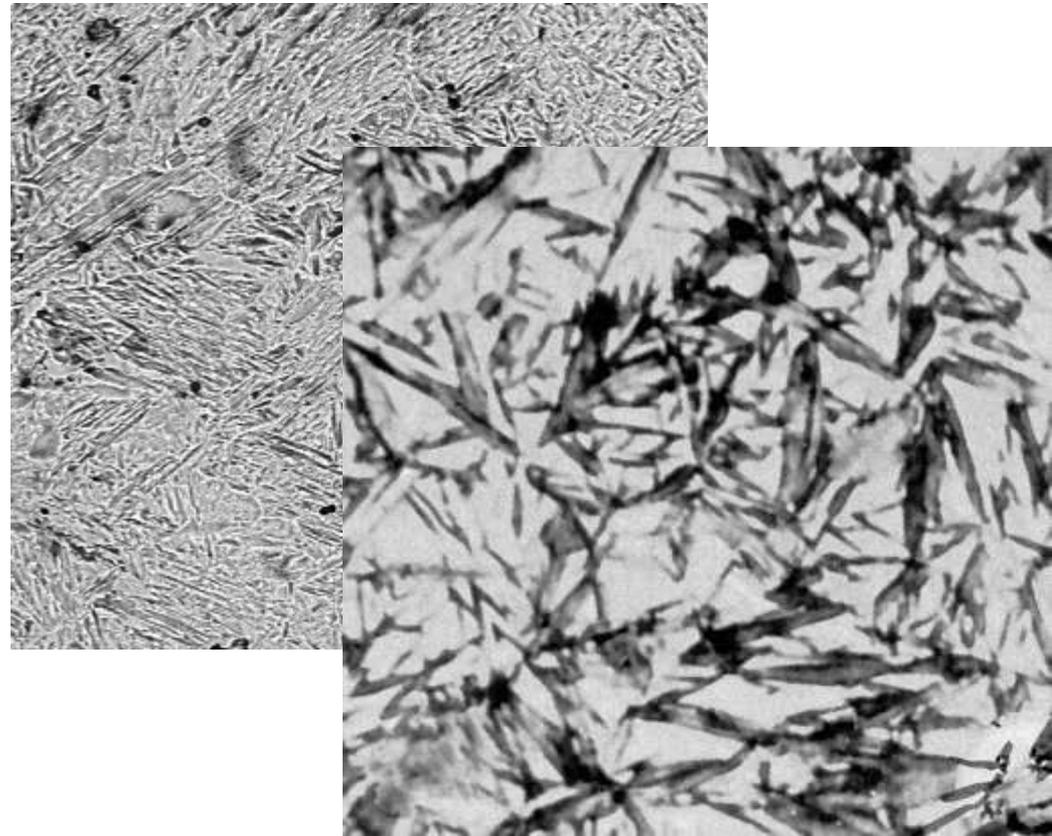
Закалка – вид термической обработки, заключающийся в нагреве доэвтектоидных сталей до температуры на  $30.. 50^{\circ}\text{C}$  выше  $A_{c3}$ , заэвтектоидной – на  $30.. 50^{\circ}\text{C}$  выше  $A_{c1}$ , выдержке при этой температуре и последующем охлаждении со скоростью выше критической.

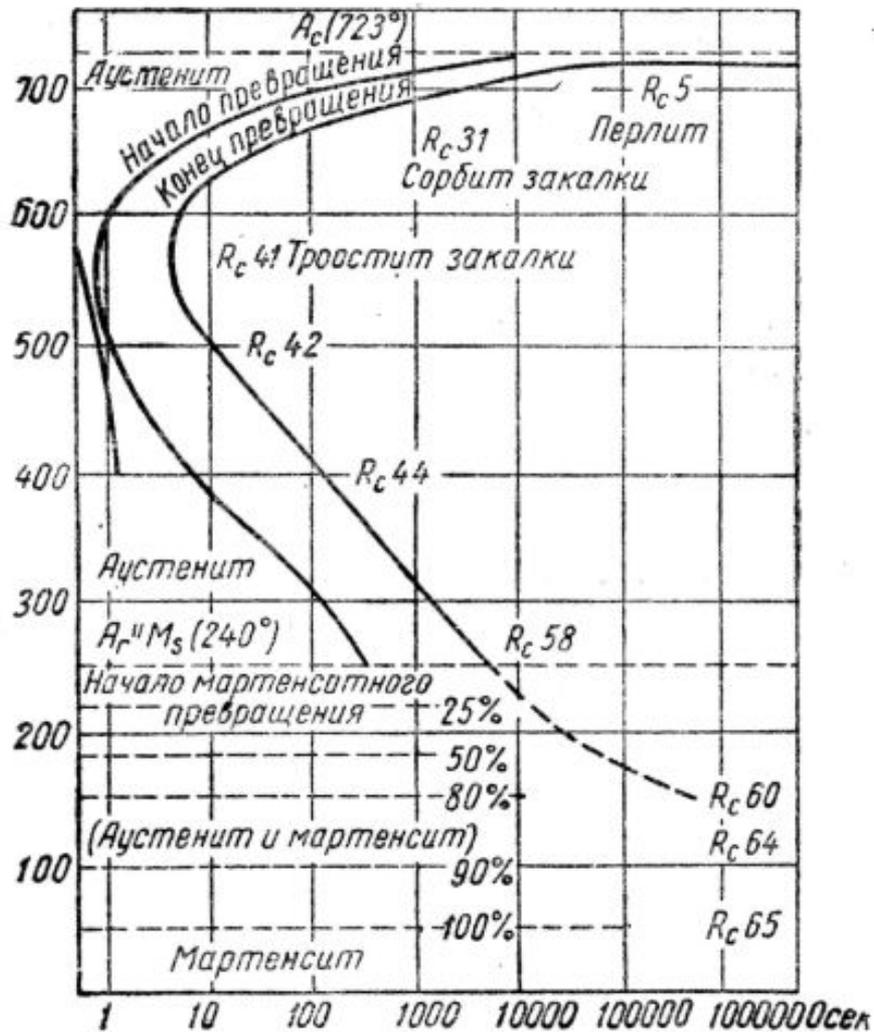
Критическая скорость – минимальная скорость охлаждения при закалке, обеспечивающая бездиффузионное превращение аустенита в мартенсит

В результате закалки получается неравновесная структура стали под названием **МАРТЕНСИТ**. Элементарная ячейка которого представляет собой ОЦК решетку с «застывшим» в ней атомом углерода



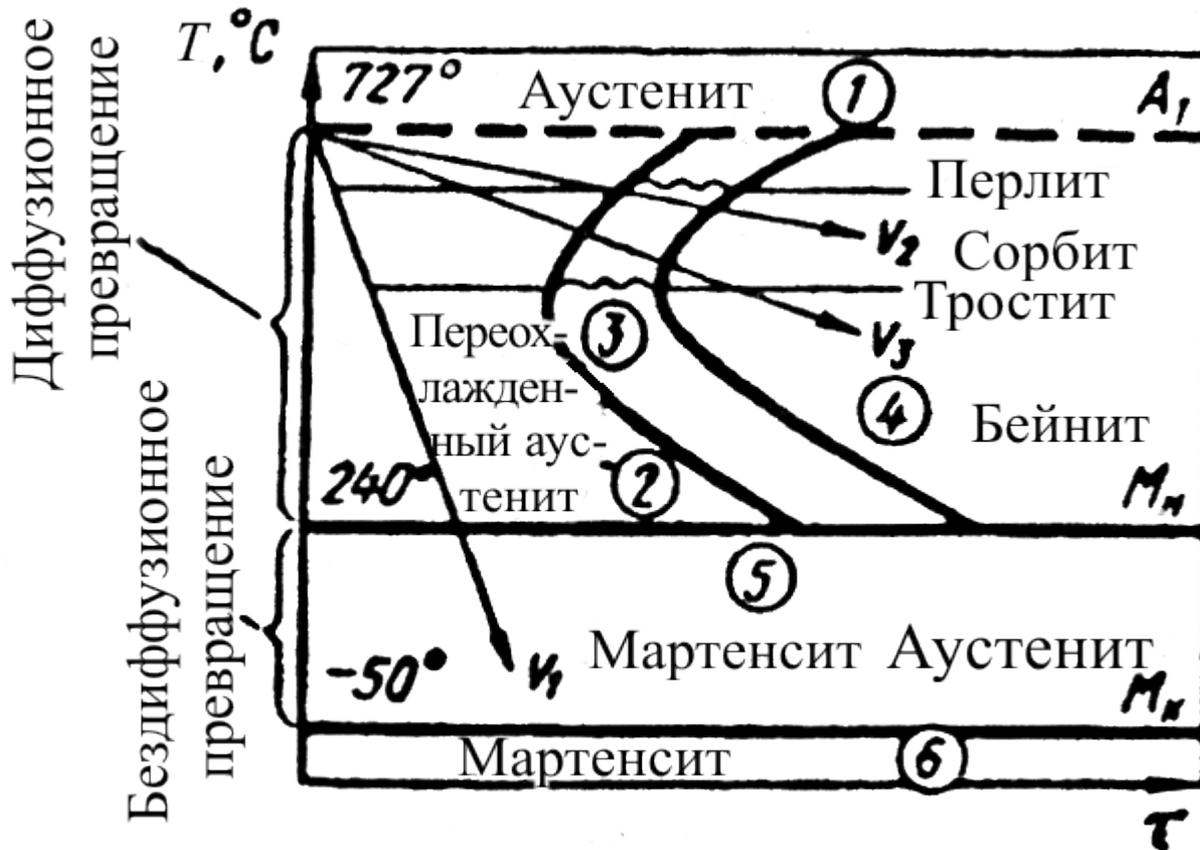
Мартенсит – пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе





S-образная кривая для углеродистой стали с 0,8% С.

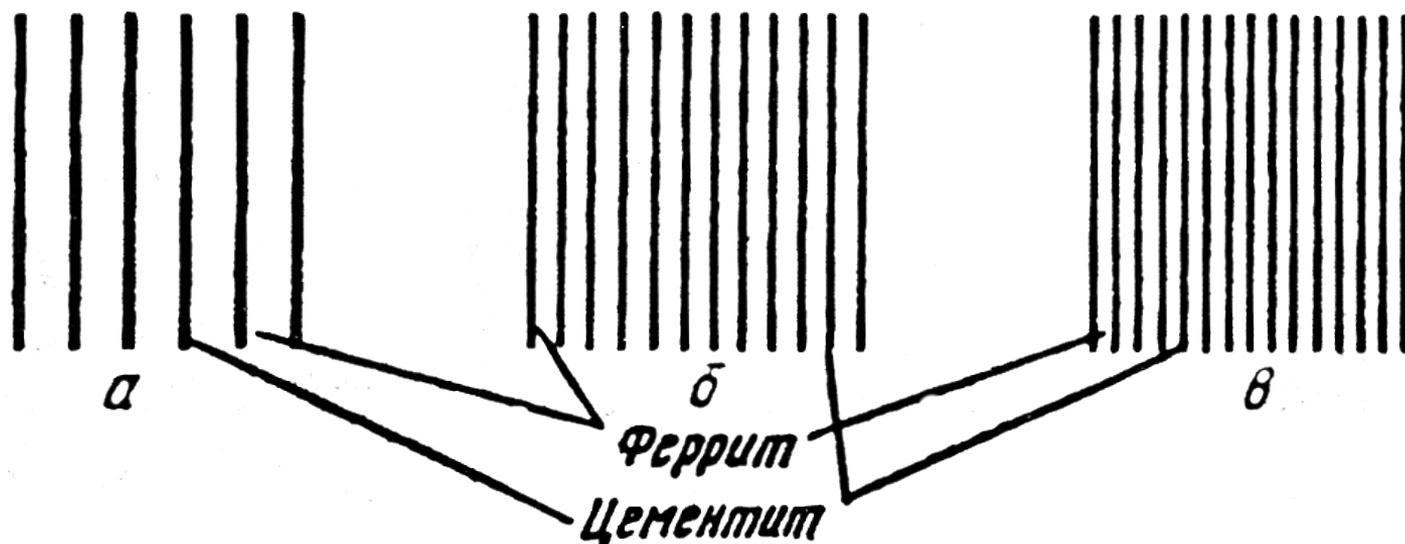
Критическую скорость определяют согласно диаграмме изотермического превращения, которая представляет собой результат обобщения многочисленных экспериментальных данных исследований превращений аустенита при постоянных температурах. Такую диаграмму называют за сходство кривых с буквой «С» также С-диаграммами, а в странах английского языка — ТТТ-диаграммами (temperature—time—transformation, что означает температура—время—превращение).



На диаграмме можно выделить следующие области:

- 1) область устойчивого аустенита (для стали, содержащей 0,8 % С, выше  $A_{C1}$ );
- 2) область переохлажденного аустенита;
- 3) область начавшегося, но еще не закончившегося превращения  $A \rightarrow П$ ;
- 4) область закончившегося превращения  $A \rightarrow П$ ;
- 5) область начавшегося, но еще не закончившегося мартенситного превращения (между  $M_H - M_K$ );
- 6) мартенситная область (ниже  $M_K$ ).

Перлит, сорбит, троостит являются структурами одной природы — механической смесью феррита и цементита и отличаются друг от друга лишь степенью дисперсности. С увеличением степени дисперсности пластин цементита растут твердость и прочность стали. Наибольшую пластичность имеют стали с сорбитной структурой. Троостит, образующийся при более низкой температуре превращения, характеризуется меньшей пластичностью. Перлит (а), сорбит (б) и троостит (в) называют перлитными структурами.



При увеличении переохлаждения увеличивается количество зародышей новой фазы. Естественно, что с ростом числа чередующихся пластин феррита и цементита уменьшаются их размеры и расстояния между ними (рис. 8.6). Другими словами, с понижением температуры растет дисперсность продуктов превращения аустенита. Под степенью дисперсности понимают расстояние между соседними пластинками феррита и цементита.

При больших степенях переохлаждения возрастает термодинамическая неустойчивость аустенита, а скорость диффузии углерода резко падает. При переохлаждении аустенита в эвтектоидной стали до 240 °С подвижность атомов углерода близка к нулю и происходит бездиффузионное превращение аустенита. При этом меняется лишь тип решетки, а весь углерод, ранее растворенный в решетке аустенита, остается в решетке феррита несмотря на то, что равновесная концентрация углерода в феррите не превышает 0,006 % при комнатной температуре. В результате образуется мартенсит. Из-за пересыщенности углеродом решетка мартенсита сильно искажена и вместо кубической приобретает тетрагональную форму. Большие внутренние напряжения обуславливают высокую твердость стали.

Охлаждение до комнатной температуры при закалке приводит к образованию мартенсита, но в стали сохраняется еще некоторое количество непревращенного, так называемого «остаточного аустенита». Положение точек  $M_H$  и  $M_K$  не зависит от скорости охлаждения, но зависит от содержания углерода в стали. Все легирующие элементы, растворенные в аустените, за исключением кобальта и алюминия, понижают точки  $M_H$  и  $M_K$ .

Промежуточное (бейнитное) превращение аустенита протекает в температурной области между перлитным и мартенситным превращениями. Кинетика этого превращения и получающиеся структуры имеют черты кинетики и структур, получаемых при диффузионном перлитном и бездиффузионном мартенситном превращениях: диффузионное перераспределение углерода в аустените между продуктами его распада и мартенситное бездиффузионное превращение.

В результате бейнитного превращения образуется смесь феррита и карбида, которая называется бейнитом.

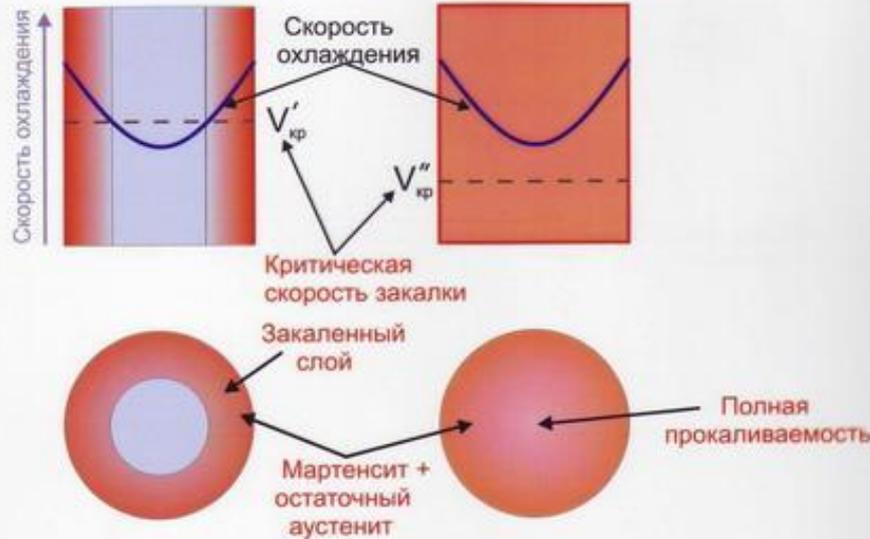
Карбид в бейните не имеет пластинчатого строения, свойственного перлиту. Карбидные частицы в бейните очень дисперсны, их можно видеть только под электронным микроскопом.

Для обеспечения необходимой скорости охлаждения при закалке используют следующие охлаждающие среды:

- Минеральные масла;
- Вода;
- Водные растворы кислот, солей, щелочей

### Прокаливаемость стали

Под прокаливаемостью понимают глубину проникновения закаленной зоны



Определение прокаливаемости методом торцевой заковки



Под **закаливаемость** понимают способность стали после заковки. Так же зависит от содержания углерода в стали: чем больше содержание углерода, тем выше прокаливаемость. При повышении содержания углерода в стали увеличивается количество пересыщенного мартенсита, что приводит к увеличению внутренних напряжений и возникновению трещин. Если в углеродистой стали содержится мало углерода, то такая сталь уже не

Под **прокаливаемость** понимают способность стали достигнуть определенной глубины. Глубина закаленной зоны зависит от прокаливаемости. Чем выше прокаливаемость, тем больше глубина закаленной зоны. Прочность и твердость закаленной стали имеют определенную зависимость от прокаливаемости.

твердость закаленной стали зависит от содержания углерода в стали. Чем больше содержание углерода, тем выше твердость. При этом увеличивается количество пересыщенного мартенсита, что приводит к увеличению внутренних напряжений и возникновению трещин. Если в углеродистой стали содержится мало углерода, то такая сталь уже не может достигнуть определенной глубины закаленной зоны. Прочность и твердость закаленной стали имеют определенную зависимость от прокаливаемости.

Отпуском называется нагрев закаленной стали до температур ниже критической точки  $A_{c1}$  ( $727^{\circ}\text{C}$ ) выдержка при этой температуре и последующее охлаждение (обычно на воздухе). Отпуск является окончательной термической обработкой, обязательно следующей после закалки. Цель - уменьшение внутренних напряжений в металле и получение требуемых структуры и свойств.

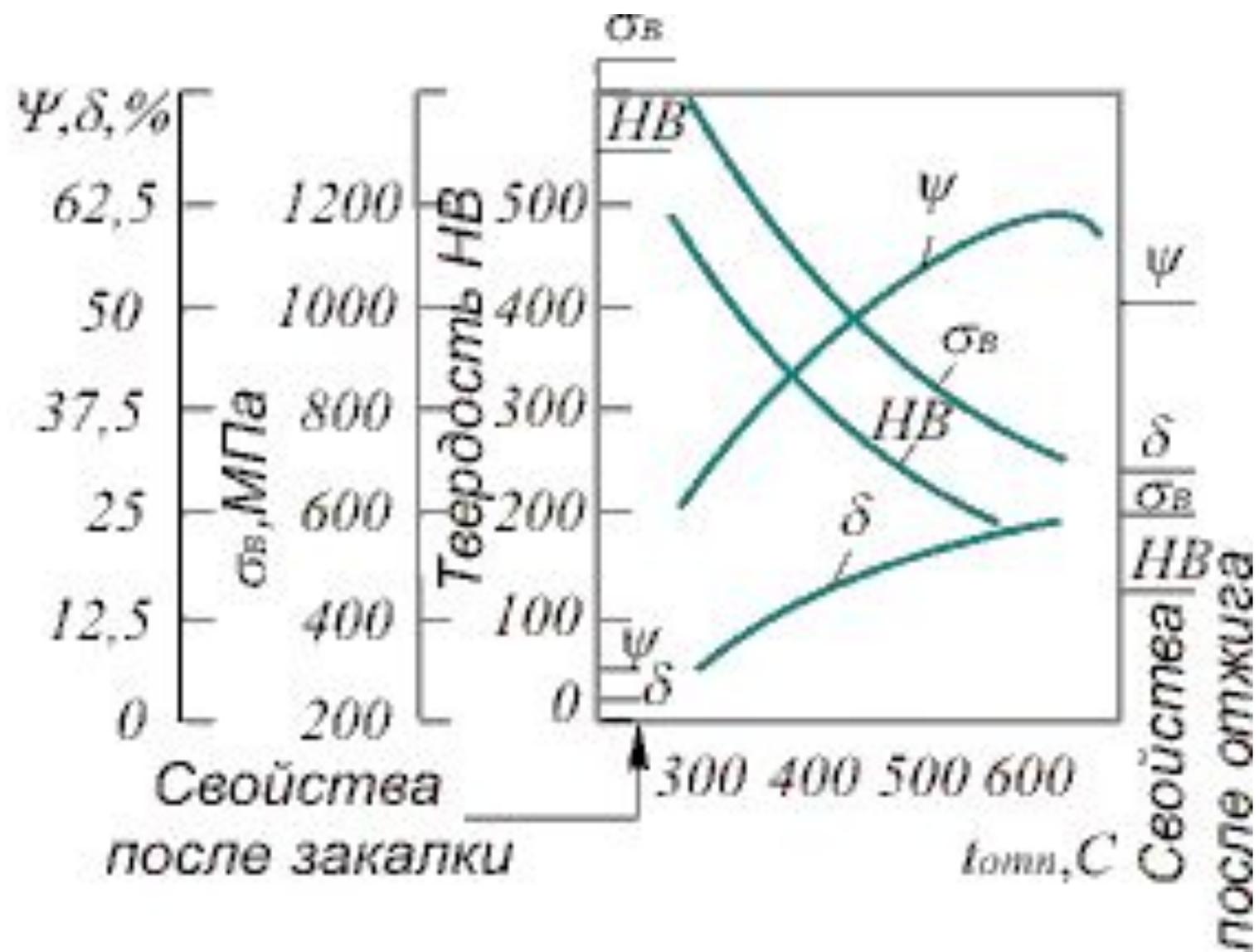
При повышении температуры подвижность атомов углерода, «застывших» в решетке мартенсита, повышается, следовательно, повышается их склонность к диффузии. При температуре  $100..200^{\circ}\text{C}$  происходит диффузионное перераспределение углерода и образуются тонкие пластины  $\epsilon$ -карбида ( $\text{Fe}_{2,3}\text{C}$ ). При дальнейшем нагреве (вторая стадия) до  $200..300^{\circ}\text{C}$  остаточный аустенит превращается в смесь мартенсита с  $0,25..0,35\%\text{C}$  и  $\epsilon$ -карбида. Одновременно мартенсит обедняется углеродом ( $0,1\%\text{C}$ ), становясь отпущенным и его решетка трансформируется в кубическую. Обогащаясь углеродом,  $\epsilon$ -карбид превращается в цементит  $\text{Fe}_3\text{C}$ .

На третьей стадии при температуре  $300..350^{\circ}\text{C}$  заканчивается выделение углерода из мартенсита, который становится ферритом. В итоге формируется смесь феррита и цементита: перлит (при нагреве до  $650^{\circ}\text{C}$ ), сорбит (при нагреве до  $500..650^{\circ}\text{C}$ ) или троостит отпуска (при нагреве до  $350..500^{\circ}\text{C}$ )

В зависимости от температуры нагрева при отпуске, выделяют:

- Низкий отпуск ( $150..250^{\circ}\text{C}$ )
- Средний отпуск ( $300..400^{\circ}\text{C}$ )
- Высокий отпуск ( $500..650^{\circ}\text{C}$ )

**УЛУЧШЕНИЕ = ЗАКАЛКА + ВЫСОКИЙ ОТПУСК**



Искусственное старение – термическая обработка, заключающаяся в нагреве до 120..150°С, выдержке в течение 10..35 часов и охлаждение. Такой вид ТО позволяет, не снижая твердости закаленной стали, стабилизировать состояние углерода в ее структуре за счет выделения его в виде дисперсных карбидов.

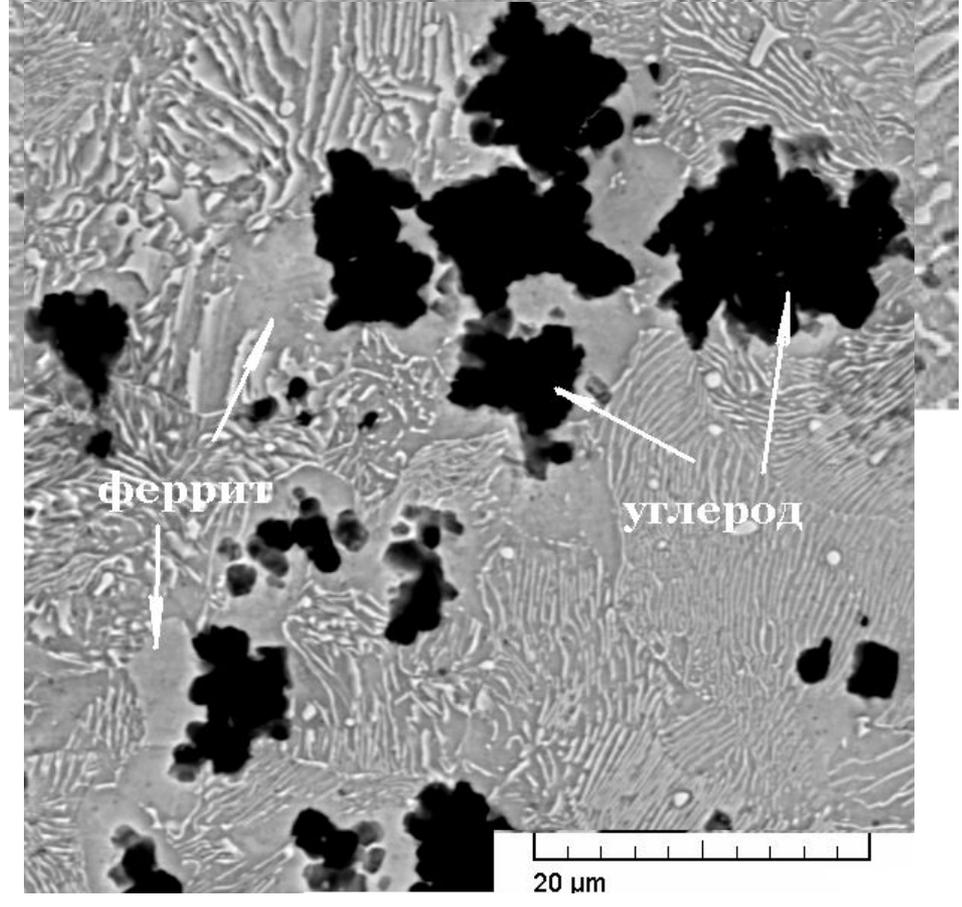
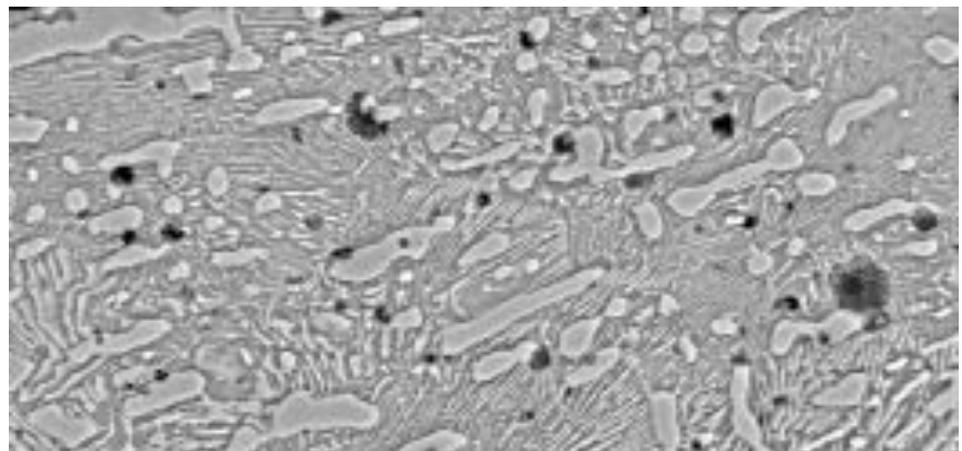
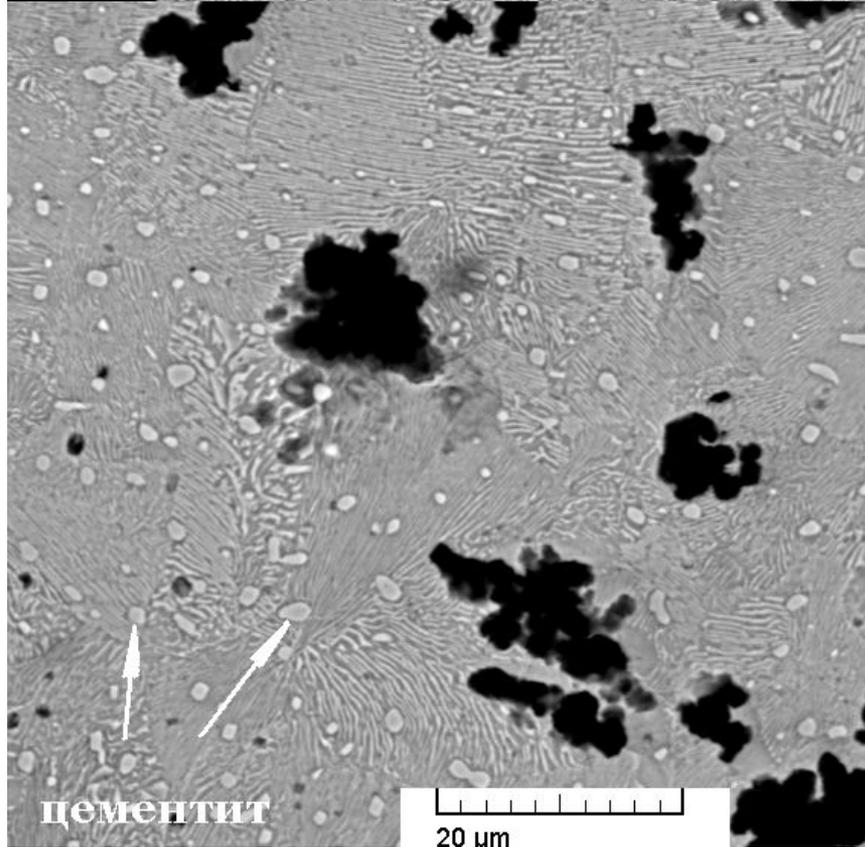
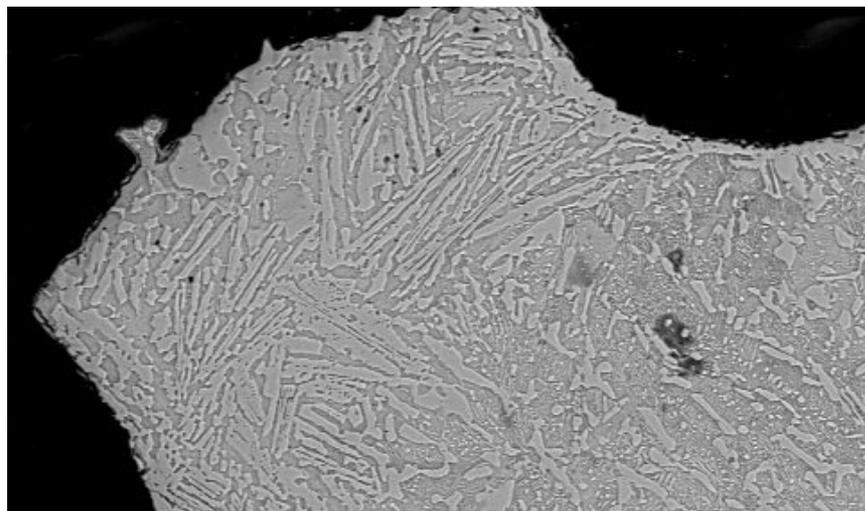
## Термическая обработка чугунов

**Низкотемпературный отжиг.** Чтобы снять внутренние напряжения и стабилизировать размеры чугунных отливок из серого чугуна, применяют естественное старение или низкотемпературный отжиг.

Более старым способом является естественное старение, при котором отливка после полного охлаждения претерпевает длительное вылеживание — от 3—5 месяцев до нескольких лет. Естественное старение применяют в том случае, когда нет требуемого оборудования для отжига. Этот способ в настоящее время почти не применяют; производят главным образом низкотемпературный отжиг. Для этого отливки после полного затвердевания укладывают в холодную печь (или печь с температурой 100—200° С) и вместе с ней медленно, со скоростью 75—100° С в час нагревают до 500—550° С, при этой температуре их выдерживают 2—5 часов и охлаждают до 200° С со скоростью 30—50° в час, а затем на воздухе.

**Графитизирующий отжиг.**

При отливке изделий возможен частичный отбел серого чугуна с поверхности или даже по всему сечению. Чтобы устранить отбел и улучшить обрабатываемость чугуна, производится высокотемпературный графитизирующий отжиг с выдержкой при температуре 900—950° С в течение 1—4 часов и охлаждением изделий до 250—300° С вместе с печью, а затем на воздухе. При таком отжиге в отбеленных участках цементит  $Fe_3C$  распадается на феррит и графит, вследствие чего белый или половинчатый чугун переходит в серый.



Нормализации подвергают отливки простой формы и небольших сечений. Нормализация проводится при 850—900° С с выдержкой 1—3 часа и последующим охлаждением отливок на воздухе. При таком нагреве часть углерода-графита растворяется в аустените; после охлаждения на воздухе металлическая основа получает структуру трооститовидного перлита с более высокой твердостью и лучшей сопротивляемостью износу. Для серого чугуна нормализацию применяют сравнительно редко, более широко применяют закалку с отпуском.

Повысить прочность серого чугуна можно его закалкой. Она производится с нагревом до 850—900° С и охлаждением в воде. Закалке можно подвергать как перлитные, так и ферритные чугуны. Твердость чугуна после закалки достигает HB 450—500.

Высокопрочные чугуны с шаровидным графитом можно подвергать пламенной или закалке ТВЧ. Чугунные детали после такой обработки имеют высокую поверхностную твердость, вязкую сердцевину и хорошо сопротивляются ударным нагрузкам и истиранию.

## Отпуск.

Чтобы снять закалочные напряжения, после закалки производят отпуск. Детали, предназначенные для работы на истирание, проходят низкий отпуск при температуре 200—250° С. Чугунные отливки, не работающие на истирание, подвергаются высокому отпуску при 500—600° С. При отпуске закаленных чугунов твердость понижается значительно меньше, чем при отпуске стали. Это объясняется тем, что в структуре закаленного чугуна большое количество остаточного аустенита, а также тем, что в нем содержится большое количество кремния, который повышает отпускостойчивость мартенсита.

Для отжига на ковкий чугун применяют белый чугун примерно следующего химического состава: 2,5—3,2% С; 0,6—0,9% Si; 0,3— 0,4% Mn; 0,1-0,2% P и 0,06-0,1% S.