

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СЕМИНАР № 1

Черные металлы

Для них характерны:

- темно-серый цвет;
- большая плотность;
- высокая температура плавления;
- во многих случаях - полиморфизм.

Наиболее типичный представитель этой группы металлов – железо.

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

- Железные металлы: Fe; Co; Ni; Mn...
- Тугоплавкие металлы: W; V; Cr...
- РЗМ: La; Ce; Nd...
- Урановые металлы – актиниды.
- Щелочноземельные металлы.

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Для них характерны:

- определенная окраска;
- высокая пластичность;
- малая твердость;
- относительно низкая температура плавления;
- отсутствие полиморфизма.

Наиболее типичный представитель этой группы – медь.

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

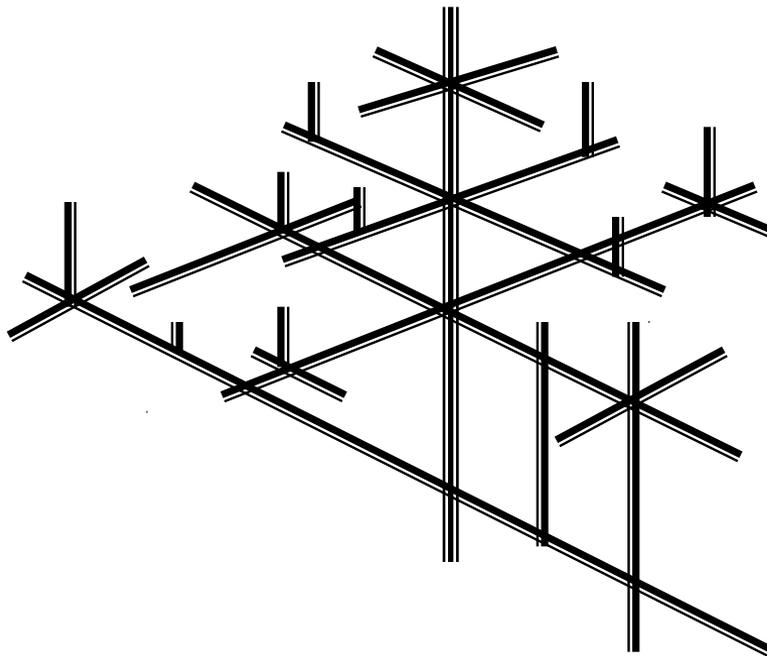
- Легкие металлы: Be; Mg; Al.
- Благородные металлы: Ag; Au; металлы платиновой группы; полублагородная медь.
- Легкоплавкие металлы: Zn; Hg; Sn; Pb...

Реальное строение металлических кристаллов

- Строение металлов является поликристаллическим.
- Кристаллы неправильной формы в металле называют **зернами**.
Ориентация кристаллической решетки в зерне случайна. При холодной обработке давлением возникает **текстура** – преимущественная ориентировка зерен.

Форма кристаллических образований

- Схема дендрита (древовидного кристалла) Д.К. Чернова.



Превращения в твердом состоянии: аллотропия

Существование одного металла в нескольких кристаллических формах носит название

полиморфизма или **аллотропии**.

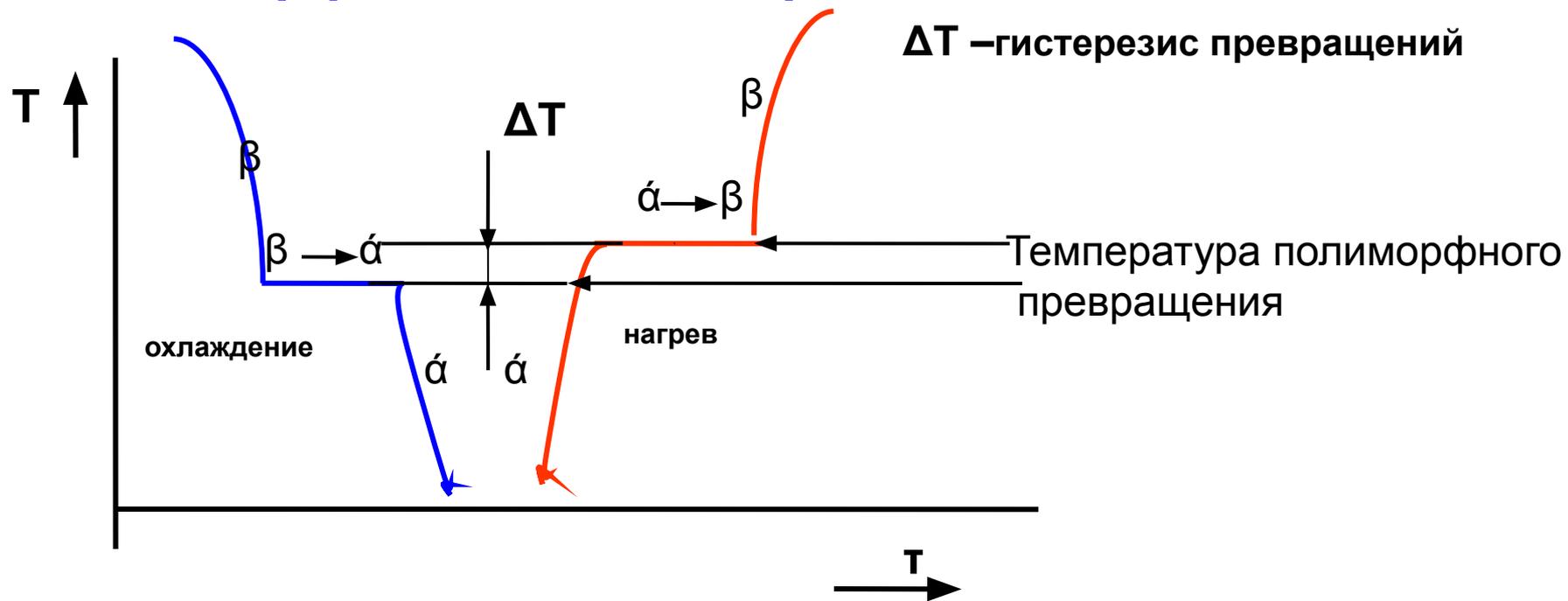
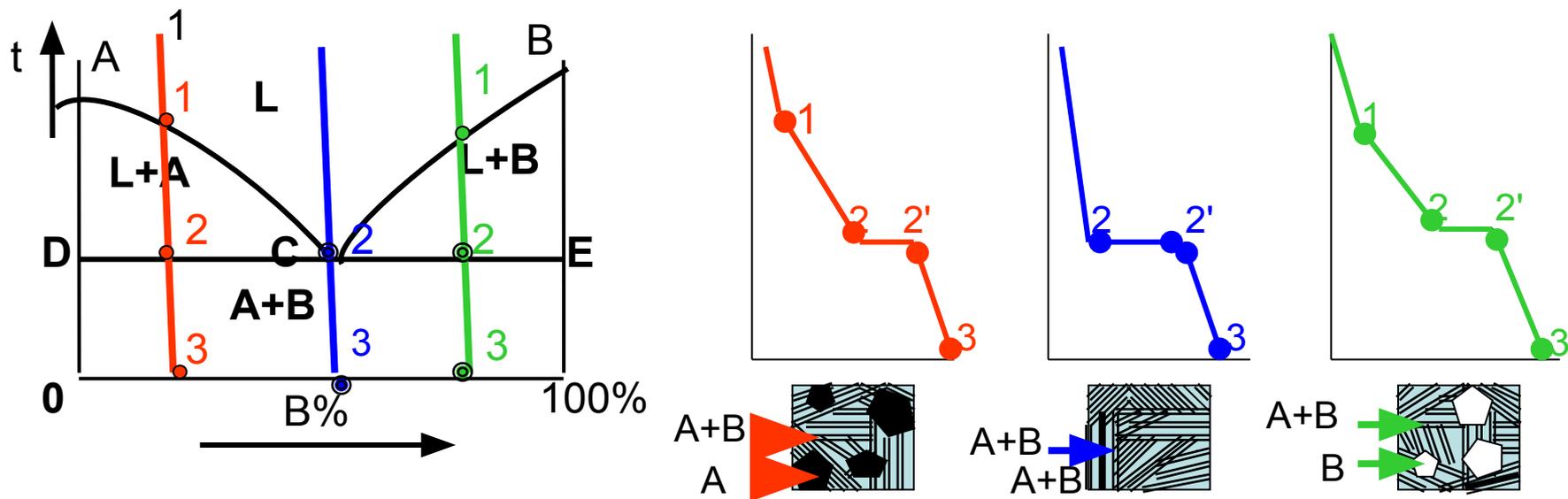


Диаграмма состояния

- **Диаграмма состояния** показывает изменение состояния в зависимости от температуры и концентрации (давление постоянно для всех рассматриваемых случаев).
- Для построения диаграмм состояния пользуются результатами термического анализа: строят кривые охлаждения и по остановкам и перегибам на этих кривых, определяют температуры фазовых превращений. Линиями соединяют точки аналогичных превращений.
- Каждая точка на диаграмме состояния показывает состояние сплава данной концентрации при данной температуре.

Диаграмма состояния для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов (1 рода)



Компоненты: вещества A и B ($k=2$).

Фазы: жидкость L, кристаллы A и кристаллы B (максимальное значение $f=3$).

$$C = k - f + 1$$

Эвтектика – механическая смесь двух (или более) видов кристаллов, одновременно кристаллизовавшихся из жидкости.



Диаграмма железо – углерод.

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны.

Стали содержат $< 2,14\%$ углерода; чугуны содержат $> 2,14\%$ углерода.

Железо образует с углеродом химическое соединение – цементит Fe_3C . Устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, а диаграмму при этом можно рассматривать по частям от железа до Fe_3C ($6,67\%\text{C}$). Это оправдано еще и тем, что на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода не более 5% .

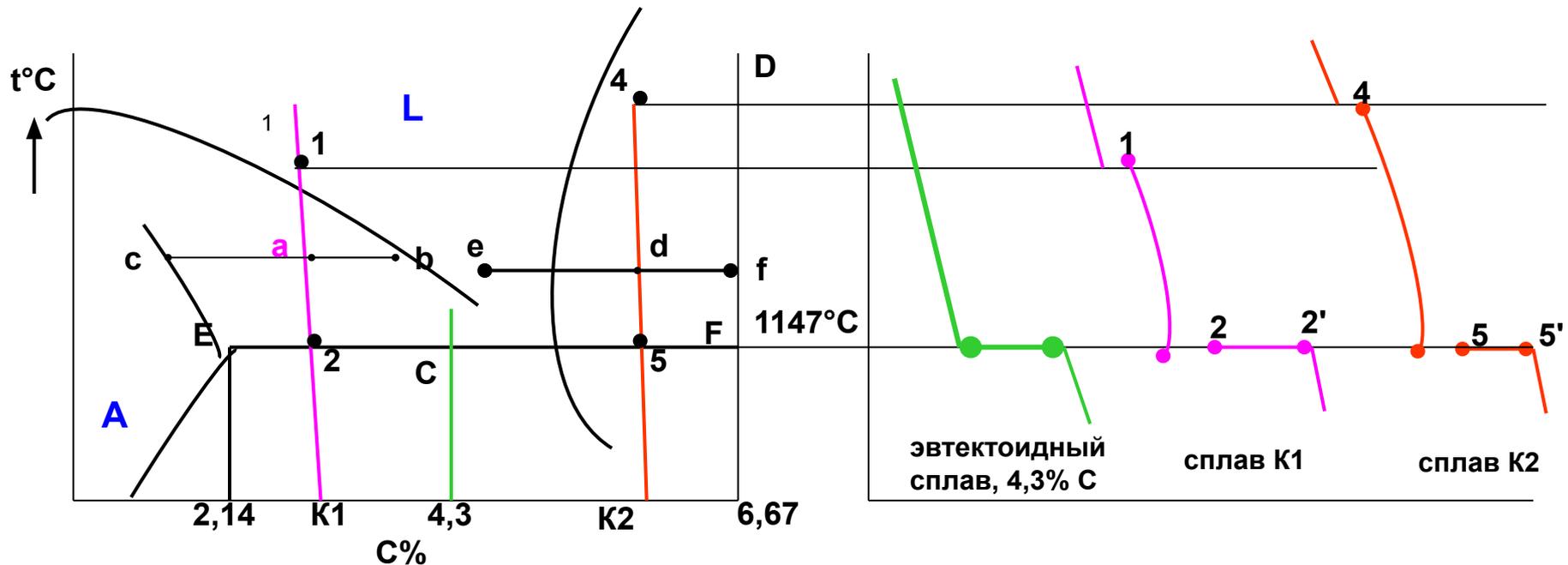
Свойства и строение компонентов диаграммы железо - углерод

1. **Железо** – Fe: $T_{пл} = 1539^{\circ}C$; в твердом состоянии может находиться в двух модификациях: α (δ – высокотемпературная модификация) - решетка о.ц.к. и γ – решетка г.ц.к.; при $768^{\circ}C$ происходит магнитное превращение; с углеродом железо образует растворы внедрения; **твердый раствор углерода в α -железе называют ферритом, а в γ -железе – аустенитом.**
2. **Цементит** – химическое соединение углерода с железом (**карбид железа**) Fe_3C : $T_{пл} = 1250^{\circ}C$; кристаллическая решетка крайне сложна; аллотропических превращений не испытывает; магнитные свойства теряет при $217^{\circ}C$; имеет практически нулевую пластичность; при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода (графита); твердый раствор металлов на базе решетки цементита называют **легированным цементитом.**

Обозначения, принятые для дальнейшего изложения.

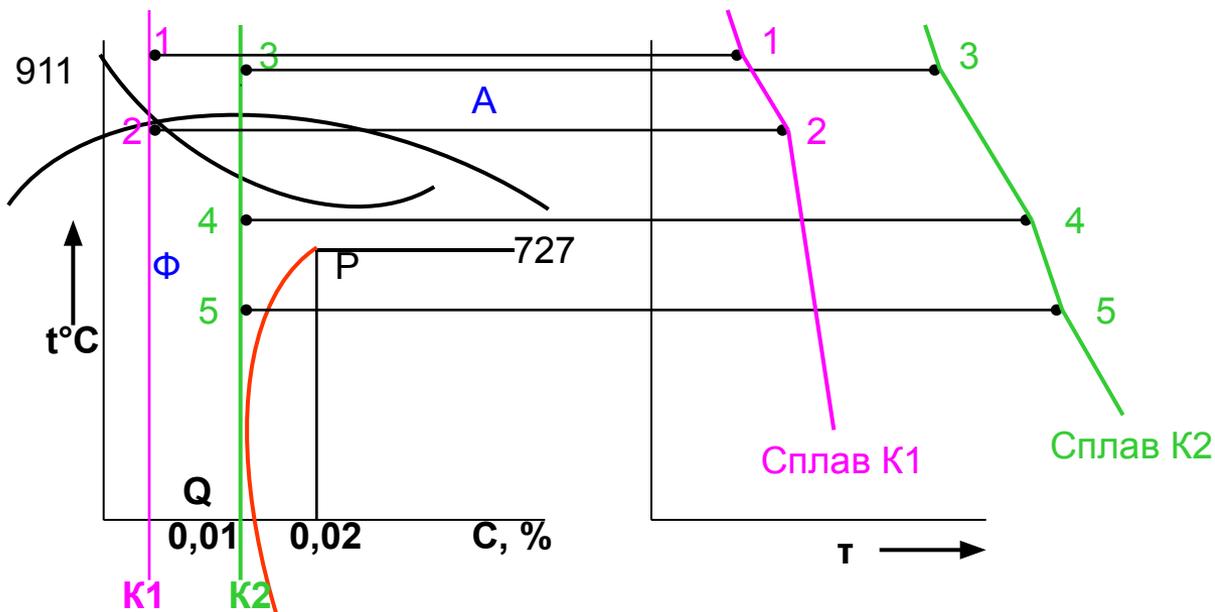
- **L** – жидкость (жидкий раствор углерода в железе), существует выше линии ликвидус ABCD.
- **Ц** – цементит, соответствует линии DFKL.
- **Ф** – феррит – структурная составляющая, незначительный раствор углерода в α -железе, на диаграмме располагается левее линий GPQ и ANN.
- **A** – аустенит – структурная составляющая, твердый раствор углерода в γ -железе, область на диаграмме NJESG/

Процессы кристаллизации сплавов с содержанием углерода более 2,14%



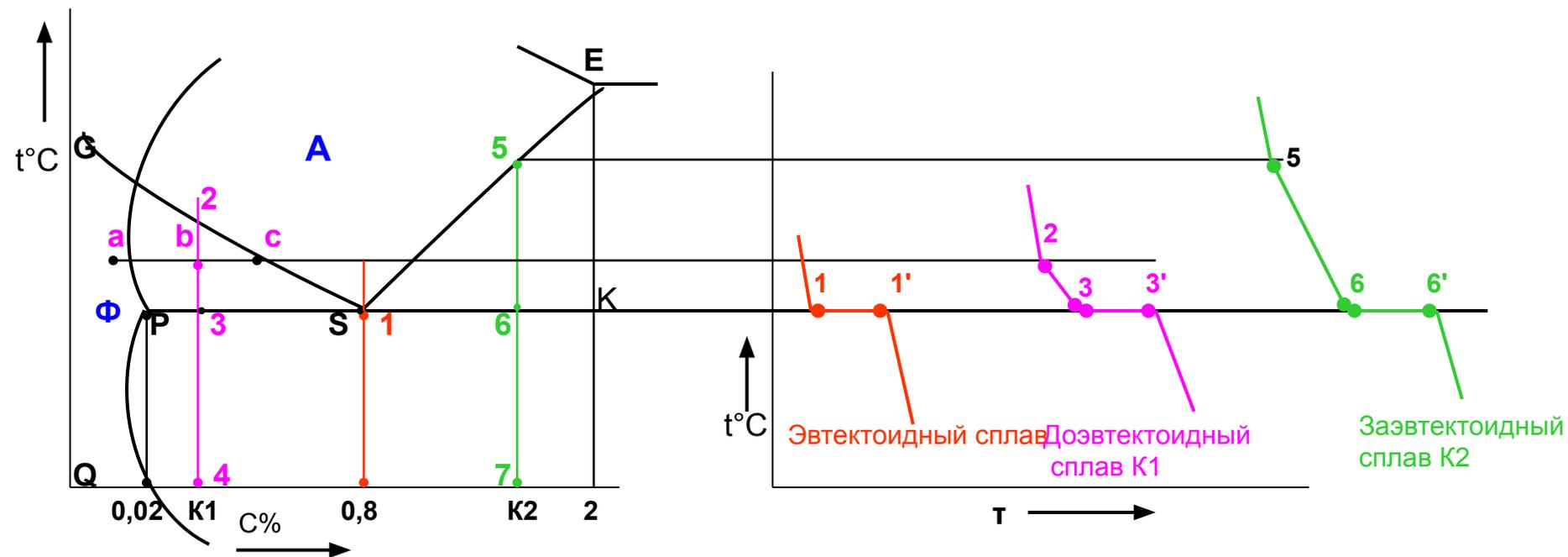
1. Первичная кристаллизация заканчивается **эвтектической** реакцией: $L(4,3\%C) \rightarrow A(2,14\%C) + \text{Ц}(6,67\%C)$; в сплаве, содержащем 4,3%С происходит только эта реакция, структура в результате первичной кристаллизации – ледобурит.
2. В **доэвтектическом** сплаве K2 сначала идет выделение первичного аустенита; в точке **a** количество фаз определяется соотношением $L(\text{состава } b) / A(\text{состава } c) = ca / ab$; структура в результате первичной кристаллизации – ледобурит + аустенит.
3. В заэвтектическом сплаве K2 первоначально выделяется **первичный цементит**; соотношение фаз в точке **d** определяется аналогично; структура в результате первичной кристаллизации – ледобурит + цементит.

Вторичная кристаллизация весьма малоуглеродистых сплавов



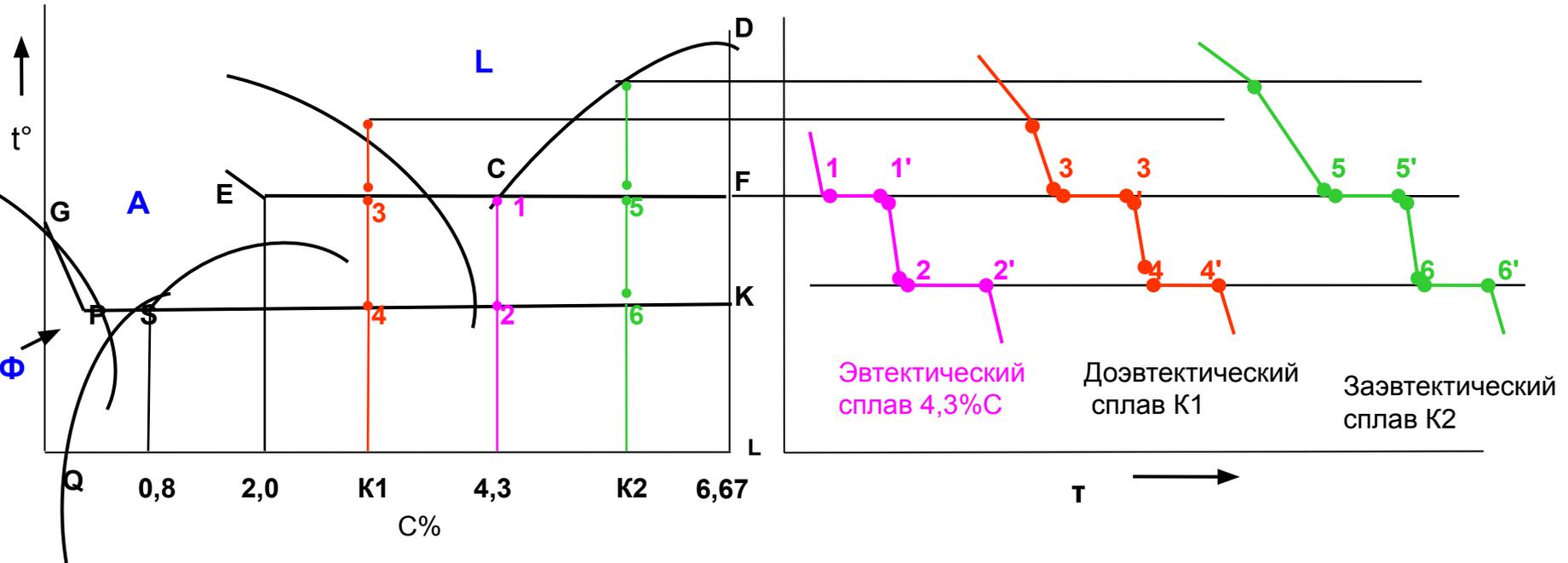
1. Сплав типа K1 (содержание углерода $0,01 < C\% < 0,02$) : при охлаждении в интервале температур 1 – 2 происходит превращение $A \rightarrow \Phi$; ниже точки 2 сплав состоит из однородного α -твердого раствора феррита (Φ).
2. Сплав типа K2 (содержание углерода $0,01 < C\% < 0,02$): этот сплав отличается от сплава K1 тем, что вертикаль данного сплава пересекает линию PQ в точке 5. Ниже точки 5 происходит выделение из сплава высокоуглеродистой фазы – цементита (Ц), который называют **третичным цементитом** в отличие от **первичного цементита**, выделяющегося из жидкости, и **вторичного цементита**, выделяющегося из аустенита (A).

Вторичная кристаллизация сталей



1. **Сплав 1:** в точке S (727°C) происходит эвтектоидная реакция - $A \rightarrow \Phi + \Psi$; образовавшаяся эвтектоидную смесь называют **перлитом (П)**; **перлит не фаза, а структурная составляющая**, представляющая собой чередующиеся пластинки феррита и цементита.
2. **Сплав K1:** имеет избыток Fe по сравнению с эвтектоидной концентрацией 0,8%С; выделение Φ при охлаждении обогащает А углеродом и при 727°C происходит эвтектоидная реакция; после окончания превращения структура будет состоять из П и зерен Φ .
3. **Сплав K2:** при охлаждении в интервале 5 – 6 из А выделяется Ψ , при этом А обедняется углеродом и при 727°C происходит эвтектоидная реакция; в результате получается структура, состоящая из Ψ , выделяющегося по границам зерен в виде сетки и П.

Превращения при вторичной кристаллизации в высокоуглеродистых сплавах - чугунах



1. **Эвтектический сплав (4,3%С):** после затвердевания сплав имеет чисто ледебуритную структуру; при охлаждении от 1147°C до 727°C из **A**, входящего в состав эвтектики, выделяется **вторичный Ц**, который обычно структурно не обнаруживается; при 727°C **A** эвтектики имеет концентрацию 0,8%С и происходит перлитное превращение **A**→**Ф+Ц**; следовательно ниже 727°C ледебурит это смесь перлита и цементита.
2. **Сплав K1:** первичные кристаллы **A** изменяют свою концентрацию при охлаждении от точки **3** до точки **4** от 2,14 до 0,8%с и в точке **4** происходит перлитное превращение; структура такого чугуна ниже 727°C состоит из перлита, ледебурита и вторичного **Ц**.
3. **Сплав K2:** первичный **Ц** в заэвтектических чугунах не имеет превращений, поэтому в нем происходят превращения как в эвтектическом сплаве; структура ниже 727°C состоит из ледебурита и **Ц**

Классификация сталей

1. По составу: углеродистые и легированные (никелевые, хромистые, хромоникелевые и т.д.).
2. По равновесной структуре: доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные.
3. По структуре после охлаждения на воздухе: перлитные, мартенситные, аустенитные.
4. И т. д.
5. **По назначению:** конструкционные инструментальные, стали и сплавы с особыми свойствами.

Углеродистые стали

- Основной металлический материал промышленности – углеродистая сталь.
- Углерод вводится в простую углеродистую сталь специально.
- Технологические примеси: марганец, кремний.
- Постоянные примеси: сера, фосфор, кислород, азот, водород.
- Случайные примеси: хром, никель, медь и др..

Конструкционная углеродистые стали обыкновенного качества общего назначения

Химический состав:

Марка стали	C%	S≤	P≤
Ст 0	≤0,23	0,07	0,055
Ст1	0,06-0,12	0,045	0,055
Ст2	0,09-0,15	0,045	0,055
Ст3	0,14-0,22	0,045	0,055
Ст4	0,18-0,27	0,045	0,055
Ст5	0,28-0,37	0,045	0,055
Ст6	0,38-0,49	0,045	0,055
Ст7	0,50-0,62	0,045	0,055

Маркировка различных групп углеродистых сталей обыкновенного качества

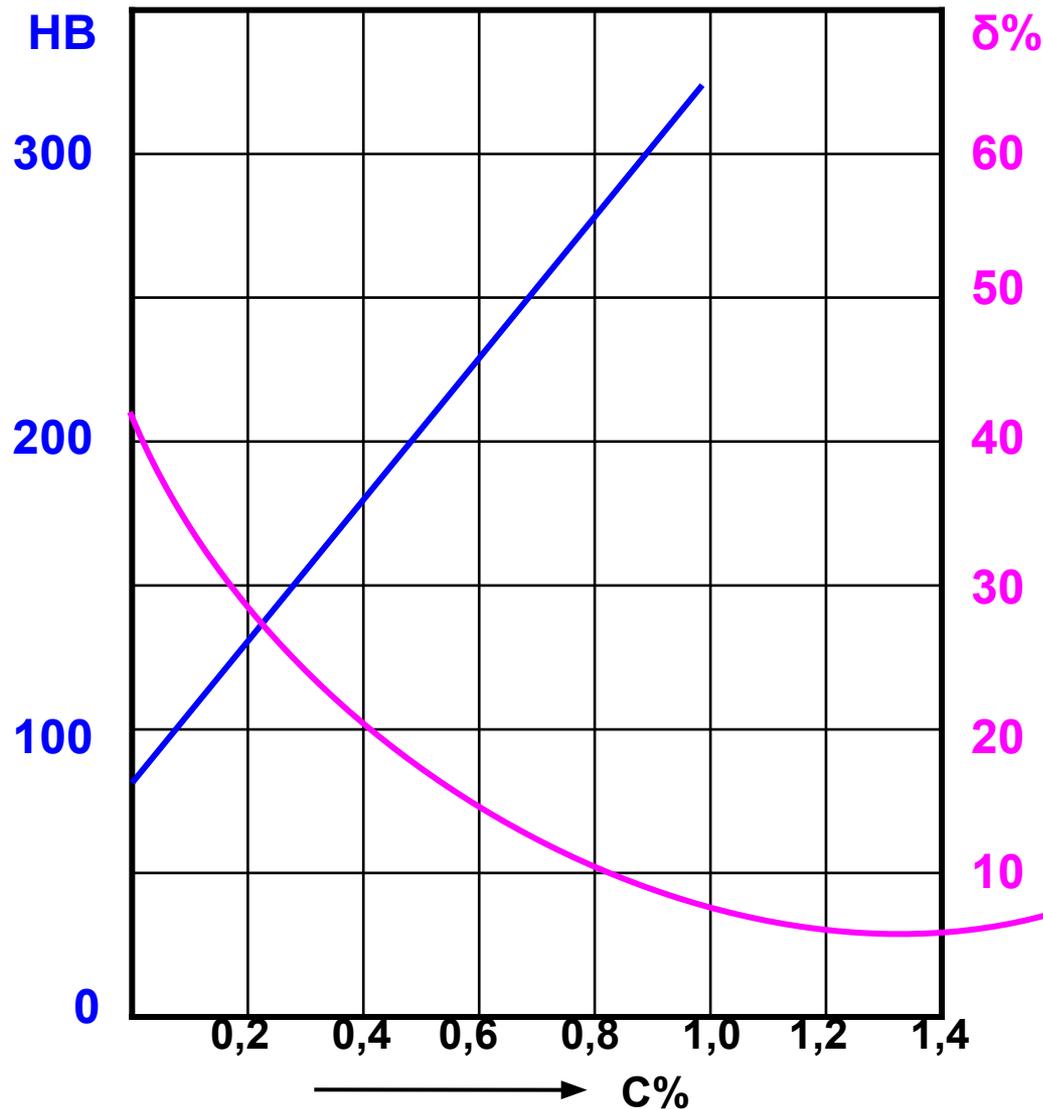
- 1. Группа А** – с гарантируемыми механическими свойствами (сталь не подвергается горячей обработке у потребителя): маркируется буквами Ст и цифрами от 1 до 7, являющимися порядковым номером. Например, **Ст 3**.
- 2. Группа Б** – с гарантируемым химическим составом (подвергается горячей обработке у потребителя): маркируется аналогично группе А, но с дополнительными буквами М, К, Б, что характеризует способ производства – мартеновский, конверторный, бессемеровский соответственно. Например, **МСт3, БСт4, КСт5**.
- 3. Группа В** – с гарантируемыми механическими свойствами и химическим составом (подвергается сварке у потребителя) маркируется аналогично группе А, но с добавлением буквы В. Например, **ВСт5**.

Маркировка углеродистых сталей обычного качества разных способов раскисления

В зависимости от способа раскисления (с целью удаления кислорода) предлагаемые стали маркируют следующим образом:

- 1. Кипящая сталь** - раскисленная только марганцем, содержит в марке буквы **кп**. Например, **МСт1кп**. Кипящие стали имеют наиболее низкое качество.
- 2. Спокойная сталь** – раскисленная марганцем, кремнием и алюминием, содержит в марке буквы **сп**. Например, **ВСт3сп**. Спокойные стали имеют наиболее высокое качество.
- 3. Полуспокойная сталь** – раскисленная марганцем и алюминием, содержит в марке буквы **пс**. Например, **МСт4пс**. Промежуточный вариант качества между кипящей и спокойной сталью.

Влияние углерода на свойства сталей



HV – твердость по Бринеллю – одна из характеристик прочности стали (или сопротивления деформации).

δ% – относительное удлинение после разрыва - одна из характеристик пластичности стали.

Увеличение содержания углерода приводит к повышению прочности и снижению пластичности стали.

Влияние постоянных примесей на свойства стали

- **Марганец** – вводится в любую сталь для раскисления, поэтому его влияние на сталь различного состава остается примерно одинаковым; оказывает положительное воздействие на свойства стали (прежде всего повышает прочность).
- **Кремний** – вводится в сталь для раскисления, структурно не обнаруживается.
- **Фосфор** – попадает в сталь из руды, топлива и флюсов; вызывает **хладноломкость стали** (склонность к хрупкому разрушению при понижении температуры); облегчает обрабатываемость стали резанием (в автоматных сталях содержание фосфора до 0,15%).
- **Сера** – попадает в сталь из руды и печных газов; вызывает явление **красноломкости стали** (охрупчивание стали при температуре красного каления $\approx 800^\circ\text{C}$); облегчает обрабатываемость стали резанием (в автоматных сталях содержание серы до 0,3%).
- **Газы** – содержание в стали зависит от способа производства; при большом количестве **водорода** могут образоваться опасные флокены; **кислород** и **азот** образуют неметаллические включения (соответственно оксиды и нитриды).

Применение конструкционных углеродистых сталей обыкновенного качества

Марка стали	Применение
Ст0; Ст1	Второстепенные элементы конструкций и неответственные детали, :настилы, арматура, шайбы, перила, кожухи и т. д.
Ст2	Неответственные детали, требующие повышенной пластичности, малонагруженные элементы сварных конструкций, работающие при постоянных нагрузках и положительных температурах .
Ст3	КП – малонагруженные элементы сварных конструкций, работающие в интервале температур Т°С от -10 до +400°С; СП – фасонный и листовой прокат – несущие элементы сварных конструкций, работающие при переменных нагрузках в интервале температур от -40 до +425°С
Ст4	ПС – сварные, клепаные, болтовые конструкции повышенной прочности в виде сортового проката, а также для малонагруженных валов, осей, втулок и др.
Ст5	ПС, СП - детали клепаных конструкций, болты, гайки , втулки, упоры, штыри, пальцы и т.д., работающие в интервале температур от 0 до +425°С.
Ст6,Ст7	ПС, СП – детали повышенной прочности – оси, валы, пальцы, поршни, шпонки и т. д.

Конструкционные углеродистые качественные стали общего назначения

08; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60

Цифры в обозначении марки стали показывают содержание углерода в сотых долях процента.

Химический состав, %

Марка стали	C	Mn	Si	P ≤	S ≤	Cr ≤	Ni ≤	Cu ≤	As ≤
ВСт5сп	0,28-0,37	0,50-0,80	0,15-0,35	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3	0,08
Сталь 30	0,27-0,35	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,04	0,25	0,25	0,25	0,08

Применение конструкционных углеродистых качественных сталей общего назначения

Марка стали	Применение
Сталь 15	Заменитель: стали 10, 20. Болты, винты, крюки и др. детали, к которым предъявляются требования высокой пластичности и работающие при температуре от -40 до 450°С. После ХТО – кулачки, гайки и др. детали с высокой поверхностной твердостью.
Сталь 30	Заменитель: стали 25 и 35. Рычаги, валы, соединительные муфты и др. детали невысокой прочности.
Сталь 40	Заменитель: стали 35 и 45. После ТО: коленчатые валы, шатуны, зубчатые колеса, оси и др. После ТВЧ: средних размеров валики, зубчатые колеса и др.
Сталь 50	Заменитель: стали 45 и 55. После ТО: зубчатые колеса, прокатные валки, тяжело нагруженные валы и оси, мало нагруженные пружины и рессоры и т.д.
Сталь 60	Заменитель: сталь 55. Цельнокатаные колеса вагонов, рабочие валки листовых станов для горячей прокатки, диски сцепления и др, т.е. детали с высокой прочностью и износостойкостью.

Углеродистые инструментальные стали

У7; У7А; У8; У8А; У9; У9А; У10; У10А; У12; У12А.

Цифра в марке – содержание **С** в десятых долях %

Марка стали	С%	Mn%	Si%	S% ≤	P% ≤	Cr% ≤	Ni% ≤	Cu% ≤
У7А	0,66-0,73	0,17-0,28	0,17-0,33	0,018	0,025	0,20	0,20	0,20
У7	0,66-0,73	0,17-0,38	0,17-0,33	0,028	0,030	0,20	0,25	0,25

Применение: инструмент, который работает в условиях не вызывающих разогрев рабочей кромки – зубила, молотки, ножницы по металлу... (**У7**); фрезы, пилы продольные и дисковые, отвертки, стамески...(**У8**); слесарно-монтажный инструмент...(**У9**); метчики ручные, матрицы для холодной штамповки...(**У10**); метчики машинные, измерительный инструмент простой формы...(**У12**).

Твердость углеродистых инструментальных сталей резко уменьшается при нагреве выше 200°С.

Быстрорежущие стали

- Стали, предназначенные для изготовления режущего инструмента, работающего при высоких скоростях резания, должны обладать горячей твердостью и **красностойкостью** (устойчивым сохранением твердости в нагретом состоянии при 500-600°C). **Красностойкость** создается легированием стали элементами, образующими специальные карбиды, которые не растворяются до высоких температур.
- **Износостойкость** режущего инструмента в первом приближении характеризуется твердостью в нагретом состоянии. Быстрорежущие стали – износостойкий материал.
- Буква Р в марке стали от слова рапид (скорость).

Марка стали	C%	Cr%	W%	V%	Mo%	Вид карбидной фазы
P18	0,7	4	18	1	-	M ₆ C
P9	0,9	4	9	2	-	M ₆ C; MC
P6M5	0,9	4	6	2	5	M ₆ C; MC
У7	0,7					Fe ₃ C

Твердые сплавы

Марка сплава	WC	TiC	Co
ВК2	98	-	2
ВК6	94	-	6
Т5К10	85	5	10

Твердый сплав является металлокерамическим. Для его изготовления порошки карбидов вольфрама и титана смешивают со связующим веществом (кобальтом) и спекают при $T = 1500-2000^{\circ}\text{C}$. Твердость полученного материала настолько высока, что его можно только шлифовать. Инструмент не изготавливают целиком, а лишь режущую его часть, которую прикрепляют к державке из конструкционной стали. При высокой твердости и износостойкости сплав очень хрупок и не сопротивляется растягивающим напряжениям. Рабочая температура резания может составить $800-1000^{\circ}\text{C}$.

Применение: металлорежущий инструмент высокой производительности (резцы, фрезы, сверла и др.)

Конструкционные легированные стали

Система маркировки по ГОСТу

1. Обозначения состоят из цифр и букв, указывающих на примерный состав стали.
2. Каждый легирующий элемент обозначается буквой. Например, Н – никель, Х – хром, М – молибден, Г – марганец, С – кремний, Ю – алюминий и т.д.
3. Первые цифры в обозначении показывают среднее содержание углерода **в сотых долях процента** (у высокоуглеродистых инструментальных сталей в десятых долях процента).
4. Цифры, идущие после буквы, указывают на примерное содержание данного легирующего элемента **в процентах** (при содержании элемента менее 1% цифра отсутствует).
5. Примеры: 30ХМА; 10ГН2МФА; 20Х2Н4; 30ГСЛ и т.д.
6. **Буква А** в конце марки стали показывает, что в ней ограничено содержание **серы** и **фосфора**, а в середине марки – азот; **буква Л** в конце марки стали – литейная сталь (точнее - улучшенные литейные свойства).

Примеры применения конструкционных легированных сталей

Стали	Применение
30X; 35X; 35ХРА	Оси, рычаги, болты, гайки и др. некрупные изделия.
40X; 45X;38ХА; 40ХН; 50X	Оси, валы, валы-шестерни, коленчатые и кулачковые валы, зубчатые колеса и др улучшаемые детали повышенной прочности.
30ХМ; 30ХМА; 35ХМ; 40ХН; 30ХМ; 30ХГСА	Валы, шестерни; шпильки; фланцы и др. ответственные детали, работающие при высоких нагрузках и при $T = 450 - 500^{\circ}\text{C}$
30ХН2МФА; 30ХН2ВФА	Валы, цельнокованные роторы, детали редукторов, шпильки и др. детали турбин и компрессорных машин, работающие при повышенных температурах.
ШХ15; ШХ9; ШХ12	Шарики $d \leq 150$ мм, ролики $d \leq 23$ мм, кольца подшипников с толщиной стенки до 14 мм, ролики толкателей и др. детали от которых требуется высокая твердость, износостойкость и контактная прочность. В стали ШХ15: С – 1%; Мп – 0,3%; Si – 0,25%; Cr – 1,5%.
70; 65Г; 60С2А; 9ХС;60С2; 55С2;50ХФА	Пружины, рессоры , фрикционные диски и др. детали, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости и работающие без ударных нагрузок.

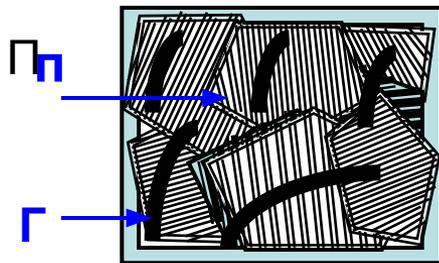
Чугуны

Белый чугун – название получил по матово-белому цвету излома;

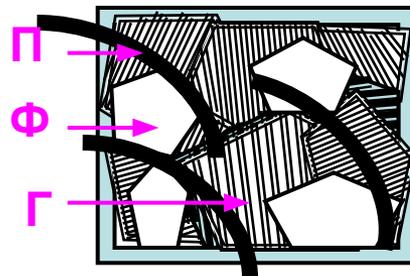
- структура в не нагретом состоянии: $\text{Ц} + \text{П}(\text{Ф} + \text{Г})$; т.е. весь углерод находится в форме цементита;
- свойства: высокая твердость и износостойкость, хрупкость, практически не поддается обработке режущим инструментом;
- марки: ИЧХ3, ИЧХ5, ИЧХ15... (износостойкий хромистый чугун с содержанием хрома 3%, 5%, 15% соответственно...);
- применение: детали, работающие в условиях интенсивного износа без ударных нагрузок(например, линейки направляющих, детали шаровых мельниц).

Серые чугуны

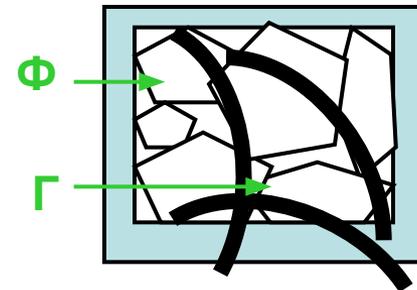
- Излом такого чугуна имеет серый цвет. Обладает хорошими литейными свойствами. В структуре присутствует графит, количество, форма и размеры которого изменяются в широких пределах. По строению металлической основы серые чугуны разделяют на: серый перлитный чугун (1); серый феррито-перлитный чугун (2); серый ферритный чугун (3). В **обычном сером чугуне** графит имеет пластинчатую форму (1 – 3).



1



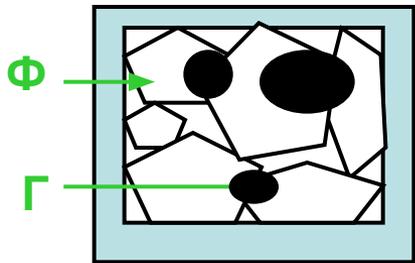
2



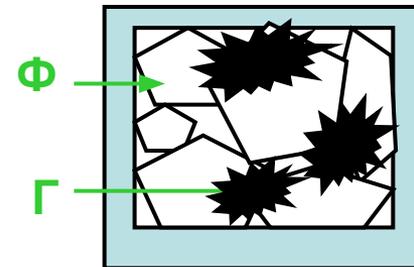
3

Серые чугуны

- В **высокопрочном сером чугуне** графит находится в форме шаровидного графита, который принимает такую форму благодаря присадке магния или церия (модификаторов) (1). В **ковком сером чугуне** углерод находится в форме хлопьевидного графита (углерода отжига)(2), который образуется в процессе отжига белого чугуна.



1



2

Марки серых чугунов

Вид чугуна	Примеры маркировки	Свойства	Применение
Обычный серый	СЧ12-28 СЧ18-36	$\sigma_B = 12 \text{ кгс/мм}^2 = 120 \text{ МПа}$ $\sigma_{\text{и}} = 28 \text{ кгс/мм}^2 = 280 \text{ МПа}$ $\sigma_B = 18 \text{ кгс/мм}^2; \sigma_{\text{и}} = 36 \text{ кгс/мм}^2$	Станины; корпуса редукторов; тракторные отливки, поршневые кольца
Высокопрочный чугун	ВЧ50-1,5 ВЧ45-5	$\sigma_B = 50 \text{ кгс/мм}^2 = 500 \text{ МПа}$ $\delta\% = 1,5\%$ $\sigma_B = 45 \text{ кгс/мм}^2; \delta\% = 5\%$	и др. Колесчатые валы; арматура тоннелей метро; канализационные трубы; и др.
Ковкий чугун	КЧ35-10 КЧ45-6	$\sigma_B = 35 \text{ кгс/мм}^2 = 350 \text{ МПа}$ $\delta\% = 10\%$ $\sigma_B = 45 \text{ кгс/мм}^2; \delta\% = 6\%$	Литые детали машин, не испытывающие значительных растягивающих и ударных нагрузок.

σ_B - предел прочности при растяжении; $\delta\%$ - относительное удлинение после разрыва;

$\sigma_{\text{и}}$ — предел прочности при изгибе.

Механические свойства металлических материалов и методы их определения

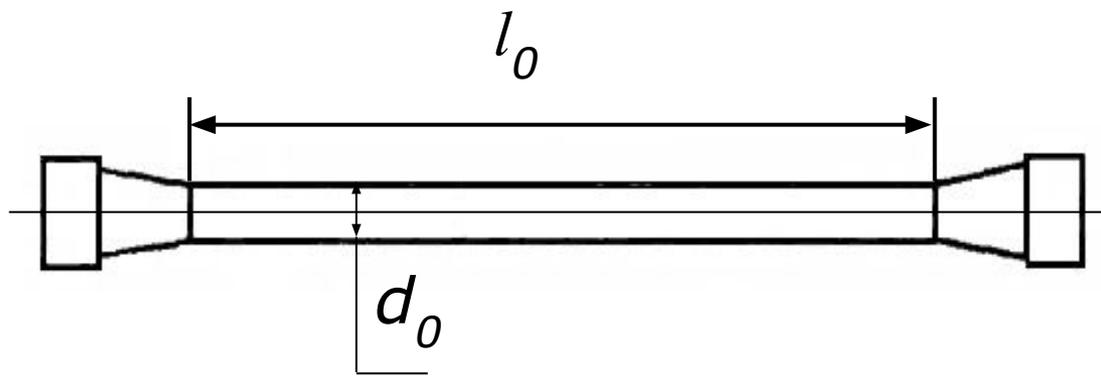
- Аспекты выбора материалов для изготовления деталей машин и механизмов:
 1. **Механические (конструкционные) свойства материалов.**
 2. **Технологические свойства материалов.** Это часть общих физико-химических свойств, по которым на основании практического опыта проектируют и реализуют процесс получения узлов и деталей машин с наилучшими служебными свойствами. Методы определения технологических свойств стандартизованы. К числу важнейших относятся: свариваемость, паяемость, упрочняемость, обрабатываемость резанием, литейные свойства и технологическая деформируемость.
 3. **Экономические параметры, связанные с изготовлением деталей.**

Механические свойства металлических материалов и методы их определения

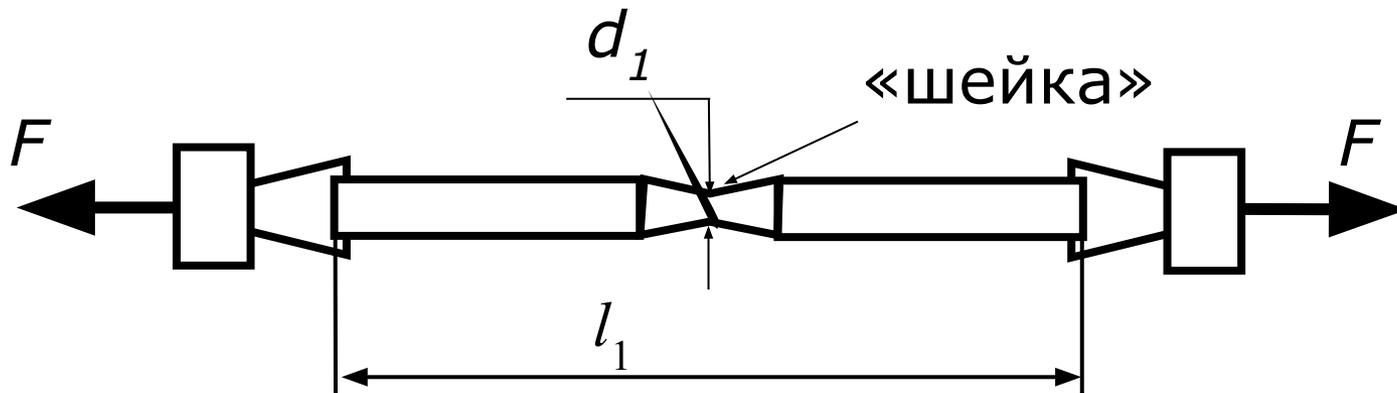
- Детали должны выдерживать (передавать) различные нагрузки: статические, динамические, циклические, тепловые и др.
- Способность материала в конструкции сопротивляться внешним воздействиям, (т.е. **свойства материала**), **принято оценивать механическими характеристиками**. Один и тот же материал при различных внешних условиях (температура, скорость нагружения и т.д.) может иметь различные механические свойства.
- Количественная оценка механических свойств материалов производится путем испытаний образцов в специальных испытательных машинах при определенных условиях. Размеры образцов и методики проведения испытаний стандартизованы.

Испытание на растяжение

Образец для испытаний



Разрушение образца из
пластичного материала



Относительное

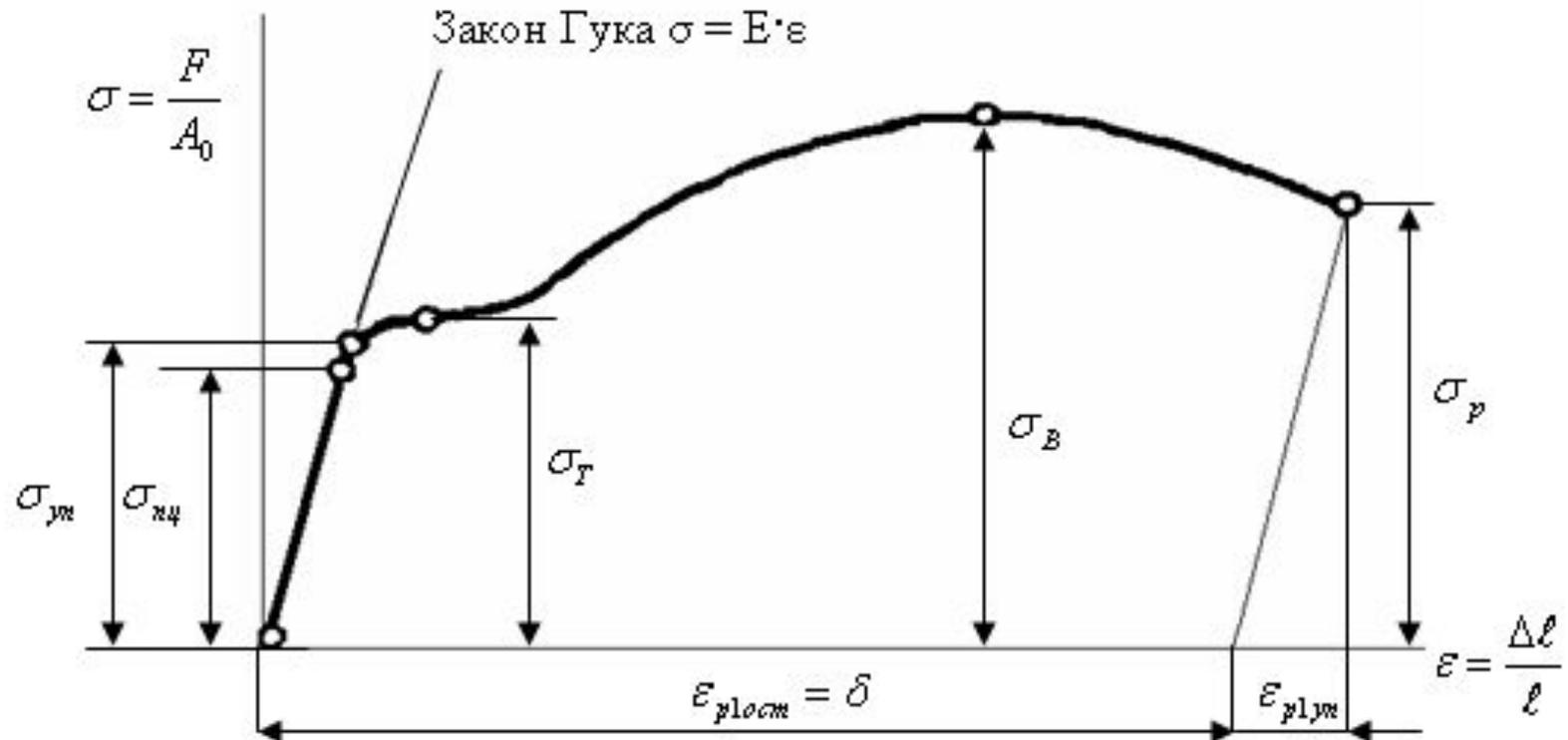
- удлинение

$$\delta = \frac{\Delta_1 - \Delta_0}{\Delta_0} \cdot 100\%$$

- сужение

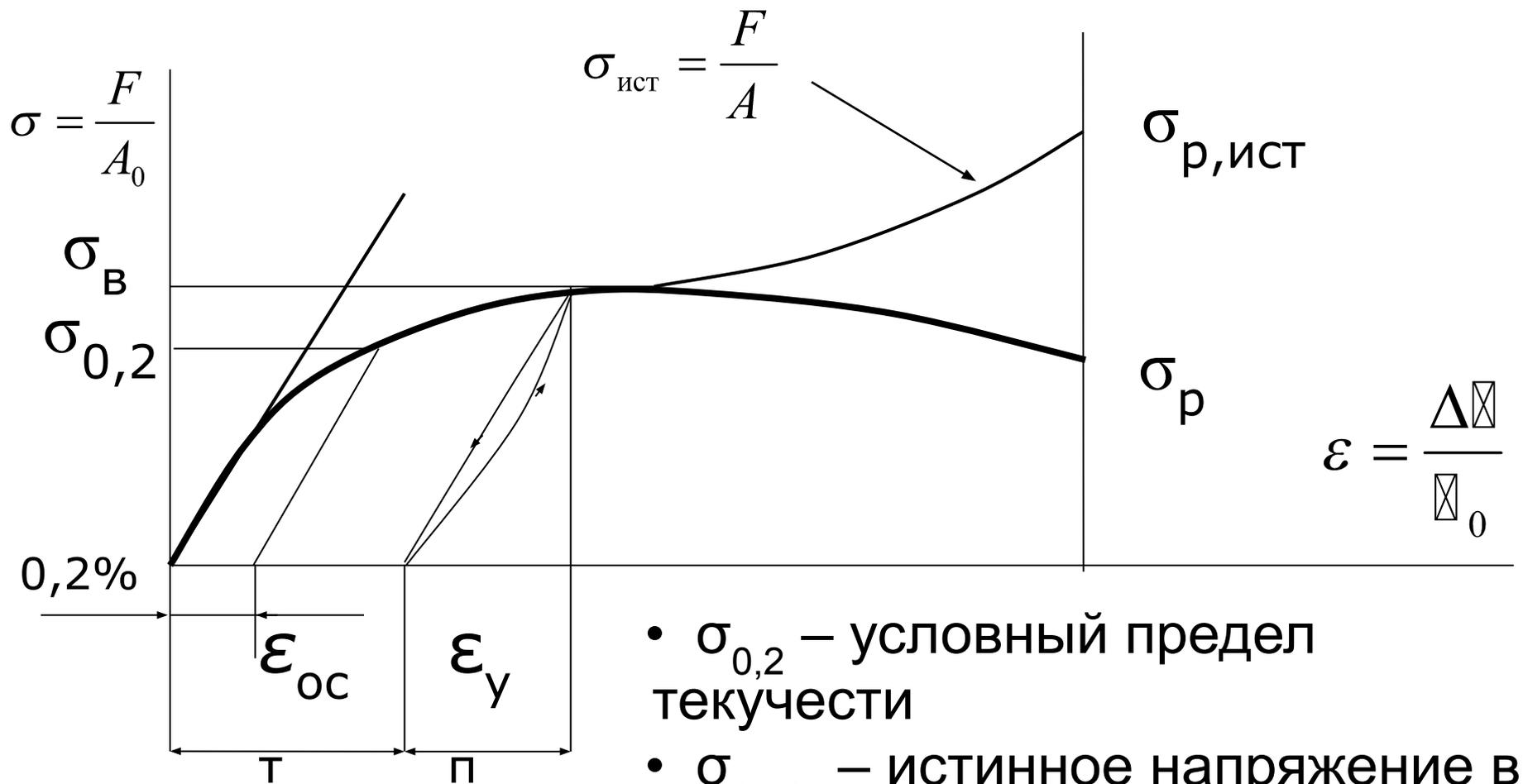
$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100\%$$

Диаграмма растяжения с площадкой текучести



- $\sigma_{\text{плц}}$, $\sigma_{\text{уп}}$ и $\sigma_{\text{т}}$ – пределы пропорциональности, упругости и текучести;
- $\sigma_{\text{в}}$ – временное сопротивление;
- $\sigma_{\text{р}}$ – напряжение в момент разрыва.

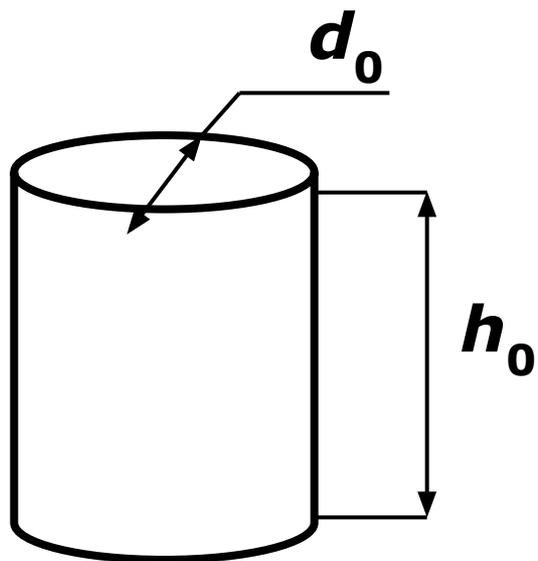
Диаграмма растяжения без площадки текучести



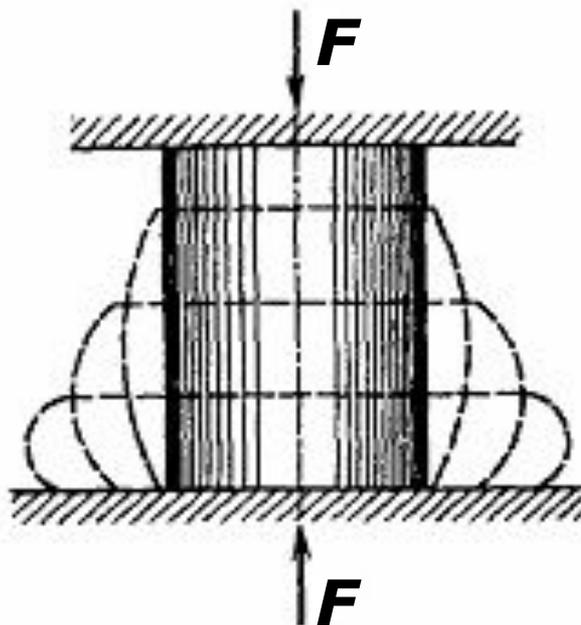
- $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести
- $\sigma_{r,ист}$ – истинное напряжение в момент разрыва

Испытание на сжатие

Образец для
испытаний

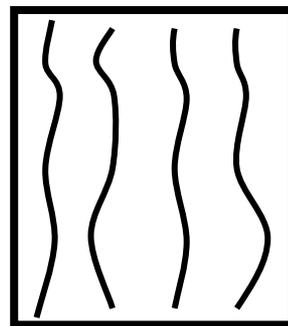
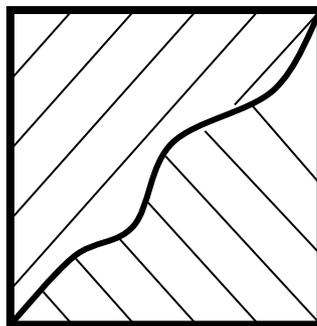


$$\frac{h_0}{d_0} = 1 \div 3$$



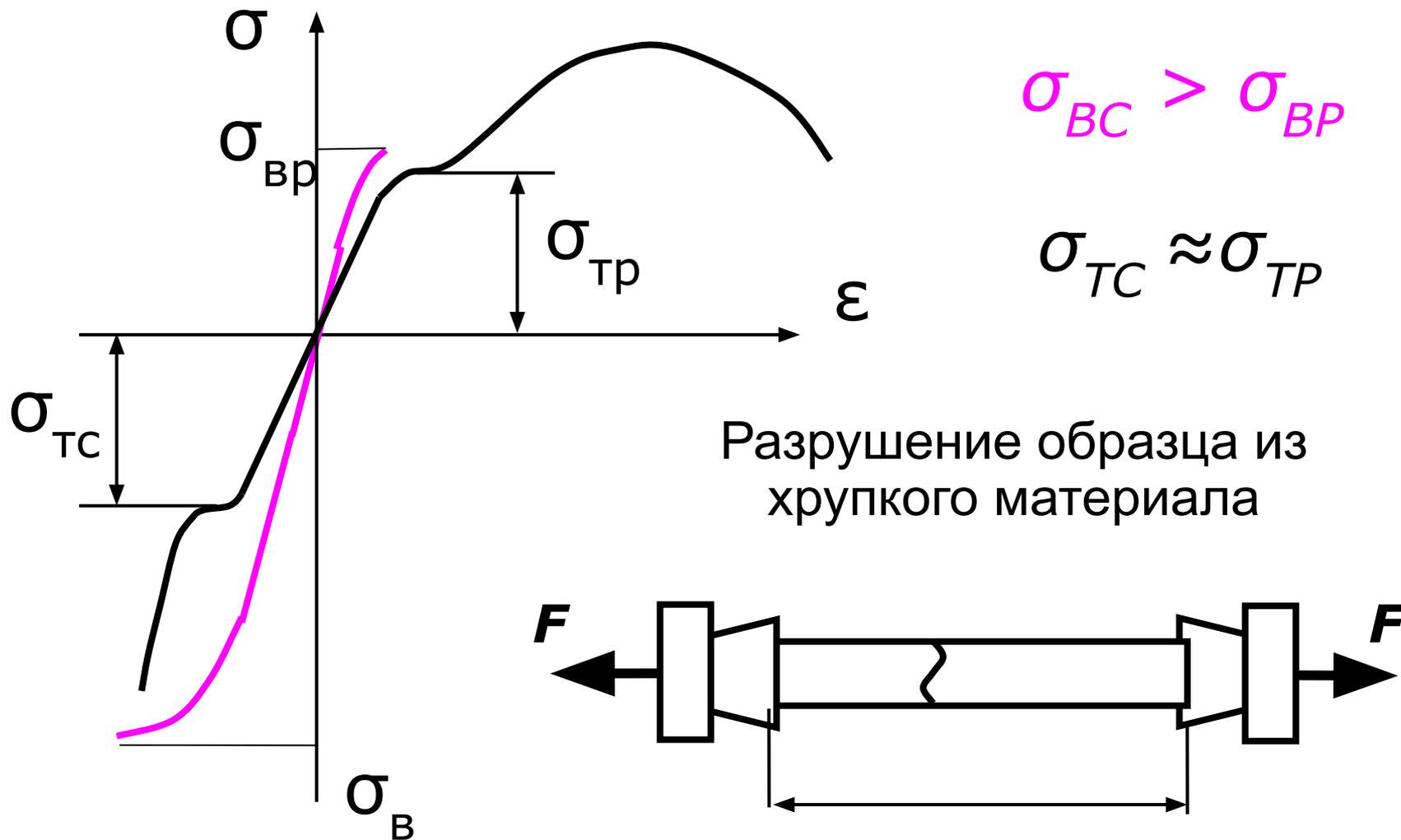
Деформация
образца

из пластичного
материала

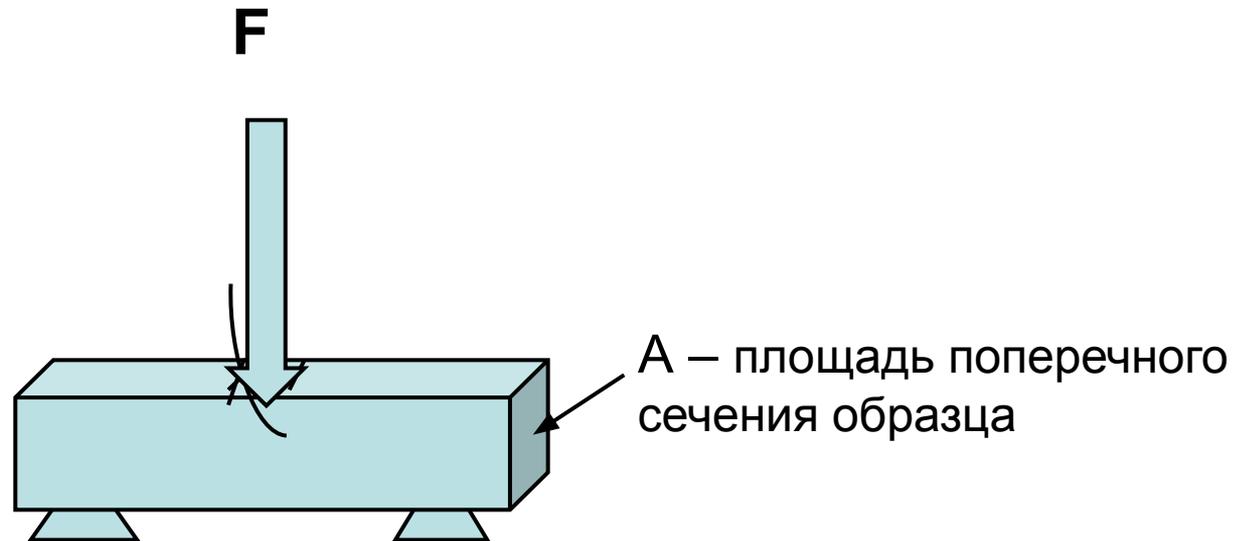


из хрупкого
материала

Диаграммы растяжения и сжатия пластичного и хрупкого материалов



Испытания на изгиб

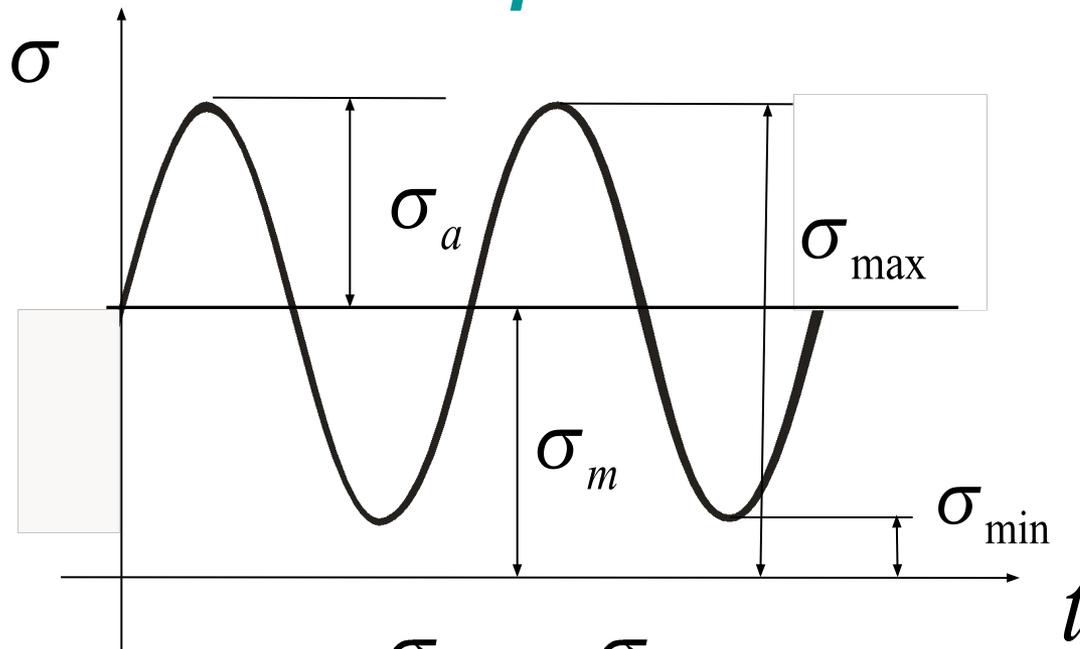


$\sigma_{и}$ – предел прочности при изгибе

$$\sigma_{и} = F_{кр} / A$$

Переменные циклы напряжений

асимметричный

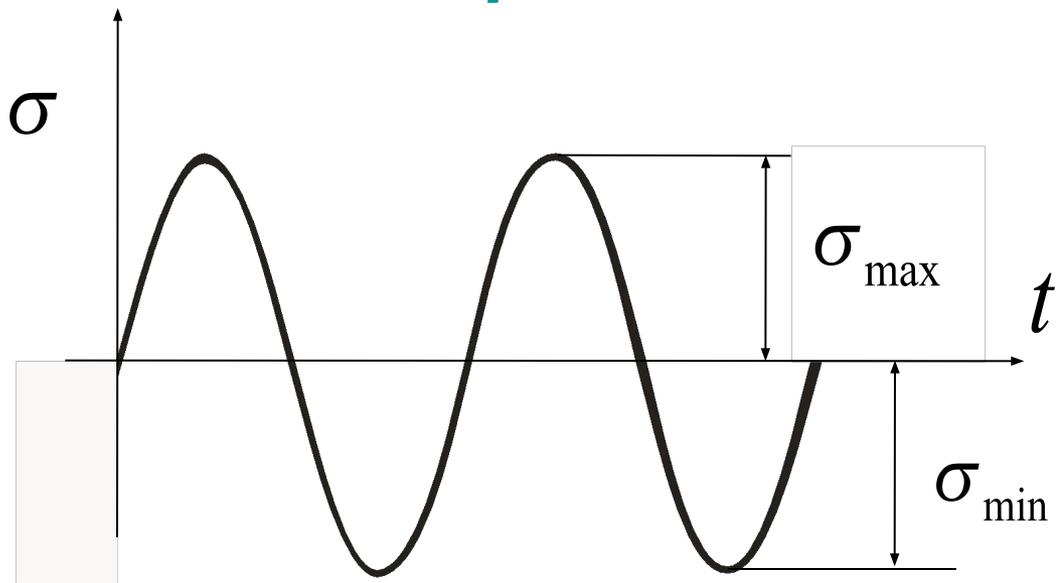


$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

симметричный

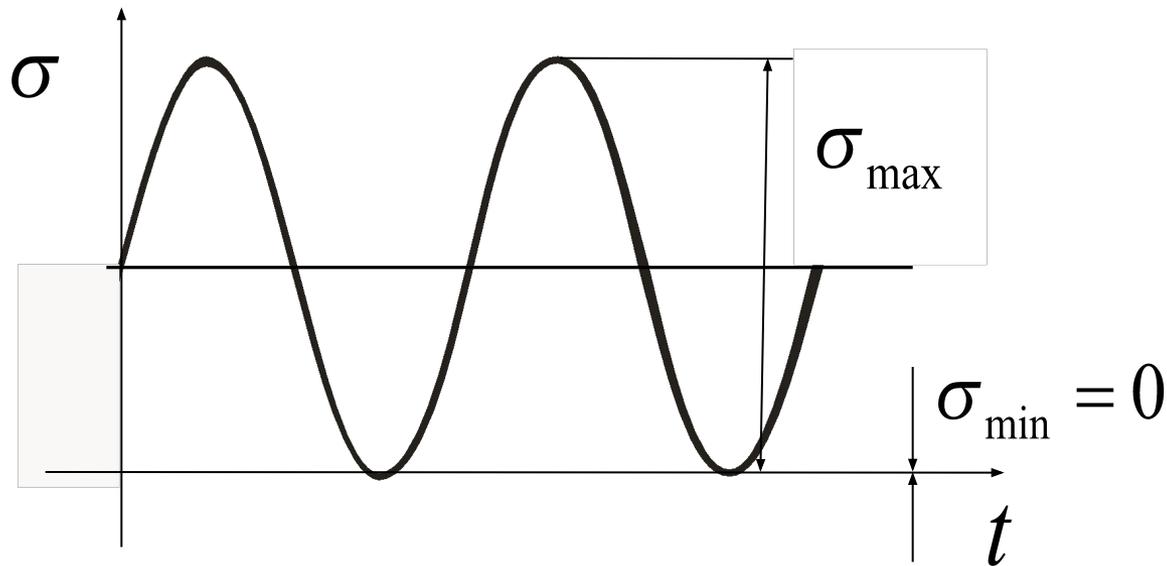


$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \sigma_{\max}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = 0$$

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = -1 \quad \sigma_r = \sigma_{-1}$$

отнулевой (пульсирующий)

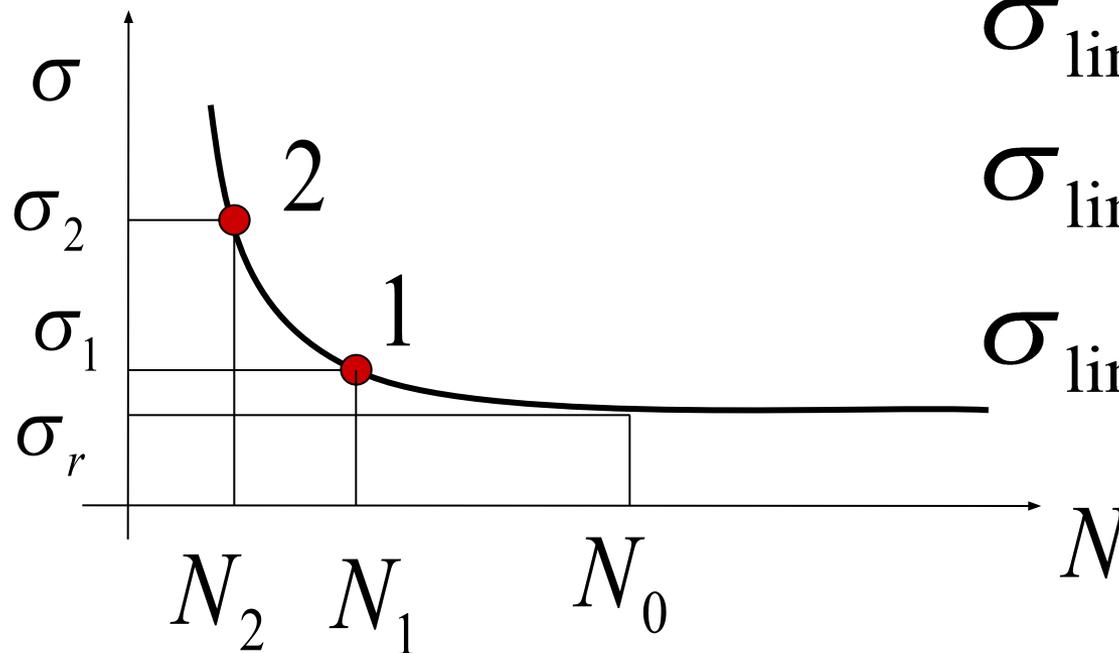


$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{\sigma_{\max}}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{\sigma_{\max}}{2}$$

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0 \quad \sigma_r = \sigma_0$$

Кривая усталости



$$\sigma_{\text{lim}} = \sigma_r$$

$$\sigma_{\text{lim}} = \sigma_1$$

$$\sigma_{\text{lim}} = \sigma_2$$

- σ_r - предел выносливости - максимальное значение напряжения цикла, при котором разрушение не происходит после практически неограниченного числа циклов изменения напряжений.
- **Цикл изменения напряжений** – совокупность последовательных значений переменных напряжений за один период их изменения.

Методы определения твердости материалов.

- Измерение твердости – упрощенный метод определения прочности. Твердость – одна из характеристик сопротивления деформации.
- **Метод Бринелля**: в испытуемый материал под действием силы P внедряется шарик (индентор) диаметром D ; число твердости по Бринеллю – $HB = P / S$, где S – сферическая поверхность отпечатка с диаметром d .
- **Метод Роквелла**: индентор – алмазный конус или стальной шарик; числом твердости считают величину обратную глубине вдавливания h ; прибор имеет три шкалы: **HRB** – при вдавливании стального шарика; **HRA** и **HRC** при вдавливании алмазного конуса (с различной нагрузкой).
- **Метод Виккерса**: индентор – алмазная пирамида; критерий числа твердости **HV** – диагональ отпечатка d .

Методы определения твердости материалов.

- Методы **HB** и **HRB** применяют для мягких материалов; **HRC** - для твердых материалов (например, закаленных сталей); методы **HV** и **HRA** - для тонких слоев (листов).
- Между различными методами существует примерная корреляция. По соответствующим таблицам можно перевести значение твердости, полученное одним из методов в значения твердости соответствующие другим методам.
- Число твердости по Бринеллю приблизительно в три раза больше чем предел прочности: $HB \approx \sigma_B / 3$.
- Метод определения микротвердости **H** применим для определения твердости отдельных структурных составляющих. Индентор – алмазная пирамида при очень небольшой нагрузке (до 100г).
- Метод Шора - экспресс-метод определения твердости (**HSD**) крупных изделий в условиях производства по отскоку стального шарика

Сплавы меди

- **Латуни** – сплавы меди с цинком – при содержании цинка до 45%.

Свойства латуней:

- Сплав обладает высокой пластичностью, которая достигает максимального значения при 30% Zn. Латуни легко поддаются пластической деформации.
- Литейные свойства латуней: малая склонность к ликвации; хорошая жидкотекучесть; склонность к образованию концентрированной усадочной раковины.
- Механические свойства латуней: невысокая прочность – $\sigma_{\text{в}} = 300 - 350$ МПа при $\delta\% = 40\% - 20\%$.

Марки латуней:

- Двойные латуни: Л62 (62%Cu; 38% Zn) Л68; Л70; в том числе ювелирные латуни (томпаки): Л80; Л85; Л96.
- Специальные латуни: ЛС59-1 – автоматная латунь (59%Cu; 1% Pb; 40% Zn); морская латунь – ЛО60-1 (60%Cu; 1%Sn; 39% Zn); латунь с повышенной прочностью – ЛАН59-3-2 (59%Cu; 3%Al; 2%Ni; 36%Zn).

Сплавы меди

- **Оловянистые бронзы** – сплавы меди с оловом.

Свойства оловянистых бронз:

- Бронзы, содержащие более 5% – 6% Sn обладают низкой пластичностью, их не куят и не прокатывают, а применяют в литом виде.
- Высокие литейные свойства бронз определяются прежде всего малой усадкой (менее 1%) при довольно низкой жидкотекучести.
- Бронзы обеспечивают высокую стойкость против истирания; бронза с 10% олова - наилучший антифрикционный материал.
- Высокая химическая стойкость.

Применение:

- Отливки сложной формы, в т.ч. художественное литье.
- Вкладыши подшипников качения.
- Арматура (паровая, водяная и др.)

Сплавы меди

- Сплавы меди с алюминием, кремнием, бериллием и др. элементами также называют **бронзами: алюминиевыми, кремнистыми, бериллиевыми и т.д.**
- Эти бронзы не имеют такой низкой усадки как оловянистая бронза, но превосходят ее по механическим свойствам (алюминиевая, кремнистая), по химической стойкости (алюминиевая), по жидкотекучести (кремнистая), по твердости и упругости (бериллиевая).

Марки бронз

БрО10 90%Cu; 10%Sn

БрОЦСН 3-7-5-1 84%Cu; 3%Sn; 7%Zn; 5%Pb; 1%Ni

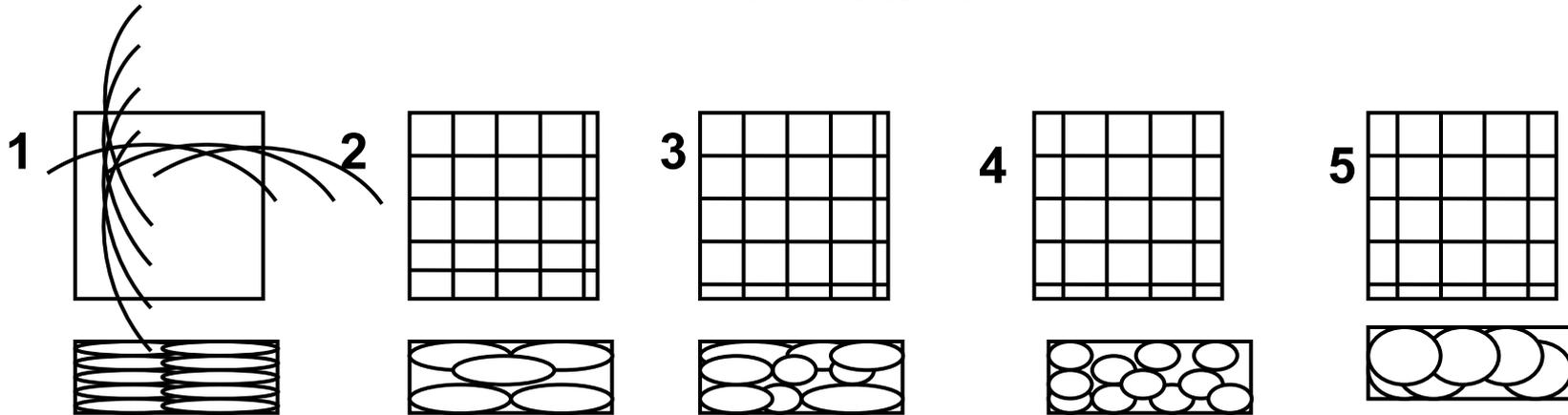
БрАЖН 10-4-4 82%Cu; 10%Al; 4%Fe; 4%Ni

Четыре основных превращения в стали

1. Превращение перлита в аустенит при нагреве: $P \rightarrow A$.
2. Превращение аустенита в перлит при медленном охлаждении: $A \rightarrow P$.
3. Превращение аустенита в мартенсит при закалке: $A \rightarrow M$. (Мартенсит – пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе).
4. Превращение мартенсита в перлит (феррито – карбидную смесь) чаще всего при нагреве: $M \rightarrow P$.

Представленные фазовые превращения используются при термообработке и обусловлены изменением температуры.

Отжиг пластически деформированного металла



1. Пластическая деформация приводит металл в структурно неустойчивое состояние. Искажается кристаллическая решетка, появляется **текстура** (определенная ориентировка зерен).
2. **Возврат (отдых)** – снятие искажений кристаллической решетки в процессе нагрева до 300° – 400°C . Твердость и прочность несколько понижаются, а пластичность возрастает.
3. **Рекристаллизация (первая стадия)** – образование новых зерен протекает при более высокой температуре (для сплавов T рекристаллизации $\approx 0,8T$ плавления). Свойства металла становятся прежними.
- 4, 5. **Рекристаллизационный отжиг** – вторая стадия рекристаллизации – образование и рост равноосных зерен. Происходит при более высоких температурах. (**Вторичная или собирательная рекристаллизация**).

Влияние температуры отпуска на свойства закаленной стали 40

