

ОСНОВЫ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ

Часть 2

Доцент каф. 903

ЗАДОРИНА Елена Николаевна[©]

Основы теории сплавов

- **Сплав** – это многокомпонентная система
- **Компоненты** – химические индивиды, наименьшего числа которых достаточно для образования всех фаз системы
- **Фаза** – однородная, обособленная часть металла или сплава, имеющая одинаковый состав, строение и свойства
- **Микроструктура** – внутреннее строение:
 - многофазная, гетерогенная, неоднородная
 - гомогенная, однофазная, однородная

Правило фаз Гиббса

$$C = K - \Phi + 1$$

C – число степеней свободы (вариантность) системы - число внешних и внутренних факторов (температура, давление и концентрация), которое можно изменять без изменения числа фаз.

K – число компонентов

Φ – количество фаз

1 – число переменных

Это выражение применяют к металлическим системам, считая, что давление и концентрация постоянны.

Правило фаз Гиббса применяют при построении кривых охлаждения в критических точках сплава.

Критическими точками сплава называют значения температур, при которых происходят фазовые превращения.

Геометрически критические точки определяют как точки пересечения линий состава сплава с линиями диаграммы состояния.

При $C = 0$ фазовое превращение происходит изотермически, то есть при постоянной температуре. На кривой охлаждения возникает горизонтальная площадка.

При $C \neq 0$ фазовое превращение происходит в интервале температур.

На кривой охлаждения – точка перегиба.

В сплавах могут образовываться следующие фазы:

- Жидкие растворы
- Твердые растворы
- Химические соединения

Твердый раствор – это кристалл, в котором сохраняется решетка одного из компонентов (растворителя):

- твердые растворы **внедрения**
- твердые растворы **замещения**
- твердые растворы **вычитания**

В твердых растворах внедрения атомы растворенного компонента размещаются в междоузлиях (пустотах) кристаллической решетки растворителя.

При образовании твердого раствора замещения атомы растворенного компонента замещают часть атомов растворителя в его кристаллической решетке.

Твердый раствор вычитания возникает, если между компонентами сплава происходит химическое взаимодействие, а один из компонентов находится в недостаточном количестве. Тогда часть его мест в кристаллической решетке остается вакантными – как бы вычтенными.

Условия образования твердых растворов замещения с неограниченной растворимостью:

- 1) Одинаковый тип кристаллической решетки компонентов (изоморфизм)
- 2) Атомы компонентов близки по размерам (разница $\leq 10-15\%$)

Примеры:

Ag-Au, Ni-Cu, Mo-W, V-Ti и др.

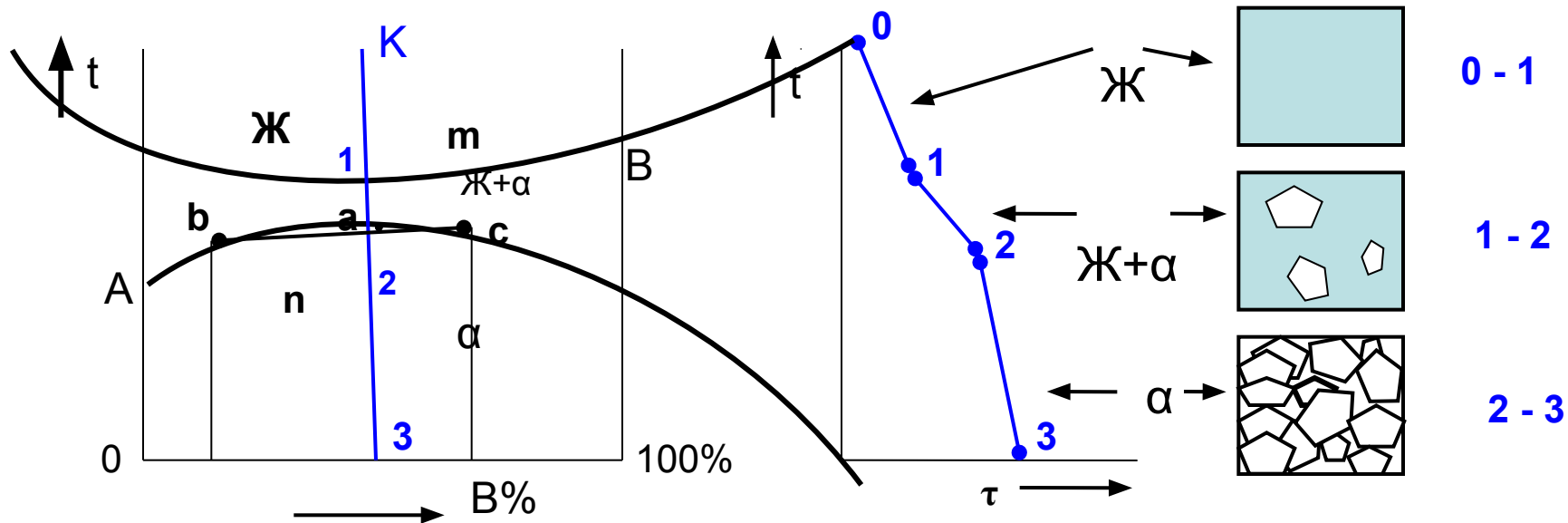
Диаграммы фазового равновесия

- **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.
- Вид диаграммы состояния определяется типом взаимодействия компонентов сплава

I. Сплав образует непрерывный ряд твердых растворов

- Ликвидус – линия температур начала кристаллизации всех сплавов системы
- Солидус – линия температур окончания кристаллизации всех сплавов системы
- Конода – линия, соединяющая составы фаз, находящихся в равновесии (b-c)

Диаграмма для сплавов с неограниченной растворимостью в твердом состоянии (2 рода)

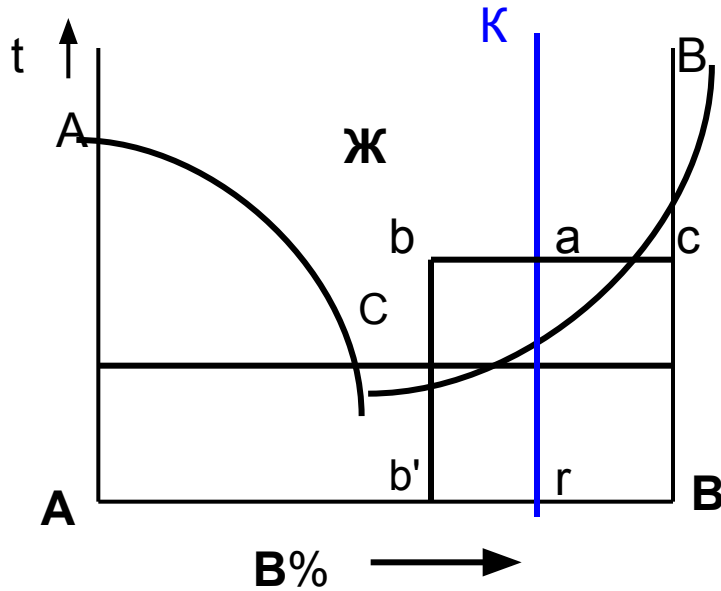


Компоненты: А и В ($K = 2$); фазы: Ж и α , где Ж – жидкость; α – твердый раствор ($\Phi=2$).
 $C = K - \Phi + 1$

AmB – линия ликвидус; AnB – линия солидус.

Сплав К в точке а: Ж состава b и α состава с. Количество жидкой фазы Ж = ac / bc ; количество твердой фазы $\alpha = ba / bc$.

Правило отрезков



В сплаве **K**: $r\%$ В и $(100 - r)\%A$.

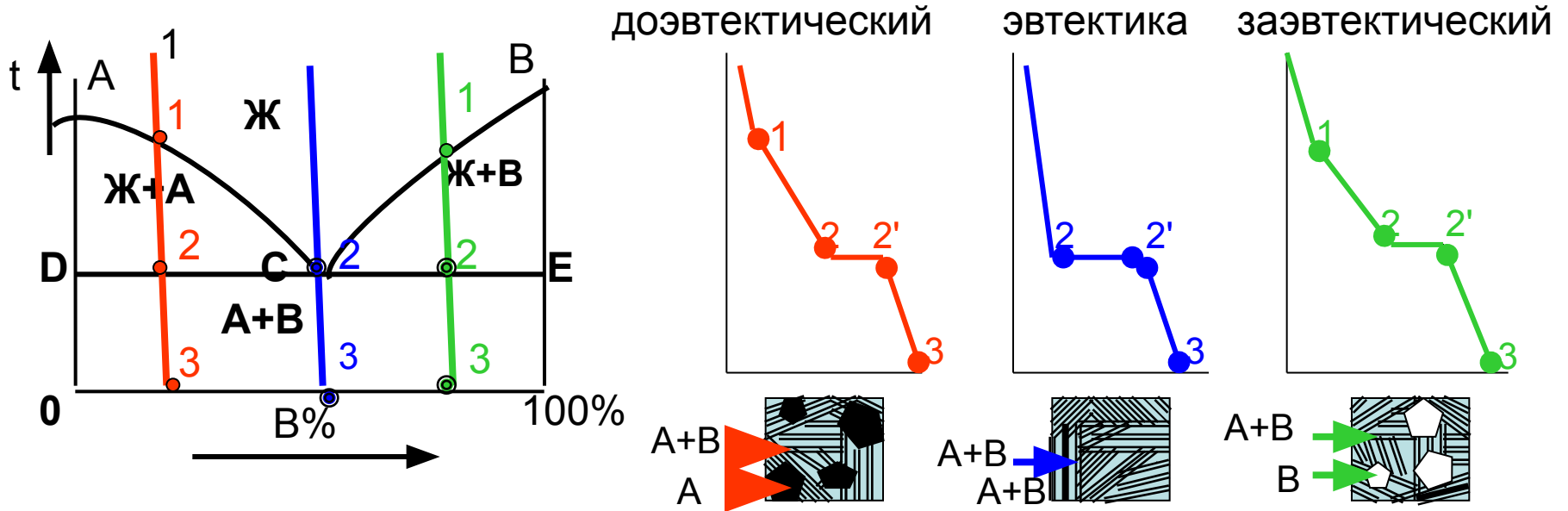
AB – все количество сплава; rA – количество В;
 rB – количество А в сплаве **K**.

В точке **a**: Ж + В; Ж имеет концентрацию b .
 Ж содержит $b'\%$ В (отрезок ab').

Если принять массу сплава **K** = 1 и она изображается bc , то масса кристаллов в точке **a**:
 $x = ba / bc$, а количество жидкости: $1 - x = ac / bc$.
 Отношение твердой и жидкой фаз:
 $x / (1-x) = ba / ac$.

1. Чтобы определить концентрацию компонентов в фазах, через данную точку характеризующую состояние сплава, проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими данную область; проекции точек пересечения на ось концентраций показывают состав фаз.
2. Для того чтобы определить количественное соотношение фаз, через заданную точку проводят горизонтальную линию. Отрезки этой линии между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.

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



Компоненты: вещества А и В ($k=2$).

Фазы: жидкость Ж, кристаллы А и кристаллы В (максимальное значение $f=3$).

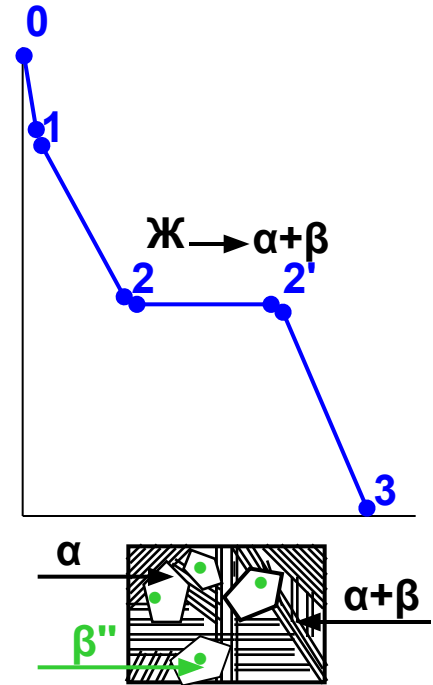
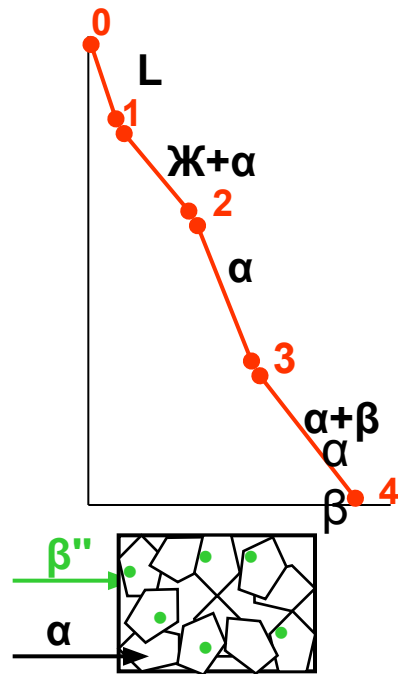
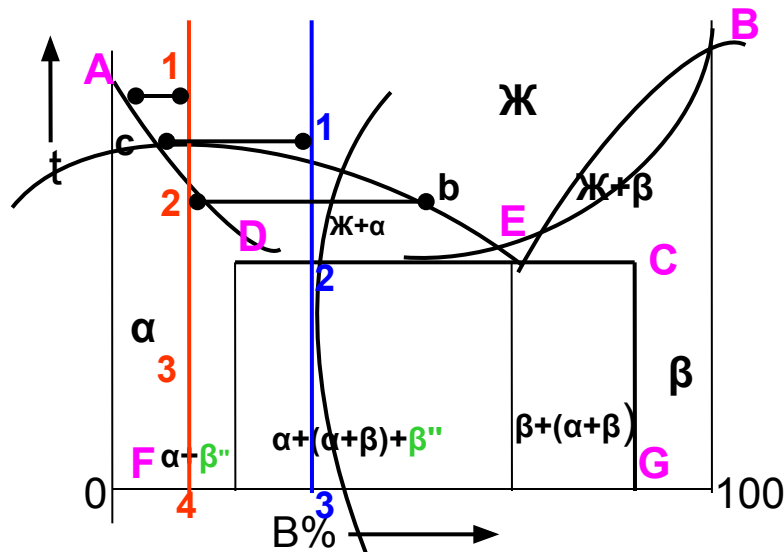
$$C = k - f + 1$$

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



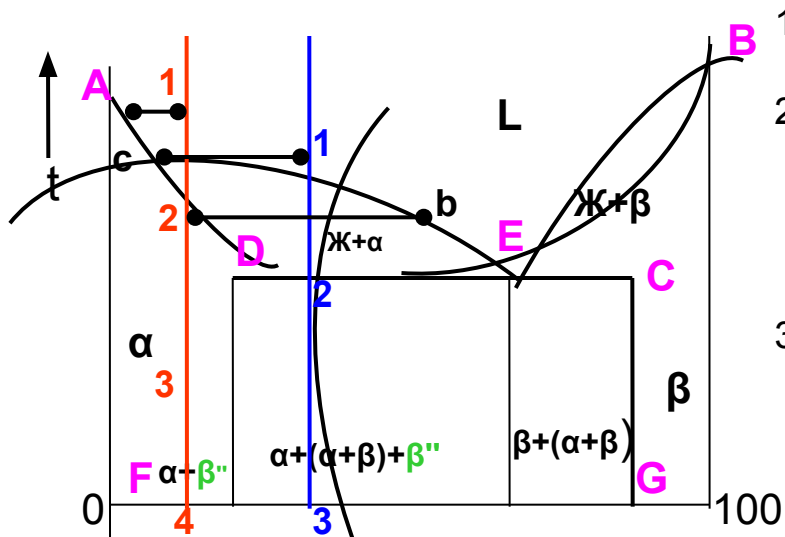
Диаграммы состояния для сплавов с ограниченной растворимостью в твердом состоянии (3 рода).

Диаграмма с эвтектикой.



Компоненты: A; B : $k=2$. **Фазы:** Ж; α (твёрдый раствор B в A); β (твёрдый раствор A в B): $f=3$.
 Следовательно возможно неинвариантное равновесие при одновременном существовании трех фаз ($c = k - f + 1$). В заданной системе не образуются фазы, представляющие собой чистые компоненты.
 AEB – линия ликвидус; ADCB – линия солидус.
 В точках 3 и 4 – 2 **фазы:** α и β . В точке 3 – 2 **структурные составляющие:** α и β'' . В точке 4 – 3 **структурные составляющие:** α , β и β'' .

Описание процесса охлаждения сплава 2

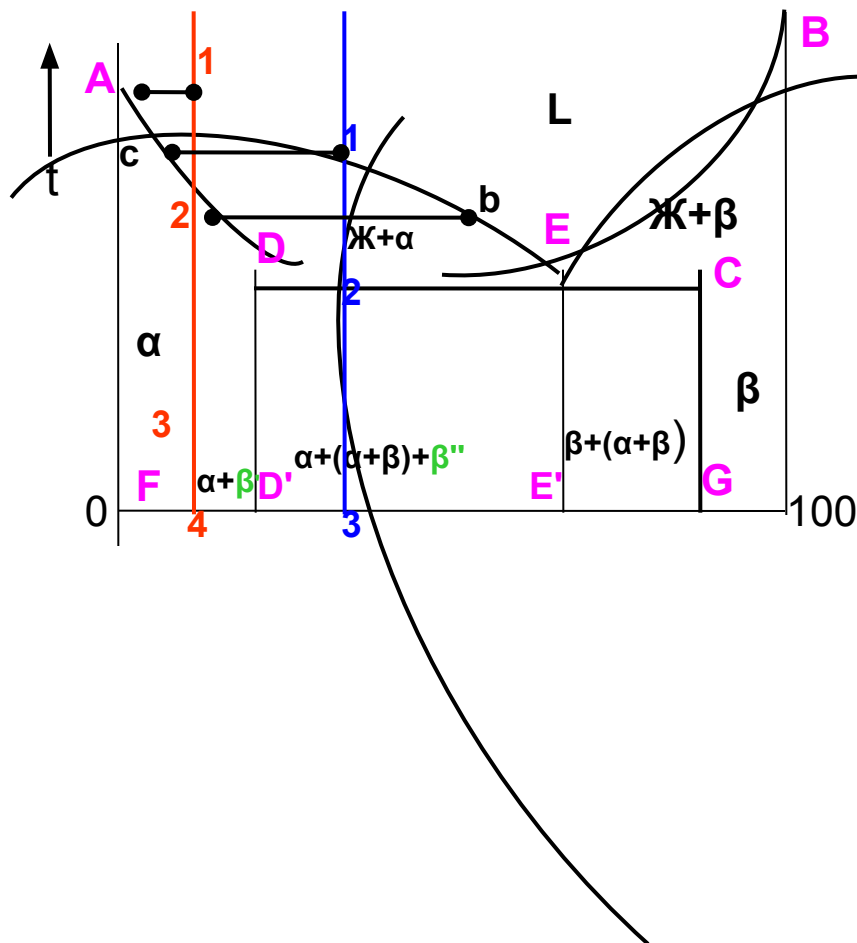


1. Выше точки 1 сплав находится в жидком состоянии.
2. В точке 1 начинается процесс кристаллизации. Выделяются кристаллы твердого раствора α . Концентрация которого изменяется по кривой cD, а состав жидкости по кривой 1E.
3. При достижении горизонтальной прямой DEC наступает невариантная реакция. В равновесии находятся три фазы: жидкость (состава E); α -кристаллы (состава D) и β -кристаллы (состава C).

4. В результате кристаллизации сплава, кроме первичных (выделившихся из жидкости) кристаллов α , образуется еще и эвтектика ($\alpha + \beta$).

5. При охлаждении **сплава 2 ниже линии DEC**, вследствие изменения растворимости, α -кристаллы выделяют вторичные кристаллы β'' . Выделение вторичных кристаллов из эвтектических составляющих обычно не обнаруживается, так как вторичные кристаллы объединяются с такой же фазой эвтектики.

Количественное определение фаз и структурных составляющих в сплавах



Сплав 1

Количество фаз и структурных составляющих при комнатной температуре:

$$\alpha = 4G / FG$$

$$\beta'' = F4 / FG$$

Сплав 2

Количество фаз при комнатной температуре:

$$\alpha = 3G / FG$$

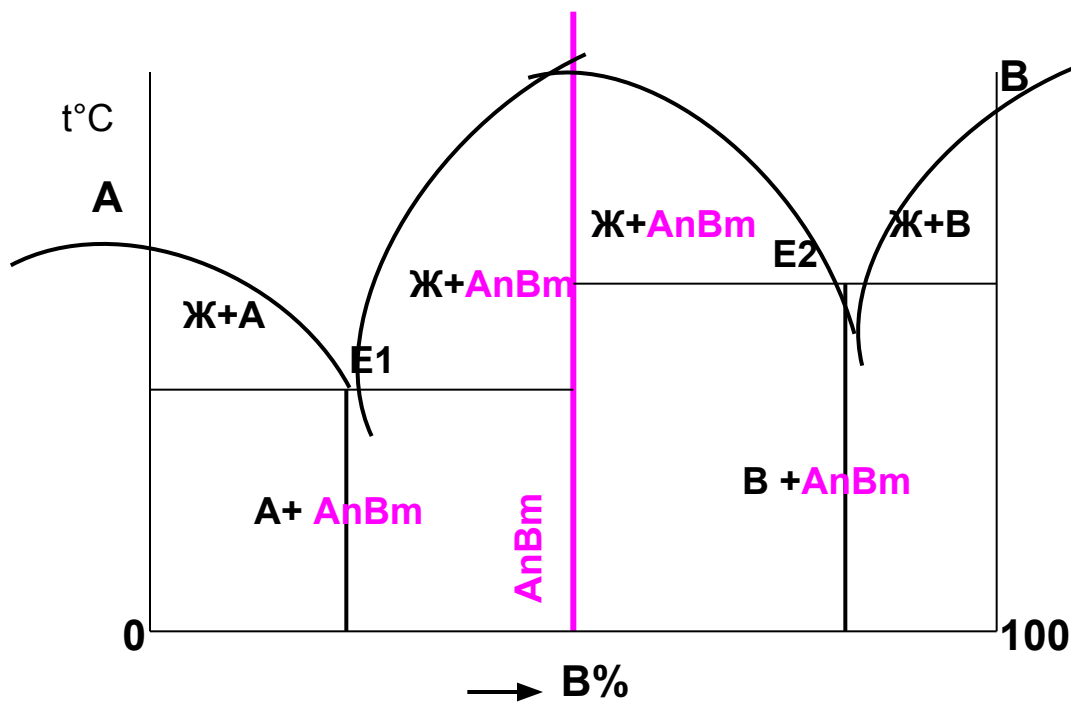
$$\beta = F3 / FG$$

Количество структурных составляющих при температуре эвтектического превращения:

$$(\alpha + \beta) = D2 / DE$$

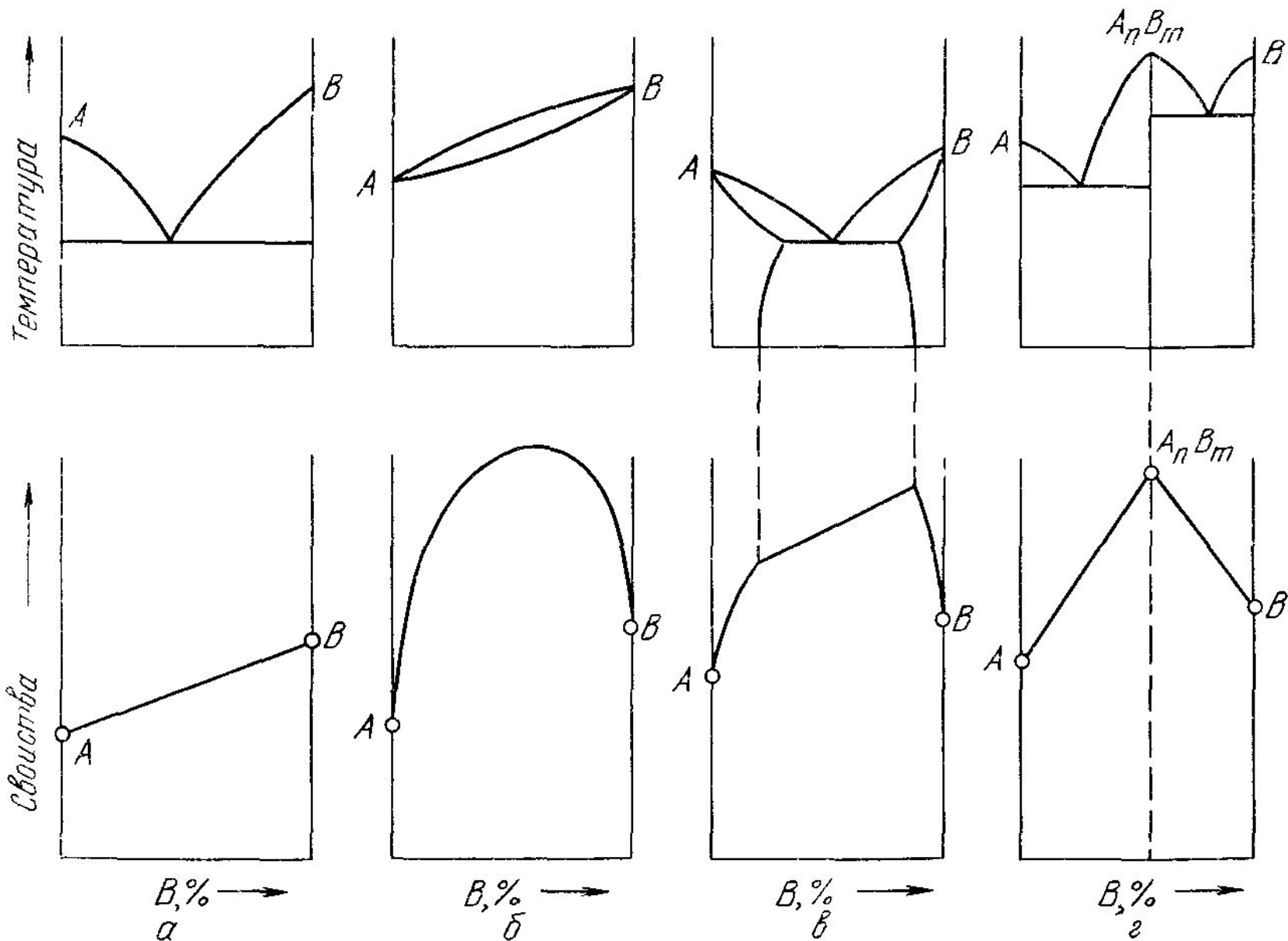
$$\alpha = E2 / DE$$

Диаграмма с устойчивым химическим соединением

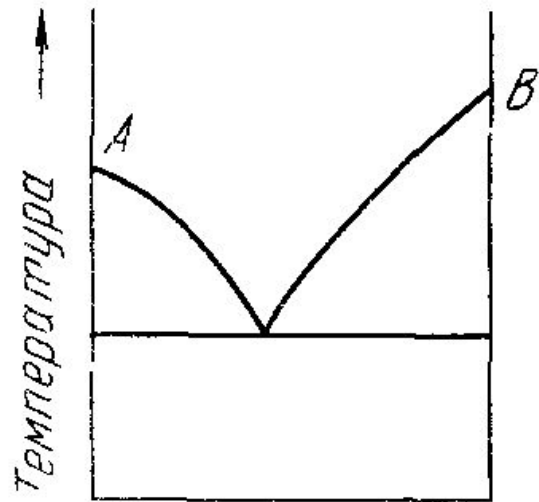


Хим. соединение и чистые компоненты не образуют в твердом состоянии растворов. **Компоненты:** А, В, $AnBm$ – можно рассматривать как однокомпонентную систему

Свойства сплавов и диаграмма их состояния

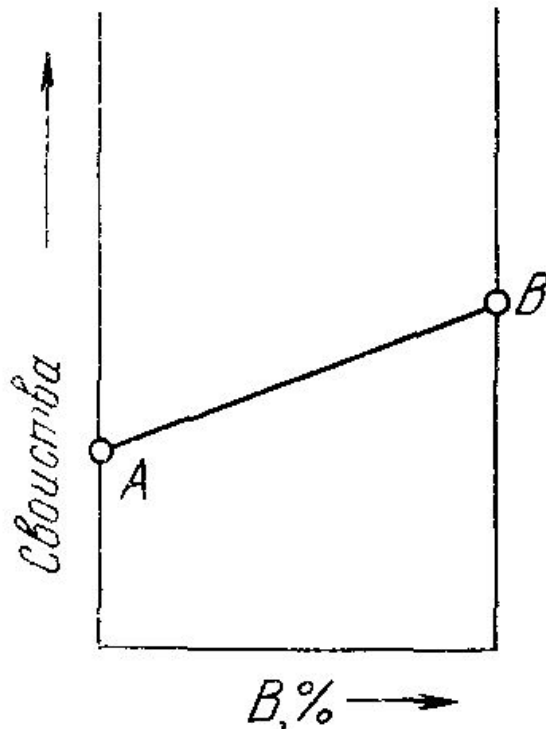


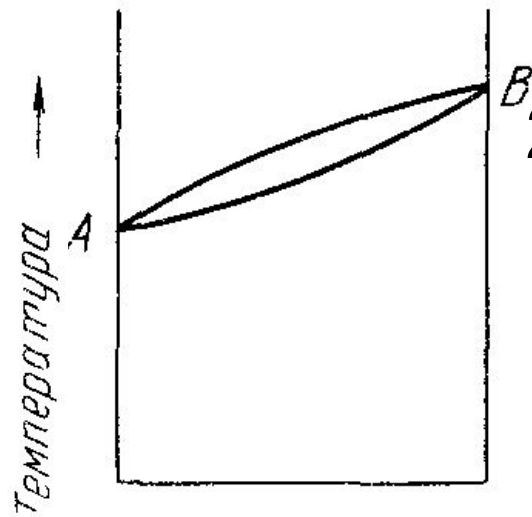
1. Сплав с эвтектикой (механическая смесь компонентов)



При образовании смесей свойства сплава изменяются линейно (аддитивно).

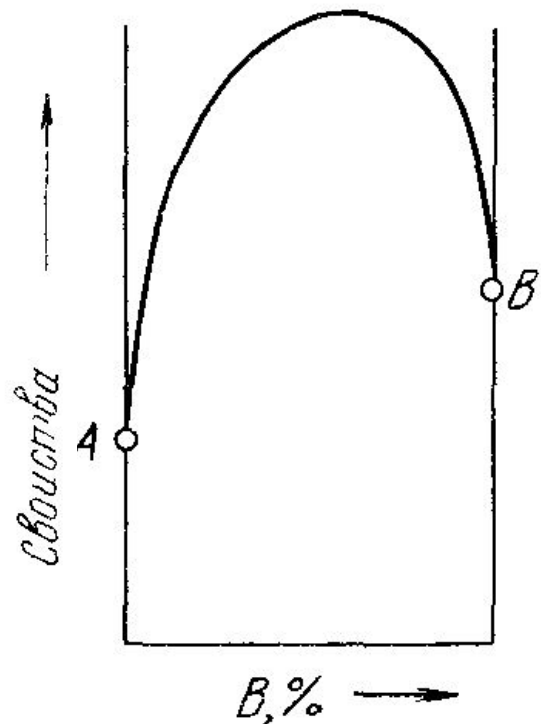
Свойства сплава находятся в интервале между свойствами компонентов.





2. Твердый раствор с неограниченной растворимостью компонентов

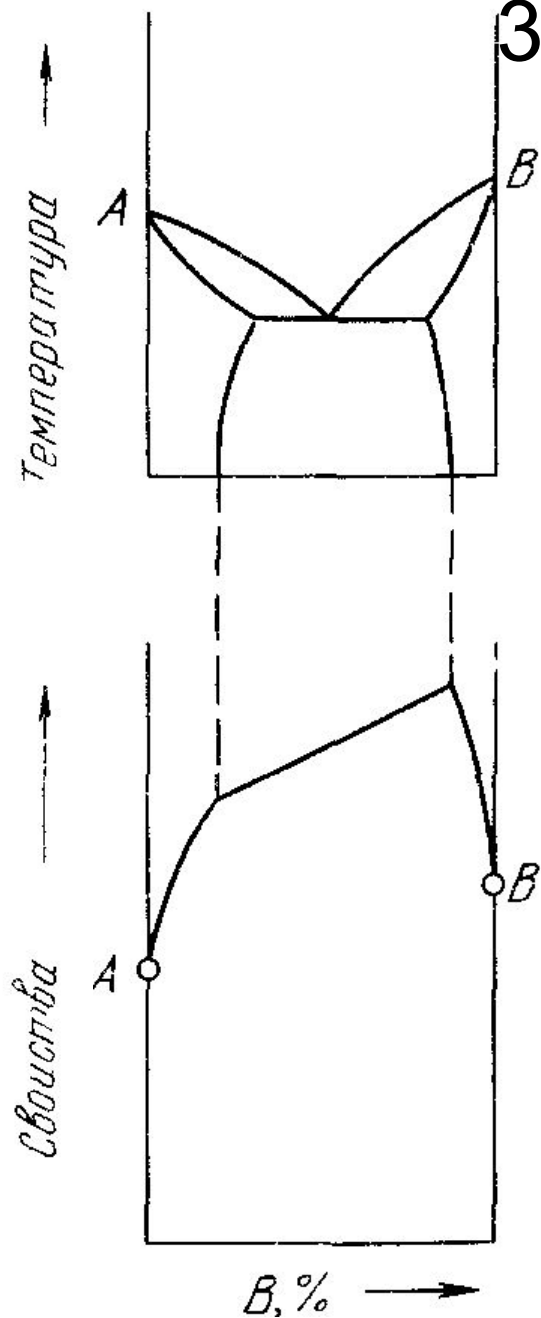
В твердом растворе свойства сплава изменяются по криволинейной (близкой к параболе) зависимости.



Свойства сплава (н-р, электросопротивление) могут быть значительно выше (ниже) свойств компонентов.

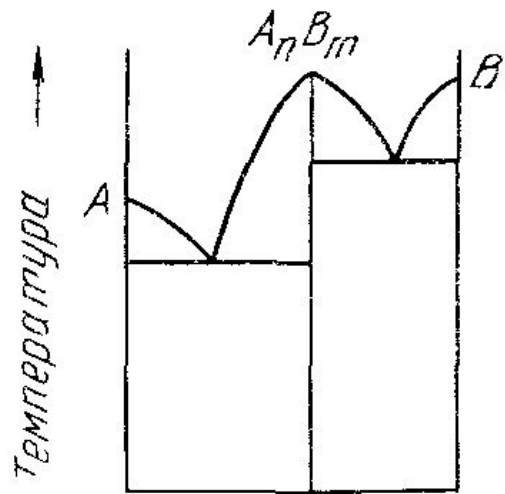
Закон Курнакова – распад твердого раствора на две (или более) фаз приводит к росту электропроводности.

3. Ограниченный твердый раствор



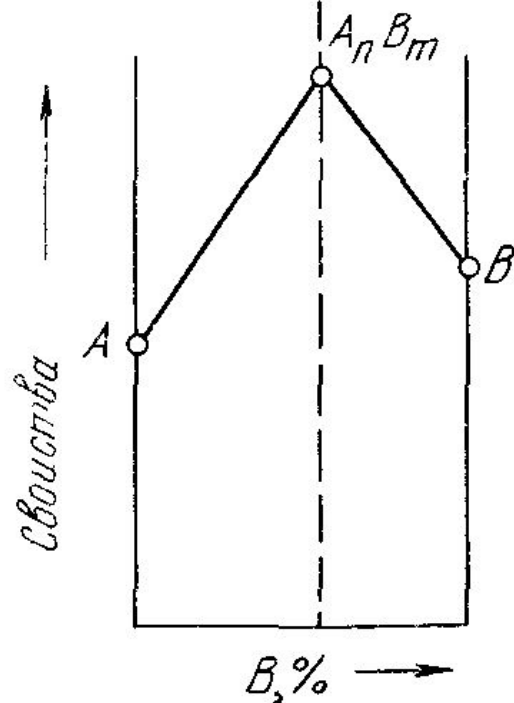
В интервале концентраций, отвечающем однофазным твердым растворам, свойства изменяются по криволинейному, а в двухфазной области диаграммы – по прямолинейному закону.

Крайние точки на прямой – это свойства чистых фаз, предельно насыщенных твердых растворов, образующих данную смесь.



4. Образование химического соединения

При образовании химического соединения на диаграмме возникает максимум (минимум).



Эта точка перелома кривой называется сингулярной (особой) точкой, которая позволяет определить стехиометрическое соотношение компонентов в химическом соединении

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: $T_{пл} = 1539^{\circ} \text{C}$; в твердом состоянии может находиться в двух модификациях: α (δ – высокотемпературная модификация) - решетка о.ц.к. и γ – решетка г.ц.к.; при 768°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 : $T_{пл} = 1250^{\circ}\text{C}$; кристаллическая решетка крайне сложна; аллотропических превращений не испытывает; магнитные свойства теряет при 217°C ; имеет практически нулевую пластичность; при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода (графита); твердый раствор металлов на базе решетки цементита называют **легированным цементитом.**

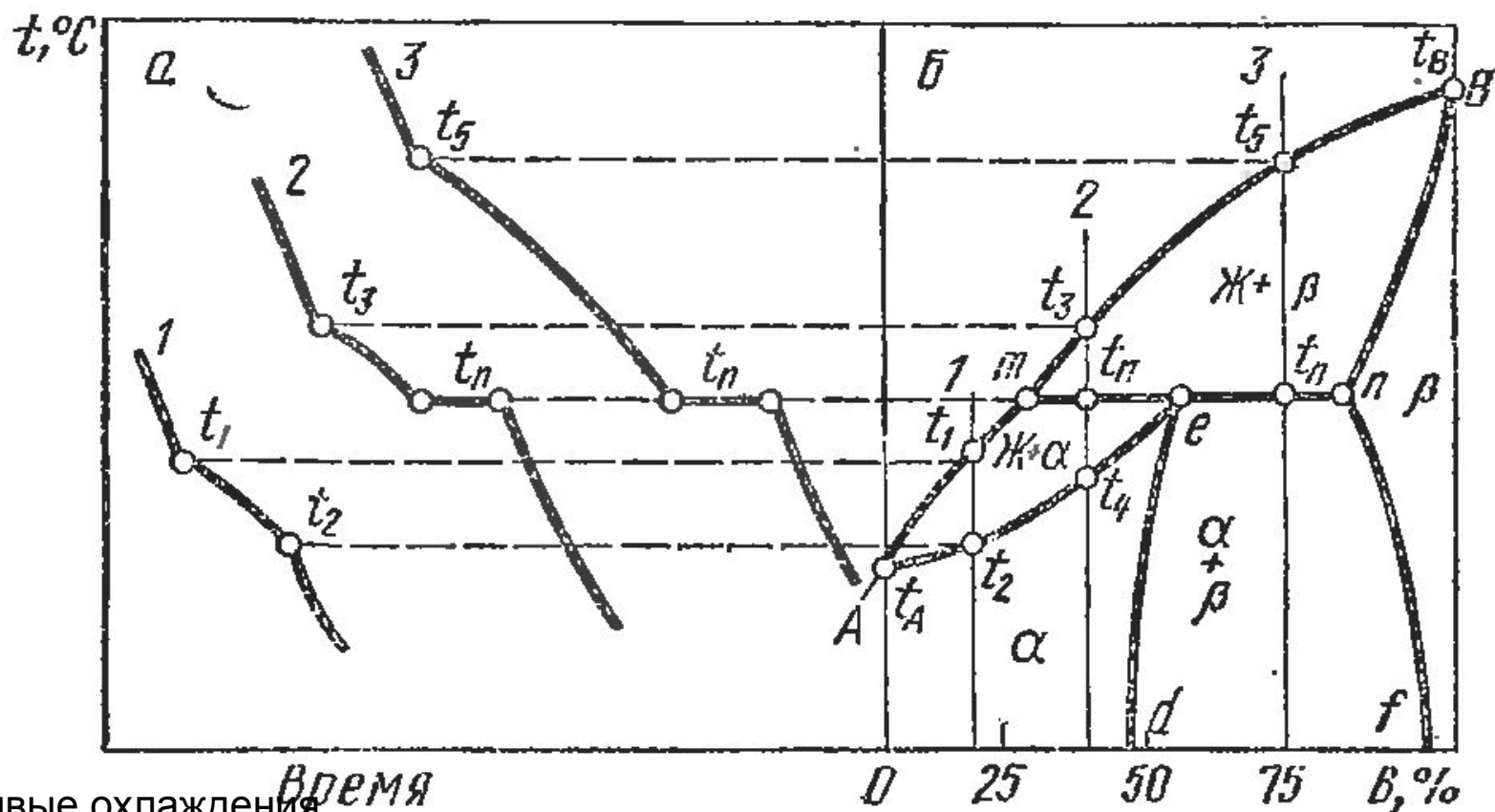
Обозначения, принятые для дальнейшего изложения.

- **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/

Нонвариантные реакции на диаграмме

1. $T=1499^{\circ}\text{C}$ (линия HJB): $L(B)+\Phi(H)\rightarrow A(J)$ - **перитектическая** реакция, наблюдается только у сплавов с содержанием углерода от 0,1% до 0,5%.
2. $T=1147^{\circ}\text{C}$ (линия ECF): $L(C)\rightarrow A(H)+\zeta$ – **эвтектическая** реакция, наблюдается у сплавов с содержанием углерода более 2,14% C, образовавшуюся в результате реакции **эвтектическую смесь** называют **ледебуритом**.
3. $T=727^{\circ}\text{C}$ (линия PSK): $A(S)\rightarrow\Phi(P)+\zeta$ – **эвтектоидная** реакция, наблюдается у всех сплавов с содержанием углерода более 0,02%, образовавшуюся в результате реакции **эвтектоидную смесь** называют **перлитом**.

Перитектическое превращение

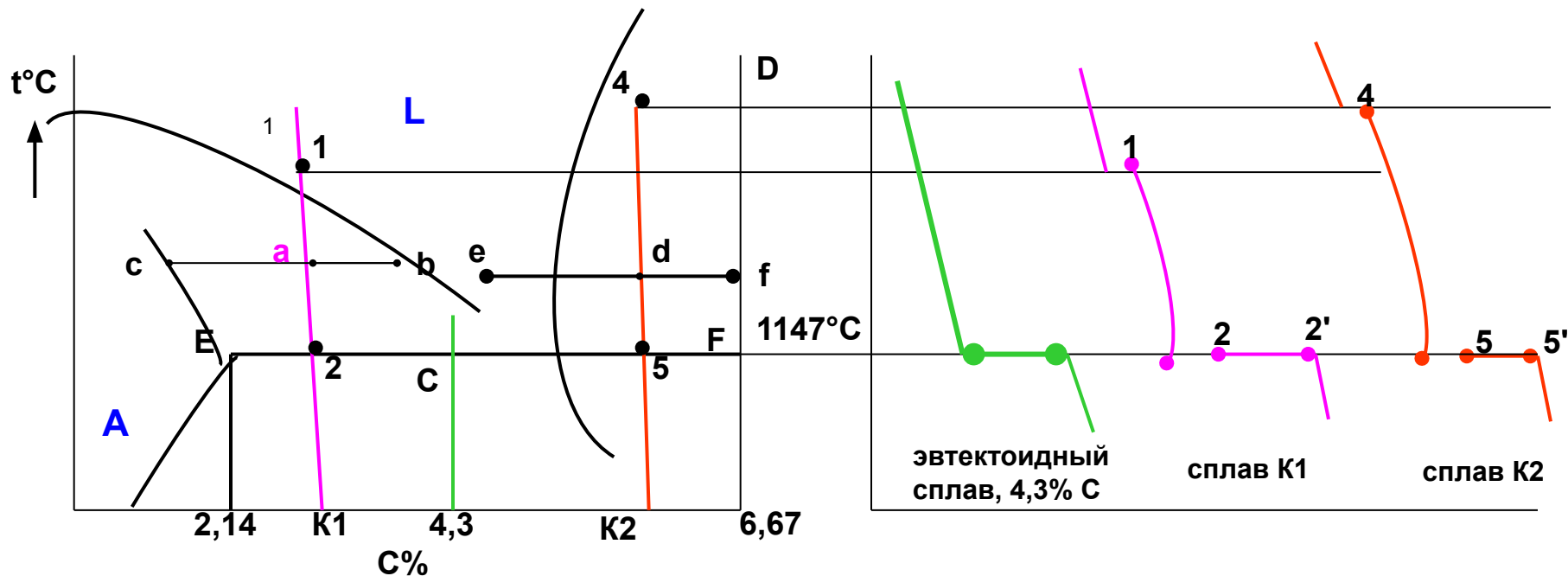


а) кривые охлаждения

б) диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы с перитектическим превращением

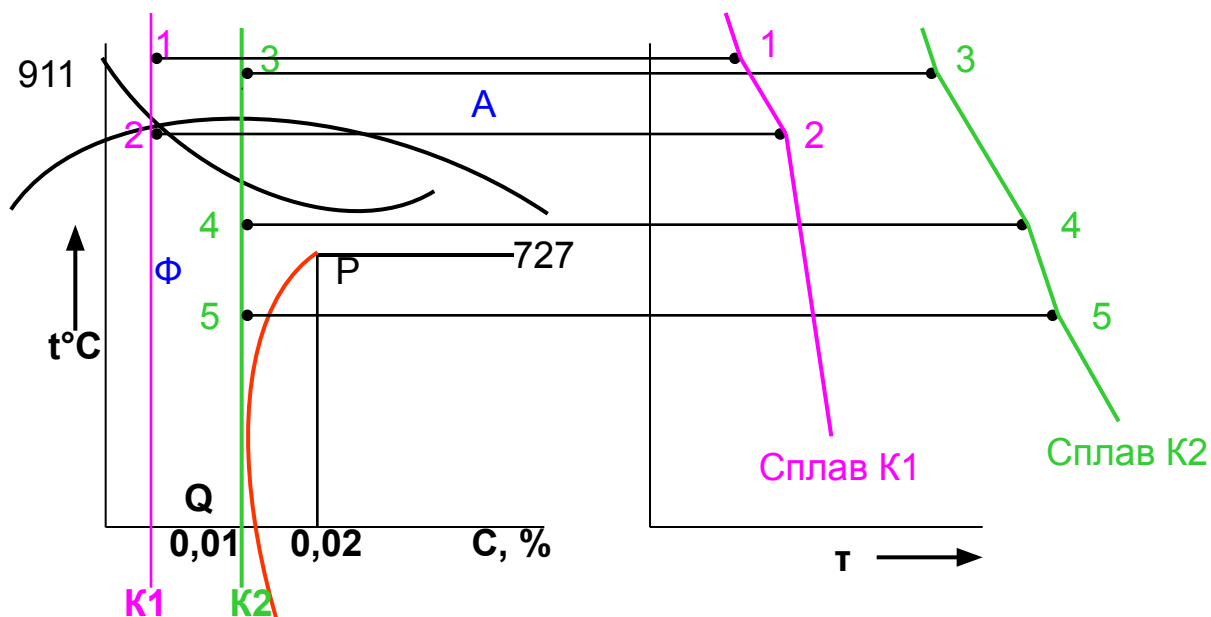
AmB – линия ликвидус; AenB – линия солидус; e – максимальная растворимость B в A; n – предельная растворимость A в B; men – линия перитектического превращения.

Процессы кристаллизации сплавов с содержанием углерода более 2,14%



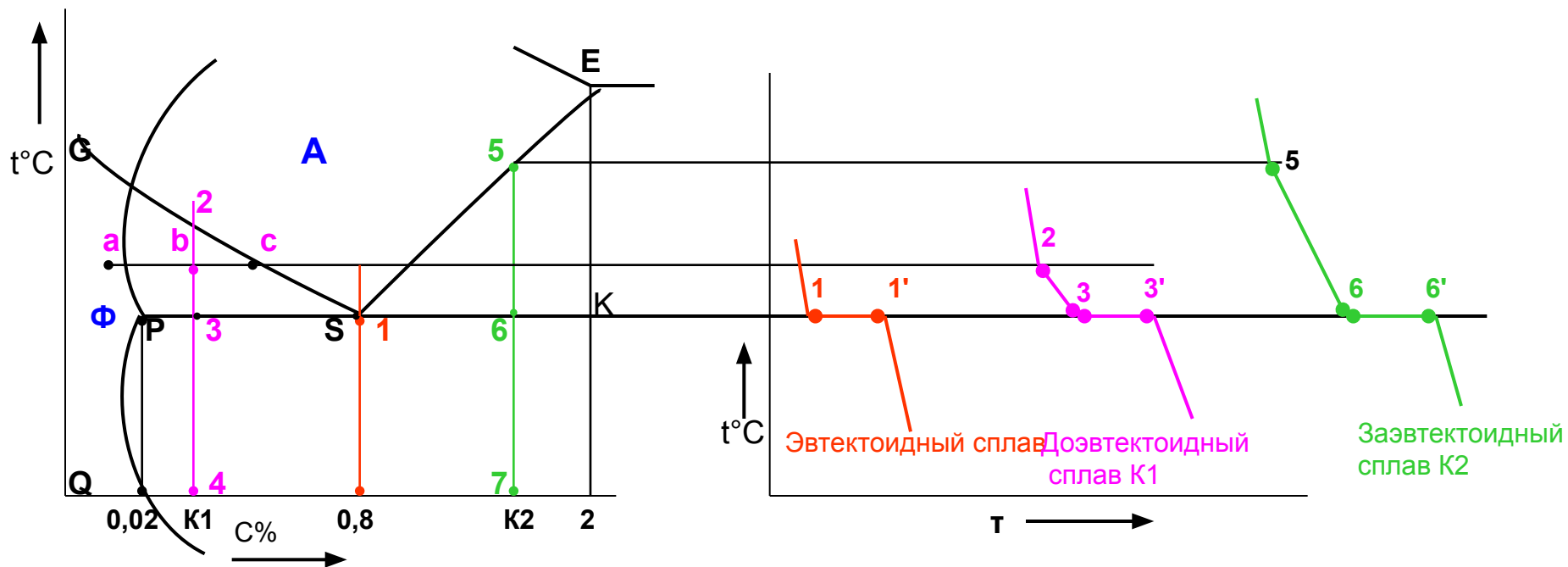
1. Первичная кристаллизация заканчивается **эвтектической** реакцией: $L(4,3\%C) \rightarrow A(2,14\%C) + Ц(6,67\%C)$; в сплаве, содержащем 4,3%С происходит только эта реакция, структура в результате первичной кристаллизации – ледобурит.
2. В **доэвтектическом** сплаве K2 сначала идет выделение первичного аустенита; в точке **а** 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



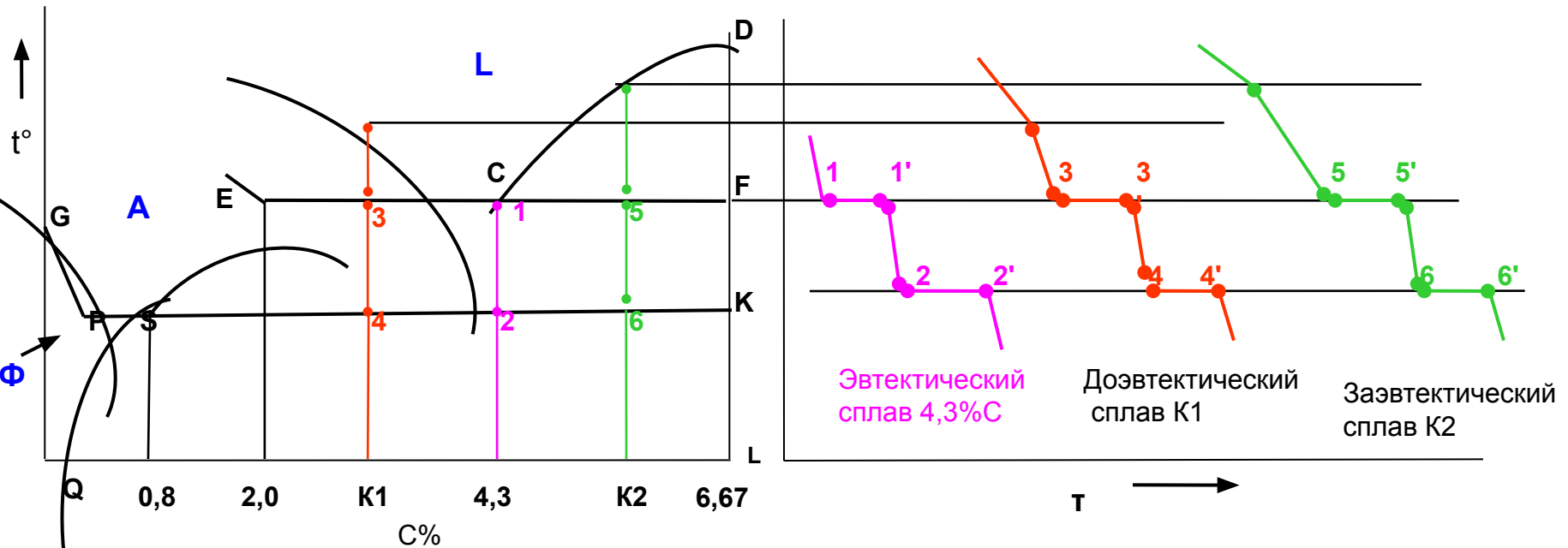
1. Сплав типа K1 (содержание углерода $0,01 < C\% < 0,02$) : при охлаждении в интервале температур 1 – 2 происходит превращение $A \rightarrow \Phi$; ниже точки 2 сплав состоит из однородного α -твердого раствора феррита (Φ).
2. Сплав типа K2 (содержание углерода $0,01 < C\% < 0,02$): этот сплав отличается от сплава K1 тем, что вертикаль данного сплава пересекает линию PQ в точке 5. Ниже точки 5 происходит выделение из сплава высокоуглеродистой фазы – цементита (ζ), 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 $A \rightarrow \Phi + \text{Ц}$; 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 ³³ |

Маркировка различных групп углеродистых сталей обыкновенного качества

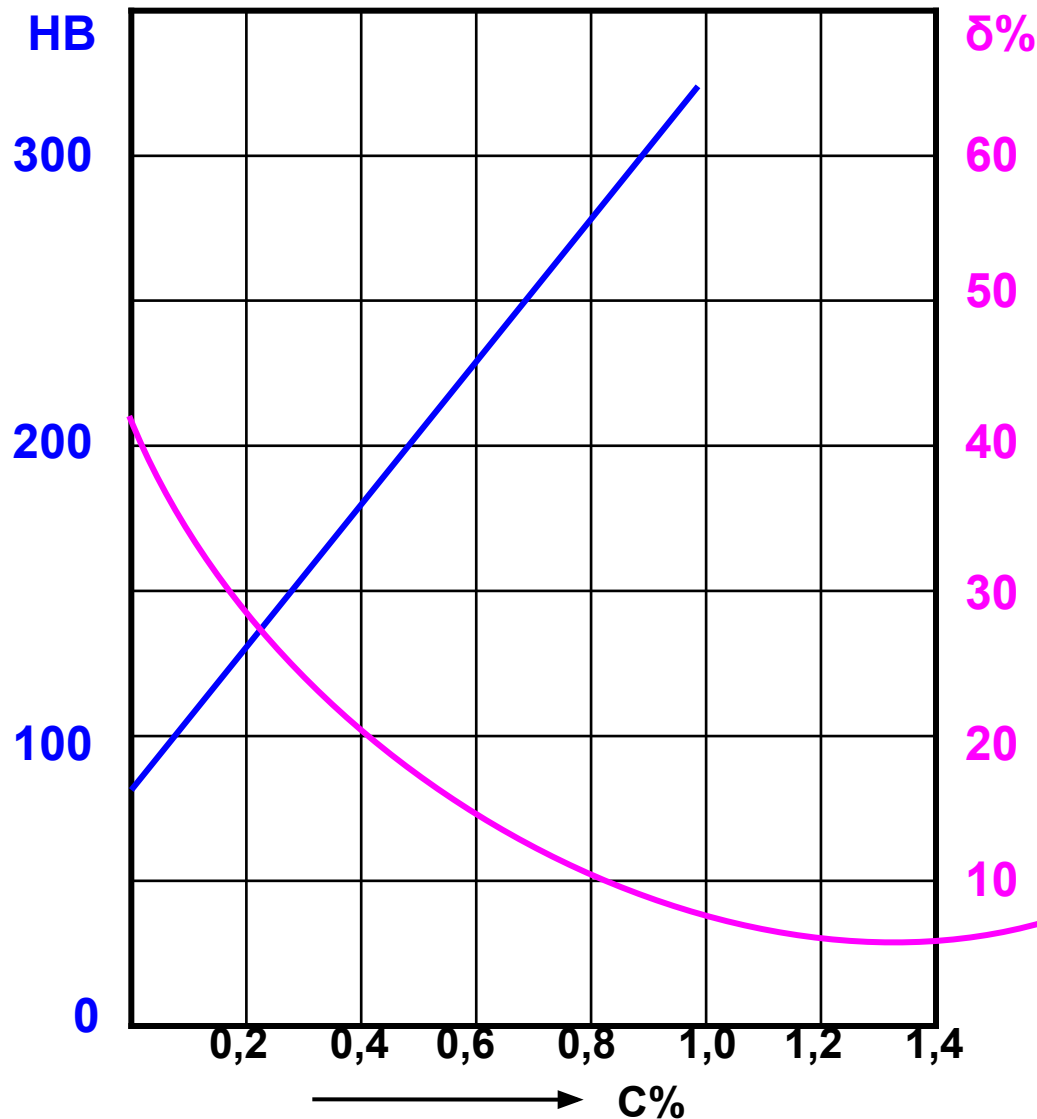
- 1. Группа А** – с гарантируемыми механическими свойствами (сталь не подвергается горячей обработке у потребителя): маркируется буквами Ст и цифрами от 1 до 7, являющимися порядковым номером. Например, **Ст 3**.
- 2. Группа Б** – с гарантируемым химическим составом (подвергается горячей обработке у 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



НВ – 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. 40 |

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

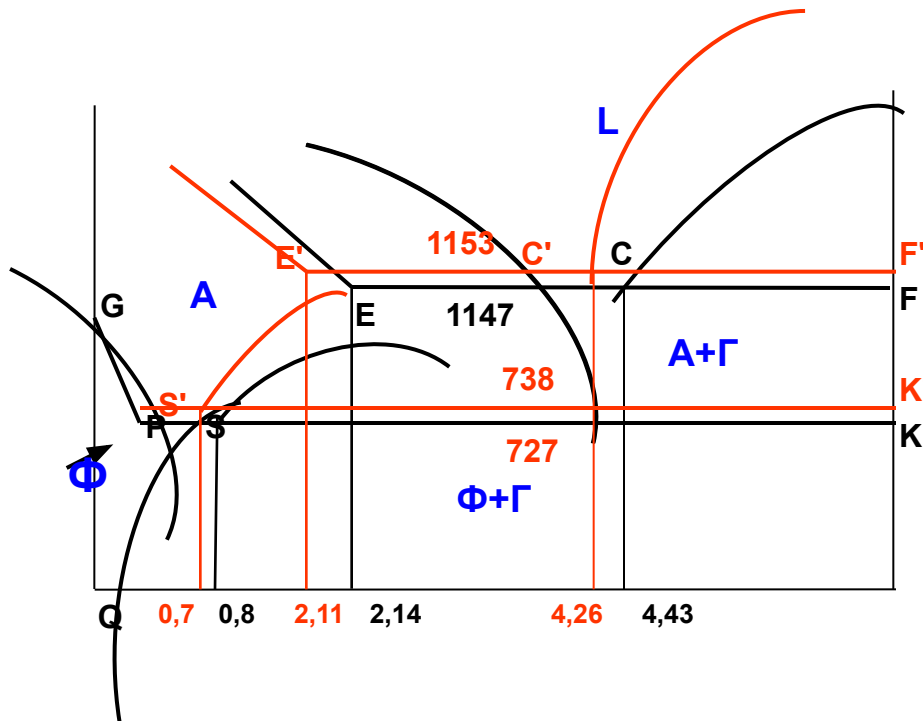
Система маркировки по ГОСТу

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. |

Процесс графитизации



При определенных кинетических условиях и диффузионных процессах при охлаждении вместо цементита образуется графит (Г).

Диаграмма Fe – C называется стабильной, а Fe – Ц – метастабильной. Образование графита из жидкости или аустенита происходит в узком интервале температур между линиями стабильной и метастабильной диаграмм то есть в условиях малых переохлаждений и, следовательно при малых скоростях охлаждения

Кроме того, образование графита возможно при нагреве цементита (Ц – неустойчивое соединение) с образованием $A + Г$ или $Ф + Г$.

1. $E'C'F'$ (1153°) – линия фазового равновесия $L \leftrightarrow A + Г$.
2. $P'S'K'$ (738°) – линия фазового равновесия $A \leftrightarrow Ф + Г$

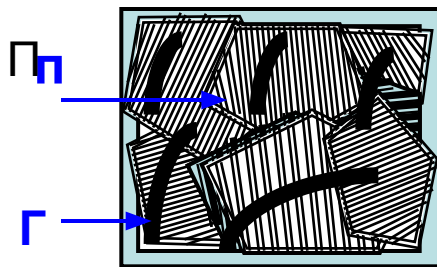
Чугуны

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

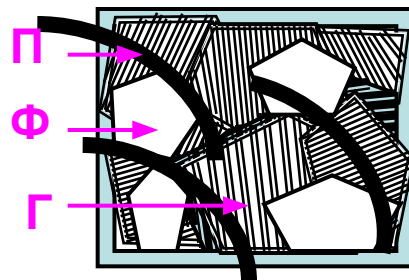
- структура в не нагретом состоянии: $\text{Ц} + \text{П}(\text{Ф} + \text{Г})$; т.е. весь углерод находится в форме цементита;
- свойства: высокая твердость и износостойкость, хрупкость, практически не поддается обработке режущим инструментом;
- марки: ИЧХ3, ИЧХ5, ИЧХ15... (износостойкий хромистый чугун 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

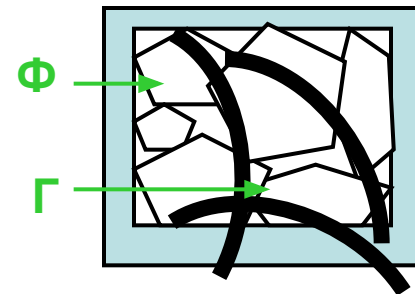
- Излом такого чугуна имеет серый цвет. Обладает хорошими литейными свойствами. В структуре присутствует графит, количество, форма и размеры которого изменяются в широких пределах. По строению металлической основы серые чугуны разделяют на: серый перлитный чугун (1); серый феррито-перлитный чугун (2);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



1



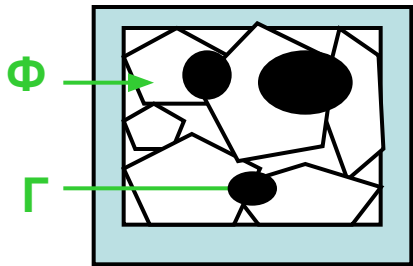
2



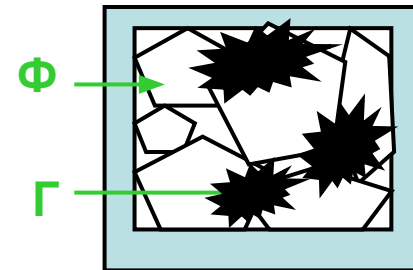
3

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. Коленчатые 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.