

# СООТЕЧЕСТВЕННИКИ, ВНЁСШИЕ БОЛЬШОЙ ВКЛАД В СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭТОЙ НАУКИ

- ЛОМОНОСОВ МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ – 1742 ГОД  
– ПЕРВЫЙ В РОССИИ ПЕЧАТНЫЙ ТРУД ПО МЕТАЛЛУРГИИ
- АНОСОВ ПАВЕЛ ПЕТРОВИЧ – ОСНОВОПОЛОЖНИК  
МЕТАЛЛУРГИИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ; 1831 Г. –  
ПРИМЕНИЛ МИКРОСКОП; УСТАНОВИЛ СВЯЗЬ МЕЖДУ  
СТРОЕНИЕМ МЕТАЛЛОВ И ИХ СВОЙСТВАМИ; 1883 Г. –  
СОБЩИЛ О ПОЛУЧЕНИИ БУЛАТА
- ЧЕРНОВ ДМИТРИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ –
- 1831...1921Г.Г. – ПОЛИМОРФИЗМ ЖЕЛЕЗА, ОСНОВОПОЛОЖНИК  
ДИАГРАММЫ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД

■ **БАРДИН ИВАН ПАВЛОВИЧ** – *СОВЕТСКИЙ  
МЕТАЛЛУРГ НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ*

**ЛЕБЕДЕВ СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ** – *ХИМИК  
– ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО  
ИСКУССТВЕННОГО КАУЧУКА*

**БУТЛЕРОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ**  
*ХИМИК - ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ  
ВЕЩЕСТВ - ОСНОВА ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТМАСС*

**БЕНАРДОС НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ** –  
*ПРИМЕНИЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ДУГУ – ДЛЯ СВАРКИ  
УГОЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ*

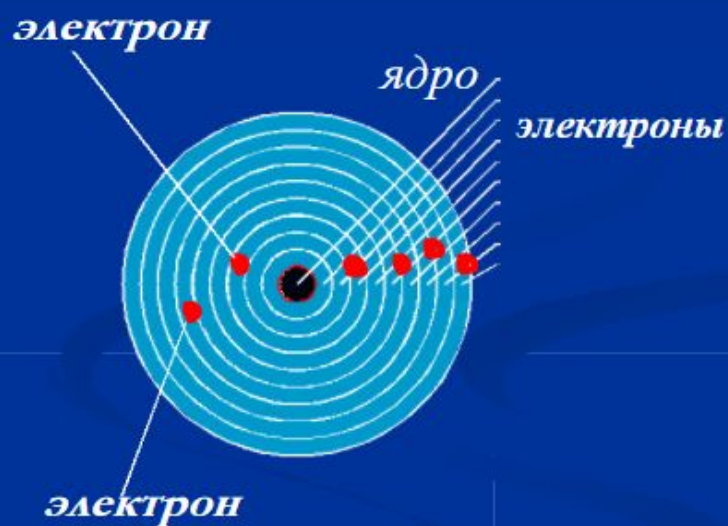
**Металлы** представляют собой поликристаллические тела, состоящие из большого числа мелких ( $10...1 - 10...5\text{см}$ ) различно ориентированных по отношению друг к другу кристаллов

### **Характерные свойства металлов**

1. **Высокая тепло- и электропроводность.**
2. **Положительный температурный коэффициент электросопротивления.**
3. **Способность испускать при нагреве электроны (термоэлектронная эмиссия)**
4. **Обладают отражательной способностью.**
5. **Способность к пластической деформации.**

# Строение металлов

- Металлы, как и все вещества в природе, состоят из атомов.
- Как у всех химических элементов, атом металла состоит из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него по энергетическим уровням отрицательных частиц-электронов



# Легированные стали

Сталь, содержащая, кроме постоянных примесей - - Mn, Si, P, S в обычных концентрациях, - один или несколько специальных элементов или повышенные концентрации Mn, Si, называется легированной.

## ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СВОЙСТВА СТАЛИ

<b>Марганец</b>	Повышает прочность и твердость стали, увеличивает прокаливаемость, уменьшает коробление при закалке, повышает режущие свойства стали, но вместе с тем способствует росту зерна при нагреве, что снижает стойкость стали к ударным нагрузкам.
<b>Хром</b>	Затрудняет рост зерна при нагреве, повышает механические свойства стали при статической и ударной нагрузке, повышает прокаливаемость и жаростойкость, режущие свойства и стойкость на истирание.
<b>Кремний</b>	Значительно повышает упругие свойства стали, но несколько снижает ударную вязкость.
<b>Никель</b>	Повышает упругие свойства стали, не снижая вязкости, улучшает прокаливаемость и механические свойства стали. При значительных количествах никеля сталь становится немагнитной, коррозионностойкой и жаропрочной.
<b>Молибден</b>	Повышает твердость и режущие свойства стали, уменьшает склонность стали к хрупкости при отпуске, повышает жаростойкость стали.
<b>Кобальт</b>	Повышает прочность стали при ударных нагрузках, улучшает жаропрочность и магнитные свойства стали.
<b>Вольфрам</b>	Повышает твердость и режущие свойства стали, повышает жаростойкость стали.
<b>Ванадий</b>	Способствует раскислению стали, повышает твердость и режущие свойства стали.
<b>Титан</b>	Является раскислителем стали, способствует удалению из нее азота.

# СХЕМА РАЗНОВИДНОСТЕЙ ТВЕРДОГО СОСТОЯНИЯ

**ТВЁРДОЕ СОСТОЯНИЕ-  
МЕТАЛЛОВ**

***АМОРФНОЕ***

ПОЛУЧАЕТСЯ ПРИ БЫСТРОМ  
ОХЛАЖДЕНИИ МЕТАЛЛА-  
КРИСТАЛЛЫ НЕ УСПЕВАЮТ  
ОБРАЗОВАТЬСЯ-  
ПРАКТИЧЕСКИ ОСТАЮТСЯ НА  
ТЕХ МЕСТАХ, ГДЕ ОНИ  
НАХОДИЛИСЬ В ЖИДКОМ  
СОСТОЯНИИ

***ПОЛИ-  
КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ***

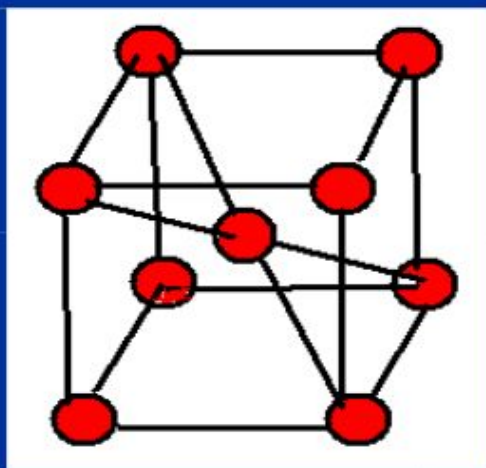
ПОЛУЧАЕТСЯ ПРИ ОБЫЧНОМ  
ОХЛАЖДЕНИИ ДЕТАЛЕЙ В  
УСЛОВИЯХ ТЕРМИЧЕСКОГО  
УЧАСТКА, ЦЕХА

# КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Металлы имеют поликристаллическое строение. Атомы в кристаллах металлов расположены упорядоченно и образуют так называемую кристаллическую решетку. Под атомно-кристаллической структурой понимают взаимное расположение атомов (ионов), существующее в реальном кристалле. Кристаллическая решетка представляет собой воображаемую пространственную сетку, в узлах которой располагаются атомы (ионы), образующие металл (твердое кристаллическое тело).

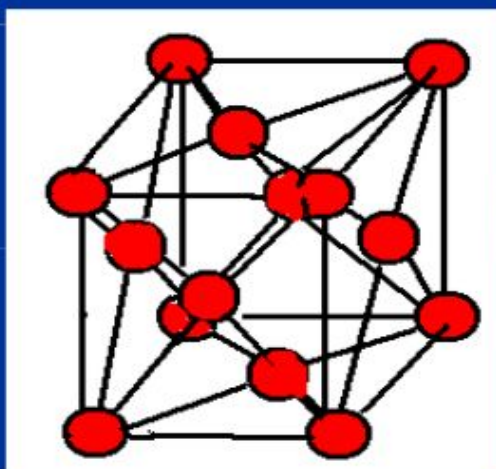
# ВИДЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТОК МЕТАЛЛОВ

*Кубическая  
объемно-  
центрированная  
решетка (ОЦК)*



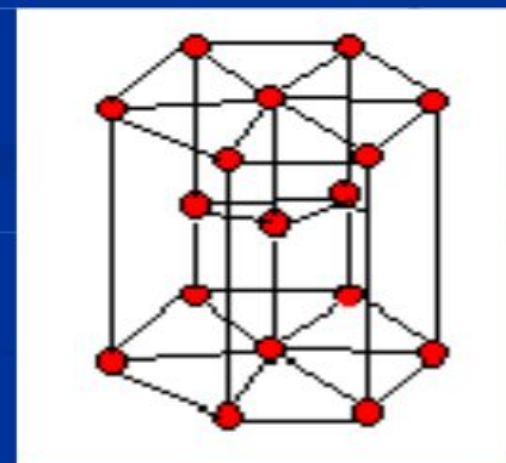
*K, Na, Li, Ti $\beta$ , Ta, W, V,  
Fe $\alpha$ , Cr, Nb, Ba и др.*

*Кубическая  
гранецентрирован  
ная решетка  
(ГЦК)*



*Pb, Ni, Ag, Au, Pd, Pt,  
Fe $\gamma$ , Cu, Co $\alpha$ , и др.*

*Гексагональная  
плотноупакованная  
решетка  
(ГПУ)*



*Mg, Ti $\alpha$ , Cd, Re, Os,  
Zn, Co $\beta$ , Be, Ca $\beta$*



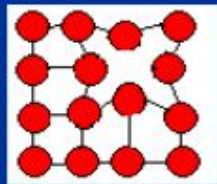
# Дефекты кристаллической решетки металлов

В действительности металлы и сплавы не имеют идеального кристаллического строения. В реальных металлах и сплавах в атомно-кристаллической структуре наблюдаются дефекты.

## ВИДЫ ДЕФЕКТОВ

### Точечные (нульмерные)

**Вакансии** – узлы решетки в которых атомы отсутствуют. Вакансии образуются в результате перехода атомов из узла решетки на поверхность или полного исчезновения с поверхности кристалла, или в результате перехода их в междоузлие.

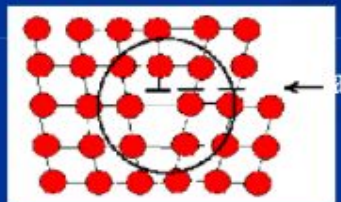


Вакансии образуются в результате нагрева, в процессе пластической деформации, рекристаллизации и при бомбардировке металла атомами или частицами высоких энергий ( ядерное облучение)

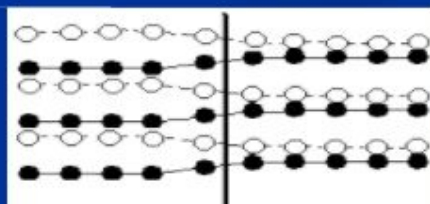
### Линейные (одномерные)

**Дислокации** – ряд вакансий или ряд межузельных атомов.

**а) Краевая дислокация** – локализованное искажение кристаллической решетки, вызванное наличием в ней «лишней» атомной полуплоскости.



**в) Винтовая дислокация** – атомные плоскости изогнуты по винтовой линии



### Поверхностные

(двумерные)

Представляют собой поверхности раздела между отдельными зернами.



б)

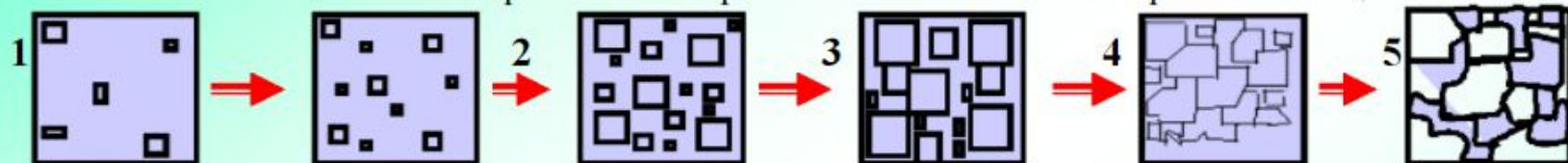


# Гомогенная (самопроизвольная) кристаллизация

В жидком металле атомы не расположены хаотично, как в газообразном состоянии, и в то же время в их расположении нет той правильности, которая характерна для твердого кристаллического тела.

При температурах близких к температуре плавления, в жидком металле возможно образование небольших группировок, в которых атомы упакованы так же, как и в кристаллах. В чистом от примеси жидком металле такие группировки могут превратиться в центры кристаллизации.

Рассмотрим этапы протекания гомогенной кристаллизации.



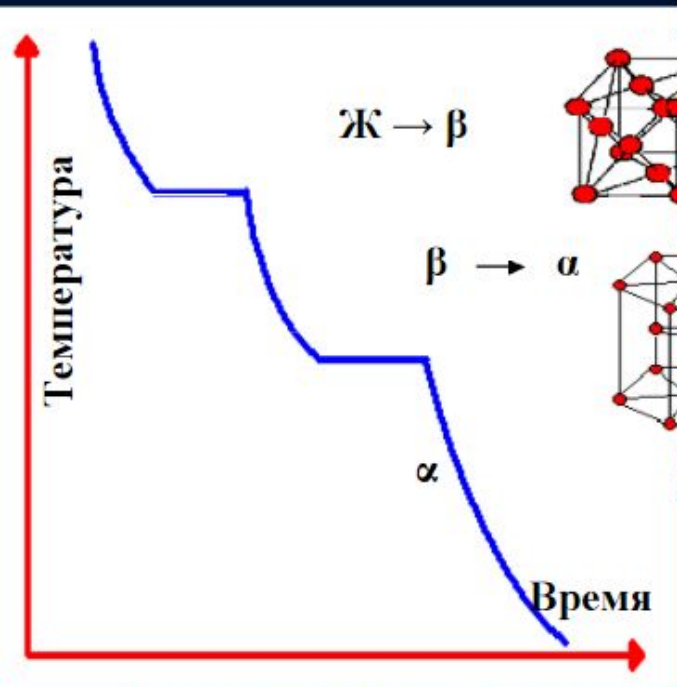
1. Образование в жидком сплаве устойчивых, способных к росту зародышей
2. Свободный рост кристаллов. Кристаллы правильной геометрической формы
3. При столкновении растущих кристаллов их рост в этом направлении прекращается
4. Кристаллы растут только в направлении где есть свободный доступ к «питающей» жидкости
5. Кристаллы неправильной формы - зерна

Структура металла зависит от соотношения двух скоростей:  $V_1$  – скорость образования зародышей и  $V_2$  – скорость роста зародышей.

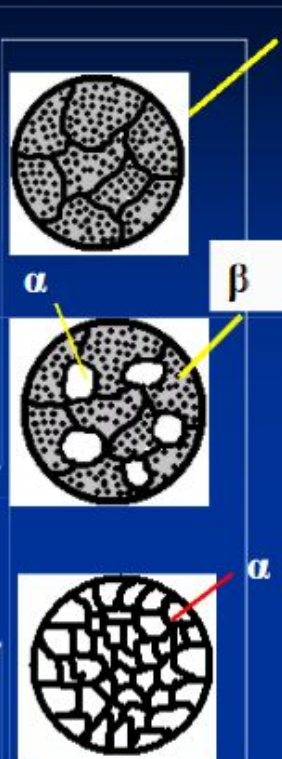
**Чем больше скорость образования зародышей и меньше скорость их роста, тем меньше размер кристалла (зерна), выросшего из одного зародыша, и, следовательно, более мелкозернистой будет структура металла.**

При небольшой скорости переохлаждения  $\Delta T$  (малой скорости охлаждения) число зародышей мало. В этих условиях будет получено крупное зерно.

# Полиморфные превращения



Кривая охлаждения металла, имеющего две полиморфные формы



Некоторые металлы и сплавы при изменении внешних условий (температуры, давления) видоизменяют свое кристаллическое строение, то есть тип кристаллической решетки.

**Изменение типа кристаллического строения в зависимости от внешних условий (ТЕМПЕРАТУРЫ, ДАВЛЕНИЯ) называется полиформизмом, или аллотропией.**

**Полиморфное превращение** по своему механизму - кристаллизационный процесс, осуществляемый путем образования зародышей и последующего их роста. Зародыши новой модификации наиболее часто возникают на границах зерен исходных кристаллов.

**Полиморфное превращение сопровождается скачкообразным изменением всех свойств металлов или сплавов: удельного объема, теплоемкости, теплопроводности, электрической проводимости, магнитных свойств, механических и химических свойств и т.д.**

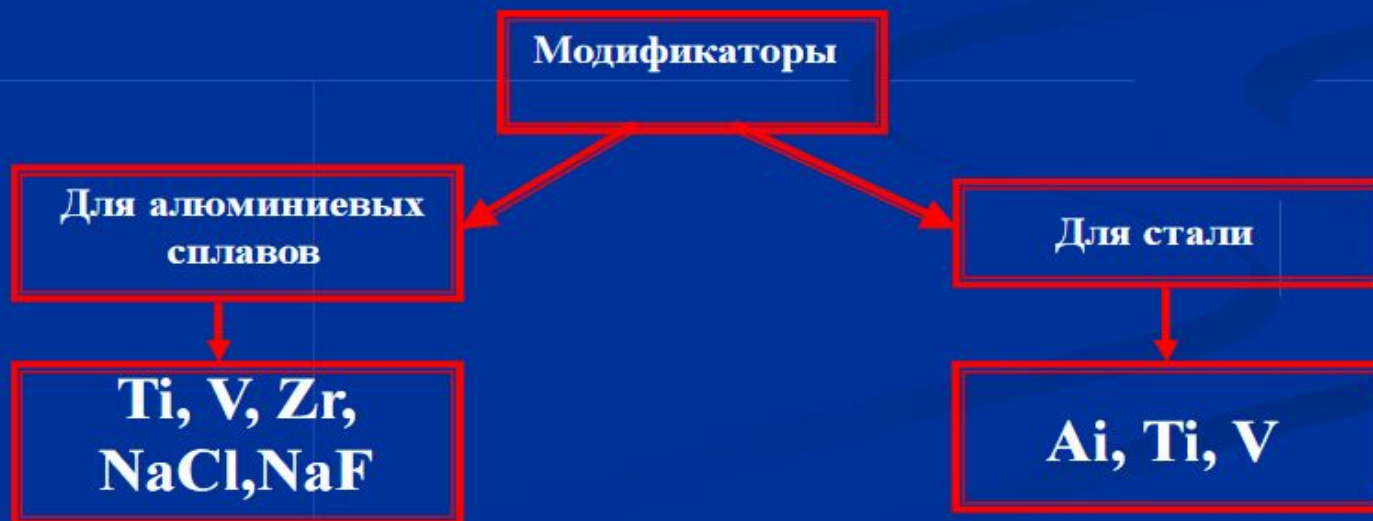
# Гетерогенное образование зародышей

В технических металлах всегда присутствует большое количество различных примесей (окислов, неметаллических включений), которые облегчают образование зародышей.

*Если частицы примеси имеют одинаковую кристаллическую решетку с решеткой затвердевающего металла (так называемые изоморфные примеси) и параметры сопрягающихся решеток примеси и кристаллизующегося вещества примерно одинаковы, то они играют роль готовых центров кристаллизации.*

Чем больше примесей, тем больше центров кристаллизации, тем меньше получается зерно. Такое образование зародышей называется **гетерогенным**.

*Модифицирование – использование специально вводимых в жидкий металл или сплав примесей, для получения мелкого зерна.*



## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МАРКИРОВКИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Сталь легированная конструкционная ГОСТ 4543 – 71

15X, 20X, 50X, 15Г, 20Г, 50Г, 50Г2, 18ХГ, 40ХГТР, 30Х3МФ, 40ХФА, 30ХГСА, 38Х2МЮА

Буквы в марках легированной стали обозначают следующие элементы: **X** – хром, **Г** – марганец, **Н** – никель, **С** – кремний, **М** – молибден, **Ф** – ванадий, **К** – кобальт, **Т** – титан, **В** – вольфрам, **Ю** – алюминий, **Д** – медь, **Б** – ниобий, **А** – азот, **П** – фосфор, **Ц** – цирконий, **Р** – бор.

Цифра справа от буквы обозначает содержание данного элемента в процентах. Если цифры справа от буквы нет, то содержание данного элемента около или менее 1%. Буква А в конце марки обозначает что сталь высококачественная, буква Ш – особовысококачественная.

**Стали конструкционные повышенной и высокой обрабатываемостью резанием (автоматные)**

ГОСТ1414 - 75

А11, А12, А20, А30, А35Е, А40Г, АС40, АЦ20 Буква **А** показывает, что сталь автоматная, т.е. предназначенная для изготовления деталей на автоматических линиях, так как хорошо обрабатываются резанием. **Е** – с селеном, **АС** – со свинцом, **АЦ** – с кальцием.

## Инструментальные стали

Сталь нелегированная инструментальная ГОСТ 1435 - 90

У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12, У13, У7А, У8ГА, У9А, У10А, У121А, У13А

Цифра в марках инструментальных сталей обозначает содержание в них углерода в **десятих долях процентов**. Буква **А** в конце марки – сталь высококачественная.

Сталь инструментальная легированная ГОСТ 5950 - 73

7ХФ, 13Х, 9Х5ВФ, Х12, 8Х6НФТ Первая цифра показывает содержание углерода в **десятих долях процента**. Если первой цифры нет, то содержание углерода около 1%

Сталь инструментальная быстрорежущая ГОСТ 19265 - 73

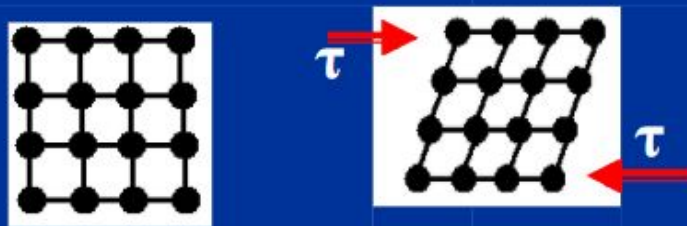
Р18, Р19, Р6АМ5, 11РЗАМЗФ2 Где Р – сталь быстрорежущая

# Виды деформаций

Деформацией называется изменение размеров и формы тела под действием приложенных сил

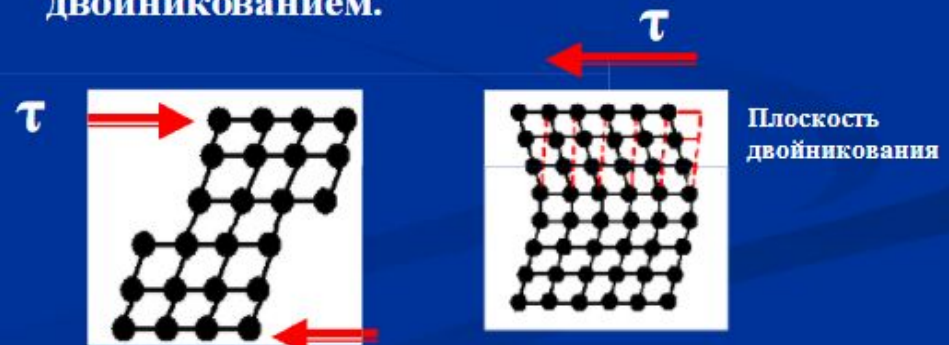
## Упругая деформация

Упругой деформацией называют деформацию, влияние которой на форму, структуру и свойства тела полностью устраняется после прекращения действия внешних сил. Под действием приложенной нагрузки происходит только незначительное относительное и полностью обратимое смещение атомов или поворот блоков кристалла. При растяжении монокристалла возрастают расстояния между атомами, а при сжатии – сближаются.



## Пластическая деформация

При возрастании касательных напряжений выше определенной величины (предел упругости) деформация становится необратимой. При снятии нагрузки устраняется лишь упругая составляющая деформации. Часть же деформации, которую называют пластической остается. Пластическая деформация в кристаллах может осуществляться скольжением и двойникованием.



# СПЛАВЫ

- **Металлический сплав** – вещество, полученное взаимным расплавлением двух и более элементов, одним из которых хотя бы должен быть металл.
- **Компоненты** – химические элементы, образующие сплав.
- Сплав может состоять из двух или более компонентов и образовывать одну или несколько фаз.
- **Фаза** – однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую состав, строение и свойства её изменяются скачкообразно.
- Совокупность фаз, находящихся в состоянии равновесия, называют **системой**. (Например, сплавы железа с углеродом на диаграмме железо – цементит)
- В зависимости от взаимодействия компонентов, образующих сплав, при его кристаллизации могут образовываться следующие кристаллы:
  - Кристаллы компонентов, образующих сплав;
  - Кристаллы твёрдых растворов;
  - Кристаллы химических соединений;
  - Механические смеси перечисленных кристаллов в разных сочетаниях

# Структурные составляющие сплавов



**Механическая смесь**

Компоненты не взаимодействуют и каждый компонент образует свой кристалл (зерно) со своей кристаллической решеткой. Механическую смесь имеющую строго определенное соотношение компонентов и химический состав, называют эвтектикой.

**Химическое соединение**

Когда компоненты неограниченно растворимы в жидком, нерастворимы в твердом и образуют устойчивое химическое соединение с кристаллической решеткой, отличной от кристаллических решеток компонентов.

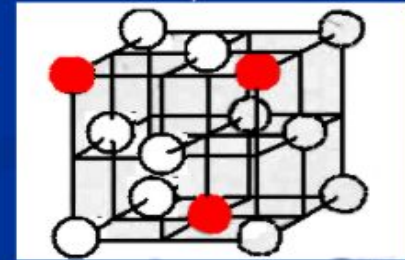
Химические соединения металла с углеродом называются карбидами, они обладают большой твердостью и хрупкостью.

**Твердый раствор**

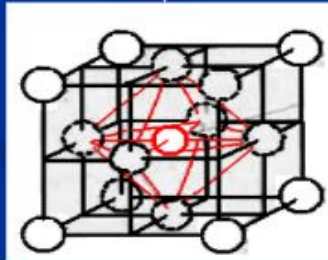
Один из компонентов сплава сохраняет свою кристаллическую решетку, а атомы другого компонента располагаются в решетке первого компонента изменяя ее размеры.

Могут быть:

**а) Твёрдыми Растворами замещения**



**б) Твёрдыми растворами внедрения**



Кристаллизацию металлических сплавов и связанные с ней многие закономерности строения сплавов описывают с помощью диаграмм состояния или диаграмм фазового равновесия.



# Диаграмма состояния сплавов

**Диаграмма состояния** – это графическое изображение состояния сплава в зависимости от его состава и температуры.

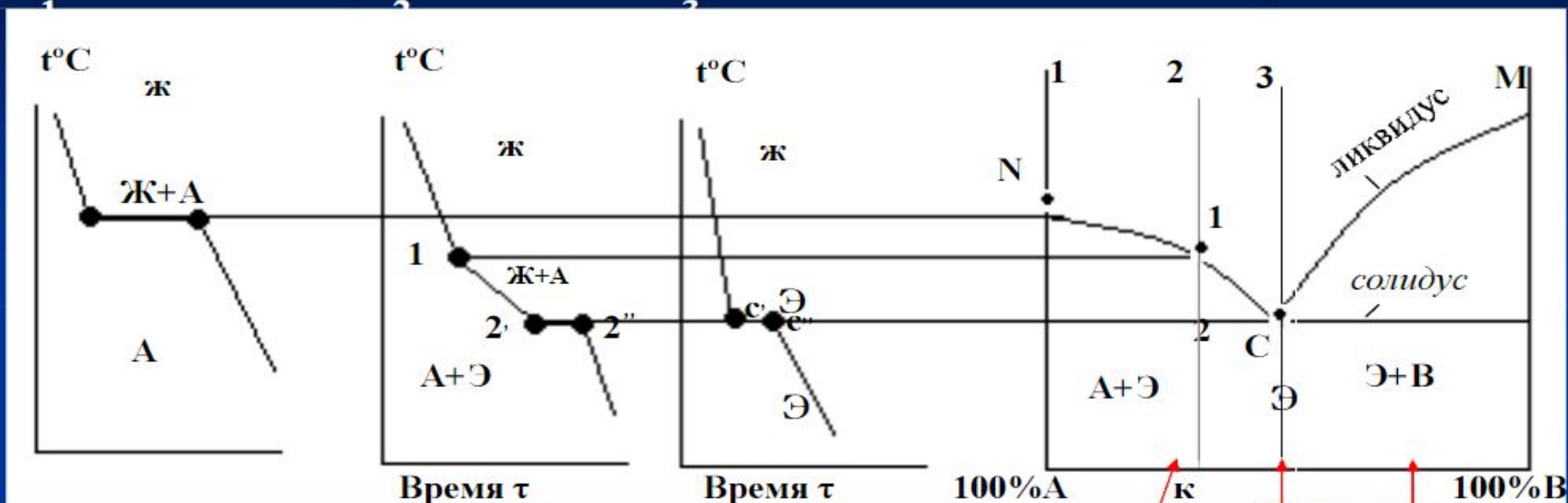
## Теоретическое и практическое значение диаграмм состояния сплавов:

1. Диаграмма дает возможность изучать фазы и структурные составляющие сплава;
2. Позволяет установить возможность проведения термической обработки и ее режимы;
3. Позволяет определить оптимальные температуры жидких сплавов при заливке литейных форм, их температурные интервалы горячей обработки давлением и др.;

**Диаграммы строятся термическим методом. Сущность метода заключается в определении критических точек на кривых охлаждения многих сплавов данной системы и переноса их в систему координат «Температура – состав».**

Температуры начала и конца фазовых превращений, определяемые по кривым охлаждения, называются **критическими точками**. По критическим точкам, соответствующим каждому сплаву данной системы и строят диаграммы состояния.

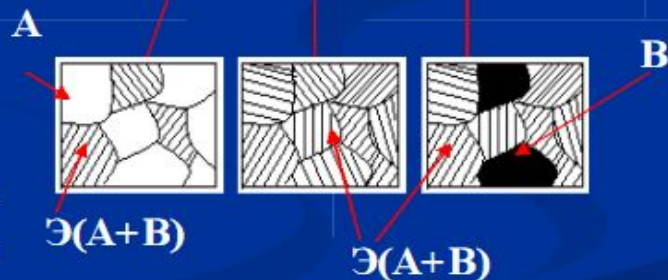
# Диаграмма состояния 1 - го типа (механические смеси)



Сплавы до т. С называются **доэвтектическими** и состоят из кристаллов компонента А и эвтектики Э(А+В)

Сплавы состава т. С называются **эвтектическими** и состоят из механической смеси кристаллов компонентов А и В, то есть Э(А<sub>тв</sub>+В<sub>тв</sub>)

Кривая охлаждения сплава 3 аналогична кривым охлаждения чистых металлов, т.е. на ней имеется только одна температурная остановка с'-с', это значит, что кристаллизация сплава происходит при постоянной температуре.



Особенность кристаллизации сплава этого состава заключается в том, что кристаллизация обоих компонентов происходит одновременно, т.е. одновременно появляются и растут кристаллы компонента А и компонента В.

*Механическая смесь двух (или более) разнородных кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкости при одной и той же температуре называется эвтектикой.*

Температура кристаллизации (или плавления при нагреве) сплавов эвтектического состава наименьшая по сравнению с любым другим сплавом этой системы. Сплавы эвтектического состава обладают наилучшими литейными свойствами.

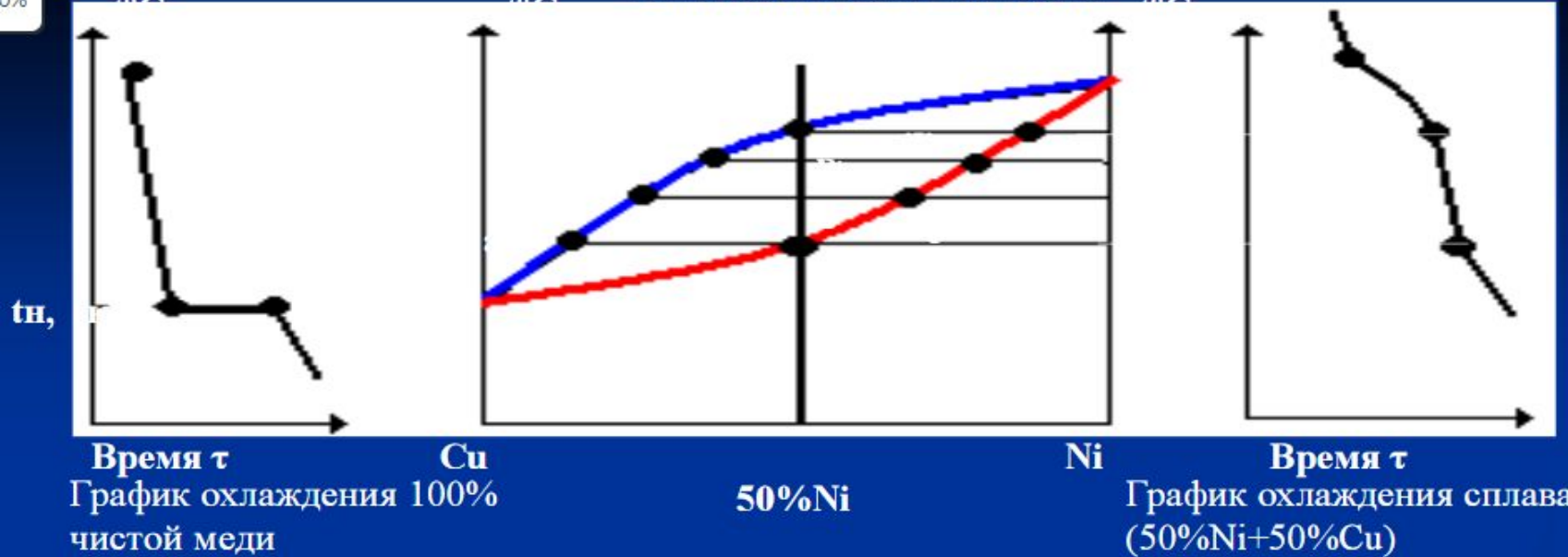
Сплавы за т. С называются Заэвтектическими и состоят из кристаллов компонента В и эвтектики.

## Связь между типом диаграммы состояния и технологическими свойствами

1. Для получения **высоких литейных свойств** концентрация компонентов в литейных сплавах должна **приближаться к эвтектическому составу**, превышая их максимальную растворимость в твердом состоянии. Эти сплавы обладают хорошей жидкотекучестью (сплав точки С).
2. Сплавы лежащие **левее точки d** (предельной растворимости в твердом растворе) и состоящие в основном из  $\alpha$  – фазы - пластичны и поэтому **хорошо куется, прокатываются, штамуются, прессуются.**
3. Пластичность сильно снижается при появлении в структуре эвтектики.

## ПРАВИЛО ОТРЕЗКОВ

0%



Между линиями ликвидус и солидус существуют две фазы - жидкая - (ж) и твердая - ( $\alpha$ ). Длина горизонтальных отрезков соответствует количеству этих фаз при данной температуре, а перпендикуляр, опущенный из точки пересечения их с линиями диаграммы, соответствует химическому составу этих фаз.

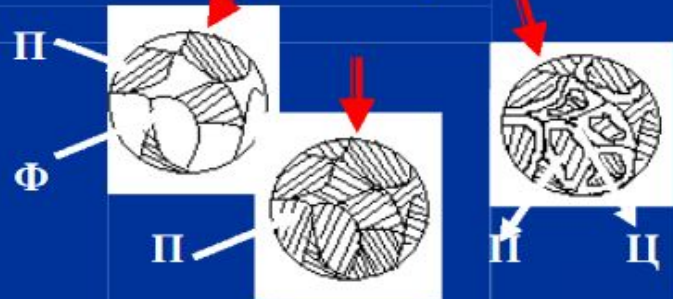
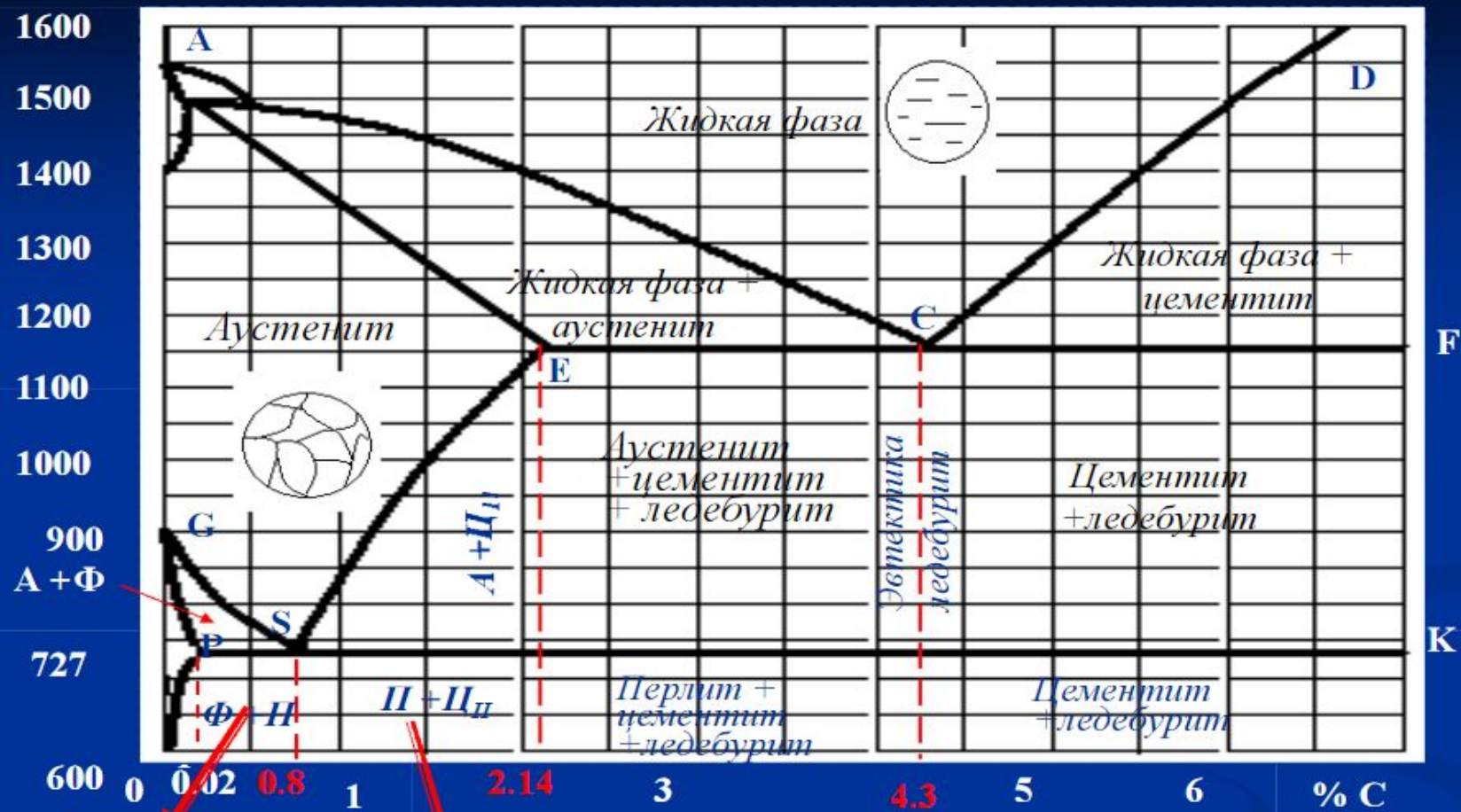
Определяют принадлежность к какой либо фазе по правилу «родился – растет». Так, при охлаждении сплава 50%Cu + 50%Ni в точке 1 «родилась» твердая фаза ( $\alpha$ ), следовательно, отрезок, который будет расти с понижением температуры, покажет количество твердой фазы ( $\alpha$ ).

$Q = \frac{вс}{ас} * 100\%$  - количество жидкой фазы при температуре  $t$

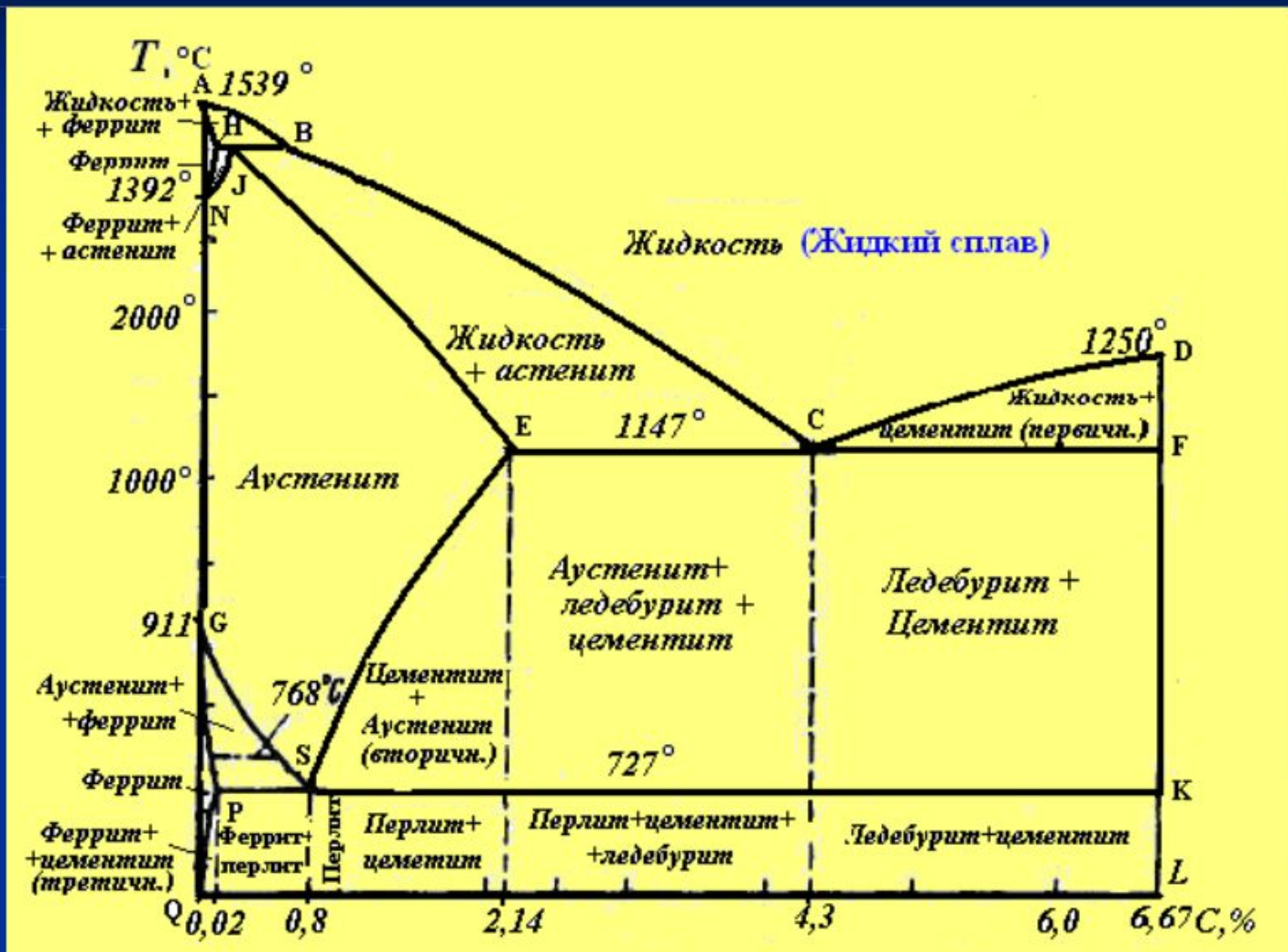
$ас$  – количество всего сплава,  
 $ав$  – количество твердой фазы  $\alpha$ ,  
 $вс$  – количество жидкой фазы ж.

$Q = \frac{ав}{ас} * 100\%$  - количество твердой фазы при температуре  $t$

# Диаграмма состояния сплавов железа с углеродом



# Диаграмма железо - цементит



# Как читать диаграмму железоуглеродистых сплавов

По вертикали читаются температуры нагрева и охлаждения сплавов, а по горизонтали процентное содержание углерода  $C$  и цементита  $Fe_3C$ .

Левая вертикальная линия диаграммы соответствует чистому железу  $Fe$ . На этой линии отмечены две характерные точки:  $A$  — соответствующая температуре  $1539^\circ$ , при которой плавится чистое железо, и  $G$  — отвечающая температуре  $910^\circ$ , когда происходит изменение кристаллической решетки чистого железа (объемно - центрированный куб  $Fe\alpha$  в гранецентрированный куб  $Fe\gamma$  при нагревании и наоборот — при охлаждении).

Правая вертикальная линия диаграммы соответствует чистому цементиту. На этой линии точкой  $D$  отмечена температура  $1550^\circ$ , соответствующая плавлению цементита.

Проведя вертикальную линию через точку, соответствующую  $2,14\%$  углерода, можно разделить диаграмму на две части:

- а) левую (с содержанием углерода от  $0$  до  $2,14\%$ ), на которой представлены данные, касающиеся сталей;
- б) правую (с содержанием углерода от  $2,14$  до  $6,67\%$ ), на которой содержатся сведения о белых чугунах.

Линия  $АСД$  называется линией ЛИКВИДУС. Выше этой линии сплавы находятся в жидком (расплавленном) состоянии. При охлаждении сплавов при температурах, отвечающих точкам линии  $АСД$ , начинается зарождение кристаллов.

**Линия *AECF*** называется линией **солидус**. Ниже этой линии сплавы находятся в твердом состоянии. При охлаждении сплавов при температурах, отвечающих точкам линии *AECF*, заканчивается процесс образования кристаллов. Таким образом между линиями *AC* и *AEC* происходит процесс образования зерен аустенита, а между линиями *CD* и *CF*—процесс кристаллизации цементита.

**Линия *GS*** соответствует температурам, при которых происходит— переход решетки объемно - центрированный куб в решетку гранецентрированный куб (при нагревании) и наоборот (при охлаждении).

**Линия *SE*** соответствует температурам, при которых понижается (при охлаждении) или повышается (при нагревании) растворимость углерода в аустените. В первом случае аустенит обедняется углеродом (от 2,14 до 0,83%) и из него выделяется цементит. Во втором случае аустенит обогащается углеродом (от 0,83 до 2,14%) за счет поглощения цементита.

**Линия *PSK*** соответствует температуре  $727^{\circ}$  и характеризуется процессом распада аустенита с образованием перлита (при охлаждении) или превращением перлита в аустенит (при нагревании). Поэтому эта линия называется линией эвтектоидного или перлитного превращения.

**Ниже линии *PSK*** при медленном охлаждении сплавов (10—100 градусов в час) критических точек нет и потому все структурные составляющие феррит, перлит, цементит, образующиеся, в период охлаждения сплава при  $727^{\circ}$ , сохраняются до комнатной температуры.

Сплавы содержащие до 2,14% углерода, называются **сталями**, более 2,14% - **чугунами**. Стали содержащие до 0,8% углерода называются **доэвтектоидными** и состоят из феррита и перлита, содержащие **более 0,8 % C** называются **заэвтектоидными** и состоят из перлита и цементита.



# Строение и свойства основных фаз и структур железоуглеродистых сплавов

<b>Феррит</b>	Твердый раствор углерода и других элементов в Fe $\alpha$	НВ 100 С увеличением размера зерна твердость, пластичность, ударная вязкость снижаются.
<b>Аустенит</b>	Твердый раствор углерода и других элементов в Fe $\gamma$	НВ170-220 Парамагнитен (т. е. не магнитен). Обладает высоким удельным электросопротивлением, высокой стойкостью против изнашивания при ударных нагрузках.
<b>Цементит</b>	Химическое соединение железа с углеродом. Карбид железа (Fe <sub>3</sub> C).	Присутствуя в большом количестве в белом чугуна, делает его хрупким, не поддающимся механической обработке. Наличие небольшого количества цементита в инструментальной стали придает ей хорошие режущие свойства, но вместе с тем и хрупкость.

<p><b>Перлит,</b></p>	<p>Эвтектоидная структура, представляющая собой механическую смесь феррита и цементита</p>	<p>Механические свойства каждой из структур определяются формой и размерами составляющих частиц. Твердость: перлит HB180...250, сорбит HB250... 350, троостит HB 350...450.</p> <p>Сталь со структурой зернистого цементита хорошо деформируется при волочении, вытяжке, холодной прокатке. При обработке резанием более благоприятна структура пластинчатого перлита. Троостит отпуска отличается высокими пределами упругости, прочности и выносливости.</p>
<p><b>Ледебурит</b></p>	<p>Эвтектическая структура состоящая из смеси аустенита и цементита</p>	<p>Образуется при затвердевании белого чугуна (при 1130 °С). При температуре ниже 727°С ледебурит состоит из цементита и перлита.</p>
<p><b>Мартенсит</b></p>	<p>Перенасыщенный твердый раствор углерода в Fe <math>\alpha</math></p>	<p>Максимальная твердость HRC<sub>3</sub> 60... 65. Отличается малой вязкостью. Практически отсутствует пластичность.</p>

# Механические свойства металлов

Под механическими свойствами понимают характеристики, определяющие поведение металла (или другого материала) под действием приложенных внешних механических сил.

## Критерии оценки механических свойств

Критерии, определяемые независимо от конструктивных особенностей и характера службы изделий

Стандартные испытания гладких образцов на растяжение, сжатие, изгиб, твердость, ударный изгиб.

Критерии оценки конструктивной прочности металлов

Испытания определяющие надежность металлов против внезапных разрушений (вязкость разрушения, работа, поглощаемая при распространении трещин, живучесть), а также сопротивление усталости, износостойкость, сопротивление коррозии.

Критерии оценки прочности конструкции в целом

Стендовые, натурные и эксплуатационные испытания, выявляющие прочность, долговечность конструкции.

# Механические свойства металлов

Под механическими свойствами понимают характеристики, определяющие поведение металла под действием приложенных внешних механических сил. К механическим свойствам относят прочность, пластичность, вязкость, способность металла не разрушаться при наличии трещин.

## Твердость металлов

**Твердость** – это способность материала сопротивляться проникновению в него, под статической нагрузкой, другого, более твердого тела .

**Твердость** характеризует механическое свойство материала его состояние, микроструктуру, технологические и эксплуатационные свойства, определяет качество термообработки.

### ИСПЫТАНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ

– не требует специальных образцов, выполняется непосредственно на деталях (заготовках), не разрушающий контроль, отличается простотой, высокой скоростью и портативностью измеряемых приборов.

поверхность детали должна быть плоской, горизонтальной, чистой, не иметь окалины, забоин.

**Достоинства метода  
испытания на твердость**

**Требования к подготовке  
образца для испытания:**

*Все поверхностные дефекты необходимо зачистить мелкозернистым кругом, напильником или наждачной бумагой, но так, чтобы величина твердости не изменилась от возможного нагрева или наклепа поверхности*



## ПРИМЕСИ СТАЛИ

### ПОЛЕЗНЫЕ

### ВРЕДНЫЕ

**Марганец** ( в углеродистой стали его содержится до 0,8%) – **раскисляет сталь, повышает прокаливаемость и прочность, устраняет вредное влияние серы.**

**Кремний** ( в углеродистой стали его содержится до 0,8%) - **раскисляет сталь, повышает ее твердость и прочность.**

**Сера** ухудшает механические свойства вызывая красноломкость стали,

**Фосфор** вызывает в сталях хладноломкость (повышенную хрупкость при низких температурах).

**Кислород** – образует оксиды (FeO, MnO, SiO)

**Азот** – образует нитриды (TiN, AlN)

**Водород** - образует дефекты (флокены

}

Охрупчивают сталь, снижают пластичность, вязкость и предел выносливости стали.

Для сталей с повышенной обрабатываемостью резанием **серы** (содержание до 0,3%) является полезной примесью.

### МАРКИРОВКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

**Сталь углеродистая обыкновенного качества ГОСТ 380 - 94**

Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп.

В марках стали буквы Ст обозначают «Сталь», цифры – условный номер марки в зависимости от химического состава стали, буквы «кп», «сп», «пс» - степень раскисления, буква «Г» - повышенное содержание марганца в стали.

**Сталь углеродистая качественная ГОСТ 1050 - 88**

05кп, 08кп, 08пс, 10, 112кп, 15, 18кп, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, 60

Углеродистая качественная конструкционная сталь маркируется двумя цифрами, показывающими содержание углерода в сотых долях процента.

**Чистые металлы** в обычном структурном состоянии обладают низкой прочностью и не обеспечивают во многих случаях требуемых физико-химических, механических и технологических свойств

Наиболее широкое применение получили **сплавы**. **Сплавы** – кристаллические тела, состоящие из атомов двух или нескольких элементов

Свойства сплавов зависят от химического состава, входящих в сплав элементов, а так же от их количества и от внутреннего их кристаллического строения.

**ВЕЩЕСТВА В ПРИРОДЕ, И МЕТАЛЛЫ В ЧАСТНОСТИ, МОГУТ НАХОДИТЬСЯ В ТРЁХ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЯХ : В ТВЁРДОМ, ЖИДКОМ И ГАЗООБРАЗНОМ.**

**В ГАЗООБРАЗНОМ СОСТОЯНИИ НЕТ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В РАСПОЛОЖЕНИИ АТОМОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ДРУГ ДРУГА – АТОМЫ ПЕРЕМЕЩАЮТСЯ ХАОТИЧНО.**

**В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ АТОМЫ ИМЕЮТ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ В РАСПОЛОЖЕНИИ АТОМОВ НА МАЛЫХ РАССТОЯНИЯХ ИМЕЮТ Т. Н. «БЛИЖНИЙ ПОРЯДОК»**

**В ТВЁРДОМ СОСТОЯНИИ АТОМЫ ИМЕЮТ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ РАСПОЛОЖЕНИЕ АТОМОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ДРУГ ДРУГА НА БОЛЬШИХ РАССТОЯНИЯХ – ИМЕЮТ Т. Н. «ДАЛЬНИЙ ПОРЯДОК»**

# СХЕМА РАЗНОВИДНОСТЕЙ ТВЕРДОГО СОСТОЯНИЯ

**ТВЁРДОЕ СОСТОЯНИЕ-  
МЕТАЛЛОВ**

***АМОРФНОЕ***

ПОЛУЧАЕТСЯ ПРИ БЫСТРОМ  
ОХЛАЖДЕНИИ МЕТАЛЛА-  
КРИСТАЛЛЫ НЕ УСПЕВАЮТ  
ОБРАЗОВАТЬСЯ-  
ПРАКТИЧЕСКИ ОСТАЮТСЯ НА  
ТЕХ МЕСТАХ, ГДЕ ОНИ  
НАХОДИЛИСЬ В ЖИДКОМ  
СОСТОЯНИИ

***ПОЛИ-  
КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ***

ПОЛУЧАЕТСЯ ПРИ ОБЫЧНОМ  
ОХЛАЖДЕНИИ ДЕТАЛЕЙ В  
УСЛОВИЯХ ТЕРМИЧЕСКОГО  
УЧАСТКА, ЦЕХА



**Металлы** представляют собой поликристаллические тела, состоящие из большого числа мелких ( $10 \dots 1 - 10 \dots 5 \text{ см}$ ) различно ориентированных по отношению друг к другу кристаллов

### **Характерные свойства металлов**

1. **Высокая тепло- и электропроводность.**
2. **Положительный температурный коэффициент электросопротивления.**
3. **Способность испускать при нагреве электроны (термоэлектронная эмиссия)**
4. **Обладают отражательной способностью.**
5. **Способность к пластической деформации.**

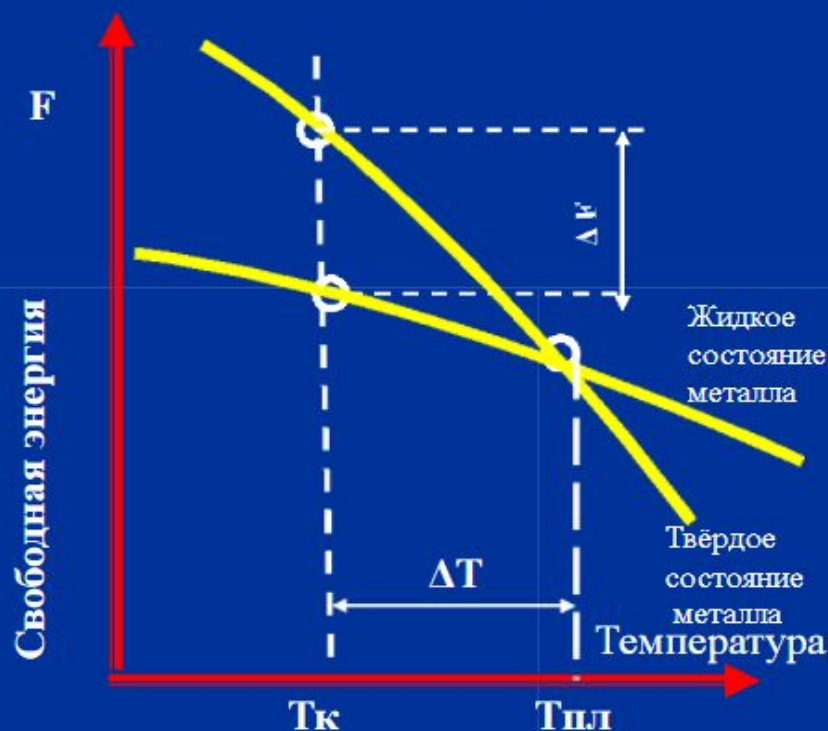
## **КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ**

**Металлы имеют поликристаллическое строение. Атомы в кристаллах металлов расположены упорядоченно и образуют так называемую кристаллическую решетку. Под атомно-кристаллической структурой понимают взаимное расположение атомов (ионов), существующее в реальном кристалле. Кристаллическая решетка представляет собой воображаемую пространственную сетку, в узлах которой располагаются атомы (ионы), образующие металл (твердое кристаллическое тело).**

# Формирование структуры металла при кристаллизации

**Кристаллизация** – переход металла из жидкого состояния в твердое (кристаллическое). Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с меньшей энергией Гиббса (свободной энергией)  $F$ , т.е. когда энергия Гиббса кристалла ( $F_T$ ) меньше, чем энергия Гиббса ( $F_{ж}$ ) жидкой фазы.

Изменение энергии Гиббса металла в жидком и твердом состоянии в зависимости от температуры.



Выше температуры плавления  $T_{пл}$ , более устойчив жидкий металл, имеющий меньший запас свободной энергии, а ниже этой температуры устойчив твердый металл. При температуре равной  $T_{пл}$  - величины свободных энергий жидкого и твердого состояний равны, т.е. жидкая и твердая фазы могут существовать одновременно и при этом бесконечно долго.

**Процесс кристаллизации развивается только тогда, когда созданы условия, при которых возникает разность энергий Гиббса  $\Delta G$ , образующаяся вследствие меньшей свободной энергии твердого металла по сравнению с жидким.**

**Следовательно процесс кристаллизации может протекать только при переохлаждении металла ниже равновесной температуры  $T_{пл}$**

$$\Delta T = T_{пл} - T_k$$

$\Delta T$  – степень переохлаждения  
 $T_k$  – температура кристаллизации

# Гетерогенное образование зародышей

В технических металлах всегда присутствует большое количество различных примесей (окислов, неметаллических включений), которые облегчают образование зародышей.

*Если частицы примеси имеют одинаковую кристаллическую решетку с решеткой затвердевающего металла (так называемые изоморфные примеси) и параметры сопрягающихся решеток примеси и кристаллизующегося вещества примерно одинаковы, то они играют роль готовых центров кристаллизации.*

Чем больше примесей, тем больше центров кристаллизации, тем меньше получается зерно. Такое образование зародышей называется **гетерогенным**.

*Модифицирование – использование специально вводимых в жидкий металл или сплав примесей, для получения мелкого зерна.*



# Структурные составляющие сплавов

## Механическая смесь

Компоненты не взаимодействуют и каждый компонент образует свой кристалл (зерно) со своей кристаллической решеткой. Механическую смесь имеющую строго определенное соотношение компонентов и химический состав, называют эвтектикой.

Кристаллизацию металлических сплавов и связанные с ней многие закономерности строения сплавов описывают с помощью диаграмм состояния или диаграмм фазового равновесия.

## Химическое соединение

Когда компоненты неограниченно растворимы в жидком, нерастворимы в твердом и образуют устойчивое химическое соединение с кристаллической решеткой, отличной от кристаллических решеток компонентов.

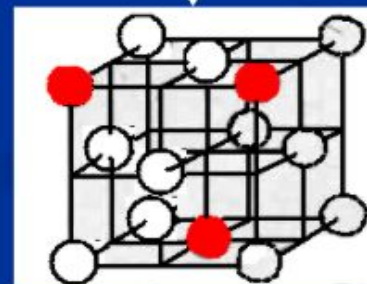
Химические соединения металла с углеродом называются карбидами, они обладают большой твердостью и хрупкостью.

## Твердый раствор

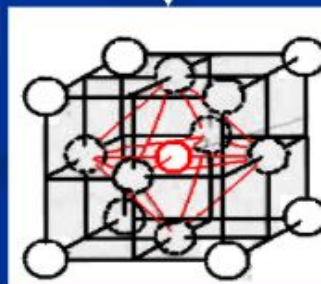
Один из компонентов сплава сохраняет свою кристаллическую решетку, а атомы другого компонента располагаются в решетке первого компонента изменяя ее размеры.

Могут быть:

а) Твёрдыми Растворами замещения



б) Твёрдыми растворами внедрения



# Диаграмма состояния сплавов

**Диаграмма состояния** – это графическое изображение состояния сплава в зависимости от его состава и температуры.

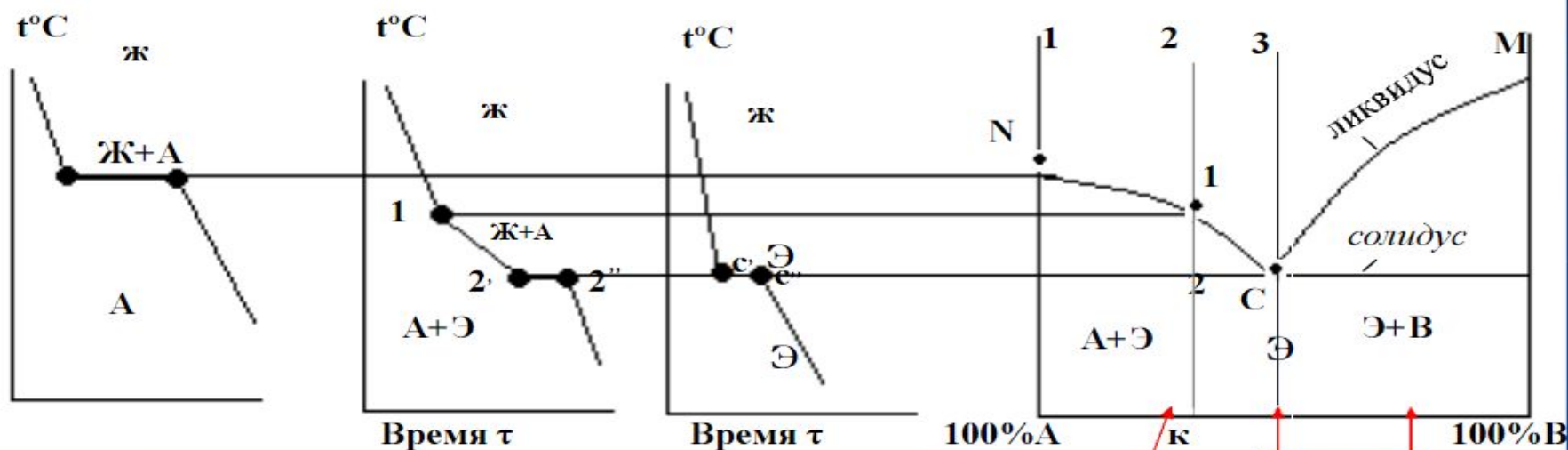
**Теоретическое и практическое значение диаграмм состояния сплавов:**

1. Диаграмма дает возможность изучать фазы и структурные составляющие сплава;
2. Позволяет установить возможность проведения термической обработки и ее режимы;
3. Позволяет определить оптимальные температуры жидких сплавов при заливке литейных форм, их температурные интервалы горячей обработки давлением и др.;

**Диаграммы строятся термическим методом. Сущность метода заключается в определении критических точек на кривых охлаждения многих сплавов данной системы и переноса их в систему координат «Температура – состав».**

Температуры начала и конца фазовых превращений, определяемые по кривым охлаждения, называются **критическими точками**. По критическим точкам, соответствующим каждому сплаву данной системы и строят диаграммы состояния.

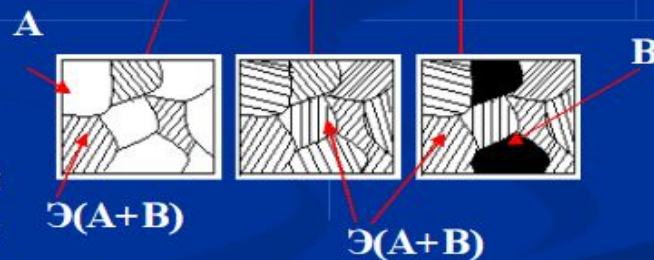
# Диаграмма состояния 1 - го типа (механические смеси)



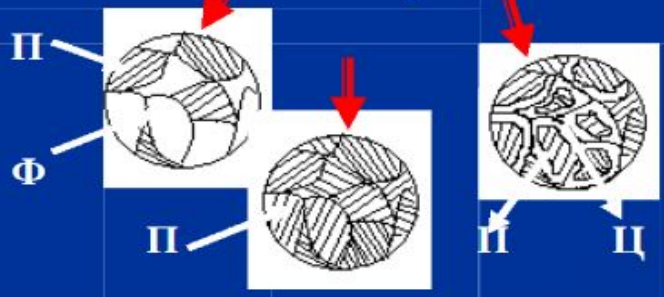
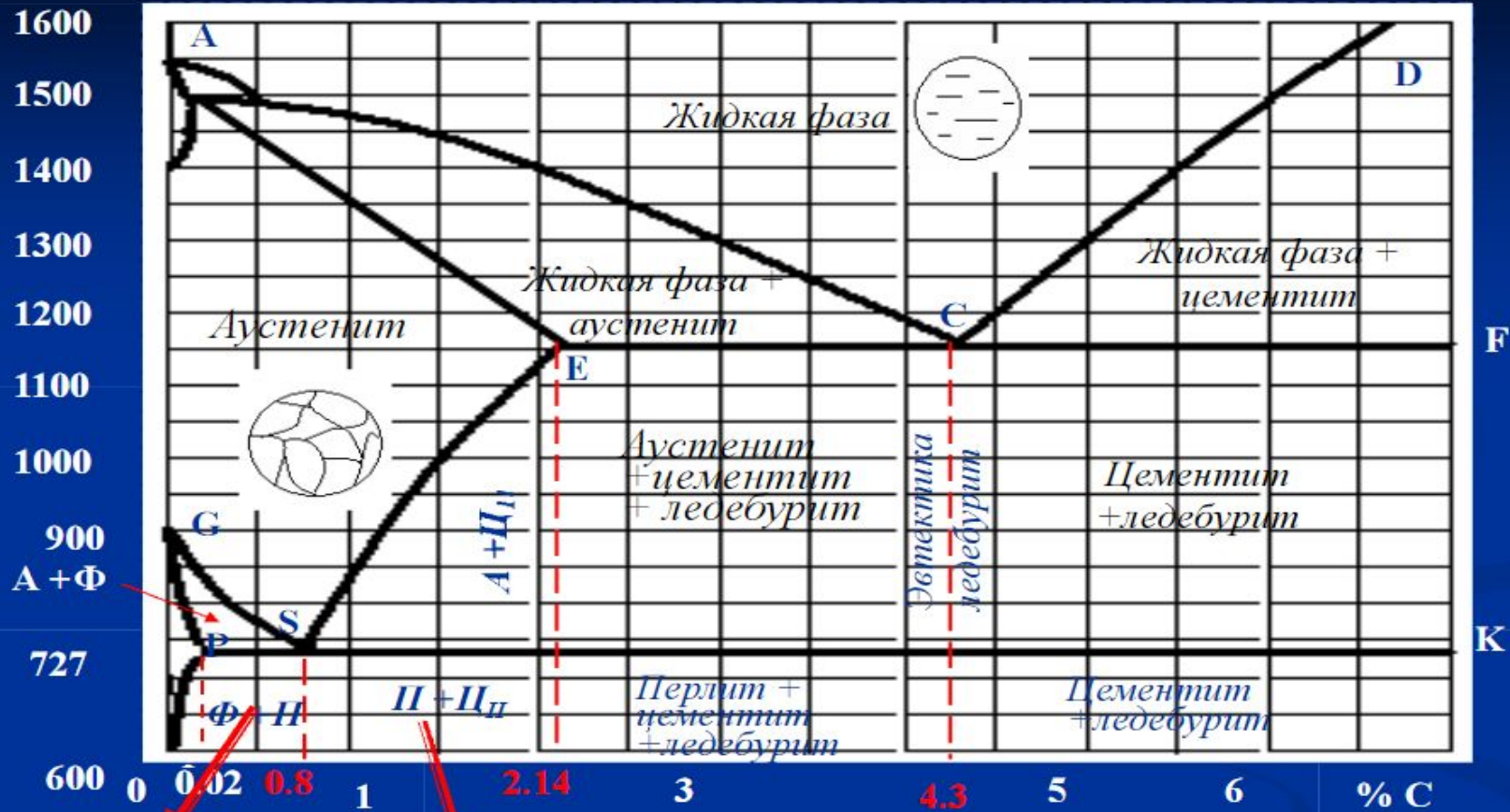
Сплавы до т. С называются **доэвтектическими** и состоят из кристаллов компонента А и эвтектики  $Э(А+В)$

Сплавы состава т. С называются **эвтектическими** и состоят из механической смеси кристаллов компонентов А и В, то есть  $Э(А_{тв}+В_{тв})$

Кривая охлаждения сплава 3 аналогична кривым охлаждения чистых металлов, т.е. на ней имеется только одна температурная остановка  $с-с'$ , это значит, что кристаллизация сплава происходит при постоянной температуре.



# Диаграмма состояния сплавов железа с углеродом





0% **Особенность кристаллизации сплава этого состава заключается в том, что кристаллизация обоих компонентов происходит одновременно, т.е. одновременно появляются и растут кристаллы компонента А и компонента В.**

*Механическая смесь двух (или более) разнородных кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкости при одной и той же температуре называется эвтектикой.*

Температура кристаллизации (или плавления при нагреве) сплавов эвтектического состава наименьшая по сравнению с любым другим сплавом этой системы. Сплавы эвтектического состава обладают наилучшими литейными свойствами.

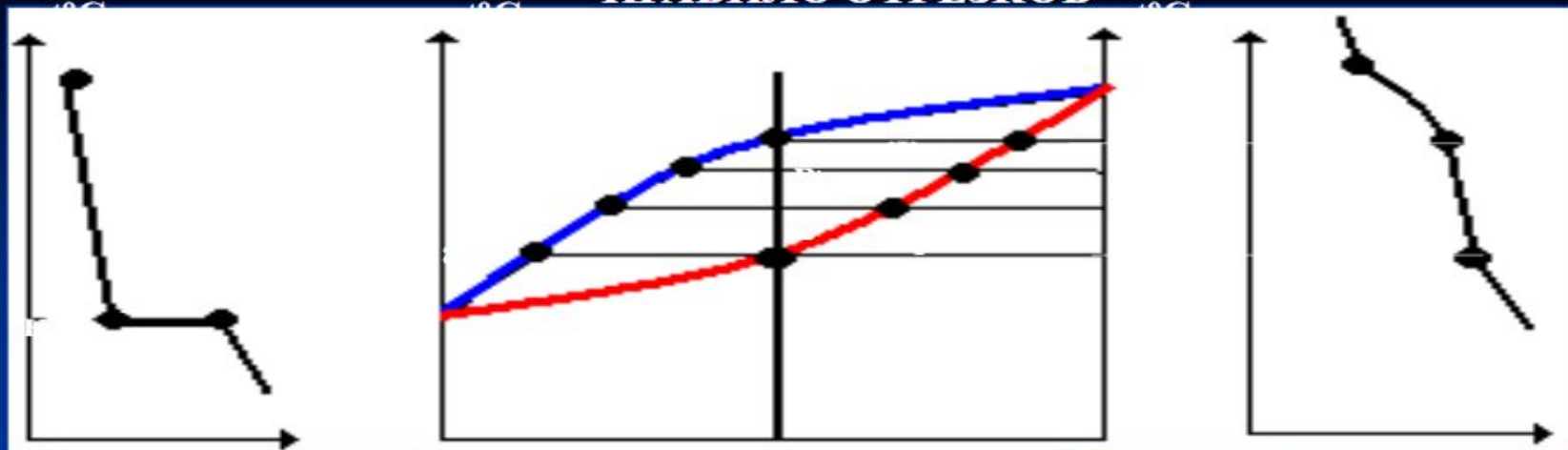
Сплавы за т. С называются Заэвтектическими и состоят из кристаллов компонента В и эвтектики.

## **Связь между типом диаграммы состояния и технологическими свойствами**

1. Для получения **высоких литейных свойств** концентрация компонентов в литейных сплавах должна **приближаться к эвтектическому составу**, превышая их максимальную растворимость в твердом состоянии. Эти сплавы обладают хорошей жидкотекучестью (сплав точки С).
2. Сплавы лежащие **левее точки d** (предельной растворимости в твердом растворе) и состоящие в основном из  $\alpha$  – фазы - пластичны и поэтому **хорошо куется, прокатываются, штамуются, прессуются.**
3. Пластичность сильно снижается при появлении в структуре эвтектики.

## ПРАВИЛО ОТРЕЗКОВ

0%



Время  $\tau$   
График охлаждения 100%  
чистой меди

Cu  
50%Ni  
Ni

Время  $\tau$   
График охлаждения сплава  
(50%Ni+50%Cu)

Между линиями ликвидус и солидус существуют две фазы - жидкая - (ж) и твердая - ( $\alpha$ ). Длина горизонтальных отрезков соответствует количеству этих фаз при данной температуре, а перпендикуляр, опущенный из точки пересечения их с линиями диаграммы, соответствует химическому составу этих фаз.

Определяют принадлежность к какой либо фазе по правилу «родился - растет». Так, при охлаждении сплава 50%Cu + 50%Ni в точке 1 «родилась» твердая фаза ( $\alpha$ ), следовательно, отрезок, который будет расти с понижением температуры, покажет количество твердой фазы ( $\alpha$ ).

$$Q = \frac{bc}{ac} * 100\% - \text{количество жидкой фазы при температуре } t$$

ac — количество всего сплава,  
ab — количество твердой фазы  $\alpha$ ,  
bc — количество жидкой фазы ж.

$$Q = \frac{ab}{ac} * 100\% - \text{количество твердой фазы при температуре } t$$

# Как читать диаграмму железоуглеродистых сплавов

По вертикали читаются температуры нагрева и охлаждения сплавов, а по горизонтали процентное содержание углерода  $C$  и цементита  $Fe_3C$ .

Левая вертикальная линия диаграммы соответствует чистому железу  $Fe$ . На этой линии отмечены две характерные точки:  $A$  — соответствующая температуре  $1539^\circ$ , при которой плавится чистое железо, и  $G$  — отвечающая температуре  $910^\circ$ , когда происходит изменение кристаллической решетки чистого железа (объемно - центрированный куб  $Fe_\alpha$  в гранецентрированный куб  $Fe_\gamma$  при нагревании и наоборот — при охлаждении).

Правая вертикальная линия диаграммы соответствует чистому цементиту. На этой линии точкой  $D$  отмечена температура  $1550^\circ$ , соответствующая плавлению цементита.

Проведя вертикальную линию через точку, соответствующую  $2,14\%$  углерода, можно разделить диаграмму на две части:

- а) левую (с содержанием углерода от  $0$  до  $2,14\%$ ), на которой представлены данные, касающиеся сталей;
- б) правую (с содержанием углерода от  $2,14$  до  $6,67\%$ ), на которой содержатся сведения о белых чугунах.

Линия  $ACD$  называется линией ЛИКВИДУС. Выше этой линии сплавы находятся в жидком (расплавленном) состоянии. При охлаждении сплавов при температурах, отвечающих точкам линии  $ACD$ , начинается зарождение кристаллов.

# Механические свойства металлов

Под механическими свойствами понимают характеристики, определяющие поведение металла под действием приложенных внешних механических сил. К механическим свойствам относят прочность, пластичность, вязкость, способность металла не разрушаться при наличии трещин.

## Твердость металлов

**Твердость** – это способность материала сопротивляться проникновению в него, под статической нагрузкой, другого, более твердого тела .

**Твердость** характеризует механическое свойство материала его состояние, микроструктуру, технологические и эксплуатационные свойства, определяет качество термообработки.

### ИСПЫТАНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ

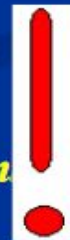
**Достоинства метода  
испытания на твердость**

– не требует специальных образцов, выполняется непосредственно на деталях (заготовках), не разрушающий контроль, отличается простотой, высокой скоростью и портативностью измеряемых приборов.

**Требования к подготовке  
образца для испытания:**

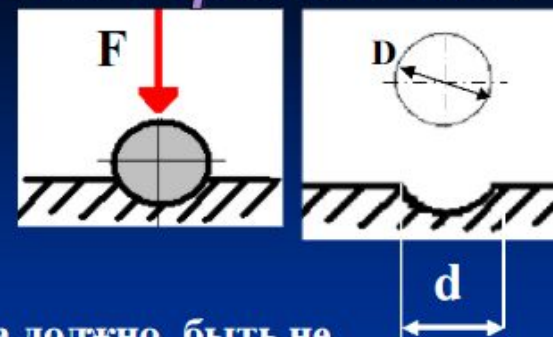
поверхность детали должна быть плоской, горизонтальной, чистой, не иметь окалины, забоин.

**Все поверхностные дефекты необходимо зачистить мелкозернистым кругом, напильником или наждачной бумагой, но так, чтобы величина твердости не изменилась от возможного нагрева или наклепа поверхности**



# Измерение твердости методом Бринелля

**Сущность метода** заключается во вдавливании стального закаленного или твердосплавного шарика диаметром  $D$  в образец или изделие под действием статического усилия  $F$ , приложенного перпендикулярно поверхности образца в течении определенного времени, и в измерении диаметра отпечатка  $d$  после снятия нагрузки.



**Требования к процессу измерения:**

1. Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее  $2,5 d$ , между центрами двух соседних отпечатков - не менее  $4 d$ .
2. Диаметр отпечатка  $d$  измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях специальной лупой со шкалой окуляра до  $6 \text{ мм}$ . И ценой деления  $0,05 \text{ мм}$ .

Показателем твердости по Бринеллю является число твердости, обозначаемое символом  $\text{HB}$ , оно рассчитывается по формуле, где  $F$  – нагрузка,  $\text{кгс}$ ,  $S$  – площадь поверхности отпечатка,  $\text{мм}^2$

$$\text{HB} = F/S \text{ (кгс/мм}^2\text{)}$$

Для некоторых материалов по числу твердости  $\text{HB}$  можно вычислить предел их прочности при растяжении  $\sigma_B$  т.к. они связаны эмпирической зависимостью

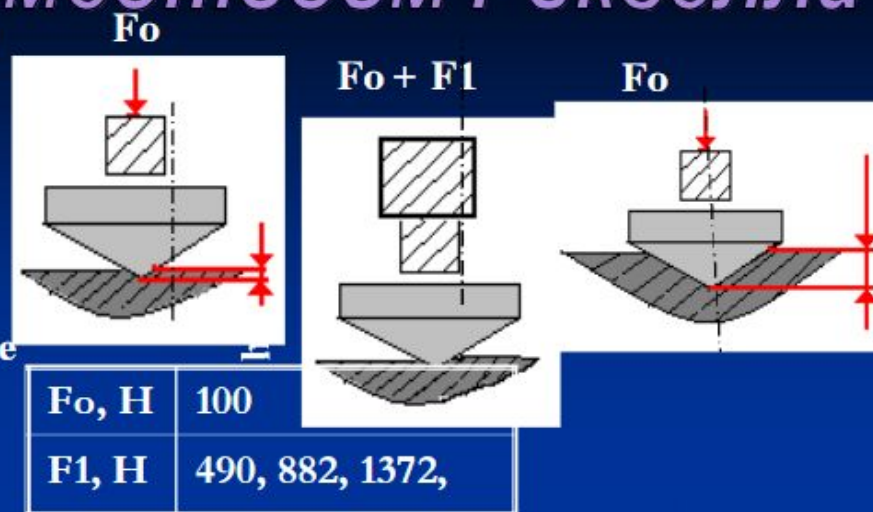
$$\sigma_B = k \text{ HB}$$

Где  $k$  – величина зависящая от материала; для мягкой стали  $k = 0,34$ ; для литой стали  $k = 0,3..0,4$ ; для меди и ее сплавов  $k = 0,55$

Метод Бринелля применяется для измерения твердости мягких сталей, чугунов, цветных металлов и сплавов. (до  $450 \text{ HB}$ )

# Измерение твердости методом Роквелла

Вдавливание наконечника в контролируемый материал на глубину  $h$  осуществляется под действием двух последовательно прикладываемых статических усилий --предварительного  $F_0$  и основного  $F_1$ . Предварительное усилие обеспечивает устойчивое положение образца во время основного погружения и исключает влияние упругой деформации и шероховатости на результаты измерений. Основное усилие выбирается от ожидаемой твердости материала.



Твердость по Роквеллу обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами HR с указанием шкалы измерения. Шкалы и пределы измерения твердости прибором Роквелла приведены в таблице.

Единица твердости	Шкала	Тип наконечника	Усилие $F$ (Н)	Пределы измерения твердости	Применение
<b>HRC</b>	C	Алмазный конус	1472	20...70 <b>HRC<sub>s</sub></b>	Закаленные стали и др. твердые материалы, твердые поверхностные слои толщиной более 0,5мм.
<b>HRA</b>	A	Алмазный конус	590	20...88 <b>HRA</b>	Твердые и сверхтвердые сплавы, тонкие листовые материалы и поверхностные слои после ХТО толщиной менее 0,5 мм.
<b>HRB</b>	B	Стальной закаленный шарик	982	30...100 <b>HRB</b>	Мягкие стали, цветные металлы и сплавы

**Линия AECF** называется линией **солидус**. Ниже этой линии сплавы находятся в твердом состоянии. При охлаждении сплавов при температурах, отвечающих точкам линии **AECF**, заканчивается процесс образования кристаллов. Таким образом между линиями **AC** и **AEC** происходит процесс образования зерен аустенита, а между линиями **CD** и **CF**—процесс кристаллизации цементита.

**Линия GS** соответствует температурам, при которых происходит— переход решетки объемно - центрированный куб в решетку гранецентрированный куб (при нагревании) и наоборот (при охлаждении).

**Линия SE** соответствует температурам, при которых понижается (при охлаждении) или повышается (при нагревании) растворимость углерода в аустените. В первом случае аустенит обедняется углеродом (от 2,14 до 0,83%) и из него выделяется цементит. Во втором случае аустенит обогащается углеродом (от 0,83 до 2,14%) за счет поглощения цементита.

**Линия PSK** соответствует температуре  $727^{\circ}$  и характеризуется процессом распада аустенита с образованием перлита (при охлаждении) или превращением перлита в аустенит (при нагревании). Поэтому эта линия называется линией эвтектоидного или перлитного превращения.

**Ниже линии PSK** при медленном охлаждении сплавов (10—100 градусов в час) критических точек нет и потому все структурные составляющие феррит, перлит, цементит, образующиеся, в период охлаждения сплава при  $727^{\circ}$ , сохраняются до комнатной температуры.

Сплавы содержащие до 2,14% углерода, называются **СТАЛЯМИ**, более 2,14% - **ЧУГУНАМИ**. Стали содержащие до 0,8% углерода называются **доэвтектоидными** и состоят из феррита и перлита, содержащие более 0,8 % C называются **заэвтектоидными** и состоят из перлита и цементита.

# Прочность металлов

**Прочность** - способность металла сопротивляться разрушению при действии на него нагрузки. Высокая прочность обеспечивает надежность и долговечность машины в работе.

В зависимости от характера прилагаемых нагрузок различают прочность материала при его растяжении, изгибе и других деформациях.

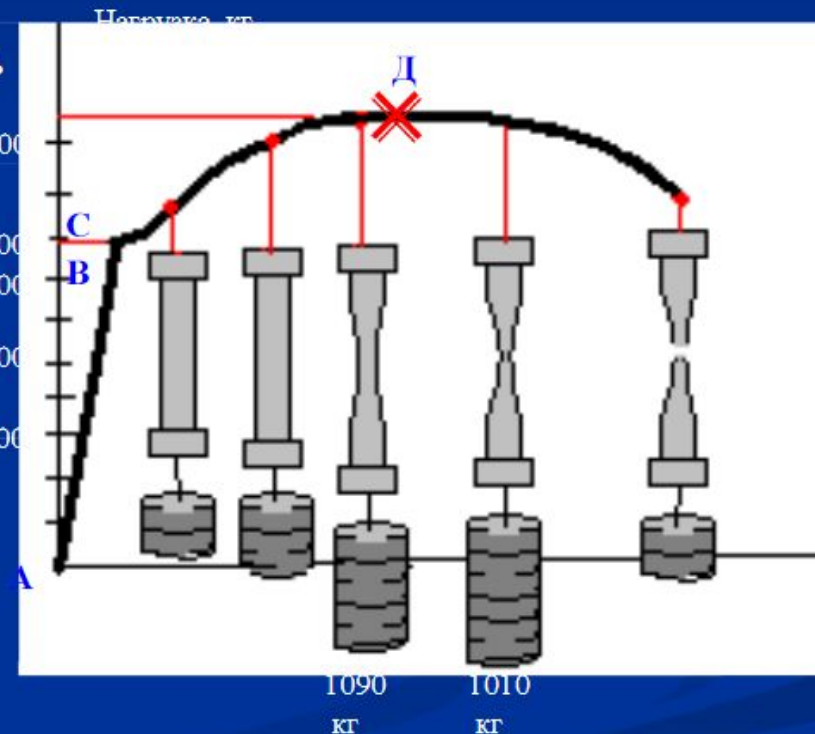
## ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Испытание на растяжение (на разрыв) дает возможность определить прочность и пластичность металла.

При испытании на разрыв, из испытываемого сплава вытачивается контрольный образец, который помещается в зажимы разрывной машины снабженной прибором, записывающим диаграмму растяжения. Диаграмма деформации показывает зависимость изменения длины образца от прилагаемого усилия.

На участке **AB** длина образца увеличивается пропорционально нагрузке. При этом после снятия нагрузки образец принимает свою первоначальную длину. Такая **деформация называется упругой**.

При достижении нагрузки соответствующей точке **C** в металле возникает заметная пластическая деформация. При устранении нагрузки образец не принимает своей первоначальной длины





00%

Нагрузка, соответствующая моменту начала пластической деформации называется **нагрузкой предела текучести  $F_T$**

Отношение этой нагрузки к площади поперечного сечения называют **пределом текучести**

$$\sigma = F_T / S_0 \text{ (кг/мм}^2\text{)}$$

где  $S_0$  - первоначальная площадь поперечного сечения образца мм<sup>2</sup>

При дальнейшем увеличении нагрузки за пределом текучести, прямолинейной зависимости между нагрузкой и длиной образца нет.

В точке **Д** нагрузка начинает падать, а в образце начинается образование сужения поперечного сечения (образование шейки). Максимальную нагрузку, которую выдержал образец (точка **Д**) называют **нагрузкой предела прочности**, а напряжение отвечающее максимальной нагрузке, - **пределом прочности**

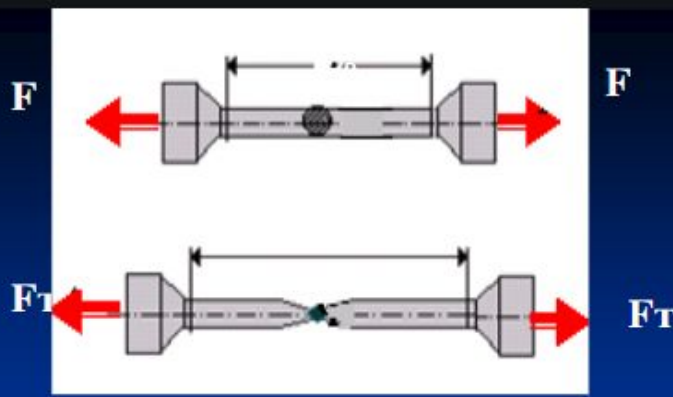
$$\sigma_{вр} = F_{max} / S_0 \text{ (кг/мм}^2\text{)}$$

Пластичность при испытании на растяжении определяется величиной **относительного удлинения**. **Относительное удлинение** определяет, на какую величину образец удлинился после растяжения по отношению к первоначальной длине.

$$\delta = [(L_1 - L_0) / L_0] * 100\%$$

**Относительное сужение** характеризует степень уменьшения площади поперечного сечения в шейке.

$$\psi = [(S_0 - S_1) / S_0] * 100\%$$



$L_0$ - начальная длина образца;  
 $L_1$ -конечное значение длины.

# Механические свойства металлов

Под механическими свойствами понимают характеристики, определяющие поведение металла (или другого материала) под действием приложенных внешних механических сил.

## Критерии оценки механических свойств

Критерии, определяемые независимо от конструктивных особенностей и характера службы изделий

Стандартные испытания гладких образцов на растяжение, сжатие, изгиб, твердость, ударный изгиб.

Критерии оценки конструктивной прочности металлов

Испытания определяющие надежность металлов против внезапных разрушений (вязкость разрушения, работа, поглощаемая при распространении трещин, живучесть), а также сопротивление усталости, износостойкость, сопротивление коррозии.

Критерии оценки прочности конструкции в целом

Стендовые, натурные и эксплуатационные испытания, выявляющие прочность, долговечность конструкции.

# Классификация и маркировка сталей

## ПО НАЗНАЧЕНИЮ

### КОНСТРУКЦИОННЫЕ

Содержат 0,02...0,85% углерода

#### Углеродистые обыкновенного качества:

Ст0, Ст1кп, Ст2кп, Ст2пс,  
Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп,  
Ст3Гпс, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп,  
Ст5пс, Ст5Гпс, Ст6пс Ст6сп

#### Углеродистые качественные

Сталь05кп, Сталь08кп,  
Сталь08пс, Сталь10,  
Сталь15, Сталь20,  
Сталь25, ... Сталь60

Легированные: 15X, 20X,  
50X, 15Г, 20Г, 50Г, 50Г2,  
18ХГ, 20ХГР, 40ХГРТ,  
30Х3МФ, 40ХФА, 30ХГСА,  
38Х2МЮА и др.

### ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ

Содержат 0,65...1,4 % углерода

Углеродистые: У7, У8, У9, У10, У  
11, У12, У13, У7А, У8А, У8ГА, У9  
А, У10А, У11А, У13А

Легированные: 7ХФ, 13Х, ХВ4,  
Х, В2Ф, ХВГ, 9Х5ВФ, Х12,  
(режущий и измерительный  
инструмент)

5ХНМ, 4Х5НФС, 7Х3, 4ХС,

5ХВ2С, 6Х3МФС (штамповый  
инструмент) и др.

Быстрорежущие: Р18, Р19,  
Р6АМ5, Р6М5К5, 11М5Ф и др.

### С ОСОБЫМИ СВОЙСТВАМИ

Автоматные: А11, А12,  
А20, А30, А35Е, А40Г, АС40

#### Рессорно-пружинные:

65, 70, 75, 80, 85, 70Г, 55С2,  
50ХГ, 60С2Р2А и др

Износостойкие: ШХ15, Л53,  
110Г13Л, 45ФЛ и др.

Хладостойкие: 08Г2ДНФЛ,  
35ХМЛ, 25Х2НМЛ и др

Жаростойкие: Х6СМ, Х13Ю4, 4  
0Х10С2М и др

ПО  
ХИМИЧЕСКОМУ  
СОСТАВУ

УГЛЕРО-  
ДИСТЫЕ

ЛЕГИРОВА-  
ННЫЕ

Низкоуглеро-  
дистые  
C менее 0,25%

Среднеугле-  
родистые  
 $0,25\% < C < 0,65\%$

Высокоуглеро-  
дистые  
C > 0,7%

Низколегиро-  
ванные  
ЛЭ менее 2,5%

Среднелегиро-  
ванные  
 $2,5\% < ЛЭ < 10\%$

Высоколегиро-  
ванные  
ЛЭ более 10%

Ст0, Ст1кп,  
Ст2кп,  
Ст2пс,  
Ст2сп,  
Сталь08,  
Сталь10кп,  
Сталь20кп,  
Сталь25, 15Г,  
20Г,  
25Г, 09Г2С, 15  
ГФ14Г2, 10Х  
НДП и др

Сталь30,  
Сталь35,  
Сталь40,  
30Г, 35Г, 45Г,  
50Г, 60Г,  
38ХМ и др

У8А, У8ГА, У  
9А, У10А,  
У11А, У13А,  
Сталь75,  
Сталь80,  
Сталь85, и  
др

10ГТ, 18Г2С,  
25Г2С,  
18ХГТ,  
20ХГР, 15Х и  
др

30ХН3А, 38Х  
2Н2МА,  
23Х2Г2Т,  
18Г2С,  
25Г2С

40Х9С2,  
20Х13,  
9Х18

## ПО КАЧЕСТВУ

### Стали обыкновенного качества

$S < 0,06 \%$ ,  
 $P < 0,05 \%$

Ст0, Ст1кп, Ст2кп,  
Ст2пс, Ст2сп,  
Ст3кп, Ст3кп,  
Ст3пс, Ст3сп,  
Ст3Гпс, Ст4кп,  
Ст4пс, Ст4сп,  
Ст5пс, Ст5Гпс,  
Ст6пс, Ст6сп и др.  
*Цифра – номер по  
ГОСТ, на содержание  
углерода и мех.  
свойства прямо не  
указывает*

### Качественные стали

$S < 0,035 \%$ ,  
 $P < 0,035 \%$

Сталь05кп,  
Сталь08кп,  
Сталь08пс, Сталь10,  
Сталь11кп, Сталь15,  
Сталь18кп, Сталь20,  
Сталь25, ... Сталь60  
и др.

*Цифра-содержание  
углерода в сотых  
долях процента*

15X, 20X, 50X, 15Г,  
20Г, 50Г, 50Г2, 18ХГ,  
20ХГР, 40ХГРТ,  
30Х3МФ, и др.

### Высоко- качественные стали

$S < 0,025 \%$ ,  
 $P < 0,035 \%$

У7А, У8А, У8ГА, У9А,  
У10А, У11А, У13А,  
60С2Р2А, 50ХФА,  
38ХГСА, 12ХНЗА, и  
др.

### Особовысоко- качественные стали

$S < 0,015 \%$ ,  
 $P < 0,015 \%$

18Х2Н4ВА – ВД,  
ШХ15СГ – ВД,  
Р10К5Ф5,  
45ХНМФА - Ш

# ПО СПОСОБУ РАСКИСЛЕНИЯ

## Спокойная сталь

Полностью раскислена  
марганцем, кремнием,  
алюминием

Ст2сп, Ст3сп, Ст4сп,  
Ст6сп и др.

## Кипящая сталь

Раскислена только  
марганцем

Ст1кп, Ст2кп, Ст3кп,  
Ст3кп, Ст4кп,

Сталь05кп, Сталь08кп,  
Сталь10кп, Сталь18кп

## Полуспокойная сталь

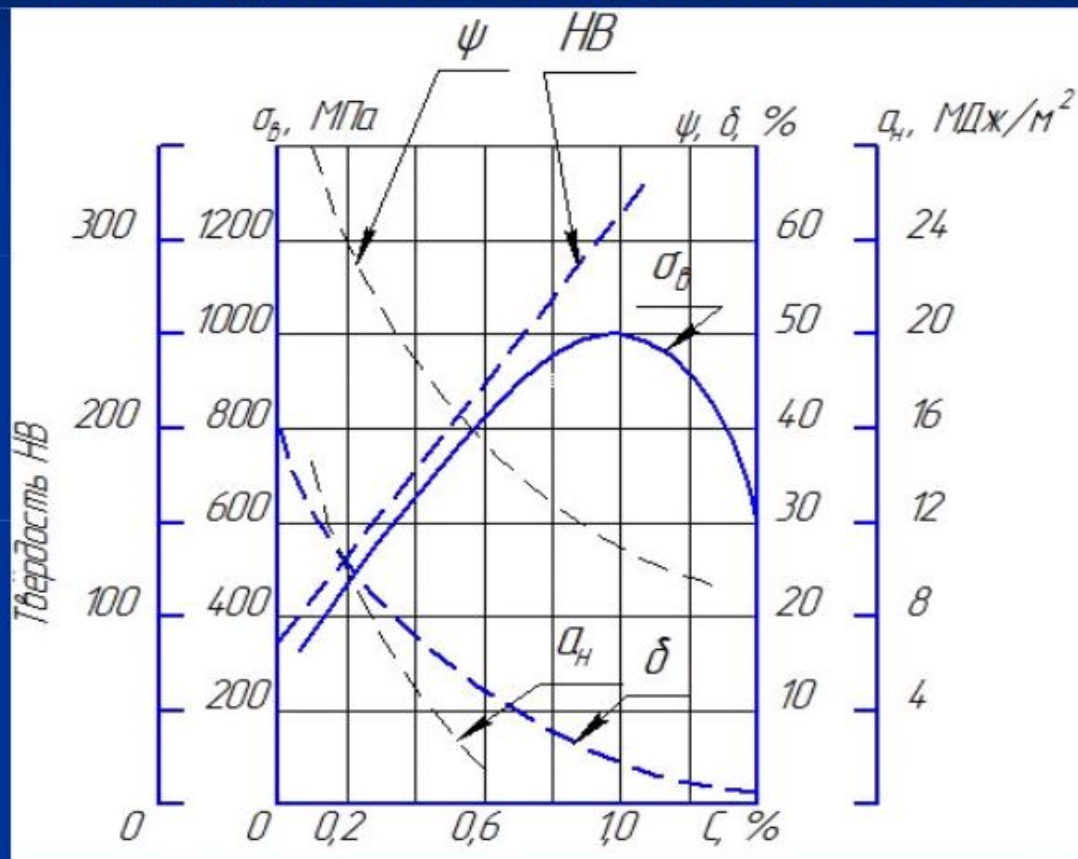
Раскислена  
марганцем,  
алюминием

Ст2пс, Ст3пс, Ст3Гпс,  
Ст4пс, Ст5пс, Ст5Гпс,  
Ст6пс, Сталь08пс

# Углеродистые стали

**Углеродистая сталь** – это многокомпонентный сплав железа с углеродом, содержащий 0,04...2,14 % углерода и некоторое количество постоянных и случайных примесей. Такая сталь не содержит легирующих элементов.

Основное влияние на структуру и свойства углеродистой стали оказывает углерод.



С увеличением содержания углерода в стали повышается ее твердость (НВ), прочность ( $\sigma_b$ ), но уменьшается пластичность ( $\psi, \delta$ ) и вязкость ( $a_n$ ), затрудняется свариваемость