

# Основная концепция металловедения



Схематическое представление строения кристаллической решетки железа и её изменения в процессе охлаждения.

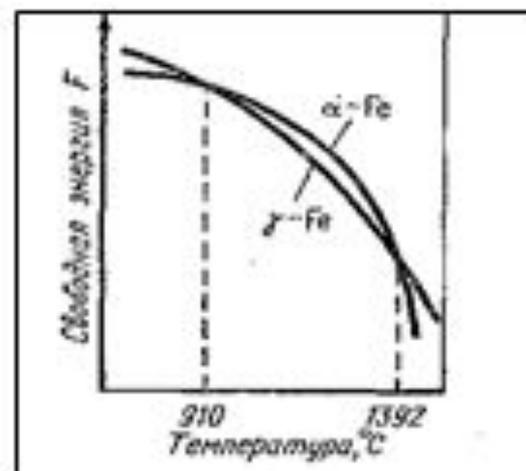
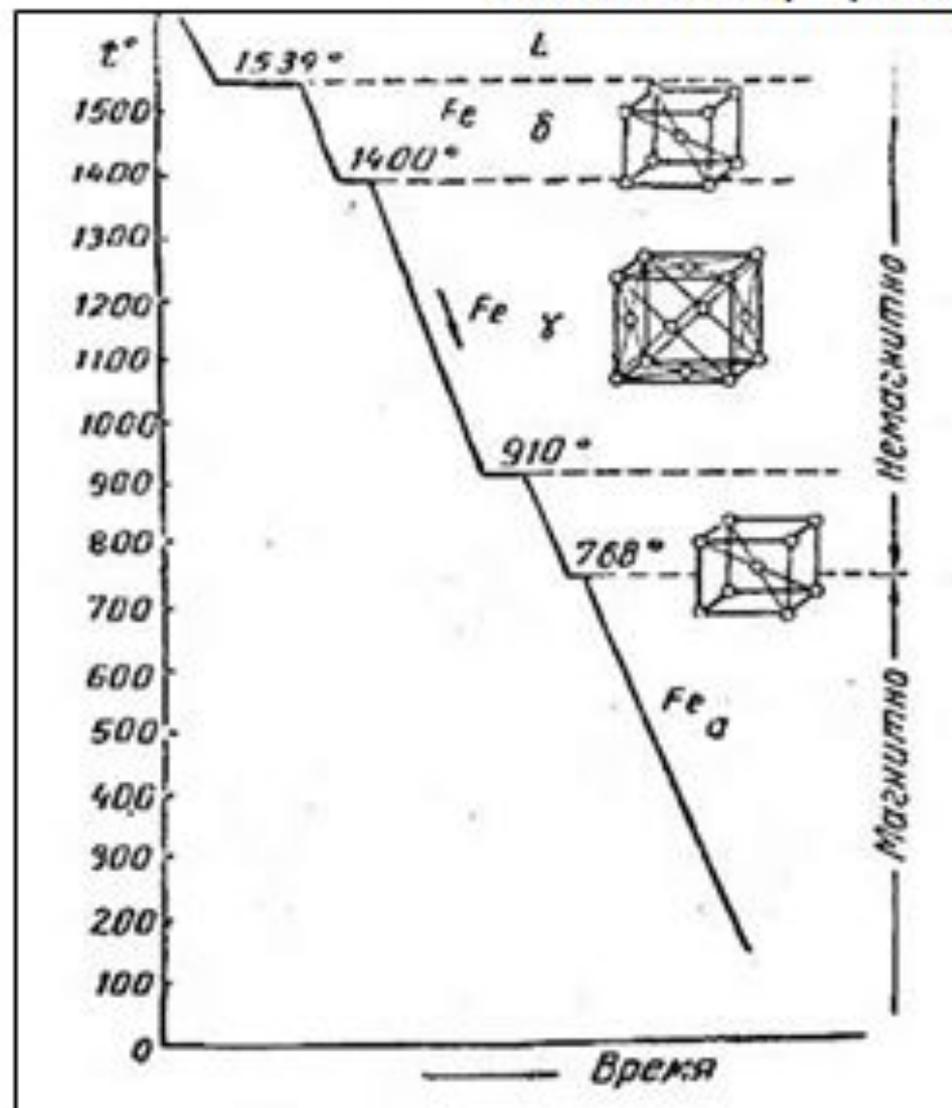
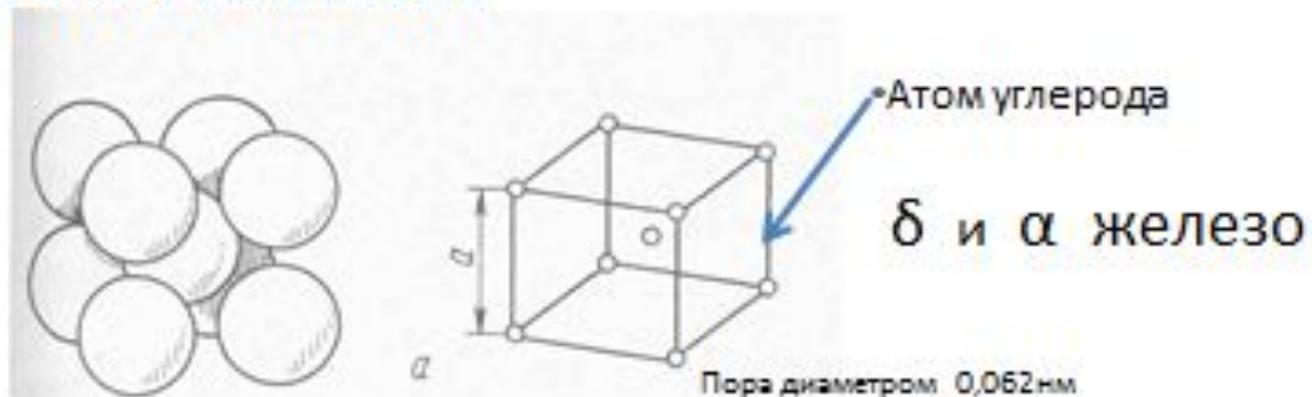
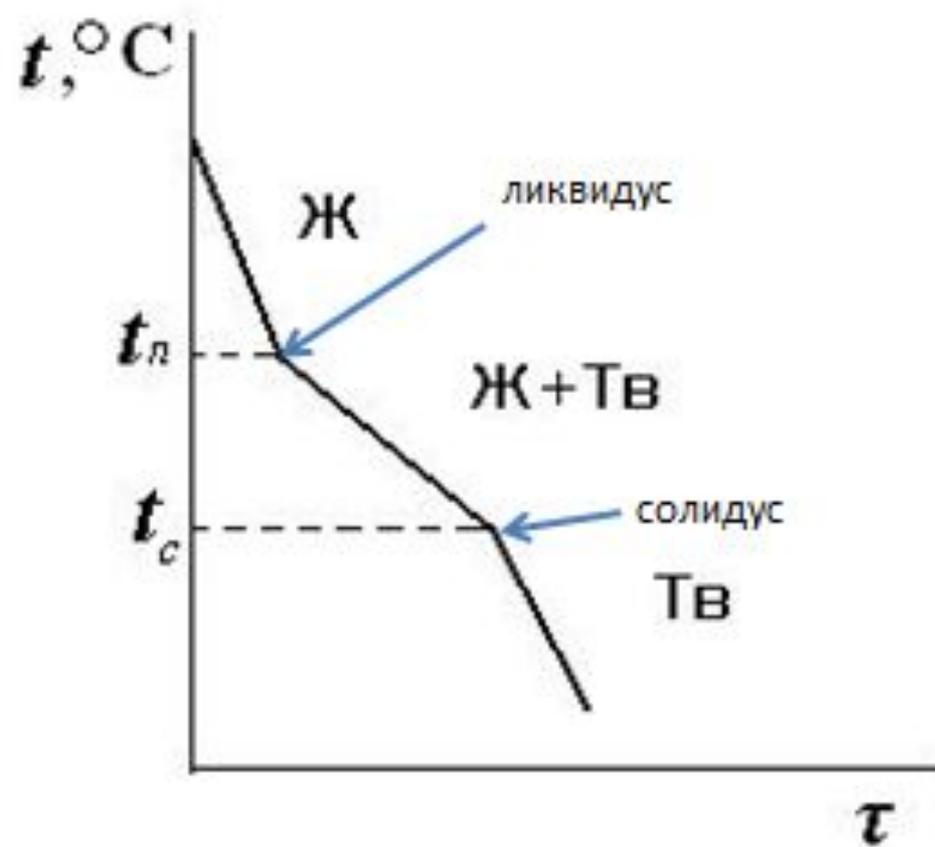


Схема изменения свободной энергии полиморфных модификаций железа с ОЦК - и ГЦК - структурами.

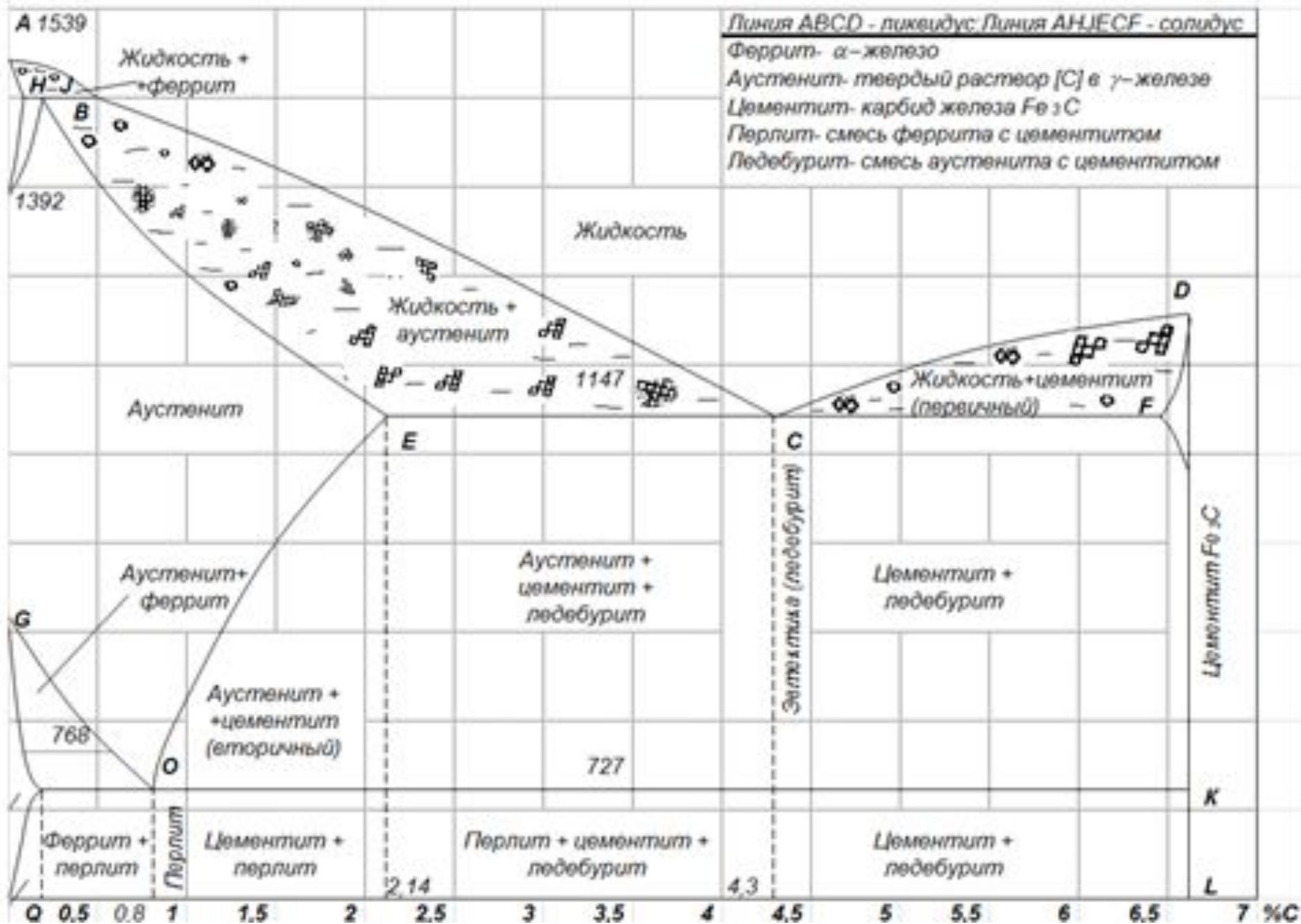
## Твердые растворы углерода в различных типах решеток чистого железа



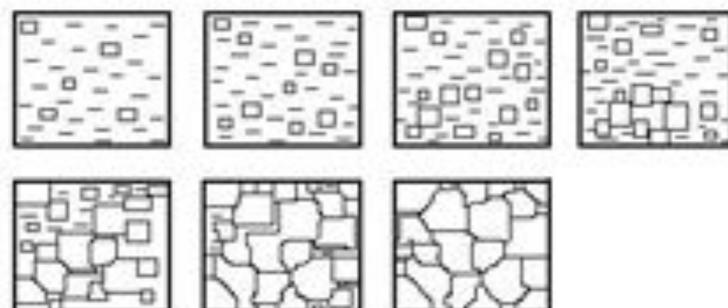
## Кривая охлаждения сплава



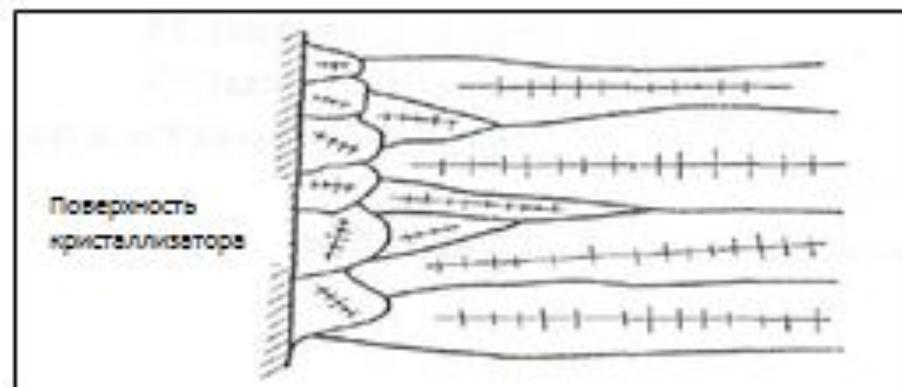
# Диаграмма состояния Fe-C



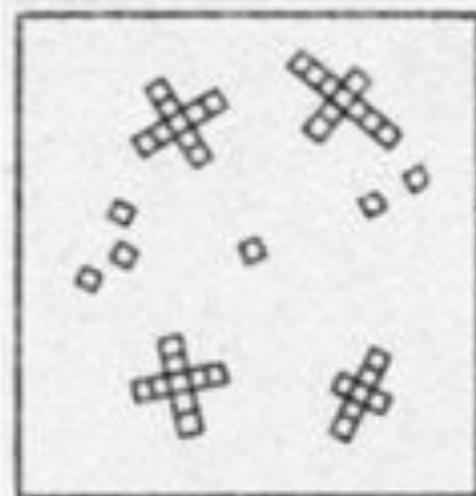
## Модель процесса кристаллизации металлов



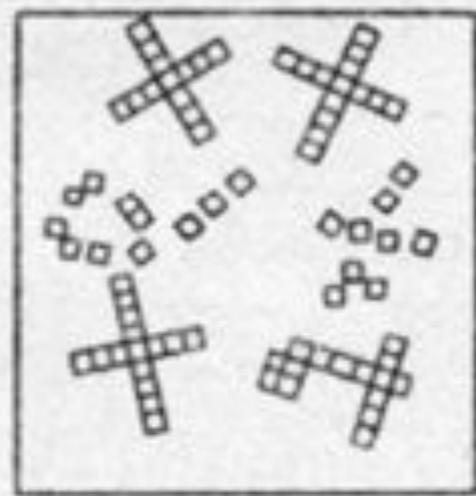
*Схема процесса кристаллизации металлов*



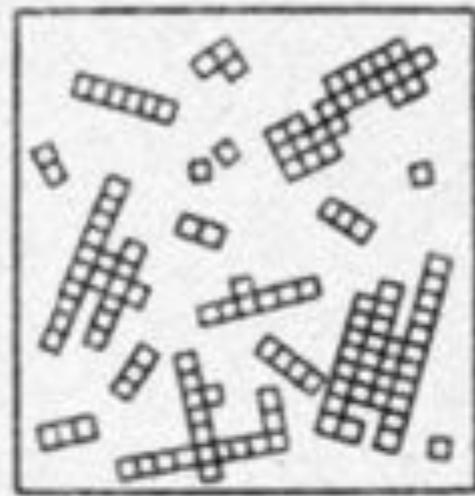
*Рост дендритных кристаллов*



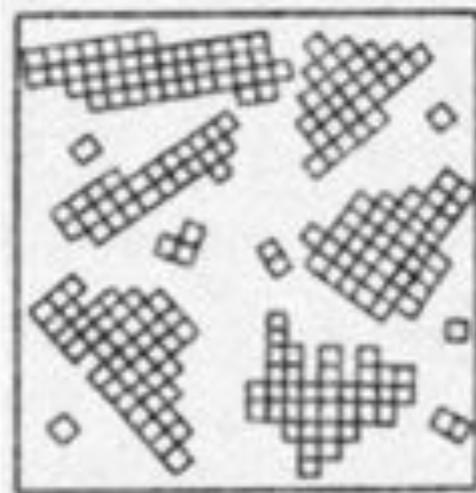
a)



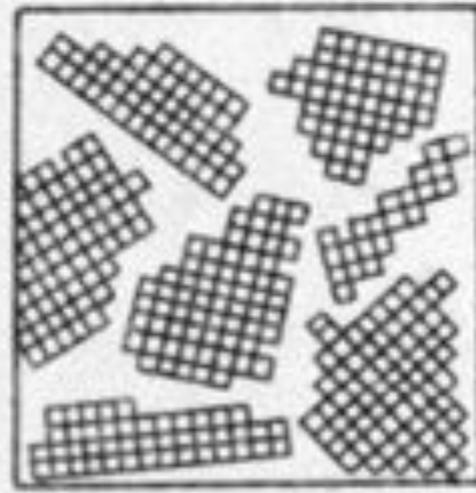
b)



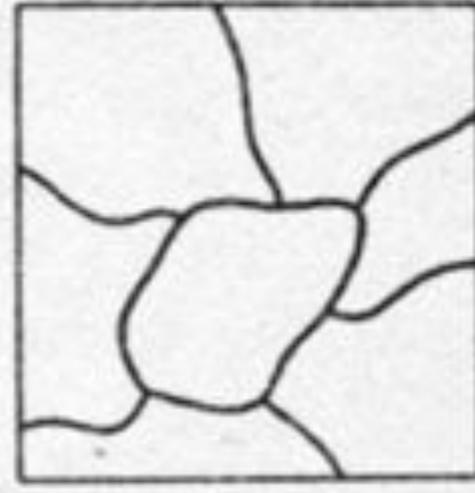
c)



d)



e)



f)

**КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ**- это правильное, закономерное расположение частиц (атомов, молекул) в пространстве.

Процесс кристаллизации состоит из двух частей: зарождения зародышей и их роста. Образование зародыша кристалла возможно двумя путями: гомогенное и гетерогенное. При гомогенном зарождении кристалл должен зародиться в объеме жидкой фазы. Это энергетически более сложно, чем гетерогенное зарождение на границе сред: на стенках изложниц или кристаллизатора, на твердой поверхности уже затвердевшего металла и др

В кристалле каждый атом имеет одно и то же количество ближайших атомов-соседей, расположенных на одинаковом расстоянии. Кристаллы металлов обычно имеют небольшие размеры. Поэтому металлическое изделие состоит из очень большого числа кристаллов. Подобное строение называется **ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИМ**

Свойства отдельно взятого кристалла по данному направлению отличаются от свойств в другом направлении и зависят от того, сколько атомов встречаются в этом направлении. Различие свойств в зависимости от направления испытания носит название **АНИЗОТРОПИИ**.

Произвольность ориентировки каждого кристалла приводит к тому, что в любом направлении располагается примерно одинаковое количество различно ориентированных кристаллов. В результате получается, что свойства такого поликристаллического тела одинаковы во всех направлениях. Такое явление называется **КВАЗИИЗОТРОПИЕЙ**.

# Диффузионное (перлитное) превращение переохлажденного аустенита

Схема образования перлита в  
зерне аустенита



Межпластинчатое  
расстояние

Перлит (727...650 °C)  $S_0 = 0,5...1,0$  мкм

Сорбит (650...600 °C)  $S_0 = 0,2...0,4$  мкм

Троостит (600...550 °C)  $S_0 < 0,1$  мкм

Структура перлита



Зависимость твердости и  
межпластинчатого расстояния от  
температуры перлитного  
превращения



## Фазы железоуглеродистых сплавов

**Феррит** - твердый раствор внедрения С в  $\alpha$ -железе с объемно-центрированной кубической решеткой

**Аустенит** - твердый раствор внедрения С в  $\gamma$ -железе с гранецентрированной кубической решеткой

**Цементит** - карбид железа;  $Fe_3C$   
метастабильная высокоуглеродистая фаза

**Графит** - стабильная высокоуглеродистая фаза

## Структуры железоуглеродистых сплавов

**Перлит** - эвтектоидная смесь, состоящая из тонких чередующихся пластинок феррита и цементита

**Сорбит** - дисперсный перлит

**Троостит** - высокодисперсный перлит

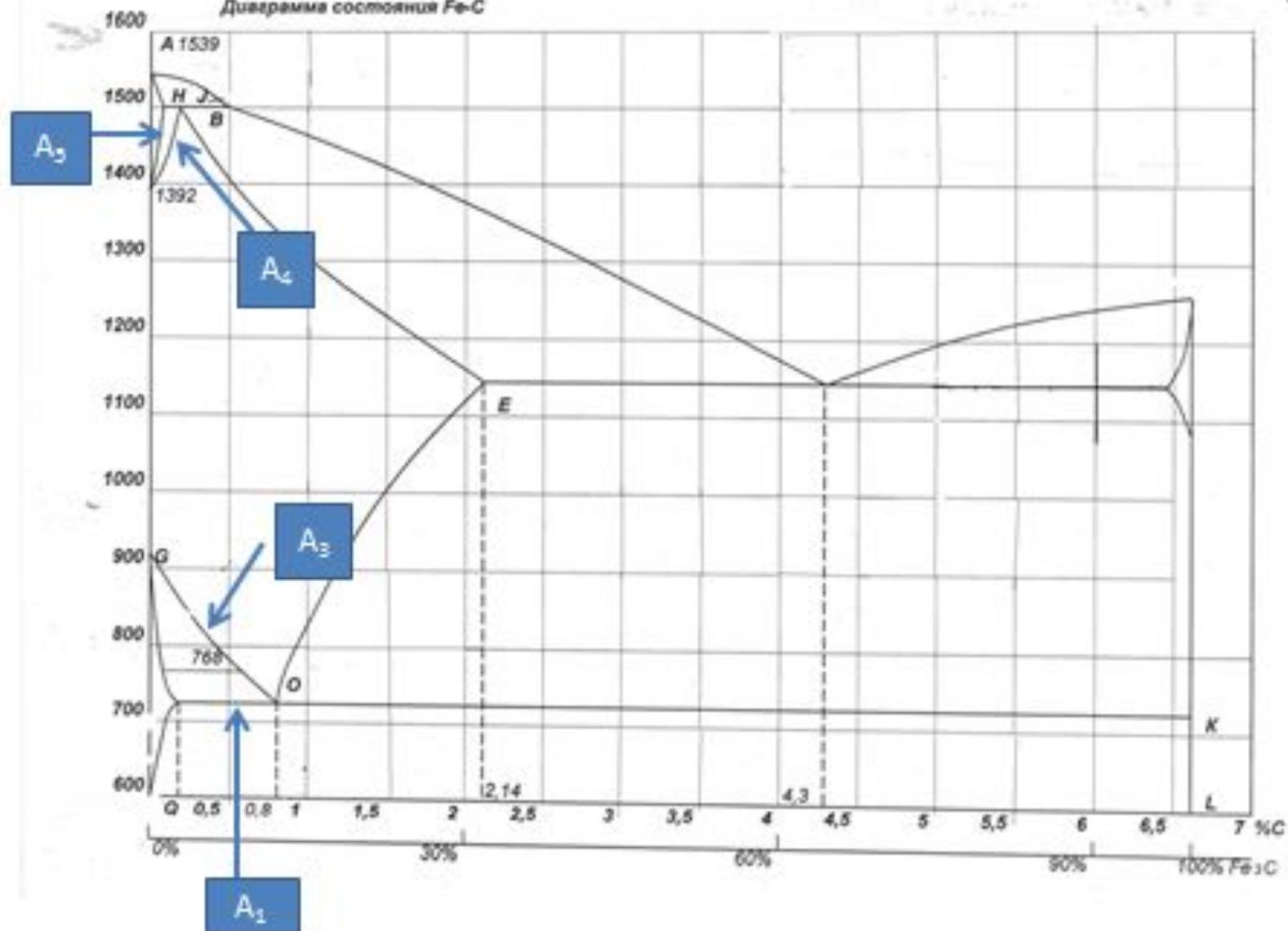
**Бейнит** - ультрадисперсная смесь кристаллов низкоуглеродистого мартенсита и карбидов железа

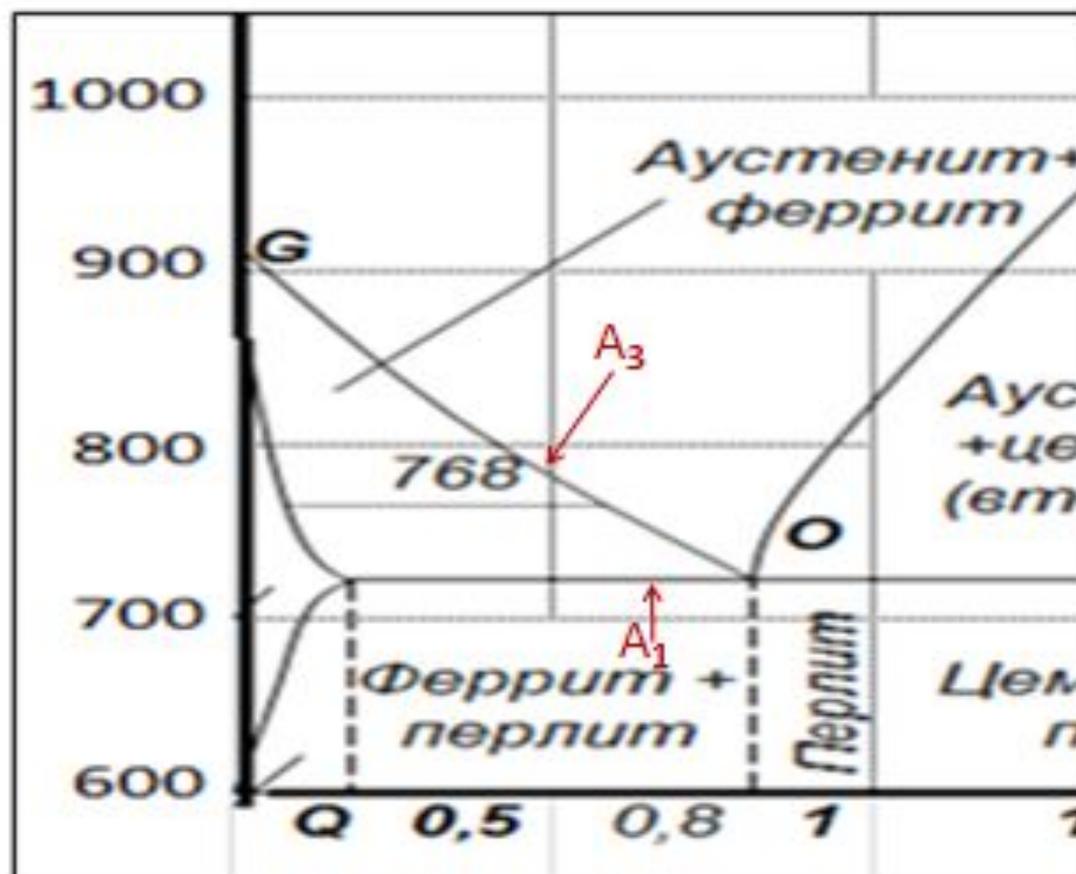
**Мартенсит** - сильно пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе с объемно-центрированной тетрагональной решеткой

## Твердость структурных составляющих

Феррит		80-100HV
Цементит		820 HV
Перлит	пластинчатый	190-230HV
	зернистый	160-190HV
	сорбитообразный	230-260HV
Сорбит		270-320HV
Троостит		330-400HV
Троостомартенсит		400-600HV
Мартенсит		646-760HV
Аустенит		170-220HV

Диаграмма состояния Fe-C





Ag<sub>3</sub>, Ag<sub>1</sub>- т-ры при  
охлаждении

Ac<sub>3</sub>, Ac<sub>1</sub>- т-ры при  
нагреве

Термическая обработка основана на фазовых превращениях в металле в твердом состоянии, происходящих при нагреве и охлажде-

нии. Для сталей основными превращениями являются следующие:

1 Превращение перлита в аустенит при нагреве.

2 Превращения аустенита при охлаждении:

перлитное,

мартенситное,

бейнитное.

3 Превращения мартенсита при нагреве.

Условные обозначения основных критических линий диаграммы железо-цементит, используемые при термообработке: **Ac1** - (PSK);

**Ac3**

- (GS); **Ac<sub>m</sub>** - (SE).

# НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Одним из главных факторов, понижающих качество стали, является степень загрязненности ее неметаллическими включениями.

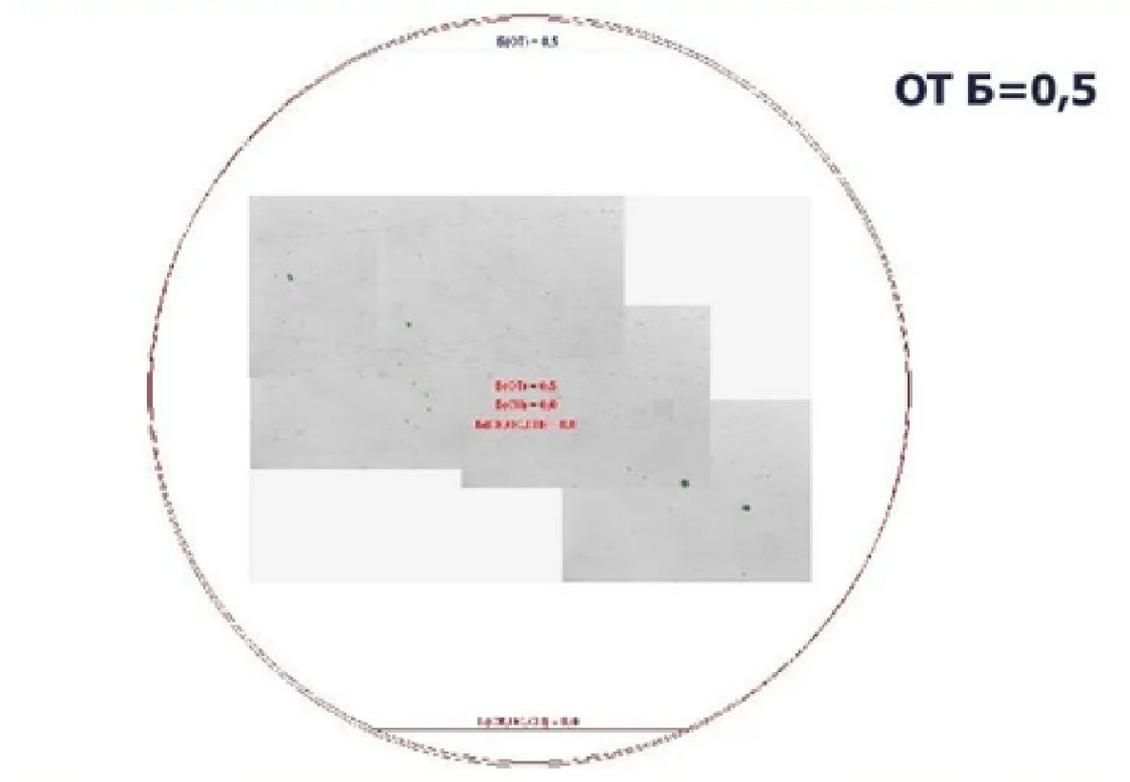
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ называются частицы примесей в стали, образующиеся в результате механических и химических процессов, либо во время затвердевания металла.

Свойства стали определяются во многом природой, формой, размером и распределением включений, которые в свою очередь зависят от состава стали, способа выплавки, разливки и раскисления, условий затвердевания и последующей деформации.

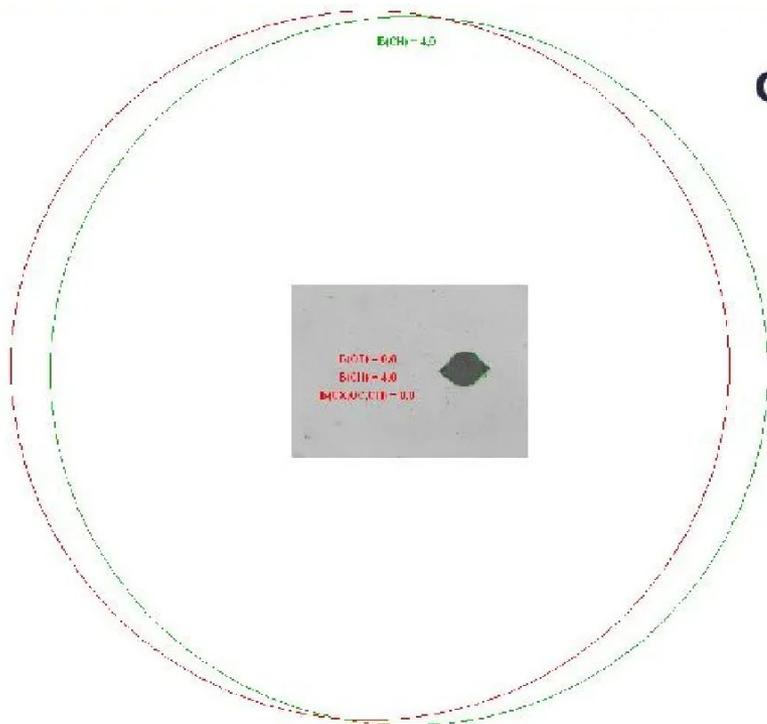
Неметаллические включения бывают ЭКЗОГЕННЫЕ - частицы, отделившиеся от шлака или от футеровки и ЭНДОГЕННЫЕ - образующиеся в результате химических реакций при выплавке. С, Si, Mn соединяются с  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $N_2$  и другими элементами, при этом образуются сульфиды, оксиды, силикаты, нитриды.

По химическому составу различают кислородные, сульфидные, нитридные НВ

Наиболее распространены *кислородные* неметаллические включения. Встречаются в виде простых окислов ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  и др.), сложных окислов типа шпинелей ( $\text{FeO} * \text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO} * \text{Al}_2\text{O}_3$  и др.) и алюминатов ( $n\text{CaO} * m\text{Al}_2\text{O}_3$  и др.), силикатов и силикатных стекол ( $2\text{FeO} * \text{SiO}_2$ ,  $3\text{Al}_2\text{O}_3 * 2\text{SiO}_2$  и др.)

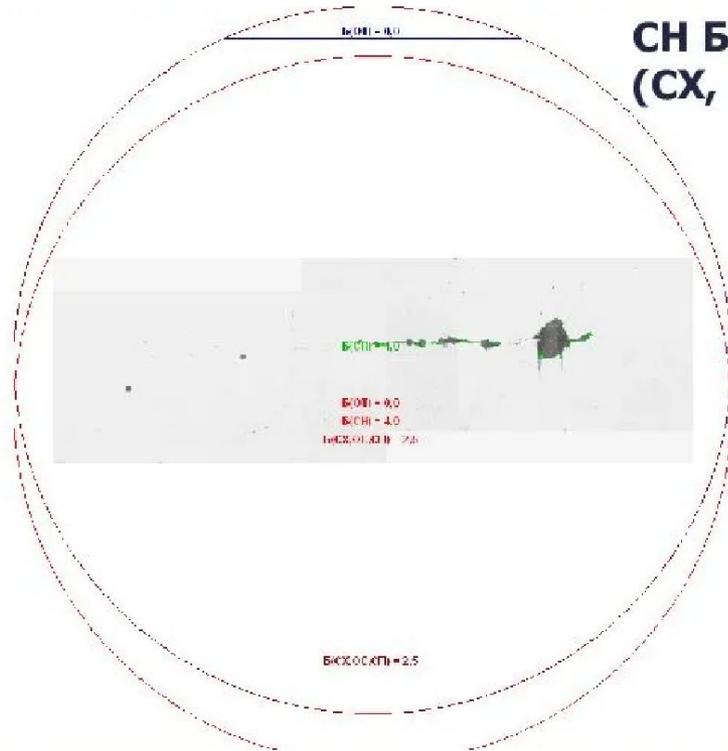


Оксиды  
точечные



**СН Б=4,0**

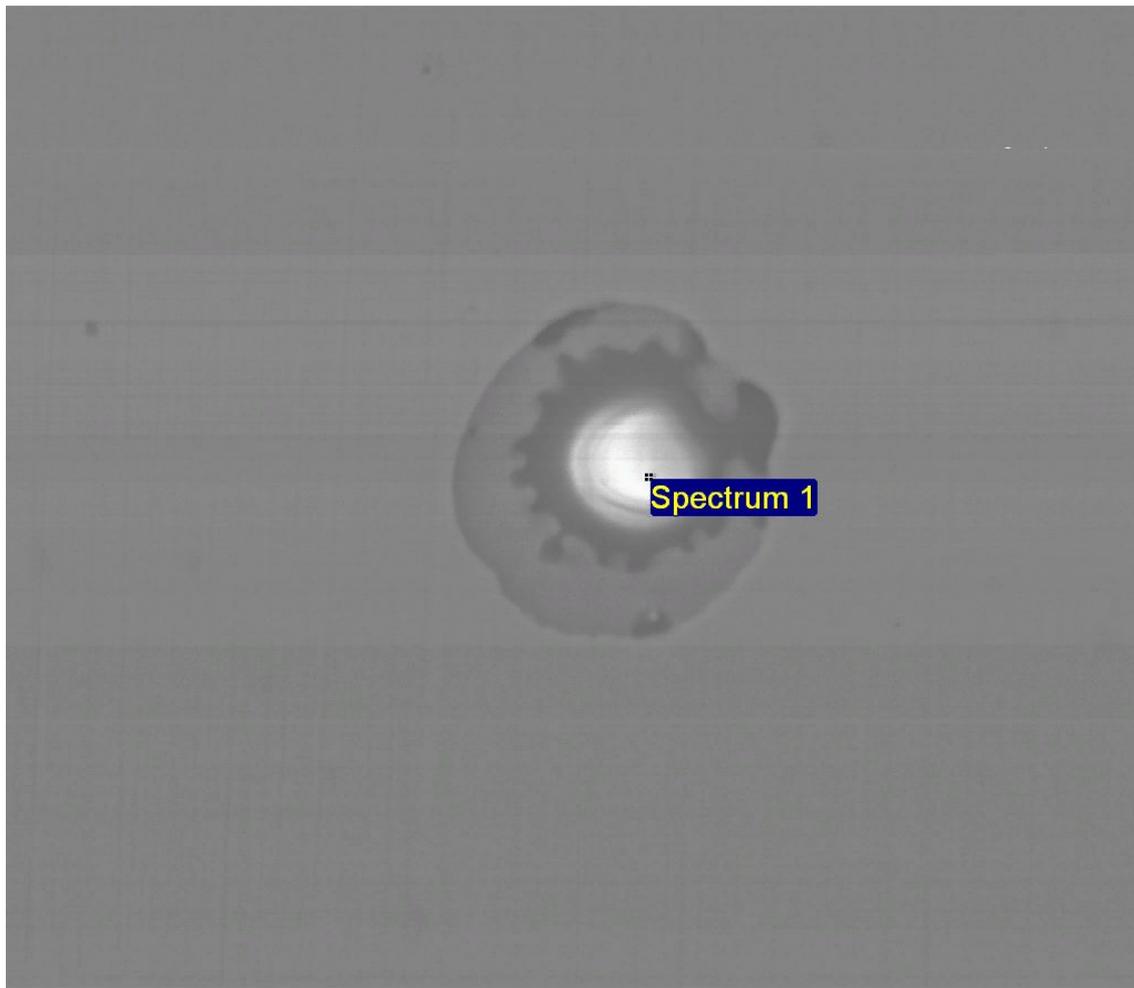
*Слиликаты  
недеформирующиеся*



**СН  $B=4,0$   
(СХ, ОС, СП)  $B=2,5$**



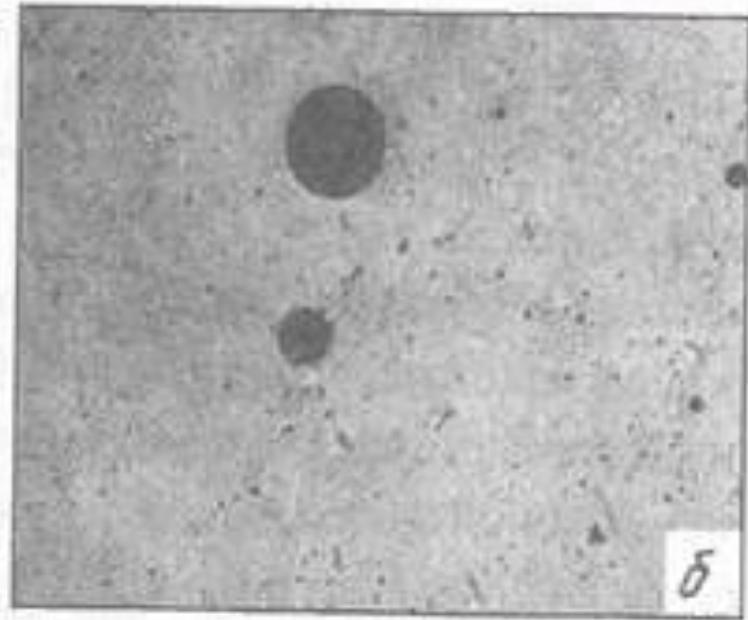
*Сложное включение: оксиды строчечные + силикаты хрупкие + силикаты пластичные, силикаты недеформирующиеся*



20µm

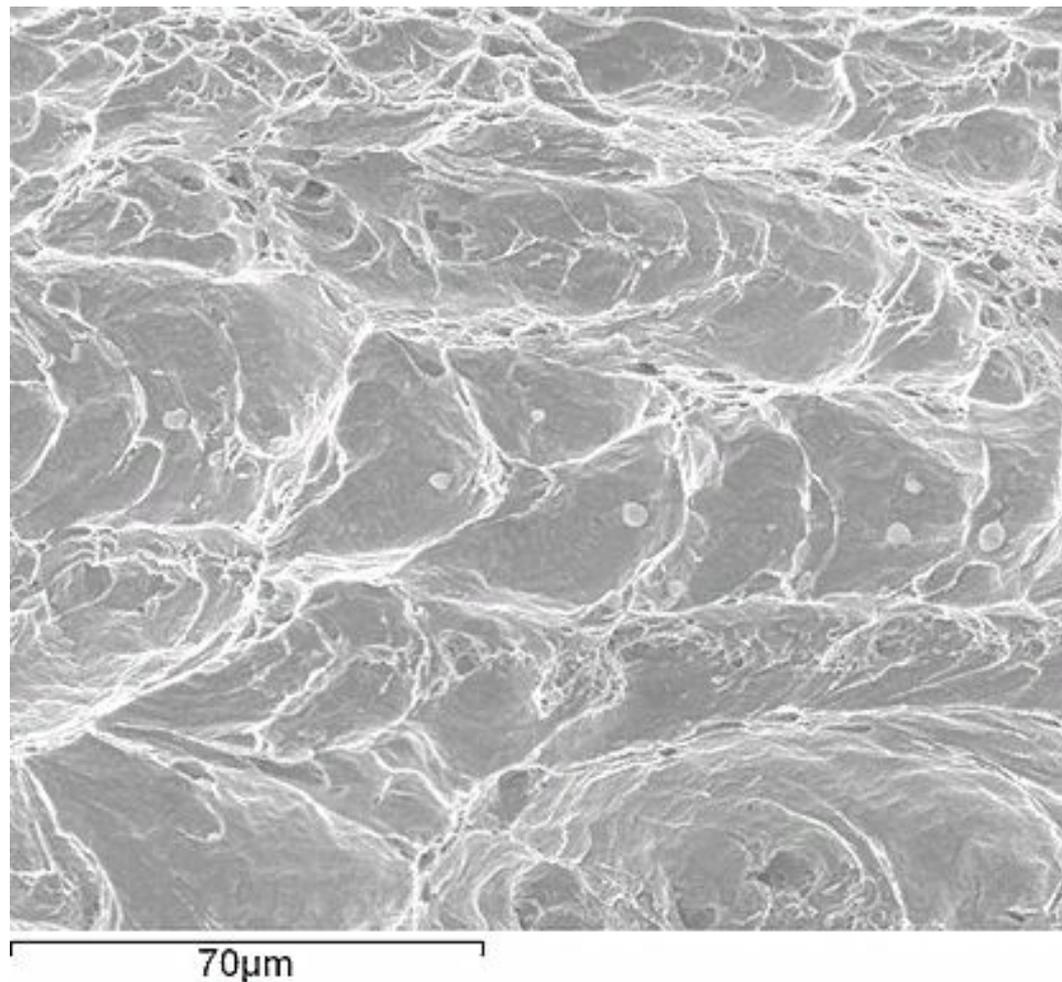
Electron Image 1

*Оксид  
кремния*



*Сульфидные включения*

Вязкое разрушение практически всегда контролируется включениями. На дне ямок, характеризующих вязкий излом стали, практически всегда имеются неметаллические включения (ими могут быть также карбиды, нитриды)



НВ на дне ямок вязкого излома, трубная сталь 09Г2ФБ

## **Металлографический метод определения типа НВ**

Металлографический метод относится к оптическим методам качественного определения типа включения. Любое исследование НВ в стали обязательно начинается с изучения их на подготовленных (прошедших шлифовку, полировку) шлифах. Изучение НВ проводится в различных увеличениях (x50-x1000) и типах равномерного освещения: в светлом поле зрения, в темном поле зрения, в поляризованном свете и др.

Основные характеристики, по которым определяют тип НВ:

- величина включения (например : «мелкие», «очень крупные»);
- внешняя форма НВ (например : «глобулярная», «вытянутая»);
- расположение НВ (например : «равномерное», «групповое»);
- строение НВ (например : «однофазное», «эвтектическое»);
- прозрачность НВ (например : «прозрачные», «полупрозрачные»);
- цвет (окраска) НВ (например : «голубовато-зеленые», «черные»);
- анизотропия НВ (например : «изотропные», «анизотропные»);
- явление темного креста (например : глобулярные прозрачные кварцевые стекла).

При термической обработке стали возможно получение следующих структурных составляющих:

**Мартенсит** представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$  – железе. Различают мартенсит закалки и мартенсит отпуска. Мартенсит закалки получается непосредственно после закалки и имеет тетрагональную кристаллическую решетку. При рассмотрении микроструктуры закаленной стали на темном фоне аустенита мартенсит виден в виде светлых игл.

**Троостит** – механическая смесь высокодисперсных частиц цементита и феррита. При закалке троостит является продуктом распада аустенита, а при отпуске – продуктом распада мартенсита. Частицы цементита в троостите неразличимы под обычным отечественным микроскопом даже при самом сильном увеличении (2000 раз).

**Сорбит** – механическая смесь цементита и феррита, но более грубого строения, чем троостит. Частицы цементита в сорбите крупнее, чем в троостите, и различимы под микроскопом при увеличении более 500 раз. Различают сорбит закалки и сорбит отпуска – зернистая.