

Направление подготовки бакалавров
«Химическая технология»

Материаловедение и технология конструкционных материалов



Лихачев Владислав Александрович, к.х.н.,
доцент



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Тема 2. Кристаллизация металлов.

2.1. Кристаллизация металлов.

2.2. Дефекты в металлах.

2.3. Строение реального металла.

2.4. Зерно в металле. Методы определения размера зерна.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Реальный металл

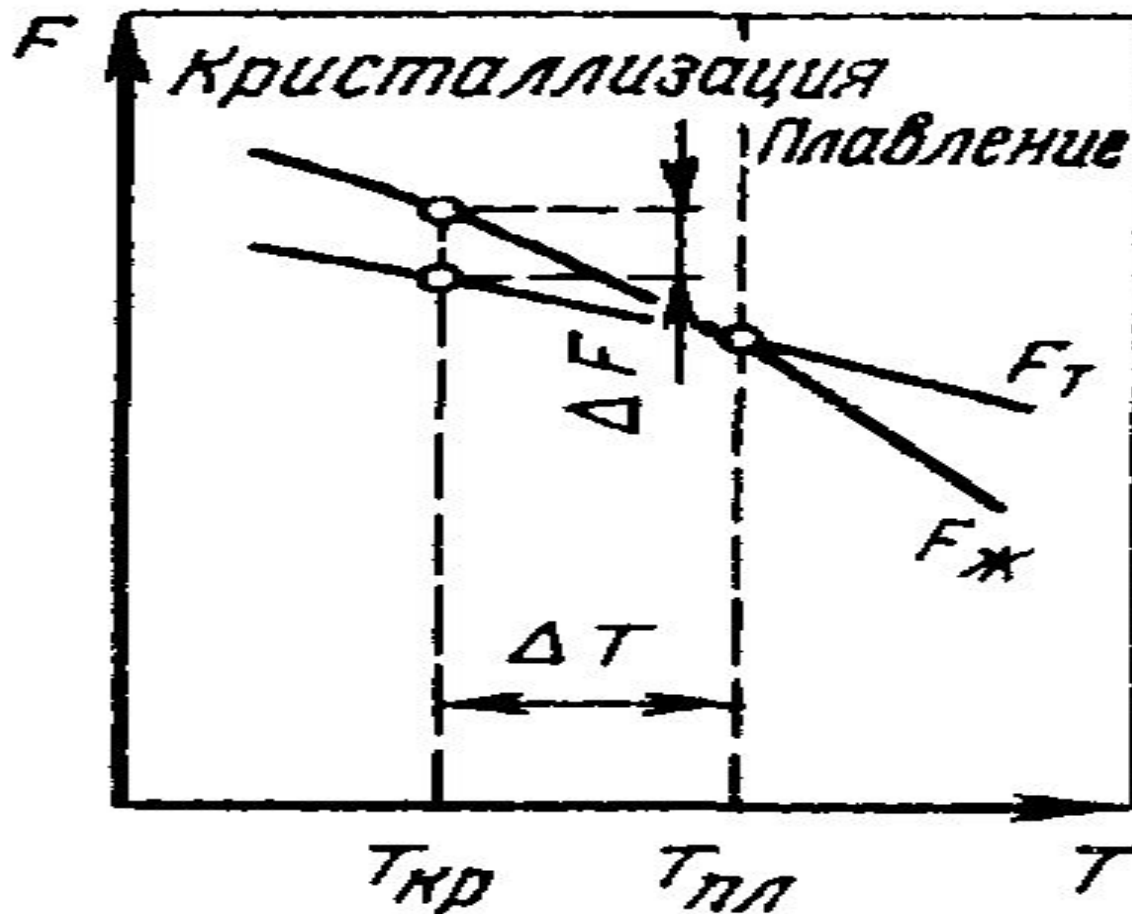
- Реальный металл может находиться в зависимости от температуры **в жидком** (высокие температуры) или **твердом** состоянии (обычные температуры).
- Это объясняется тем, что свободная энергия металла в жидком и твердом состоянии в зависимости от температуры меняется **по разному**.
- Вещество всегда находится в состоянии, обладающем **меньшей** свободной энергией. Для металла при высоких температурах меньшей свободной энергией обладает жидкое состояние, при низких – твердое состояние.
- Все это иллюстрируется графиком на следующем слайде.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние температуры на изменение свободной энергии жидкого и твёрдого металла

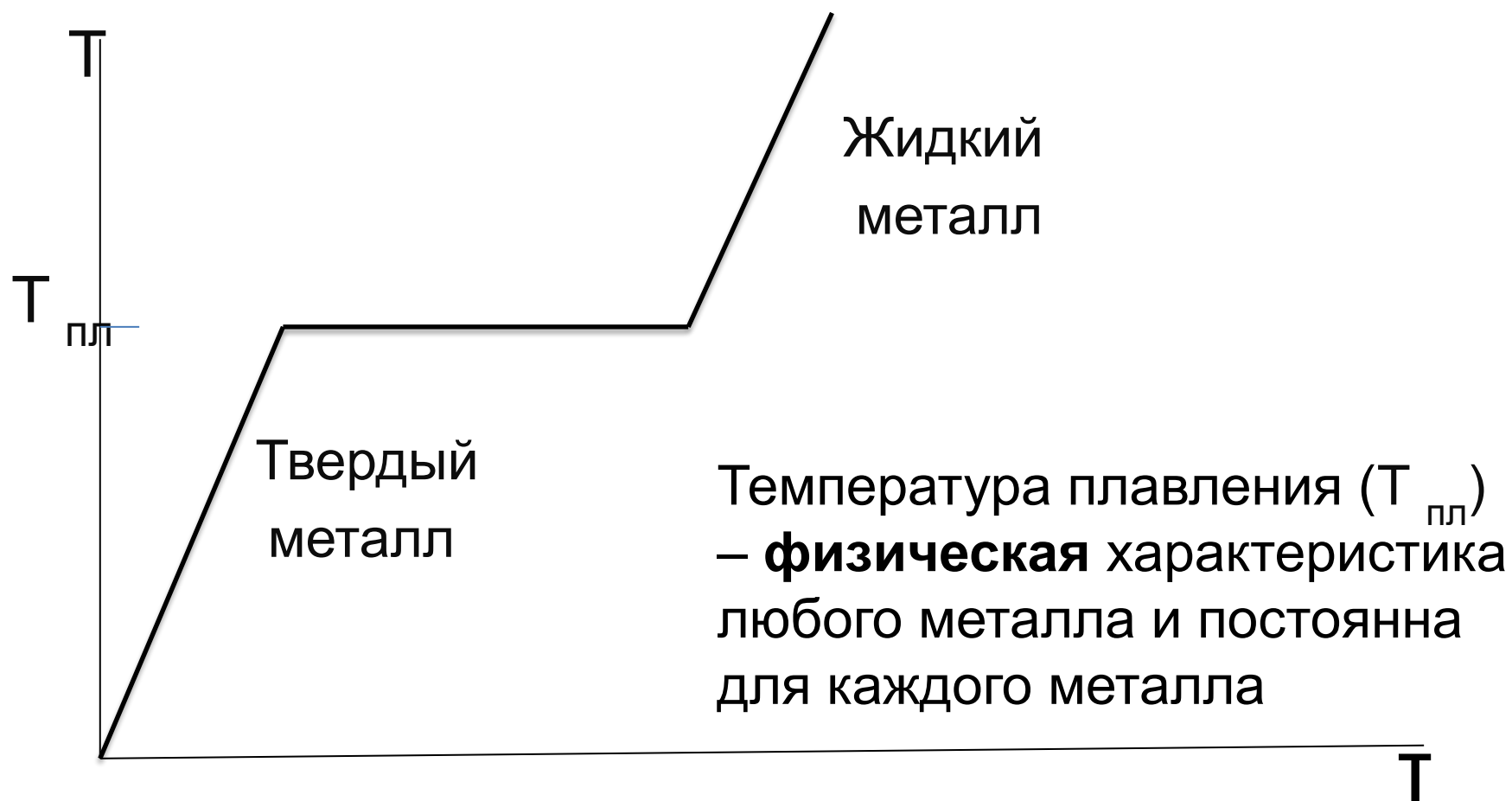
- Кривая F_T - изменение свободной энергии твёрдого металла при изменении температуры;
- Кривая $F_{ж}$ - изменение свободной энергии жидкого металла при изменении температуры





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

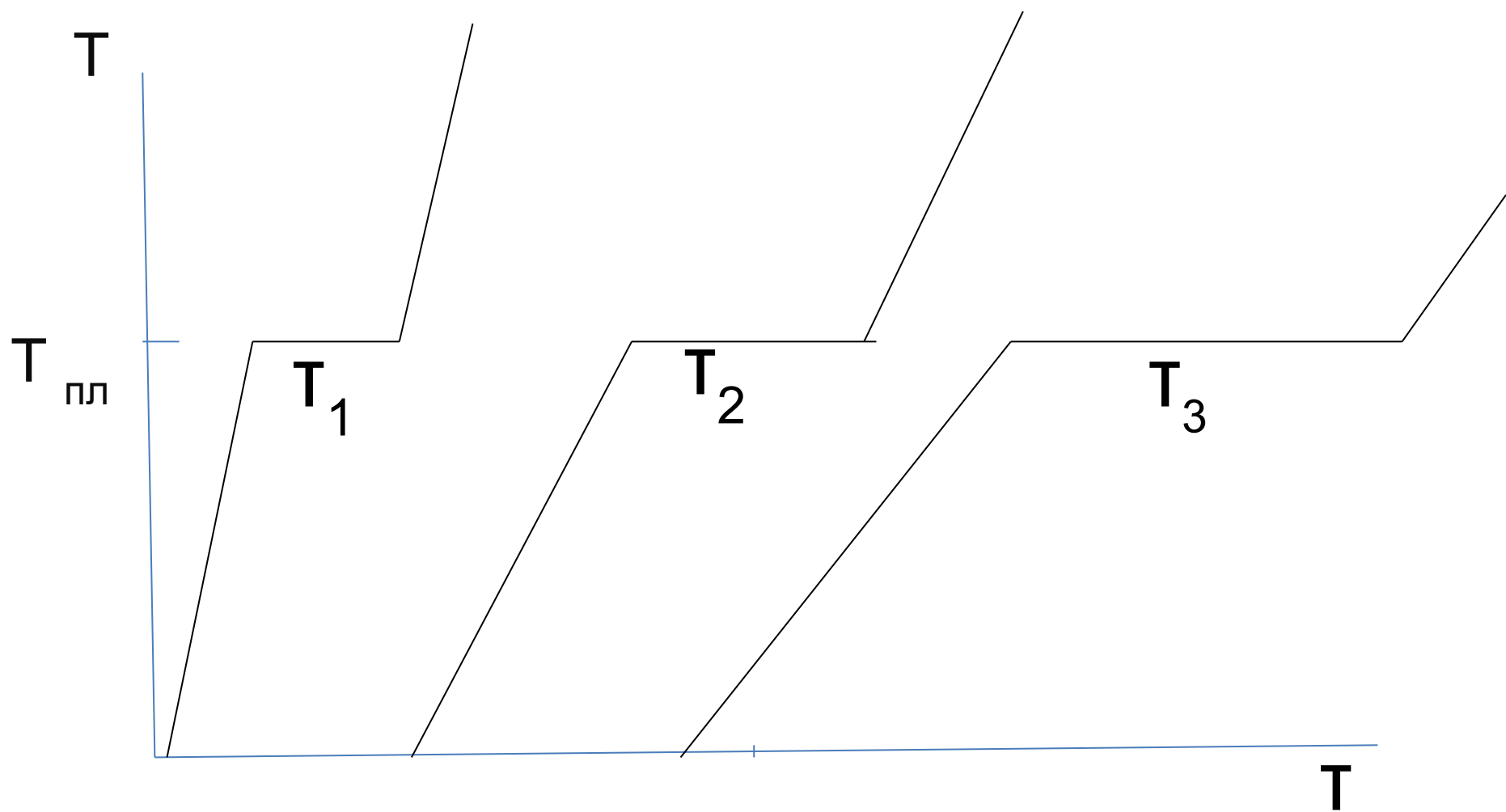
Кривая нагрева металла





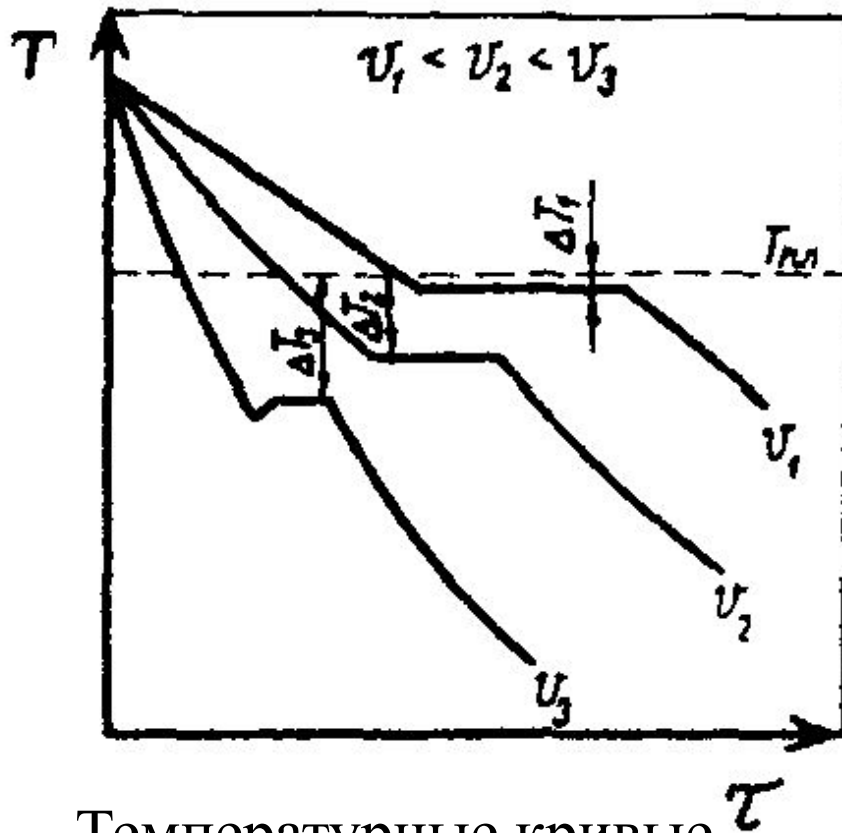
ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние скорости нагрева на ход кривой нагрева металла





Кривые охлаждения



Температура кристаллизации **не постоянна** и зависит от скорости охлаждения.

Температура кристаллизации всегда **ниже** температуры плавления.

При кристаллизации металла одновременно идут два процесса:

1. Образование зародышей;
2. Рост образовавшихся зародышей.

Температурные кривые кристаллизации металла с различными скоростями охлаждения



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние скорости охлаждения на скорость роста зародышей и их число





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Зерно в металле

- В результате образования зародышей и их роста с последующим смыканием в металле образуется **зерно**.
- Зерно (кристаллит) – это маленький **монокристалл** с определенной направленностью кристаллографической решетки.
- Чем больше скорость охлаждения тем более мелкое зерно образуется в кристаллическом металле



Строение реального металла

- **Реальный** металл состоит из отдельных зерен, маленьких кристаллитов.
- Зерно, как маленький монокристалл **анизотропно** по свойствам.
- Так как в металле много зерен, то свойства реального металла усредняются. Реальный металл **изотропен** по свойствам.
- В реальном металле, в отличие от идеального, большое количество дефектов строения, поэтому его прочность значительно уступает идеальному металлу (монокристаллу).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Дефекты строения реального металла

В реальном металле присутствуют три вида дефектов:

- **Точечные;**
- **Линейные**
- **Поверхностные**

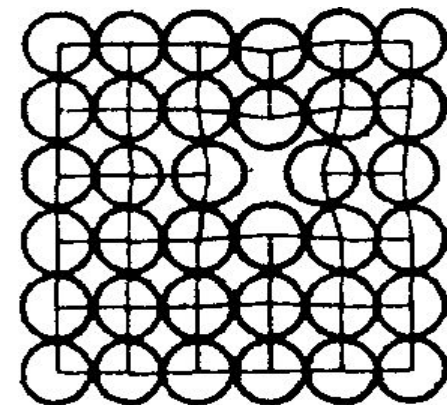


Дефекты кристаллического строения.

Точечные дефекты характеризуются малыми размерами во всех трех измерениях. К точечным дефектам относятся:

1. **Вакансии;**
2. **Атомы в междоузлиях;**
3. **Примесные атомы, атомы других элементов**

1) свободные места в узлах кристаллической решётки – **вакансии** (дефекты Шоттки);

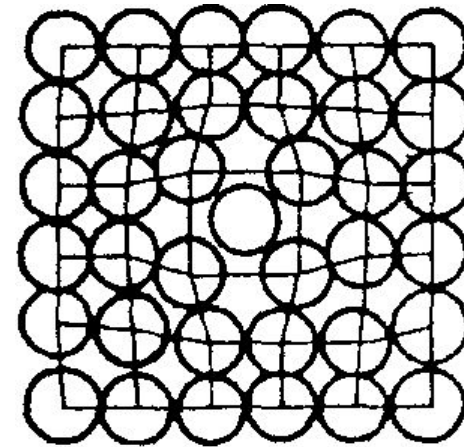




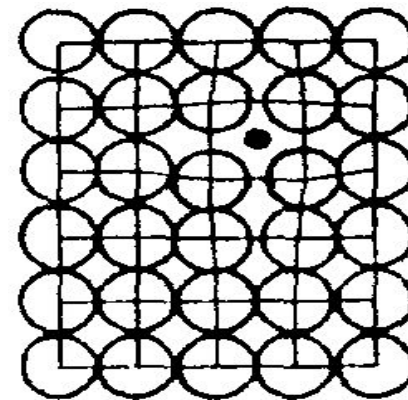
ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Точечные дефекты

2) атомы, сместившиеся из узлов кристаллической решётки в межузельные промежутки, - дислоцированные атомы (дефекты Френкеля);



3) атомы других элементов, находящиеся в узлах и междоузлиях, - примесные атомы.



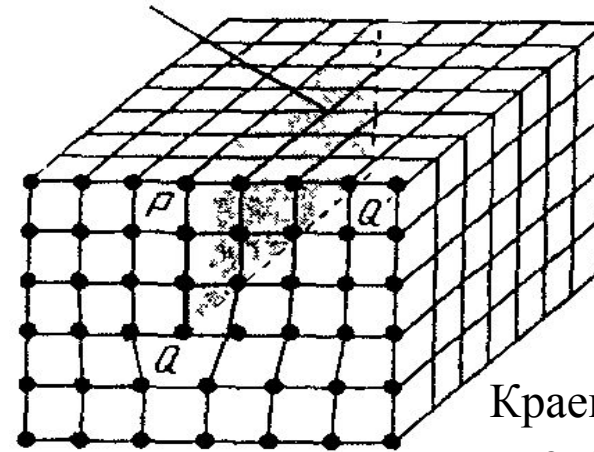


ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

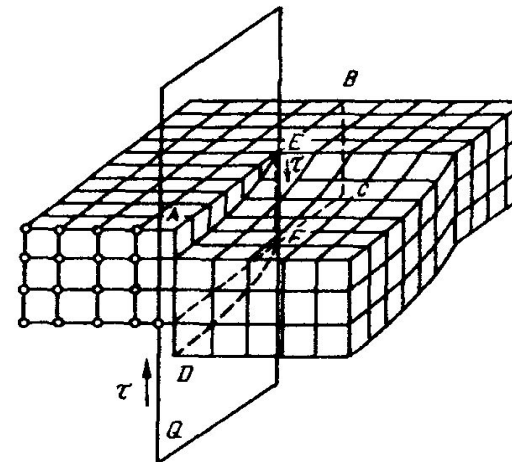
Линейные дефекты

Линейные дефекты характеризуются малыми размерами в двух измерениях, но имеют значительную протяженность в третьем измерении. Наиболее важный вид линейных дефектов – **дислокации: краевая дислокация (экстраплоскость) и винтовая дислокация.**

Экстраплоскость p'



Краевая
дислокация



Винтовая
дислокация



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Плотность линейных дислокаций

- $\rho = \Sigma L/V \text{ см/см}^3$
- Монокристалл - $\rho = 10^3-10^6$ (10м-10км);
- Отожженный металл - $\rho = 10^7-10^8$
(100 км- 1000 км);
- Холодное деформирование - $\rho = 10^9-10^{11}$
(100000км-10000000км)

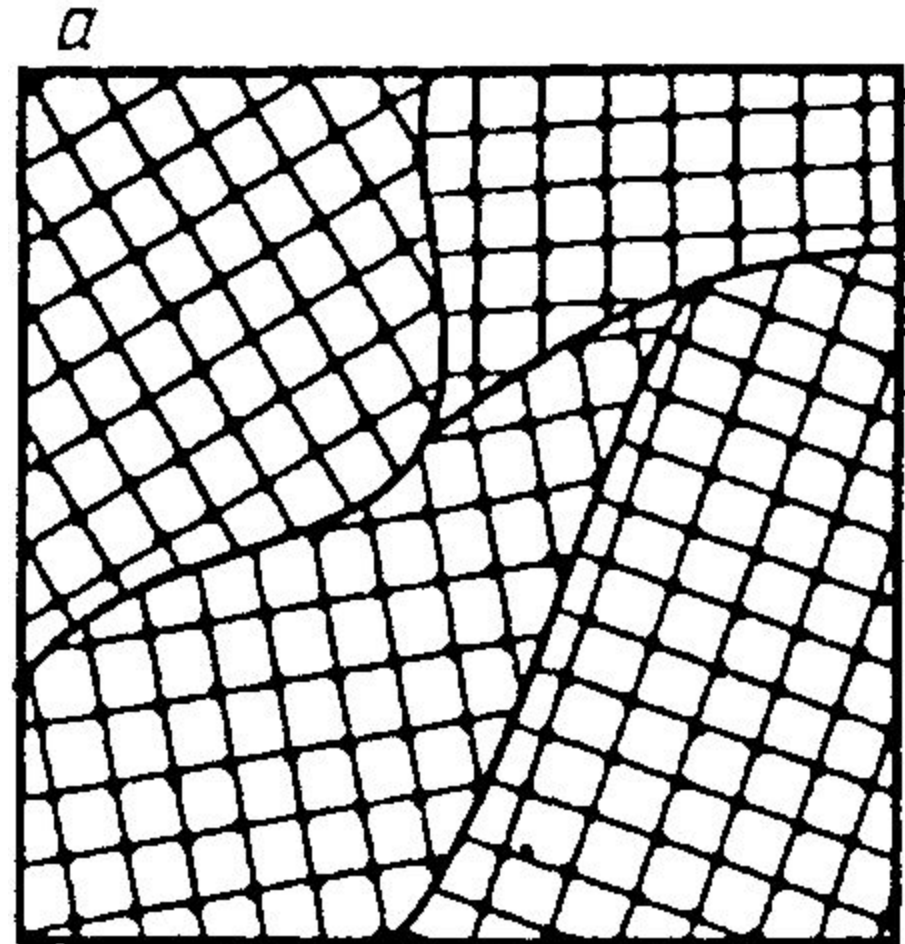


ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Поверхностные дефекты

Поверхностные дефекты имеют малую толщину в **одном** направлении и **значительные** размеры в **двух** других измерениях.

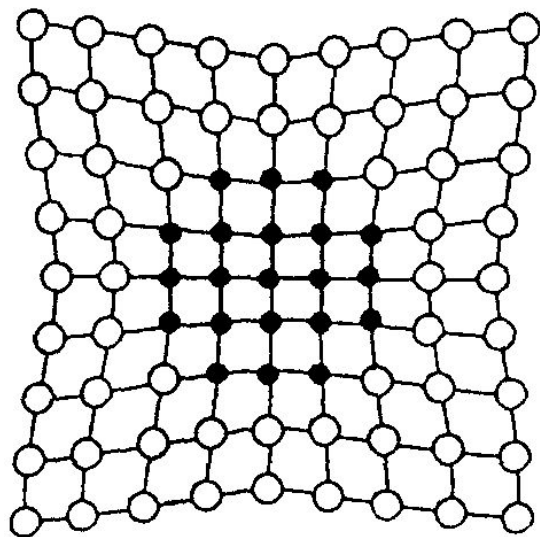
Поверхностные дефекты это:
границы зерен;



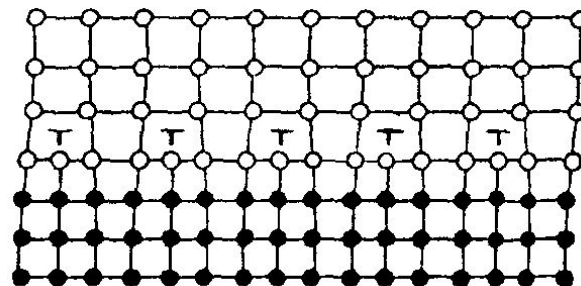


ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

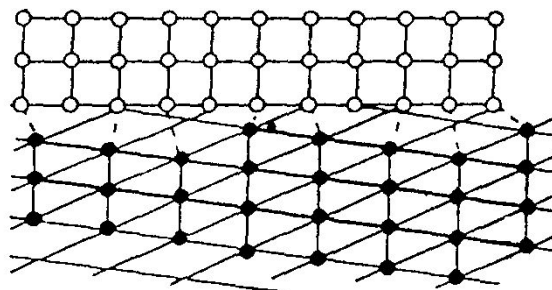
Виды границ зерен разных фаз.



Когерентная
межфазная граница



Полукогерентная
межфазная граница

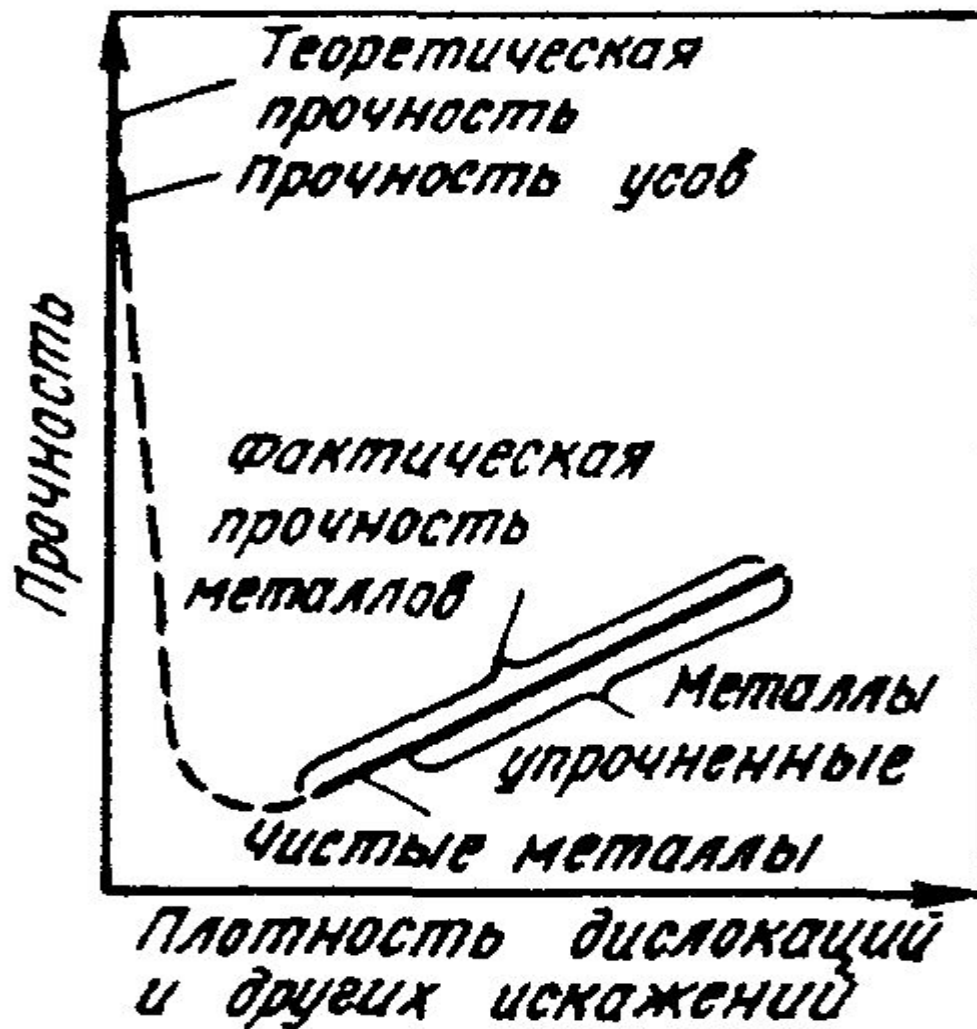


Некогерентная
межфазная граница



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Свойства реального металла сильно
зависят от количества дефектов.





Повышение прочности металла

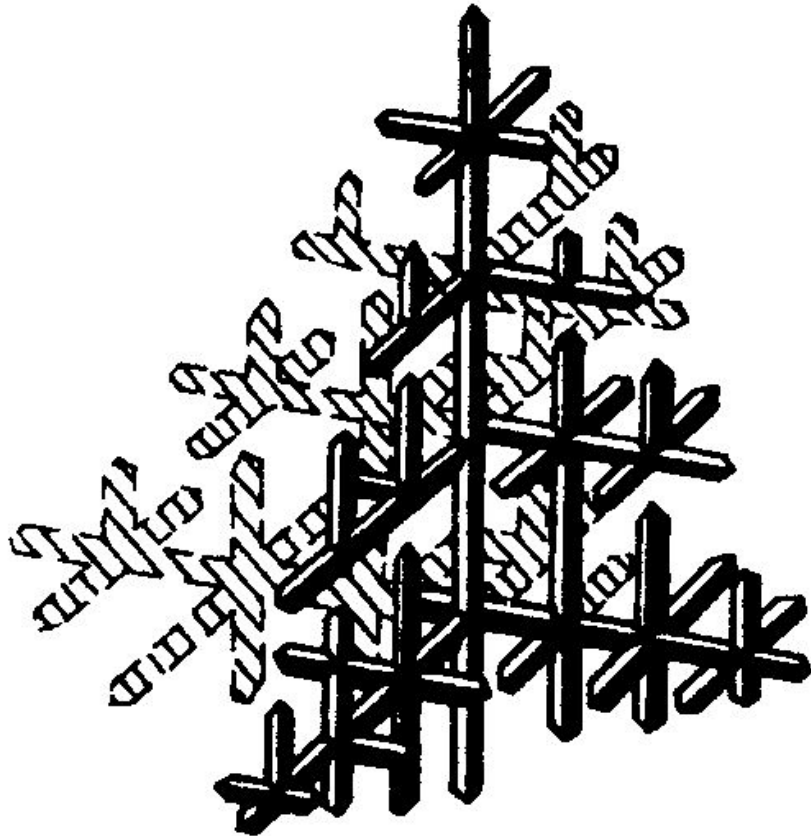
Существует два способа повышения прочности металлов:

1. Получение металлов с более близким к идеальному строением кристаллической решетки, т.е. металлов, в которых **отсутствуют** дефекты кристаллического строения или их число **мало**;
2. Увеличение числа структурных несовершенств, препятствующих движению дислокаций (**закалка, деформационное упрочнение**).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Дендритное строение слитка



Образовавшийся при кристаллизации зародыш растет неравномерно. Наибольшей скоростью роста обладает наиболее плотноупакованная плоскость, поэтому часто зерно растет в виде иглы (ось первого порядка).

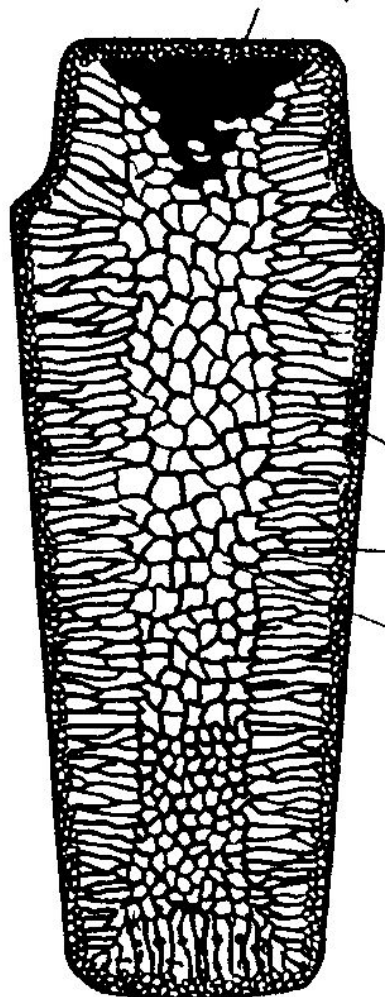
На ребре иглы происходят зарождение и рост перпендикулярных игл (ось второго порядка) затем третьего и т.д.

В результате образуется разветвлённый древовидный кристалл, называемый **дендритом**.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

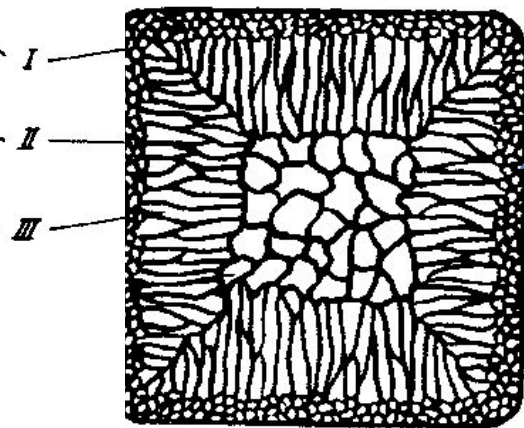
Усадочная раковина



Структура реального слитка

Зёрна (дендриты), образующиеся в стальном слитке, могут иметь различную форму, размеры и ориентировку.

Схема строения слитка спокойной стали приведена на рисунке. Структура слитка состоит из трёх зон: наружной мелкозернистой I, зоны столбчатых кристаллов II и зоны равноосных кристаллов III.



1 – Таким образом слиток снаружи со стороны формы имеет слой более мелкокристаллического, более плотного металла. Этот слой называется - **литейная корочка**



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Зерно в металле

- Таким образом, зерно в металле, его форма и размеры зависят от условий кристаллизации металла.
- В свою очередь размеры зерна в металле определяют свойства металла, такие как прочность, способность к деформации и т.д.
- Поэтому важно знать и контролировать **величину зерна** в металле.



Размер зерна

- Под размером зерна принято понимать величину его среднего диаметра, выявляемого в поперечном сечении.
- Это определение условно, так как действительная форма зерна в металлах меняется в широких пределах — от нескольких микрометров до миллиметров.
- Средний размер зерна оценивается баллами по специальной стандартизованной шкале.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Определение балла зерна

Существуют различные методы определения величины зерна (по ГОСТ 5639-82):

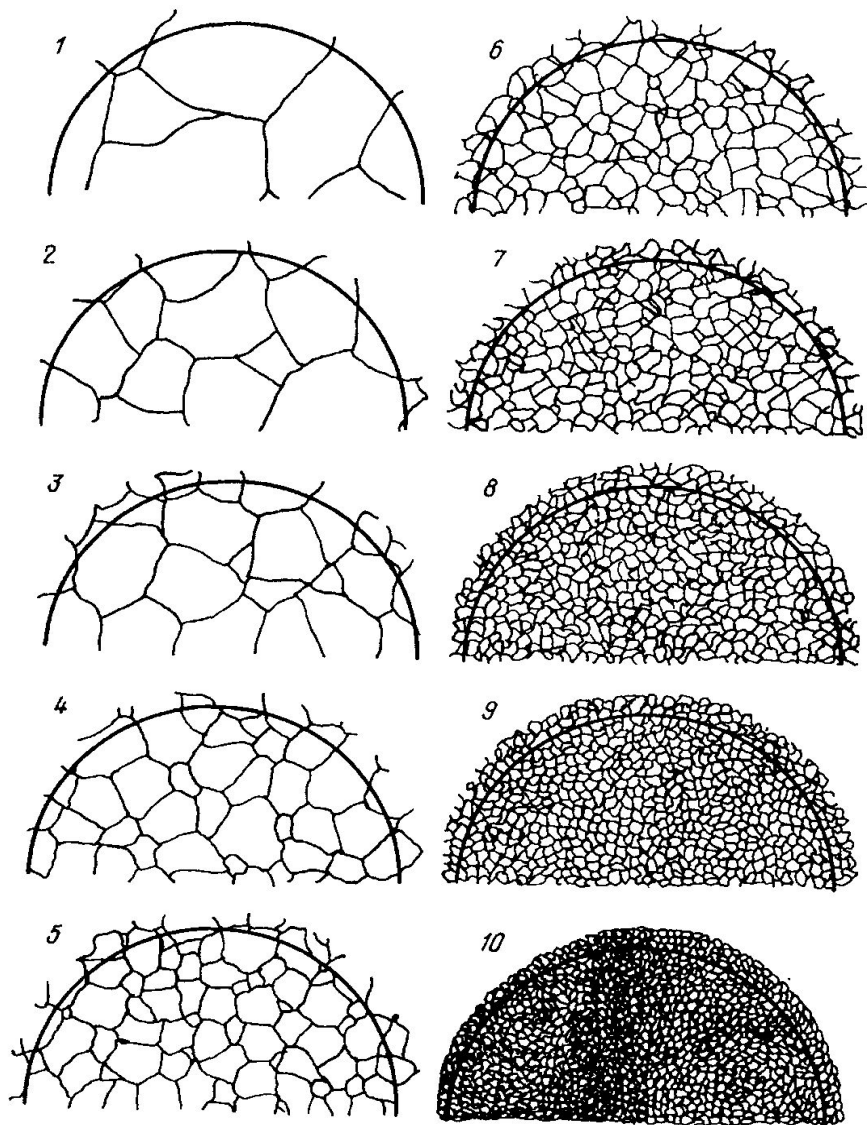
- метод эталонных шкал (наиболее распространён);
- метод подсчёта зёрен;
- метод подсчёта пересечений границ зерен;
- метод измерения длин хорд;

Сущность метода эталонных шкал заключается в следующем. Сначала просматривают всю площадь шлифа при увеличении в 100 раз. После просмотра выбирают несколько **типичных** участков и сравнивают со специальными эталонами представленными в шкале 1.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

Шкала №1 для определения величины зерна



Сравнивая картину
видимую в микроскопе
при увеличении $100\times$, с
эталоном
представленными на
шкале №1 определяют
балл зерна.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Определение размера крупного и мелкого зерна

- Для определения размера мелкого зерна используется дополнительная шкала **№1** для определения балла **мелкого** зерна. Увеличение при измерениях составляет $\times 200$, $\times 400$ и $\times 600$ (баллы 7-14)
- Для определения размера крупного зерна используется дополнительная шкала **№2** для **крупного** зерна (баллы от -3 до 2). При этом увеличение берется $\times 50$ или $\times 25$



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Определение размера зерна ГОСТ 5639-82

Номер зерна (балл зерна)	Среднее число зерен на 1мм ²	Среднее число зерен в 1мм ³	Средний диаметр зерна
-3	1	1	1
1	16	64	0,250
4	128	1448	0,088
10	8192	741085	0,011
14	131072	47449064	0,0027