

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
ВОЛГОГРАДСКИЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИКУМ КАДРОВЫХ РЕСУРСОВ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

КУРС ЛЕКЦИЙ
(заочная форма обучения)

Преподаватель **Шевелева Наталья Евгеньевна**

контактная информация sh_ne@mail.ru

УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

ТВЕРДОРАСТВОРНОЕ

проявляется при формировании любых сплавов с твердым раствором, особенно пересыщенным

введение в кристаллическую решетку металла атомов замещения или внедрения



кристаллическая решетка основного металла искажается вследствие различного размера атомов, образующих твердый раствор



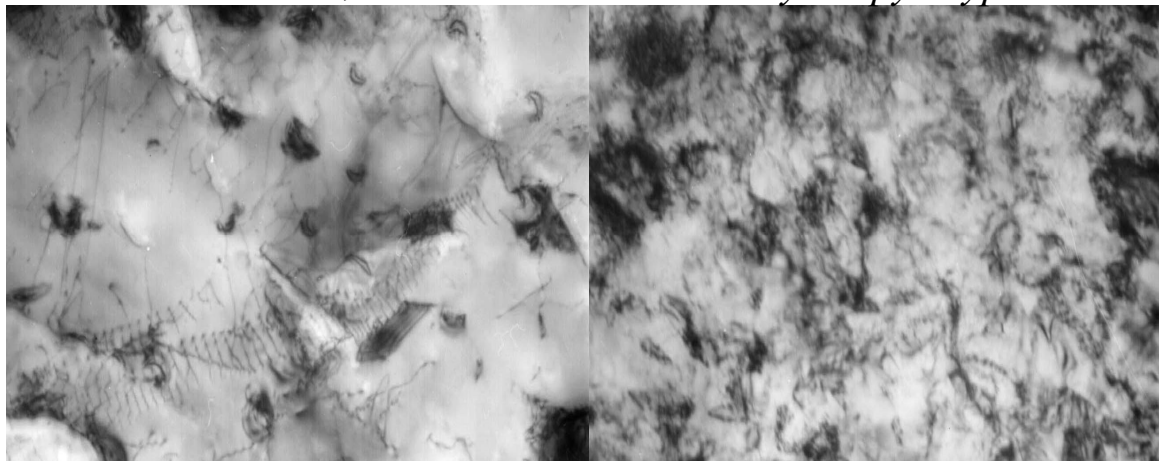
дислокации при своем движении должны преодолевать искажения кристаллической решетки, что затрудняет деформацию

Пример: Закалка стали

ДИСЛОКАЦИОННОЕ

достигается при формировании в кристаллической решетке большого числа дислокаций

ЭМ изображение дислокационной структуры в титане ($\times 25000$)
хаотически расположенные дислокации *упорядоченная дислокационная субструктура*



скольжение дислокаций через хаотически расположенные неподвижные дислокации



плотность дислокаций увеличивается



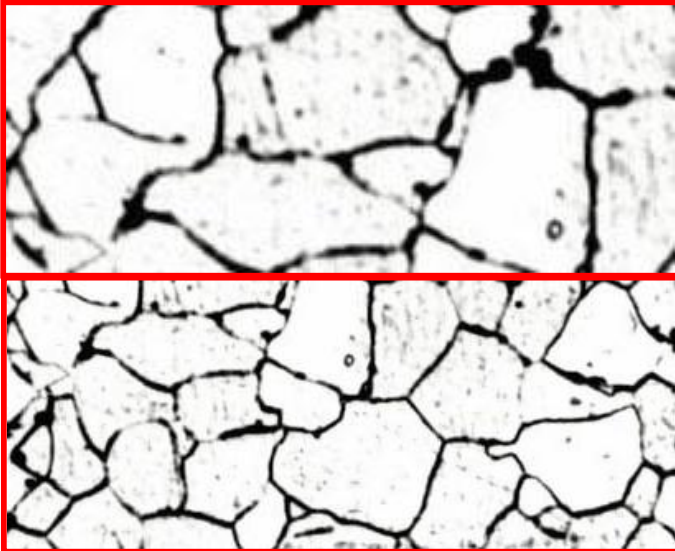
дислокации создают различные субструктуры, что тормозит процесс пластической деформации

Пример: Упрочнение наклепом

УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

ЗЕРНОГРАНИЧНОЕ

наличие границ зерен в поликристалле



при определенном значении напряжения дислокации не могут перейти через границу в другое зерно и начинают тормозиться. (для преодоления границы им необходимо дополнительное напряжение)



чем мельче зерно, тем прочнее металл

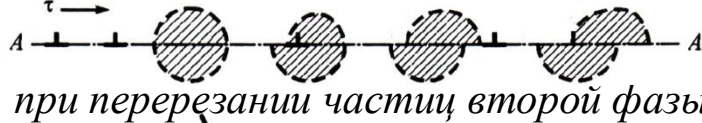
Пример:

Измельчения структуры при кристаллизации. Закалка и высокий отпуск стали.

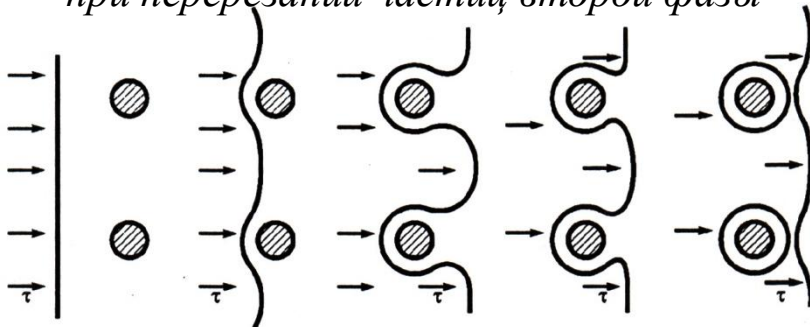
УПРОЧНЕНИЕ ДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

образование мелких выделений второй фазы в матрице основного металла

схема перемещения дислокации в двухфазных сплавах при образовании дислокационных петель



при перерезании частиц второй фазы



формирование в структуре сплавов дисперсных частиц карбидов, интерметаллических соединений, оксидов



создание дисперсными частицами препятствий для движения дислокаций



повышение прочности материала

Пример:

Закалка со старением алюминиевых и никелевых сплавов
Закалка с низким отпуском стали или старением стареющей стали

УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

СОВРЕМЕННЫЕ
КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ



использование комбинированного
взаимодействие нескольких
механизмов упрочнения

микроструктура стали 45 после закалки



Пример: Закалка стали

закалка стали



формирование пересыщенного
твердого раствора углерода в железе
– мартенсита
(твердорастворное упрочнение)



формирование мелкозернистой
структуры мартенсита
(зернограничное упрочнение)



с большой плотностью дислокаций
(дислокационное упрочнение)

ФИЗИКА

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

Все тела состоят из мельчайших частиц – атомов, молекул, в состав которых входят еще более мелкие элементарные частицы (электроны, протоны, нейтроны)
Строение любого вещества дискретно (прерывисто)

АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

ГАЗООБРАЗНЫЕ ВЕЩЕСТВА

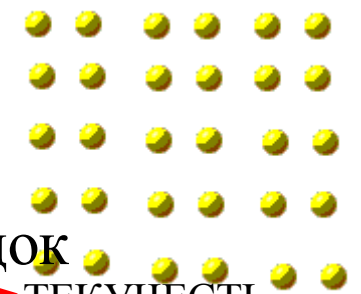
атомы (молекулы), практически не сталкиваясь, свободно перемещаются в пространстве



$\langle E_K \rangle \gg E_{n \min}$ нет закономерности в расположении молекул
среднее расстояние между молекулами в сотни раз превышает их размеры
молекулы газа не связаны молекулярными силами притяжения
газ легко сжимается и неограниченно расширяется

ЖИДКИЕ ВЕЩЕСТВА

атомы (молекулы) совершают колебания, но из-за больших размеров межмолекулярного пространства иногда меняются местами друг с другом



$\langle E_K \rangle \approx E_{n \min}$ атомы (молекулы) сохраняют ближний порядок
под действием внешней силы появляется направленность скачков частиц вдоль направления действия силы → жидкость принимает форму сосуда → ТЕКУЧЕСТЬ

ТВЕРДЫЕ ВЕЩЕСТВА

атомы (молекулы) совершают небольшие колебания относительно своего ПОСТОЯННОГО положения



$\langle E_K \rangle \ll E_{n \min}$ атомы (молекулы) сохраняют дальний порядок
молекулярные силы взаимодействия велики → постоянство объема и формы

ТВЕРДОЕ СОСТОЯНИЕ – КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, для которого характерно закономерное расположение атомов в пространстве

ФИЗИКА

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

Между частицами любого вещества существуют силы взаимодействия – притяжения и отталкивания
Природа сил – электромагнитная

МЕЖМОЛЕКУЛЯРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

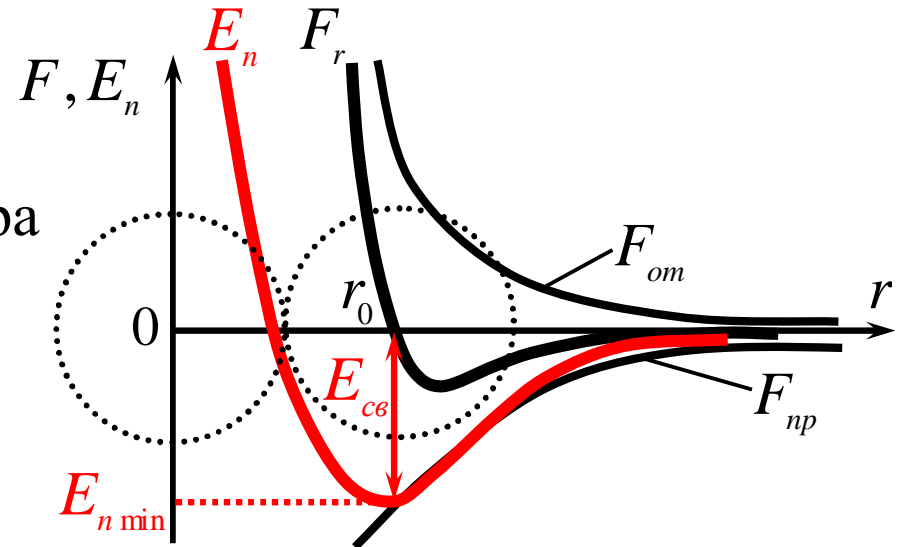
взаимодействие электрически нейтральных молекул или атомов

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СИЛЫ

силы притяжения и отталкивания между молекулами

сила притяжения F_{np}
взаимодействие (-)электронов и (+)ядра

сила отталкивания $F_{от}$
взаимодействие соседних (+)ядер



положение устойчивого равновесия молекул соответствует
МИНИМУМУ их ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

$$r = r_0 : F_{от} = F_{np} ; E_{взаимодействия} = E_{n\ min} \Rightarrow \text{система максимально устойчива}$$

ВСЕ МЕТАЛЛЫ – ТЕЛА КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ,
ИМЕЮЩИЕ ВЫСОКУЮ ЭНЕРГИЮ СВЯЗИ

ФИЗИКА

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

Все тела состоят из мельчайших частиц – атомов, молекул, в состав которых входят еще более мелкие элементарные частицы (электроны, протоны, нейтроны)
Строение любого вещества дискретно (прерывисто)

АТОМ (МОЛЕКУЛА)

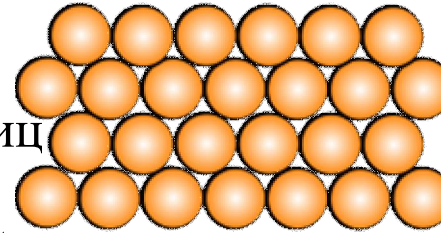
структурная единица вещества

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

молекулы и атомы формируют кристаллическую решетку

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА

упорядоченное расположение частиц (атомов, молекул, ионов) в строго определённых точках пространства



Алмаз

по наличию структуры

1. Дальний порядок расположения частиц
2. Анизотропность физических свойств
3. Конкретная температура плавления
4. Термодинамическая устойчивость (малый запас внутренней энергии)
5. Есть элементы симметрии

АЛЛОТРОПИЯ

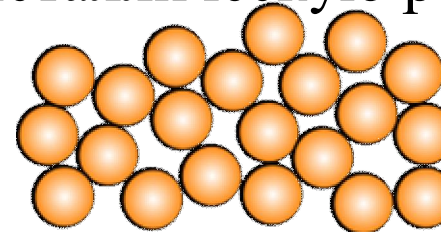
углерод

алмаз

графит

АМОРФНЫЕ ВЕЩЕСТВА

молекулы и атомы НЕ формируют кристаллическую решетку



Графит



1. Ближний порядок расположения частиц
2. Изотропность физических свойств
3. Отсутствие конкретной точки плавления
4. Термодинамическая нестабильность (большой запас внутренней энергии)
5. Текучесть

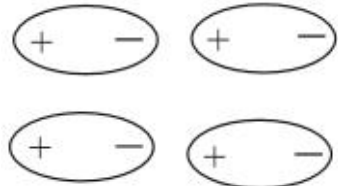
ХИМИЧЕСКИЕ СВЯЗИ и КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ РЕШЕТКИ

строение атома
 ↓
 электронная оболочка
 ↓
 вид химической связи
 ↓
 тип кристаллической решетки
 ↓
 свойства вещества

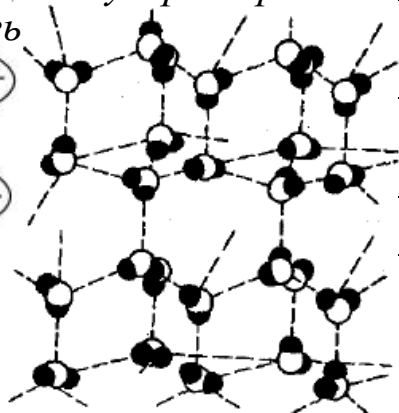
МОЛЕКУЛЯРНАЯ

(межмолекулярные силы Ван-дер-Ваальса)

ковалентная связь



молекулярная решетка



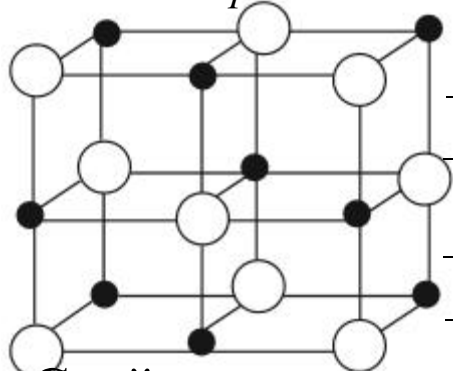
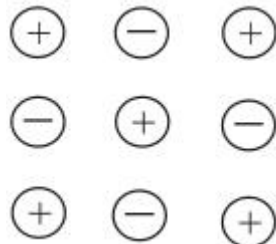
- химическая связь: ковалентная
- способ образования химической связи: образование диполей при поляризации
- связь ненаправленная, т.к. соседние частицы равноценны
- в узлах решетки: молекулы
- укладка частиц компактная
- связь слабая ($E_{\text{связи}} \sim 0,1-1$ кДж/моль)

Свойства кристаллов: – низкая $t_{\text{плавл}}$
 – диэлектрики

ИОННАЯ

ионная решетка

ионная связь



- химическая связь: ионная
- способ образования химической связи: электростатическое притяжение между разноименно заряженными ионами
- связь ненаправленная
- в узлах решетки: ионы металла и неметалла (прием-отдача электронов)
- укладка частиц компактная
- связь сильная ($E_{\text{связи}} \sim 10-100$ кДж/моль)

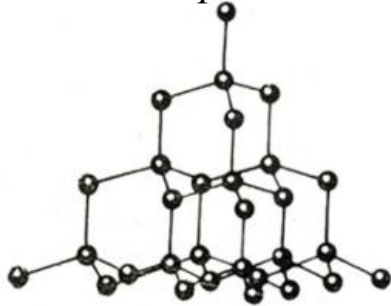
Свойства кристаллов: – высокая $t_{\text{плавл}}$
 – низкий коэффициент линейного расширения
 – полупроводники или диэлектрики

ХИМИЧЕСКИЕ СВЯЗИ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

строение атома
↓
электронная оболочка
↓
вид химической связи
↓
тип кристаллической решетки
↓
свойства вещества

АТОМНАЯ

атомная решетка



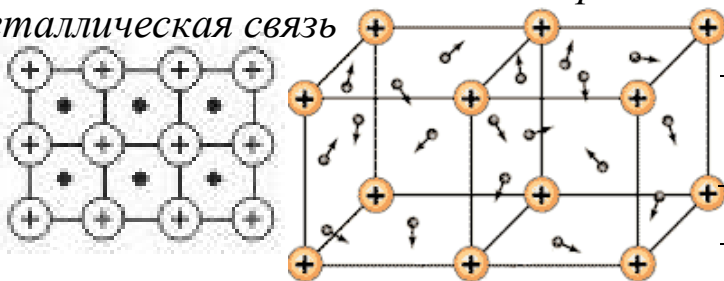
- химическая связь: ковалентная (полярная, неполярная)
- способ образования химической связи: создание валентной зоны при обобществлении (обмене) валентных электронов соседних атомов
- связь направленная
- в узлах решетки: атомы (металлоидами и полупроводниками – элементы подгрупп IVB-VIB: C, Se, Si, Ge)
- укладка частиц неплотная
- связь сильная ($E_{\text{связи}} \sim 100$ кДж/моль)

Свойства кристаллов: – полупроводники/диэлектрики
– высокая твердость

МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ

металлическая решетка

металлическая связь



- химическая связь: металлическая
- способ образования химической связи: обобществление (коллективизация) валентных электронов
- связь ненаправленная
- в узлах решетки: положительные ионы металла
- наплотнейшая укладка частиц
- связь средняя ($E_{\text{связи}} \sim 10$ кДж/моль)

СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

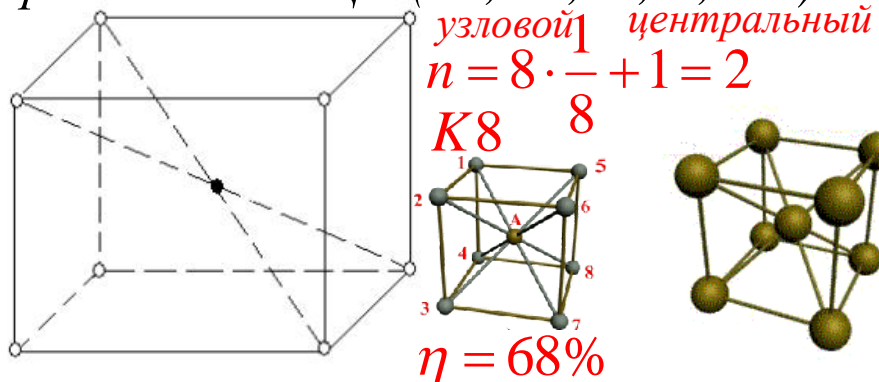
КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ

закономерное расположение атомов в пространстве с образованием кристаллической решетки

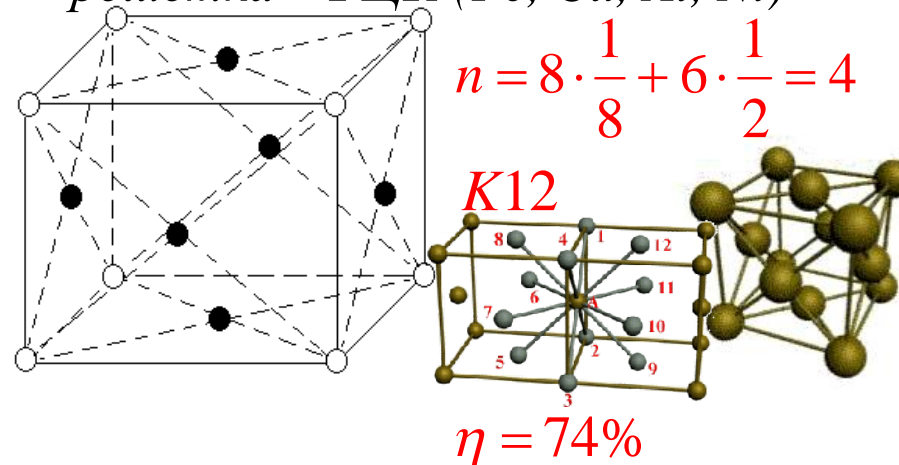
НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ТИПЫ РЕШЕТОК МЕТАЛЛОВ

n – базис, или число атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку
 K – координационное число – количество ближайших соседей данного атома
 η – плотность упаковки атомов

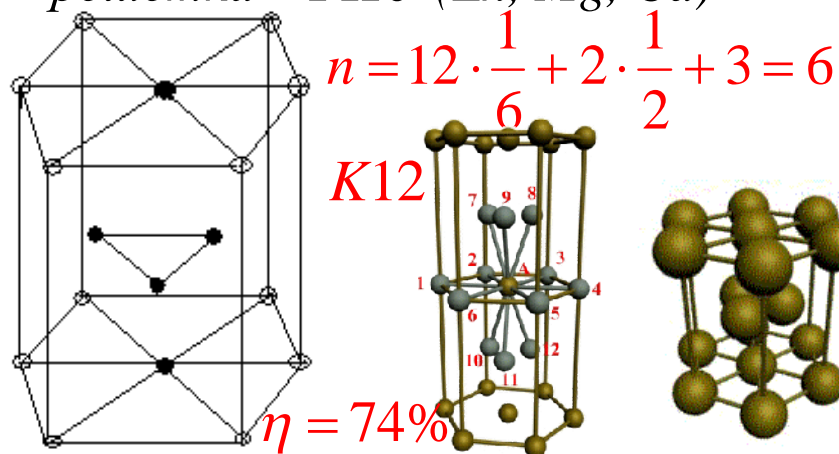
объемно-центрированная кубическая решетка – **ОЦК** (Fe, Cr, W, V, Mo)



гранецентрированная кубическая решетка – **ГЦК** (Fe, Cu, Al, Ni)



гексагональная плотноупакованная решетка – **ГПУ** (Zn, Mg, Cd)



КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ

переход материала из жидкого состояния в твердое упорядоченное, т.е. кристаллическое

ΔT – степень переохлаждения – разность между теоретической и фактической температурами кристаллизации

ЗАРОЖДЕНИЕ ЦЕНТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

РОСТ КРИСТАЛЛОВ ИЗ ЦЕНТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

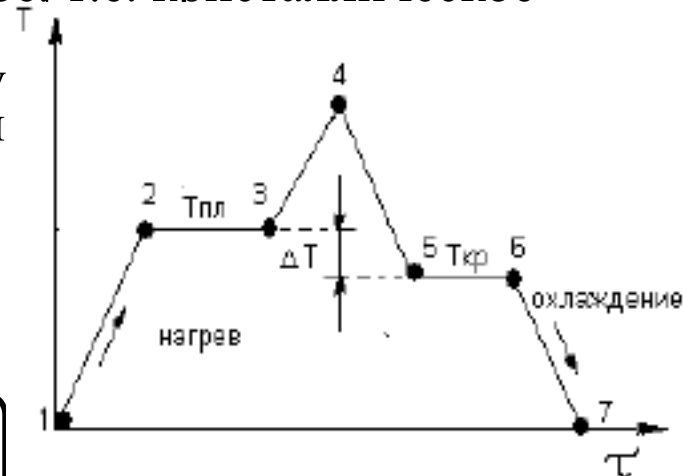
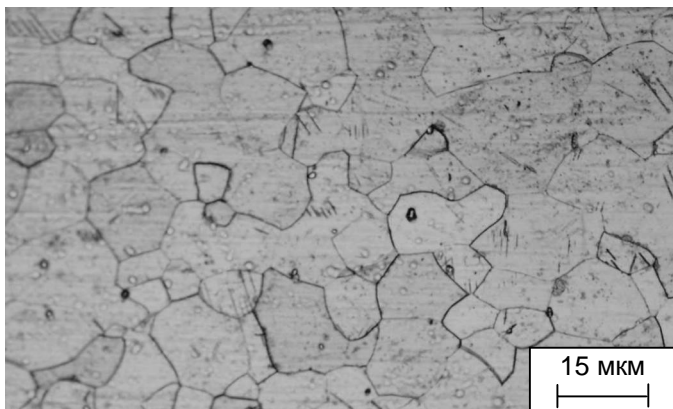
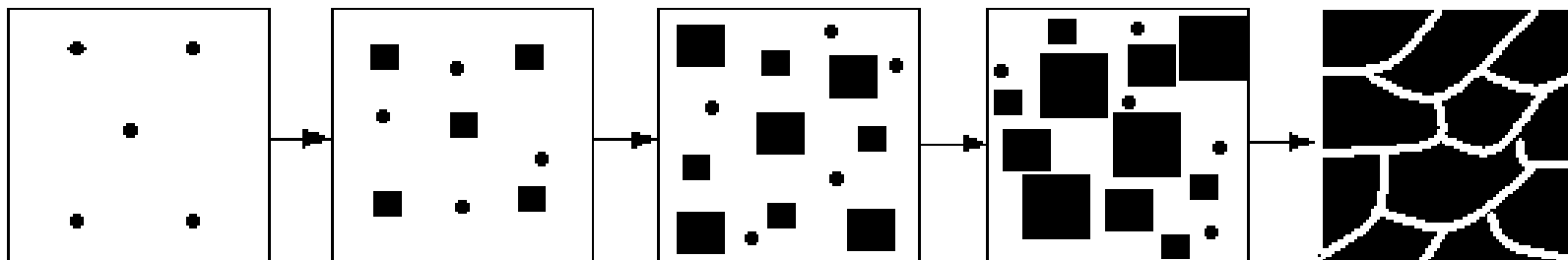


график нагрева и охлаждения металла



металлографическое изображение технически чистого титана марки ВТ1-0

ЗЕРНА

кристаллы минимального размера, растущие из центров кристаллизации и имеющие свою ориентировку кристаллической решетки, которая отличается от ориентировки соседних зерен

ПОЛИКРИСТАЛЛЫ

агрегаты хаотически ориентированных зерен

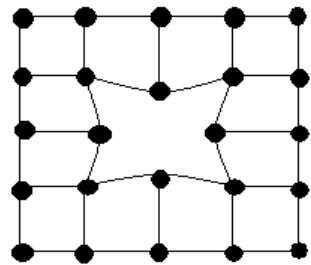
ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ

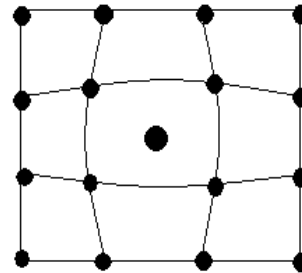
ТОЧЕЧНЫЕ

нарушают ближний порядок

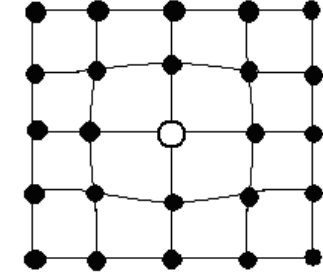
ВАКАНСИИ



МЕЖУЗЕЛЬНЫЕ АТОМЫ



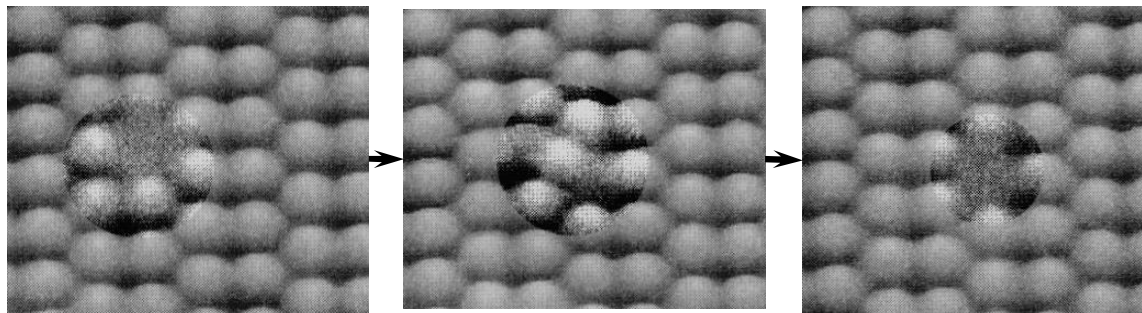
ПРИМЕСНЫЕ АТОМЫ



ДИФФУЗИЯ

подвижность атомов, обусловленная наличием вакансии в решетке

При нагреве металла, атомы перемещаются – диффундируют



мигрирование вакансии в кристаллической решетке

ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

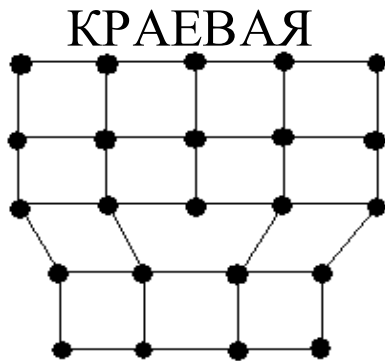
МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ

ЛИНЕЙНЫЕ

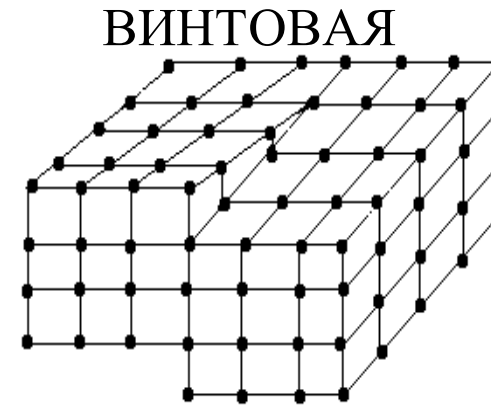
нарушают дальний порядок

ДИСЛОКАЦИЯ

особая конфигурация расположения атомов в кристаллической решетке



лишняя атомная полуплоскость (экстраплоскость) образованная в части кристалла



частичный сдвиг кристаллической решетки; образуется ступенька, проходящая по части кристалла.



дислокационная структура в ферритном зерне стали 20

ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ

ПОВЕРХНОСТНЫЕ

ГРАНИЦЫ ЗЕРЕН И СУБЗЕРЕН

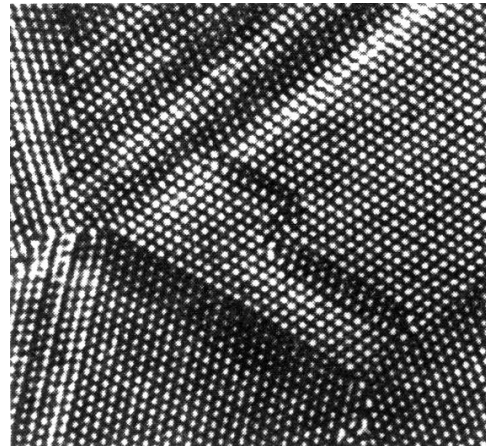
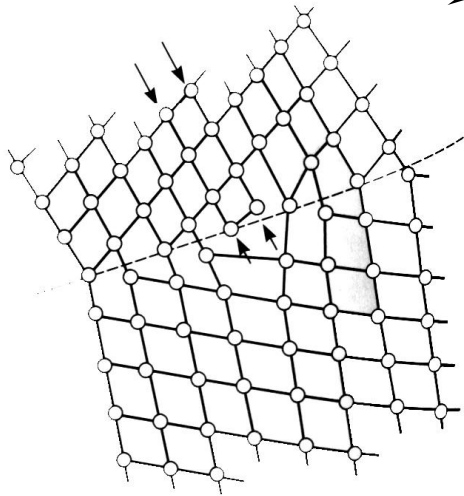


схема и изображение в атомно-силовом микроскопе границы зерна

ОБЪЕМНЫЕ

ПОРЫ, РАКОВИНЫ, ПУСТОТЫ

ВКЛЮЧЕНИЯ ШЛАКОВ, ОКИСЛОВ



газо-термическое покрытие с порами