

# ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Лектор доцент кафедры ММС Зенин Б.С.

Курс 4  
Семестр 7

## Распределение учебного времени Семестр 7

Лекции	<u>32</u>	часов (ауд.)
Лабораторные занятия	<u>16</u>	часов (ауд.)
Практические занятия	<u>16</u>	часов (ауд.)
<i>Всего аудиторных занятий</i>	<u>64</u>	часа (ауд.)
Самостоятельная (внеаудиторная) работа	<u>80</u>	часов
<i>Общая трудоемкость</i>	<u>144</u>	часа

Экзамен в 7 семестре

# Рейтинг лист

	Количество	Баллы	Всего баллов	
Лекции	16	1	16	
Лабораторные работы		4	4	16
Контрольные работы		4	5	20
Индивидуальное задание		1	8	8

-----  
Всего 60

Экзамен 40

-----  
Всего 100

# СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ

## Введение

1. Свойства материалов и структура
2. Физико-химические основы материаловедения
3. Поверхность твердого тела
4. Кристаллизация
5. Диффузия
6. Теория сплавов
7. Кристаллография
8. Кристаллохимия
9. Неметаллические материалы
10. Новые материалы

# РЕЗУЛЬТАТ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

## Теория строения материалов

ЗНАТЬ

УМЕТЬ

ВЛАДЕТЬ

## ЗНАТЬ

- Физические основы формирования различных структур материалов с позиций термодинамики, кристаллографии и кристаллохимии.
- Виды диаграмм состояний сплавов и условия формирования различных фаз (твердые растворы, промежуточные соединения, упорядоченные твердые растворы).

# УМЕТЬ

- Классифицировать материалы с учетом их строения на атомном уровне с позиции позиций термодинамики, кристаллографии и кристаллохимии.
- Определять условия устойчивого и неустойчивого состояния систем, равновесных и неравновесных фазовых переходов.
- Моделировать различные процессы, происходящие в конденсированных системах

# ВЛАДЕТЬ

- Методами анализа связи свойств материала с химическим составом и его структурой.
- Методами теоретического построения диаграмм состояний сплавов.
- Навыками и умением в организации и проведении поиска информации о материалах с заданными свойствами с использованием ресурсов НТБ и Интернет-ресурсов.

# ВВЕДЕНИЕ

Задачи, решаемые на производстве выпускником кафедры ММС

?

?

?



# ВВЕДЕНИЕ

Задачи, решаемые на производстве выпускником кафедры ММС

1. Поддерживать действующий технологический процесс изготовления деталей из используемых материалов (отсутствие брака, устранять брак, обеспечивать качество). (???)

2. Повышать качество выпускаемых изделий за счет улучшения свойств используемых материалов. (???)

3. Разрабатывать новые материалы с требуемыми свойствами (более прочные, более износостойкие).

# ВВЕДЕНИЕ

Задачи, решаемые на производстве выпускником кафедры ММС

- 1. Поддерживать действующий технологический процесс изготовления деталей из используемых материалов (отсутствие брака, устранять брак, обеспечивать качество).*
- 2. Повышать качество выпускаемых изделий за счет улучшения свойств используемых материалов.*
- 3. Разрабатывать новые материалы с требуемыми свойствами (более прочные, более износостойкие).*

Для решения этих задач в учебный план введены дисциплины посвященные описанию и изучению материалов.

«Физика», «Химия», «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Основы кристаллографии», «Т е о р и я с т р о е н и я м а т е р и а л о в», «Механические и физические свойства материалов», «Термическая и химико-термическая обработка металлов», «Композиционные материалы», «Моделирование и оптимизация свойств материалов и технологических процессов»

Дисциплина «Теория строения материалов» (ТСМ) связана с другими дисциплинами учебного плана, посвященных описанию и изучению материалов.

ПРЕРЕКВИЗИТЫ: «Физика», «Химия», «Материаловедение», «Основы кристаллографии»

КОРЕКВИЗИТЫ: «Механические и физические свойства материалов», «Термическая и химико-термическая обработка металлов», «Композиционные материалы», «Моделирование и оптимизация свойств материалов и технологических процессов»

При изучении ТСМ мы рассмотрим понятия, процессы, характеристики, которые уже встречались или будут встречаться в других дисциплинах, в которых дается описание различных материалов, их свойств, процессов, происходящих в них.

Отличительная особенность:

Другие дисциплины (что это....., какое превращение.....)

ТСМ (почему ...., при каких условиях..... )

*объяснение, предсказание*

# 1. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУРА

1.1 Свойства материалов и как их можно изменять.

1.2 Структура материалов. Масштабная иерархия и методы изучения.

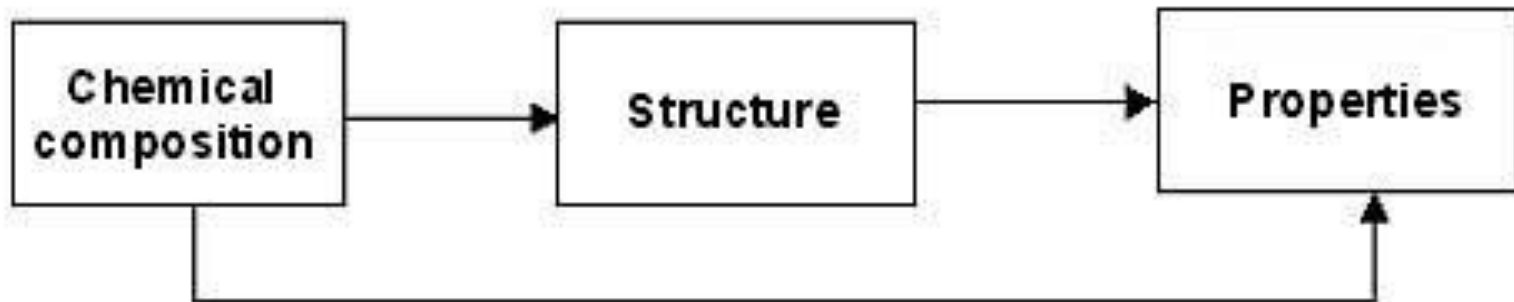
1.3 Структурные виды материалов (кристаллические, аморфные, смешанные структуры).

1.4 Классификация кристаллических тел.

1.5 Возможные структуры одного материала.

# 1.1 Свойства материалов и как их можно ИЗМЕНЯТЬ

«Золотое правило материалововеда»  
«триада»

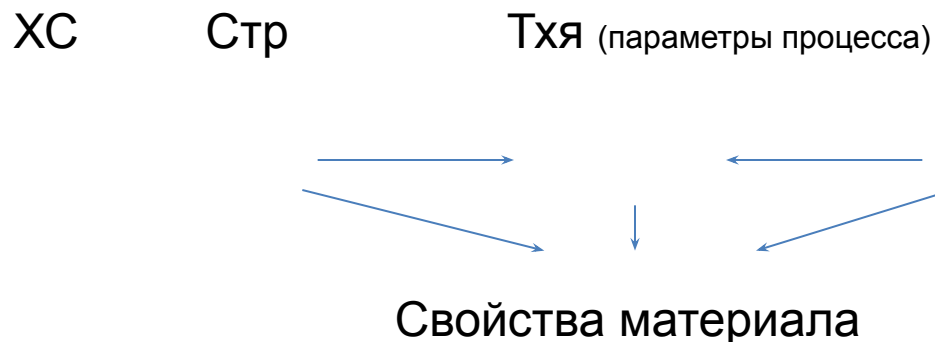


Химический состав материала ↔ Структура материала



Свойства материала

Алгоритм решения задач, которые решает инженер-материаловед на производстве (повышение качества используемых материалов, создание новых материалов с заданными свойствами) основан на известном правиле, к которому ученые и инженеры пришли к концу XX века:



Представленную схему взаимосвязей можно назвать **современное «золотое правило материаловеда»**

Дисциплина ТСМ дает основы теоретического представления о строении материалов с позиций термодинамики, кристаллографии, кристаллохимии, теории сплавов, рассматривает особенности состояния поверхности, механизмы процессов кристаллизации, диффузии, особенности строения новых материалов

# Из истории «золотого правила материаловеда»



Павел Петрович Аносов  
Томский губернатор 1847 –  
1851 гг.

Выдающийся русский  
ученый-металлург,  
известный тем,  
что ???

# Из истории «золотого правила материаловеда»



Павел Петрович Аносов  
Томский губернатор 1847 –  
1851 г.

Выдающийся русский  
ученый-металлург,  
известный тем,  
что  
разгадал тайну булата.

(ВСПОМНИМ)



# Основы создания материалов с заданными свойствами

Из общего материаловедения известны способы повышения качества материалов. Многолетний опыт ученых материаловедов к концу XX века показал, что при создании новых материалов с требуемыми свойствами необходимо знать общее правило, которое можно назвать **«Золотое правило материаловеда»**

Из истории «золотого правила материаловеда»



Павел Петрович Аносов  
Томский губернатор 1847 – 1851 гг.  
Выдающийся русский ученый-металлург разгадал тайну булата

1. Что такое булат?
2. Какое отношение П. П. Аносов имеет к «золотому правилу материаловеда»?

Булатная или дамасская сталь, благодаря особой технологии изготовления отличается своеобразной внутренней структурой и видом («узором») поверхности, высокой твёрдостью и упругостью.

В старину использовался так называемый сварочный булат. Твёрдые и мягкие пластины металла с различным содержанием углерода сваривали между собой ковкой, повторяя операцию расплющивания, складывания и последующей сварки проковкой десятки и даже сотни раз.



Леонид Минаев - "перепелосьнеразвяжешь"



**Из истории.** Основное назначение булата – изготовление клинков. Главное достоинство клинка – острота его лезвия. Лезвие булатного клинка можно было заточить до почти неправдоподобной остроты и сохранить эту остроту надолго. У клинков из обычной углеродистой стали заостренное лезвие выкрашивается уже при заточке – как бритву, его заточить нельзя, а булат затачивали до остроты бритвы, и он сохранял свои режущие свойства после того, как побывал в деле. Такое возможно лишь тогда, когда сталь обладает одновременно высокой твердостью, вязкостью и упругостью – и в этом случае лезвие клинка способно самозатачиваться. Булатная сабля легко сгибалась на 90-120 градусов, не ломаясь. Есть сведения, будто настоящий булатный клинок носили вместо пояса, обматывая им талию.

В XIV – XV веках секрет производства литого булата и изготовления из него холодного оружия был окончательно потерян. Европейские кузнецы не смогли до конца разгадать секрет производства дамасской сварной стали и больше преуспели в производстве клинков из однородной (гомогенной) стали с имитацией рисунка булата на поверхности клинка. Ремесленники, рисующие декоративные узоры на металле, назывались «дамаскировщиками», а клинки «ложного булата» - «дамаскированными».

В Европе литой булат, аналогичный старинным восточным образцам, был получен на Златоустовском заводе под руководством горного инженера, начальника Златоустовских заводов генерала-майора Павла Петровича Аносова. После огромного числа опытов были получены образцы булатных клинков и слитки булатной стали.

Сохранившийся до наших дней аносовский булатный клинок, перерубает гвозди, гнется в дугу и на лету перерубает газовый платок. Секрет древних индийских мастеров открыт? И да и нет. После смерти П.П. Аносова, не смотря на оставленный им подробный рецепт, воспроизвести литой булат долго не удавалось никому!

Современные литые стали обладают более высокой твёрдостью, вязкостью. Клинок, изготовленный из стали СРМ 440V, будет резать и держать заточку гораздо лучше классической узорчатой стали. По этой причине клинки из булатной дамасской стали в настоящее время производятся исключительно благодаря платёжеспособному спросу на старинные технологии (для любителей и коллекционеров).

## 1.2 СТРУКТУРА МАТЕРИАЛОВ. МАСШТАБНАЯ ИЕРАРХИЯ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ

Что есть структура материала?

Организация материала из его составляющих .

Что есть составляющие материала или его элементы?

Они определяются подходом (в теории),  
методами исследования (в эксперименте)  
т.е. пространственным масштабом  
исследований и описания материала.

Вывод:

Структура материала – область твердого тела,  
доступная наблюдению.

Соотношение «структура – свойства материала» оказалось чрезвычайно сложным для практической реализации. В этом можно убедиться, если рассмотреть масштабы физического пространства, в котором реализуется решаемая задача.

Например, металлоконструкция может иметь размеры в десятки метров, а металл, из которого она изготовлена, представляет собой упорядоченное расположение множества атомов, расстояние между которыми составляет доли нанометров и этот факт во многом определяет свойства всей конструкции.

Как видно, диапазон для наблюдений и исследований огромен. Что же делать?

Предлагается ввести классификацию объектов, определяющих смысл понятия «структура» и их соотношение с методами описания и исследования. ()

## **Типовые объекты и методы исследования** (Масштабная иерархия и методы изучения)

<b>Объект</b>	<b>Аналитическая задача</b>	<b>Методы исследования</b>
Макродефекты	Исследование трещин, включений, газовых пузырей, усадочных дефектов, пор и т.д.	Макроанализ (.....), рентгенодефектоскопия
Изломы	Изображение, количественный анализ	Макроанализ, количественная макрофрактография
Фазы, включения, выделения	Фазовый состав Параметры решеток	Дифракция рентгеновских лучей
	Изображения, форма	Металлографический анализ, просвечивающая и растровая электронная микроскопия
	Количественные характеристики	Количественная металлография (.....)
Химические элементы	Распределение, ликвация (...), обогащение	Микрорентгеноспектральный анализ
Границы зерен и фаз	Изображение	Металлографический анализ
	Количественный анализ	Количественная металлография

<b>Объект</b>	<b>Аналитическая задача</b>	<b>Методы исследования</b>
Дислокации	Изображение	Просвечивающая электронная микроскопия
Дислокации	Плотность дислокаций	Дифракция рентгеновских лучей Просвечивающая электронная микроскопия
Вакансии, примесные атомы	Концентрация, распределение	Дифракция ионов и нейтронов, позитронная аннигиляция



Таким образом, возможности изучения структуры и свойств материала определяются используемым инструментарием исследователя.

В настоящее время общепринятым подходом при изучении структуры материала является трехуровневая масштабная система:

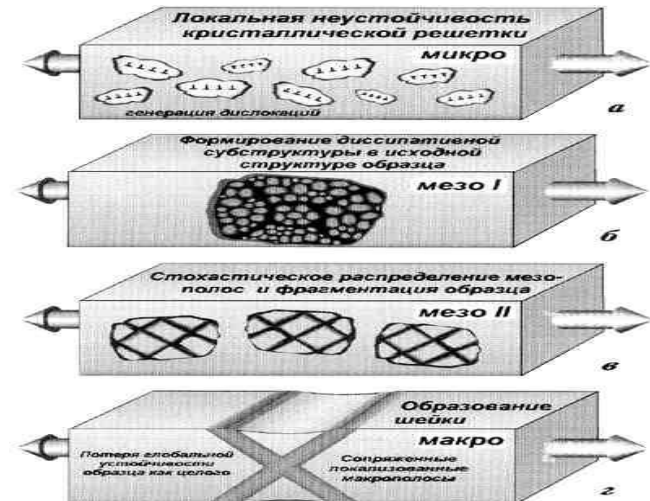
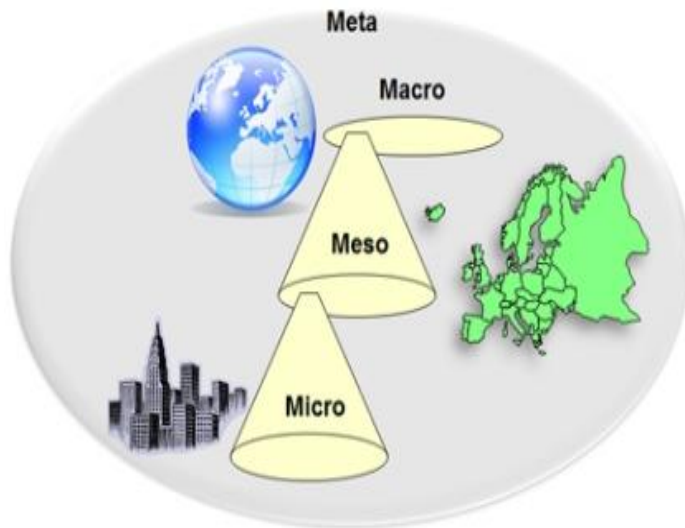
macro-

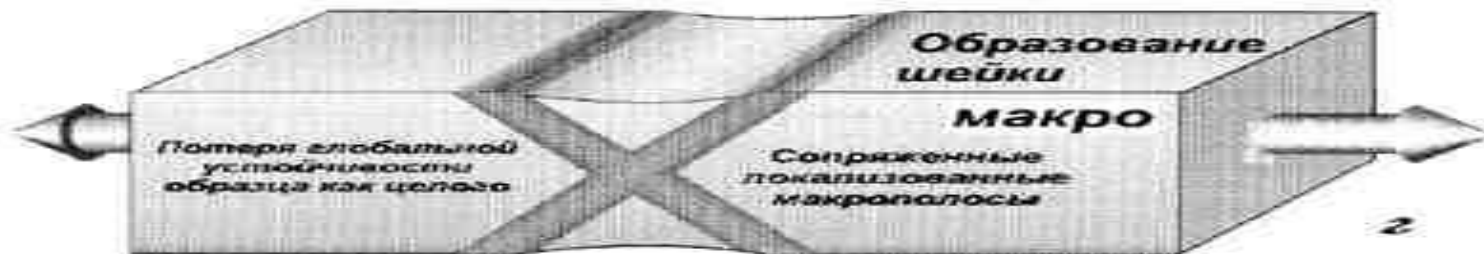
meso-

micro-

**или масштабная иерархия**

# масштабная иерархия





<b>Объект</b>	<b>Аналитическая задача</b>	<b>Методы исследования</b>
Макродефекты	Исследование трещин, включений, газовых пузырей, усадочных дефектов, пор и т.д.	Макроанализ (.....), рентгенодефектоскопия
Изломы	Изображение, количественный анализ	Макроанализ, количественная макрофрактография
Фазы, включения, выделения	Фазовый состав Параметры решеток	Дифракция рентгеновских лучей
	Изображения, форма	Металлографический анализ, просвечивающая и растровая электронная микроскопия
	Количественные характеристики	Количественная металлография (.....)
Химические элементы	Распределение, ликвация (...), обогащение	Микрорентгеноспектральный анализ
Границы зерен и фаз	Изображение	Металлографический анализ
	Количественный анализ	Количественная металлография

<b>Объект</b>	<b>Аналитическая задача</b>	<b>Методы исследования</b>
Макродефекты масго-	Исследование трещин, включений, газовых пузырей, усадочных дефектов, пор и т.д.	Макроанализ (.....), рентгенодефектоскопия
Изломы масго-	Изображение, количественный анализ	Макроанализ, количественная макрофрактография
Фазы, включения, Выделения масго- meso- micro-	Фазовый состав	Дифракция рентгеновских лучей
	Параметры решеток Изображения, форма	Металлографический анализ, просвечивающая и растровая электронная микроскопия
	Количественные характеристики	Количественная металлография (.....)
Химические элементы micro-	Распределение, ликвация (...), обогащение	Микрорентгеноспектральный анализ
Границы зерен и фаз meso-	Изображение	Металлографический анализ
	Количественный анализ	Количественная металлография

<b>Объект</b>	<b>Аналитическая задача</b>	<b>Методы исследования</b>
Дислокации	Изображение	Просвечивающая электронная микроскопия
Дислокации	Плотность дислокаций	Дифракция рентгеновских лучей Просвечивающая электронная микроскопия
Вакансии, примесные атомы	Концентрация, распределение	Дифракция ионов и нейтронов, позитронная аннигиляция

<b>Объект</b>	<b>Аналитическая задача</b>	<b>Методы исследования</b>
Дислокации micro-	Изображение	Просвечивающая электронная микроскопия
Дислокации micro-	Плотность дислокаций	Дифракция рентгеновских лучей Просвечивающая электронная микроскопия
Вакансии, примесные атомы micro-	Концентрация, распределение	Дифракция ионов и нейтронов, позитронная аннигиляция

**Спасибо за внимание**





1. Три задачи , которые решает материаловед на производстве
2. Два варианта «Золотого правила материаловеда»
3. Что есть структура материала?

1. Три задачи , которые решает материаловед на производстве
2. Два варианта «Золотого правила материаловеда»
3. Что есть структура материала?
4. Что есть масштабная иерархия в материаловедении?  
Что есть составляющие материала или его элементы,  
привести примеры.



## 1.3 СТРУКТУРНЫЕ ВИДЫ МАТЕРИАЛОВ

1. Кристаллические материалы
2. Аморфные материалы
3. Материалы со смешанными структурами

# Кристаллические материалы

(Проработать самостоятельно)

1. Определение кристалла.
2. Типы кристаллических структур.
3. Виды кристаллических материалов.

# Кристаллические материалы

(Проработать самостоятельно)

## 1. Определение кристалла

В кристаллических телах частицы – атомы располагаются в строгом порядке, образуя пространственные периодически повторяющиеся структуры во всем объеме тела. Для описания кристаллов используются пространственные кристаллические решетки, в узлах которых располагаются центры атомов или...

Отличительная особенность кристаллов:

- 1) наличие определенной температуры плавления;
- 2) анизотропия;
- 3) вид кривой охлаждения.

## 2. Типы кристаллических структур

ОЦК, ГЦК, ГПУ, .....

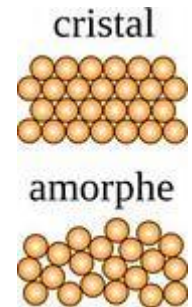
## 3. Виды кристаллических материалов

Монокристаллы, поликристаллы

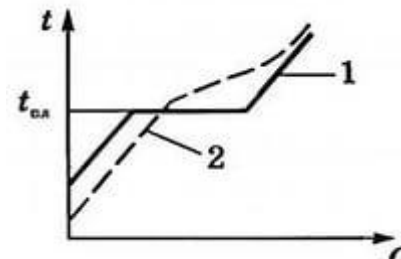
# Аморфные материалы

1. Аморфные материалы могут иметь металлическую и неметаллическую природу. Аморфные металлические материалы представляют одну из последних инноваций XX века. По сравнению с кристаллическими материалами они обладают рядом выдающихся свойств.

2. Определение аморфного состояния:  
отсутствие кристаллической решетки  
(упорядоченного расположения атомов в пространстве).



3. Особенность аморфных материалов:  
отсутствие определенной температуры плавления



4. Две группы аморфных материалов:  
естественные и получаемые  
в специальных условиях.

4. Условия формирования  
аморфного состояния.





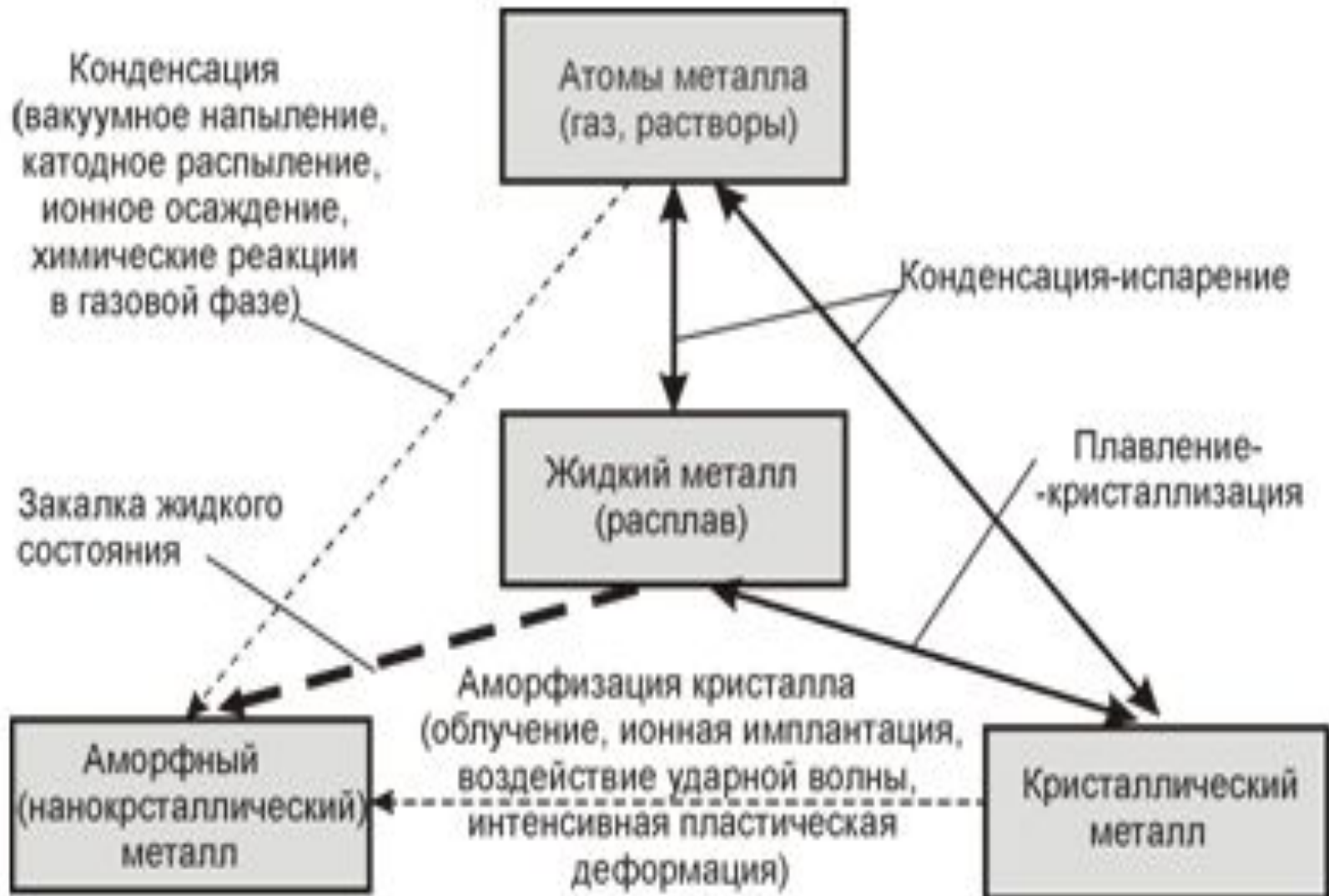
Задание. Подготовить сообщение.

1. Способы получения материалов в аморфном состоянии.
2. Свойства аморфных материалов.

# Материалы со смешанными структурами

1. Полимерные материалы.
2. Керамика
3. Аморфные материалы.  
Аморфное состояние материала является термодинамически неустойчивым.

# Структурно фазовые переходы



## 1.4 КЛАССИФИКАЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

В современном машиностроении материалы имеющие кристаллическую структуру являются самыми распространенными и самыми многочисленными. Для их изучения (исследователи) , использования (конструкторы) удобно ввести классификацию.

- 1.Идеальные и реальные кристаллы....
- 2.По типу кристаллической решетки...
- 3.По физическим свойствам...

Применяемые в машиностроении материалы являются **поликристаллическими**, в них размер зерна является важным фактором при формировании механических свойств, которые во многом определяют работоспособность и срок службы деталей машин. В современном материаловедении нашли широкое применение специальные термины для характеристики мелкозернистых структур:

УМЗ –ультрамелкозернистые, СМК – субмелкозернистые, НС – наноструктурные, НК – нанокристаллы.

Удобно собрать различные материалы в единую таблицу.

# Масштабная классификация кристаллических тел

<b>Наименование</b>	<b>Размерный интервал</b>
Монокристалл	Макроскопический, миллиметр и более
Крупные зерна	100мкм
Обычный размер зерна	10-100 мкм
Мелкозернистый поликристалл	1-10мкм
Микрокристаллы	0.1-1 мкм
Субмикрокристаллы	0.01-0.1 мкм (100нм)
Нанокристаллы	5-10 нм
Квазикристаллы	2-5 нм
Атомные кластеры и аморфные состояние	0.5-1 нм
Электронная структура кристалла	Параметр кристаллической решетки, 1-5 А

# Соотношения размерностей

**1 метр**

$$1 \text{ дм} = 10^{-1} \text{ м}$$

$$1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$$

$$1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$$

$$1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$$

$$1 \text{ А} = 10^{-12} \text{ м}$$

**Спасибо за внимание**

# 1.5 ВОЗМОЖНЫЕ СТРУКТУРЫ ОДНОГО МАТЕРИАЛА

3. Нарисовать возможные структуры материала

4. Объяснить условия их получения



КОНЕЦ ПЕРВОЙ ЧАСТИ





## 2 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

- 2.1 Реальные материалы, реальные процессы и их описание.
- 2.2 Термодинамика поведения систем.
- 2.3 Условия перехода системы из одного состояния в другое.
- 2.4 Энергия системы и ее изменение. 1-й закон термодинамики.
- 2.5 Направление перехода системы из одного состояния в другое.
  - 2.5.1 Энтропия и 2-ой закон термодинамики.
  - 2.5.2 Свободная энергия.
- 2.6 Химический потенциал.
- 2.7 Правило фаз Гиббса.
- 2.8 Построение диаграмм состояний.
  - 2.8.1 Эксперимент.
  - 2.8.2 Теория.

## 2.1 Реальные материалы, реальные процессы и их описание.

Человек живет в окружении реального мира и реально протекающих процессов. Для познания окружающего мира и использования его для удовлетворения своих нужд человек придумал науку.

Основная задача науки отвечать на вопросы:

что такое (что это);

как, почему;

что будет, если....

Почему камень твердый?

Почему железо прочнее алюминия?

Почему идет дождь?

Как сделать сталь более прочной?