Московский государственный университет печати
Кафедра материаловедения

Дисциплина:
Материаловедение

Лекция: Металлы и металлические сплавы.

Лектор: Байдаков Дмитрий Иванович, к.т.н., доцент

Учебные вопросы:

1. Металлы и металлические сплавы.

2. Черные металлы и сплавы.

2.1. Состав сталей и чугунов.
2.2. Углеродистые и легированные стали.
2.3. Чугуны.

3. Цветные металлы и сплавы.

3.1. Медь и её сплавы.
3.2. Алюминий и сплавы на его основе.
3.3. Твердые сплавы.

1-й учебный вопрос:

Металлы и металлические сплавы.

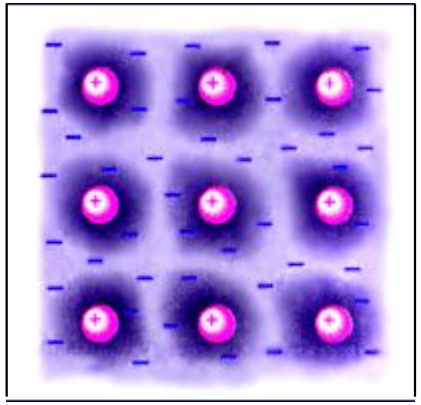
1.1. Общие положения:

Металлы – это материалы, состоящие из одного химического элемента (простые вещества – из одного химического элемента) и имеющие специфические металлические свойства.

Металл – слово греческого происхождения. Первоначально оно обозначало: рудник, шахта, раскопки, материал, добытый из-под земли.

М.В. Ломоносов: металл – "светлое тело, которое ковать можно".

Ковкость – свойство металлов и сплавов (или других веществ) изменять форму под воздействием давления (прокатка, волочение, прессование, штамповка) без разрушения. Характеризуется пластичностью и сопротивлением деформации.
В некоторых случаях ковкость увеличивается при повышении температуры.



Специфические свойства металлов: блеск, пластичность, высокая теплопроводность, низкая теплоемкость, высокая электропроводность.

Свойства обусловлены «металлической» связью между структурными элементами: свободно перемещающиеся электроны (электронный "газ"), удерживающие в узлах кристаллической решетки положительно заряженные ионы.

Важнейший признак металла: ↓ σ при ↑ T

Сплавы – это материалы, состоящие из двух и более химических элементов (веществ), полученные из жидкого агрегатного состояния.

Металлические сплавы – это материалы, имеющие специфические металлические свойства.

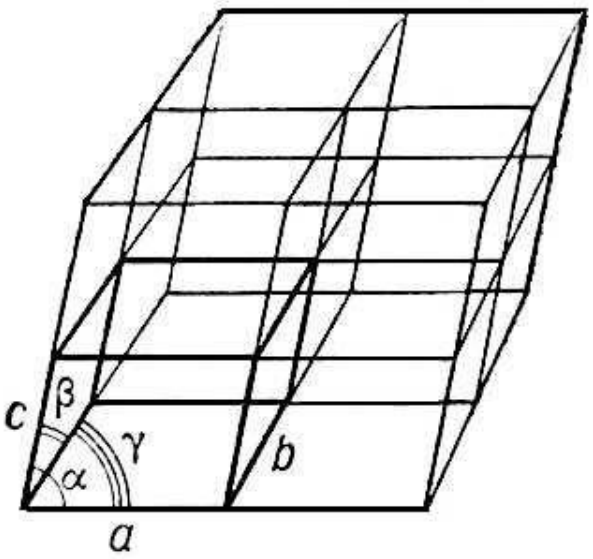
Металлы и сплавы – кристаллические материалы.

(металлические)

Кристаллический материал – материал с кристаллической структурой, когда существует ближний и дальний порядок расположения составляющих структурных элементов.

Понятия:

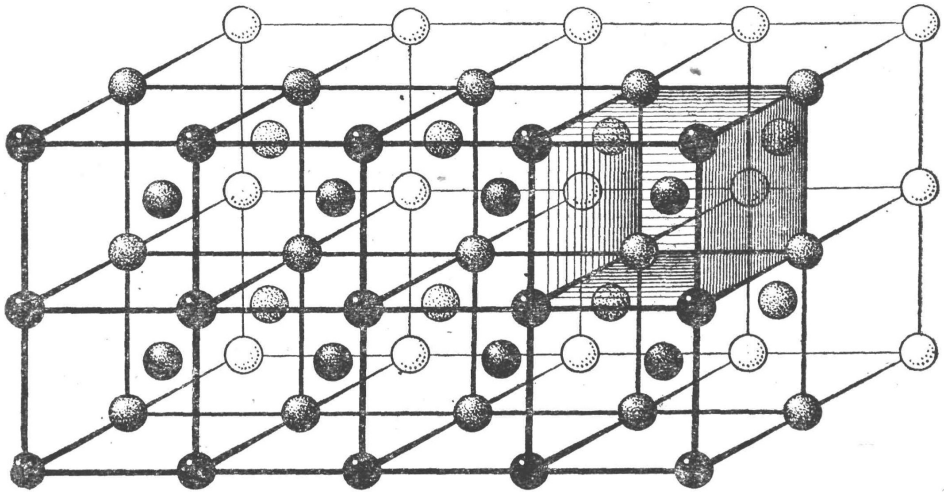
1. Элементарная ячейка.
2. Монокристалл (кристаллит).
3. Кристаллический материал (поликристаллический – материал из кристаллитов).



Параметры элементарной ячейки:

1. длина граней (сторон) – *a, b, c*;
2. углы между гранями – *α, β, γ*;
3. координационное число (число атомов, находящихся на наиболее близком и равном расстоянии от любого выбранного атома в решетке).

Построения пространственной решетки кристалла путем параллельных переносов элементарной ячейки по трем осям



Кристаллическая решетка натрия.

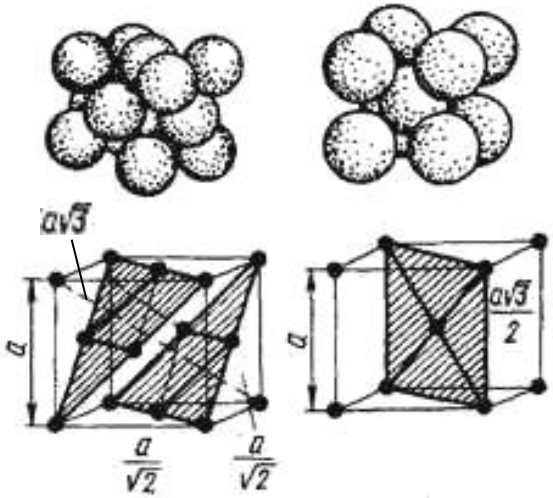
(монокристалл)

Выделена одна элементарная ячейка.

Четырнадцать решеток Браве

Браве (Bravais) Огюст (1811— 1863), французский физик и кристаллограф.
Нашел (1848) основные виды пространственных решёток кристаллов.

Тип решетки \ Сингония	Три-клинная	Моно-клинная	Ромби-ческая	Тетраго-нальная	Тригональная (ромбоэдрическая)	Гексаго-нальная	Куби-ческая
Примитивный							
Базоцентрированный							
Объемноцентрированный							
Гранецентрированный							



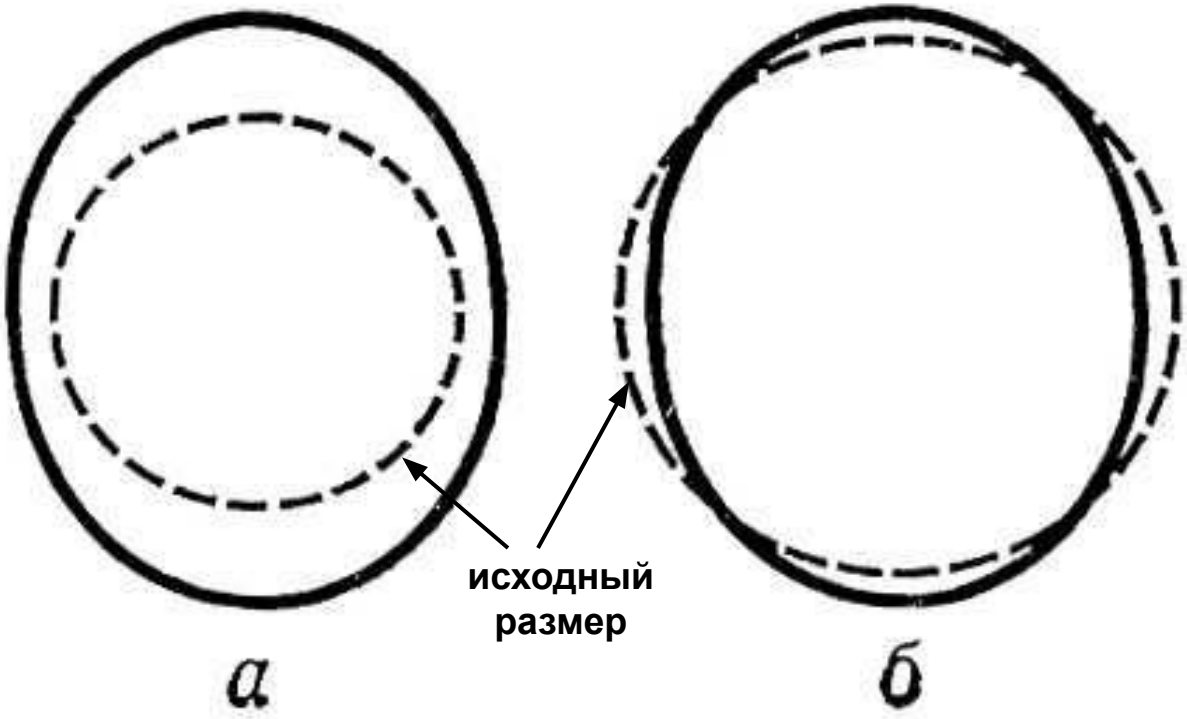
Кристаллические решетки:
ГЦК **ОЦК**

К чему приводит разное расстояние между атомами в элементарной ячейке ?

Сингонии (системы): триклинная – косоугольный параллелепипед со сторонами a≠b≠c и углами α≠β≠γ≠ 90°.
моноклинная – параллелепипед a≠b≠c, α=γ= 90°, β≠ 90°;
ромбическая – параллелепипед a≠b≠c, α=β=γ= 90°;
тетрагональная – параллелепипед a=b≠c, α=β=γ= 90°;
тригональная – куб, вытянутый вдоль пространственной диагонали, a=b=c, α=β=γ≠ 90°;
гексагональная – из трех призм с основанием в форме ромба a=b≠c, α=β= 90°, γ= 120°;
кубическая – куб a=b=c, α=β=γ= 90°.

Анизотропия (от греч. ánisos – неравный и tróp os – направление) – **зависимость физических свойств вещества (механических, тепловых, электрических, магнитных, оптических и др.) от направления воздействия.**

Естественная (природная) – монокристаллы; древесина.
Искусственная: структурная (композиты); от внешнего воздействия.



Изменение формы кристаллического шара (штрихи) при нагревании

а – , ан – , ант – , анти – , де –

части слова, придающие ему противоположный смысл:
логично – алогично,
изотропия – анизотропия,
Арктика – Антарктика,
циклон – антициклон,
монтаж – демонтаж.

Главные значения модулей упругости некоторых кубических кристаллов ($E \cdot 10^{-3}$, *МПа*)

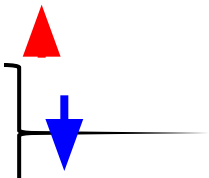
Кристаллы	Направления в кубе	
	вдоль ребра	вдоль диагонали
Алмаз	95,0	49, 0
Алюминий	10,8	2,8
Железо	24,2	11,2

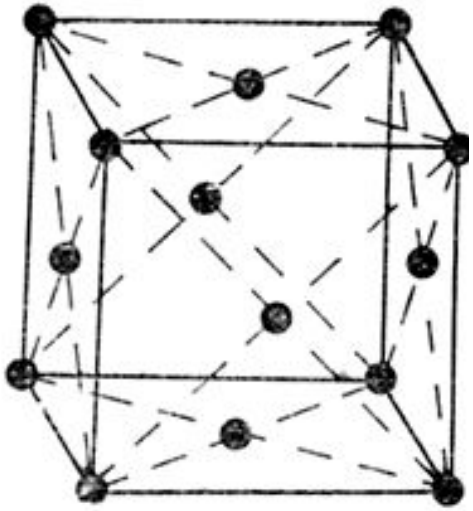
Коэффициенты линейного расширения вдоль главной оси симметрии и в перпендикулярном ей направлении

Кристаллы	$\alpha_{//} \cdot 10^6$, *град*$^{-4}$	$\alpha_{\perp} \cdot 10^6$, *град*$^{-4}$
Олово	30,5	15,5
Кварц	13,7	7,5
Графит	28,2	– 1,5
Теллур	– 1,6	27,2

Удельное электрическое сопротивление вдоль главной оси симметрии и перпендикулярно ей

Кристаллы	$\rho_{//} \cdot 10^6$, *ом·см*	$\rho_{\perp} \cdot 10^6$, *ом·см*
Магний	3,37	4,54
Цинк	5,83	5,39
Кадмий	7,65	6,26
Олово (белое)	13,13	9,05

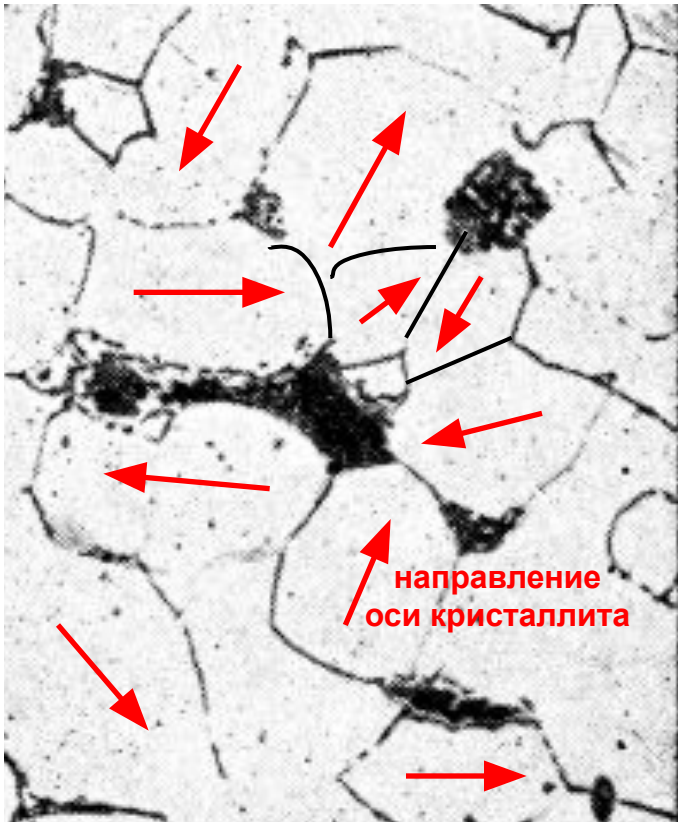




Элементарная ячейка монокристалла самородной меди

(гранецентрированный куб).

Атомы расположены по углам куба и в центре каждой его грани.



Феррит

(структурная фаза стали)

Кристаллический материал – совокупность хаотично расположенных кристаллитов (зёрен).

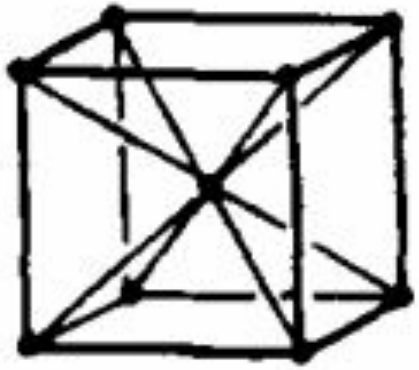
Монокристаллы анизотропны.

Кристаллические материалы изотропны.

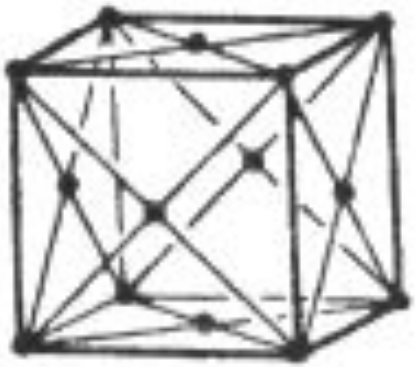
Аморфные материалы изотропны

ПОЛИМОРФИЗМ

Полиморфизм железа



α-Fe до 723 °С
объемноцентрированный куб
растворимость углерода до 0,02%



γ-Fe при 917 ÷ 1394 °С
гранецентрированный куб
растворимость углерода до 2,14%
(≈ в 107 раз больше)

Положительные последствия полиморфных превращений
(термообработка материалов)

Отрицательные последствия полиморфных превращений

Олово

α-Sn (серое олово)
при t < 13 °С кубическая решетка типа алмаза;
ρ = 5,75 г/см³
(ковалентная связь)

←

на 27 % увеличивается удельный объем, металл рассыпается («оловянная чума»)

β-Sn (белое олово)
при t > 13 °С тетрагональная решетка;
ρ = 7,28 г/см³
(металлическая связь)

1.2. Классификация металлов и сплавов

По металлу основы	По числу компонентов	По структуре	По характерным свойствам	По технологии производства
черные, цветные, редких металлов, радиоактивных металлов	двойные, тройные, . . . многокомпонентные	гомогенные (однородные) – растворы, гетерогенные (смеси)	тугоплавкие, легкоплавкие, высокопрочные, жаропрочные, твердые, антифрикционные, коррозионно-стойкие, со спец. свойствами	литейные, деформируемые, спечные

<u>Черные металлы и сплавы</u> – железо и его сплавы (стали, чугуны, ферросплавы).

Остальных металлы и сплавы на их основе – <u>цветные</u>.

<u>Черные</u> металлы и сплавы составляют <u>более 90 %</u> всего объёма, используемых в экономике металлов и сплавов, из них основную часть составляют различные стали.

2-й учебный вопрос.

Черные металлы и сплавы.

2.1. Состав сталей и чугунов.

Сталь – сплав железа с углеродом при содержании углерода ≈ до 2 %.

Чугун – сплав железа с углеродом при содержании углерода ≈ от 2 до 6,7 %.

Углерод может:

1. растворяться в Fe;
2. вступать с Fe в химическое соединение.

При получении сплавов Fe с C эти процессы идут одновременно

Содержание "C" в структурных составляющих сплавов "Fe–C":

1. 0 – 2,14% в γ-Fe (твердый раствор внедрения) при 727 – 1539^{0}C (аустенит);

аустенит – по имени английского металлурга У. Робертса-Остена (W. Roberts-Austen, 1843-1907)

2. 0 – 0,02% в α-Fe (твердый раствор внедрения) при 18 – 910^{0}C (феррит);
3. 6,67% в карбиде железа Fe_3C (химическое соединение – цементит):

расчет %-содержания C в Fe

$$\% C = M_C/M_{Fe_3C} \cdot 100\% = 12/(3 \cdot 55{,}85 + 12) \cdot 100\% = 6{,}68\%$$

Структура сплавов "Fe – C"
– это различные сочетания структурных составляющих по пп. 1 – 3

Однофазные структуры сплавов железа с углеродом:

феррит – твердый раствор внедрения C в α-Fe;

аустенит – твердый раствор внедрения C в γ-Fe;

цементит – химическое соединение: Fe_3C;

графит.

Двухфазные структуры сплавов:

Перлит – эвтектоида (0,8% C) → механическая смесь феррита и цементита.

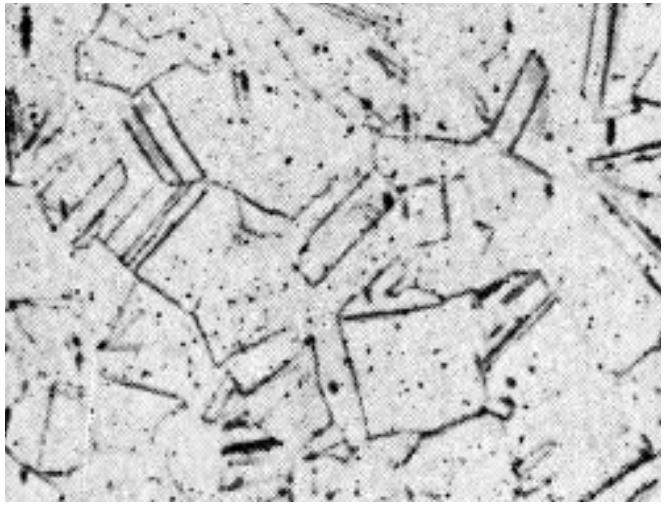
Ледебурит – эвтектика (4,3% C) → механическая смесь:

аустенита и цементита при $T > 727^0C$;

перлита и цементита при $T < 727^0C$.

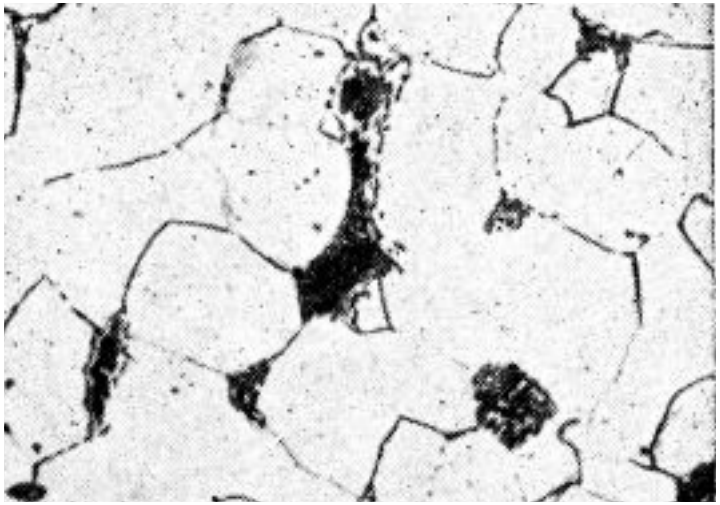
ледебурит – по имени немецкого металлурга А. Ледебура (A. Ledebur, 1883-1906)

Однофазные микроструктуры стали



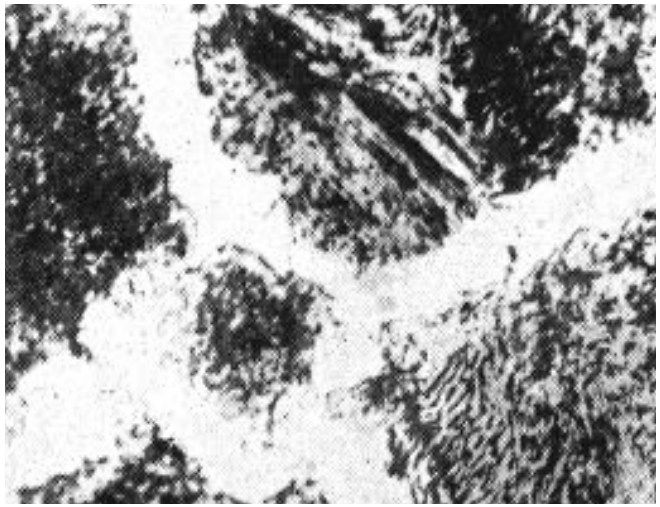
Аустенит

НВ = 200÷250 кг/мм^2, ε = 40÷50%, пластичный, мягкий



Феррит

НВ = 80÷100, $\sigma_в$ = 30÷50, ε = 30÷40%, пластичный, мягче чем аустенит



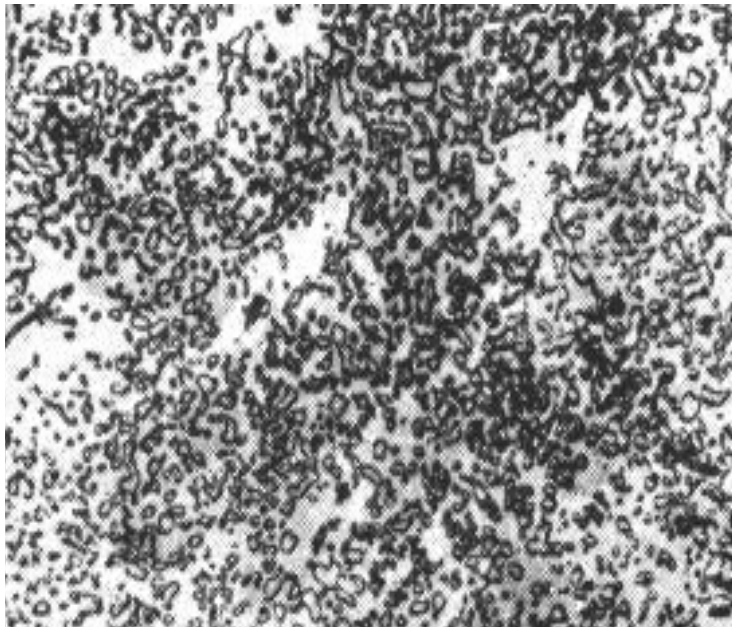
Цементит

НВ = 750÷830, $\sigma_в$ = 3÷5, ε ≈ 0%, хрупок

Графит

НВ = 3÷5, $\sigma_в$ ≈ 0, ε ≈ 0%

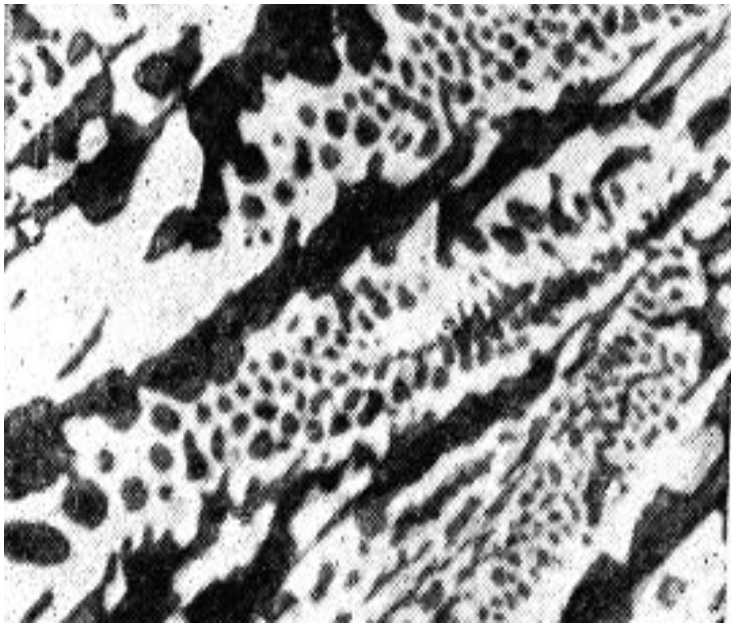
Двухфазные микроструктуры стали



Перлит (зернистый)

(феррит + цементит)

HB = 150÷250, $\sigma_в$ = 70÷130, ε = 10÷20%



Ледебурит

(перлит + цементит)

хрупок (много цементита)

2.2. Углеродистые и легированные стали

Классификация, маркировка, свойства.

Сталь – сплав железа с углеродом при содержании углерода ≈ до 2 % (2,14 %).

Классификация сталей

По химическому составу	
Углеродистые	Легированные
0,01 – 0,05 % **P**; 0,01 – 0,4 % **S**; **Mn** до 1 %; **Si** до 0,4 % Углерода до: 0,25 % – низкоуглеродистые; 0,60 % – среднеуглеродистые; 1,50 % – высокоуглеродистые.	Легирующих компонентов (> 40 элементов **)): от ≈ 1 % до 5 % – низколегированные; от 5 % до 10 % – среднелегированные; свыше 10 % – высоколегированные ***)

<u>Углеродистые</u> стали содержат:

1. **железо;**
2. **углерод;**
3. **примеси.**

<u>Легированные</u> стали содержат:

1. **железо;**
2. **углерод;**
3. **примеси;**
4. **специально вводимые легирующие добавки**

(для чего вводят ?)

2.2.1. Классификация и маркировка углеродистых сталей

<table>
<tr><th colspan="6">По назначению</th></tr>
<tr><td colspan="5">Конструкционные
(высокие: прочность, усталость, выносливость, обрабатываемость)</td><td rowspan="2">Инструмен-тальные</td></tr>
<tr><td colspan="3">Обыкновенного качества (группы)</td><td rowspan="3">Качественн.
($S \le 0{,}04$ %,
$P \le 0{,}035$ %)

0,5; 0,8; 10; 15 … 80
(C – сотые %)</td><td rowspan="3">($S \le 0{,}03$ %,
$P \le 0{,}05$ %)

У6, У8 …
У13, У13А
(А–высококач.,
S до 0,02 %,
P до 0,05 %),
C – десятые %</td></tr>
<tr><td>А
(поставка по мех. св-вам: σ_B, σ_{02}, δ)</td><td>Б
(поставка по хим. составу: % C, Mn, Si)</td><td>В
(поставка по мех. св-вам и хим. составу)</td></tr>
<tr><td>Ст 0 ÷ Ст 6
(Ст 3сп)*)</td><td>БСт 0 ÷ БСт 6</td><td>ВСт 2 ÷ ВСт 5</td></tr>
</table>

*) **Индексы – степень раскисления при выплавке:**
кп – кипящая; пс – полуспокойная; сп – спокойная.

S образует с Fe эвтектику FeS ($T_{пл.}$ 988^0C) → **красноломкость стали**;
P растворяется в феррите, ↓ пластичность, ↑ хрупкость → **хладноломкость стали.**

2.2.2. Свойства углеродистых сталей

Механические свойства углеродистых конструкционных сталей обыкновенного качества

Марка стали	Предел прочности при растяжении, $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %, не менее
Ст0	Не менее 310	20
Ст1	310-420	31
Ст2	330-440	29
Ст3	370-490	23
Ст4	410-540	21
Ст5	500-640	17
Ст6	Не менее 600	12

Какая группа ?

Что означают цифры?

Цифры от 0 до 6 – условный номер марки стали.

С повышением номера стали <u>возрастают:</u>

пределы прочности ($\sigma_в$) и текучести ($\sigma_т$);

<u>уменьшается</u> относительное удлинение при разрыве (δ).

Механические свойства углеродистых конструкционных качественных сталей

Марка стали	Предел прочности при растяжении $\sigma_в$, МПа, не менее	Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Относительное удлинение δ, %, не менее
10	340	-	31
25	460	-	23
45	610	197	16
60	690	229	10
75	1100	241	7
85	1150	255	6

Цифры – содержание углерода в сотых долях %

Сталь 60

Углеродистые инструментальные стали

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435–90) содержат 0,65–1,35% С. Они маркируются буквой «У» и одной-двумя цифрами: У7–У13, У7А–У13А. Буква У означает, что сталь углеродистая, число показывает содержание углерода в десятых долях процента, буква А означает, что сталь высококачественная, т.е. с пониженным содержанием вредных примесей (серы и фосфора).

Сталь марки У10А: сталь углеродистая, инструментальная, высококачественная, содержит ≈ 1,0% С.

Инструментальные стали обладают высокой твердостью, прочностью, хорошо шлифуются при изготовлении инструмента, дешевы и недефицитны. Теплостойкость этих сталей составляет 150–250 °С

Окончательная термическая обработка включает закалку и отпуск. Структура закаленной стали состоит из мартенсита с мелкими карбидами.

Инструменты из этих сталей могут работать лишь при небольших скоростях резания до 15–18 м/мин.

Марки стали	Массовая доля элементов, %				
	C	Si	Mn	S	P
				не более	
У7; У7А	0,65 – 0,74	0,17 – 0,33	0,17 – 0,33	0,028; 0,018	0,030; 0,025
У8; У8А	0,75 – 0,84	0,17 – 0,33	0,17 – 0,33	0,028; 0,018	0,030; 0,025
У9; У9А	0,85 – 0,94	0,17 – 0,33	0,17 – 0,33	0,028; 0,018	0,030; 0,025
У10; У10А	0,95 – 1,04	0,17 – 0,33	0,17 – 0,33	0,028; 0,018	0,030; 0,025
У11; У11А	1,05 – 1,14	0,17 – 0,33	0,17 – 0,33	0,028; 0,018	0,030; 0,025
У12; У12А	1,15 – 1,24	0,17 – 0,33	0,17 – 0,33	0,028; 0,018	0,030; 0,025
У13; У13А	1,25 – 1,35	0,17 – 0,33	0,17 – 0,33	0,028; 0,018	0,030; 0,025

Марка Стали	Твердость HRC, не менее	Примерное назначение
У7, У7А У8, У8А У8Г, У8ГА	62	Зубила, клейма, ножницы, инструмент для обработки дерева, штампы
У9, У9А У10, У10А У11, У11А	62	Метчики, сверла, развертки, ножовки, резцы для обработки мягких материалов
У12, У12А У13, У13А	63	Напильники, бритвы, граверный инструмент

2.2.3. Классификация легированных сталей.

Легирование – введение в состав металлических сплавов специальных добавок для придания сплавам требуемых свойств.

Легирующие элементы – химические элементы, вводимые в сплав для придания ему требуемых свойств.

Легированные **стали**		
Легирующих компонентов (> 40 элементов **)): от ≈ 1 % до 5 % – низколегированные; от 5 % до 10 % – среднелегированные; свыше 10 % – высоколегированные ***)		
По назначению		
Конструкц.	Инструмен-тальные	С особыми физ-хим. свойствами
30ХН3, 12Х18Н9Г, 20Х2Р4А (С – сотые %, лег. эл-нт – %)	Х, 9ХС, ХВГ; Р18 (быстрорежущ.); 5ХНМ, 5ХНВ (штампы, пресс-формы), С – десятые %	нержавеющ.; жаростойк.; жаропрочн.; высокопроч.; магнитные; заданн. α_l ; аморфные; для криотехн.

**) Обозначение легирующих компонентов:

Азот	– А	Кадмий	– Кд	Ниобий	– Б
Алюминий	– Ю	Кобальт	– К	Празеодим	– Пр
Бериллий	– Л	Кремний	– С	Самарий	– Са
Бор	– Р	Магний	– Мг	Селен	– Е
Ванадий	– Ф	Марганец	– Г	Титан	– Т
Висмут	– Ви	Медь	– Д	Фосфор	– П
Вольфрам	– В	Молибден	– М	Хром	– Х
Галлий	– Гл	Никель	– Н	Цирконий	– Ц

***) Примеры обозначений сталей:

низколегированные: 09Г2, 15ХГС

среднелегированные: 18Х2Н4В, 20Х2Н4**А**

высоколегированные: 15Х12ВНМФ, 10Х11Н20Т3Р**Ш**

В конце маркировки:

А – высококачественная;

Ш – особо высококачественная.

2.2.4. Свойства легированных сталей

Механические свойства хромистых сталей

Марка стали	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринеллю
20Х13	400–450	25–38	140–160
40Х13	950	15	480
08Х17	500	27	175
15Х28	600	25	180

Состав, свойства и применение легированных сталей с особыми свойствами

Группа стали		Химический состав в %		Термообработка	Свойства после термообработки	Примерное применение
		C	Легирующие элементы			
Износоустойчивая	Марганцевая (Г12)	1,0—1,5	10,5—15,5 Mn	З. 1100°, в	$\sigma_{вр}=80\div100$ *кг/мм²*; $\sigma_T=25\div40$ *кг/мм²*; $\delta_5=40\div50\%$; $\psi=35\div45\%$; $a_н=20\div30$ *кгм/см²*; $H_Б=180\div220$ *	Детали, работающие в условиях наклёпа (конусы и броневые плиты машин, щёки камнедробилок, стрелки и крестовины трамвайных путей и др.)
Нержавеющая и кислотостойкая	Хромистая	⩽ 0,25	~ 5 Cr	З. + О.	Высокая прочность до 600° С, стойкость в среде водорода и морской воде	Литые башни для синтетического азота, автоклавы для гидрогенизации, крышки дизелей морских катеров и др.
	То же с повышенным содержанием хрома	⩽ 0,12	13—15 Cr	З. 750—780°, в	Устойчива в азотной кислоте, спирте, органических кислотах, растворах солей, маслах, печных газах, жаростойкость до 900°	Главным образом печная арматура, тигли, цементационные ящики и др.
	Хромоникелевая 20Х18Н9Т	⩽ 0,25	13—17 Cr 7—9 Ni с добавкой Ti	З. 1050—1100°, в	$\sigma_{вр}=52\div62$ *кг/мм²*; $\delta=45\div60\%$; $H_Б=131\div163$; $a_н=16\div22$ *кгм/см²* Устойчива в азотной и органических кислотах, щёлочах и др.	Химическая аппаратура, детали авиастроения и др.
Жаростойкая	Хромистая	⩽ 0,08	13—14 Cr		Жаростойкость: до 850°	Различные детали, работающие при высоких температурах
		0,08—0,12	16—20 Cr		„ 900°	
		0,20—0,25	25—32 Cr		„ 1050°	
		0,20—0,25	13—15 Cr		„ 825°	
		0,30—1,00	18—20 Cr		„ 900°	
		1,0—1,2	25—30 Cr		„ 1050°	
	Хромокремнистая (сильхромы)	⩽ 0,25	18 Cr; ~2,0 Si		„ 850°	То же
		⩽ 0,25	30 Cr; ~2,0 Si		„ 1100°	
	Хромоникелекремнистая	0,30—0,40	16—20 Cr 23—27 Ni 2,0—3,0 Si		„ 1100°	То же

* После наклёпа поверхностная твёрдость достигает $H_Б=450\div550$.

Жаропрочность – способность материала сохранять в допустимых пределах свои механические свойства при высоких температурах.

Жаростойкость – способность материала сопротивляться газовой коррозии.

2.3. Чугуны.

Классификация, маркировка и свойства.

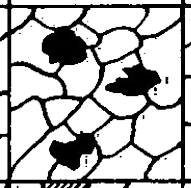
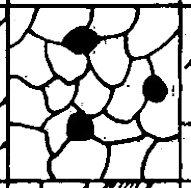
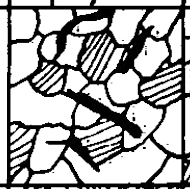
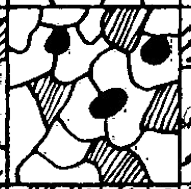
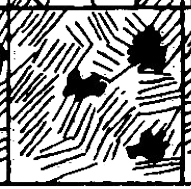
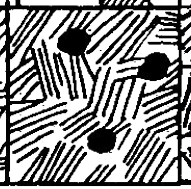
Чугун – сплав железа с углеродом при содержании углерода ≈ от 2 до 6,7 %.

2.3.1. Классификация и маркировка чугунов.

В зависимости от <u>состояния углерода</u> в чугуне, различают:

<u>Серый чугун</u>, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в виде графита, что определяет серый, даже сажистый вид его поверхности на изломе.

Серый чугун можно рассматривать как структуру, которая состоит *из металлической основы с графитными включениями*.

Металлическая основа	Форма графитных включений			
	Пластинчатая	**Хлопьевидная**	**Шаровидная**	Вермикулярная *)
Феррит **углерод в виде графита**				
Феррит + Перлит **< 0,8 % C – Fe_3C, остальной углерод – графит**				
Перлит **0,8 % C в виде цементита, остальной C в виде графита**				

Классификация серых чугунов по структуре металлической основы и формы графитовых включений

От формы графитных включений зависят свойства серого чугуна:

- **чугун с пластинчатым графитом – хрупок (разрушается при ударе);**
- **чугун с хлопьевидным графитом – ковкий чугун;**
- **чугун с шаровидным графитом – высокопрочный чугун.**

***) вермикулярный графит – графит, имеющий волокнистую (червеобразную) форму**

Маркировка чугунов

Серые чугуны маркируют буквами “СЧ” и цифрами:

первая – предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$,

вторая – предел прочности при изгибе $\sigma_{ви}$.

Размерность цифр прочности – кгс/мм^2 или МПа/10 .

Пример: СЧ12-28 – серый чугун с $\sigma_{вр}$ = 12 кгс/мм^2 = 120 МПа;

$\sigma_{ви}$ = 28 кгс/мм^2 = 280 МПа.

Высокопрочные чугуны маркируют буквами “ВЧ” и цифрами:

первая – предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$,

вторая – относительное удлинение при разрыве δ (%).

Пример: ВЧ 60-2 – высокопрочный чугун с $\sigma_{вр}$ = 60 кгс/мм^2 = 600 МПа;

δ = 2%.

Ковкие чугуны маркируют буквами “КЧ” и цифрами:

первая – предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$,

вторая – относительное удлинение при разрыве δ (%).

Пример: КЧ 38-8 – ковкий чугун с $\sigma_{вр}$ = 38 кгс/мм^2 = 380 МПа;

δ = 8%.

Справка: 10 МПа = 100 кгс/см^2 = 1 кгс/мм^2

Белый чугун, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде *цементита*.

(только 0,03 - 0,30% С в виде графита)

Механические свойства белого чугуна

Показатель	Значение
Предел прочности при растяжении в *кг/мм²*	14,5
Удлинение при разрыве в %	0
Модуль упругости в *кг/мм²*	17 000
Предел прочности при сжатии в *кг/мм²*	До 250
Предел прочности при изгибе в *кг/мм²*	„ 25
Твердость НВ	370 - 480

Белый чугун применяют в изделиях, работающих на износ при очень высоких давлениях и чаще всего без смазки.
Отливки белого чугуна обладают жаростойкостью и коррозионной стойкостью.

Маркировка белых чугунов не установлена

Белый чугун очень хрупок и поэтому его перерабатывают в **ковкий чугун** путем высокотемпературного **отжига** в течение суток. Увеличение пластичности чугуна обусловлено перераспределением углерода в металле, происходящим при отжиге: цементит Fe_3C распадается на железо и хлопьевидный графит.

2.3.2. Свойства чугунов

Механические свойства серых чугунов

Марка чугуна	Предел прочности в *кг/мм²* (не менее) при			Твёрдость $H_Б$ в *кг/мм²*
	растяжении	изгибе	сжатии	
СЧ 12-28	12	28	50	143—229
СЧ 15-32	15	32	65	163—229
СЧ 18-36	18	36	70	170—229
СЧ 21-40	21	40	75	170—241
СЧ 24-44	24	44	85	170—241
СЧ 28-48	28	48	100	170—241
СЧ 32-52	32	52	110	197—248
СЧ 35-56	35	56	120	197—248
СЧ 38-60	38	60	130	207—262

Прочность серых чугунов всех марок при сжатии значительно превышает прочность при растяжении.

Механические свойства высокопрочных чугунов

Марка чугуна	σ^B, МПа	σ^{02}, МПа	δ, %	Твердость НВ
ВЧ 35	350	220	22	140-170
ВЧ 40	400	250	15	140-202
ВЧ 45	450	310	10	140-225
ВЧ 50	500	320	7	153-245
ВЧ 60	600	370	3	192-277
ВЧ 70	700	420	2	228-302
ВЧ 80	800	480	2	248-351
ВЧ 100	1000	700	2	270-360

Механические свойства ковких чугунов

Марка чугуна	$\sigma_{вр}$ в *кг/мм²*	δ в %	$H_Б$ не более
КЧ 37-12	37	12	149
КЧ 35-10	35	10	149
КЧ 33-8	33	8	149
КЧ 30-6	30	6	163

3-й учебный вопрос.

Цветные металлы и сплавы.

Сплавы на основе меди, алюминия.
Области применения.

Твердые сплавы.

3.1. Медь и её сплавы.

Медь – гранецентрированный куб, ρ = 8,94 г/см^3, $T_{пл}$ = 1083°С.

Характерные свойства: высокие электро– и теплопроводность, поэтому она находит широкое применение в электротехнике и теплообменной аппаратуре.

(медный самовар)

По чистоте медь подразделяют на:

Марка	МВЧк	МОО	МО	МI	М2	М3
Содержание Cu+Ag, не менее %	99,993	99,99	99,95	99,9	99,7	99,5

технически чистая медь

После обозначения марки указывают способ изготовления меди:
к – катодная, б – бескислородная, р – раскисленная.
Медь огневого рафинирования не обозначается.
МООк - технически чистая катодная медь, содержащая не менее 99,99% меди и серебра.
М3 - технически чистая медь огневого рафинирования, содержит н.м. 99,5% Cu и Ag.

Механические свойства меди относительно низкие:
$\sigma_в$ = 150…200 МПа, δ = 15…25 %.

Повышение механических свойств достигается созданием различных сплавов на основе меди.

Медные сплавы предназначены для изготовления деталей методами литья, называют литейными, а сплавы, предназначенные для изготовления деталей пластическим деформированием – деформируемыми.

Медные сплавы – это латуни и бронзы.

3.1.1. Латуни

Латуни – сплавы меди с цинком (до 45% Zn) и небольшими добавками алюминия, кремния, свинца, никеля, марганца.

$\sigma_в$ до 450 МПа (у меди до 200 МПа).

Добавка Ni и Fe повышает механическую прочность до 550 МПа.

Латуни имеют хорошую коррозионную стойкость, которую можно повысить дополнительно присадкой олова. Латунь ЛО70-1 стойка против коррозии в морской воде и называется “морской латунью“.

Обрабатываемость резанием улучшается присадкой в состав латуни свинца, например, латунь марки ЛС59-1, которую называют “автоматной латунью”

Латуни являются хорошим материалом для конструкций, работающих при отрицательных температурах.

Маркировка:

Деформируемые латуни маркируют буквой Л, за которой следует число, показывающее содержание меди в процентах: Л62 содержится 62 % меди и 38 % цинка.

Если кроме меди и цинка, имеются другие элементы, то ставятся их начальные буквы:

О – олово, С – свинец, Ж – железо, Ф – фосфор, Мц – марганец, А – алюминий, С – свинец, Б – бериллий, Мг – магний, Ср – серебро, Мш – мышьяк, Ц – цинк.

Количество этих элементов – цифры после числа, показывающего содержание меди:

ЛАЖ60-1-1 содержит 60 % меди, 1 % алюминия, 1 % железа и 38 % цинка (остальное).

Мнемоправило: деформация связана с растяжением, поэтому в маркировке деформируемых сплавов есть “ – “ .

Литейные латуни также маркируют буквой Л, после буквенного обозначения основного легирующего элемента (цинк) и каждого последующего ставится цифра, указывающая его усредненное содержание в сплаве:

ЛЦ23А6Ж3Мц2 содержит 23 % цинка, 6 % алюминия, 3 % железа, 2 % марганца.

3.1.2. Бронзы

Бронзы – сплавы меди с другими элементами кроме цинка.

[цинк, если он есть в бронзе, полностью находится в твердом растворе и не обнаруживается под микроскопом, цинк улучшает механические свойства бронзы и её жидкотекучесть]

Название бронзы дается по основному легирующему компоненту.

Разнообразие легирующих компонентов → разнообразие свойств сплавов.

Оловянистые бронзы – хороший антифрикционный материал (подшипники скольжения).

Свинцовые бронзы – высококачественный антифрикционный материал.

Алюминиевые бронзы – высокая прочность и жаропрочность.

Кремнистые бронзы – высокая устойчивость в щелочных средах и сухих газах (производство сточных труб, газо- и дымопроводов).

Бериллиевые бронзы – высококачественный пружинный материал.

Маркировка:

Деформируемые бронзы: на первом месте буквы Бр, затем буквы, указывающие легирующие элементы в сплаве. После всех букв идут цифры, показывающие содержание соответствующего компонента в сплаве:

БрОФ10-0,3 содержит 10 % олова и 0,3 % фосфора, остальное – медь.

Литейные бронзы: на первом месте буквы Бр, затем буква, указывающая легирующий элемент, и цифра, показывающая его содержание в сплаве:

БрО3Ц12С5 содержит 3 % олова, 12 % цинка, 5 % свинца, остальное – медь.

Кремнистые и бериллиевые бронзы не дают искры при ударах

3.2. Алюминий и его сплавы.

Алюминий – гранецентрированный куб, ρ = 2,7 г/см^3 , $T_{пл}$ = 660°С.

Обладает высокой тепло- и электропроводностью.
На поверхности образуется плотная пленка Al_2O_3, предохраняет металл от коррозии.
$\sigma_в$ = 150 МПа, δ = 50 %, E = 7000 МПа.

Алюминий маркируют буквой А и цифрами, обозначающими доли процента свыше 99,0% Al.

В зависимости от степени частоты первичный алюминий бывает:
особой (А999), высокой (А995, А95) и технической чистоты (А85 и др.):

А999 - алюминий особой чистоты, в котором содержится не менее 99,999% Al;
А5 - алюминий технической чистоты в котором 99,5% алюминия.

Алюминиевые сплавы разделяют на:

1. деформируемые;
2. литейные;
3. спеченные.

} не упрочняемые и упрочняемые термообработкой

Деформируемые сплавы не упрочняемые термообработкой – сплавы, содержащие Mn или Mg, существенно повышающие прочность сплава, снижая его пластичность.

Маркировка: сплавы с марганцем – АМц, с магнием – АМг; после обозначения элемента указывается его содержание (АМг3).

Магний действует только как упрочнитель, марганец упрочняет и повышает коррозионную стойкость.

Прочность сплавов повышается только в результате деформации в холодном состоянии.

Деформируемые сплавы, упрочняемые термообработкой – сплавы, содержащие **медь**, магний с добавками цинка и марганца для повышения прочности и жаропрочные.

Дуралюмины (сплавы алюминия с медью) **маркируют** буквой "Д" и порядковым номером, например: Д1, Д12, Д18.

Чистый алюминий недостаточно прочен. Эту проблему решил немецкий химик Альфред Вильм (Alfred Wilm), сплавлявший его с незначительными количествами меди, магния и марганца. Он открыл, что сплав в течение нескольких дней после закалки становится все прочнее и прочнее (технологический термин - старение). В 1911 году в немецком Дюрене (Duren) была выпущена партия сплава, названного в честь города дуралюминием, а в 1919 году из него был сделан первый самолет.

Дюралюмины подвергают закалке с температуры 500°С и естественному старению, которому предшествует двух-, трехчасовой инкубационный период. Максимальная прочность достигается через 4…5 суток.

Литейные сплавы – сплавы алюминия с кремнием (Si) – **силумины**, содержащие 10…13 % кремния.

Присадка к силуминам магния, меди содействует эффекту упрочнения литейных сплавов при старении. Титан и цирконий измельчают зерно. Марганец повышает антикоррозионные свойства. Никель и железо повышают жаропрочность.

Литейные сплавы маркируют буквами "АЛ" с последующим порядковым номером: АЛ2, АЛ9, АЛ13, АЛ22, АЛЗО.

Иногда сплавы маркируют по составу: АК7М2; АК21М2, АК5Н2,5; АК4МЦ6. В этом случае "М" обозначает медь. "К" - кремний, "Ц" - цинк, "Н" - никель; цифра – содержание элемента в %.

3.3. Твердые сплавы

Это твёрдые и износостойкие сплавы, способные сохранять эти свойства при 900 ÷ 1150°С, что позволяет вести обработку со скоростями резания до 800 м/мин (углеродистые инструментальные стали до 18 м/мин).

В зависимости от технологии получения различают спеченные и литые твёрдые сплавы.

Победит – первый твёрдый сплав, разработанный в СССР в 1929 году.

Химический состав и свойства твердых сплавов

Марка сплава		Состав шихты, %			Прочность $\sigma_в$, МПа	Твердость HRA
		WC	Co	TiC+(TaC)		
ВК3	вольфрамовые	97	3	-	1100	89,5
ВК8	вольфрамовые	92	8	-	1650	87,0
ВК10 – победит	вольфрамовые	90	10	-	1800	86,0
ВК25	вольфрамовые	75	25	-	200	82,0
Т30К4	титано-вольфрамовые	66	4	30	950	92,0
Т15К6	титано-вольфрамовые	79	6	15	1150	90,0
Т5К12	титано-вольфрамовые	83	12	5	1650	87,0
ТТ7К12	титано-тантало-вольфрамовые	81	12	4+(3)	1650	87,0
ТТ8К6	титано-тантало-вольфрамовые	84	6	2+(6)	1250	90,5
ТТ20К9	титано-тантало-вольфрамовые	71	9	8+(12)	1300	89,0

Задание на самостоятельную работу:

1. Повторить материал лекции.

2. Подготовиться к летучке по выданным вопросам.