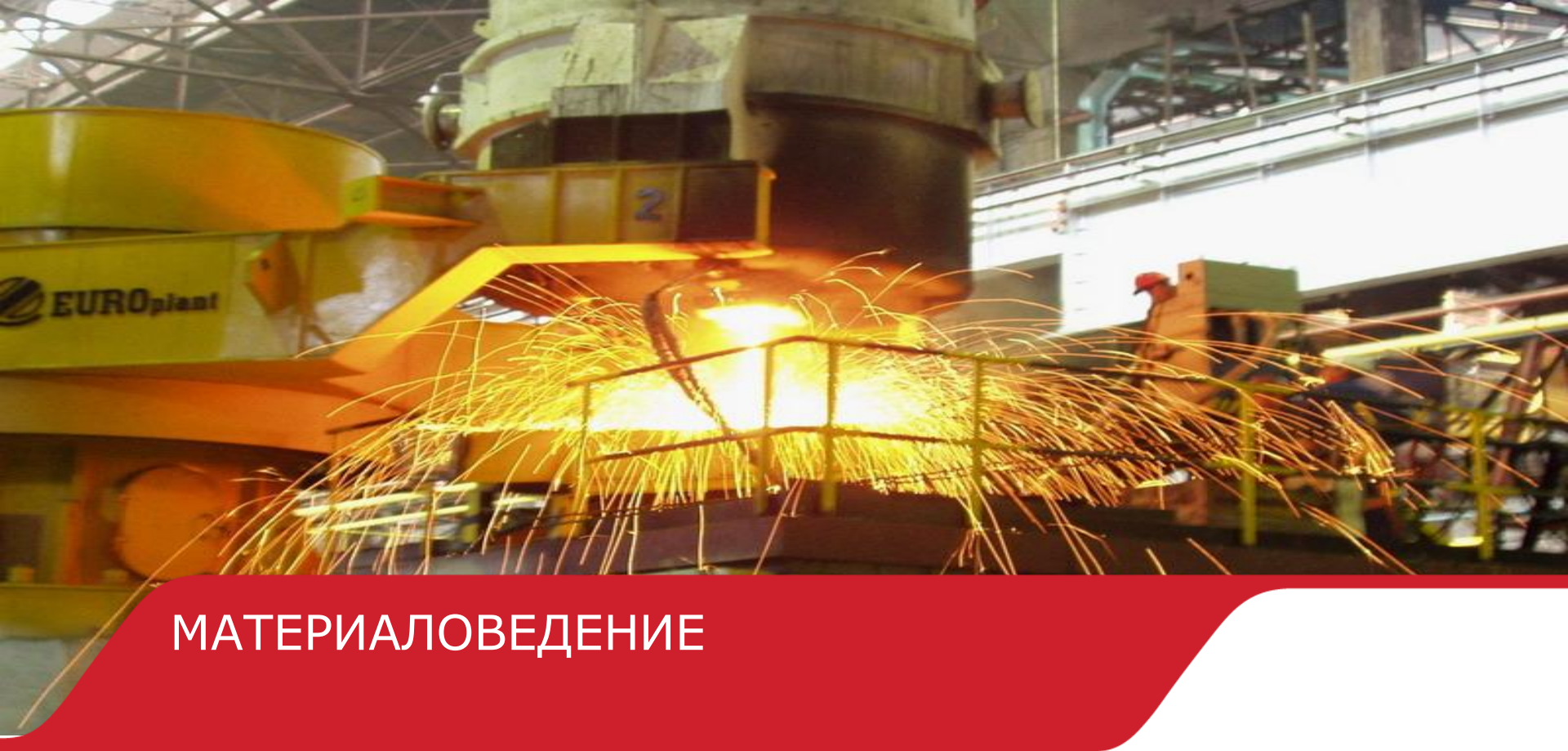




МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Основы металловедения

А.А. Семенов



Содержание презентации

1. Основы металловедения
2. Свойства металлов
3. Основы кристаллизации металлов
4. Основы теории сплавов
5. Производство стали и чугуна

Основы металловедения

Материаловедение – это наука, изучающая связь между **химическим составом, структурой и свойствами** материалов и закономерности **изменения этих свойств** под влиянием внешних воздействий (механических, термических, химических и др.), реализуемых в процессе производства, обработки и эксплуатации изделий из этих материалов.

		ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА										VII		VIII		 Периодический закон открыт Д. И. МЕНДЕЛЕЕВЫМ в 1869 году													
I		II		III		IV		V		VI		(H) 2		He															
1	H ВОДОРОД 1,00794											4,00260		ГЕЛИЙ															
2	Li ЛИТИЙ 6,94	Be БЕРИЛЛИЙ 9,01218	5	B БОР 10,81	6	C УГЛЕРОД 12,011	7	N АЗОТ 14,0067	8	O КИСЛОРОД 15,999	9	F ФТОР 18,998403	10	Ne НЕОН 20,17															
3	Na НАТРИЙ 22,98977	Mg МАГНИЙ 24,305	11	12	Al АЛЮМИНИЙ 26,98154	13	Si КРЕМНИЙ 28,085	14	P ФОСФОР 30,97376	15	S СЕРА 32,06	16	Cl ХЛОР 35,453	17	Ar АРГОН 39,94														
4	K КАЛИЙ 39,098	Ca КАЛЬЦИЙ 40,08	19	20	Sc СКАНДИЙ 44,9558	21	Ti ТИТАН 47,88	22	V ВАНАДИЙ 50,9415	23	Cr ХРОМ 51,996	24	Mn МАРГАНЕЦ 54,938	25	Fe ЖЕЛЕЗО 55,84	26	Co КОБАЛЬТ 58,9332	27	Ni НИКЕЛЬ 58,70										
	29	Cu МЕДЬ 63,54	30	Zn ЦИНК 65,38	31	Ga ГАЛЛИЙ 69,72	32	Ge ГЕРМАНИЙ 72,5	33	As АРСЕН 74,9216	34	Se СЕЛЕН 78,96	35	Br БРОМ 79,904	36	Kr КРИПТОН 83,80													
5	Rb РУБИДИЙ 85,467	Sr СТРОНЦИЙ 87,62	37	38	Y ИТРИЙ 88,9059	39	Zr ЦИРКОНИЙ 91,22	40	Nb НИОБИЙ 92,9064	41	Mo МОЛИБДЕН 95,94	42	Tc ТЕХНЕЦИЙ 98,9062	43	Ru РУТЕНИЙ 101,0	44	Rh РОДИЙ 102,9055	45	Pd ПАЛЛАДИЙ 106,4										
	47	Ag СЕРЕБРО 107,8682	48	Cd КАДМИЙ 112,41	49	In ИНДИЙ 114,82	50	Sn ОЛОВО 118,7	51	Sb СУРЬМА 121,7	52	Te ТЕЛЛУР 127,6	53	I ИОД 126,9045	54	Xe КСЕНОН 131,3													
6	Cs ЦЕЗИЙ 132,9054	Ba БАРИЙ 137,33	55	56	La-Lu * * *	71	Hf ГАФНИЙ 178,4	72	Ta ТАНТАЛ 180,947	73	W ВОЛЬФРАМ 183,84	74	Re РЕНИЙ 186,207	75	Os ОСМИЙ 190,2	76	Ir ИРИДИЙ 192,2	77	Pt ПЛАТИНА 195,0										
	79	Au ЗОЛОТО 196,9665	80	Hg РУТУТЬ 200,5	81	Tl ТАЛЛИЙ 204,3	82	Pb СВИНЕЦ 207,2	83	Bi ВИСМУТ 208,9804	84	Po ПОЛОНИЙ [209]	85	At АСТАТ [210]	86	Rn РАДОН [222]	Обозначения элементов. Атомный номер												
7	Fr ФРАНЦИЙ [223]	Ra РАДИЙ 226,0254	87	88	Ac-Lr * * *	103	Ku КУРЧАТОВИЙ [261]	104	Ns НИЛЬСБОРНИЙ [261]	105																			
s-элементы p-элементы d-элементы f-элементы Атомные массы приведены по Международной таблице 1981 года. Точность последней значащей цифры ±1 или ±3, если она выделена мелким шрифтом. В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов. *** ЛАНТАНОИДЫ *** *** АКТИНОИДЫ ***																													
57	La ЛАНТАН 138,905	58	Ce ЦЕРИЙ 140,12	59	Pr ПРАЗЕОДИМ 140,9077	60	Nd НЕОДИМ 144,2	61	Pm ПРОМЕТИЙ [145]	62	Sm САМАРИЙ 150,4	63	Eu ЕВРОПИЙ 151,96	64	Gd ГАДОЛИНИЙ 157,25	65	Tb ТЕРБИЙ 158,9254	66	Dy ДИСПРОЗИЙ 162,5	67	Ho ГОЛЬМИЙ 164,9304	68	Er ЭРБИЙ 167,26	69	Tm ТУЛЬМИЙ 168,9342	70	Yb ИТТЕРБИЙ 173,0	71	Lu ЛЮТЕЦИЙ 174,967
89	Ac АКТИНИЙ [227]	90	Th ТОРИЙ 232,0381	91	Pa ПРОТАКТИНИЙ 231,036	92	U УРАН 238,0289	93	Np НЕПУНДИЙ 237,0482	94	Pu ПУТОНИЙ [244]	95	Am АМЕРИЦИЙ [243]	96	Cm КЮРИЙ [247]	97	Bk БЕРКЛИЙ [247]	98	Cf КАЛИФОРНИЙ [251]	99	Es ЭЙНШТЕЙНИЙ [254]	100	Fm ФЕРМИЙ [257]	101	Md МЕНДЕЛЕВИЙ [258]	102	(No) НОБЕЛИЙ [259]	103	(Lr) ЛОУРЕНСИЙ [262]

Положение металлов в Периодической системе химических элементов

Условная граница между элементами-металлами и элементами-неметаллами проходит по диагонали:
В(бор) – Si(кремний) – As(мышьяк) – Te(теллур) – At (астат)

Положение металлов в П.С.

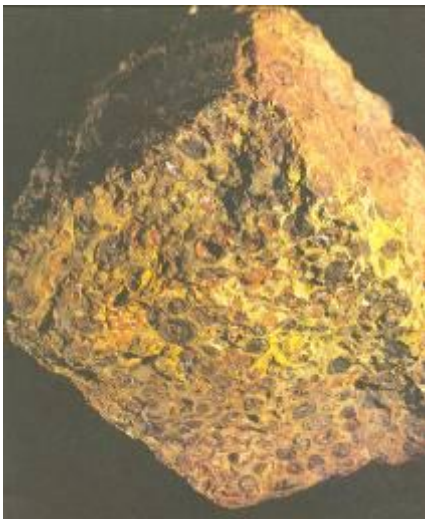
Если в П. С. элементов Д. И. Менделеева провести диагональ от бериллия (Be) к астату (At), то справа вверх от диагонали будут находиться элементы-неметаллы (исключая элементы побочных подгрупп), а слева внизу – элементы-металлы (к ним также относятся элементы побочных подгрупп). Элементы, расположенные вблизи диагонали (например, бериллий Be, алюминий Al, титан Ti, германий Ge, ниобий Nb, сурьма Sb и др.), обладают двойственным характером. Как видно, наиболее типичные элементы-металлы расположены в начале периодов (начиная со второго). Таким образом из 113 элементов **85 являются металлами.**

Металлы в природе

Самым распространенным металлом в земной коре является алюминий.

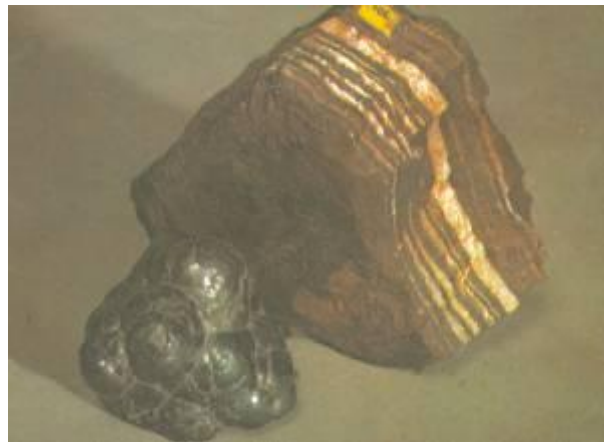
За ним следует железо, натрий, калий, магний и титан.

Содержание остальных металлов незначительно. Так, например, хрома в земной коре по массе всего лишь 0,3%, никеля – 0,2%, а меди – 0,01%. Металлы встречаются в природе как в свободном виде, так и в различных соединениях.



боксит

Север Карелии



гематит

Костомукша



магнетит

Пудожгорский

Металлы в природе



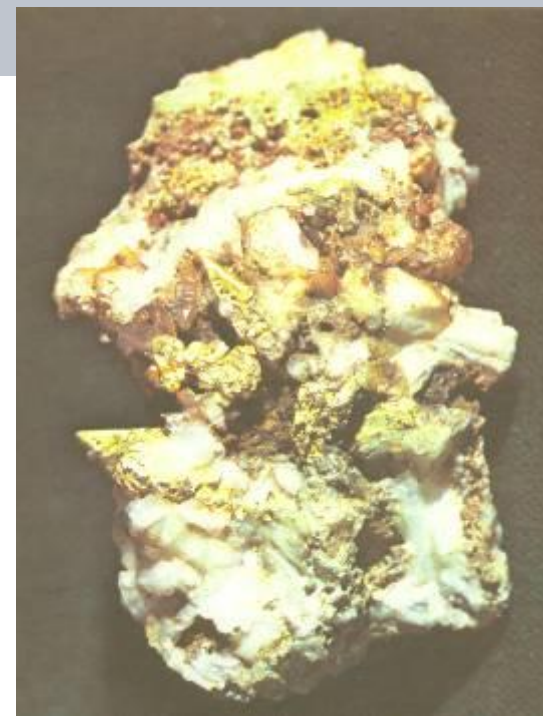
Самородок платины



Самородок серебра

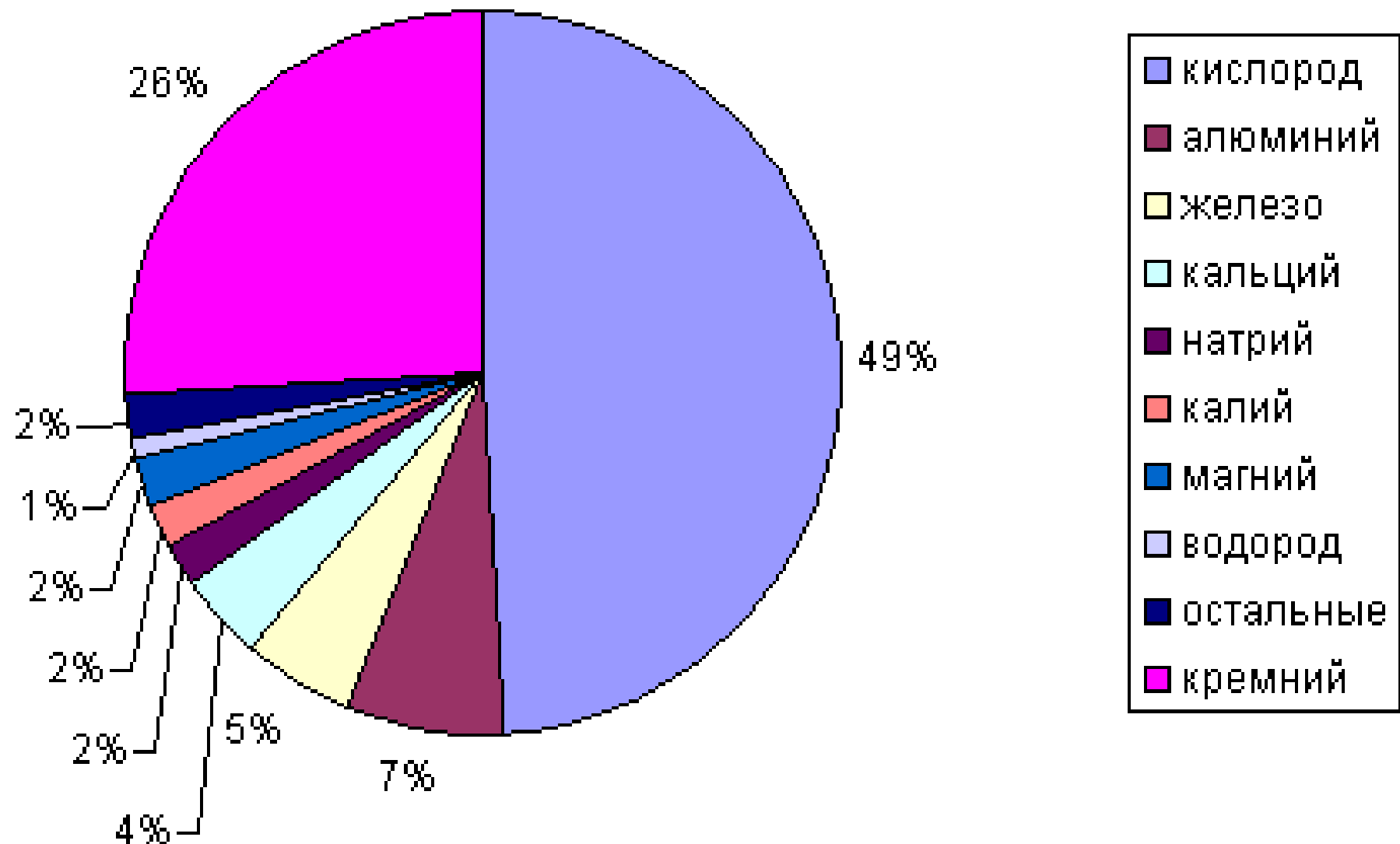


нефелин



Самородок золота

Распространение элементов в природе (по массе)



Классификация металлов

- В технике кроме чистых металлов, чаще применяют металлические сплавы, которые представляют собой сложные вещества из нескольких элементов-металлов, а также в смеси с элементами-неметаллами. Свойства сплавов обычно резко отличаются от свойств чистых исходных металлов, и их можно регулировать.
- **Металлы разделяют на черные и цветные.** К черным относятся железо и сплавы на его основе – **стали и чугуны**;
- остальные металлы являются цветными.
- Основную часть вырабатываемых в мире металлов составляет сталь как сплав железа с углеродом. В строительстве в основном применяют черные металлы – чугуны и стали для каркасов зданий, мостов, труб, кровли, арматуры в железобетоне.

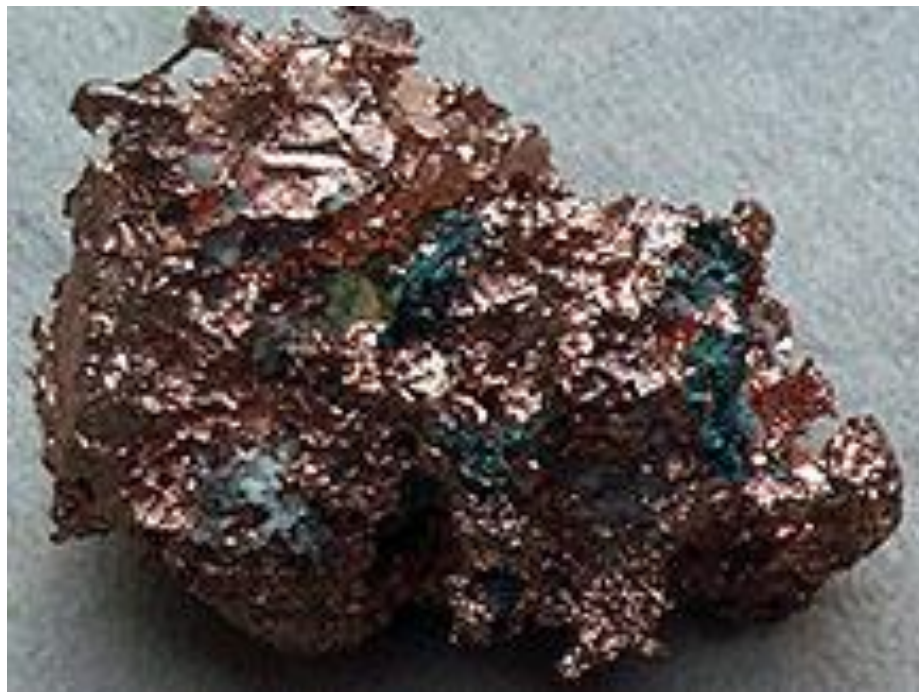
Черные сплавы

- Чугун
- Сталь



Цветные сплавы

- Бронза
- Латунь
- Мельхиор
- Дюралюминий



Признаки металлов

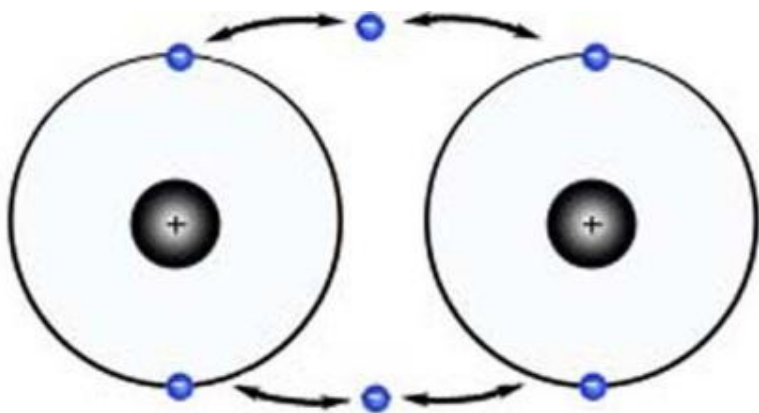
- Пластичность
- Электропроводность
- Теплопроводность
- Металлический блеск



Электронное строение металлов

- Общность свойств металлов определяется подобием электронного строения их атомных оболочек и типом межатомной связи. Атомы металлов на внешней оболочке имеют один, два, три электрона, а атомы неметаллов — от четырех до семи.
- У металлов внешние свободные электроны слабо связаны с ядром, поэтому они легко перескакивают с орбиты одного атома на орбиты других атомов, образуя подобие электронного газа. Атомы при этом ионизируются.

Электронное строение металлов



- Свободные электроны являются переносчиками тепла от атома к атому, что обуславливает значительную теплопроводность металлов.
- Высокая электропроводность металлов объясняется тем, что под действием даже небольшой разницы потенциалов свободные электроны перемещаются в одном направлении, образуя электрический ток.

Свойства металлов

Свойства металлов

```
graph TD; A[Свойства металлов] --> B[Физические]; A --> C[Химические]; A --> D[Механические]; A --> E[Технологические];
```

Физические

Химические

Механические

Технологические



- **Плотность** – это масса единицы объема.

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [г/см}^3\text{]}$$

Легкие металлы (плотность меньше 5 г/см³).

К ним относятся щелочные, щелочноземельные металлы и алюминий.

Самый легкий металл – литий.

- Тяжелые металлы (плотность больше 5 г/см³).

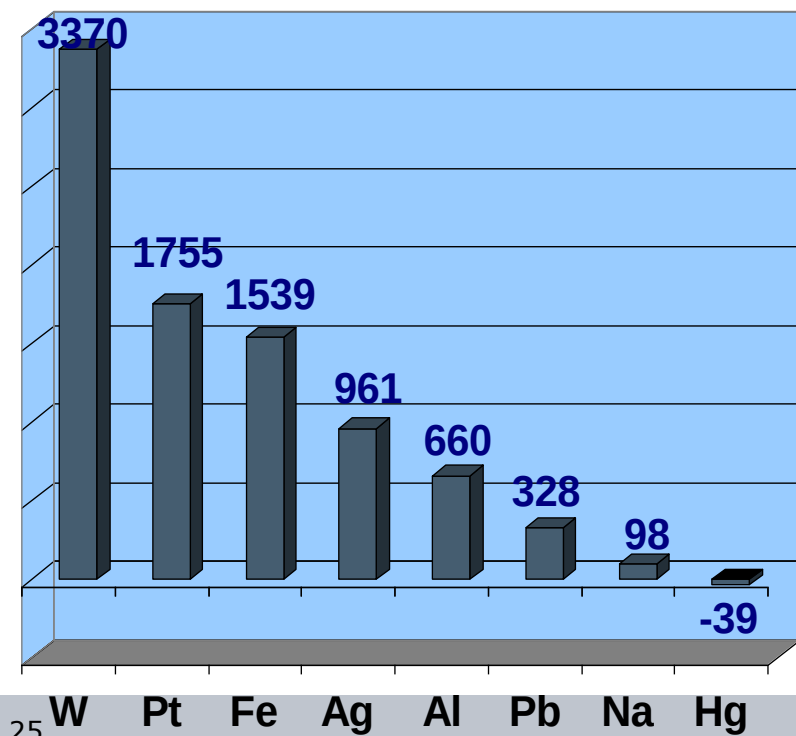
Самый тяжелый металл – осмий.

- Например, плотность алюминия составляет 2,7 г/см³, а меди 8,9 г/см³.

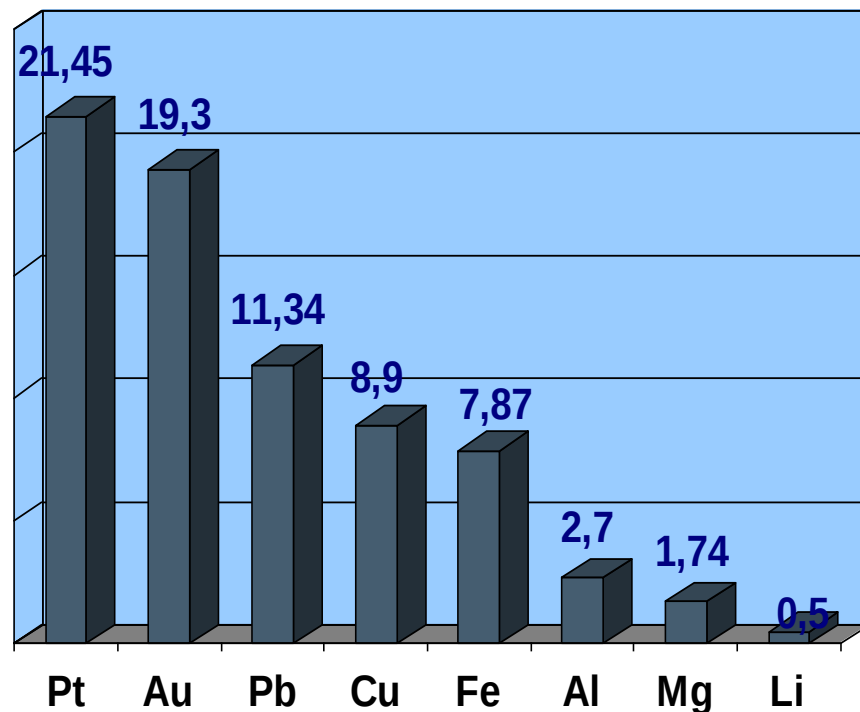
- **Температура плавления** является той температурой, при которой металл переходит из твердого состояния в жидкое.
- Металлы, имеющие температуру плавления выше, чем у железа (1539°) называются тугоплавкими, а ниже 500° - легкоплавкими.
- Для сравнения: температура плавления вольфрама - 3416° , меди - 1083° , алюминия 660° .

Основные физические свойства

Температура плавления

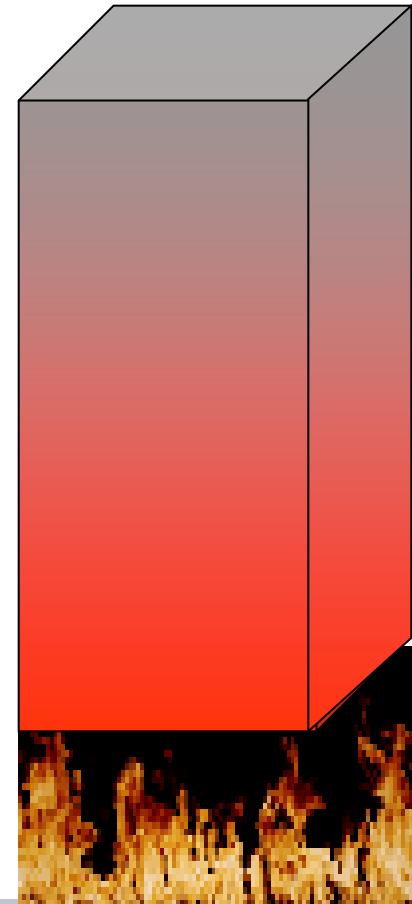


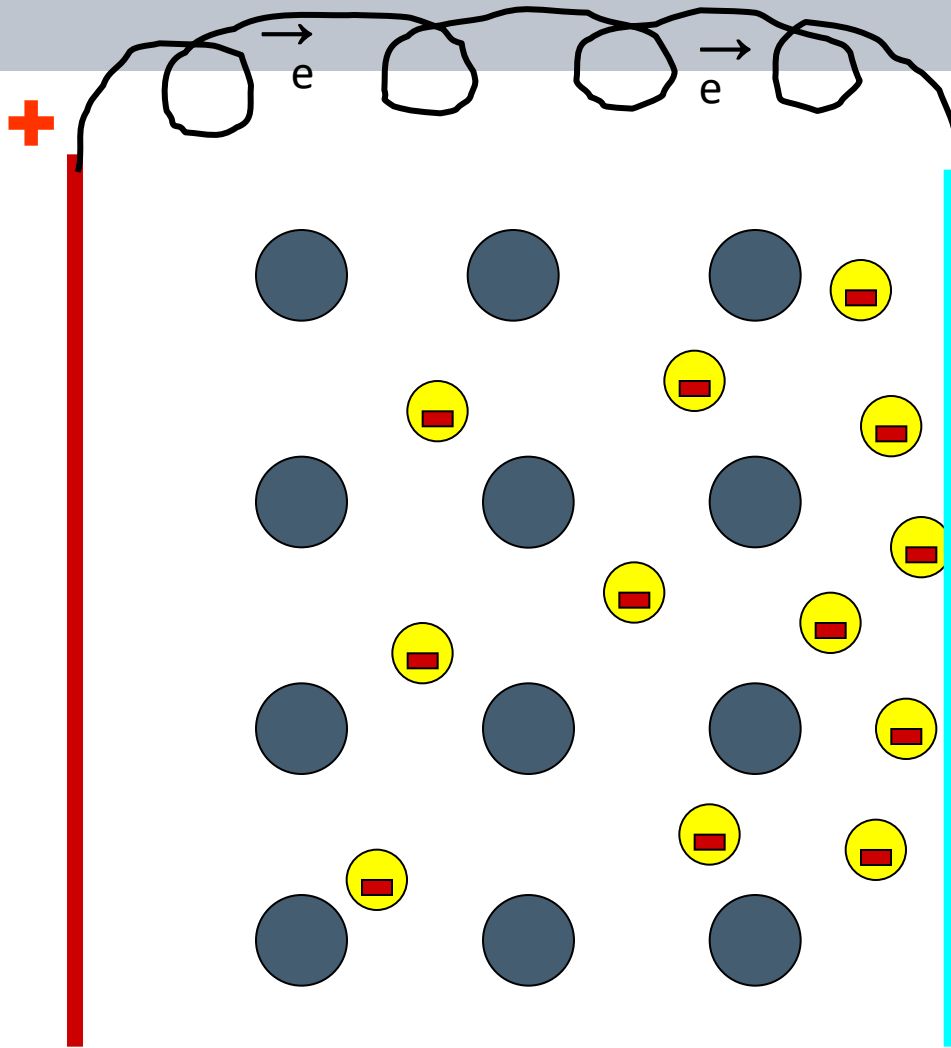
Плотность металлов



Теплопроводность
обусловлена большой подвижностью электронов, которые сталкиваясь с колеблющимися атомами и ионами обмениваются с ними энергией.

Происходит выравнивание температуры по всему куску металла.





Электропроводность связана с направленным движением электронов при помещении металла в электрическое поле.

Основные физические свойства

- **Тепловое расширение** – свойство металла увеличивать свои размеры при нагревании.
- Свойство характеризуется коэффициентом линейного расширения, показывающим, на какую долю первоначальной длины расширился материал при повышении температуры на 1°C .
- Это свойство необходимо обязательно учитывать при конструировании машин и приборов, при застывании литых деталей и охлаждении свариваемых конструкций.
- Например, в механизме газораспределения двигателя специально устанавливается тепловой зазор для компенсации расширения деталей при нагревании.
- В тоже время эту способность металлов используют при прессовой посадке нагорячую.

Химические свойства

	Li	K	Ca	Na	Mg	Al	Mn	Zn	Cr	Fe	Ni	Sn	Pb	(H ₂)	Cu	Hg	Ag	Pt	Au
Восстановительная способность металлов в свободном состоянии	Возрастает ←—————→																		
Взаимодействие с кислородом воздуха	Быстро окисляются при обычной температуре		Медленно окисляются при обычной температуре или при нагревании														Не окисляются		
Взаимодействие с водой	При обычной температуре выделяется H ₂ и образуется гидроксид		При нагревании выделяется H ₂ и образуются оксиды												H ₂ из воды не вытесняют				
Взаимодействие с кислотами	Вытесняют водород из разбавленных кислот (кроме HNO ₃)														Не вытесняют водород из разбавленных кислот				
															Реагируют с конц. и разб. HNO ₃ и с конц. H ₂ SO ₄ при нагревании		С кислотами не реагируют, растворяются в „царской водке“		
Нахождение в природе	Только в соединениях										В соединениях и в свободном виде					Главн. образом в свободн. виде			
Способы получения	Электролиз расплавов					Восстановление углем, оксидом углерода (II), алюминиотермия; электролиз водных растворов солей													
Окислительная способность ионов металлов	Li ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cr ³⁺	Fe ²⁺	Ni ²⁺	Sn ²⁺	Pb ²⁺	(H) ⁺	Cu ²⁺	Hg ²⁺	Ag ⁺	Pt ²⁺	Au ³⁺
	Возрастает —————→																		

Виды коррозии

1. По характеру изменения поверхности металла различают:
 - общую (сплошную),
 - местную,
 - избирательную коррозию.
2. **Коррозия под напряжением, или коррозионное растрескивание**, возникает в конструкциях при воздействии рабочих напряжений.
3. **Химическая коррозия** – процесс разрушения материалов под воздействием жидкостей-неэлектролитов и газовой высокотемпературной среды.
4. **Электрохимическая коррозия** возникает при контакте металлов с электролитами, чаще всего во влажной среде через электродные реакции.

1. Химический состав. Он определяет фазовый состав, структуру и свойства материалов.
2. **Коррозионная стойкость** - устойчивость материала к воздействию внешней агрессивной среды: атмосферного воздуха, влаги, морской воды и др.
3. **Жаростойкость (окалиностойкость)** - способность сопротивляться химическому разрушению (окислению) в газовых средах при температуре выше 550⁰ С.

Для повышения окалиностойкости стали легируют элементами, которые изменяют состав и строение окалины, образуя тонкие защитные пленки.

Химические свойства

Электрохимическая коррозия развивается в жидких электролитах – водных растворах щелочей, солей, кислот, морской и речной воде, влажных атмосфере и почве. Возникающий электрический ток из-за электрохимического взаимодействия с электролитом растворяет металл. Высокая электропроводность металла и электролита определяет интенсивность коррозии. Мелкокристаллический металл корродирует быстрее.

В зависимости от условий электрохимическая коррозия может быть атмосферной, морской, почвенной, кислотной, щелочной, а также контактной, межкристаллитной, точечной и сплошной. Коррозионное разрушение в вершине трещины приводит под нагрузкой к резкому снижению предела выносливости, растрескиванию.

Коррозия блуждающими токами опасна для труб в почве, оболочек подземных кабелей, рельсов и других деталей пути, железнодорожных опор контактной сети, устройств автоматики, связи и др.

Наибольшую коррозию вызывает постоянный ток, переменный ток менее опасен. Защитные покрытия не обеспечивают защиту; радиус действия блуждающих токов доходит до десятков километров от токонесущих рельсовых путей на электрифицированных железных дорогах.

Основные методы защиты от коррозии

Применение защитных покрытий

1. Металлические изделия покрывают другими Me
2. Металлические изделия покрывают лаками, красками и эмалями.

Приготовление сплавов, стойких к коррозии

Части машин, инструменты и предметы быта изготавливают из нержавеющей стали и других сплавов, стойких к коррозии

Электрохимические методы защиты

1. Применение заклепок, изготовленных из более активных Me
2. Прикрепление пластинок из более активного Me для защиты основного металлического изделия
3. Нейтрализация тока, возникающего при коррозии, постоянным током, пропускаемым в противоположном направлении

Изменение состава среды

Добавление ингибиторов

Защита металлов от коррозии

Меры борьбы с коррозией:

1. Снижение содержания примесей в металлах.
2. Легирование сплавов элементами, которые связывают металл в фазы.
3. Нанесение защитных покрытий.

Металлизация – покрытие поверхности детали слоем металла (сплава) для придания ей особых физических, химических и механических свойств для защиты от коррозии, износа, эрозии или декоративных целей.

Защитные покрытия – это пленки. Они могут быть металлическими, оксидными, полимерными, битумными, лакокрасочными, бетонными.

Металлические пленки – это механическая (катодное покрытие) или электрохимическая (анодное покрытие) защита.

Лакокрасочные покрытия служат для механической защиты металла пленкой из лаков и красок.

Битумные покрытия – применяют для труб диаметром до 800 мм и при температуре транспортируемых материалов до 40 °С.

Полимерные покрытия получают наклеиванием полимерной пленки, напылением порошкообразного полимера на поверхность металлопластов. Такие покрытия представляют собой липкие изоляционные полиэтиленовые (полихлорвиниловые) ленты, которые наматывают на трубопроводы.

Механические свойства

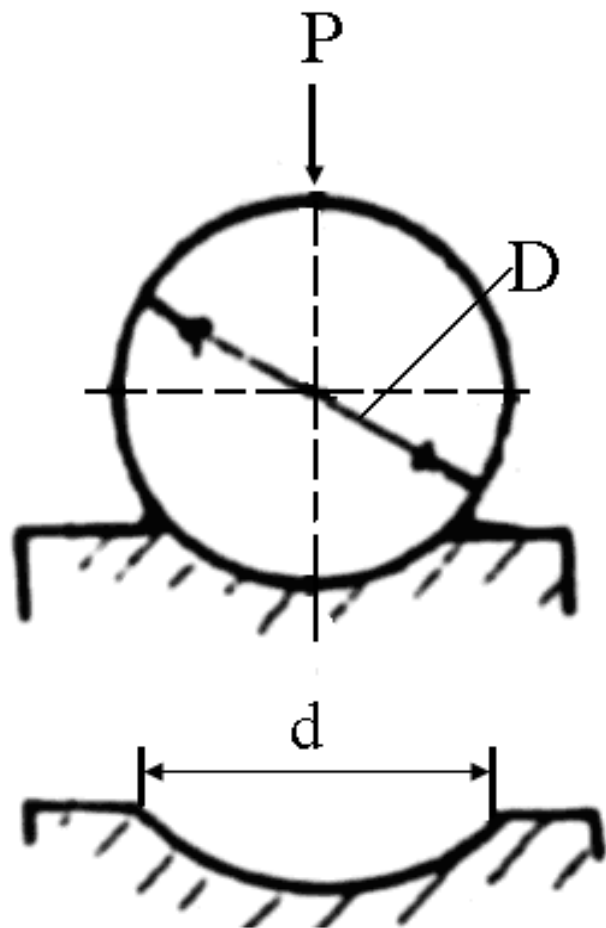
Механические свойства металлов определяют их способность сопротивляться действию внешних механических сил.

- **прочность** — способность металла оказывать сопротивление действию внешних сил, не разрушаясь;
- **упругость** — свойство металла восстанавливать свою форму после прекращения действия внешних сил, вызвавших изменение формы (деформацию);
- **пластичность** — свойство металла деформироваться без разрушения под действием внешних сил и сохранять измененную форму после прекращения действия сил. Пластичность — свойство, обратное упругости;
- **твердость** — способность металла оказывать сопротивление проникновению в него более твердого тела;
- **вязкость** — способность металла оказывать сопротивление ударным нагрузкам. Вязкость — свойство, противоположное хрупкости;
- **износостойкость** — сопротивление металла изнашиванию вследствие процессов трения. Износ определяется по изменению размеров или массы деталей.

Механические свойства

- Для определения механических свойств металлов проводят статические испытания на растяжение, сжатие, изгиб и кручение, динамические испытания на ударную вязкость, а также испытания на усталость, ползучесть, длительную прочность и твердость.
- Наиболее распространенными методами определения механических свойств металлов являются испытания на твердость (вдавливанием индентора в образец и измерением отпечатка) на специальных приборах, называемых твердомерами. Существуют также способы царапания, упругого отскока, ультразвуковых колебаний.

Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012–59)



Сущность метода: в образец вдавливают стальной шарик под действием нагрузки, по диаметру отпечатка d после снятия нагрузки судят о твердости.

Диаметр шарика может быть:
1; 2; 2,5; 5; 10 мм.

Твердость по Бринеллю обозначается HB.
Например, 185 HB, Н/мм² (кгс/мм²).

Этот метод применяют для стали с твердостью менее 450 HB, а для цветных сплавов – более 200 HB.

Измерения твердости по Бринеллю

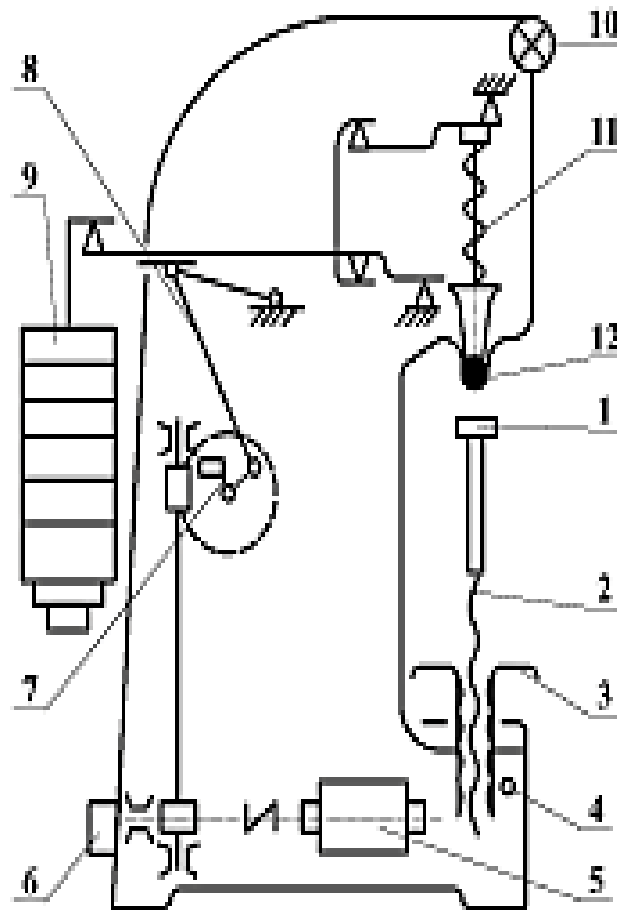


Схема прибора:

1 – станина; 2 – подъемный винт; 3 – макет;
4 – пусковая кнопка; 5 – электродвигатель;
6 – магнитный пускатель; 7 – подвижный упор;
8 – шатун; 9 – грузы; 10 – стальная лапка;
11 – пружина; 12 – оправка с шариком
(индентор)



Индентор – стальной закаленный шарик
диаметром D , равным 10, 5 или 2,5 мм;

Нагрузка – от $2,5 D^2$ до $30 D^2$ (кгс);

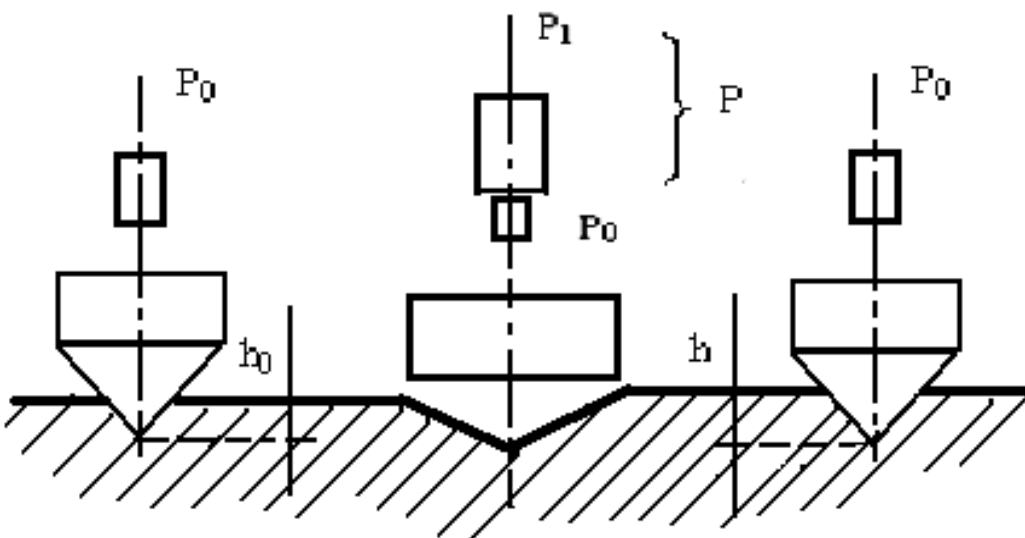
Время выдержки под нагрузкой – 10, 30 или 60
секунд

Число твердости по Бринеллю (НВ) – отношение
нагрузки к площади поверхности сферического
отпечатка

Твердость по Роквеллу (ГОСТ 9013–59)

Сущность метода состоит во вдавливании наконечника с алмазным конусом с углом у вершины 120° (шкалы А и С) или со стальным шариком диаметром 1,5875 мм (шкала В). Образец последовательно приложенных предварительной P_0 и основной P_1 нагрузок.

После снятия основной нагрузки P_1 прибор на шкале показывает число твердости по Роквеллу HR.

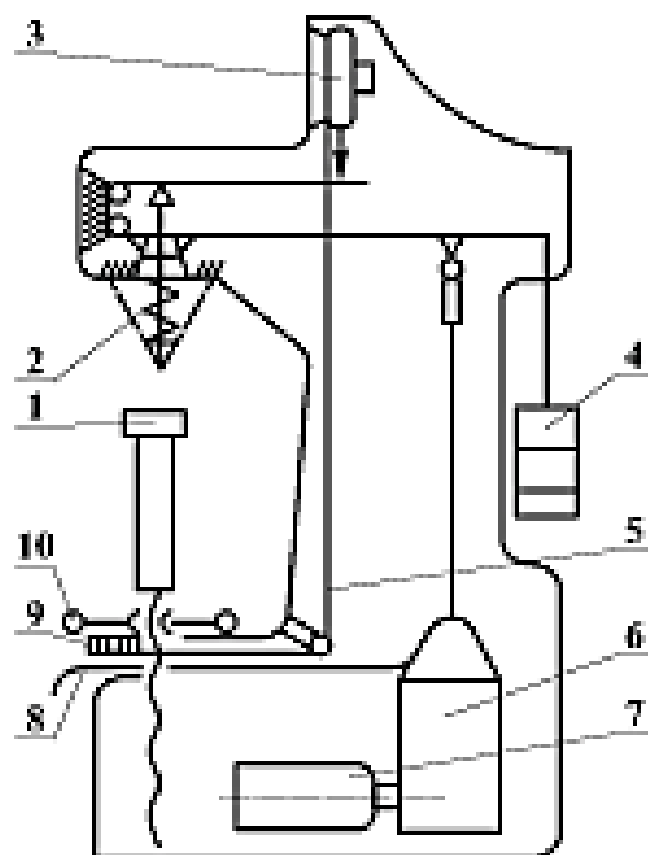


Твердость обозначают символом HR с указанием шкалы твердости, а впереди ставят значение твердости из трех значащих цифр, например: 61,5 HRC₉ – твердость по Роквеллу 61,5 единиц по шкале С. Твердость по шкале А означают HRA, по шкале В – HRB (для шкал А и В значение твердости состоит из 2 значащих цифр).

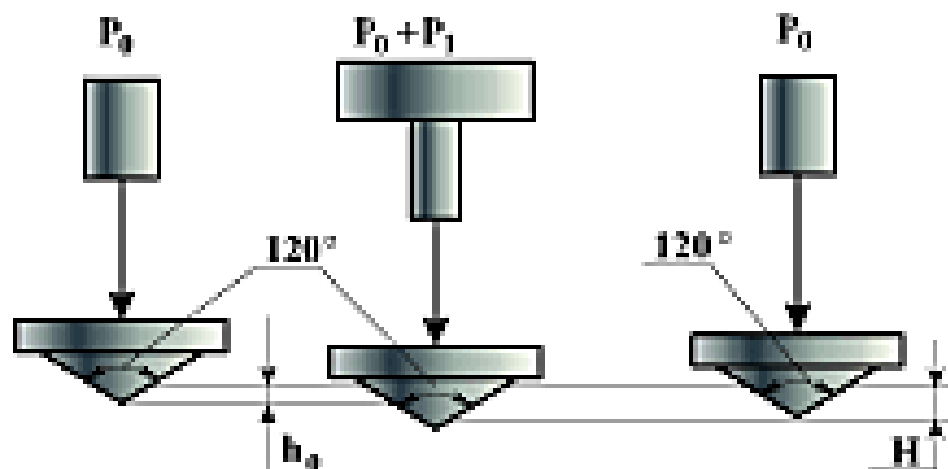
Твердость по Роквеллу – безразмерная величина.

По шкале С измеряют твердость высокую (более 450 HB); шкала А используется для определения твердости тонких (0,5–1,0 мм.) поверхностных слоев и очень твердых материалов; шкала В – для мягких материалов (менее 400 HB).

Измерения твердости по Роквеллу



1 – стол; 2 – наконечник (индентор); 3 – индикатор; 4 – грузы; 5 – трос; 6 – редуктор; 7 – привод; 8 – клавиша; 9 – барабан; 10 – маховик



Индентор – алмазный конус с углом 120° при вершине или стальной шарик диаметром 1,588 мм

P_0 – предварительная нагрузка (10 кг);

P_1 – основная нагрузка

Единица твердости по Роквеллу (HR) – безразмерная величина, соответствующая осевому перемещению индентора на 0,002 мм

Обозначение твердости	Индентор (наконечник)	Шкала индикатора	Полная нагрузка, кг
HRC HRA	алмазный конус	C A	150 60
HRB	стальной шарик	B	100



вагонных колёс



осей подвижного состава

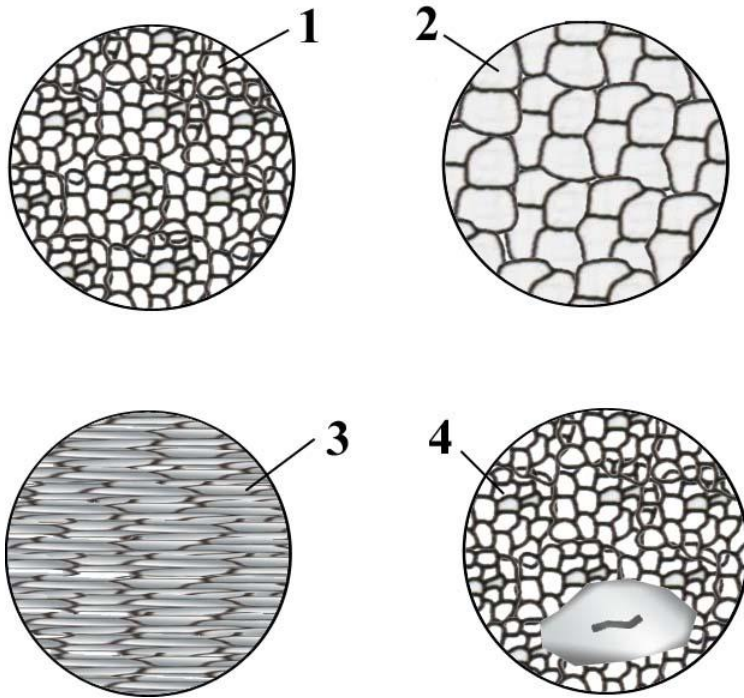
Испытание на усталость. Рессоры, шейки осей локомотивов и вагонов, пальцы кривошипов, коленчатые валы двигателей и другие детали испытывают нагрузки, изменяющиеся по величине и направлению. Испытания на усталость (выносливость) металла производятся обычно на машинах, обеспечивающих знакопеременный изгиб, попеременное сжатие и растяжение, кручение или повторную ударную нагрузку.

Технологические свойства

- Технологические свойства – обрабатываемость резанием, ковкость, свариваемость, штамповка, прокаливаемость и закаливаемость, а также коррозионная стойкость, стойкость к облучению.
- В то же время часто требуется комплекс разных свойств для обеспечения работоспособности в условиях эксплуатации.
- Так, для материала камеры сгорания двигателя тепловоза необходимы жаропрочность и жаростойкость, теплопроводность и коррозионная стойкость.
- Результаты испытания в лабораторных условиях и в эксплуатации – на подвижном составе, в пути и т.д. позволяют правильно выбирать материал и его обработку для повышения надёжности и долговечности детали.

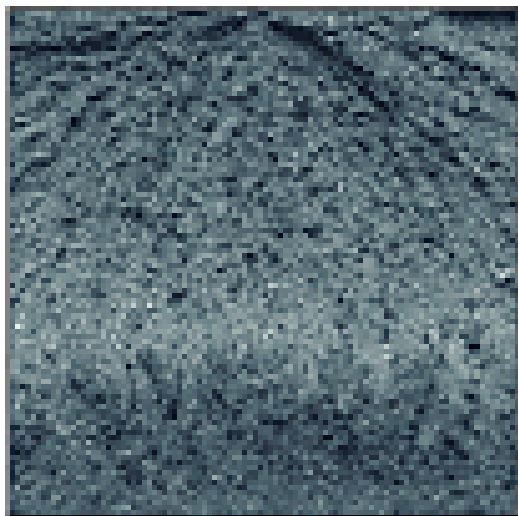
Простейшим способом выявления структуры материала является исследование излома:

ВИДЫ ИЗЛОМОВ



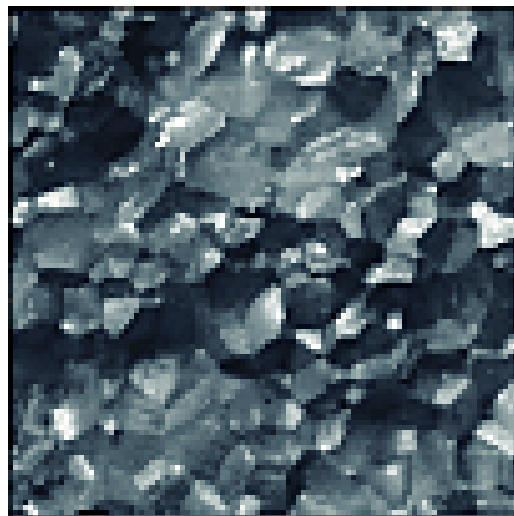
- **хрупкий** – структура излома зернистая, чем мельче зерно, тем материал прочнее (рис.1,2);
- **вязкий (пластичный)** – структура волокнистая, чем длиннее волокно, тем мягче материал (рис.3);
- **усталостный** – там где зародилась микротрещина, кромки детали, соприкасаясь зашлифовывают друг друга, образуется светлое пятно . В зоне окончательного разрушения структура зернистая или волокнистая (рис.4).

Исследование излома металлов



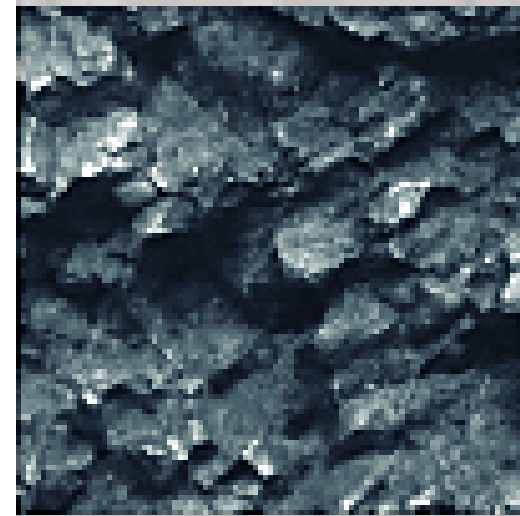
X5

Вязкий разрыв



X5

*Двумернокристаллитный хрупкий
разрыв*



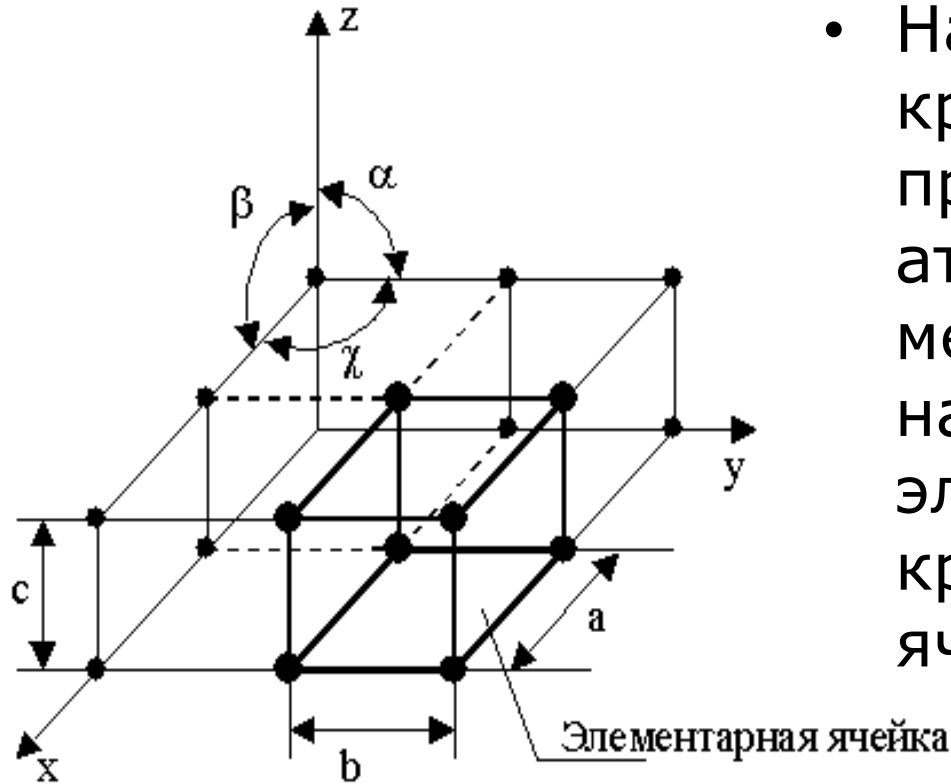
X5

*Транскристаллитный хрупкий
разрыв*

Основы кристаллизации металлов

- Различают аморфное и кристаллическое строение тел. В аморфных телах атомы расположены в пространстве хаотически, в кристаллических — закономерно.
- Металлы — тела кристаллические. Кристаллическое строение металлов можно представить себе в виде пространственной решетки, в узлах которой расположены атомы (точнее, ионы, так как свободные электроны металлов, перемещаясь от одного атома к другому, образуют как бы «электронный газ»).

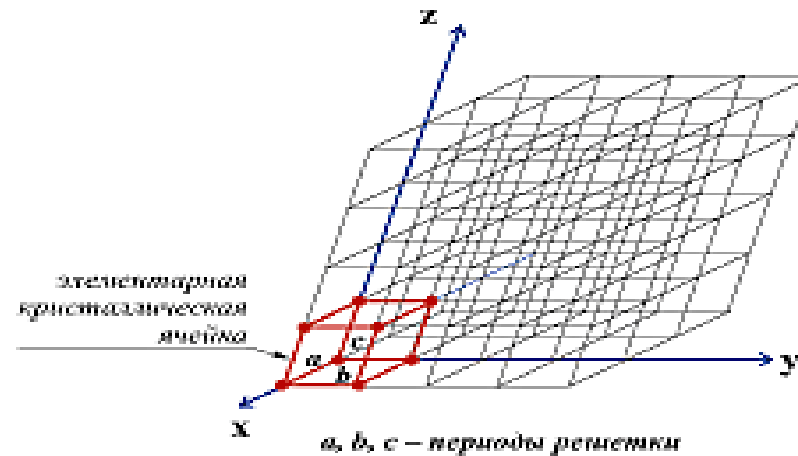
Элементарная кристаллическая решетка



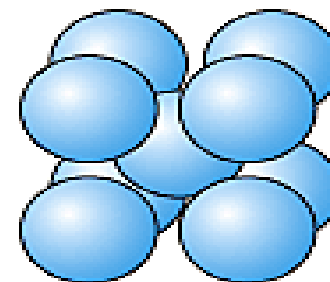
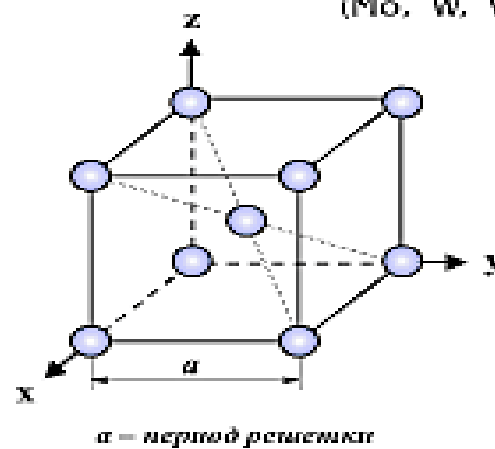
- Наименьший объем кристалла, дающий представление об атомной структуре металла в любом объеме, называется элементарной кристаллической ячейкой.
- Каждый металл имеет определенный тип кристаллической ячейки.

Кристаллические решетки металлов

Схема кристаллической решетки

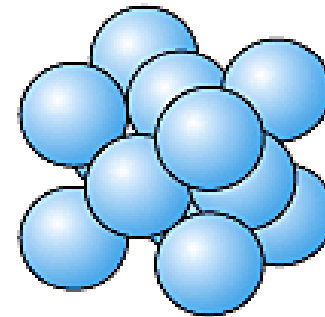
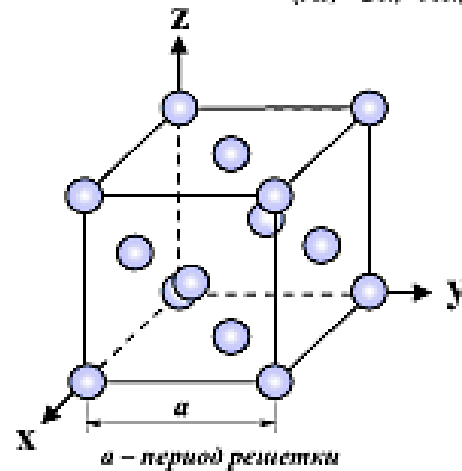


Решетка объемноцентрированная кубическая (ОЦК) (Mo, W, V, Fe_α)

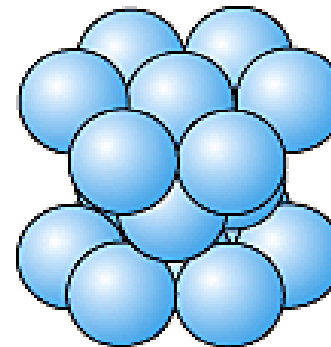
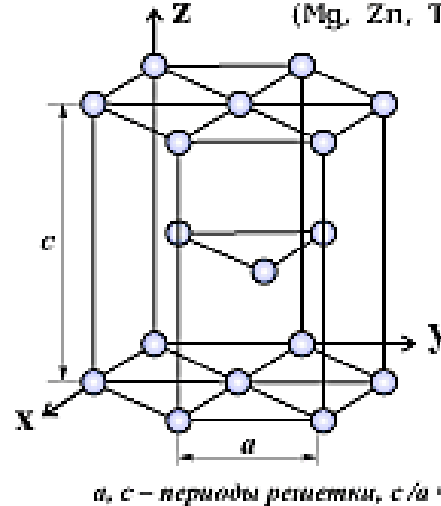


Кристаллические решетки металлов

Решетка гранецентрированная кубическая (ГЦК)
(Al, Cu, Au, Ag, Fe γ)



Решетка гексагональная плотноупакованная (ГПУ)
(Mg, Zn, Ti α , Cd)



Кристаллизация

Любое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях:

- твердом,
- жидком,
- газообразном.
- **Кристаллизация** – это процесс образования участков кристаллической решетки в жидкой фазе и рост кристаллов из образовавшихся центров.
- Кристаллизация металлов состоит из 2-х этапов: первичной и вторичной.

- **Первичная кристаллизация** – это переход металла из жидкого в твердое состояние.
- Этим процессом можно управлять, чтобы получить материал с нужными свойствами.

Кривая охлаждения чистого металла

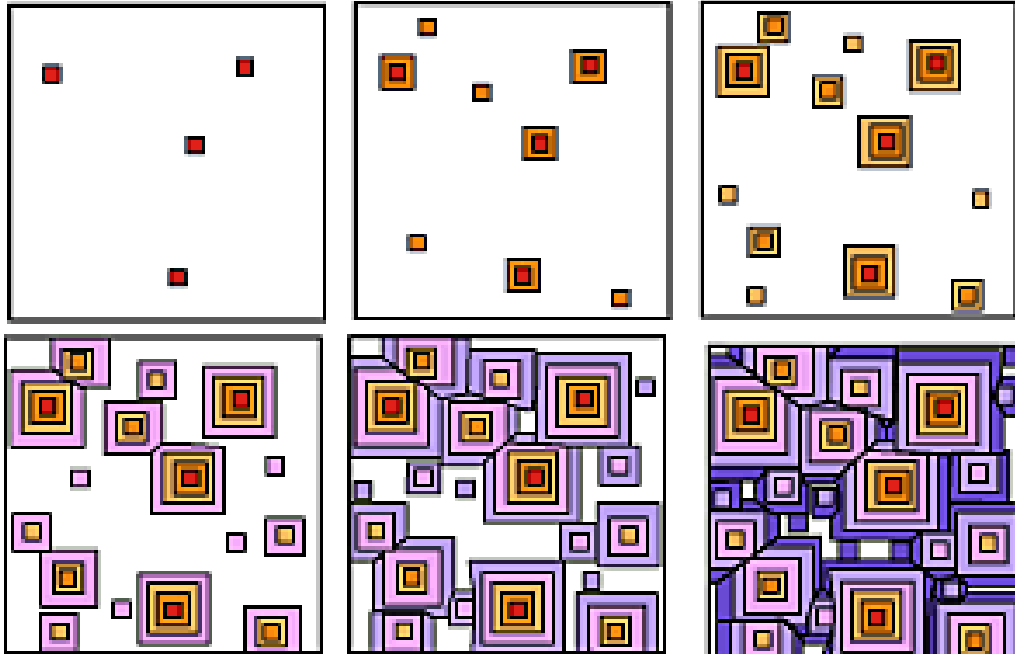


$T_{\text{теор}}$ – теоретическая температура кристаллизации;

$T_{\text{кр}}$ – фактическая температура кристаллизации;

ΔT – степень переохлаждения.

Процесс кристаллизации



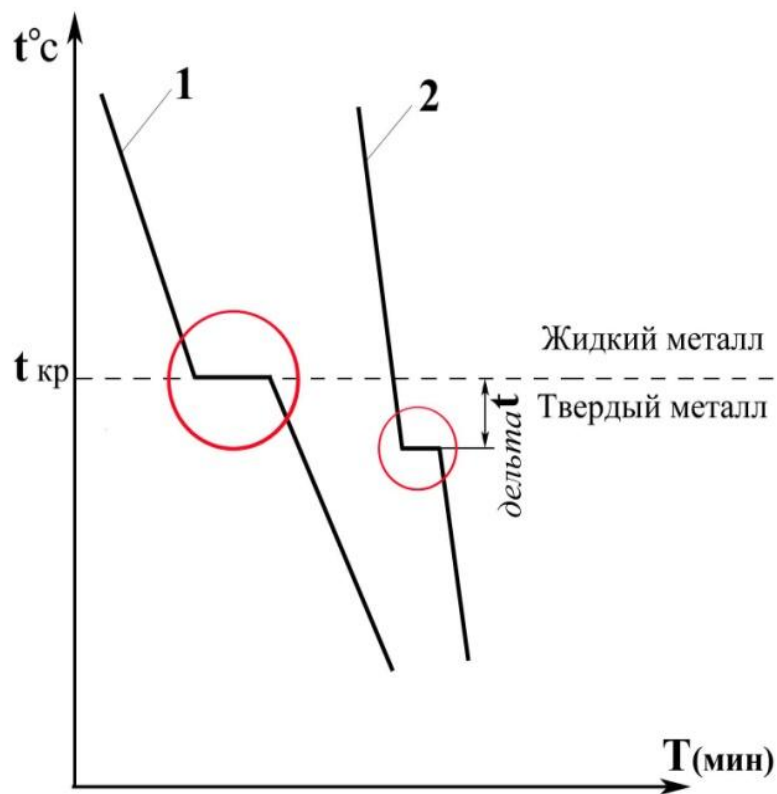
Процесс кристаллизации состоит из 2-х стадий:

- зарождения центров,
- роста кристаллов вокруг этих центров.

Центры кристаллизации образуются независимо друг от друга в случайных местах. Сначала каждый кристаллик в жидкости растет свободно, сохраняя правильную форму, но постепенно увеличиваясь, кристаллы начинают соприкасаться друг с другом, и правильная форма нарушается.

После окончания кристаллизации имеем поликристаллическое тело.

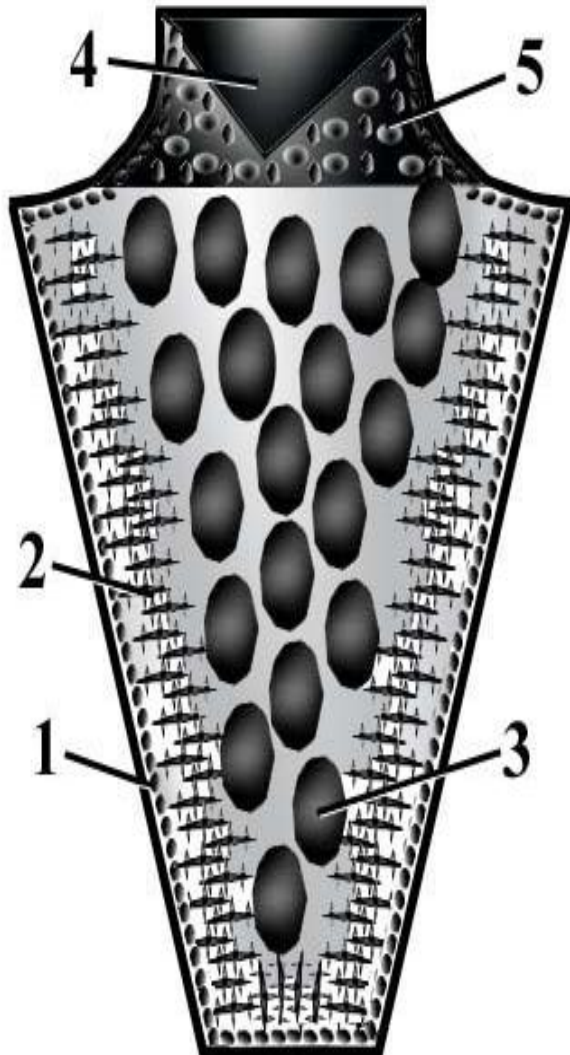
- Если металл охлаждать медленно, кристаллизация наступает вовремя, центров образуется мало, зерна вырастают большими, материал получается хрупким.
- При быстром охлаждении процесс кристаллизации запаздывает и протекает очень быстро, центров образуется много, зерно получается мелким, а материал прочным.



- Чем больше степень переохлаждения (ΔT), тем больше центров и тем мельче зёрна, что имеет практическое значение.
- Можно искусственно измельчить зерно при медленном охлаждении путем введения в основной металл более тугоплавкого металла, который начнет кристаллизоваться раньше и служить искусственными центрами.

Структура металлического слитка

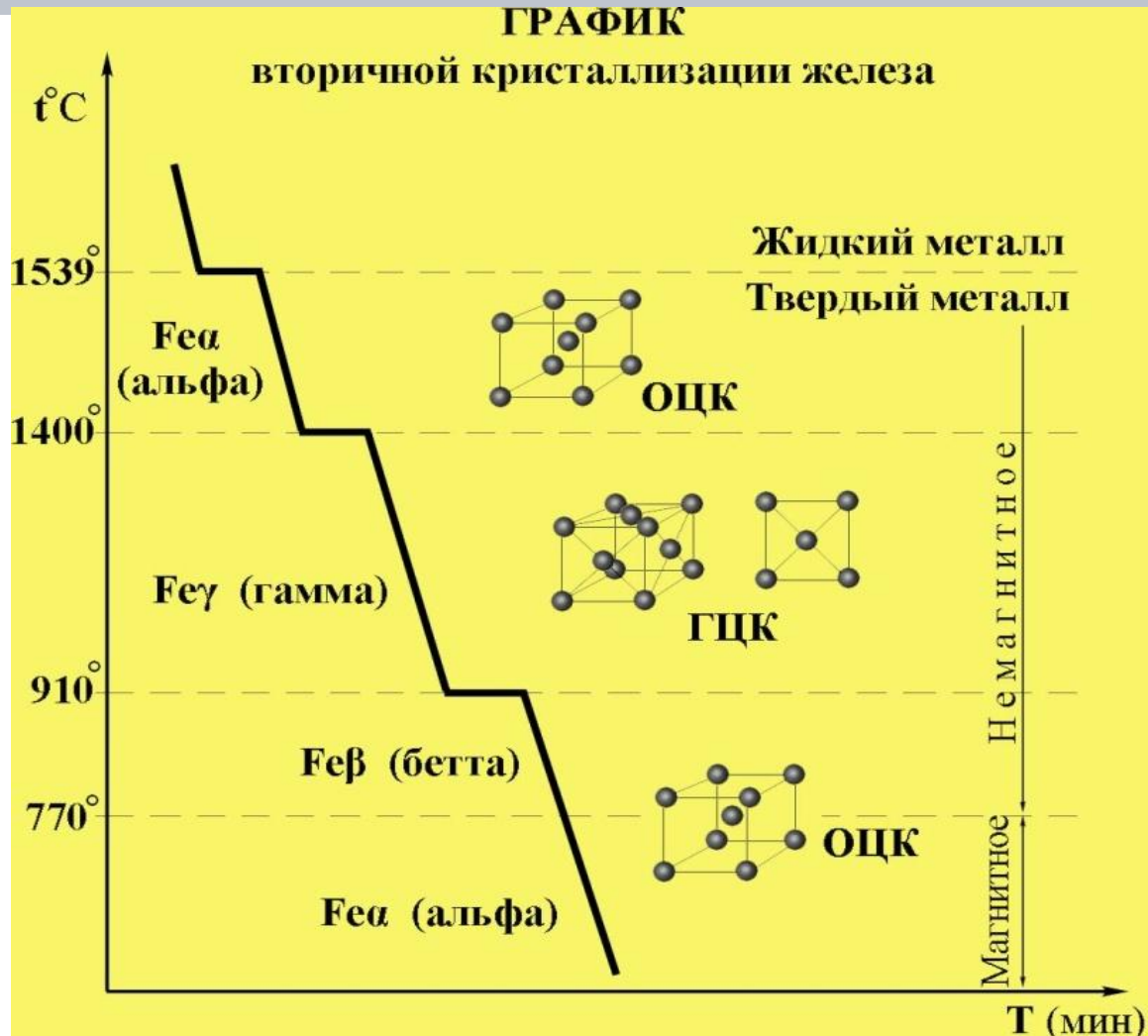
Результаты кристаллизации - на примере получения стального слитка.



Зоны:

- 1 - мелкие зерна в большом количестве, образовавшиеся у поверхности слитка в результате очень быстрого охлаждения;
- 2 - крупные древовидные кристаллы (дендриты), вытянутые в направлении отвода тепла;
- 3 - различно ориентированные крупные зерна;
- 4 - усадочная раковина;
- 5 - зона усадочной рыхлости.

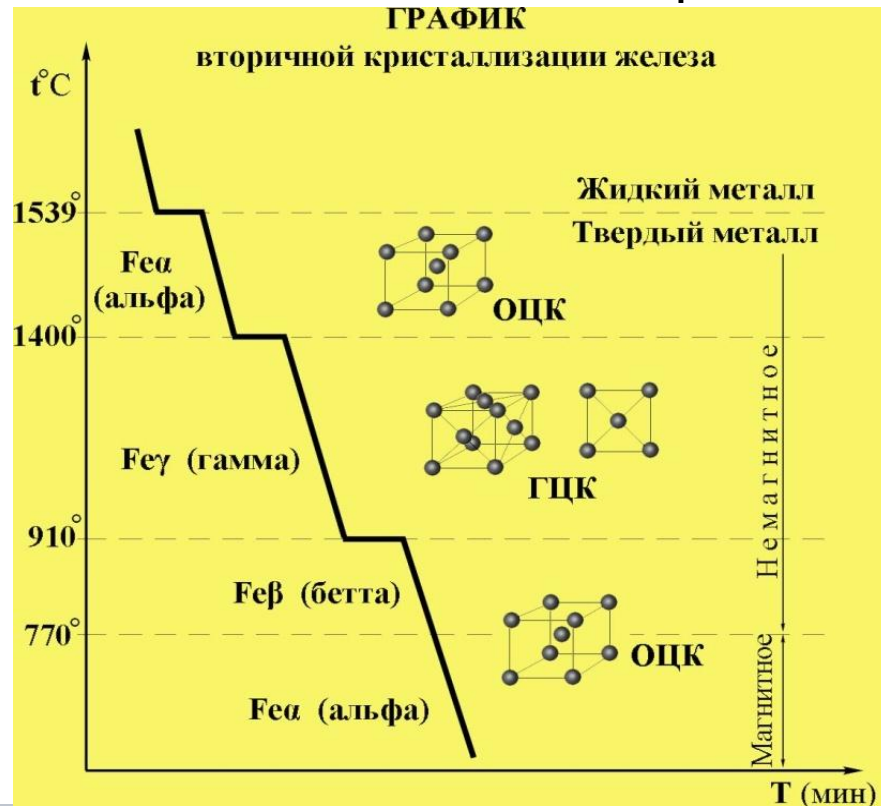
Вторичная кристаллизация



Некоторые металлы, например железо в твердом состоянии при изменении температуры могут менять свою кристаллическую решетку, а значит и свойства. Способность металла находиться в различных кристаллических формах называется аллотропией.

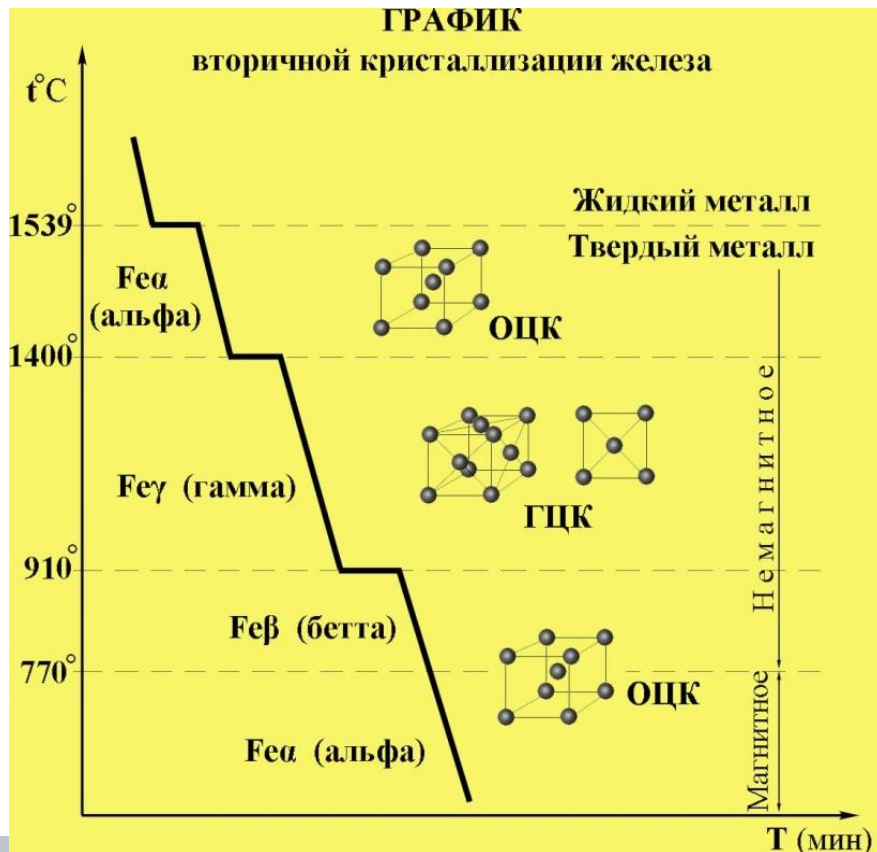
При обычной температуре железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку (ОЦК-атомы располагаются по одному в каждой вершине куба); его называют α -железом.

Решетку ОЦК железо сохраняет при нагревании до 910°C , хотя, начиная с температуры 770°C , оно становится немагнитным. Немагнитное железо с решеткой ОЦК называют β -железом.



При температуре 910°C происходит первое изменение решетки железа: в результате перегруппировки атомов образуется решетка гране-центрированная кубическая (ГЦК – атомы по одному в каждой вершине и в центре каждой грани). Железо с такой решеткой называют γ -железом.

Второе аллотропическое превращение происходит при температуре 1400°C — железо приобретает вновь ОЦК - решетку. При температуре 1539°C железо плавится. При охлаждении железа типы решеток изменяются в обратной последовательности.



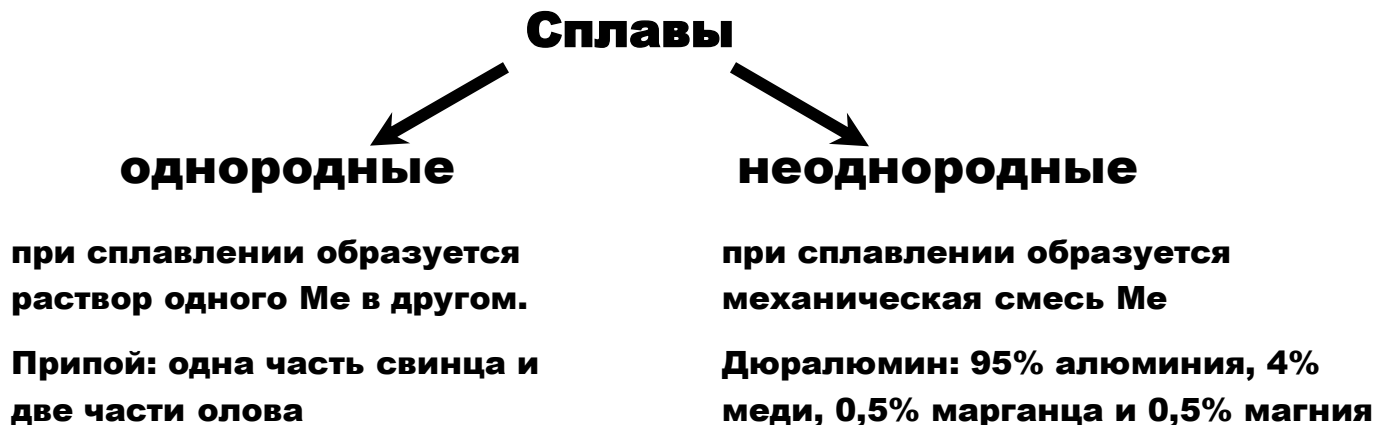
Основными модификациями железа являются α и γ . На $\alpha\gamma$ и $\gamma\alpha$ превращениях основаны процессы термической обработки стали. Модификации железа α и γ обладают различной способностью растворять углерод; γ - железо способно растворить почти в 100 раз больше углерода, чем α - железо.

Основы теории сплавов

Сплавы

Сплавы – это материалы с характерными свойствами, состоящие из двух или более компонентов, из которых по крайней мере один – металл.

Сплавы обладают такими свойствами, которые не имеют образующие их металлы. Получение сплавов основано на способности расплавленных М_е растворяться в друг друга. При охлаждении образуются сплавы с нужными свойствами: легкоплавкие, жаростойкие, кислотостойкие и т.д.



Металлическими сплавами называют вещества, образованные:

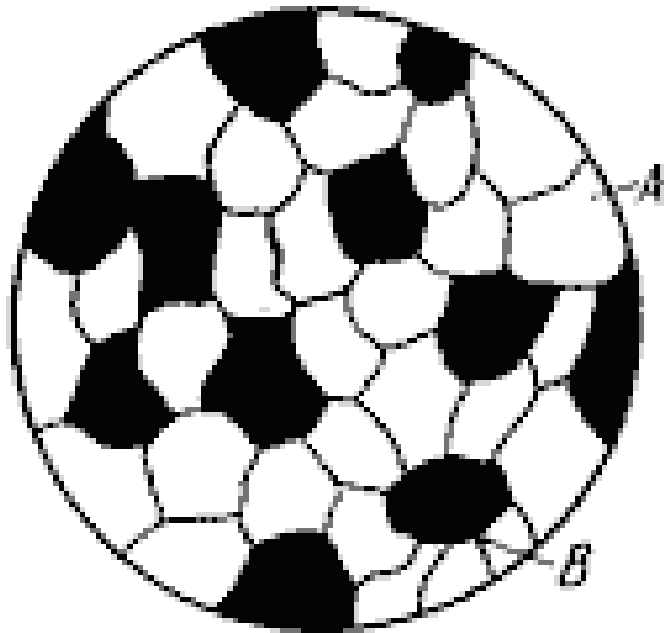
1. двумя или несколькими металлами,
2. металлами с неметаллическими элементами,
3. металлами и химическими соединениями, обладающими металлическими свойствами.

Получение сплавов:



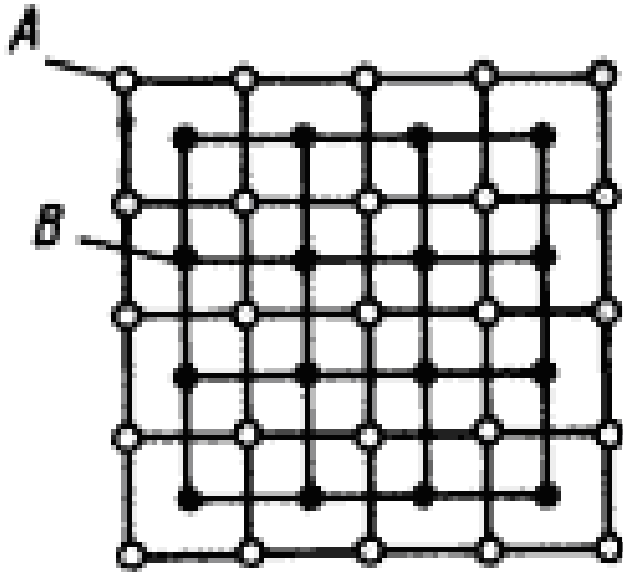
- Сплавлением, т.е. соединением компонентов сплавов в жидком состоянии;
- Спеканием, например, чтобы получить «победит» порошки карбидов вольфрама, титана и молибдена спекают в кобальте;
- Электролизом, т.е. под действием электрического тока;
- Диффузией.

- Однородная часть сплава с границами, обладающая специфическим составом, строением и свойствами, называется *фазой*.
- Строение металлического сплава зависит от того, в какие взаимодействия вступают компоненты, составляющие сплав. Почти все металлы в жидком состоянии растворяются друг в друге в любых соотношениях. При образовании сплавов в процессе их затвердевания возможно различное взаимодействие компонентов.
- В зависимости **от характера взаимодействия** компонентов различают сплавы:
 - механические смеси;
 - химические соединения;
 - твердые растворы.



- **Механические смеси** двух компонентов **A** и **B** образуются, когда компоненты не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения.
- При этих условиях сплав будет состоять из кристаллов **A** и **B**, отчётливо выявляемых на микроструктуре (рис.).
- Механические свойства зависят от количественного соотношения компонентов, размера и формы зёрен.

Сплавы **химические соединения**

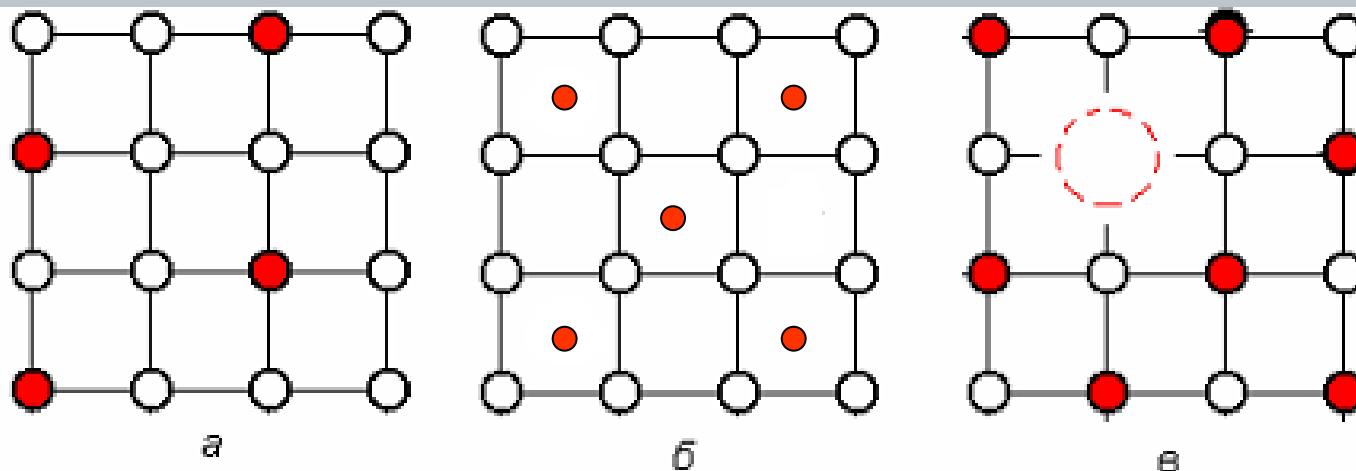


- Сплавы **химические соединения** образуются между элементами значительно различающимися по строению и свойствам, образуют новую, особую кристаллическую решётку (рис.).
- **Особенности химических сплавов:**
- Атомы в решётке располагаются упорядоченно.
- Большинство химических соединений имеют сложную кристаллическую структуру (рис.).
- В соединении сохраняется простое кратное соотношение компонентов.
- Свойства соединения резко отличаются от свойств образующих его компонентов.
- Температура плавления (диссоциации) постоянна.
- Образование химического соединения сопровождается значительным выделением тепла.

Сплавы ***твёрдые растворы***

- В жидком состоянии большинство металлических сплавов представляют собой однородные жидкости – жидкие растворы. Если при переходе в твёрдое состояние однородность и растворимость сохраняются, то такие сплавы называются ***твёрдыми растворами.***
- Для получения сплава твёрдого раствора необходимо выполнение главного условия: одно вещество (**Растворитель**) должно сохранить свою кристаллическую решётку, а второе – **Растворимое** – должно отдать свои атомы в решётку растворителя.

Типы твердых растворов



Замещение

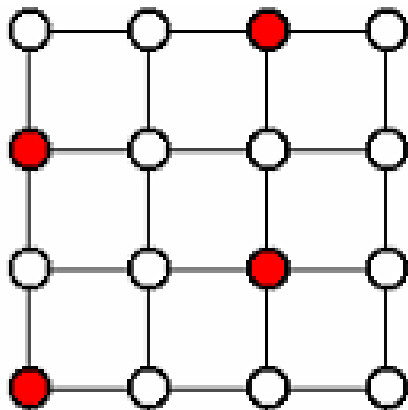
Внедрение

Вычитание

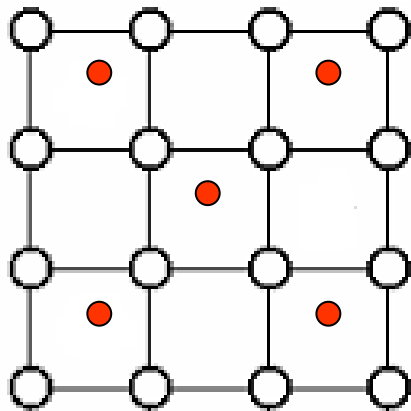
По характеру распределения атомов растворенного вещества в кристаллической решетке растворителя различают твердые растворы:

- замещения;
- внедрения;
- вычитания.

Твердые растворы замещения

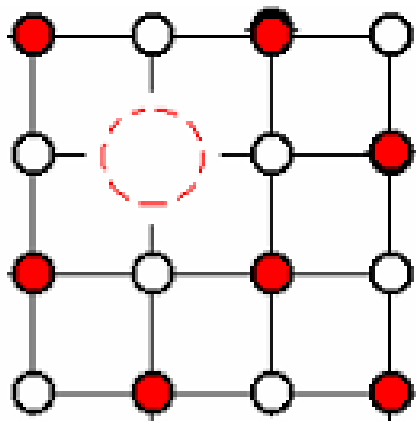


В растворах замещения в кристаллической решетке растворителя часть его атомов замещена атомами растворенного элемента



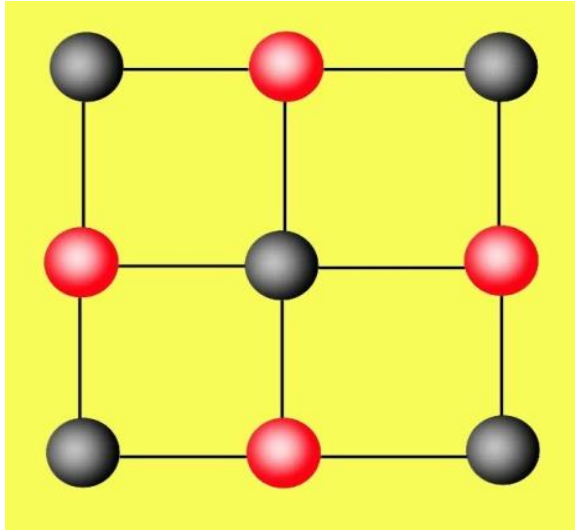
Твердые растворы внедрения образуются внедрением атомов растворенного компонента в поры кристаллической решетки растворителя.

Образование таких растворов, возможно, если атомы растворенного элемента имеют малые размеры (углерод, водород, азот, бор).

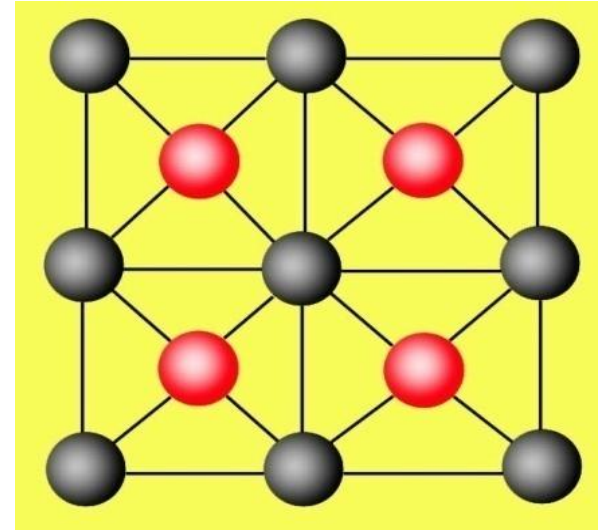


Твердые растворы вычитания или растворы с дефектной решеткой. образуются на базе химических соединений, при этом возможна не только замена одних атомов в узлах кристаллической решетки другими, но и образование пустых, не занятых атомами, узлов в решетке.

Основные типы твердых растворов



1

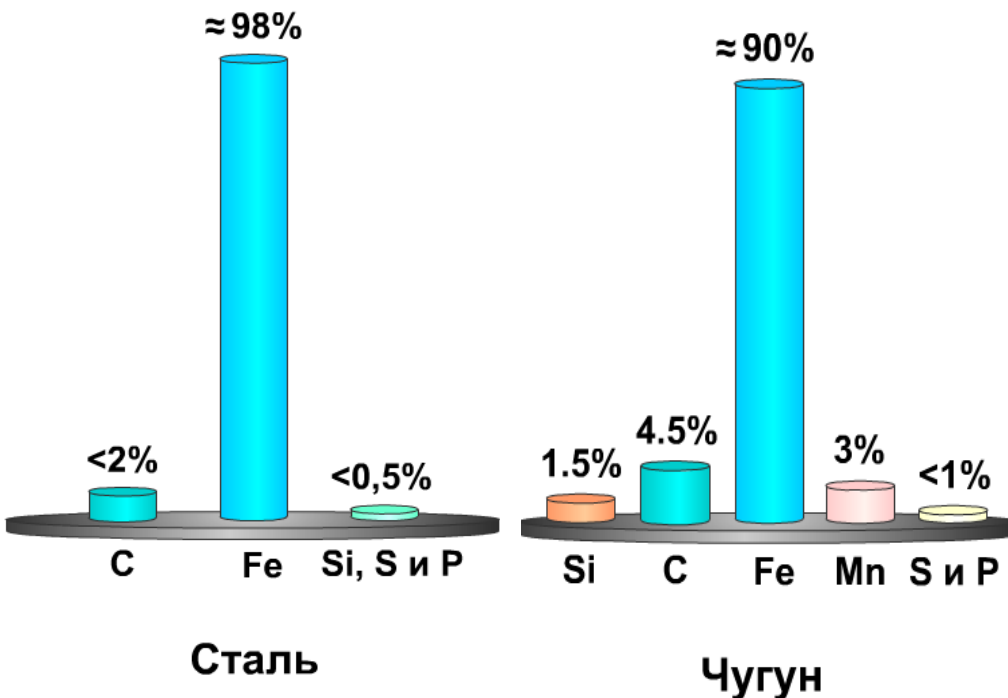


2

Сплавы железа с углеродом

В технике применяются не чистые металлы, а сплавы.

- Наиболее широкое распространение получили сплавы железа с углеродом.
 - При содержании углерода до 2,14% сплав называется сталь.
 - При содержании углерода более 2,14% до 7,6% сплав называется чугун.
 - Кроме железа и углерода в сталях и чугунах всегда присутствуют постоянные примеси, которые разделить на 2 группы: полезные и вредные.

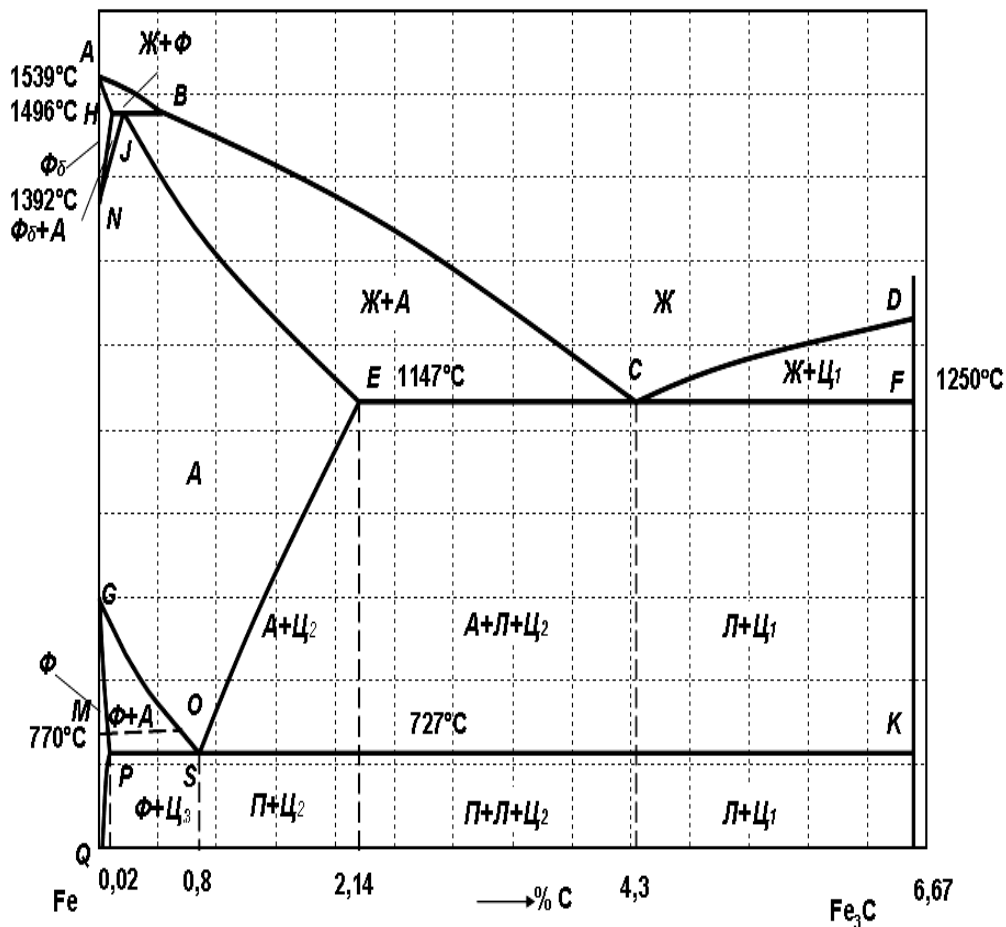


Классификация черных металлов



Особую группу черных металлов составляют ферросплавы – малоуглеродистые сплавы железа с высокой концентрацией других элементов: ферромарганец, ферросилиций, феррохром, ферроникель и другие. Ферросплавы применяются при выплавке специальных сталей.

Физико-химические свойства железа



Фазовое и структурное состояние сталей и чугунов описывает диаграмма железо - углерод. Один из компонентов системы – чистое железо, а второй – углерод в виде химического соединения Fe₃C (цементит) в метастабильной диаграмме Fe-Fe₃C или углерод в виде графита – в стабильной диаграмме Fe-C.

Железоуглеродистые сплавы

В зависимости от содержания углерода железоуглеродистые сплавы делят на две группы:

1. Стали: а) доэвтектоидные ($0,8 \% > C > 0,02 \%$);
б) эвтектоидные ($C \approx 0,8 \%$);
в) заэвтектоидные ($2,14 \% > C > 0,8 \%$);
2. Чугуны: а) доэвтектические ($4,3 \% > C > 2,14 \%$);
б) эвтектические ($C \approx 2,14 \%$);
в) заэвтектические ($6,67 \% > C > 4,3 \%$).

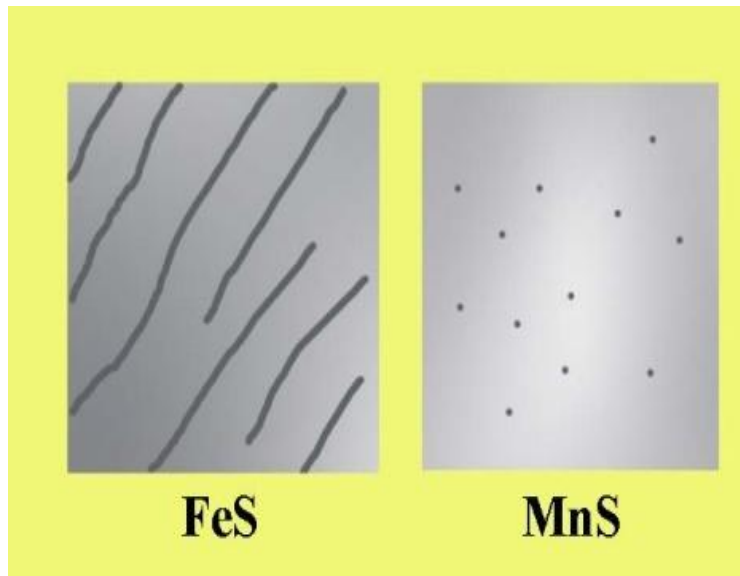
Полезные примеси



- Кремний (Si) – является раскислителем стали, а также улучшает ее жидкотекучесть и уменьшает усадку.
- Марганец (Mn) – является раскислителем и нейтрализует вредное влияние серы.

Вредные примеси

- **Сера (S)** – вызывает красноломкость стали, т.е. разрушение при высокой температуре.
- При наличии в стали серы образуются сульфиды железа, которые располагаются в виде нитей по границам зерен, резко снижая прочность. Кроме того, при 985° они плавятся.



- При введении марганца в сталь, он забирает серу у железа, образуя сульфиды марганца, которые располагаются отдельными вкраплениями, не влияющими на прочность, их температура плавления 1800° .

- **Фосфор (P)** сообщает стали хладноломкость, т. е. разрушение при низких температурах. Фосфор способствует росту зерна, что и делает сталь хрупкой. Удаляется флюсами при плавке.
- **Кислород (O_2)** – делает структуру стали пористой. Раскисление производится кремнием, марганцем и алюминием.



Центробежное электрошлаковое литьё. Залив расплава металла во вращающуюся форму.

Производство стали и чугуна

Общая схема получения железных сплавов

Руда

Концентрат, агломерат,
железорудные окатыши

Чугун

Сталь



Железнодорожный транспорт и транспортное машиностроение в значительных количествах применяют чугун в качестве конструкционного материала.

Однако главное назначение чугуна — получение из него стали.

Исходными материалами для получения чугуна являются :

- Железная руда
- Топливо
- Флюсы

Выплавляются чугуны в доменных печах.

Железные руды



Железные руды состоят из окислов железа и пустой породы.
В зависимости от природы окислов железа различают следующие железные руды:

- *магнитный железняк* содержит железа **до 72%**;
- *красный железняк* - **до 65%** железа;
- *бурый железняк* - содержание железа от 30 **до 50%**.



Перед плавкой руду обогащают, т.е. отделяют от пустой породы. Наиболее распространенный способ – магнитный.



Топливо, применяемое для выплавки чугуна, должно обладать высокой теплотой сгорания, малой зольностью и низким содержанием серы. Лучше всего этим требованиям удовлетворяет каменноугольный *КОКС*.

ТОПЛИВО

Важнейшим видом топлива для черной металлургии является **КОКС**, который является продуктом пиролиза углей и используется в доменном процессе.

Коксохимические производства совмещены с металлургическими предприятиями.

На коксохимических предприятиях производится дополнительная продукция: сырье для химического синтеза (около 50 веществ), взрывчатые вещества, удобрения, смазочные материалы, краски и многое другое.



Флюсы

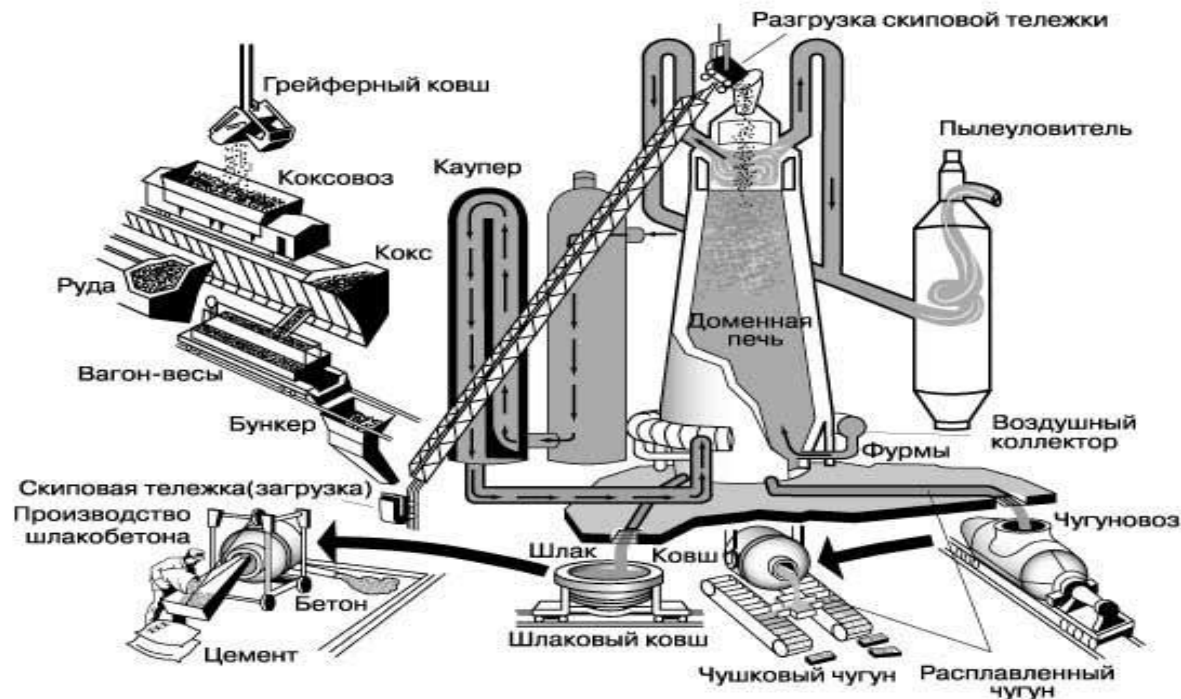


Флюсы
способствуют
расплавлению и
отделению пустой
породы и золы.

Обычно в качестве
флюсов применяют
известняк CaCO_3 .

Плавка чугуна

- Плавку чугуна производят в доменных печах, при этом получают чугуны двух видов:
- **Серый (литейный) чугун** – применяется для изготовления деталей машин (отливок) - содержание углерода от 2,2% до 3,7%.
- **Белый (передельный) чугун** – используется для производства стали.



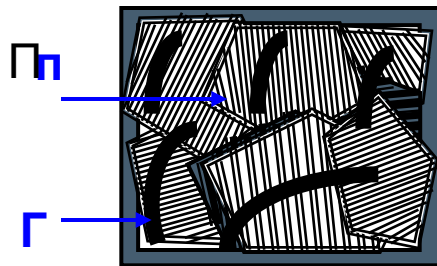
Чугуны

Белый чугун – название получил по матово-белому цвету излома;

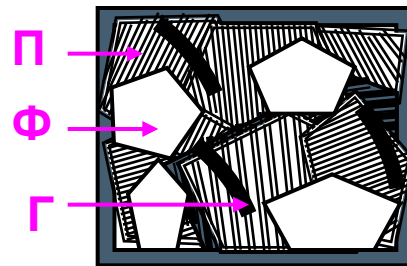
- структура в не нагретом состоянии: $\text{Ц} + \text{П}(\text{Ф} + \text{Г})$; т.е. весь углерод находится в форме цементита;
- свойства: высокая твердость и износостойкость, хрупкость, практически не поддается обработке режущим инструментом;
- марки: ИЧХ3, ИЧХ5, ИЧХ15... (износостойкий хромистый чугун с содержанием хрома 3%, 5%, 15% соответственно...);
- применение: детали, работающие в условиях интенсивного износа без ударных нагрузок (например, линейки направляющих, детали шаровых мельниц).

Серые чугуны

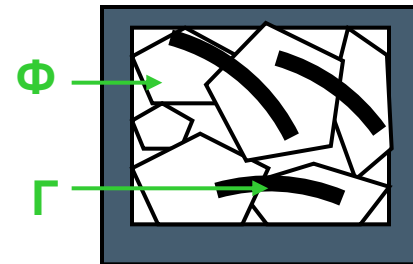
- Излом такого чугуна имеет серый цвет. Обладает хорошими литейными свойствами. В структуре присутствует графит, количество, форма и размеры которого изменяются в широких пределах. По строению металлической основы серые чугуны разделяют на: серый перлитный чугун (1) ; серый феррито-перлитный чугун (2); серый ферритный чугун (3). В **обычном сером чугуне** графит имеет пластинчатую форму (1 – 3).



1



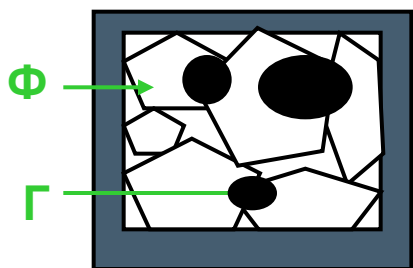
2



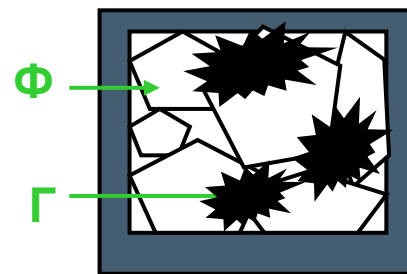
3

Серые чугуны

- В **высокопрочном сером чугуне** графит находится в форме шаровидного графита, который принимает такую форму благодаря присадке магния или церия (модификаторов) (1). В **ковком сером чугуне** углерод находится в форме хлопьевидного графита (углерода отжига)(2), который образуется в процессе отжига белого чугуна.



1



2

Марки серых чугунов

Вид чугуна	Примеры маркировки	Свойства	Применение
Обычный серый	СЧ12-28 СЧ18-36	$\sigma_B = 12 \text{ кгс/мм}^2 = 120 \text{ МПа}$ $\sigma_{\text{и}} = 28 \text{ кгс/мм}^2 = 280 \text{ МПа}$ $\sigma_B = 18 \text{ кгс/мм}^2; \sigma_{\text{и}} = 36 \text{ кгс/мм}^2$	Станины; корпуса редукторов; тракторные отливки, поршневые кольца и др.
Высокопрочный чугун	ВЧ50-1,5 ВЧ45-5	$\sigma_B = 50 \text{ кгс/мм}^2 = 500 \text{ МПа}$ $\delta\% = 1,5\%$ $\sigma_B = 45 \text{ кгс/мм}^2; \delta\% = 5\%$	Коленчатые валы; арматура тоннелей метро; канализационные трубы; и др.
Ковкий чугун	КЧ35-10 КЧ45-6	$\sigma_B = 35 \text{ кгс/мм}^2 = 350 \text{ МПа}$ $\delta\% = 10\%$ $\sigma_B = 45 \text{ кгс/мм}^2; \delta\% = 6\%$	Литые детали машин, не испытывающие значительных растягивающих и ударных нагрузок.

σ_B - предел прочности при растяжении; $\delta\%$ - относительное удлинение после разрыва; $\sigma_{\text{и}}$ — предел прочности при изгибе.

Способы производства стали



Основной способ производства стали – это получение ее из чугуна путем выжигания лишнего углерода.

Это можно сделать несколькими методами:

I. Конвертерный

- Бессемеровский
- Кислородно-конвертерный

II. Мартеновский

III. Плавка в электропечах

Устройство конвертера



Устройство конвертера

Бессемеровский и томасовский конвертеры представляют собой сосуд грушевидной формы, выполненный из стального листа с футеровкой изнутри. Футеровка бессемеровского конвертера кислая (динасовый кирпич), томасовского - основная (смолодоломит). Сверху в суживающейся части конвертера - горловине - имеется отверстие, служащее для заливки чугуна и выпуска стали. Дутье, подаваемое в воздушную коробку, поступает в полость конвертера через фурмы (сквозные отверстия), имеющиеся в футеровке днища. Дутьем служит воздух, подаваемый под давлением 0,30-0,35 МПа. Цилиндрическая часть конвертера охвачена опорным кольцом; к нему крепятся цапфы, на которых конвертер поворачивается вокруг горизонтальной оси. Стойкость днища бессемеровского конвертера составляет 15-25 плавов, после чего их заменяют. Стойкость остальной футеровки выше: у томасовского конвертера 250-400 плавов, у бессемеровского 1300-2000 плавов.

Бессемеровский

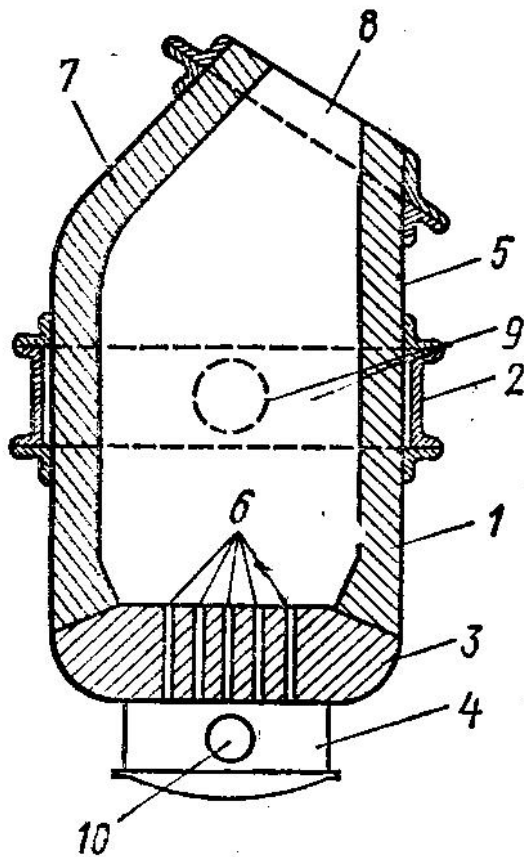
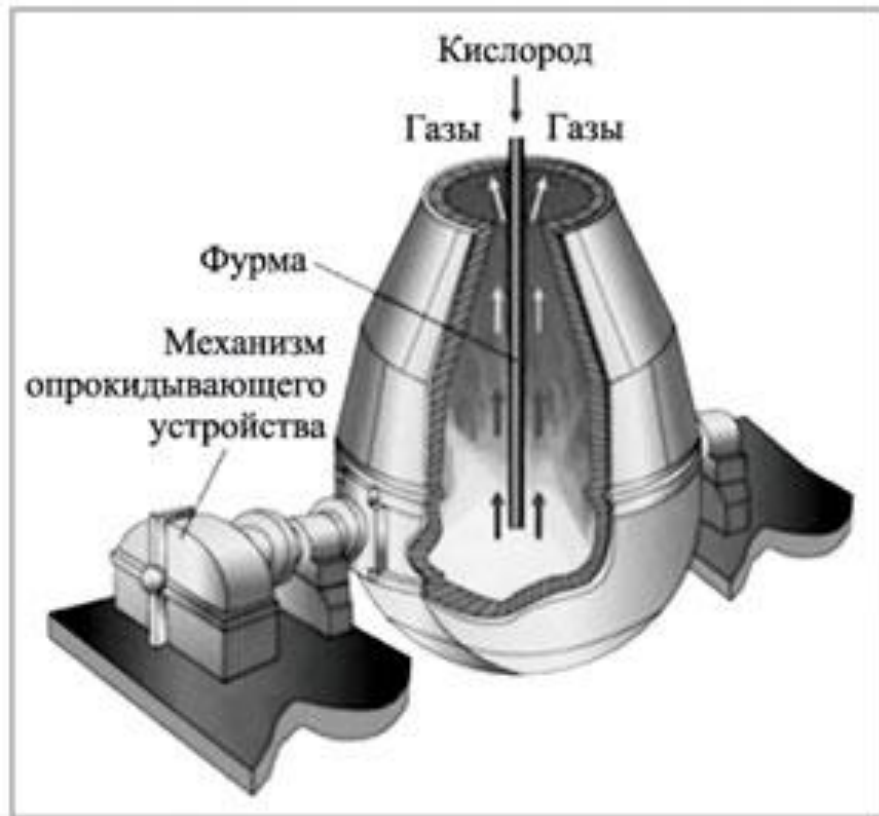


Схема бессемеровского конвертора:
1 – корпус; 2 – опорный пояс; 3 – днище;
4 – воздушная коробка; 5 – кожух; 6 –
сопла; 7 – «спина»; 8 – горловина; 9 –
пустотелая цапфа; 10 – воздушный
патрубок.

- Расплавленный чугун заливают в конвертор и продувают воздухом через жаростойкие трубы.
- Кислород воздуха выжигает из чугуна последовательно кремний, марганец и углерод.
- Способ простой, дешевый, но сталь низкого качества, т.к. имеет пористую структуру из-за пузырьков азота, попавшего с воздухом.
- Используется для горячей штамповки и горячего проката.

Кислородно-конвертерный процесс

В 1936 советский инженер Н. И. Мозговой впервые использовал для продувки чугуна в конвертере кислород, что коренным образом изменило технологию конвертерного производства. Металл, получаемый кислородно-конвертерным процессом, по качеству стал равноценным мартеновской стали, себестоимость снизилась на 25 %, производительность увеличилась на 30 %.



- Сталь выплавляется в конвертерах с продувкой жидкого чугуна сверху чистым кислородом.
- Получают сталь хорошего качества, но нет возможности удалить вредные примеси или ввести дополнительные компоненты, т.к. процесс протекает очень быстро.

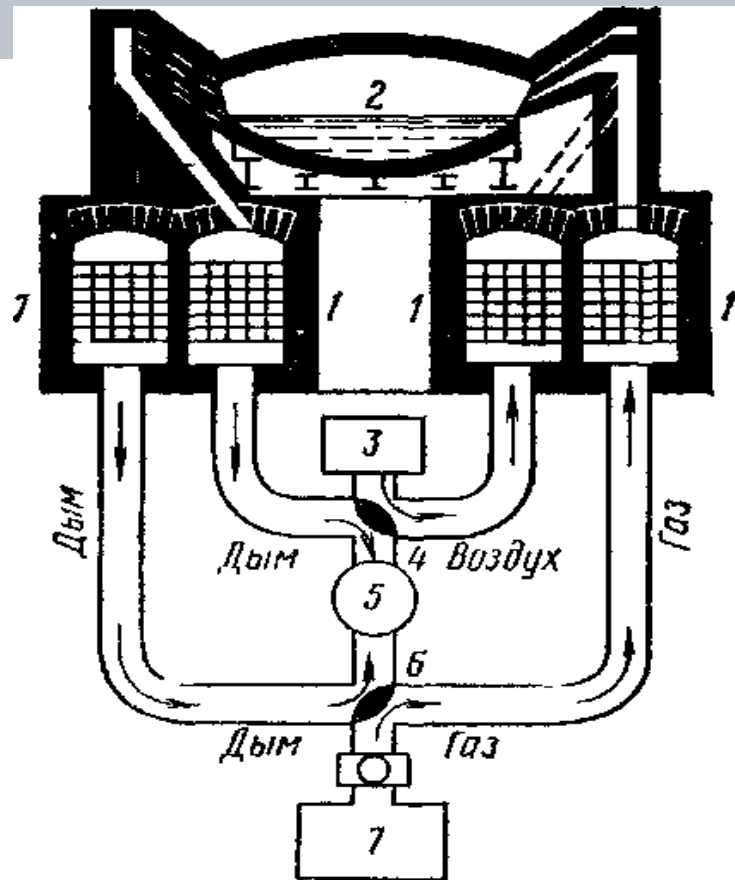


Схема мартеновской печи:

- 1 – регенератор; 2 - ванна печи;
- 3 – вентилятор, подающий воздух;
- 4,6 - перекидные клапаны; 5 - дымовая труба;
- 7 – газогенератор.

- Плавку производят в специальных отражательных печах как из жидкого чугуна, так и из стального и чугунного лома.
- Процесс длительный и есть возможность удалить все вредные примеси и ввести легирующие (дополнительные) компоненты для улучшения свойств стали.
- Получают сталь высокого качества.

Плавка в электропечах

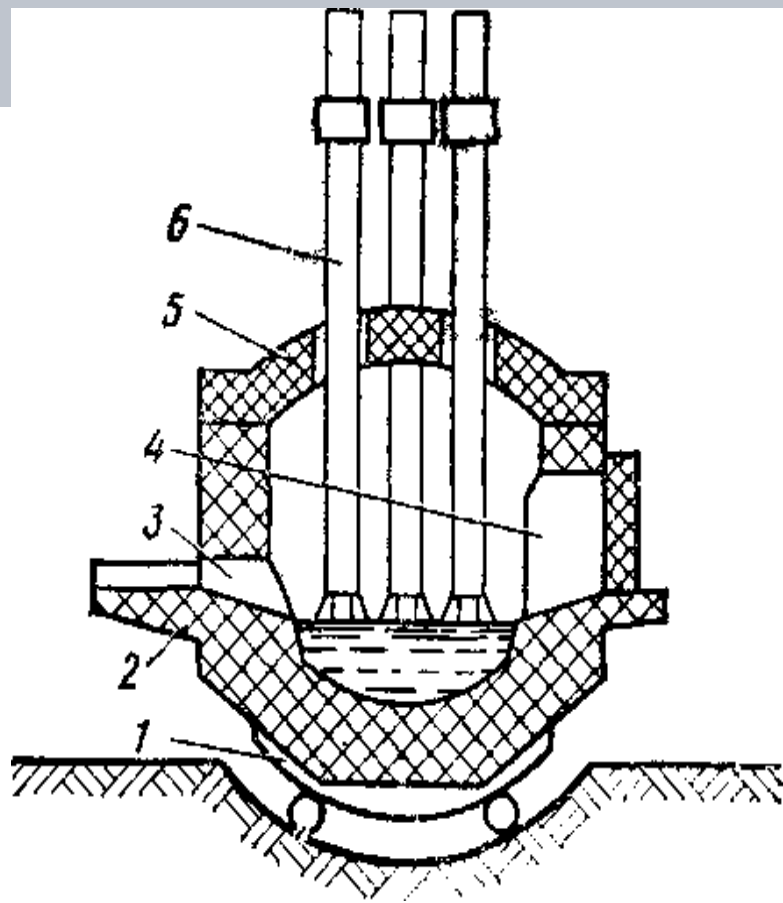


Схема дуговой электрической печи:

1 - поворотный механизм; 2 - желоб; 3 - выпускное отверстие; 4 - загрузочное окно; 5 - ствол печи; 6 - угольные или графитовые электроды.

- Плавка производится в индукционных и дуговых печах.
- Можно плавить в вакууме.
- В электропечах можно получить высокую температуру и восстановительную или нейтральную атмосферу, что очень важно при выплавке высоколегированных сталей.
- Сталь самого высокого качества, но и самая дорогая.
- Важнейшее достоинство – возможность строго регулировать химический состав стали.

Три способа переработки чугуна в сталь

