

# Материаловедение

**Материаловедение** – наука о связях между составом, строением и свойствами материалов и закономерностям их изменений при внешних физико-химических воздействиях.

Свойства технических материалов формируются в процессе их изготовления.

При одинаковом химическом составе, но разной технологии изготовления образуется разная структура, и вследствие – свойства.

**Цель материаловедения** – изучение закономерностей формирования структуры и свойств материалов методами их упрочнения для эффективного использования в технике.

**Основная задача материаловедения** – установить зависимость между составом, строением и свойствами, изучить термическую, химико-термическую обработку и другие способы упрочнения, сформировать знания о свойствах основных разновидностей материалов.

Материаловедение как научная дисциплина численно оперирует показателями свойств материала (временное сопротивление разрушению, прочность на сжатие, твёрдость и т.п.).

Показатели свойств, химический состав в материаловедении связываются с особенностями строения материала.

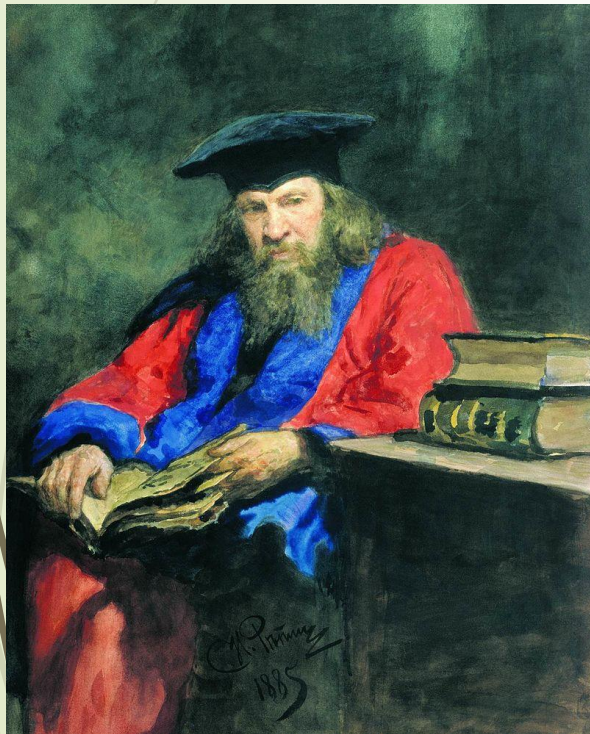
Различают:

- Макростроение (выявляется визуально);
- Микростроение (выявляется при увеличении, достигаемом оптическими системами);
- Субмикростроение (выявляется с помощью рентгеновских и электронных лучей).

# «Почётная» десятка людей и событий

4

## 1. Менделеев Д.И. и его периодическая таблица элементов (1864 г.)



Группа- ↓Период	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
Лантаноиды	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Актиноиды	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

# «Почётная» десятка людей и событий

5

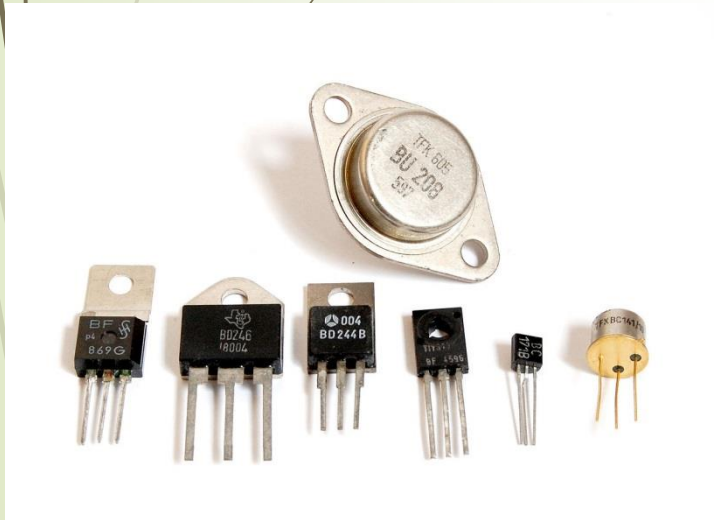
2. Египтяне, придумавшие плавить железо за 3500 лет до н.э., тем самым «подарившие нам секрет обработки главного на сегодня металлургического материала.



# «Почётная» десятка людей и событий

6

3. Джон Бардин, Уильям Шокли, Уолтер Браттейн – создание транзистора (1948 год – начало микроэлектроники и компьютерных технологий).



# «Почётная» десятка людей и событий

7

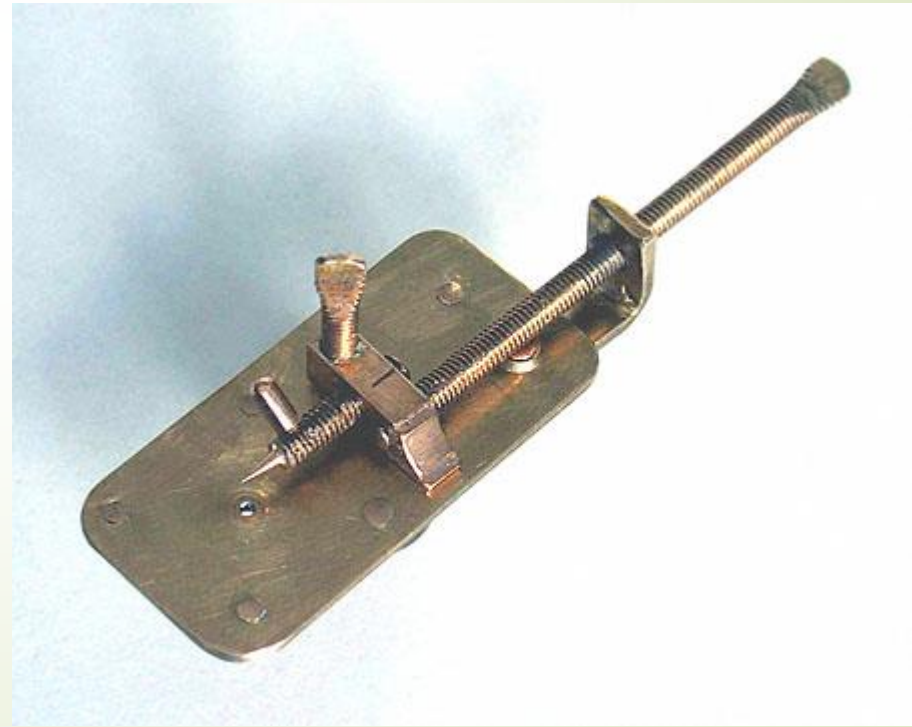
4. Жители Северо-Западного Ирана, изготовившие первое стекло – второй после керамики неметаллический материал цивилизованного мира (2200 лет до н.э.).



# «Почётная» десятка людей и событий

8

5. **Антони ван Левенгук** – разработка в конце XVII века оптического микроскопа с 200-кратным увеличением – начало исследования микроструктур

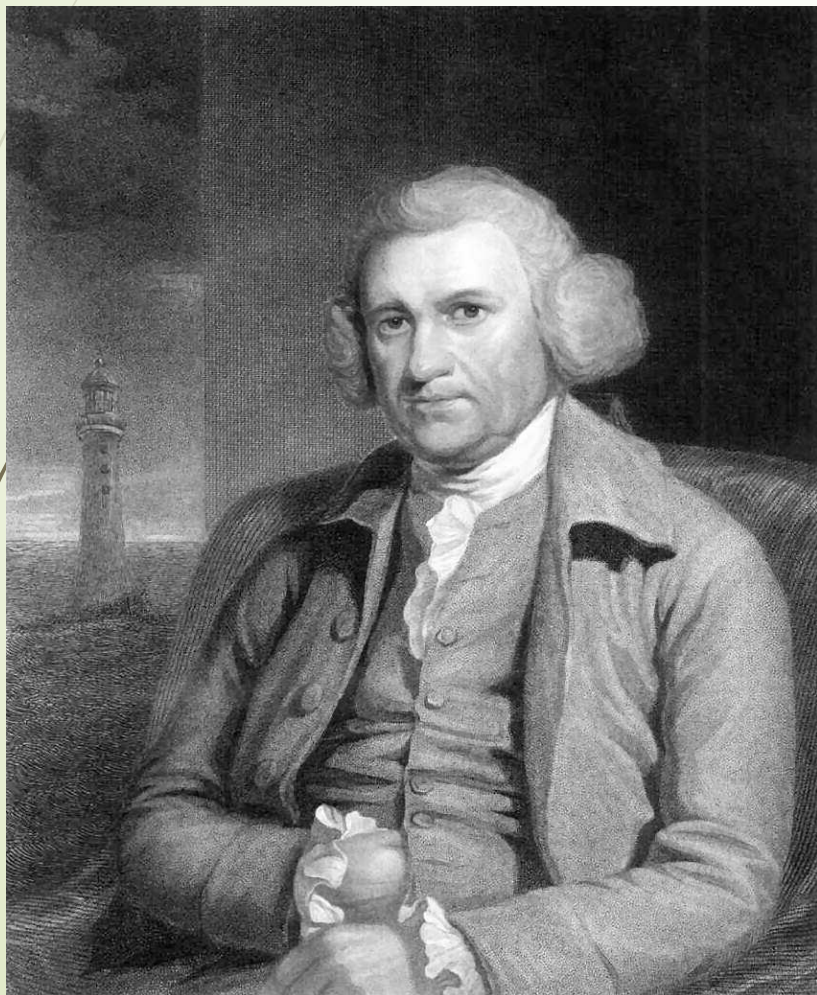




# «Почётная» десятка людей и событий

9

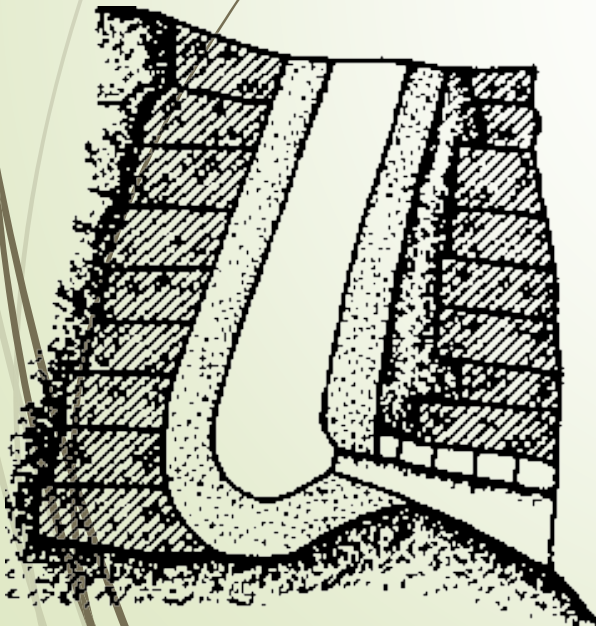
6. **Джон Смитон** – изобретение в 1775 году бетона – главного строительного материала.



# «Почётная» десятка людей и событий

10

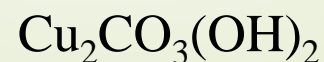
7. **Индийские металлурги** – за 300 лет до н.э. придумали способ плавления стали в вагранках (врытых в землю керамических сосудах). При этом была получена та самая сталь, которую спустя столетия назову «дамасской» и секрет получения которой останется загадкой для многих поколений кузнецов и металлургов.



# «Почётная» десятка людей и событий

11

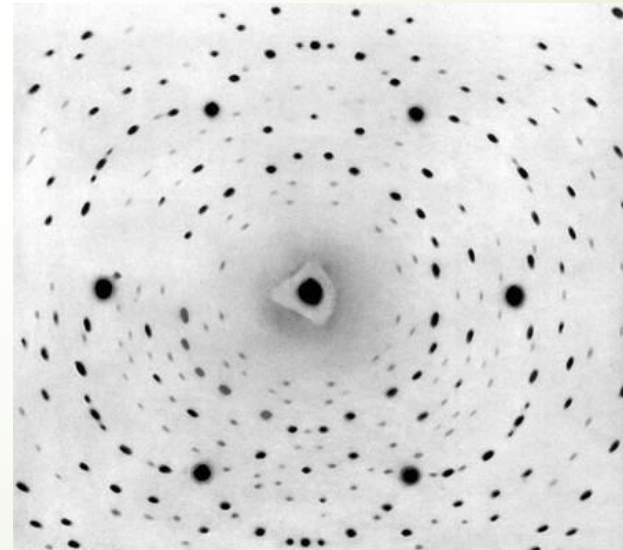
**8. Малая Азия** – за 5000 лет до н.э. было обнаружено, что из малахита можно добывать медь и, что расплавленный металл может приобретать самые разнообразные формы (начало металлургии и освоения минералов).



# «Почётная» десятка людей и событий

12

9. Макс фон Лауэ - 1912 год открытие дифракции рентгеновских лучей в кристаллах, что положило начало изучению кристаллических структур. Впоследствии Ю.В. Вульф и Уильям Генри Брэгг вывели основную формулу рентгеноструктурного анализа.

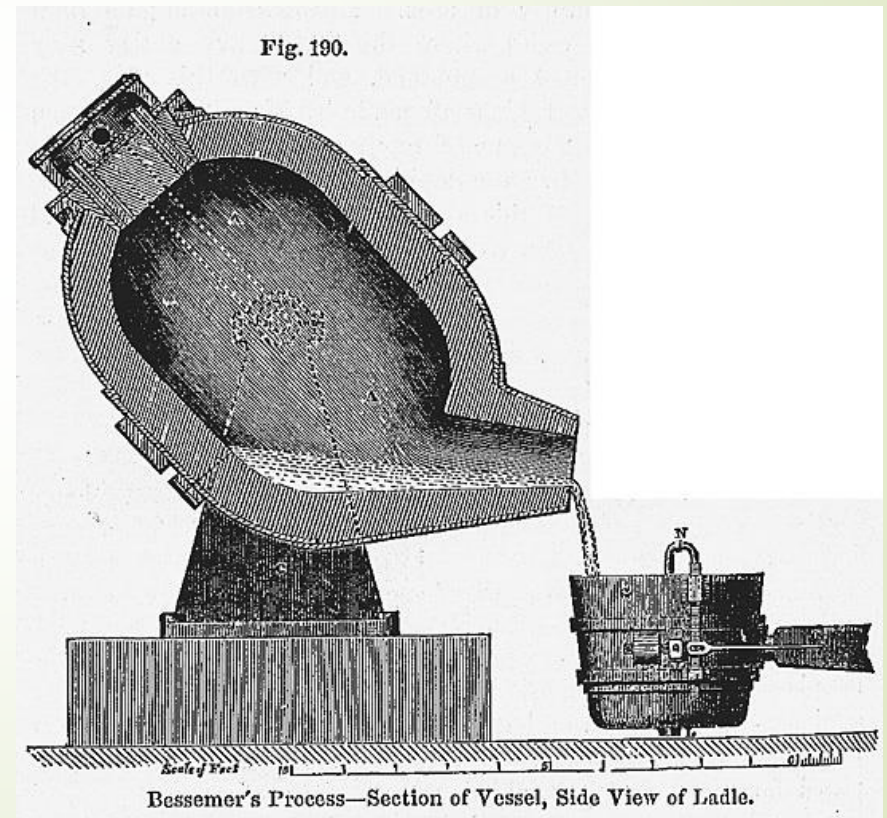
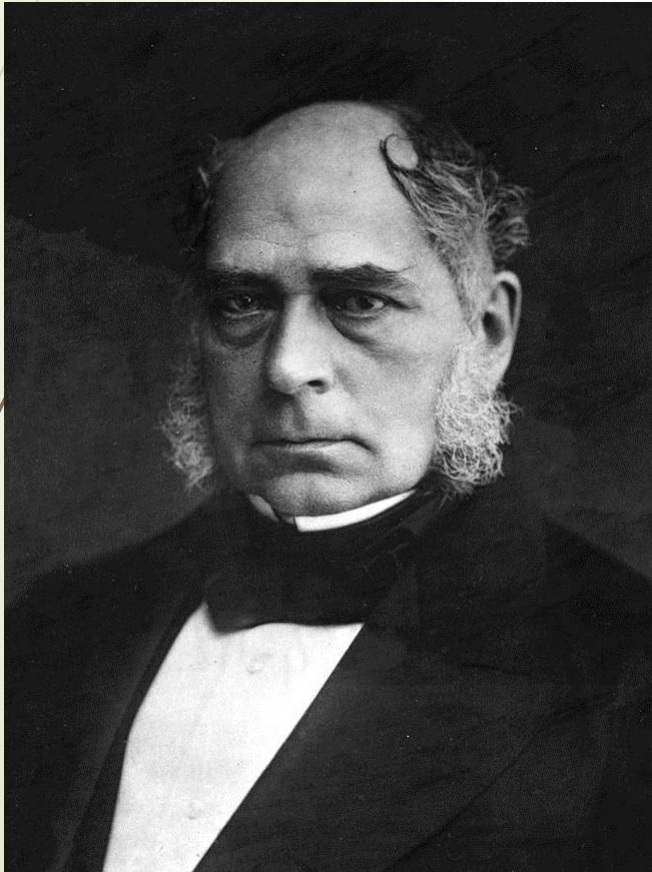


$$n * \lambda = 2d \sin \theta$$

# «Почётная» десятка людей и событий

13

10. Генри Бессемер – 1856 год. Запатентовал кислородно-конверторный способ производства низкоуглеродистой стали.



С этим рейтингом можно поспорить, потому что событий, не уступающих по своей значимости вышеупомянутым, конечно же значительно больше.

- **Д.К. Чернов** (критические точки сталей);
- **Н.С. Курнаков, С.Ф. Жемчужный** (исследование металлических систем);
- **А.А. Бочвар** (явление сверхпластичности);
- **С.И. Губкин** (закономерности пластической деформации металлов);
- **В.Д. Садовский** (природа структурной наследственности стали при её термической обработке);
- **У. Гиббс** (правило фаз и общие принципы равновесия термодинамических систем);
- **Флоренс Осмонд** (уточнил значение критических точек на диаграмме состояния «железо-цементит»);
- **Луи-Жозеф Труст** (структура троостита);
- **Адольф Мартенс** (структура Мартенсита);
- **Г.К. Сорби** (структура сорбита).

Все материалы по химической основе делятся на две основные группы:

- Металлические (металлы и сплавы) – составляют около 4/5 всех известных химических элементов);
- Неметаллические

Металлические материалы делятся на:

- **Чёрные** (железо и сплавы на его основе – стали и чугуны);
- **Цветные** (все остальные).

**Чистые металлы обладают низкими механическими свойствами по сравнению со сплавами и поэтому их применение ограничивается теми случаями, когда необходимо использовать их специальные свойства (например, магнитные или электрические)**

Практическое значение различных металлов не одинаково.

**Наибольшее применение** в технике приобрели **черные металлы**.

На основе **железа** изготавливают более **90%** всей металлопродукции.

**Цветные металлы** обладают целым рядом ценных физико-химических свойств, которые делают их незаменимыми.

Из цветных металлов наибольшее промышленное значение имеют **алюминий, медь, титан, магний**.

**Неметаллические материалы** – пластмассы, керамика, резина, стекло, композиты, наноматериалы.

Их производство и применение развивается опережающими темпами по сравнению с металлическими материалами, но использование в промышленности в качестве конструкционных материалов относительно невелико (около 10%)



# СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

17

**Свойство** – это количественная или качественная характеристика материала, определяющая его общность или различие с другими материалами

Выделяют три основные группы свойств:

- **эксплуатационные;**
- **технологические;**
- **стоимостные.**

# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

18

**Свойства, которые определяют работоспособность деталей машин, приборов или инструментов, их силовые, скоростные, стойкостные и другие технико-эксплуатационные показатели, называются эксплуатационными.**

Работоспособность подавляющего большинства деталей, машин и изделий обеспечивает уровень **механических свойств**.

Механические свойства характеризуют поведение материала под действием внешней нагрузки.

Поскольку условия нагружения деталей машин чрезвычайно разнообразны, то механические свойства включают большую группу показателей.

# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

19

Работоспособность отдельной группы деталей машин зависит не только от **механических свойств**, но и от сопротивления воздействию химически активной рабочей среды.

Если также воздействие становится значительным, то определяющим становятся физико-химические свойства материала – **жаростойкость** и **коррозионная стойкость**.

# ЖАРОСТОЙКОСТЬ

20

Характеризует способность материала противостоять химической коррозии, развивающейся в атмосфере сухих газов при повышенной и высокой температуре.

У металлов нагрев сопровождается образованием на поверхности оксидного слоя (окалины).

Количественными показателями жаростойкости являются:

- **скорость окисления**, оценивающая **интенсивность изменения массы металла** (в  $\text{г/м}^2\cdot\text{ч}$ ) или **скорость роста толщины оксидной плёнки** на его поверхности (в  $\text{мкм/ч}$ );
- **допустимая рабочая температура металла**, при которой скорость его окисления не превышает заданного значения.

# КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ

21

Способность металла противостоять электрохимической коррозии, которая развивается при наличии жидкой среды на поверхности металла и её электрохимической неоднородности.

Количественными показателями коррозионной стойкости являются:

- скорость электрохимической коррозии, оценивающая **интенсивность изменения массы металла** (в  $\text{г/м}^2\cdot\text{ч}$ ) или **линейных размеров** образца (в  $\text{мкм/ч}$ );
- степень изменения механических свойств под влиянием повреждения поверхности.

Для некоторых деталей машин и изделий важное значение имеют физические свойства, характеризующие поведение материалов в магнитных, электрических и тепловых полях, а также под воздействием потоков высокой энергии и радиации.

Их принято подразделять на:

- магнитные;
- электрические;
- теплофизические;
- радиационные.

# Механические свойства

23

Характеризуют их прочностное, пластичное и вязкое состояния.

- **Прочность** – способность металла, не разрушаясь, сопротивляться действию прилагаемых внешних сил. Именно по прочности определяют допускаемые напряжения и рассчитывают конструкции. Чем прочнее металл, тем меньше масса детали, и тем меньше металлоёмкость данной конструкции или машины.
- **Вязкость** – способность металла оказывать сопротивление ударным нагрузкам.
- **Пластичность** – свойство металла деформироваться без разрушения при приложении внешних сил.
- **Упругость** – свойство металла восстанавливать свою форму после прекращения действия приложенных внешних сил.
- **Твёрдость** – способность одного тела противостоять проникновению в него другого тела, более твёрдого.

Пластичность и вязкость не влияют на массу изготавливаемых изделий, но при малой пластичности и вязкости изделие при высоких прочностных свойствах становится хрупким и при случайных перегрузках (ударное приложение нагрузок) разрушается.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

24

Среди технологических свойств главное место занимает **технологичность материала** – его пригодность для изготовления деталей машин, приборов и инструментов требуемого качества при минимальных трудовых затратах.

От технологичности зависят производительность и качество изготовления деталей.

Она оценивается:

- обрабатываемостью резанием;
- обрабатываемостью давлением;
- свариваемостью;
- способностью к литью;
- прокаливаемостью;
- склонностью к деформации и короблению при термической обработке.



# СТОИМОСТНЫЕ СВОЙСТВА

25

Стоимость материала оценивает экономичность его использования.

Её количественным показателем является **оптовая цена** – стоимость единицы массы материала в виде заготовок, проката, слитков, порошка, гранул, по которой завод-изготовитель реализует свою продукцию машиностроительным предприятиям.

# Механические свойства, определяемые при статических нагрузках

26

Статические испытания предусматривают медленное и плавное нарастание нагрузки, прилагаемой к испытываемому образцу.

По способу приложения нагрузок различают статические испытания на **растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг или срез.**

Наиболее распространены испытания на растяжение (**ГОСТ 1497-84**), которые дают возможность определить несколько важных показателей механических свойств.

# Механические свойства, определяемые при статических нагрузках

27

Все материалы делятся на:

- ▶ **пластичные** (деформируются в процессе испытаний с образованием пластических деформаций);
- ▶ **хрупкие** (без образования пластических деформаций вплоть до своего разрушения).

# Механические свойства, определяемые при статических нагрузках

28

За критерий для условной классификации материалов можно принять относительное остаточное удлинение (%).

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100,$$

где  $l_0$  и  $l_k$  начальная и конечная длина рабочей части образца.

# Механические свойства, определяемые при статических нагрузках

29

В соответствии с величиной остаточного удлинения материалы можно разделить на:

- пластичные ( $\delta \geq 10\%$ );
- малопластичные ( $5\% > \delta > 10\%$ );
- хрупкие ( $\delta \leq 5\%$ ).

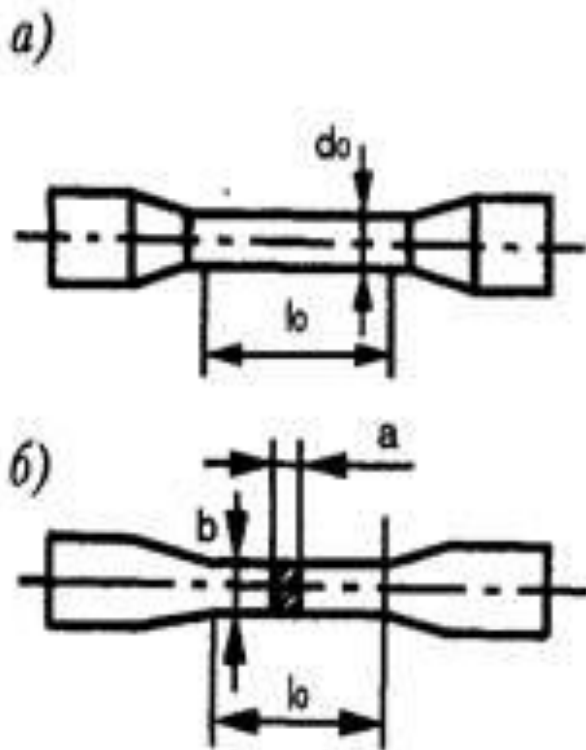
Если материал анизотропен, то необходимо произвести не одно, а несколько испытаний в различных направлениях.

# Методы механических испытаний

30

Для статических испытаний на растяжение изготавливают плоские и круглые образцы, форма и размеры которых установлена ГОСТом.

- Цилиндрические образцы диаметром  $d_0 = 10$  мм, имеющие расчётную длину  $l_0 = 10d_0$ , называются **нормальными**.
- Образцы, у которых длина  $l_0 = 5d_0$  – **короткими**.



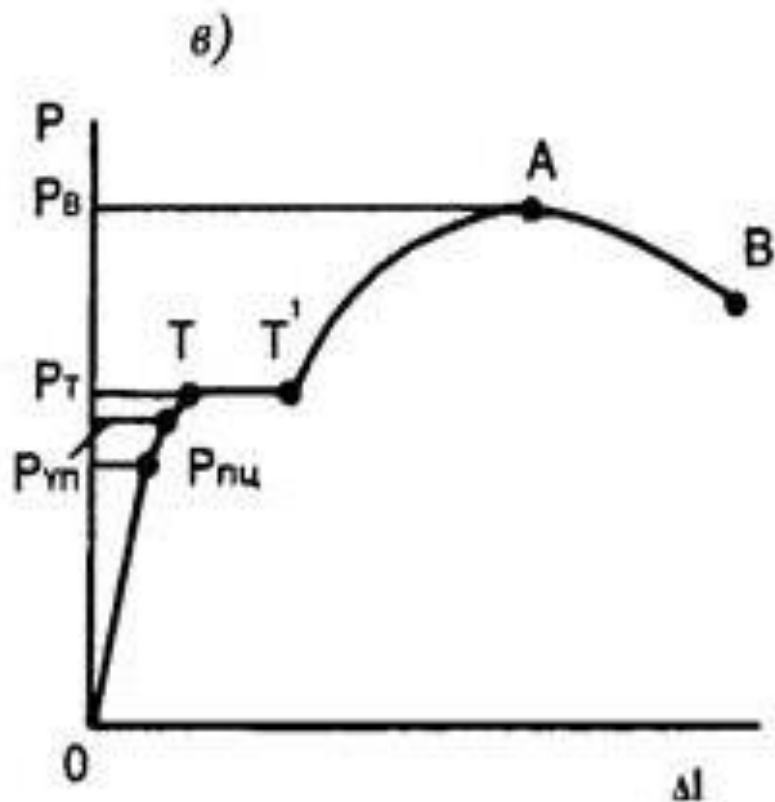
Образец в ходе испытаний растягивается под действием плавно возрастающей нагрузки и доводится до разрушения.

Испытания проводятся на **разрывных машинах**.

# Методы механических испытаний

31

Самописец (в современных приборах – компьютер) автоматически вычерчивает кривую деформации, называемую диаграммой растяжения (строится в координатах: нагрузка  $P$  – удлинение  $\Delta l$  или напряжение  $\sigma$  – относительное удлинение  $\delta$ ).

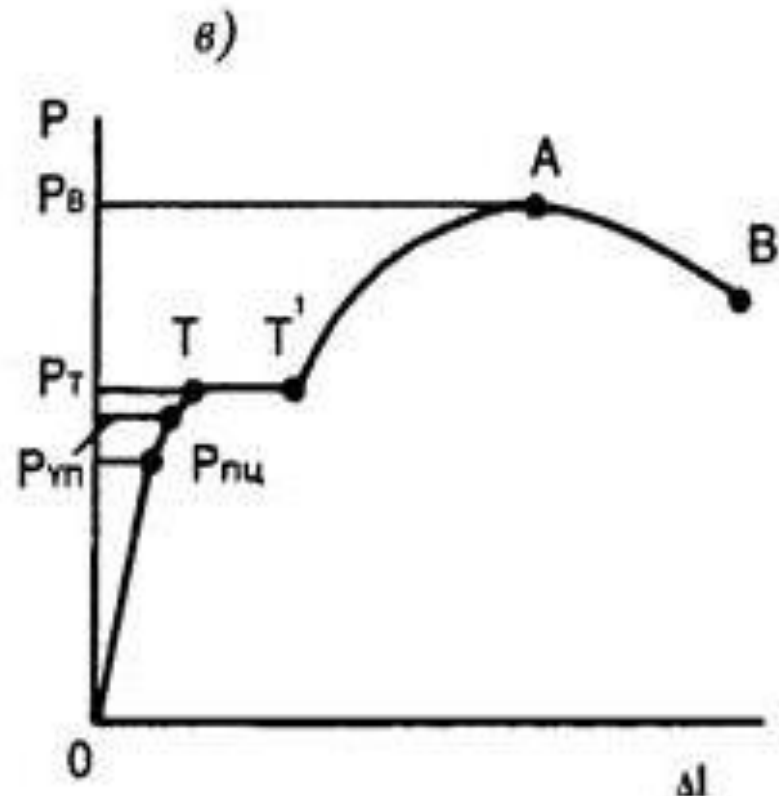


- На участке  $O-P_{\text{пц}}$  удлинение образца увеличивается прямо пропорционально возрастанию нагрузки.
- На участке  $P_{\text{пц}} - P_{\text{уп}}$  прямая пропорциональность нарушается, но деформация остаётся упругой (обратимой).
- На участке выше точки  $P_{\text{уп}}$  возникают заметные остаточные деформации и кривая растяжения значительно отклоняется от прямой.

# Методы механических испытаний

32

- ▶ На участке выше точки  $P_{уп}$  возникают заметные остаточные деформации и кривая растяжения значительно отклоняется от прямой.
- ▶ При нагрузке  $P_T$ , появляется горизонтальный участок диаграммы – площадка текучести  $T-T'$ .
- ▶ Выше точки  $P_T$  нагрузка возрастает до точки  $A$ , соответствующей максимальной нагрузке  $P_B$ , после которой начинается ее падение, связанное с образованием шейки и разрушением образца.
- ▶ После образования шейки происходит падение нагрузки до точки  $B$ , образец удлиняется и происходит его разрушение.



Площадка текучести наблюдается у пластичных материалов. На кривых растяжения хрупких металлов площадка текучести отсутствует.

С образованием шейки разрушаются только пластичные металлы.



# Методы механических испытаний

33

Усилия, соответствующие основным точкам диаграммы растяжения, позволяют установить следующие характеристики сопротивления металла деформации, выраженные в МПа:

- ▶ **предел пропорциональности  $\sigma_{пц}$**  – наибольшее напряжение, до которого сохраняется прямая пропорциональность между напряжением и деформацией:  $\sigma_{пц} = P_{пц}/F_0$ ;
- ▶ **предел упругости  $\sigma_{уп}$**  – напряжение, при котором пластические деформации впервые достигают некоторой малой величины, характеризуемой определённым допуском (обычно 0,05%):

$$\sigma_{уп} = P_{уп}/F_0;$$

# Методы механических испытаний

34

- ▶ **предел текучести  $\sigma_m$**  – напряжение, начиная с которого деформация образца происходит почти без дальнейшего увеличения нагрузки:  $\sigma_m = P_m/F_0$ .

Если площадка текучести на диаграмме растяжения данного материала отсутствует, то определяется условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  – напряжение, вызывающее пластическую деформацию, равную 0,2 %.

- ▶ **предел прочности (временное сопротивление)**

**$\sigma_v$**  – напряжение, которое равно отношению наибольшей нагрузки, предшествующей разрушению образца, к первоначальной площади его сечения:  $\sigma_v = P_v/F_0$ .

# Методы механических испытаний

35

**Предел прочности** является обязательной характеристикой в стандартах марок стали.

При статическом растяжении определяют **характеристики пластичности металлов:**

- **относительное удлинение  $\delta$ ;**
- **относительное сужение  $\psi$ .**

# Методы механических испытаний

36

**Относительное удлинение  $\delta$**  рассчитывается как отношение прироста длины образца после разрыва к его первоначальной расчётной длине, выраженной в процентах;

$$\delta = [(l_1 - l_0) / l_0] \cdot 100,$$

где  $l_1$  – длина образца после разрыва;  $l_0$  – расчётная (начальная) длина образца.

**Относительное сужение  $\psi$**  определяется отношением уменьшения площади поперечного сечения образца после разрыва к первоначальной площади его поперечного сечения, выраженным в процентах:

$$\psi = [(F_0 - F_1) / F_0] \cdot 100,$$

где  $F_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца;  $F_1$  – площадь поперечного сечения образца в месте разрушения.

# Твёрдость

37

**Твёрдость** – свойство материала сопротивляться внедрению в него другого, более твёрдого тела – **индентора**.

**Индентор** – это изготовленный из алмаза, твёрдого сплава или закалённой стали наконечник прибора, используемого для измерения твёрдости.

Иногда инденторами (indenter) называют сами приборы для измерения твёрдости.

**Твёрдость** определяется как величина нагрузки необходимой для начала разрушения минерала.

Различают твёрдость:

- **относительную;**
- **абсолютную.**

# Твёрдость

38

**Относительная твёрдость** – твёрдость одного минерала относительно другого (шкала Мооса).

Такой метод определения твёрдости был впервые предложен австрийским минерологом Ф. Моосом. Созданная Моосом в 1811 г. шкала твёрдости минералов носит его имя. Таблица Мооса состоит из десяти минералов, твёрдость которых принята за эталоны.



# Твёрдость

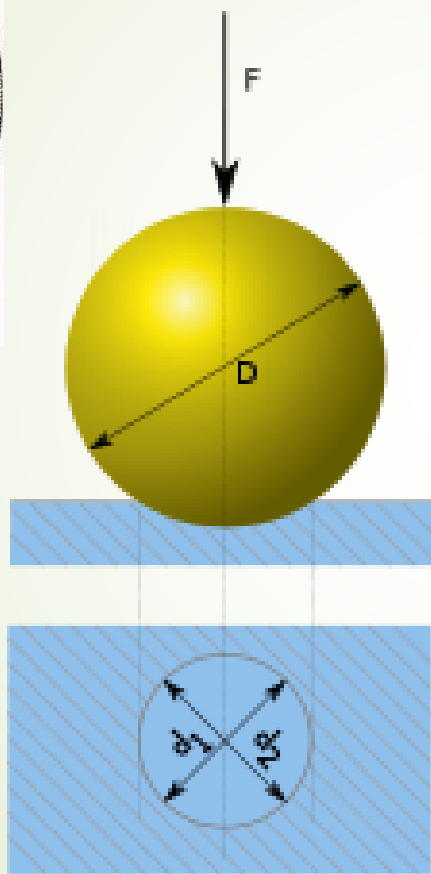
39

**Абсолютная (инструментальная) твёрдость – изучается с помощью вдавливания.**

Твёрдость зависит от:

- ▶ межатомных расстояний;
- ▶ координационного число;
- ▶ валентности;
- ▶ природы химической связи;
- ▶ от направления (минерал *дистен* – вдоль его твёрдость 4, а поперёк 7);
- ▶ хрупкости и ковкости;
- ▶ гибкости;
- ▶ упругости – минерал сгибается, но выпрямляется (*слюда*);
- ▶ вязкости – минерал трудно сломать – *жадеит* – разновидность пироксена;
- ▶ спаянности.

# Метод Бринелля (Юхан Август Бринель – шведский инженер – 1849-1925 г.г.)



- индентор вдавливают в образец с плавно нарастающей нагрузкой в течение 2-8 с;
- после достижения максимальной величины, нагрузка на индентор выдерживается в определённом интервале времени (обычно 10-15 с для сталей);
- Затем снимают приложенную нагрузку и измеряют диаметр получившегося отпечатка.

В качестве инденторов используются шарики из твёрдого сплава диаметром 1; 2,5 (1.87 кН); 5 (765 кН) и 10 (30 кН) мм.



# Метод Бринелля

41

Величину нагрузки и диаметр шарика выбирают в зависимости от исследуемого материала, который разделён на **5 основных групп**:

1. Никелевые и титановые сплавы;
2. Чугун;
3. Медь и медные сплавы;
4. Лёгкие металлы и их сплавы;
5. Свинец, олово.

Обозначается **НВ** (hardness) по Бринелю.

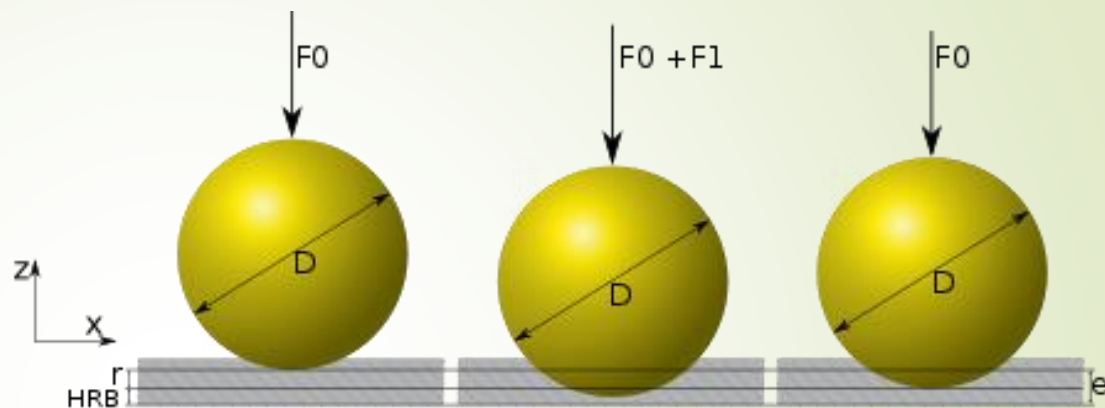
$$HВ = \frac{2F}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

42

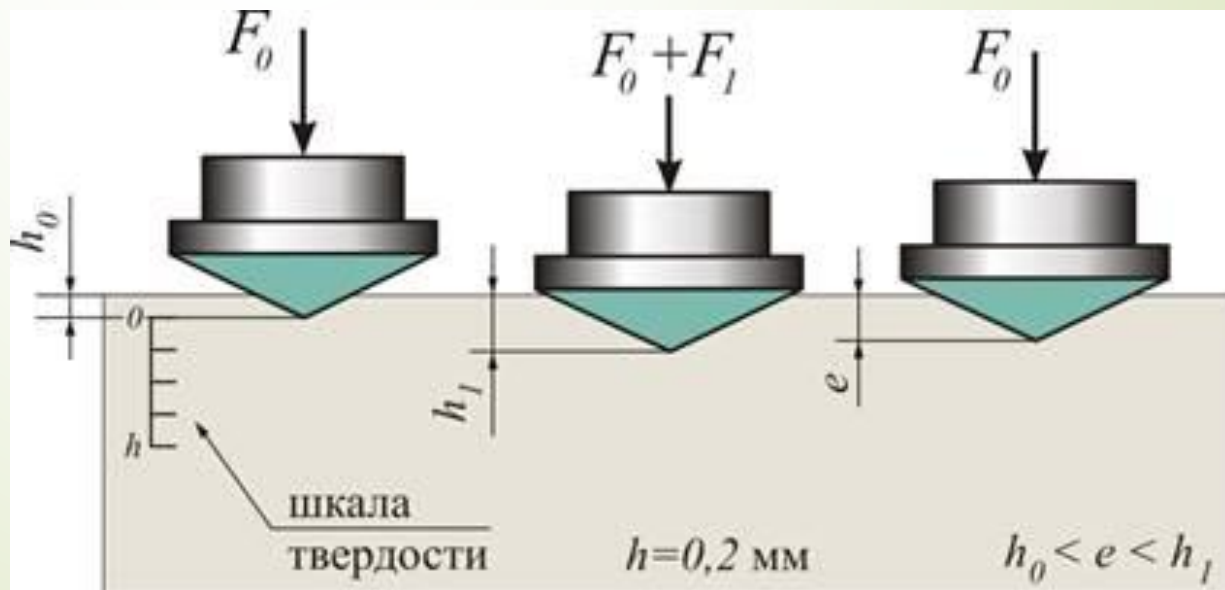


Стенли Роквелл

# Метод Роквелла



Хью Роквелл



# Метод Роквелла

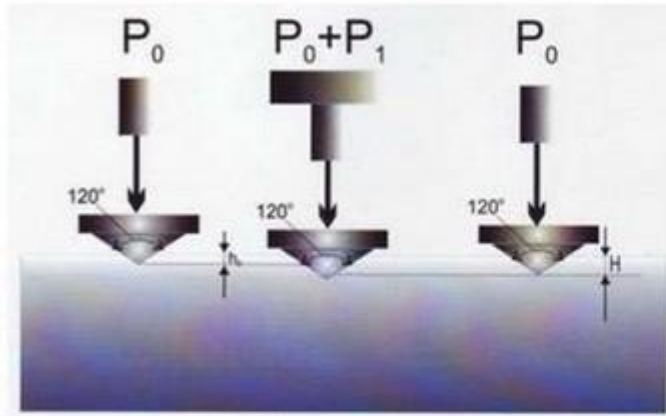
43

- Измерение осуществляют путём вдавливания в испытуемый материал стального шарика диаметром 1,588 мм или конусного алмазного наконечника с углом при вершине 120 градусов.
- В отличие от метода Бринеля твёрдость по Роквеллу определяют не по диаметру отпечатка, а **по глубине вдавливания шарика или конуса.**
- Вдавливание производится под действием двух последовательно приложенных нагрузок – предварительной, равной **98,1 Н** и окончательной, равной **981; 588,6; 1471,5 Н** (В таблице на следующем слайде приведены округлённые значения нагрузки).
- Метод позволяет испытывать мягкие и твёрдые материалы.
- Размер отпечатков очень незначителен, поэтому можно испытывать готовые детали без их порчи.

# Метод Роквелла

44

## Измерение твердости по Роквеллу



Индентор – алмазный конус с углом  $120^\circ$  при вершине или стальной шарик диаметром 1,588 мм.

$P_0$  – предварительная нагрузка (100Н)

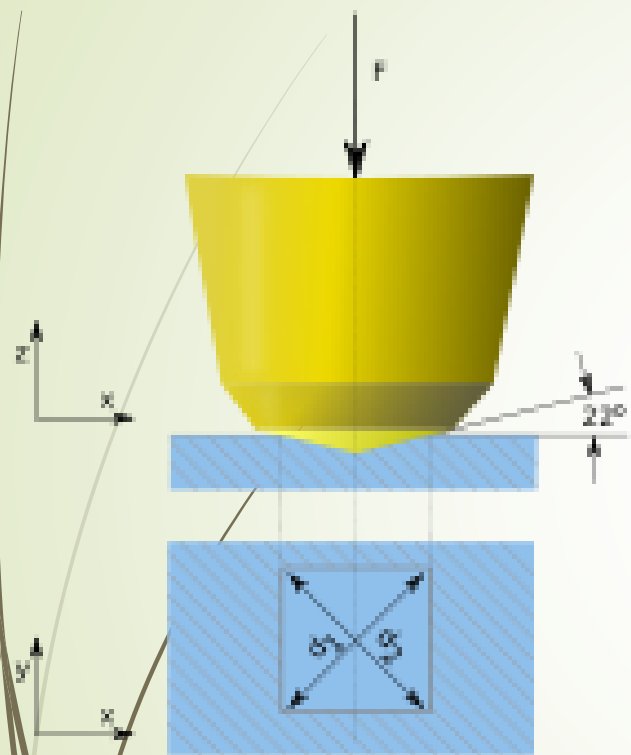
$P_1$  – основная нагрузка.

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

Обозначения твердости	Индентор (наконечник)	Шкала индикатора	Основная нагрузка	Расчетная формула
HRC HRA	алмазный конус	C A	1400 Н 500 Н	$100 - \frac{H - h_0}{0,002}$
HRB	стальной шарик	B	900 Н	$130 - \frac{H - h_0}{0,002}$

# Метод Виккерса (по названию Британского концерна «Vickers Ltd»

45



- В испытуемый материал вдавливается правильная четырёхгранная алмазная пирамида с углом 136 градусов между противоположными гранями.
- При таких испытаниях можно применять нагрузки от 50 до 1200 Н и время выдержки 10-15 с.
- Измерение отпечатка производят по длине диагонали отпечатка.

Обозначается **HV** (hardness) по Виккерсу.

$$HV = 0,189F/d^2$$

# Типичные значения твёрдости для различных материалов

46

Материал	Твёрдость
Мягкое дерево (сосна)	1,6 HBS 10/100
Твёрдое дерево (эбен, ятоба)	от 2.6 до 7.0 HBS 10/100
Алюминий	15HB
Медь	35HB
Дюраль	70HB
Мягкая сталь	120HB
Нержавеющая сталь	250HB
Стекло	500HB
Инструментальная сталь	650-700HB

# Оценка механических свойств по испытаниям на твёрдость

47

Связь между результатами проверки на твёрдость и прочностными характеристиками материалов исследовалась такими учёными-материаловедами, как Н.Н. Давиденков, М.П. Марковец.

По твёрдости, измеренной методом Бринеля можно судить о прочности при растяжении.

Выявлены эмпирические зависимости между твёрдостью и прочностью следующих материалов:

- Для стальных поковок и проката  $\sigma_{\text{в}} = (0,34-0,36) \text{ НВ}$ .
- Для стального литья  $\sigma_{\text{в}} = (0,3-0,4) \text{ НВ}$ .
- Для серого чугуна  $\sigma_{\text{в}} = 0,12 \text{ НВ}$ .