

Лекция 2.
Механические испытания материалов.

1. Испытание на растяжение (ГОСТ 1497-84)

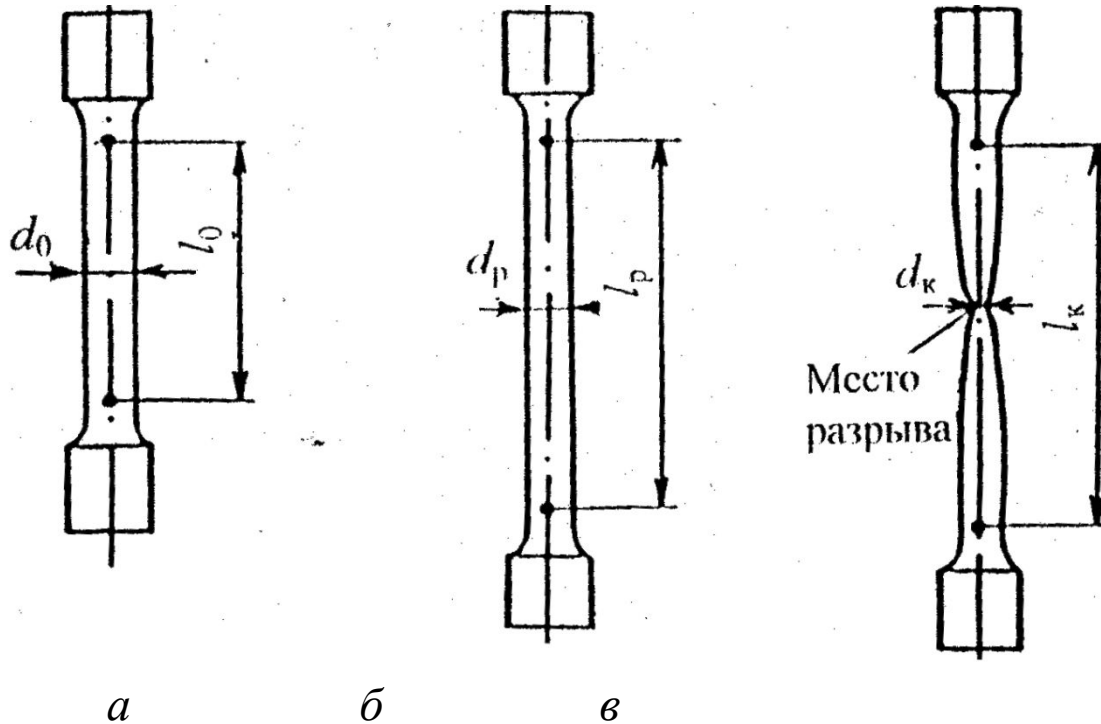
Прочность – свойство материалов в определённых условиях и пределах, не разрушаясь, воспринимать те или иные внешние воздействия.

Упругость – свойство тела восстанавливать свою форму и объём после прекращения действия внешних сил или других причин (например, нагревания), вызвавших деформацию тела.

Пластичность – свойство твёрдых тел необратимо деформироваться (т.е. изменять форму и размеры) под действием механических нагрузок.

1. Испытание на растяжение (ГОСТ 1497-84)

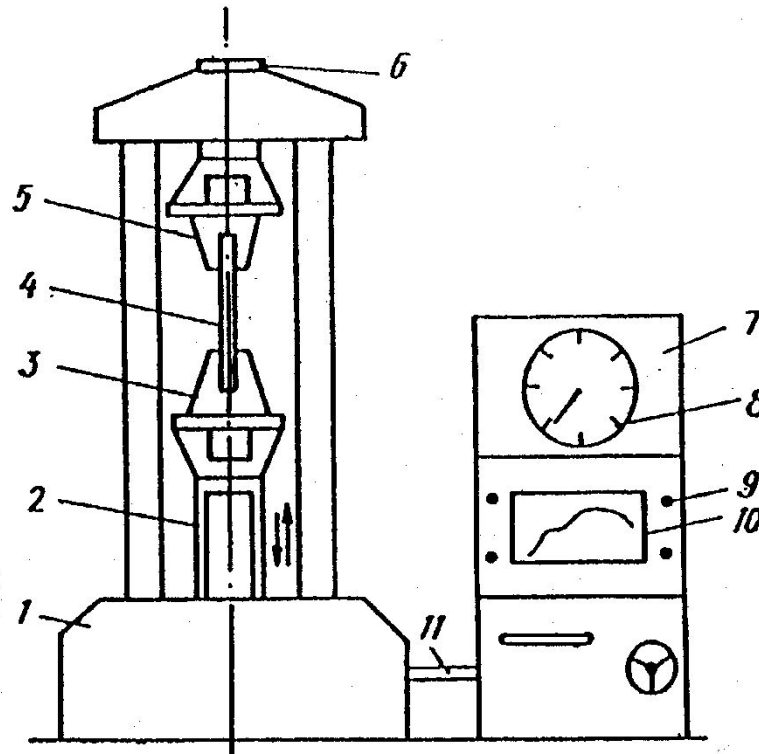
Схемы цилиндрического образца на различных стадиях растяжения



- а* – образец до испытания (l_0 и d_0 — начальные расчетные длина и диаметр);
б – образец, растянутый до максимальной нагрузки;
в – образец после разрыва (l_k – конечная расчетная длина; d_k – минимальный диаметр в месте разрыва)

1. Испытание на растяжение (ГОСТ 1497-84)

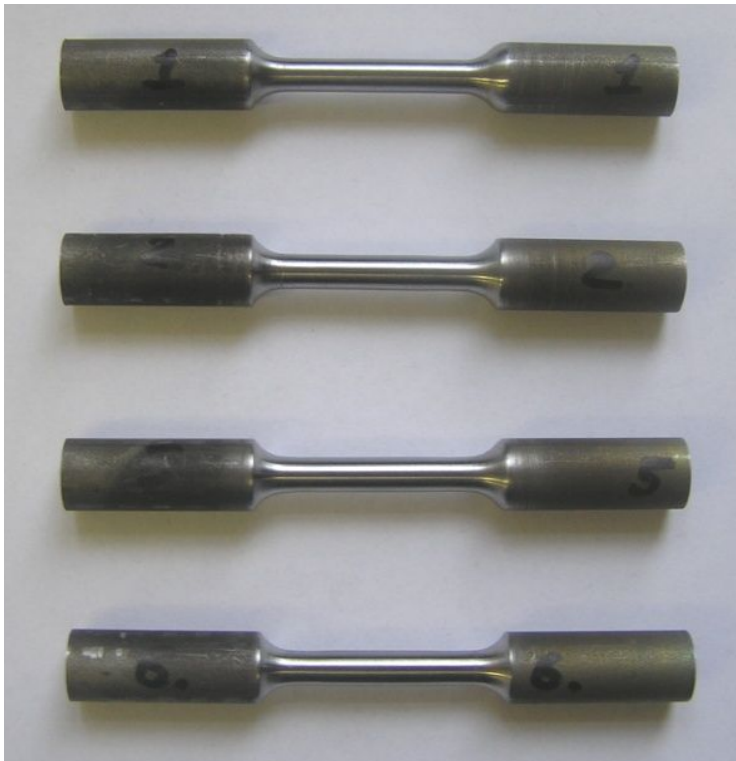
Схема машины для испытания на растяжение



1 – основание; 2 – винт грузовой; 3 – нижний захват (активный); 4 – образец; 5 – верхний захват (пассивный); 6 – силоизмерительный датчик; 7 – пульт управления с электроприводной аппаратурой; 8 – индикатор нагрузок; 9 – рукоятки управления; 10 – диаграммный механизм; 11 – кабель

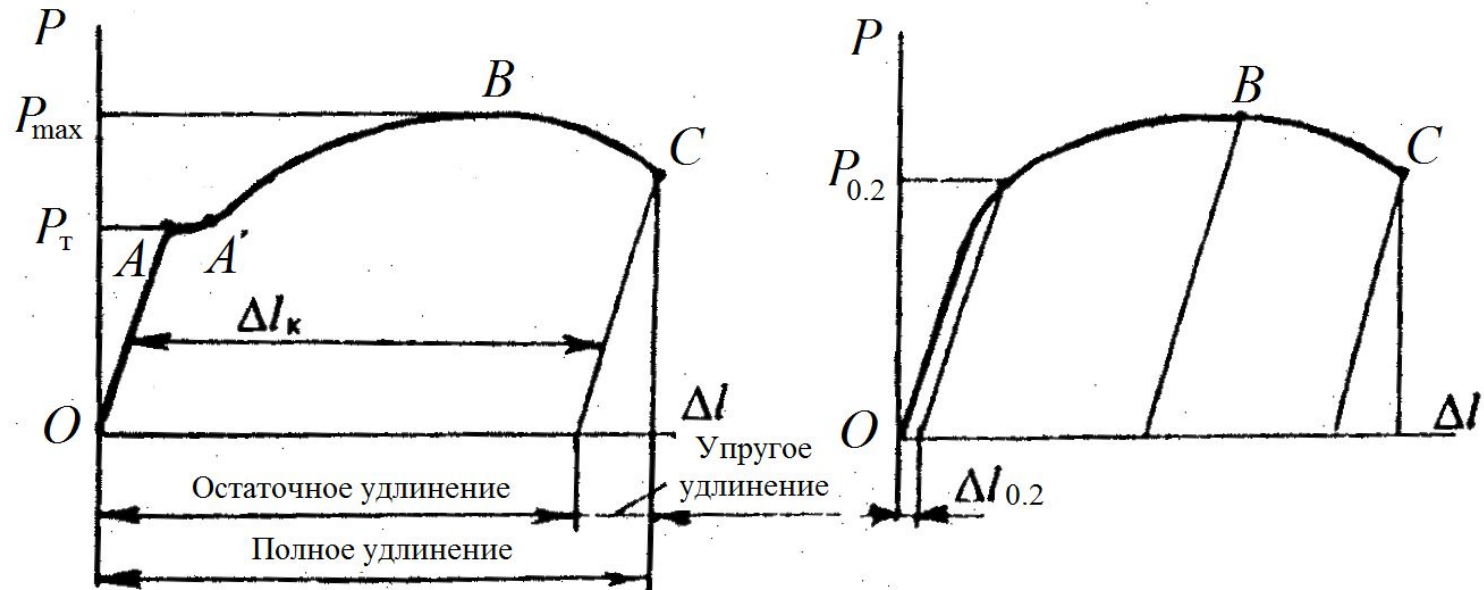
1. Испытание на растяжение (ГОСТ 1497-84)

Образцы для испытаний растяжением до и после испытаний



1. Испытание на растяжение (ГОСТ 1497-84)

Схемы машинных (первичных) диаграмм растяжения пластичных материалов:
 а – с площадкой текучести; б – без площадки текучести



Характеристики прочности

| | | |
|---|--------------------------------|-------|
| Физический предел текучести | $\sigma_T = P_T / F_0$ | } МПа |
| Условный предел текучести | $\sigma_{0.2} = P_{0.2} / F_0$ | |
| Временное сопротивление (предел прочности) | $\sigma_B = P_{max} / F_0$ | |

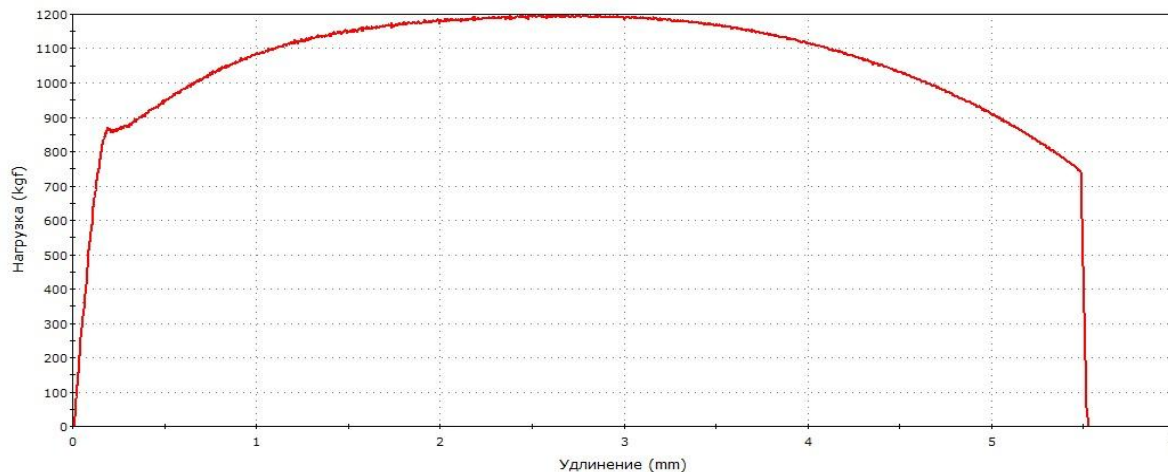
Характеристики пластичности

| | |
|----------------------------------|---|
| Относительное конечное удлинение | $\delta_k = (\Delta l_k / l_0) \cdot 100 = [(l_k - l_0) / l_0] \cdot 100, \%$ |
| Относительное конечное сужение | $\psi_k = (\Delta F_k / F_0) \cdot 100 = [(F_0 - F_k) / F_0] \cdot 100, \%$ |

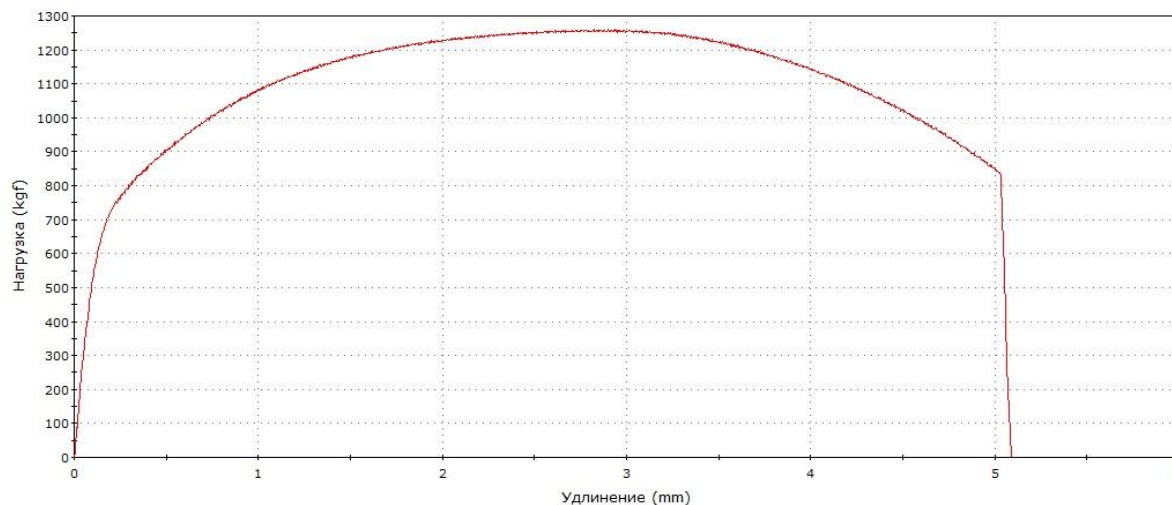
1. Испытание на растяжение (ГОСТ 1497-84)

Примеры реальных диаграмм растяжения стали 40Х
(шпильки крепления крышки турбины гидроагрегата Саяно-Шушенской ГЭС):
а – с площадкой текучести; б – без площадки текучести

а)



б)



1. Испытание на растяжение (ГОСТ 1497-84)

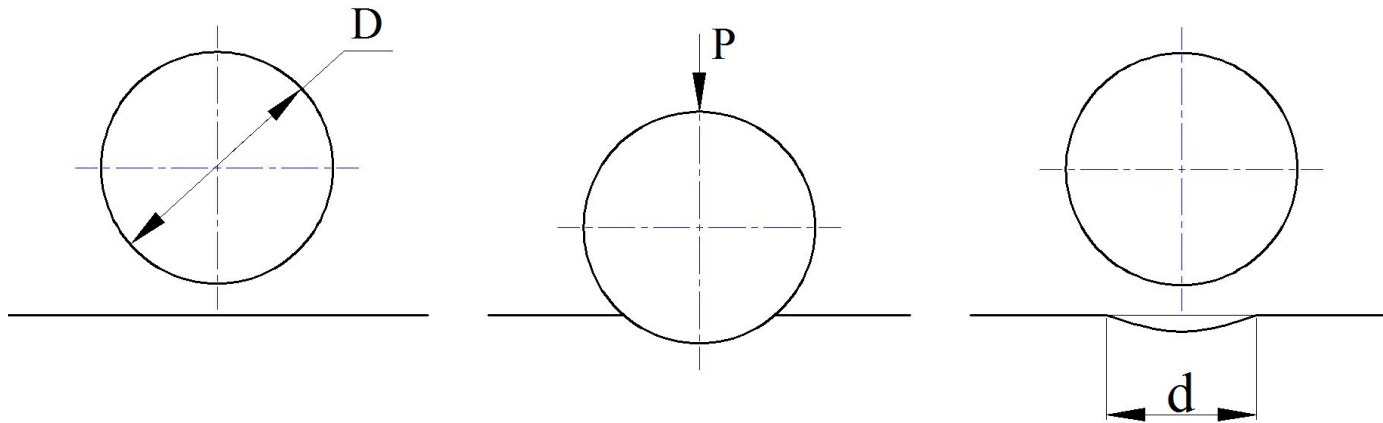
Значения механических свойств некоторых металлов и сплавов, определенные растяжением цилиндрических образцов

| Материал | σ_T ($\sigma_{0,2}$), МПа | σ_B , МПа | δ_K , % | ψ_K , % |
|---------------|------------------------------------|------------------|----------------|--------------|
| Алюминий А95 | 40 | 110 | 24 | - |
| Медь М1 | 90 | 250 | 60 | - |
| Сталь 20 | 271 | 430 | 33 | 67 |
| Сталь 15ГС | 334 | 547 | 33 | 71 |
| Сталь 45 | 390 | 668 | 25 | 49 |
| Сталь 35ХВФЮА | 759 | 1038 | 16 | 51 |

2. Испытания на твердость

Твёрдость – это свойство материала оказывать сопротивление контактной деформации или хрупкому разрушению при внедрении более твердого тела (индентора) в его поверхность.

Метод Бринелля (ГОСТ 9012–59)



$D = 1; 2; 2,5; 5$ или 10 мм

Для сталей $P = 30D^2$

$$HB = \frac{P}{M} = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Пример записи числа твердости по Бринеллю:

225 HB 2,5/187,5/10

Твердость,
кГс/мм²

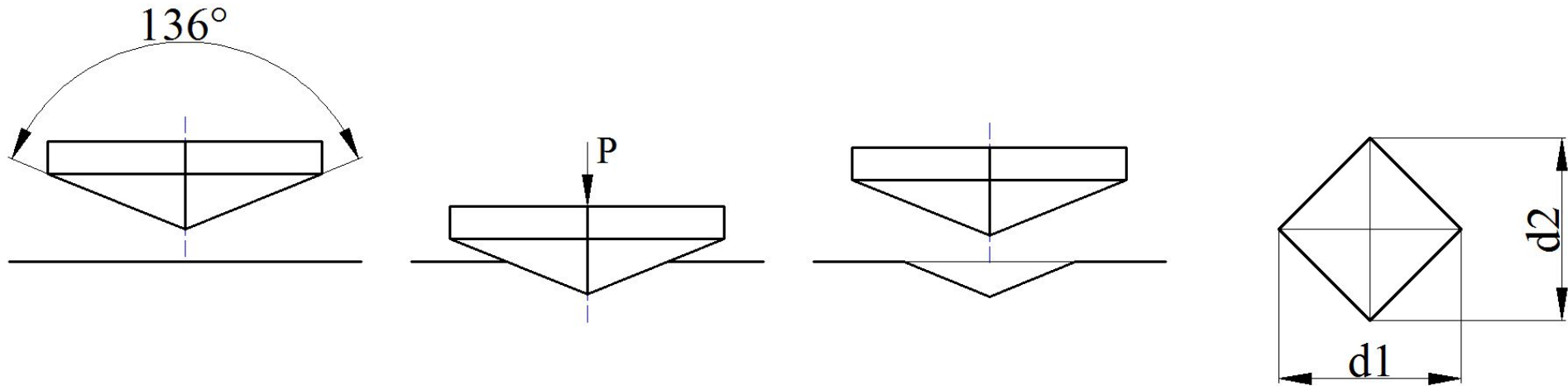
Диаметр
индентора,
мм

Нагрузка,
кГс

Время под
нагрузкой, с

2. Испытания на твердость

Метод Виккерса (ГОСТ 2999–75)



$P = 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30$ или 50 кгс

Пример записи числа твердости по Виккерсу:

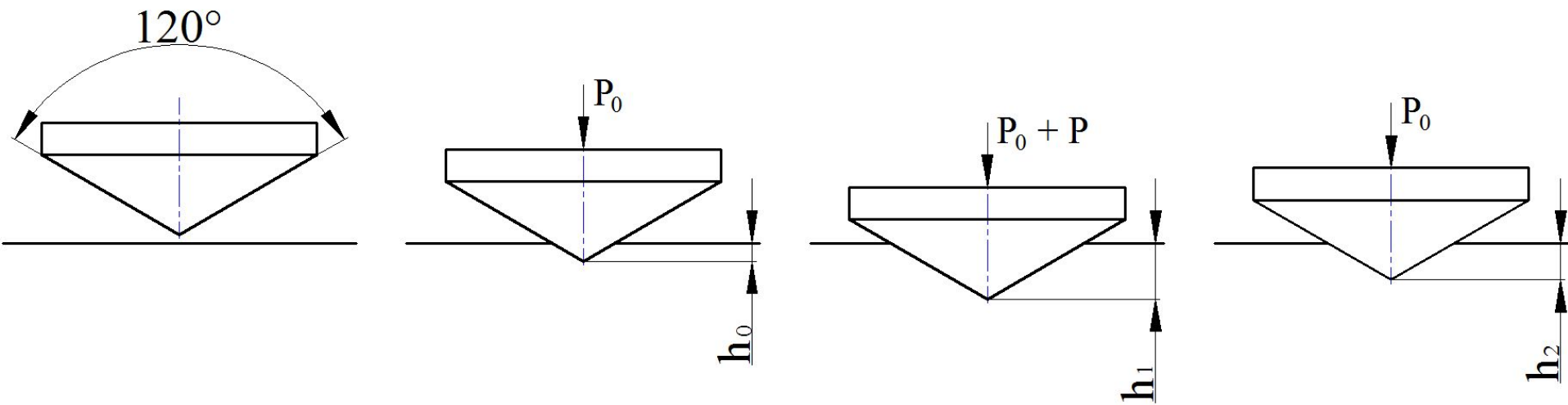
$$HV = \frac{P}{M} = \frac{P}{\left(\frac{d^2}{2 \sin(\alpha / 2)} \right)} \approx \frac{1,8544P}{d^2}.$$

135 HV 2/10

Твердость, кгс/мм² Нагрузка, кгс Время под нагрузкой, с

2. Испытания на твердость

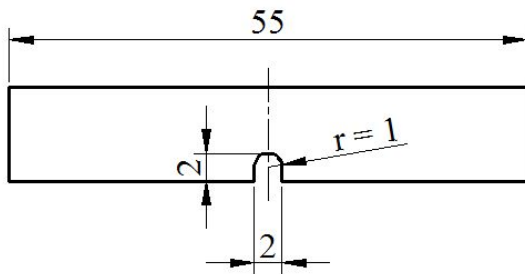
Метод Роквелла (ГОСТ 9013–59)



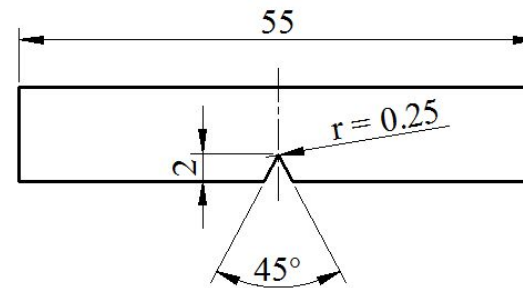
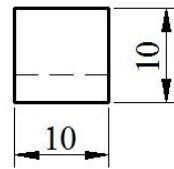
| Шкала | Индентор | $P_{0^{\circ}}$, кГс | P , кГс | $P_{\text{общ}^{\circ}}$, кГс | Формула расчета | Пример записи |
|-------|--------------------|--------------------------|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------|
| A | конус | 10 | 50 | 60 | $HRA = 100 - (h_2 - h_1)/0,002$ | 61 HRA |
| B | шар $D = 1,588$ мм | | 90 | 100 | $HRB = 130 - (h_2 - h_1)/0,002$ | 44 HRB |
| C | конус | | 140 | 150 | $HRC = 100 - (h_2 - h_1)/0,002$ | 37 HRC |

3. Испытания на ударную вязкость (ГОСТ 9454–78)

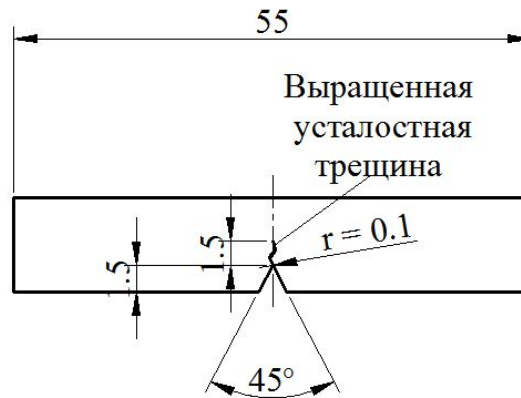
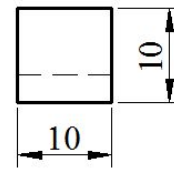
Схема образцов для испытаний на ударный изгиб



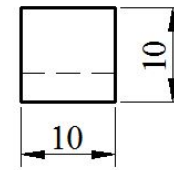
а



б



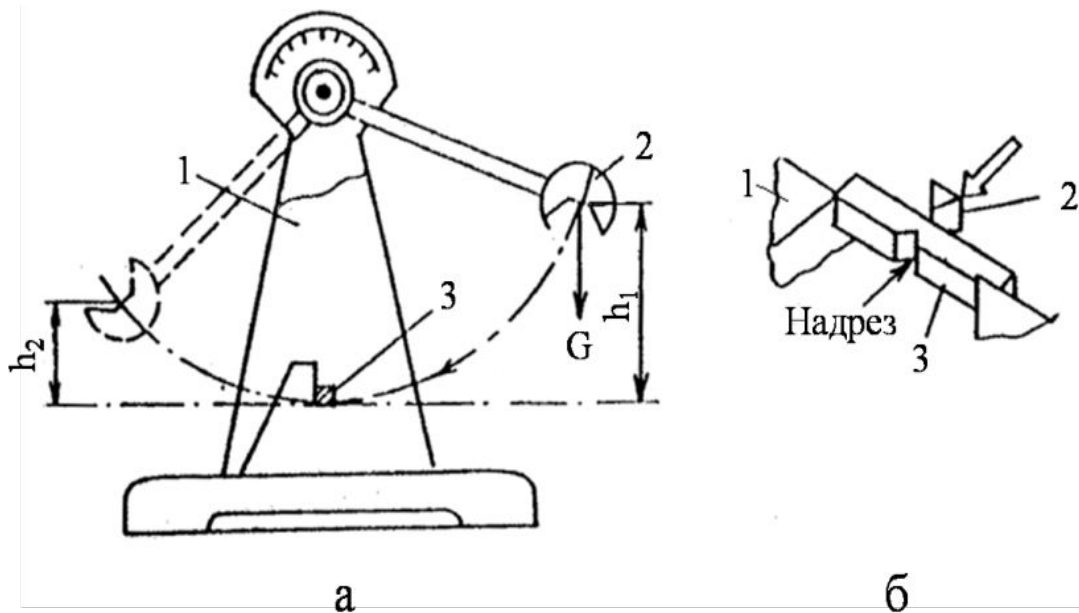
в



а – образец с U-образным надрезом; б – с V-образным надрезом; в – с усталостной трещиной

3. Испытания на ударную вязкость (ГОСТ 9454–78)

Схема испытания на ударный изгиб



Работа K , МДж, затраченная на ударный излом образца

$$K = G (h_1 - h_2),$$

G – вес маятника; h_1 , h_2 – высота подъема маятника до испытания и после него.

Ударная вязкость:

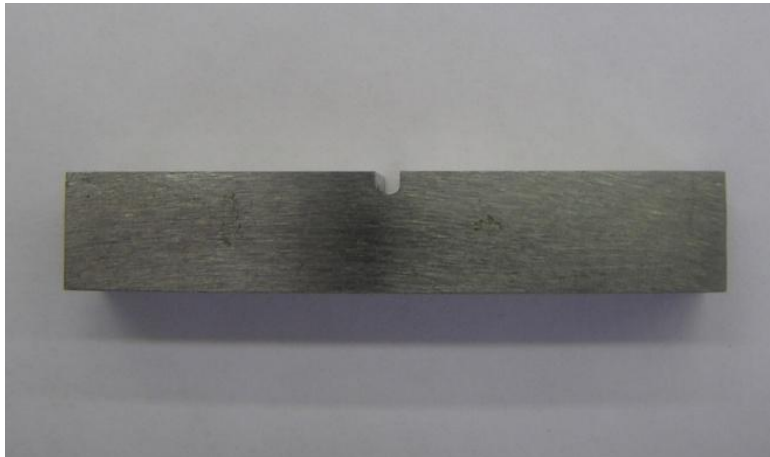
$$KCU, KCV, KCT = K/F$$

F - площадь поперечного сечения образца в надрезе

a – схема маятникового копра (1 – корпус; 2 – маятник; 3 – образец); $б$ – расположение образца

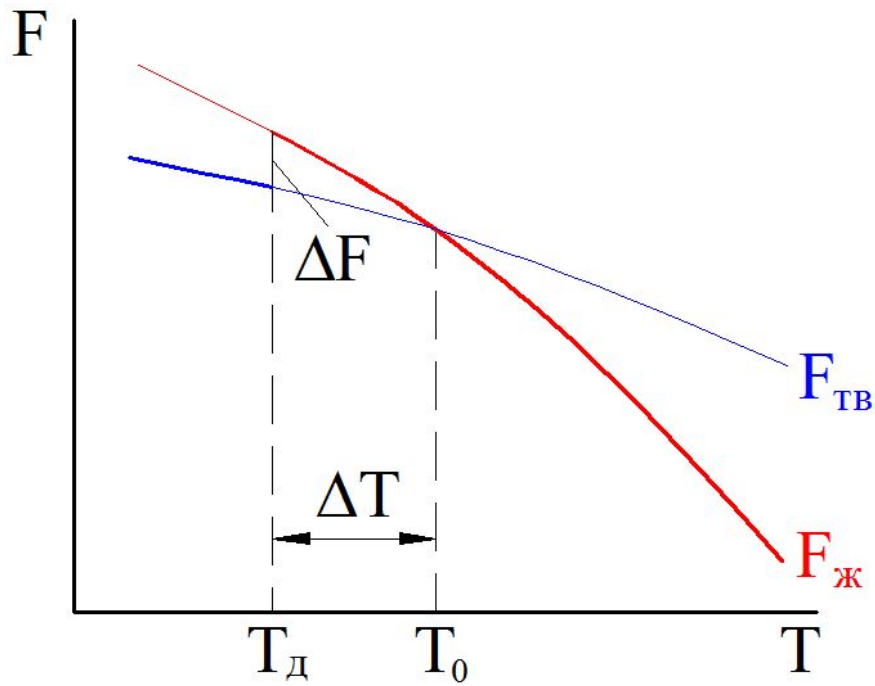
3. Испытания на ударную вязкость (ГОСТ 9454–78)

Образцы на ударный изгиб до и после испытаний

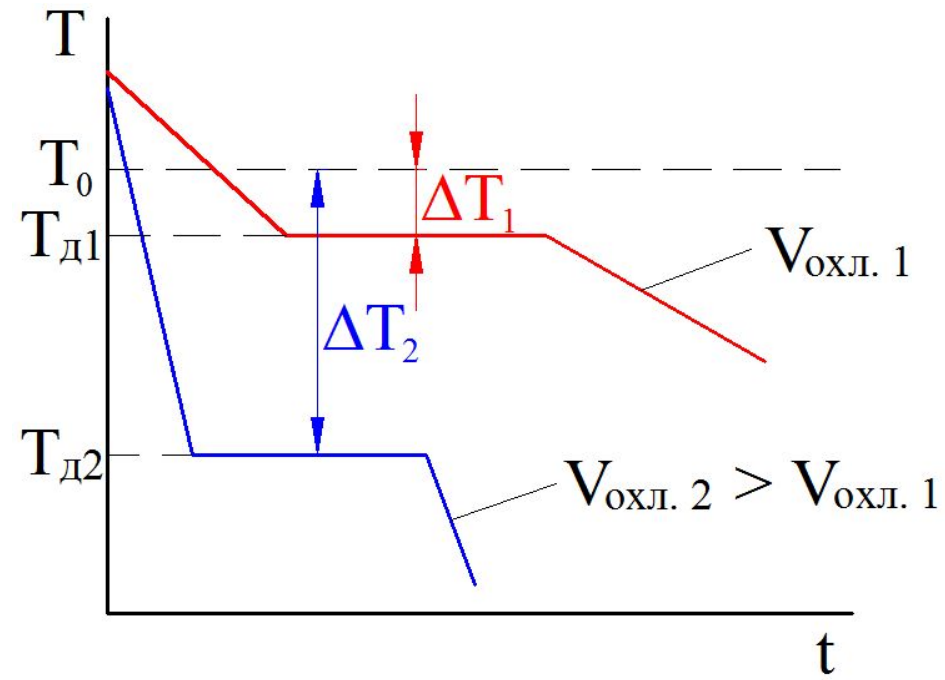


Основы теории кристаллизации

1. Энергетические предпосылки процесса кристаллизации

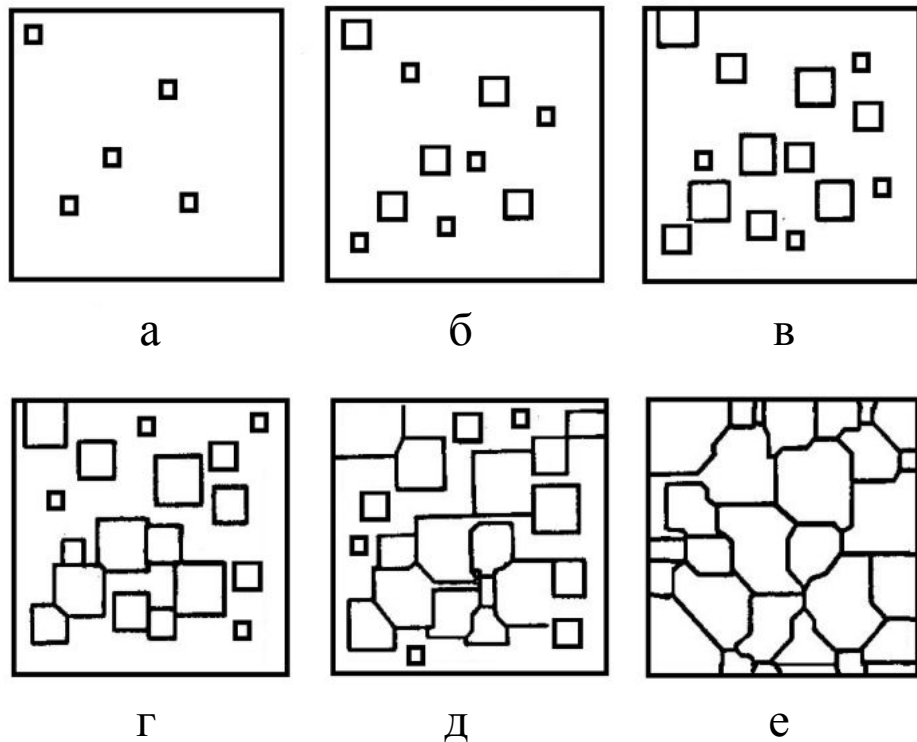


Изменение свободной энергии жидкого и твердого состояния в зависимости от температуры: T_0 – равновесная (теоретическая) температура кристаллизации; $T_{\text{д}}$ – действительная температура кристаллизации

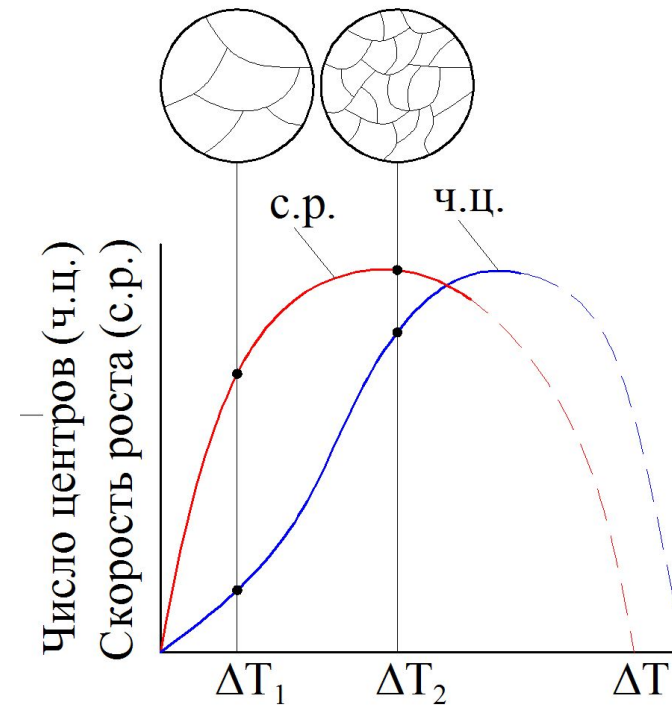


Влияние скорости охлаждения на действительную температуру кристаллизации: t – время

2. Механизм кристаллизации



Основные стадии процесса кристаллизации



Скорость роста кристаллов и скорость зарождения центров кристаллизации в зависимости от степени переохлаждения

3. Величина зерна. Модифицирование.

Уравнение Холла-Петча:
$$\sigma_T = \sigma_0 + K / \sqrt{D}$$

σ_0 – предел текучести монокристалла; K – константа для данного материала; D – средний размер зёрен.



4. Кристаллизация в условиях направленного теплоотвода

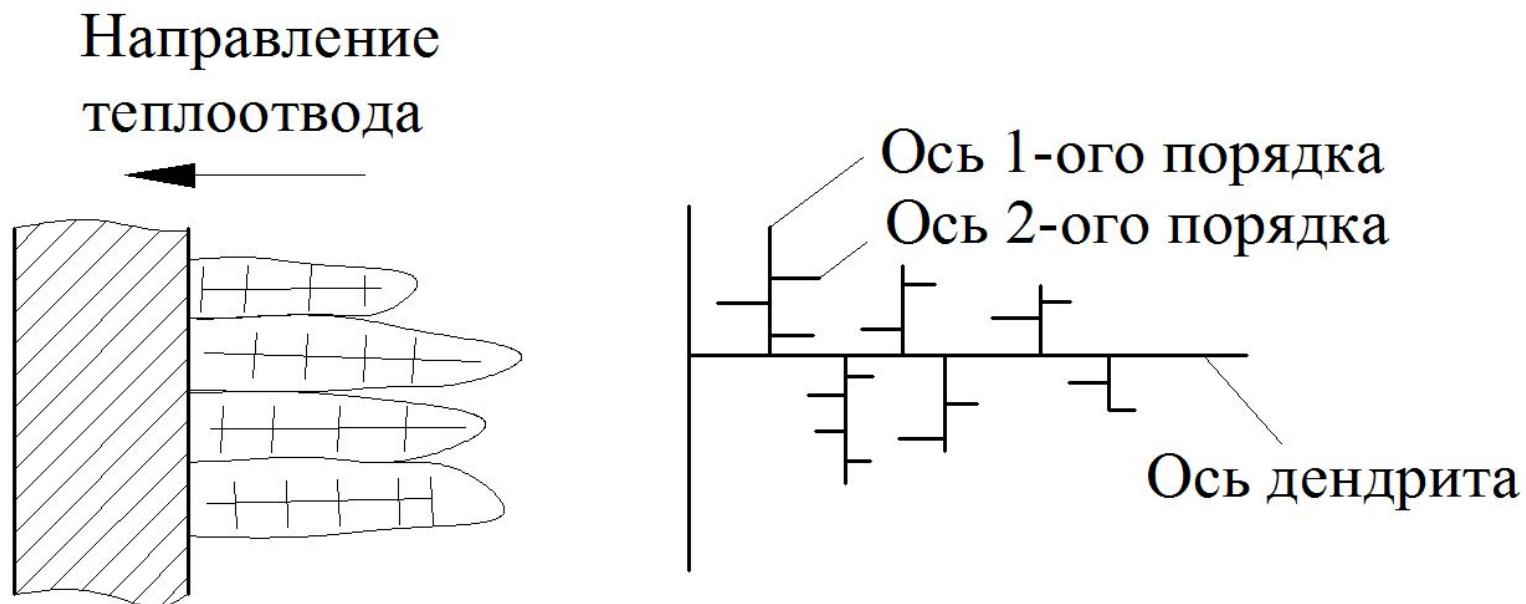
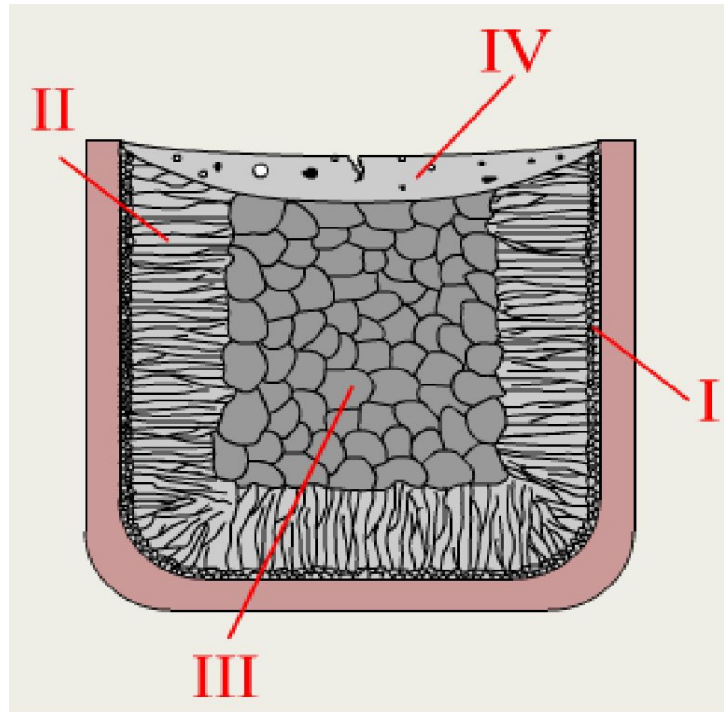


Схема роста зерен при наличии направленного теплоотвода и схематичное изображение дендрита

5. Строение металлического слитка



Зона I – зона мелкого зерна.

Зона II – зона столбчатых кристаллов.

Зона III – зона крупных равноосных кристаллов.

Зона IV – Дефектная часть слитка.