

*Лекция 2.*  
*Механические испытания материалов.*

# *1. Испытание на растяжение (ГОСТ 1497-84)*

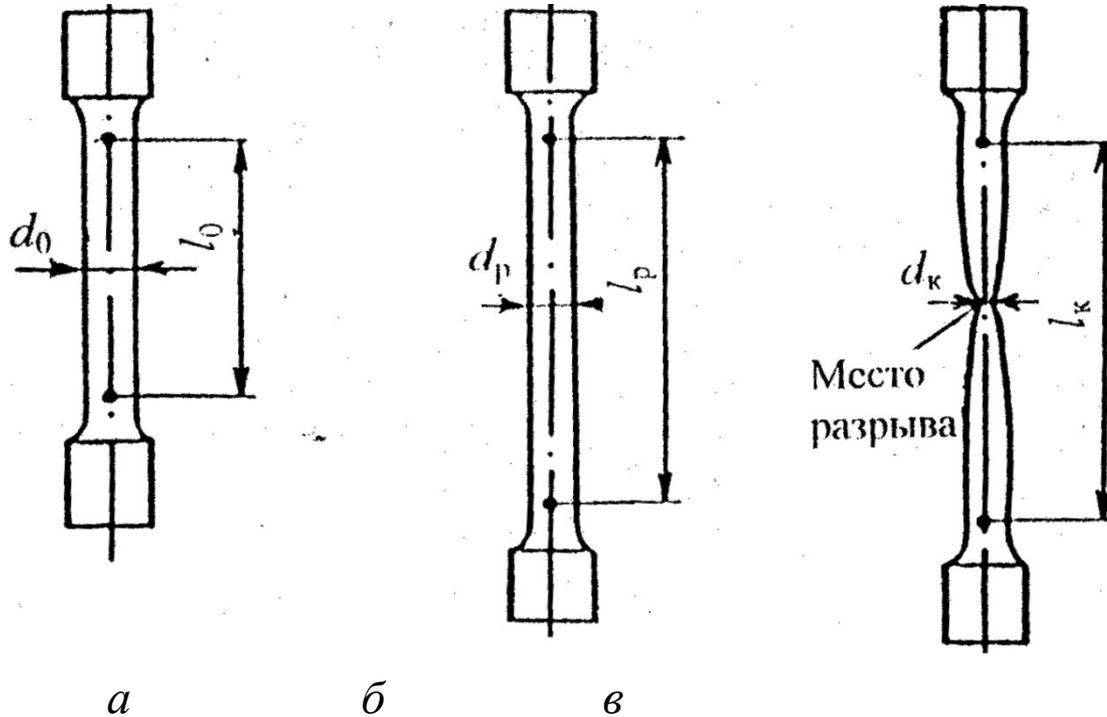
*Прочность* – свойство материалов в определённых условиях и пределах, не разрушаясь, воспринимать те или иные внешние воздействия.

*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)

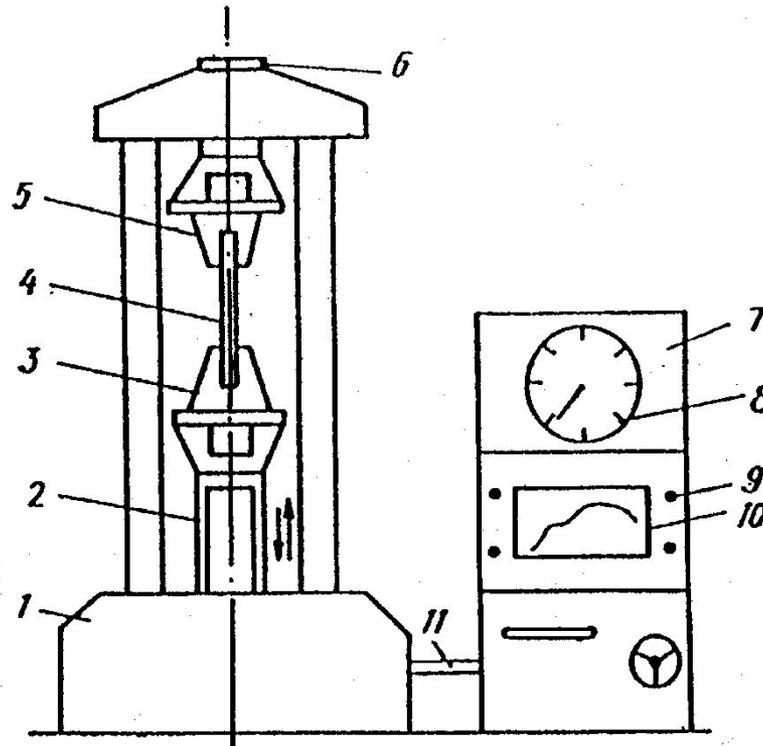
## Схемы цилиндрического образца на различных стадиях растяжения



- 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)

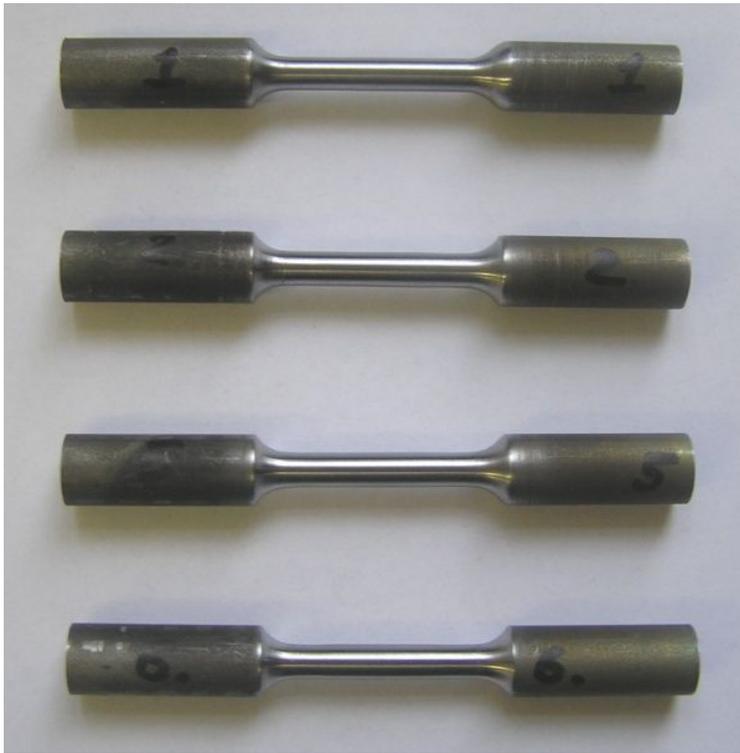
## Схема машины для испытания на растяжение



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

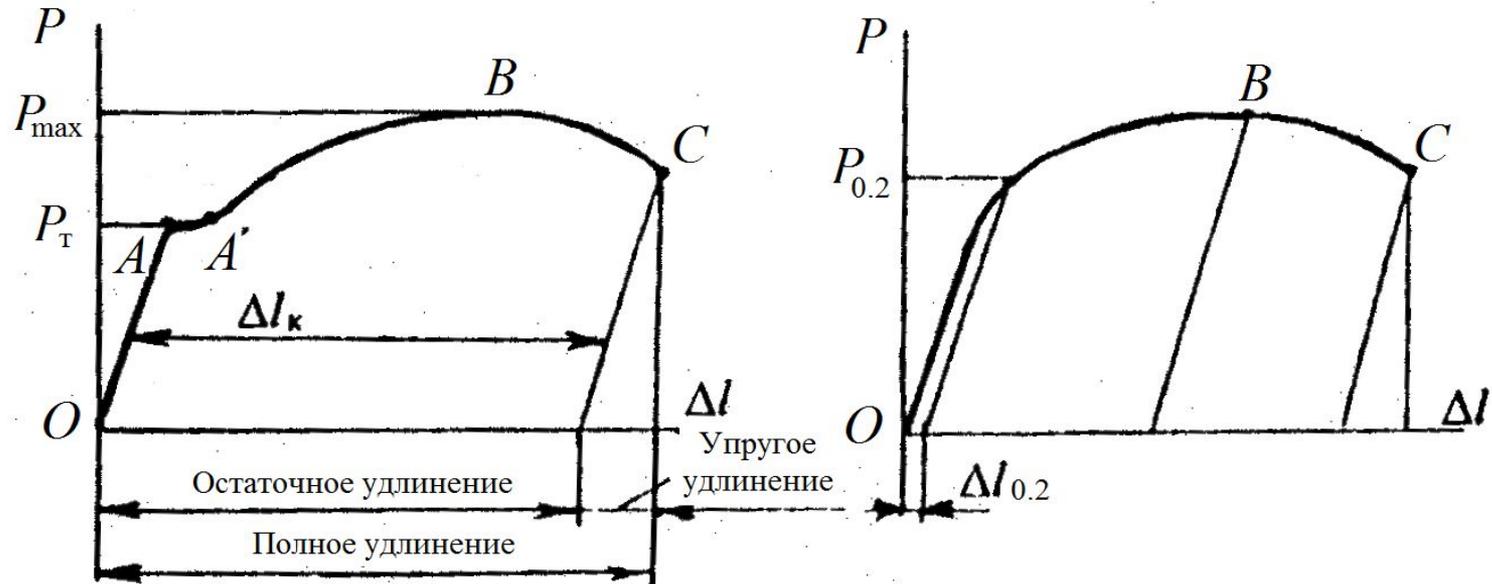
# 1. Испытание на растяжение (ГОСТ 1497-84)

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)	$\sigma_B = P_{max} / F_0$	

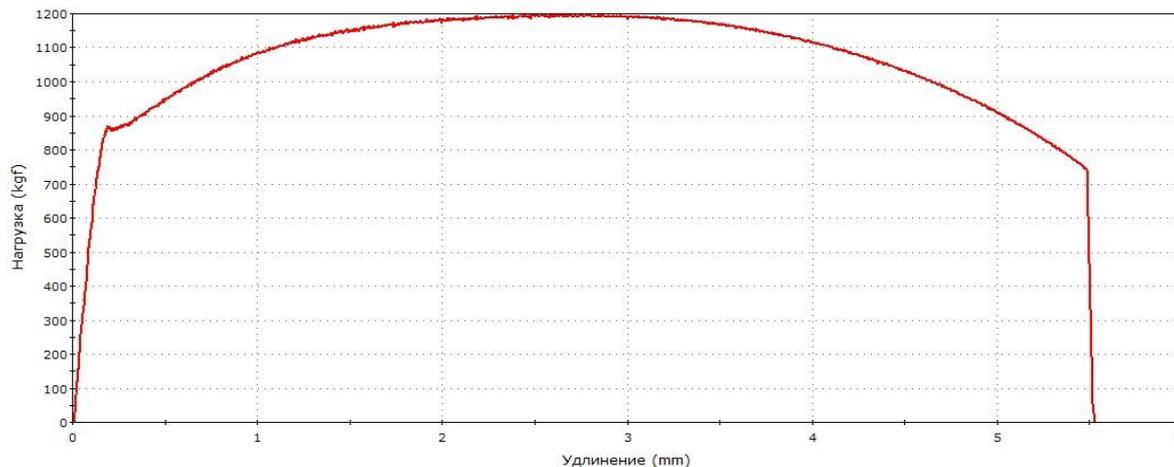
## Характеристики пластичности

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

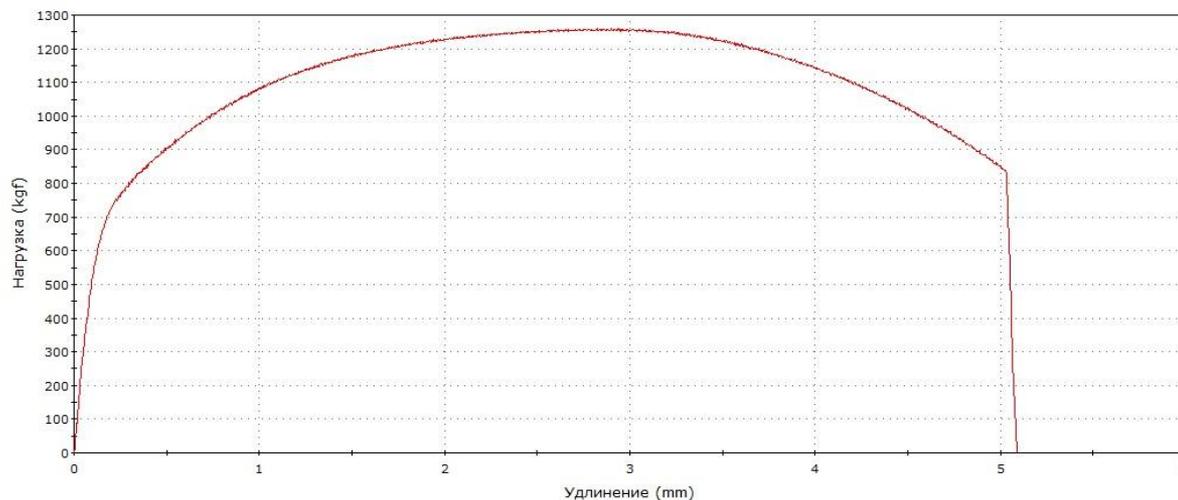
# 1. Испытание на растяжение (ГОСТ 1497-84)

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)

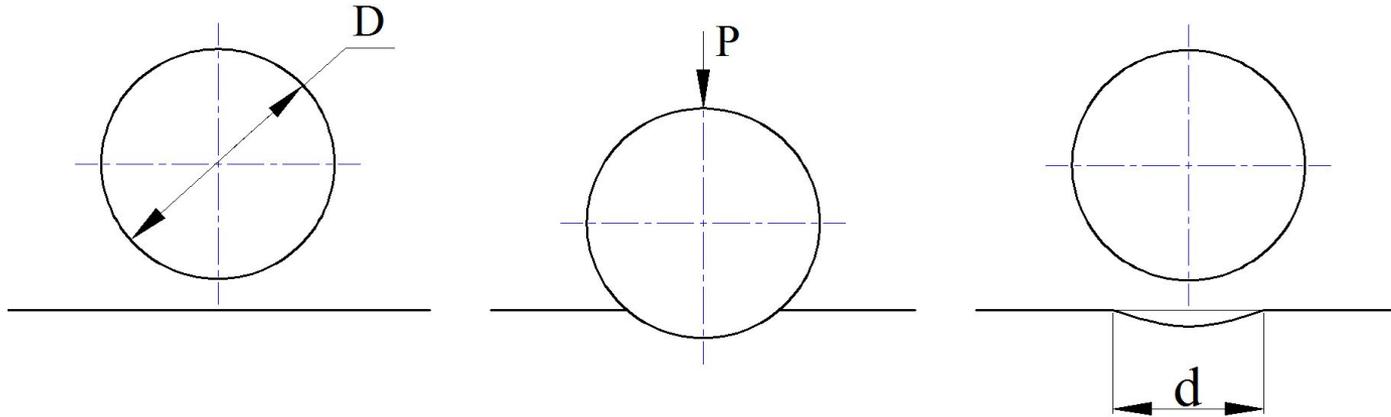
## Значения механических свойств некоторых металлов и сплавов, определенные растяжением цилиндрических образцов

Материал	$\sigma_T$ ( $\sigma_{0,2}$ ), МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_K$ , %	$\psi_K$ , %
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/мм<sup>2</sup>

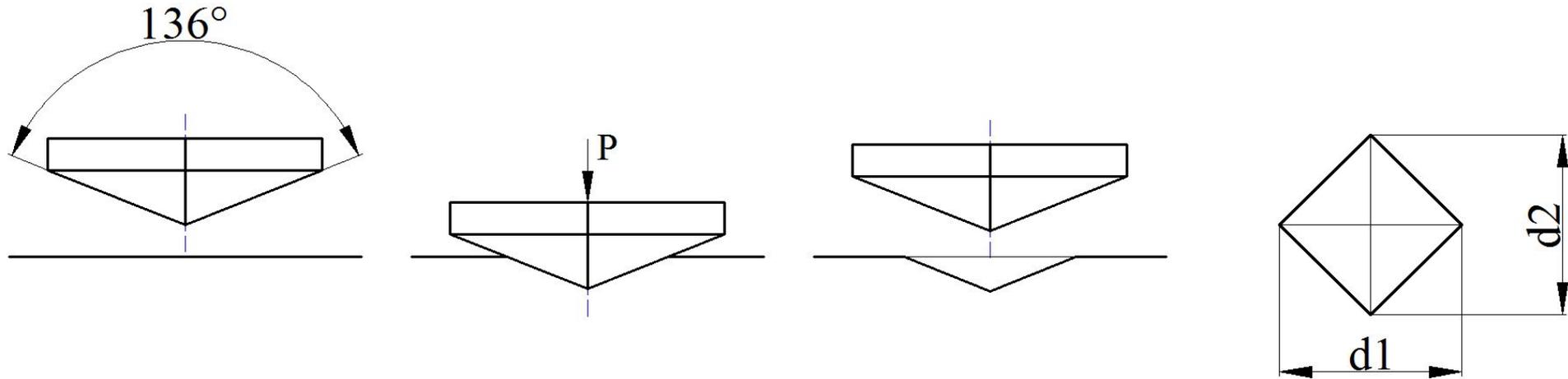
Диаметр  
индентора,  
мм

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:

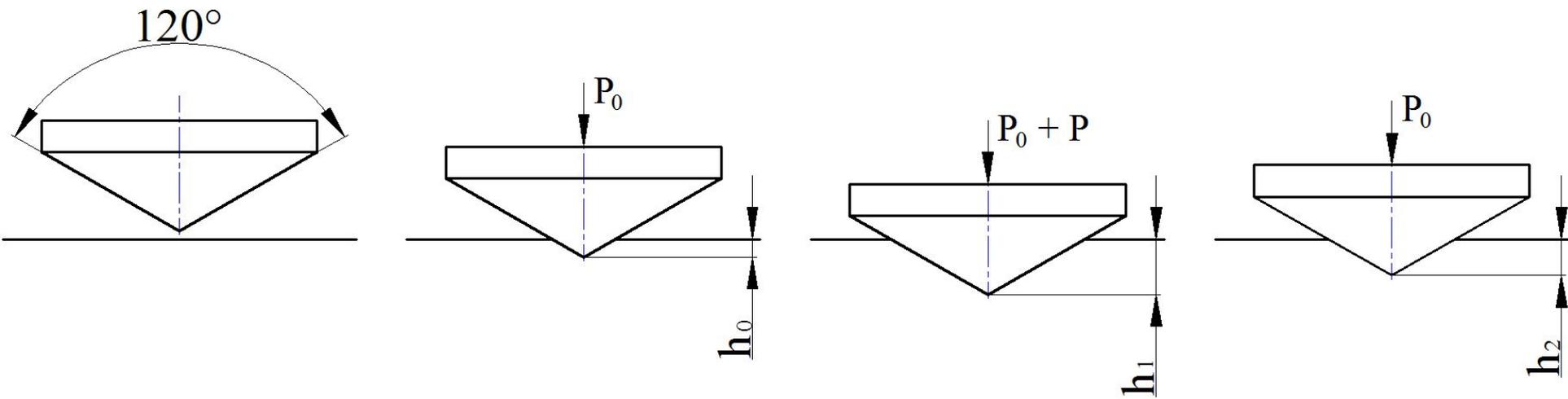
$$HV = \frac{P}{M} = \frac{P}{\left( \frac{d^2}{2 \sin(\alpha / 2)} \right)} \approx \frac{1,8544P}{d^2}.$$

135 HV 2/10

Твердость, кгс/мм<sup>2</sup>      Нагрузка, кгс      Время под нагрузкой, с

## 2. Испытания на твердость

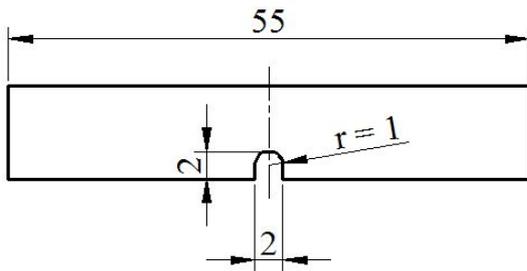
### Метод Роквелла (ГОСТ 9013–59)



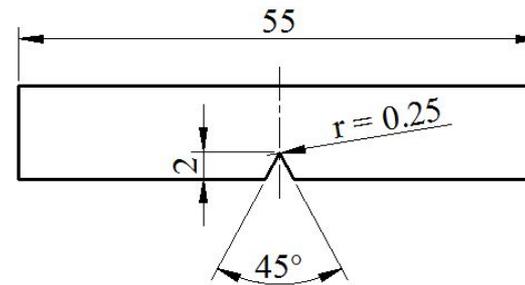
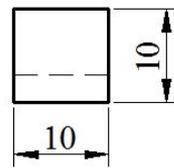
Шкала	Индентор	$P_0$ , кГс	$P$ , кГс	$P_{\text{общ}}$ , кГс	Формула расчета	Пример записи
A	конус	10	50	60	$HRA = 100 - (h_2 - h_1)/0,002$	61 HRA
B	шар $D = 1,588$ мм		90	100	$HRB = 130 - (h_2 - h_1)/0,002$	44 HRB
C	конус		140	150	$HRC = 100 - (h_2 - h_1)/0,002$	37 HRC

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

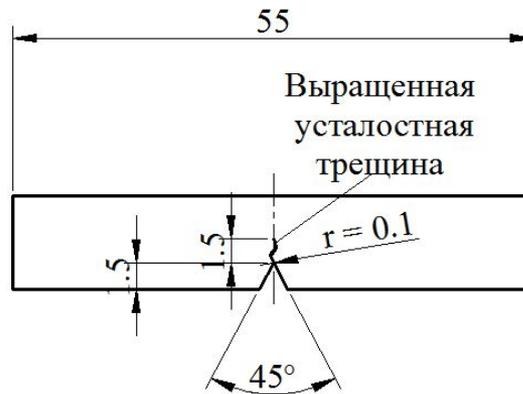
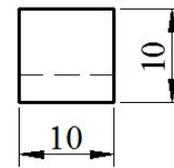
#### Схема образцов для испытаний на ударный изгиб



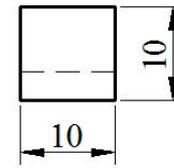
а



б



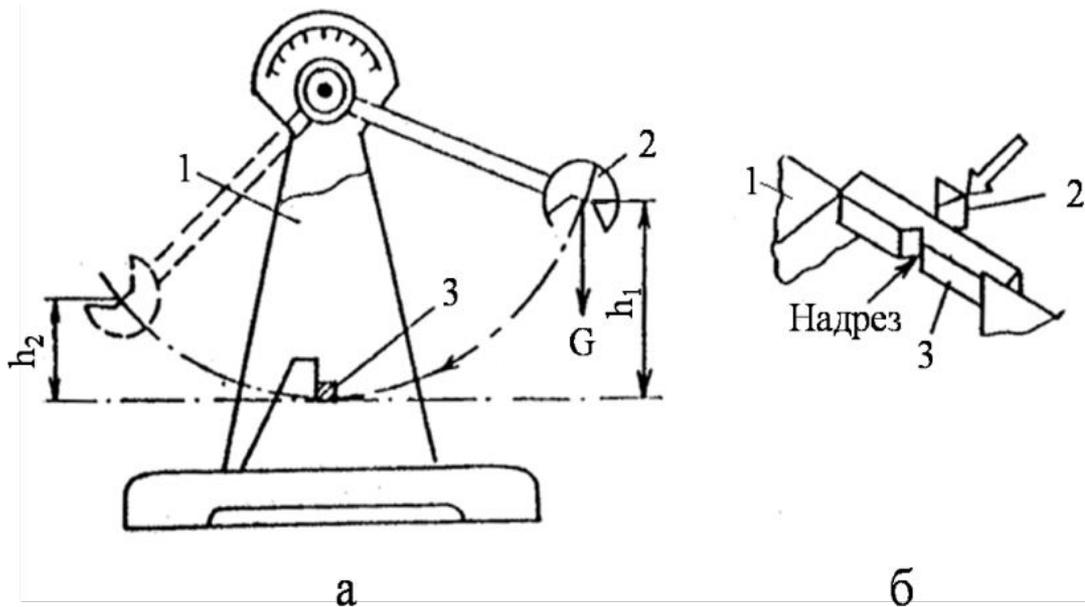
в



*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:

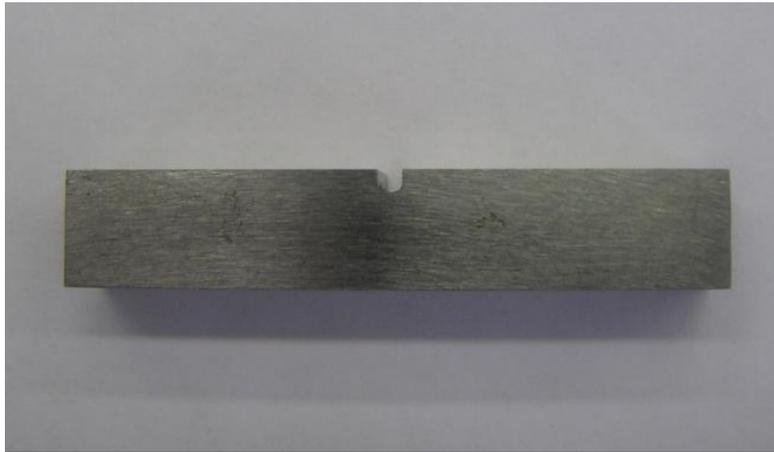
$$KCU, KCV, KCT = K/F$$

$F$  - площадь поперечного сечения образца в надрезе

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

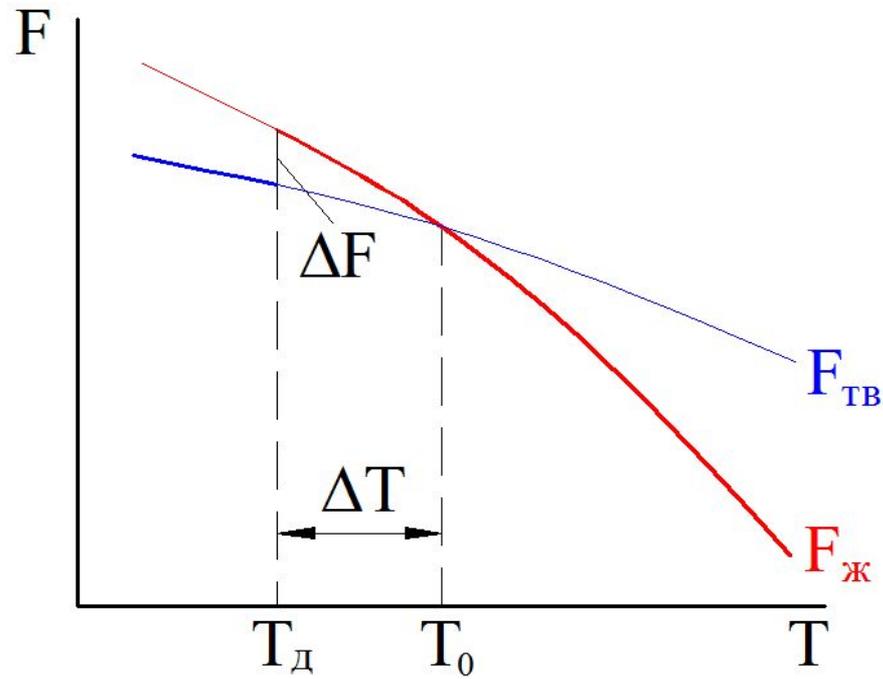
### *3. Испытания на ударную вязкость (ГОСТ 9454–78)*

**Образцы на ударный изгиб до и после испытаний**

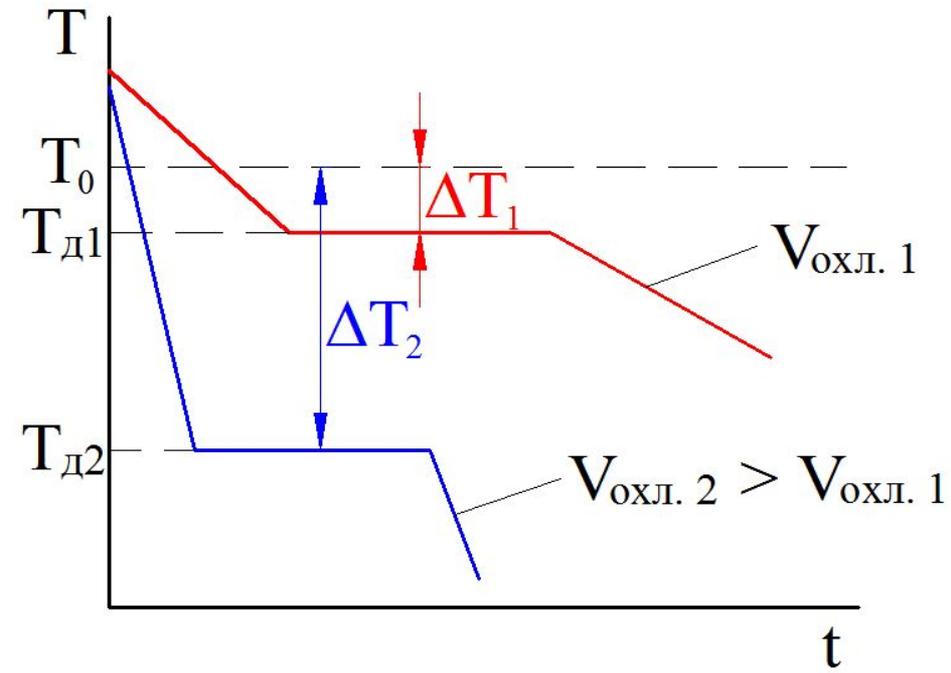


# *Основы теории кристаллизации*

# 1. Энергетические предпосылки процесса кристаллизации

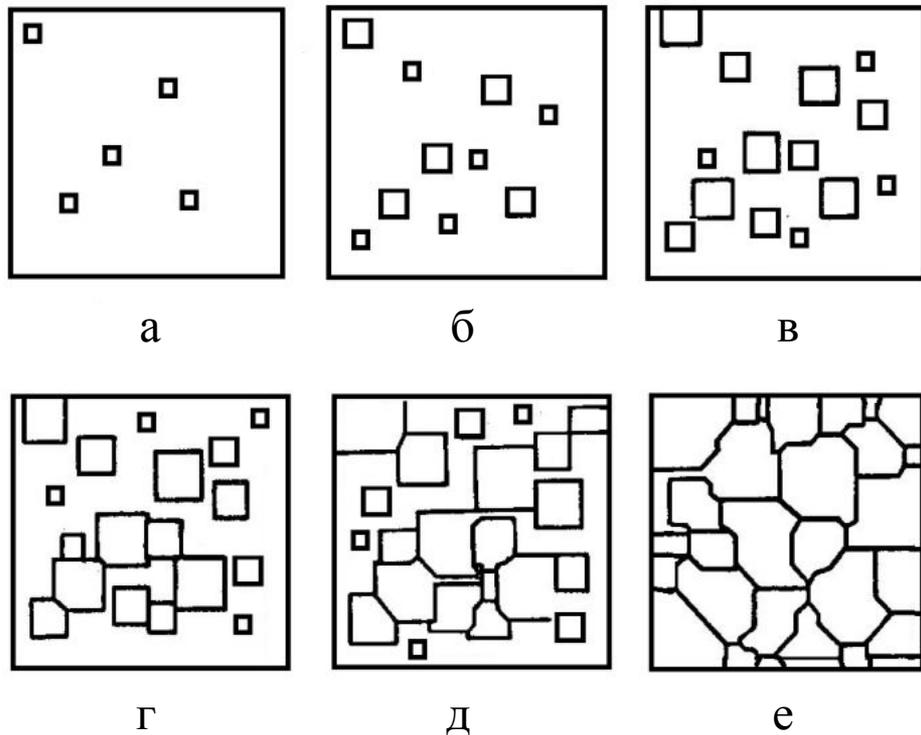


Изменение свободной энергии жидкого и твердого состояния в зависимости от температуры:  $T_0$  – равновесная (теоретическая) температура кристаллизации;  $T_{\text{д}}$  – действительная температура кристаллизации

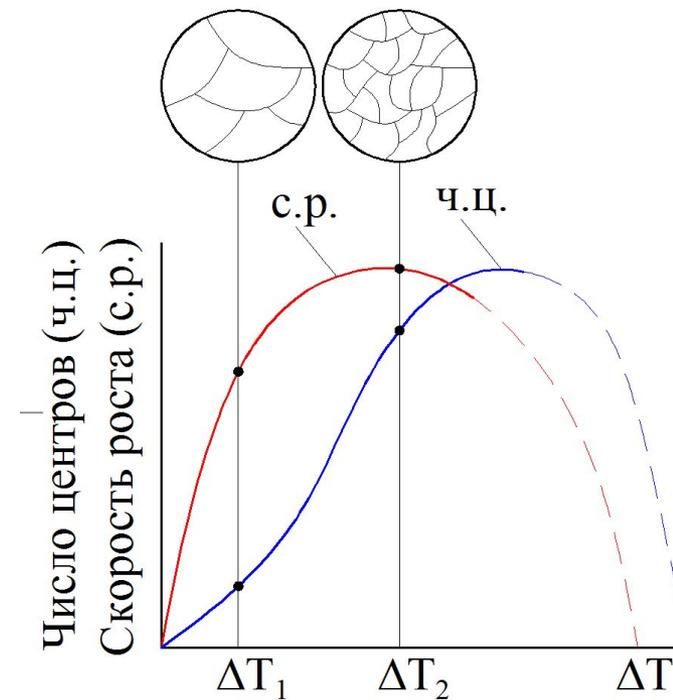


Влияние скорости охлаждения на действительную температуру кристаллизации:  $t$  – время

## 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: 
$$\sigma_T = \sigma_0 + K / \sqrt{D}$$

$\sigma_0$  – предел текучести монокристалла;  $K$  – константа для данного материала;  $D$  – средний размер зёрен.



## 4. Кристаллизация в условиях направленного теплоотвода

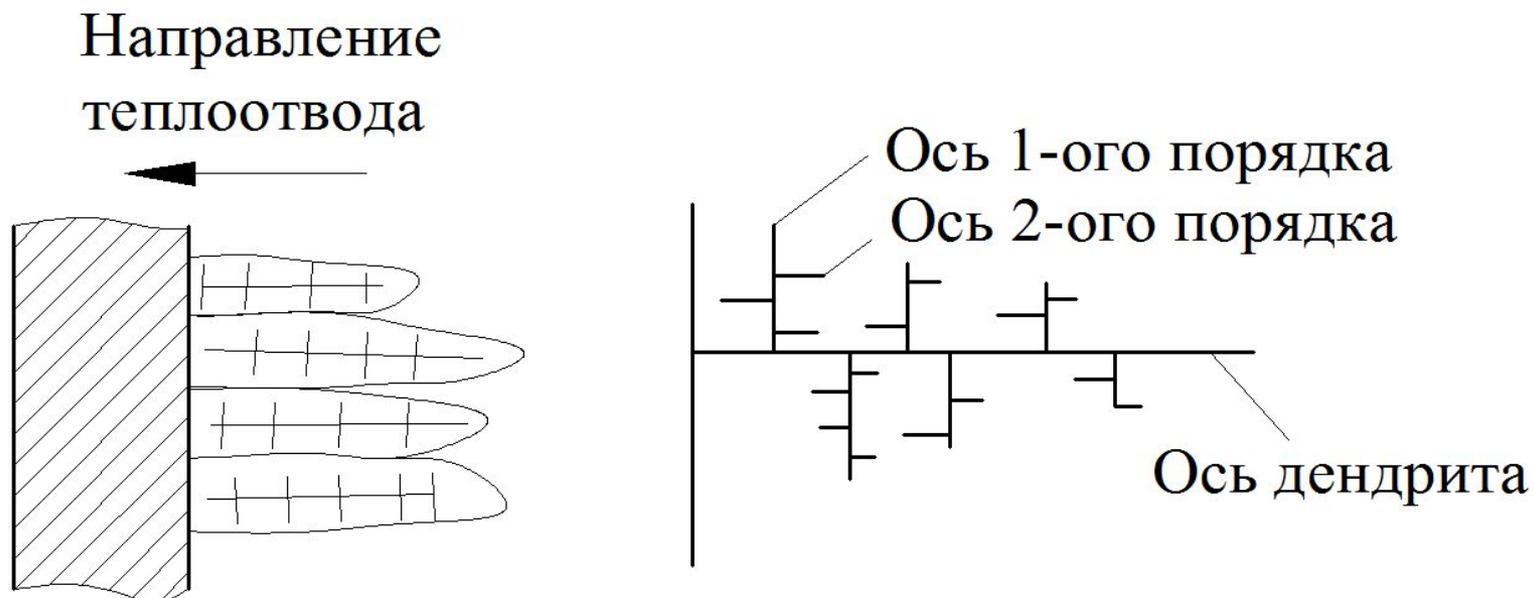
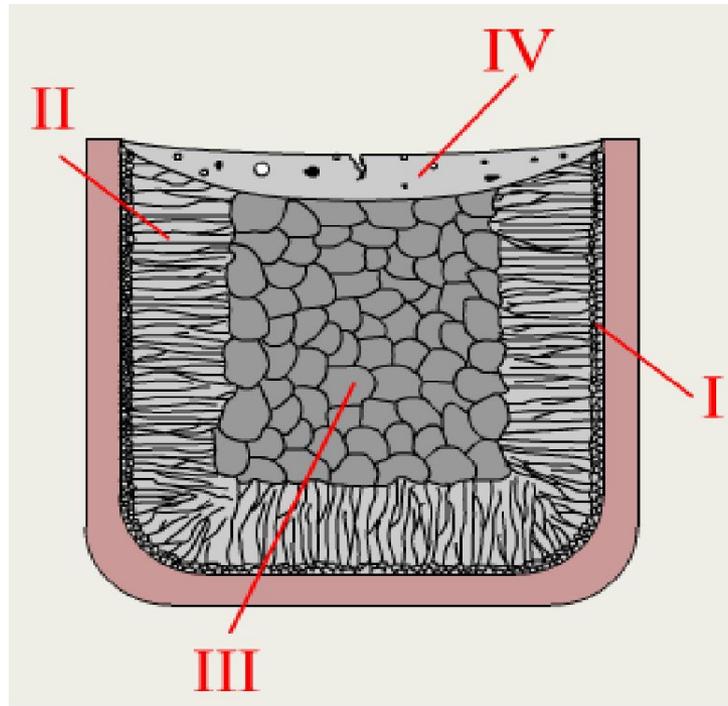


Схема роста зерен при наличии направленного теплоотвода и схематичное изображение дендрита

## 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.