

# ТВЕРДОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД И МЕТОДЫ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

# Твердость

## **статическая**

- Статическая твердость отражает сопротивление горных пород деформированию либо разрушению в поверхностном слое при местных силовых статических воздействиях.

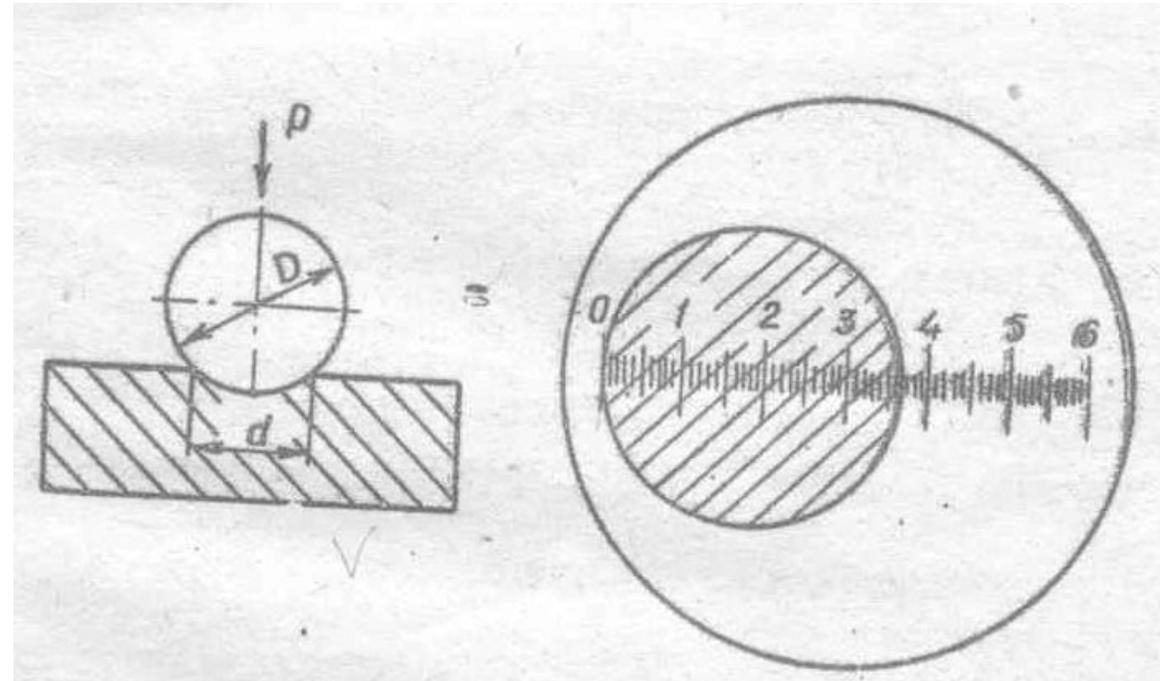
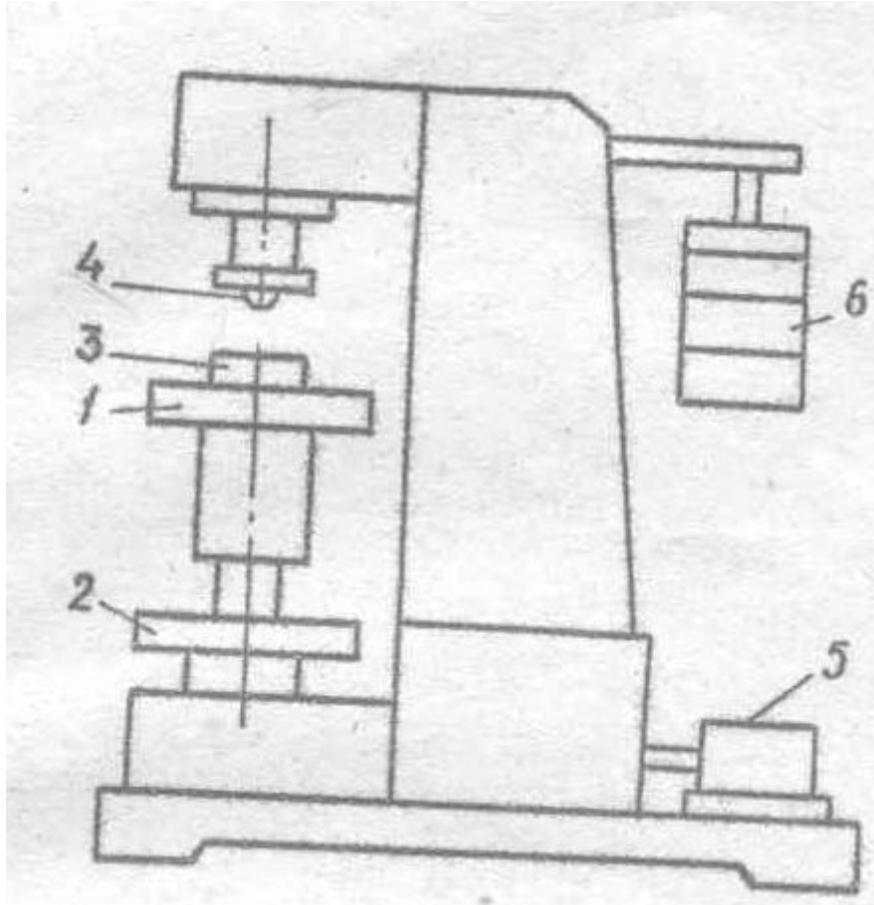
## **динамическая**

- Динамическая твердость определяется нанесением отпечатка шариком при ударной нагрузке или отскоку от испытуемого материала свободно падающего бойка или маятника с бойком.

# Статическая твердость горных пород определяется:

- Методом вдавливания штампа в образец горной породы с двумя плоско-параллельными шлифованными поверхностями, предложенным проф. Л. А. Шрейнером и др. [234].
- Метод вдавливания штампа в необработанную естественную поверхность образца горной породы, предложенным в ИГД им. А. А. Скочинского проф. Л. И. Бароном и др.
- Методом определения твердости сверлением на приборе ПТА, предложенным в ИГД им. А. А. Скочинского.
- Методом затухающих колебаний.
- Методом определения твердости по отпечатку пирамиды(Виккерс).
- Методом определения твердости по царапанию поверхности образца (Моос).
- Методом определения твердости по Роквеллу (металл).
- Методом определения твердости по Бринеллю (металл).

# ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ВДАВЛИВАНИЕМ ШАРИКА (ТВЕРДОСТЬ ПО БРИНЕЛЛУ)



# Число твердости по Бринеллю(НВ)

$$HB = P / A = 2P / D(D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

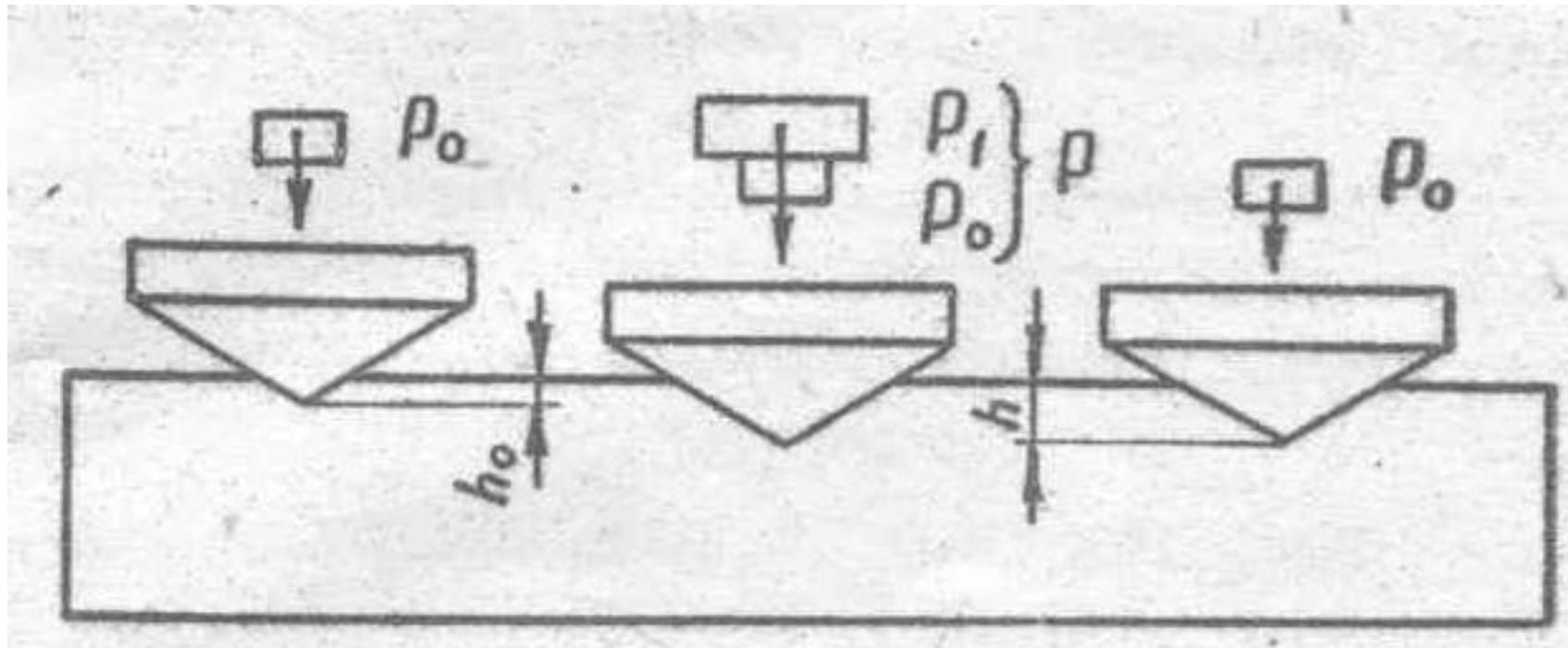
$A$  – площадь поверхности отпечатка, мм;

$D$  - диаметр вдавливаемого шарика, мм ;

$d$  - диаметр отпечатка, мм.

# ТВЕРДОСТЬ ПО РОКВЕЛЛУ (HR)

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ВДАВЛИВАНИЕМ  
АЛМАЗНОГО КОНУСА ИЛИ СТАЛЬНОГО ШАРИКА



$$HR = (k - (h - h_0)) / c$$

- где  $h_0$  - глубина внедрения наконечника под действием силы  $P_0$ ;
- $h$  - глубина внедрения наконечника под действием общей
- нагрузки  $P$ ;
- $k$  - постоянная величина, для шарика 0,26; для конуса 0,2;
- $c$  - цена деления циферблата индикатора.

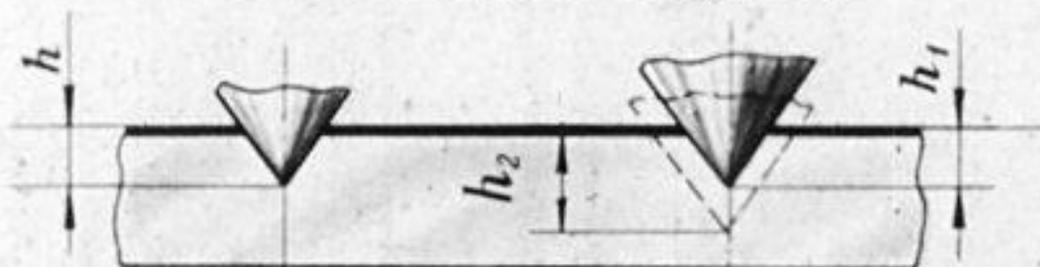
# Твердость на приборе Роквелла можно измерять:

- 1) алмазным конусом с общей нагрузкой 1500 Н (150 кГс). В этом случае значение твердости определяют по черной шкале “С” индикатора и обозначают HRC. Эта шкала применяется при испытании закаленных сталей (до HRC 67);
- 2) алмазным конусом с общей нагрузкой 600 Н (60 кГс). В этом случае значения твердости также определяются по черной шкале “С”, но обозначают HRA. Числа HRA можно перевести на числа HRC по формуле:  $HRC = 2 HRA - 104$ . Эта шкала применяется для испытания сверхтвердых сплавов (например на основе карбидов вольфрама, обладающих твердостью  $HRC > 68$ ), тонкого листового материала и для измерения твердости тонких поверхностных слоев (0,3-0,5 мм);
- 3) стальным шариком с общей нагрузкой 1000 Н (100 кГс).

В этом случае значения твердости определяют по красной шкале “В” и обозначают HRB. Шкала В служит для испытания металлов средней твердости и для испытания изделия толщиной от 0,8 до 2 мм.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО РОКВЕЛЛУ

Схемы контроля твердости:



Алмазным конусом



Стальным шариком

Шкала прибора



## ВЫБОР ШКАЛЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТВЕРДОСТИ ПО РОКВЕЛЛУ

Примерная твердость по Бринелю	Обозначение шкалы Роквелла	Вид наконечника	Нагрузка в кг.	Обозначение твердости	Допустимые пределы шкалы
60 - 230	B	Стальной шарик	100	HRB	25 - 100
230 - 700	C	Алмазный конус	150	HRC	20 - 67
свыше 700	A	Алмазный конус	60	HRA	свыше 70

## Твердомер Роквелла ТК-2



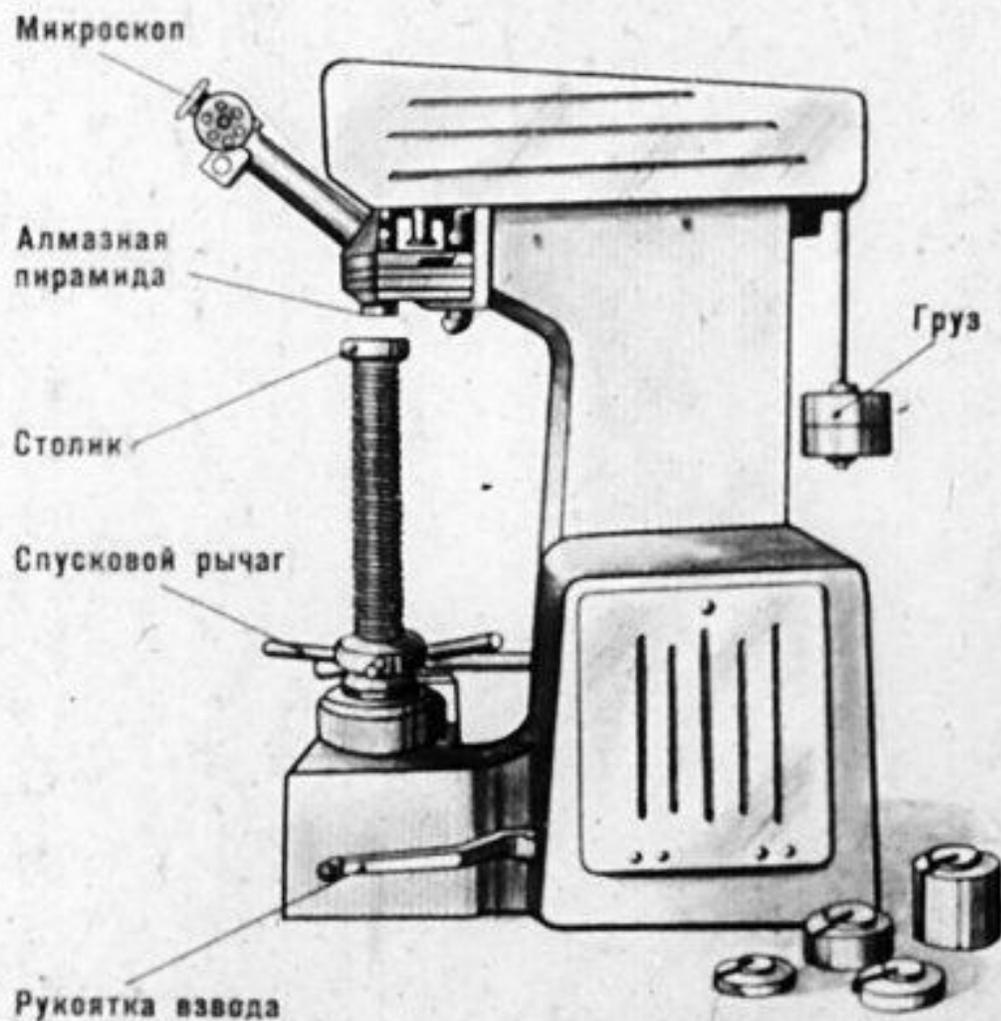
Техническая характеристика:  
Шкала «А» для очень твёрдых материалов HRA 70-85  
Шкала «В» для мягких материалов HRB 25-100  
Шкала «С» для материалов средней твёрдости HRC 25-67

1 – предметный столик;  
2 – оправка с индентором;  
3 – грузы; 4 – маховик;  
5 – барабан; 6 – клавиша;  
7 – индикатор со стрелками.

# ТВЕРДОСТЬ ПО ВИККЕРСУ

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ВДАВЛИВАНИЯ  
АЛМАЗНОЙ ПИРАМИДЫ

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО ВИККЕРСУ



Прибор Виккерса

## Шкала оптического прибора



## Твердость по Виккерсу

$$HV = 1,8544 \frac{P}{d^2} \text{ кг/мм}^2,$$

где  $P$  - нагрузка в кг;

$d$  - среднеарифметические длины обеих диагоналей отпечатка в мм.

26. Сравнение чисел твердости металлов и сплавов по различным шкалам

Виккерс HV	Бринелль HB	Роквелл HRB	$\sigma_B$ , МПа	Виккерс HV	Бринелль HB	Роквелл HRC	$\sigma_B$ , МПа
100	100	52,4	333	245	245	21,2	815
105	105	57,5	350	250	250	22,1	835
110	110	60,9	362	255	255	23,0	855
115	115	64,1	382	260	260	23,9	865
120	120	67,0	402	265	265	24,8	880
125	125	69,8	410	270	270	25,6	900
130	130	72,4	430	275	275	26,4	910
135	135	74,7	450	280	280	27,2	930
140	140	76,6	470	285	285	28,0	950
145	145	78,3	480	290	290	28,8	970
150	150	79,9	500	295	295	29,5	980
155	155	81,4	520	300	300	30,2	1000
160	160	82,8	530	310	310	31,6	1030
165	165	84,2	550	320	319	33,0	1060
170	170	85,6	565	330	328	34,2	1090
175	175	87,0	580	340	336	35,3	1120
180	180	88,3	600	350	344	36,3	1150
185	185	89,5	620	360	352	37,2	1180
190	190	90,6	640	370	360	38,1	1200
195	195	91,7	650	380	368	38,9	1230
200	200	92,8	665	390	376	39,7	1260
205	205	93,8	685	400	384	40,5	1290
210	210	94,8	695	410	392	41,3	1305
215	215	95,7	715	420	400	42,1	1335
220	220	96,6	735	430	408	42,9	1365
225	225	97,5	745	440	416	43,7	1385
230	230	98,4	765	450	425	44,5	1410
235	235	99,2	785	460	434	45,3	1440
240	240	100,0	795	470	443	46,1	1480

# Динамическая твердость горных пород определяется:

- Методом нанесения отпечатка шариком при ударной нагрузке.
- Методом выстрела.
- Методом определения динамической твердости по отскоку на приборе Шора.
- Методом определения динамической твердости молотком Шмидта.
- Методом определения твердости ударником ДорНИИ.

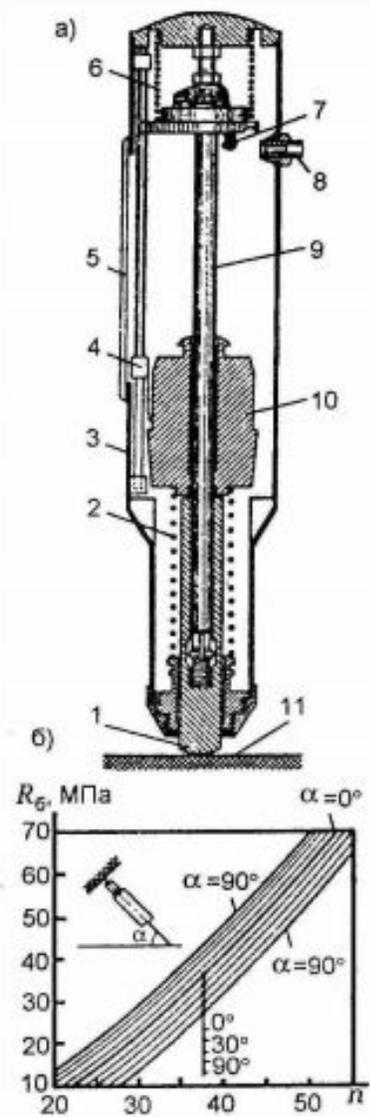
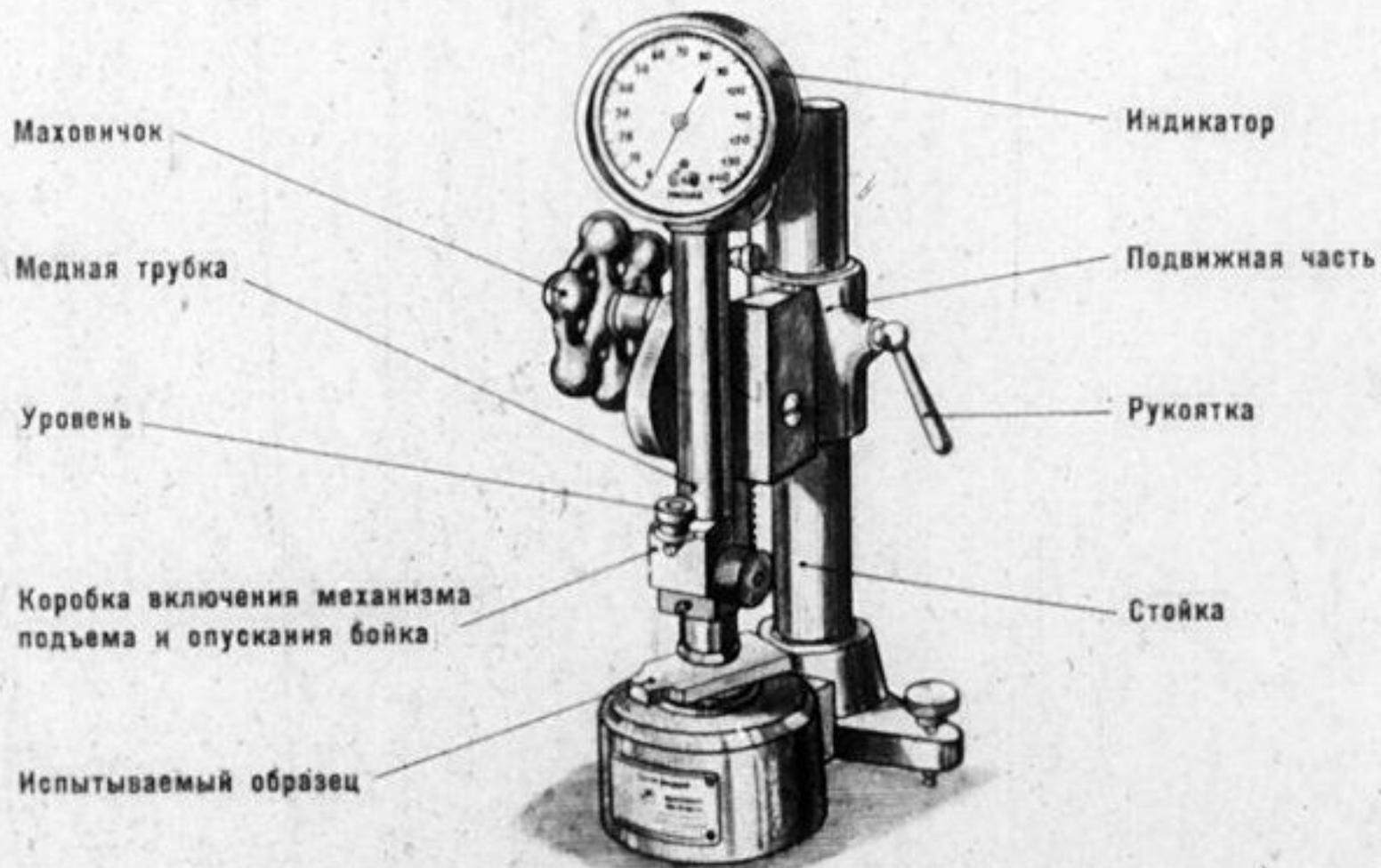


Рисунок 2- Испытание молотком Шмидта: а) схема молотка; 1- ударник; 2- возвратная пружина; 3- корпус; 4- указатели высоты отскока бойка; 5- измерительное устройство; 6- пружина; 7- защелка; 8- спусковая кнопка; 9- шток; 10- боёк; 11- образец бетона; б) градуировочные кривые; п- показания прибора.

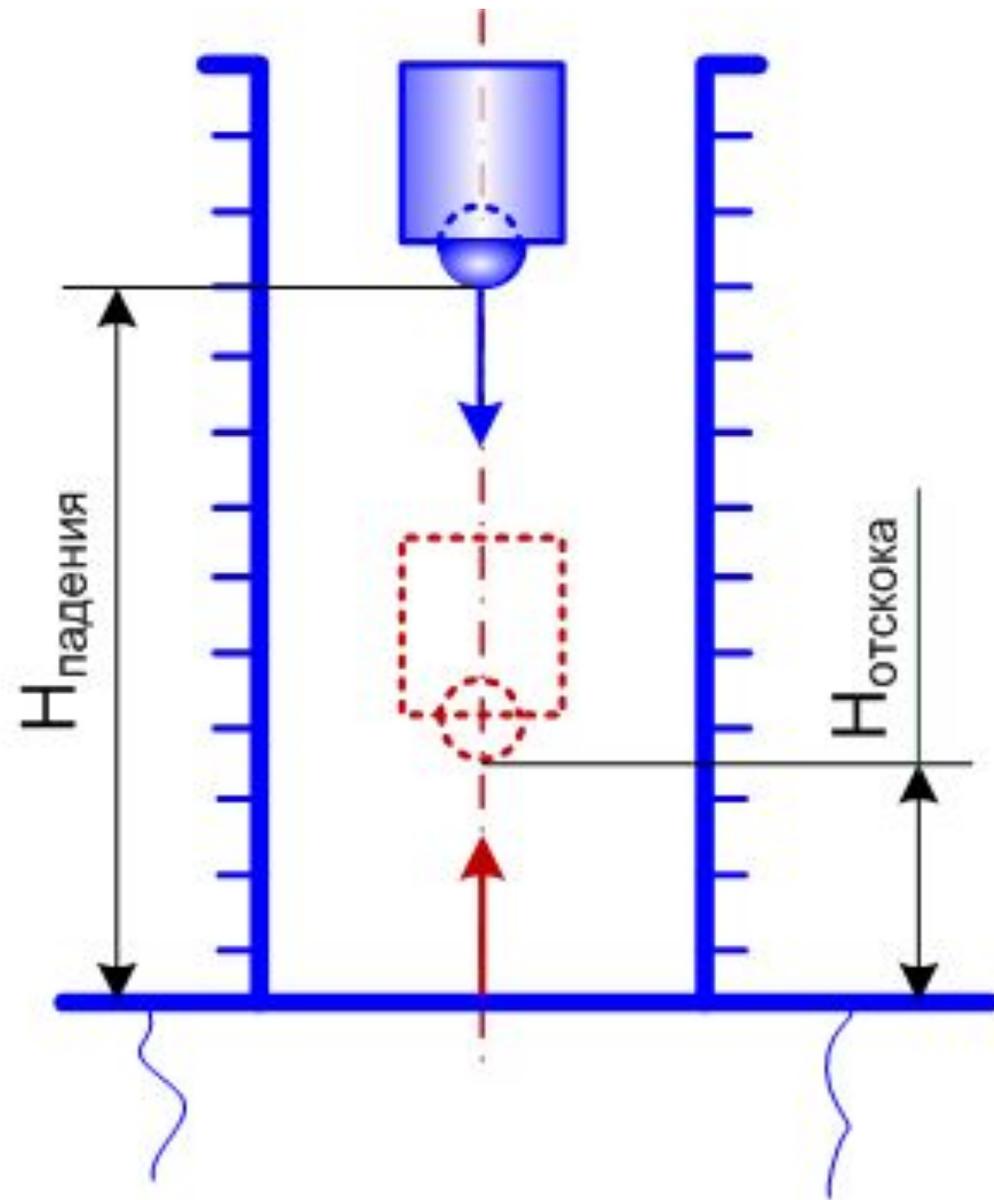
## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ УПРУГОЙ ОТДАЧИ (МЕТОД ШОРА)



Вес бойка-2,5 г. Число делений шкалы-140.  
Высота отскока отсчитывается по шкале и указывает твердость.



a)



б)

Показатель динамической твердости вычисляется по формуле

$$H_{\text{д}} = \frac{Gh}{V_{\text{отп}}}, \quad (102)$$

где  $G$  — вес бойка,  $\text{кГ}$ ;

$h$  — высота подъема бойка,  $\text{м}$ ;

$V_{\text{отп}}$  — объем полученной лунки,  $\text{см}^3$ .

# Контактная прочность

Величина контактной прочности определяется по формуле

$$p_{\text{к}} = \frac{\sum^n P}{nS}, \text{ кг/мм}^2 \quad (100)$$

где  $p_{\text{к}}$  — контактная прочность, кг/мм<sup>2</sup>;  
 $P$  — нагрузка в момент выкола лунки, кг;  
 $n$  — число опытов на одном образце породы;  
 $S$  — площадь штампа, мм<sup>2</sup>.

Связь между контактной прочностью и твердостью по штампу выражается эмпирической зависимостью

$$p_{\text{к}} \cong 0,62p_{\text{ш}}. \quad (101)$$

$\sigma_{сж}, \text{кг/см}^2$

