

Механические свойства

Механические свойства металлов и сплавов

Прочность

Твёрдость

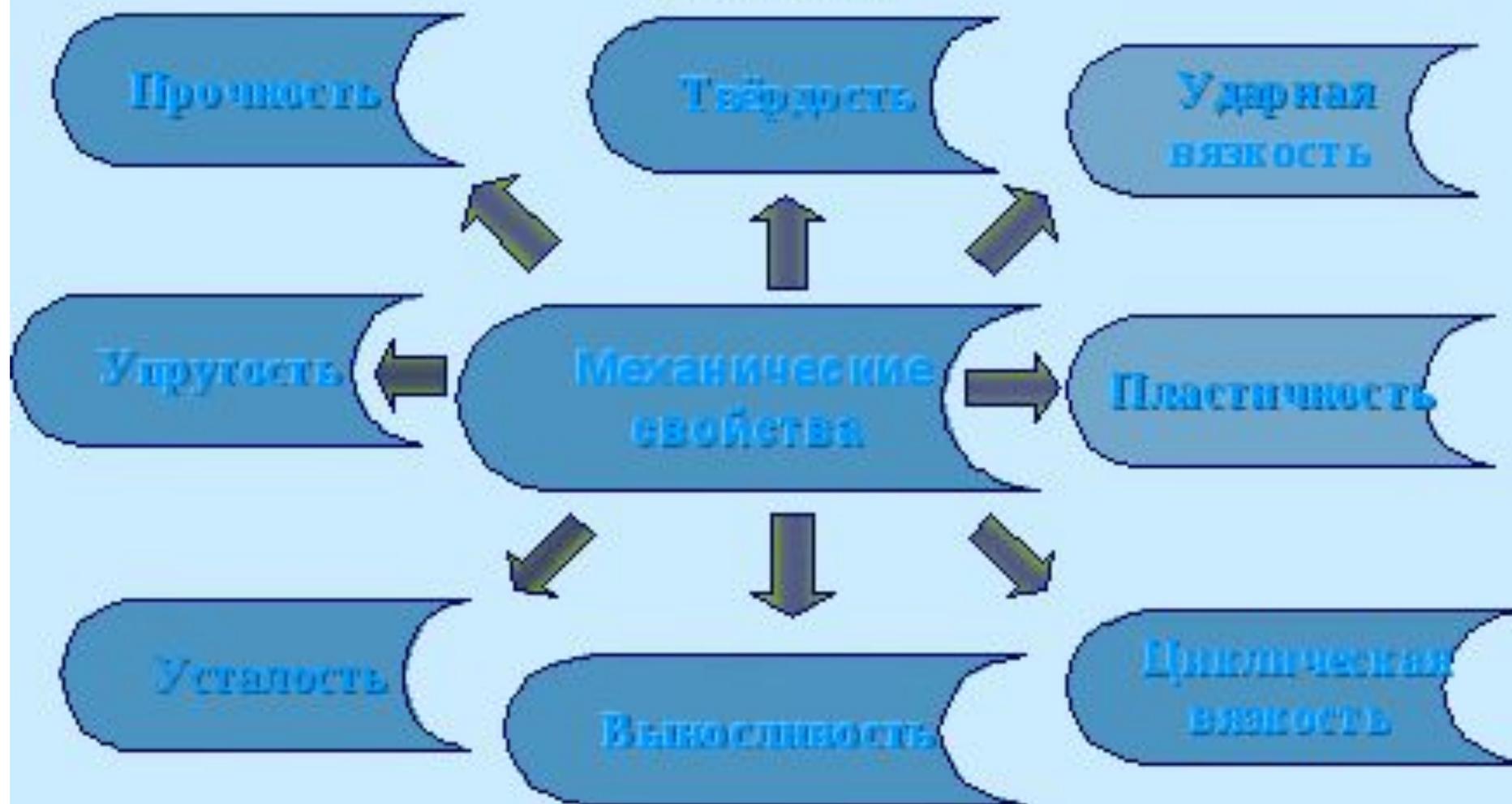
Упругость

Вязкость

Хрупкость

Пластичность

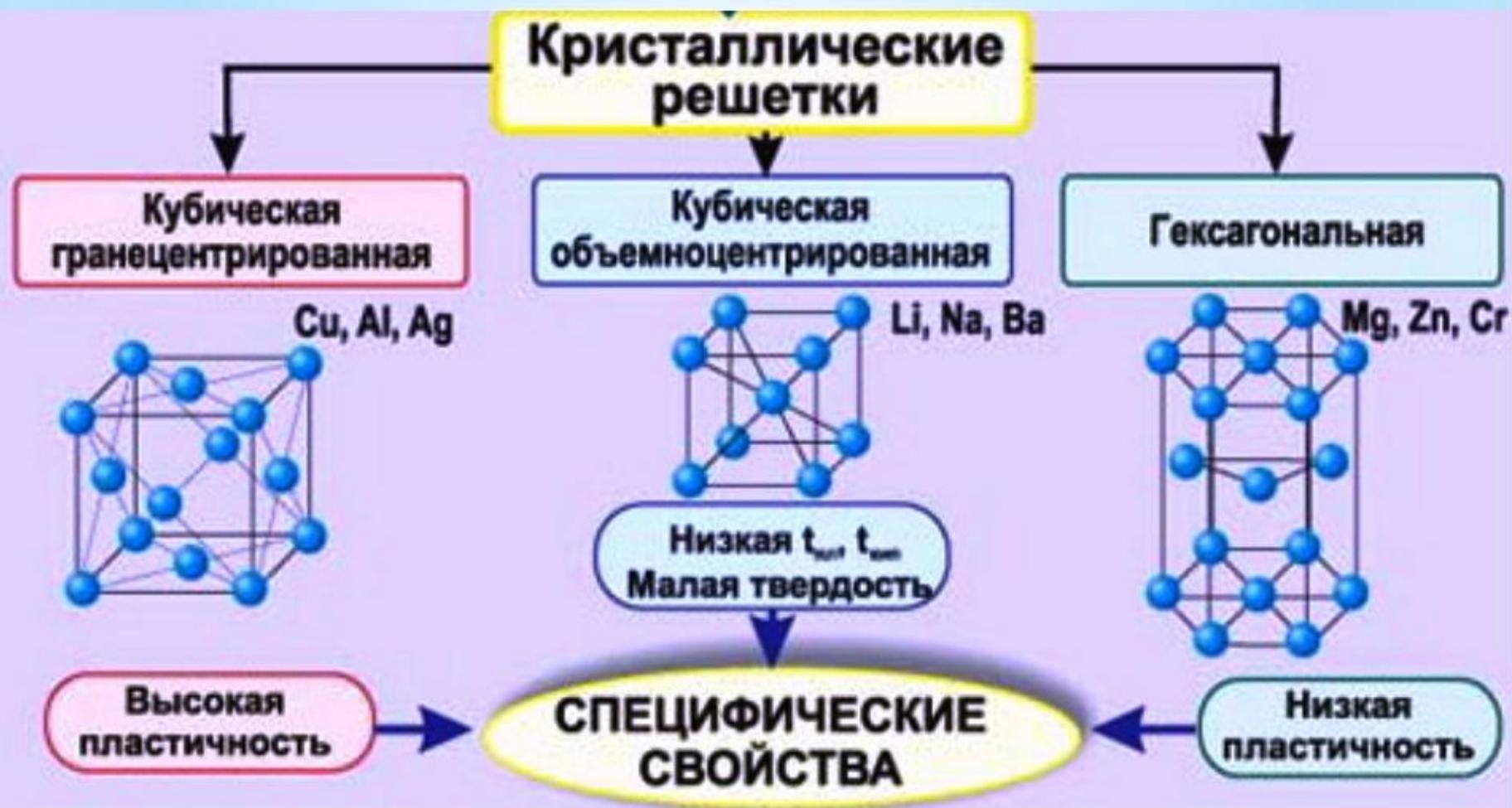
Механические свойства характеризуют способность металлов и сплавов сопротивляться внешним нагрузкам



Механические свойства

Свойства	Определение
Прочность	Способность материалов выдерживать нагрузки без разрушения.
Твёрдость	Способность материалов сопротивляться проникновению других, более твёрдых тел.
Упругость	Способность материалов восстанавливать первоначальную форму после прекращения действия внешних сил.
Вязкость	Способность материалов необратимо поглощать энергию при мгновенном на них воздействии.
Хрупкость	Способность металлов и сплавов разрушаться под действием ударных нагрузок. Хрупкость – свойство, обратное вязкости.
Пластичность	Способность металлов и сплавов изменять свою форму и размеры под действием внешних сил, не разрушаясь, и оставаться в этом состоянии после прекращения действия этих сил.

Зависимость физических свойств металлов от строения кристаллической решётки



Твердость материалов

Свойство материала – это его отклик на внешнее воздействие.

Механические свойства.

Твердость – способность одного тела противостоять проникновению в него другого тела.



Юхан Август Бринелль
(1849 – 1925),
шведский инженер.

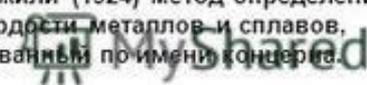
Предложил (1900) метод определения твердости металлов и сплавов, названный его именем.

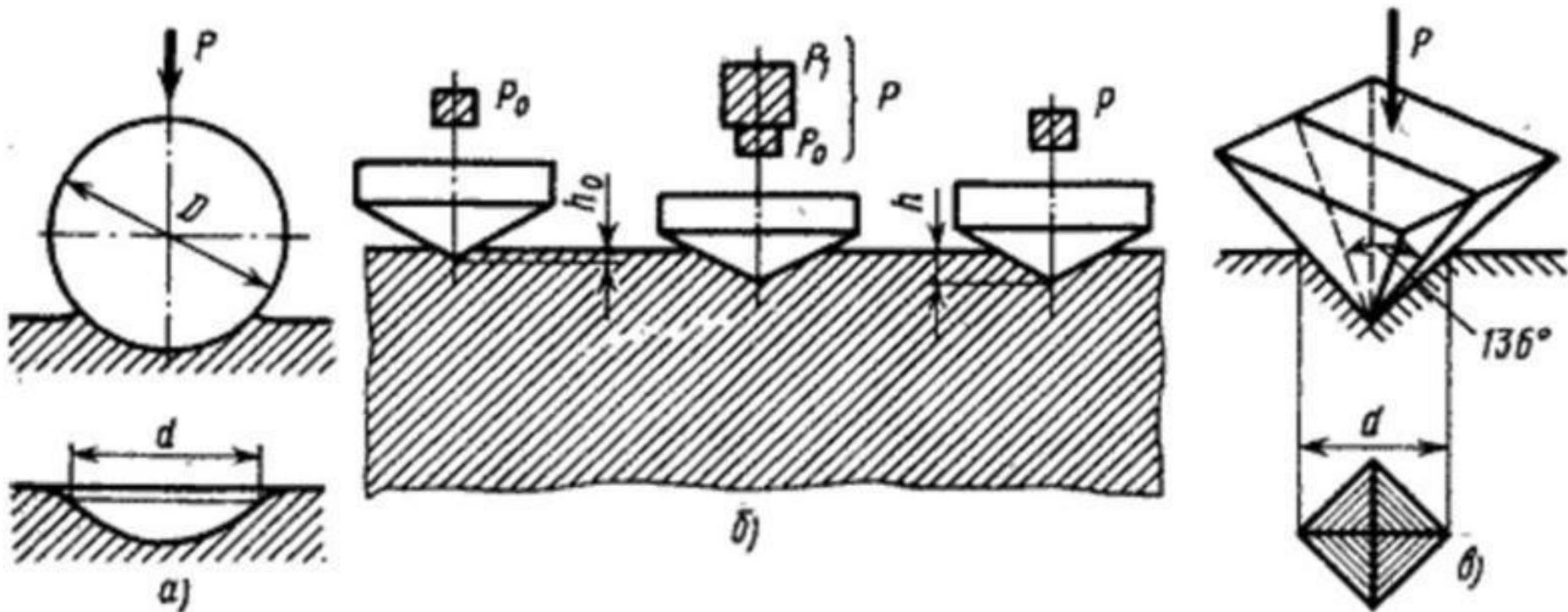
Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немислима без меры.
Д. И. Менделеев

Хью М. Роквелл (1890 – 1957),
Стэнли П. Роквелл (1886 – 1940),
американские инженеры
(не прямые родственники).

Предложили (1914) метод определения твердости металлов и сплавов, названный их именем.

Smith и Sandland – инженеры
английского военно-промышленного
концерна Vickers Ltd
предложили (1924) метод определения
твердости металлов и сплавов,
названный по имени концерна.





Схемы определения твердости: а – по Бринеллю; б – по Роквеллу;
в – по Виккерсу

Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012)

Индентор - стальной закаленный шарик диаметром D 2,5; 5; 10 мм.

Нагрузка P , в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости: для термически обработанной стали и чугуна $P = 30D^2$

литой бронзы и латуни – $P = 10D^2$

алюминия и других очень мягких металлов $P = 2,5D^2$

Продолжительность выдержки

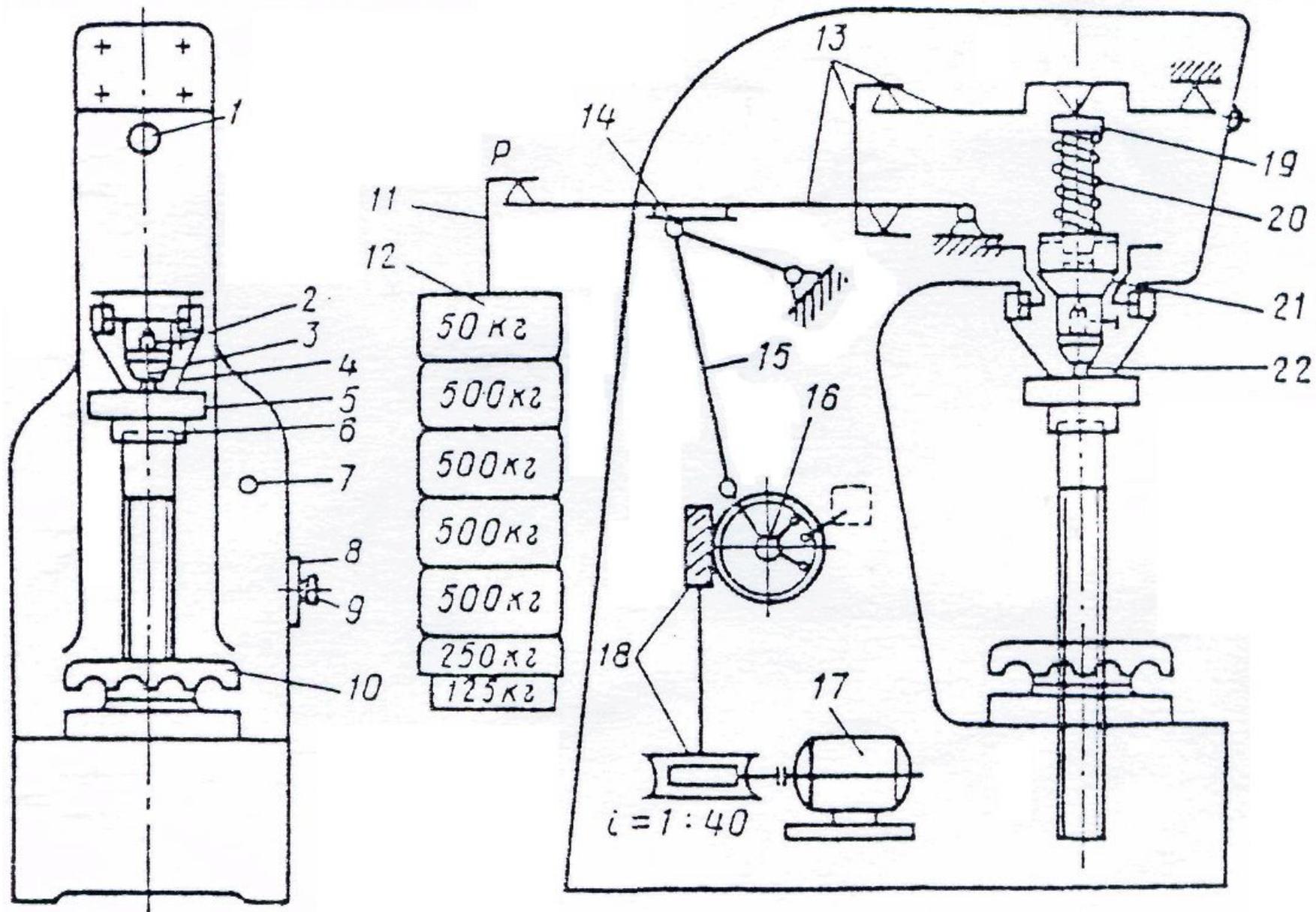
для стали и чугуна – 10 с, для латуни и бронзы – 30 с.

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

Стандартными условиями являются $D = 10$ мм; $P = 3000$ кгс;

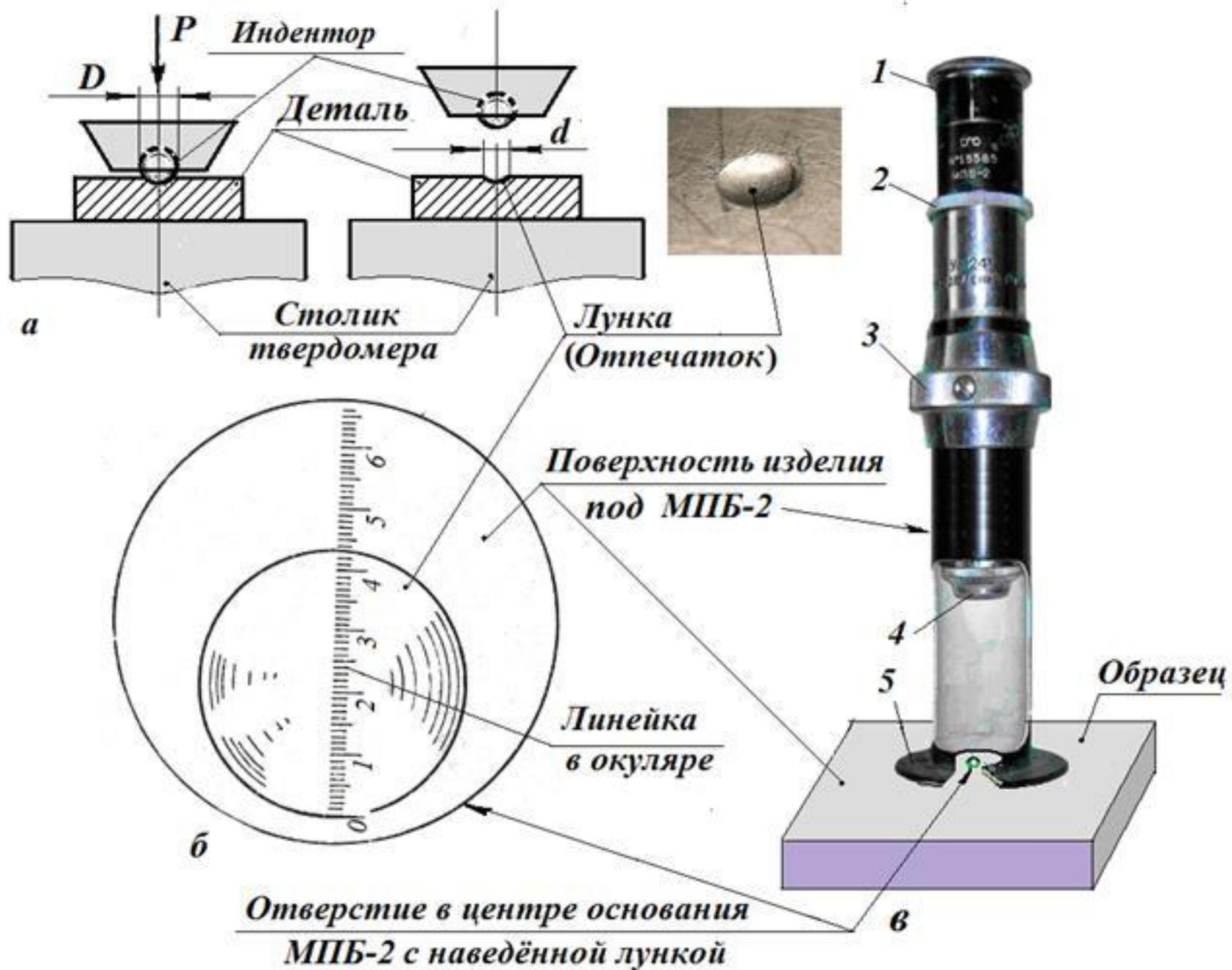
$\tau = 10$ с. В этом случае твердость по Бринеллю обозначается HB 250, в других случаях указываются условия: HB $D / P / \tau$

HB 5/ 250 /30 – 80.





Металлы	Твердость НВ, кгс/кв.мм	Толщина образца, мм	Соотношение между Р и D ²	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка Р, кгс	Выдержка под нагрузкой, с
Черные	140-250	6-3	P = 30 D ²	10	3000	10
		4-2		5	750	
		Менее 2		2,5	187,5	
Черные	140	Более 6	P = 10 D ²	10	1000	10
		6-3		5	250	
		Менее 3		2,5	62,5	
Цветные	130	6-3	P = 30 D ²	10	3000	30
		4-2		5	750	
		Менее 2		2,5	187,5	
Цветные	35-130	9-3	P = 10 D ²	10	1000	30
		6-3		5	250	
		2-3		2,5	62,5	
Цветные	8-35	Более 6	P = 2,5 D ²	10	250	60
		6-3		5	62,5	
		Менее 3		2,5	15,6	



Определение твердости по Бринеллю

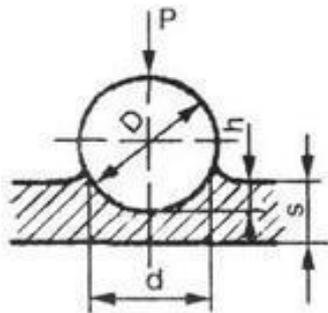
Твердость определяют по формуле:

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

где P – нагрузка на шарик, кгс;

D – диаметр шарика (индентора), мм;

d – диаметр отпечатка индентора (шарового сегмента), мм.



Диаметр отпечатка
замеряют специальной
лупой Бринелля



кольцо для
получения резкого
изображения
шкалы сетки

кольцо для
получения резкого
изображения
отпечатка

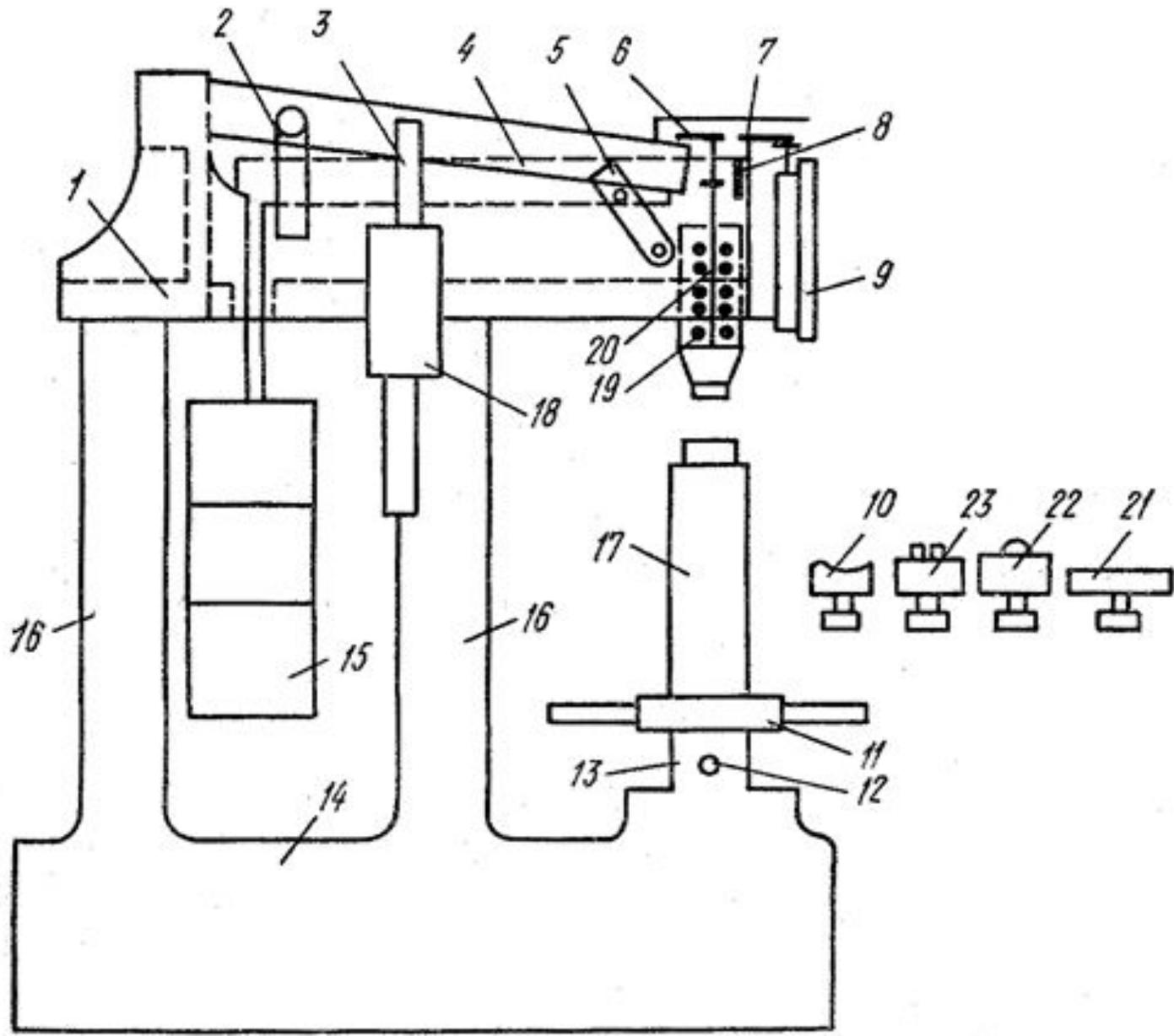


поле зрения
микроскопа

цена деления
шкалы сетки
0,05 мм

отпечаток
индентора

Микроскоп МПБ-2
(лупа Бринелля)



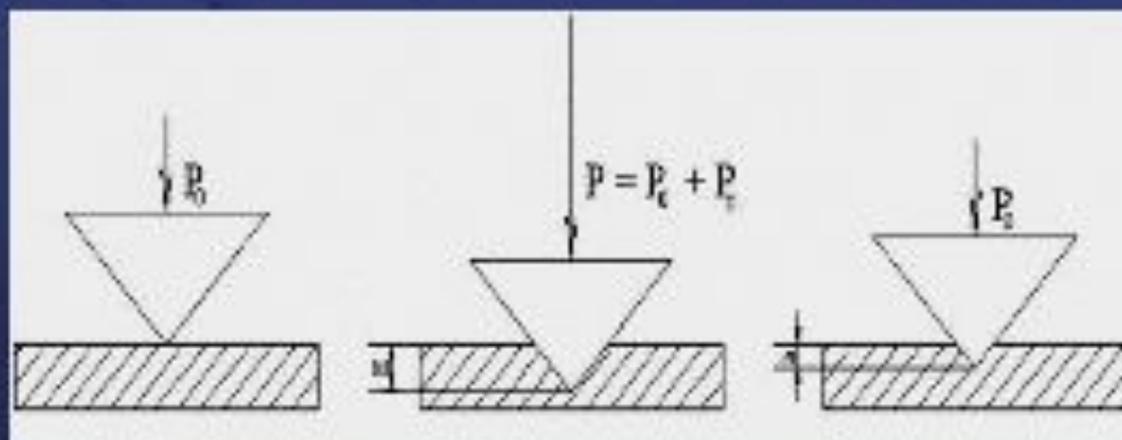


• Метод Роквелла.

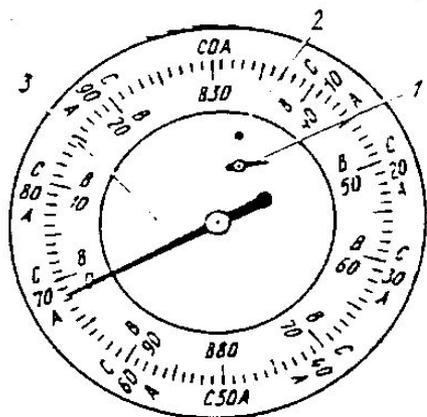
Число твердости – HR, индентор – алмазный конус или закалённый стальной шарик $D=1,59$ мм. Нагрузка F на индентор складывается из двух частей:

$$F = F_0 + F_p$$

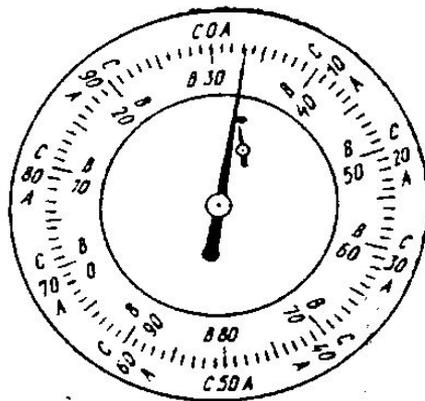
Число твердости по Роквеллу, связано с глубиной проникновения индентора и автоматически определяется твердомером с помощью индикатора, который имеет «шкалы Роквелла» А, В, С, а соответственно три величины числа твердости HR А, HR В и HR С. Причем шкалы А и С – черного цвета, В – красного.



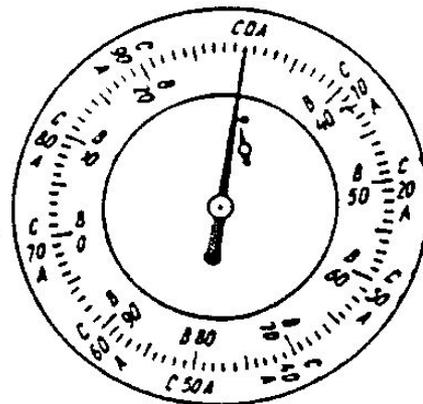
Шкала	Применяемый индентор	характеристика		Область применения
		Нагрузка, кгс	<i>шкала на индикаторе</i>	
A	Алмазный конус	60	черная	Материалы с твердостью HRA 70 - 85
B	Стальной шарик	100	красная	Низко- и среднеуглеродистые стали, латуни, бронзы и другие материалы с твердостью HRB 25 - 100
C	Алмазный конус	150	черная	Стали и сплавы с твердостью HRC 20 - 67



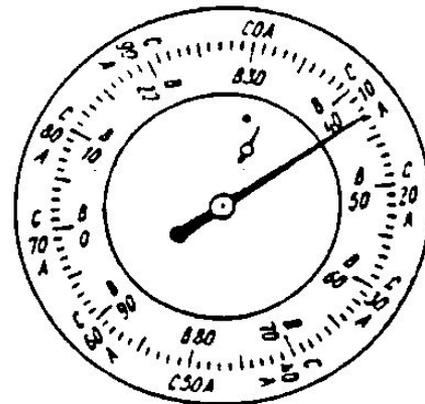
a)



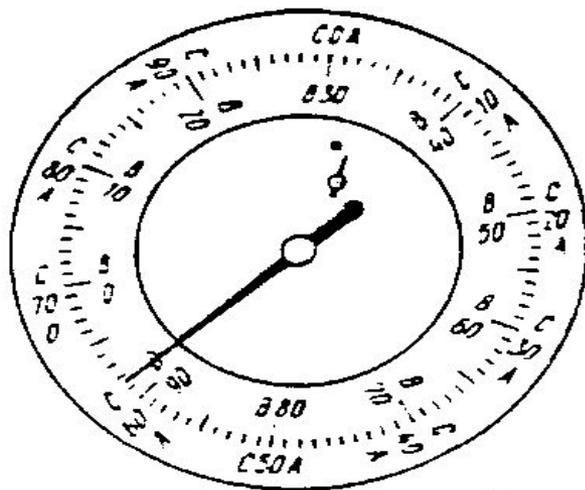
b)



b)



c)



d)

Марка	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %	Твердость, НВ	Назначение
08	330	33	131	Малонагруженные детали: шестерни, звездочки, ролики, оси, подвергающиеся цементации
10	340	31	143	
15	380	27	149	
20	420	25	163	
25	460	23	170	Средненагруженные детали: шестерни, валы, оси
30	500	21	179	
35	540	20	207	
40	580	19	217	Средненагруженные детали: шатуны, валы, шестерни, пальцы
45	610	16	229	
50	640	14	241	Высоконагруженные детали: шестерни, муфты, пружинные кольца, пружины
55	660	13	255	
60	690	12	255	Пружины, рессоры, эксцентрики и другие детали, работающие в условиях трения
65	710	10	255	
70	730	9	269	
75	1100	7	285	
80	1100	6	285	
85	1150	6	302	
60Г	710	11	269	
70Г	800	8	285	

Предел прочности	Виккерс	Бринель	Роквелл	Шор
H/мм ²	HV	HB	HRC ₃	C
255	80	76		
270	85	80,7		
285	90	85,5		
305	95	90,2		
320	100	95		
335	105	99,8		
350	110	105		
370	115	109		
385	120	114		15
400	125	119		18
415	130	124		19
430	135	128		20
450	140	133		21
465	145	138		21
480	150	143		22
495	155	147		22
510	160	152		23
530	165	156		24
545	170	162		25
560	175	166		25
575	180	171		26
595	185	176		27
610	190	181		28
625	190	185		28
640	200	190		29
660	205	195		30
675	210	199		31
690	215	204		32
705	220	209		32
720	225	214		33
740	230	219		33
755	235	223		33
770	240	228	20,3	34
785	245	233	21,3	35
800	250	238	22,2	36
820	255	242	23,1	36
835	260	247	24,0	37
850	265	252	24,8	37
865	270	257	25,6	38
880	275	261	26,4	39
900	280	266	27,1	39
915	285	271	27,8	40
930	290	276	28,5	41
950	295	280	29,2	42
965	300	285	29,8	43
995	310	295	31,0	44
1030	320	304	32,2	46
1060	330	314	33,3	47
1095	340	323	34,4	48

Предел прочности	Виккерс	Бринель	Роквелл	Шор
H/мм ²	HV	HB	HRC ₃	C
1125	350	333	35,5	50
1155	360	342	36,6	50
1190	370	352	37,7	51
1220	380	361	38,8	52
1255	390	371	39,8	53
1290	400	380	40,8	54
1320	410	390	41,8	56
1350	420	399	42,7	57
1385	430	409	43,6	58
1420	440	418	44,5	58
1455	450	428	45,3	59
1485	460	437	46,1	60
1520	470	447	46,9	61
1555	480	456	47,7	62
1595	490	466	48,4	63
1630	500	475	49,1	64
1665	510	485	49,8	65
1700	520	494	50,5	65
1740	530	504	51,1	66
1775	540	513	51,7	67
1810	550	523	52,3	68
1845	560	532	53,0	69
1880	570	542	53,6	70
1920	580	551	54,1	70
1955	590	561	54,7	71
1995	600	570	55,2	72
2030	610	580	55,7	73
2070	620	589	56,3	75
2105	630	599	56,8	76
2145	640	608	57,3	77
2180	650	618	57,8	78
2310	660		58,3	78
2350	670		58,8	79
2380	680		59,2	80
2410	690		59,7	80
2450	700		60,1	81
2520	720		61,0	83
2590	740		61,8	84
2660	760		62,5	86
2730	780		63,3	87
2800	800		64,0	88
2870	820		64,7	90
2940	840		65,3	91
3010	860		65,9	92
3080	880		66,4	93
3150	900		67,0	95
3220	920		67,5	96
3290	940		68,0	97

Методы измерения твердости материалов

Вдавливание индентора

Динамические

Царапание

По Бринеллю

По Роквеллу

По Виккерсу

По Шору

*Измерение микротвердости
по ГОСТ 9450-76*

*Измерение пластической
твердости по ГОСТ 18835-73*

*По отскокиванию ударного
бойка от образца*

*С помощью ультразвуковых
колебаний*

*По колебаниям маятника,
опирающегося на образец*

*По минералогической шкале
твердости*

*По 15-ти бальной шкале
М.М. Хрущова*

*Измерение микротвердости
по ГОСТ 21318-75*

*Размер отпечатка, оставшегося
на образце*

*Затухание колебаний,
генерируемых в
измерительной системе*

*Наличие на образце
следа от взаимодействия
с эталоном*

Критерии оценки твердости

Метод Виккерса

В качестве *индентора* используется алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136° .

Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки P к площади поверхности отпечатка F :

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Нагрузка P составляет 5...100 кгС.

Способ микротвердости – для определения твердости отдельных структурных составляющих и фаз сплава, очень тонких поверхностных слоев (сотые доли миллиметра).

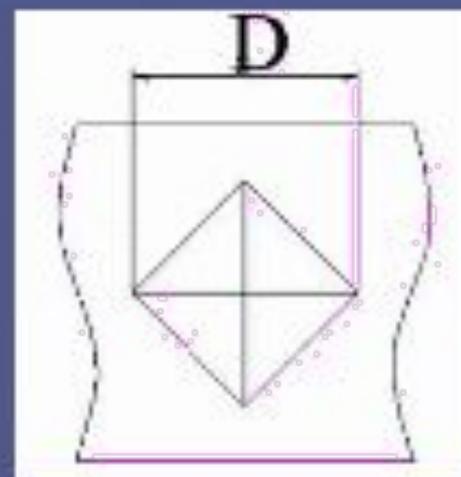
Индентор – пирамида меньших размеров, нагрузки при вдавливании P составляют 5...500 г.

$$H_{200} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

Метод Виккерса

Число твердости – HV , индентор – алмазная четырехгранная пирамидка с углом между противоположными гранями, равным 136° . Величина нагрузки равна 10; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000 и 1200 Н. Продолжительность нагрузки для черных металлов составляет 10...15 с, для цветных – 30 с. В результате вдавливания алмазная пирамидка оставляет на детали отпечаток, имеющий форму квадрата. При соответствующей нагрузке F измеряется (с помощью вмонтированного в пресс микроскопа) диагональ отпечатка D и определяется число твердости.

$$HV = F / S = 18,54 F / D^2$$



Твердость по Шору

Метод измерения твердости по Шору регламентирован ГОСТ 23273. Это - основной метод определения твердости поверхности прокатных валков при их изготовлении, поставке на металлургическое предприятие, а также в процессе эксплуатации валков на прокатных станах.

При измерении твердости по Шору боек определенной массы с алмазным индентором на конце свободно падает по вертикали с определенной высоты

$h_{\text{падения}} = 19,0 \pm 0,5$ мм на испытываемую поверхность материала.

Индентор представляет собой алмазный наконечник в виде тела вращения с радиусом закруглений рабочего конца $R = 1,0 \pm 0,1$ мм. Масса бойка вместе с алмазным индентором составляет 36,0 г.

За характеристику твердости принимается высота отскока бойка h , измеряемая в условных единицах. За 100 единиц твердости по Шору принимается определенная величина отскока бойка $h_{100} = 13,6 \pm 0,5$ мм. Такая твердость соответствует максимальной твердости стабилизированной после закалки на мартенсит углеродистой эвтектоидной инструментальной стали по ГОСТ 1435. Согласно стандарту твердость по Шору измеряют в диапазоне от 20 до 140 единиц (HSD).

Число твердости по Шору обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, со стоящим после них символом HSD, например 95 HSD. Число твердости указывается с округлением до целого числа.

Величина твердости по Шору не имеет точного перевода на другие величины твердостей или на прочностные свойства, получаемые при механических испытаниях.