

ВВЕДЕНИЕ

Твердость материала – это способность оказывать сопротивление механическому проникновению в его поверхностный слой другого более твердого материала. Она определяется величиной нагрузки необходимой для начала разрушения материала.

В технической литературе твердость обозначается буквой Н (от англ. hardness – твердость). Следом за буквой Н пишется одна или две буквы, обозначающие метод испытания твердости, например: HB – твердость по Бринеллю; HRA, HRB, HRC – твердость по Роквеллу (по шкалам А, В и С); HV – твердость по Виккерсу; HSD – твердость по Шору; HP – твердость по Польди; H_ц – микротвердость и т.д.

Существуют различные методы определения твердости металлов: вдавливания, отскокивания, царапания и др. Наиболее широкое распространение в машиностроительной промышленности при определении твердости получили методы Бринеля, Роквелла, Виккерса и Хрущова.

Целью лабораторной работы является изучение конструкции приборов и методики определения твердости металлов по Бринелю, Роквеллу, Виккерсу и Хрущову, а также приобретение практических навыков работы на твердомерах Бринеля и Роквелла.

Материальное обеспечение: твердомеры Бринеля (типа ТШ), Роквелла (типа РВ или ТК), Виккерса (типа ТП), микротвердомеры Хрущова и Берковича (типа ПМТ), исследуемые материалы, плакаты, таблицы.

1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО БРИНЕЛЮ

При определении твердости металлов по методу Бринеля в испытуемый материал нагрузкой P вдавливается стальной закаленный шарик диаметром D . В результате остаточной деформации получается отпечаток диаметром d (рис. 1).

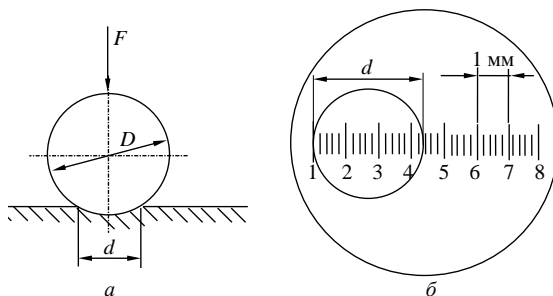


Рис. 1. Схема измерения твердости по методу Бринеля:
a – схема вдавливания шарика в испытуемый металл;
б – измерение диаметра отпечатка микроскопом МПБ-2 ($d = 4,4$ мм);
 F – нагрузка; D – диаметр шарика; d – диаметр отпечатка

Твердость испытуемого материала по Бринелю определяется выражается отношением приложенной нагрузки F к площади S сферической поверхности отпечатка (лунки) на измеряемой поверхности по зависимости

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi Dh} = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \text{ МПа} \quad (1)$$

где F – нагрузка, Н;

S – площадь шаровой поверхности отпечатка, мм²;

D – диаметр шарика, мм;

h – глубина отпечатка, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

При определении твердости испытуемого металлов по методу Бринеля пользуются твердомером ТШ-2.

Толщина измеряемого образца должна не менее чем в 8...10 раз превышать глубину отпечатка. При определении твердости тонких листов, листы одного материала необходимо накладывать друг на дру-

га до тех пор, пока не образуется слой достаточной толщины. При этом листы должны плотно прилегать друг к другу. Цилиндрические образцы испытывают на призматических столах.

Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка. Расстояние от центра отпечатка до боковой поверхности образца должно быть не менее $2,5d$.

При измерении твердости по Бринеллю можно испытывать материалы с твердостью не более НВ 4500 МПа (НВ 450 кгс/мм²), так как при большей твердости образца происходит недопустимая деформация шарика.

Для исследуемого материала по табл. 1 определяется режим для определения твердости: диаметр стального шарика D , нагрузка F и время действия нагрузки τ . Измерительную нагрузку выбирают таким образом, чтобы значение среднего диаметра отпечатка d находилось в диапазоне от $0,24...0,6D$.

Таблица 1. Режимы испытания материалов на твердомере типа ТШ-2

Наименование металла или сплава	Интервал чисел твердости по Бринеллю НВ, кгс/мм ² (МПа)	Толщина исследуемого материала, мм	Режимы испытания		
			D , мм	F , кгс (Н)	τ , с
Сплавы черных металлов	140...450 (1400...4500)	более 6	10	3000 (29430)	10
		3...6	5	750 (7357)	
		менее 3	2,5	187,5 (1839)	
	менее 140 (1400)	более 6	10	1000 (9810)	10
		3...6	5	250 (2452)	
Медь, латунь, бронза	более 130 (1300)	более 6	10	3000 (29430)	30
		3...6	5	750 (7357)	
		менее 3	2,5	187,5 (1839)	
	35...130 (310...1300)	более 6	10	1000 (9810)	30
		3...6	5	250 (2452)	
Алюминий и его сплавы	8...35 (80...350)	более 6	10	250 (2452)	60

На рис. 2 приведена схема твердомера ТШ-2. Испытания материалов на твердомере типа ТШ-2 выполняется в следующем порядке.

Выбрав по табл. 1 диаметр шарика и нагрузку, устанавливают на подвеску набор грузов 8, учитывая, что рычажная система с подвеской создает нагрузку 187,5 кг. Во втулке шпинделя 4 закрепляют винтом выбранную оправку с шариком 1.

Время действия нагрузки τ устанавливается изменением положения подвижного упора 7 с помощью установочного винта, чашки и шкалы.

Чем больше угол между неподвижным и подвижным упорами, тем больше время действия нагрузки.

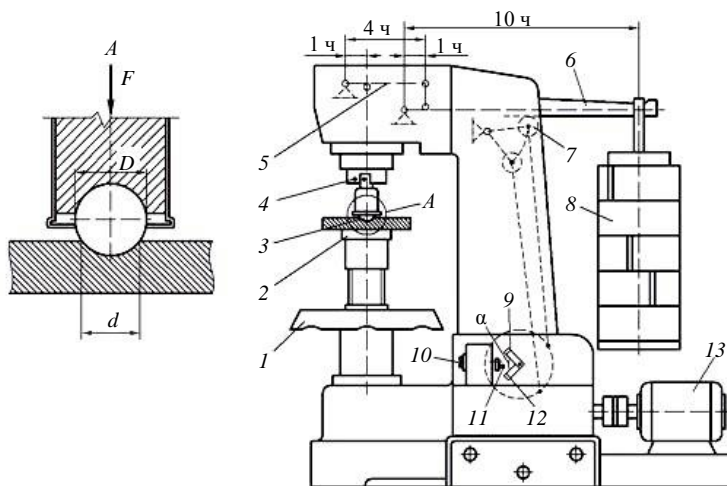


Рис. 2. Схема твердомера ТШ-2: 1 – маховичок; 2 – предметный столик; 3 – шарик; 4 – шпindel; 5, 6 – рычаг; 7 – подвижная опора; 8 – грузы; 9, 12 – кулачки; 10 – кнопка пуска; 11 – концевой переключатель; 13 – электродвигатель

Шкалу, градуированную делениями времени выдержки 10, 30 и 60 с, совмещают риской соответствующей выдержки с риской твердости и выверяют время по секундомеру, после чего шкалу твердости корректируют по шкале времени (поворотом по часовой стрелке время уменьшают, поворотом против часовой стрелки – увеличивают). Цена деления корректировочных рисок – одна секунда. Настройка шкалы твердости остается постоянной для любой твердости и времени выдержки в пределах данной нагрузки. При смене нагрузок шкалу необходимо перенастроить.

Образец устанавливают на предметный столик 2. Вращая маховичок 1, винтом поднимают образец до соприкосновения его с шариком 3 и далее до полного сжатия пружины, надетой на шпindel 4. Пружина создает предварительную нагрузку на шарик, равную 1000 Н (100 кгс), что обеспечивает устойчивое положение образца во время нагружения.

После этого нажатием пусковой кнопки 10 включают электродвигатель 13 и через червячную передачу, расположенную внутри корпу-

са, вращают кривошип, посредством шатуна с подвижной опорой 7. Подвижная опора 7 опускается вниз, освобождает рычаг 6, грузы 8 через систему рычагов 6 и 5 создают заданную полную нагрузку на шарик и на испытуемом образце получается отпечаток.

Реверсирование двигателя осуществляется автоматически – воздействием кулачков 9 и 12 на концевой переключатель 11. После реверсирования электродвигателя подвижная опора 7 перемещается вверх и снимает нагрузку.

Остановка электродвигателя обеспечивается воздействием неподвижного упора через рычаги на микропереключатель, который также обеспечивает цепь питания сигнальной лампочки, время горения которой соответствует времени действия нагрузки.

После остановки электродвигателя предметный столик 2 с помощью маховика 1 перемещают вниз. Исследуемый материал снимают с предметного столика, и микроскопом МПБ-2 с 24-кратным увеличением и ценой деления 0,05 мм измеряют диаметр полученного отпечатка (рис. 3). За расчетный диаметр отпечатка принимают среднее арифметическое значение измерений в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

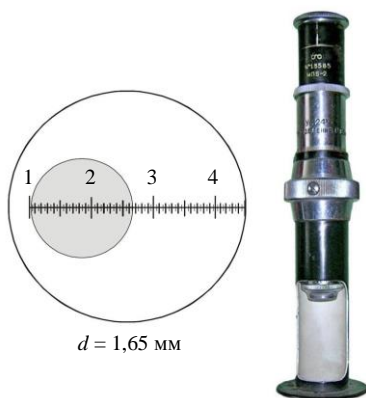


Рис. 3. Измерение диаметра отпечатка микроскопом МПБ-2

Если после получения отпечатка боковые стороны образца окажутся деформированными, испытание считается недействительным. В этом случае испытание должно быть произведено шариком меньшего диаметра при соответствующей нагрузке.

По измеренному диаметру отпечатка d , известной нагрузке F и диаметру шарика D определяется твердость НВ по табл. 2 или форму-

ле (1) с округлением результатов до целого числа – для металлов с твердостью выше 100 кгс/мм^2 (1000 Н) или до одной десятой – для металлов с твердостью менее 100 кгс/мм^2 (1000 Н).

Таблица 2. Значение твердости по Бринелю НВ в зависимости от диаметра отпечатка d , диаметра шарика D и нагрузки P

Диаметр отпечатка d , мм	Значение твердости НВ, МПа			Диаметр отпечатка d , мм	Значение твердости НВ, МПа		
	$F = 300D^2$, Н	$F = 100D^2$, Н	$F = 25D^2$, Н		$F = 300D^2$, Н	$F = 100D^2$, Н	$F = 25D^2$, Н
2,0	9450	3150	788	4,2	2070	688	172
2,1	8560	2850	714	4,3	1970	655	164
2,2	7800	2600	650	4,4	1870	624	156
2,3	7120	2370	594	4,5	1790	595	149
2,4	6530	2180	544	4,6	1700	568	142
2,5	6010	2000	501	4,7	1630	543	136
2,6	5550	1850	463	4,8	1560	519	130
2,7	5140	1710	429	4,9	1490	496	124
2,8	4770	1590	398	5,0	1430	475	119
2,9	4440	1480	379	5,1	1370	455	114
3,0	4150	1380	346	5,2	1310	437	109
3,1	3880	1290	323	5,3	1260	419	105
3,2	3630	1210	302	5,4	1210	402	101
3,3	3410	1140	284	5,5	1160	386	96,6
3,4	3210	1070	267	5,6	1110	371	92,7
3,5	3020	1010	252	5,7	1070	357	89,3
3,6	2850	950	237	5,8	1030	343	85,9
3,7	2690	897	224	5,9	992	331	82,6
3,8	2550	849	212	6,0	955	318	79,1
3,9	2410	804	201	6,1	920	307	76,7
4,0	2290	763	191	6,2	887	296	73,9
4,1	2170	724	181	6,3	855	285	71,3

Примечание. Диаметры отпечатков в таблице даны для шарика $D = 10$ мм.

При $D = 5$ мм следует брать $2d$, при $D = 2,5$ мм – $4d$.

Число твердости обозначается буквами НВ. При этом размерность Н (кгс/мм^2) опускается. Например, при измерении твердости шариком диаметром $D = 10,0$ мм под нагрузкой $F = 29430$ Н (3000 кгс) и с выдержкой под нагрузкой $\tau = 10$ с число твердости записывается НВ 2335 (в МПа) или НВ 238 (в кгс/мм^2).

При других условиях измерения числа твердости дополняются числовыми индексами, например, НВ 5/750/30-1835, что означает: диаметр шарика 5,0 мм, нагрузка 7355 Н (750 кгс), выдержка под нагрузкой 30 с, число твердости по Бринеллю 1835 (187).

Зная твердость по Бринеллю, можно быстро найти предел прочности и текучести материала, что важно для прикладных инженерных задач. Данный метод является более точным по сравнению с методом Роквелла на более низких значениях твердости (ниже 30 HRC).

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО РОКВЕЛЛУ

Твердость по методу Роквелла определяется по относительной глубине вдавливания металлического или алмазного конуса в поверхность тестируемого материала.

В зависимости от предполагаемой твердости испытуемого материала твердость по методу Роквелла можно измерять в трех режимах (рис. 4):

1. Твердость закаленной и отпущенной сталей, материалов средней твердости, поверхностных слоев толщиной более 0,5 мм определяется вдавливанием алмазного конуса с общей нагрузкой 150 кгс. Предварительная нагрузка наконечника на исследуемый материал составляет 10 кгс (98,07 Н), основная нагрузка составляет 150 кгс (1471 Н). Твердость измеряется по шкале *C* твердомера и обозначается HRC (например, 62 HRC). Для испытания изделий, имеющих твердость 20...50 HRCэ, допускается применение конусных наконечников из твердого сплава ВК6.

2. Твердость очень твердых материалов, с твердым тонким поверхностным слоем (0,3...0,5 мм), полученным в результате химико-термической обработки (цементация, азотирование, цианирование и др.), тонколистового материала определяется вдавливанием алмазного конуса с общей нагрузкой 60 кгс. Предварительная нагрузка наконечника на исследуемый материал составляет 10 кгс (98,07 Н). Основная нагрузка составляет 60 кгс (588,4 Н). Твердость измеряется по шкале *A* твердомера, совпадающей со шкалой *C*, и обозначается HRA.

3. Твердость мягких материалов (незакаленных сталей, цветных металлов и их сплавов) определяется вдавливанием стального шарика диаметром $1,588 \pm 0,001$ мм (1/16"). Предварительная нагрузка наконечника на исследуемый материал составляет 10 кгс (98,07 Н), основная составляет 100 кгс (980,7 Н). Твердость измеряется по шкале *B* твердомера и обозначается HRB.

Твердость по Роквеллу не имеет размерности. При измерении по шкале *B* твердость HRB = 130 – *e*, по шкале *C* и *A* твердость HRCэ (HRA) = 100 – *e*, где *e* – величина погружения наконечника в испытуемый материал под действием основной нагрузки, выраженная числом единиц шкалы индикатора.

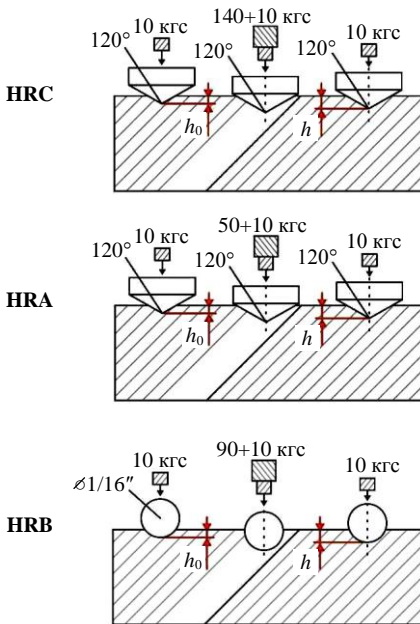


Рис. 4. Режимы определения твердости материалов по методу Роквелла

Величина погружения наконечника в испытуемый материал в делениях шкалы индикатора определяется по формуле

$$e = \frac{h - h_0}{0,02}, \text{ делений} \quad (2)$$

где h – глубина погружения наконечника в испытуемый материал под действием общей нагрузки, мм;

h_0 – глубина погружения наконечника в испытуемый образец под действием предварительной нагрузки, мм;

0,002 – цена деления шкалы индикатора, мм/дел.

При измерении твердости по методу Роквелла необходимо, чтобы на поверхности образца не было окалины, трещин, выбоин и др.

Твердомером Роквелла нельзя определять твердость неоднородных по структуре сплавов, например, серого чугуна, изделий, имеющих на поверхности следы грубой обработки, а также изделий, деформирующихся под действием нагрузки.

Необходимо контролировать перпендикулярность приложения нагрузки к поверхности образца и устойчивость его положения на столике прибора.

При определении твердости образца с криволинейной поверхностью радиус кривизны должен быть не менее 15 мм. При определении твердости образца с радиусом кривизны менее 15 мм на образце должна быть сделана площадка шириной не менее 2 мм.

Толщина испытуемого материала должна быть не менее 1,6 мм. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков, а также от центра любого отпечатка до края испытуемого образца должно быть не менее 1,5 мм при вдавливании конуса и не менее 4 мм при вдавливании шарика.

Твердость измеряется не менее 3 раз на одном образце, затем выводится среднее значение.

Определение твердости металлов и сплавов по Роквеллу производится на твердомере ТК-2 (рис. 5).

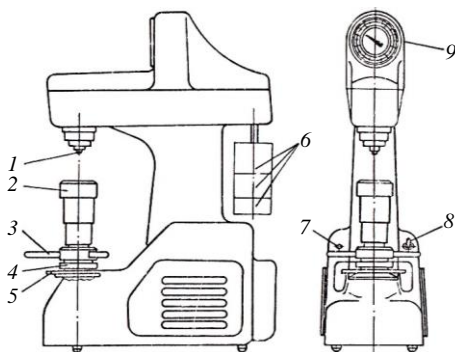


Рис. 5. Схема твердомера ТК-2:
1 – алмазный конус; 2 – предметный столик; 3 – маховичок; 4 – барабан;
5 – клавиша; 6 – грузы; 7 – лампочка;
8 – тумблер; 9 – индикатор

Для исследуемого материала по табл. 3 выбирается нужная шкала, вид наконечника и основная нагрузка.

Таблица 3. Режимы испытания материалов на твердомере типа ТК-2

Примерная твердость материала НВ, МПа	Шкала	Наконечник	Основная нагрузка F, кгс (Н)	Обозначение твердости	Допускаемые пределы шкалы
600...2300	B	Шарик	100 (980,7)	HRB	25...100
2300...7000	C	Конус	150 (1471)	HRC _э	22...68
>7000	A	Конус	60 (588,4)	HRA	>70

Опорная поверхность исследуемого материала должна обеспечивать плотное его прилегание к поверхности предметного столика 2. Наконечник 1 закрепляется в шпинделе винтом, определенная нагрузка регулируется снятием или установкой грузов 6 на подвеску.

Твердомер включается в сеть с помощью установленного на его станине тумблера 8. Загорание лампочки 7 сигнализирует о том, что прибор подготовлен к работе.

Исследуемый материал устанавливается на предметный столик 2 и вращением маховичка 3 поднимается вверх до упора в ограничитель, при этом малая стрелка индикатора 9 должна совпасть с красной точкой, а большая стрелка индикатора – занять верхнее вертикальное положение.

Допускается отклонение большой стрелки от вертикали на пять делений. В таком положении предметного столика на исследуемый материал будет действовать предварительная нагрузка 10 кгс (98,07 Н).

Вращением барабана 4 через тросик 2 поворачивается ободок индикатора 9 и совмещается «0» черной шкалы С с большой стрелкой индикатора.

Нажатием на клавишу 5 включаются кулачки храпового механизма и происходит опускание штанги, которая освобождает грузовой рычаг. За счет перемещения грузов 6 и правого плеча грузового рычага вниз к исследуемому материалу будет прикладываться основная нагрузка.

За полный оборот кулачка шток опустится и поднимется вверх, снимет нагрузку, после чего с помощью храпового механизма отключится вращение кулачка.

Продолжительность нормального цикла испытания составляет 4 с, ускоренного – 2с. При ускоренном цикле испытаний достоверность показаний твердомера не гарантируется.

Отсчет значений твердости при применении твердосплавного или алмазного конуса производится по шкале С, при применении стального шарика – по шкале В индикатора 9. После проведения испытаний вращением маховичка 3 предметный столик 2 опускается вниз и исследуемый материал снимается с твердомера.

Преимущество метода Роквелла по сравнению с методами Бринелля и Виккерса заключается в том, что значение твердости по методу Роквелла фиксируется непосредственно стрелкой индикатора, при этом отпадает необходимость в оптическом измерении размеров отпечатка.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО ВИККЕРСУ

При испытании твердости металлов и сплавов по методу Виккерса, в поверхность материала вдавливается алмазная четырехгранная пирамида с углом между гранями 136° . После снятия нагрузки вдавливания F измеряется диагональ d отпечатка (рис. 6).

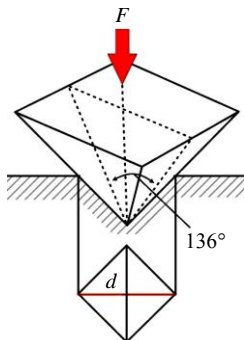


Рис. 6. Схема определения твердости по методу Виккерса

Число твердости по Виккерсу обозначается символом HV с указанием нагрузки F и времени выдержки под нагрузкой, причем размерность числа твердости ($\text{кгс}/\text{мм}^2$) не ставится.

Значение твердости по Виккерсу определяют как отношение приложенной нагрузки F к площади поверхности отпечатка S по формулам:

$$\text{HV} = \frac{F}{S} = \frac{0,102 \cdot 2F \sin(\alpha/2)}{d^2} = 0,189 \frac{F}{d^2}, \text{ МПа}, \quad (3)$$

$$\text{HV} = \frac{F}{S} = \frac{2F \sin(\alpha/2)}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2}, \text{ кгс}/\text{мм}^2, \quad (4)$$

где F – нагрузка, Н ($\text{кгс}/\text{мм}^2$);

S – площадь пирамидального отпечатка, мм^2 ;

α – угол между гранями алмазной пирамиды, $\alpha = 136^\circ$;

d – длина диагонали отпечатка, мм.

Преимущества метода Виккерса по сравнению с методом Бринелля заключается в том, что методом Виккерса можно испытывать материалы более высокой твердости из-за применения алмазной пирамиды.

При измерении твердости должна быть обеспечена перпендикулярность приложения действующего усилия к испытываемой поверхности. Опорная поверхность столика должна быть чистой. Образец должен лежать на подставке жестко и устойчиво.

Минимальная толщина образца для стальных изделий должна быть больше диагонали отпечатка в 1,2 раза, а для изделий из цветных металлов – в 1,5 раза.

При измерении твердости на криволинейных поверхностях радиус кривизны должен быть не менее 5 мм.

При неизвестной толщине испытываемого слоя следует произвести несколько измерений при различных нагрузках. Если при этом твердость будет изменяться, то следует уменьшить нагрузки до тех пор, пока при двух смежных нагрузках твердость будет близка по своим значениям или совпадает.

Расстояние между центром отпечатка и краем образца или краем соседнего отпечатка должно быть не менее 2,5 длины диагонали отпечатка.

Для определения твердости черных металлов и сплавов применяют нагрузки от 49,03 Н (5 кгс) до 980,7 Н (100 кгс), для меди и ее сплавов – от 24,52 Н (2,5 кгс) до 490,3 Н (50 кгс), для алюминиевых сплавов – от 9,807 Н (1 кгс) до 980,7 Н (100 кгс). Продолжительность выдержки под нагрузкой для сталей составляет 10...15 с, а для цветных металлов – 30 с.

Твердость по Виккерсу при условиях испытания $F = 294,2$ Н (30 кгс) и времени выдержки под нагрузкой 10...15 с обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами HV. При других условиях испытания после букв HV указывается нагрузка и время выдержки.

Примеры обозначения:

500 HV – твердость по Виккерсу, полученная при нагрузке $F = 30$ кгс и времени выдержки 10...15 с;

220 HV 10/40 – твердость по Виккерсу, полученная при нагрузке $F = 98,07$ Н (10 кгс) и времени выдержки 40 с.

Твердость металлов и сплавов по Виккерсу определяется на твердоме типа ТП (рис. 7).

В зависимости от исследуемого материала устанавливают величину нагрузки. Для получения более точного результата измерения твердости рекомендуется применять как можно большую нагрузку, так как при этом отпечаток получается большим и погрешность измерения твердости уменьшается.

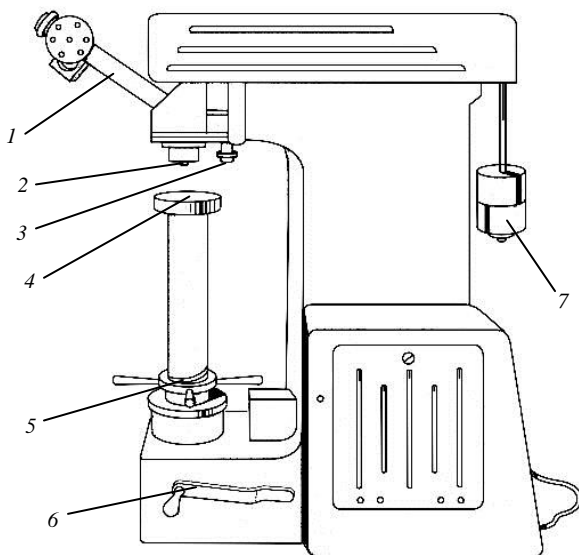


Рис. 7. Общий вид твердомера ТП-2: 1 – окуляр-микrometer; 2 – алмазная пирамида; 3 – объектив; 4 – предметный столик; 5 – маховичок; 6 – клавиша; 7 – грузы

При испытании тонких изделий величина нагрузки устанавливается по табл. 4. При этом на обратной стороне образца не должно быть заметно следов деформации.

Таблица 4. Величина нагрузки при испытании тонких изделий на твердомере типа ТП-2

Толщина испытываемого материала, мм	Длина диагонали отпечатка d, мм	Наибольшая допустимая нагрузка в Н при твердости НВ, МПа		
		600	400	200
0,2	0,133	50	–	–
0,3	0,200	100	50	–
0,4	0,266	200	100	50
0,5	0,333	300	200	100
0,6	0,400	500	300	100
0,7	0,466	500	300	300
0,8	0,533	500	500	300
0,9	0,600	500	500	300
1,0	0,966	550	500	300

При испытании термически упрочненных материалов во избежание поломки алмаза не следует применять нагрузку, превышающую 500 Н.

Исследуемый материал, установленный на предметном столике 4, подводится к объективу 3 и производится выбор поверхности материала для определения твердости.

После этого столик несколько отводится вниз, ставится в рабочее положение алмазная пирамида 2 и столик с исследуемым материалом подводится до упора. Нажатием на клавишу 6 включается электродвигатель и механизм привода. Грузы через систему рычагов создают нагрузку через алмазную пирамиду 2 на исследуемый материал. Окончание цикла нагружения определяется по моменту погасания сигнальной лампочки.

Затем исследуемый материал отводится от наконечника и объектив 3 устанавливается в рабочее положение. Изображение освещенного отпечатка проецируется через объектив 3, светоделительное зеркало, призму Дове, ахроматическую линзу в окуляр-микрометр 1.

В окуляре проецируются отпечаток, измерительная шкала и подвижные штрихи окуляр-микрометра. Измерение длины диагонали отпечатка (рис. 8) производится путем совмещения нулевого и подвижного штрихов окуляр-микрометра с углами изображения отпечатка.



Рис. 8. Схемы измерения длины диагонали отпечатка на твердом теле ТП-2

Измерение второй диагонали отпечатка производится после поворота его изображения на 90° с помощью призмы Дове. Длина диагонали отпечатка находится как среднее арифметическое измерений двух диагоналей. Разность диагоналей одного отпечатка не должна превышать 2 % от меньшей из них.

Измерение диагоналей длиной до 0,2 мм включительно должно производиться с погрешностью не более $\pm 0,001$ мм, и для диагоналей длиной более 0,2 мм – с погрешностью не более $\pm 0,5$ %.

Твердость исследуемого материала по Виккерсу определяется по формуле (3) или по таблицам ГОСТ 2999-75.

Некоторые твердомеры Виккерса дополнительно комплектуются наконечниками со стальными шариками диаметром 2,5 и 5 мм, испытание которыми проводят соответственно при нагрузке 156 и 625 Н.

Такая методика проведения испытаний позволяет на твердомере Виккерса определить твердость материала по Бринелю.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ (МЕТОД ХРУЩЕВА-БЕРКОВИЧА)

Испытания на микротвердость производят в том случае, если необходимо определить твердость отдельных структурных составляющих сплавов, тонких слоев толщиной несколько сотых долей миллиметра, изучить влияние холодной пластической деформации и т. д.

Микротвердость определяется методом вдавливания четырехгранной пирамиды с углом между гранями 136° , такой же, как и в пирамиде для измерения по Виккерсу (что облегчает пересчет твердости на числа Виккерса).

При испытании материала образца на микротвердость вдавливанием применяют нагрузку от 0,0491 Н (0,005 кгс) до 1,962 Н (0,2 кгс).

В результате испытания определяют длину диагонали полученного отпечатка и число микротвердости H_{μ} по тем же формулам, что и вычисление числа твердости по Виккерсу:

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{0,102 \cdot 2F \sin(\alpha/2)}{d^2} = 0,189 \frac{F}{d^2}, \text{ МПа}, \quad (5)$$

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{2F \sin(\alpha/2)}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2}, \text{ кгс/мм}^2, \quad (6)$$

где F – нагрузка, Н (кгс/мм²);

S – площадь пирамидального отпечатка, мм²;

α – угол между гранями алмазной пирамиды, $\alpha = 136^\circ$;

d – длина диагонали отпечатка, мм.

Поверхность испытуемого образца должна быть свободной от загрязнения на участке нанесения отпечатка. Шероховатость поверхности образца не должна быть грубее $Ra = 0,32$ мкм.

Испытуемый образец должен быть установлен на предметном столике прибора так, чтобы в процессе испытания он не смещался, не прогибался и не поворачивался.

Поверхность образца, подлежащая испытанию, должна быть установлена перпендикулярно к оси алмазного наконечника.

Микротвердость материалов по методу Хрущева-Берковича определяется на твердомере ПМТ-3 (рис. 9).

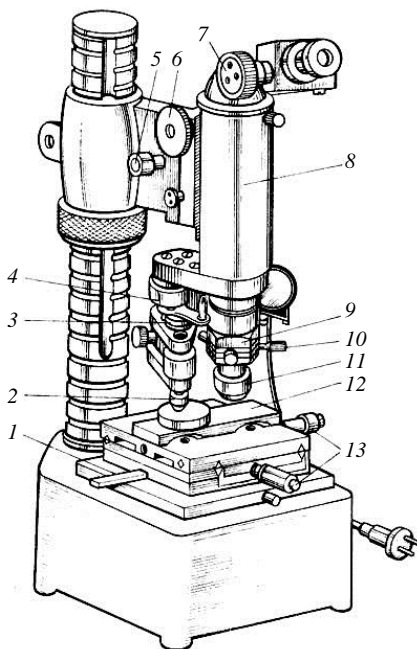


Рис. 9. Общий вид твердомера ПМТ-3:

1 – ручка для поворота предметного столика; 2 – шток; 3 – рукоятка арретира; 4 – гайка регулировки чувствительности нагружающего механизма; 5 – винт микроперемещения тубуса; 6 – винт макроперемещения тубуса; 7 – барабан окуляр-микрометра; 8 – тубус; 9 – винты центрирующие; 10 – объектив; 11 – пластина для крепления исследуемого материала; 12 – винты перемещения предметного столика

17 – светофильтры; 18 – рычажок диафрагмы

Величину рабочей нагрузки при определении микротвердости на микротвердомере ПМТ-3 можно выбрать по табл. 7, составленной на основании опытных данных. При измерении микротвердости тонких слоев величина нагрузки должна быть такой, чтобы глубина отпечатка была меньше в 8 раз толщины исследуемого материала.

Опыт показывает, что при работе на ПМТ-3 следует проводить нагружение в течение 10...15 с, время выдержки под нагрузкой должно составлять 5...10 с.

Исследуемый материал закрепляется пластилином на пластине 12. Поверхность материала должна быть параллельна рабочей поверхности предметного столика. Это выполняется с помощью специального

ручного пресса. Выбранный груз устанавливается на утолщенную часть штока 2.

Таблица 5. Примерные нагрузки, применяемые при измерении микротвердости некоторых материалов

Материалы	Нагрузка Р, Н	Порядок длины диагонали отпечатка d, мм
Алюминий	0,1	0,030...0,032
	0,2	0,040...0,045
Медь	0,2	0,018...0,022
	0,5	0,030...0,035
Карбиды	1,0	0,008...0,015
Бориды	1,0	0,008...0,010
Нитриды	1,5	0,010...0,020

С помощью объектива 11, измерительного барабана окуляр-микрометра 7 и винтов 13 предметного столика на исследуемом материале выбирается место для определения микротвердости. Для наводки на резкость пользуются винтами 6 и 5 макро- и микроперемещения тубуса 8.

Затем плавно поворачивается предметный столик против хода часовой стрелки до упора. Медленным поворотом рукоятки 3 арретира в течение 10...15 с шток опускается вниз и алмазная пирамида под действием груза создает нагрузку на испытуемый материал.

После выдержки в течение 5...10 с рукоятка 3 арретира поворачивается в исходное положение. Предметный столик ручкой 1 поворачивается в прежнее положение и при помощи окуляр-микрометра производится измерение длины диагонали отпечатка.

Для этого винтами 13 отпечаток подводится к перекрестию окуляр-микрометра так, чтобы стороны перекрестия прилегали к двум сторонам отпечатка (рис. 10). Отсчет производится по измерительному барабану 7 окуляр-микрометра.

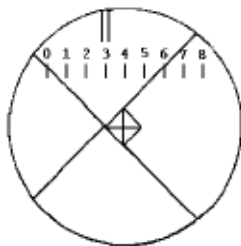


Рис. 10. Схемы измерения длины диагонали отпечатка на твердомере ПМТ-3

Затем измерительный барабан вращается до тех пор, пока перекрестие окуляра не совместится с двумя противоположными сторонами отпечатка и снова производится отсчет по измерительному барабану окуляр-микрометра. Разность отсчетов измерительного барабана умножается на цену деления и находится длина диагонали отпечатка.

По формуле (4) или по соответствующим таблицам определяется значение микротвердости исследуемого материала.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛА ПО МЕТОДАМ ШОРА И ЛИБА

Твердость по Шору (метод вдавливания) определяется по глубине проникновения в материал специальной закаленной стальной иглы (индентора) под действием калиброванной пружины (рис. 11).

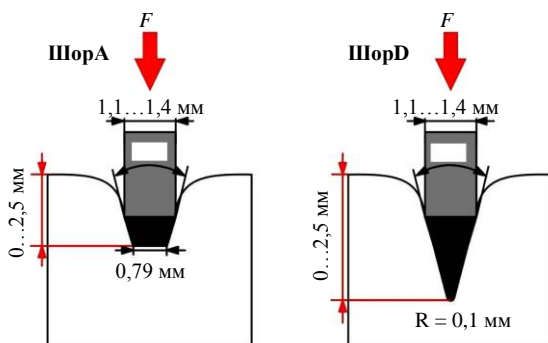


Рис. 11. Измерение твердости по методу Шора (методом вдавливания)

Метод Шора обычно используется для определения твердости низкомолекулярных материалов (например, полимеров или резины). Для измерения дюрометром Шора применяется несколько шкал, используемых для материалов с различными свойствами. Две наиболее распространенных шкалы – тип А и тип D. Шкала типа А предназначена для более мягких материалов, а шкала D – для более твердых. В общей сложности может использоваться 12 шкал измерений, в зависимости от целевой задачи. Все шкалы градуируются от 0 до 100 условных единиц, при этом высокие значения соответствуют более твердым материалам.

Твердость, определенная по этому методу, обозначается буквой используемой шкалы, записываемой после числа с указанием метода. В качестве примера, резина в покрышке колеса легкового автомобиля имеет твердость примерно 70А.

Твердость по Шору (метод отскока) – метод применяется для определения твердости очень твердых материалов (преимущественно металлов) по высоте, на которую после удара отскакивает специальный боек, падающий с определенной высоты (рис. 12).

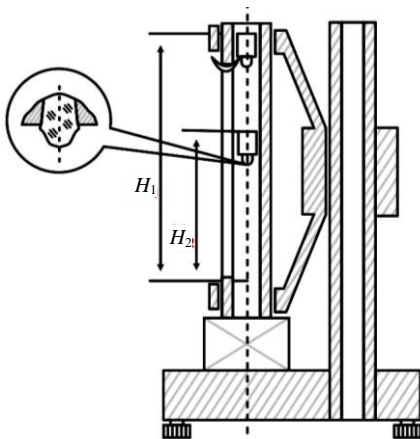


Рис. 12. Измерение твердости по методу Шора (методом отскока)

Твердость по этому методу Шора оценивается в условных единицах, пропорциональных высоте отскакивания бойка. Обозначается HS_x , где H – Hardness, S – Shore и x – латинская буква, обозначающая тип использованной при измерении шкалы.

Твердость по методу Либа определяется как отношение скоростей до и после отскока бойка от поверхности. При использовании данного метода падающий нормально к поверхности исследуемого материала боек сталкивается с поверхностью и отскакивает. Скорость бойка измеряют до и после отскакивания. Предполагается, что боек не подвергается необратимой деформации.

Обозначается HL_x , где H – Hardness, L – Leeb, а x – тип использованного при измерении датчика (например, HLD, HLC и т.д.).

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Определение твердости по Бринелю

1. Изучить методику определения твердости металлов и сплавов по Бринелю и конструкцию твердомера Бринеля.
2. Изложить в отчете методику определения твердости по Бринелю, привести схему измерения, схему прибора и формулу для определения числа твердости.
3. Составить таблицу для фиксирования результатов определения твердости исследуемых материалов по Бринелю (табл. 6).

Таблица 6. Результаты определения твердости исследуемых материалов по Бринелю

Исследуемые материалы	Диаметр шарика D , мм	Нагрузка F , Н	Время выдержки t , с	Диаметр отпечатка d , мм	Твердость по Бринелю НВ, МПа

4. Подобрать режимы испытаний исследуемых материалов и занести в табл. 6.
5. Произвести испытания с выполнением необходимых измерений.
6. Определить твердость исследуемых материалов и результаты испытаний записать в табл. 6.
7. Сделать выводы о твердости исследуемых материалов.

Определение твердости по Роквеллу

1. Изучить методику определения твердости металлов и сплавов по Роквеллу и конструкцию твердомера Роквелла. Изложить методику определения твердости в отчете.
2. Составить таблицу для фиксирования результатов определения твердости исследуемых материалов по Роквеллу (табл. 7).

Таблица 7. Результаты определения твердости исследуемых материалов по Роквеллу

Исследуемые материалы	Шкала (В, С, А)	Вид наконечника	Нагрузка Р, Н	Твердость	
				по Роквеллу (HRB, HRCэ, HRA)	по Бринелю НВ, МПа

3. Подобрать режимы испытаний исследуемых материалов и занести в табл. 7.

4. Произвести испытания с выполнением необходимых измерений.
5. Определить твердость исследуемых материалов и результаты испытаний записать в табл. 6.
6. Перевести значения твердости по Роквеллу в твердость по Бринелю.
7. Сделать соответствующие выводы о твердости исследуемых материалов

Определение твердости по Виккерсу

1. Изучить методику определения твердости металлов и сплавов по Виккерсу и конструкцию твердомера Виккерса. Изложить методику определения твердости в отчете.

2. Сделать выводы о возможностях и применении данного метода исследования твердости различных материалов.

Определение микротвердости по методу Хрушова-Берковича

1. Изучить методику определения микротвердости металлов и сплавов по Хрушову и конструкцию микротвердомера Хрушова. Изложить методику определения твердости в отчете.

2. Сделать выводы о возможностях и применении данного метода исследования микротвердости различных материалов.

Определение твердости по методам Шора и Либа

1. Изучить методику определения твердости материалов по методам Шора и Либа. Изложить методику определения твердости в отчете.

2. Сделать выводы о возможностях и применении данных методов исследования твердости различных материалов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Укажите сущность определения твердости материалов по Бринелю?
2. Какие инденторы применяются при определении твердости материалов по Бринелю?
3. По какой зависимости определяется твердость материалов по Бринелю? Имеет ли твердость по Бринелю размерность?
4. Назовите параметры режимов испытания материала при определении твердости материалов по Бринелю.
5. От чего зависят параметры режимов испытания при определении твердости материалов по Бринелю?
6. Назовите наибольшую твердость материалов, испытываемых на твердомере Бринеля.
7. Укажите порядок испытания материалов на твердомере ТШ-2.
8. Укажите достоинства метода определения твердости материалов по Бринелю?

8. Укажите сущность определения твердости материалов по Роквеллу?
9. Какие инденторы применяются при определении твердости материалов по Роквеллу?
10. Для испытания каких материалов применяются шкалы С, А и В Роквелла?
11. Укажите значения основной нагрузки при определении твердости материалов по Роквеллу по шкалам С, А и В.
12. Имеют ли размерность числовые значения твердости по Роквеллу?
13. Во сколько раз должна быть больше толщина испытуемого материала, чем глубина погружения индентора твердомера?
14. Какие преимущества имеет метод Роквелла по сравнению с другими методами определения твердости материалов?
15. Укажите порядок испытания материалов на твердомере ТК-2 по методу Роквелла.
16. Укажите сущность определения твердости материалов по методу Виккерса?
17. По какой зависимости определяется твердость материалов по Виккерсу?
18. Какую размерность имеет твердость материала по Виккерсу?
19. Какие преимущества имеет метод Виккерса по сравнению с методом определения твердости материалов по Бринеллю?
20. Как подбирается величина нагрузки при определении твердости материалов по Виккерсу?
21. Укажите порядок испытания материалов на твердомере ТП-2 по методу Виккерса.
22. В чем заключается отличие определения микротвердости материалов по методу Хрущева-Берковича от определения твердости материалов методом Виккерса?
23. Какие преимущества имеет метод Хрущева-Берковича при определении твердости материалов?
24. Укажите порядок испытания материалов на твердомере ПМТ-3 по методу Хрущева-Берковича.
25. Укажите сущность определения твердости материалов по Шору (методом вдавливания)? Для каких материалов он применяется?
26. Укажите сущность определения твердости материалов по Шору (методом отскока)? Для каких материалов он применяется?
27. Укажите сущность определения твердости материалов по методу Либа?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрушевич, А. А. Материаловедение : лабораторный практикум / А. А. Андрушевич, Т. К. Романова. – Минск : БГАТУ, 2009. – 180 с.
2. Дегтярев, М. Г. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / М. Г. Дегтярев. – Москва : Колос, 2007. – 358 с.
3. Оськин, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник / В.А. Оськин, В.В. Евсиков. – Москва: КолосС, 2007 – Кн. 1. – 447 с.
4. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю: ГОСТ 9012-59 (ИСО 410-82, ИСО 6506-81). – Москва : Стандартиформ, 2007. – 40 с.
5. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу: ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86). – Москва : Стандартиформ, 2001. – 10 с.
6. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу: ГОСТ 2999-75. – Москва : Издательство стандартов, 1987. – 31 с.
7. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников: ГОСТ 9450-76. – Москва : Стандартиформ, 1993. – 35 с.
8. Резина. Метод определения твердости по Шору А: ГОСТ 263-75. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – 7 с.
9. Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору): ГОСТ 24621-2015 (ISO 868:2003). – Москва : Стандартиформ, 2016. – 11 с.
10. Металлы и сплавы. Измерение твердости методом упругого отскока бойка (по Шору): ГОСТ 23273-78. – Москва : Издательство стандартов, 1985. – 4 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Перевод чисел твердости, полученных разными методами, для некоторых конструкционных и инструментальных материалов

HB, МПа	HRB	HRC	HRC ₃	HRA	HV, МПа	HM	Материалы			
24	1				24	1	Пластмассы и другие неметаллические материалы			
100	5				100					
200	10				200					
300	15				300					
360	18				360	2	Пластмассы, алюминий, алюминиевые сплавы			
400	20				400					
800	40				800					
1000	55				1000					
1090	61				1090	3	Алюминиевые сплавы, медь и ее сплавы, неупрочненные и упрочненные			
1150	65				1150					
1250	70				1250					
1500	80				1500					
1830	90				14	16,3	56	1830	4	Упрочненные сплавы цветных металлов, «сырые» углеродистые и легированные стали
1890	91				15	17,2	57	1890		
2070	95				18	20,2	60	2070		
2410	100	24	26,0	63	2410					
2850		30	31,8	66	2850					
3750		40	41,5	70	3900					
4290		45	46,4	73	4600					
4800		49	50,3	75	5360					
4950		50	51,3	76	5510					
5450		55	56,2	79	6270					
6010		60	61,0	82	7460					
6200		62	63,0	83	7950					
6670		65	65,9	84	9050					
7450		70	70,7	87	11160					
7480		70	70,7	87	11200					
7800		72	72,7	88	12240					
					89	13000	7	Инструментальные металлокерамические твердые сплавы		
					90	14270				
					90	15000	8	Инструментальные минералокерамические твердые сплавы		
	95				20000					
	20600				40000					
				60000	80000	9	Инструментальные сверхтвердые материалы, СТМ: композиты 01, 02, 09 и др.			
				80000	100600					
				100600	10			Алмазы		

Примечание: Числовые значения HRC, приведенные в зарубежной литературе, соответствуют значениям HRC₃.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Определение твердости по Бринелю.....	4
2. Определение твердости по Роквеллу.....	9
3. Определение твердости по Виккерсу.....	13
4. Определение микротвердости (метод Хрущева-Берковича).....	17
5. Определение твердости материала по методам Шора и Либа.....	20
6. Порядок выполнения работы.....	22
Контрольные вопросы.....	23
Библиографический список.....	25
Приложение.....	26