

# Статические методы определения твердости

Подготовили студенты группы МТЗ-81:

Захаров С.Ю.

Караев Т.

## Содержание

1. Методы определения точности.....	1
2. Измерение твердости по Бринеллю.....	2
3. Измерение твердости по Роквеллу.....	5
3.1. Измерение твердости по Супер-Роквеллу.....	7
1. Измерение твердости по Виккерсу.....	9
2. Измерение микротвердости.....	11
3. Список источников.....	13

# 1. Методы определения твердости

## Статические

по Бринеллю (HB, рис.1 а);

по Роквеллу (HRC, HRA, HRB, рис.1 б);

по Виккерсу (HV, рис.1 в);

## *Динамические*

*(ударные)*

по Шору (HSD);

по Лейбу (HL);

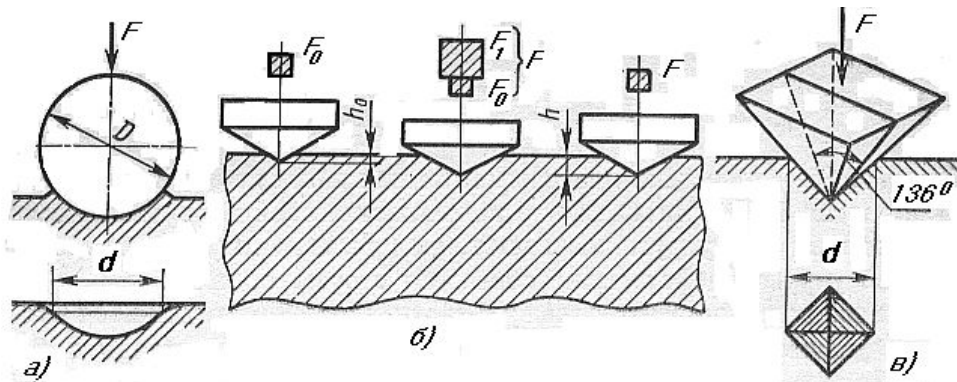


Рис. 1.

## 2. Измерение твердости по Бринеллю

$$HB( HBW) = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Где  $A$  - площадь поверхности сферического отпечатка,  $мм^2$  [4] при  $F$  в Н

Запись при стандартных условиях:

$D = 10 \text{ мм}$   $F = 3000 \text{ кгс}$  250 HB

При, например,  $D=5 \text{ мм}$   $F = 125 \text{ кгс}$  и длительностью нагрузки 30 с

HB 5/125/30-100 или 100 HB 5/125/30

В случае когда используется твердый сплав (W)-  
500 HBW

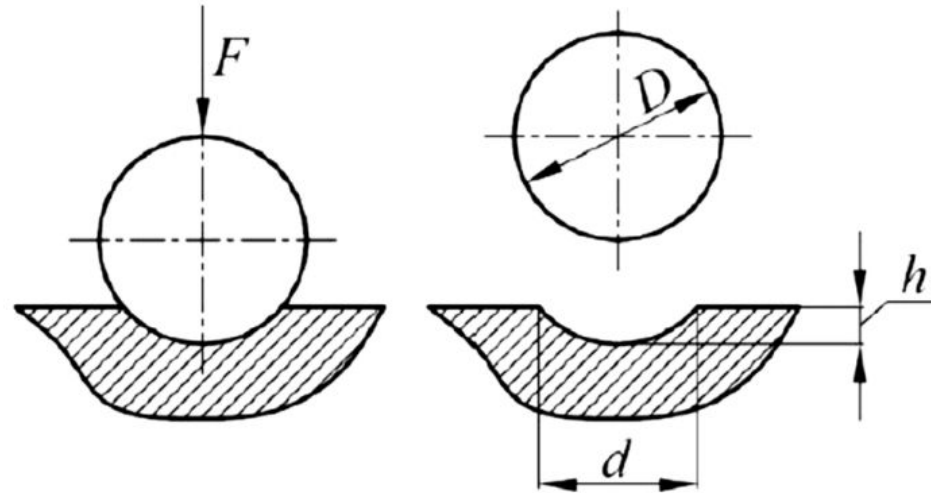


Рис. 2. Схема измерения твердости по Бринеллю.

$F$  - прилагаемая нагрузка,  $D$  - диаметр шарика,  
 $d$  - диаметр отпечатка,  $h$  - глубина отпечатка.

## Условия измерения

- образцы с твердостью выше НВ 450/650 кгс/мм<sup>2</sup> соответственно для стального и твердосплавного шариков испытывать запрещается;
- диаметры отпечатков должны находиться в пределах  $0,2D < d < 0,6D$ ;
- образцы должны иметь толщину не менее 8-кратной глубины отпечатка (или не менее диаметра шарика);

$$K = \frac{F}{D^2}$$

## Преимущества

- данный метод является более точным по сравнению с методом Роквелла на при низких значениях твердости (ниже 30 HRC);
- приблизительное определение предела текучести по империческим формулам

Таблица 1.

**Выбор коэффициента К для определения диаметра шарика и нагрузки**

Материал	Твердость по Бринеллю	К
Сталь, чугун, высокопрочные сплавы (на основе никеля, кобальта и др.)	До 140	10
	140 и более	30
Титан и сплавы на его основе	От 50	15
Медь и сплавы на ее основе, легкие металлы и их сплавы	Менее 35	5
	от 35	10
Подшипниковые сплавы	От 8 до 50	2,5
Свинец, олово и другие мягкие металлы	До 20	1

Таблица 2.

**Диаметр шарика и рекомендуемая нагрузка**

Диаметр шарика, мм	Нагрузка, Н (кгс), для К					
	30	15	10	5	2,5	1
1,0	294,2 (30)	–	98,07 (10)	49,03 (5)	24,52 (2,5)	98,807 (1)
2,0	1177 (120)	–	392,3 (40)	196,1 (20)	98,07 (10)	39,23 (4)
2,5	1839 (187,5)	–	612,9 (62,5)	306,0 (31,2)	153,0 (15,6)	60,80 (6,2)
5,0	7355 (750)	–	2452 (250)	1226 (125)	612,9 (62,5)	245,2 (25)
10,0	29420 (3000)	14710 (1500)	9807 (1000)	4903 (500)	2452 (250)	980,7 (100)

**Время выдержки образца под нагрузкой** Таблица 3.

Твердость по Бринеллю НВ, НВW	Продолжительность выдержки, с
До 10	180
Св. 10 до 35	120
Св. 35 до 100	30
Св. 100	10–15

## Недостатки

- сложность измерения диаметра отпечатка на материалах повышенной вязкости, форма отпечатка (рис. 2);
- значительная погрешность измерения твердости на материалах, склонных к упрочнению при приложении нагрузок;
- относительно большие размеры образцов или мест для измерения на детали;

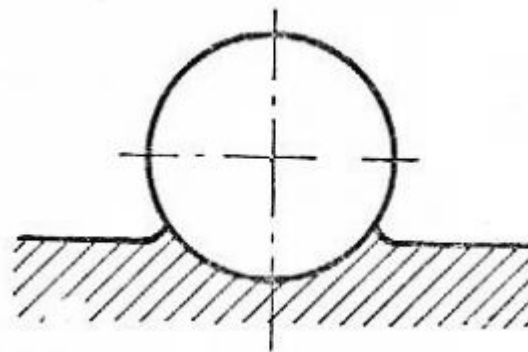


Рис. 2. Форма отпечатка при измерении на материалах повышенной вязкости.

### 3. Измерение твердости по Роквеллу

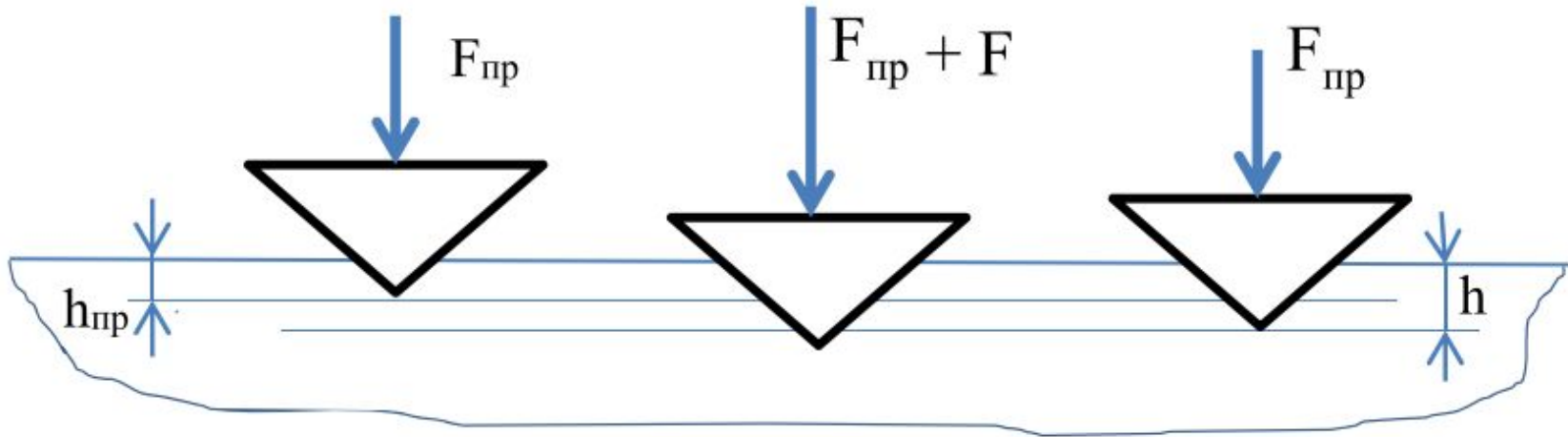


Рис. 3. Схема измерения твердости по Роквеллу.

$F_{пр}$  – предварительная нагрузка на индентор;  $F$  – основная нагрузка;  
 $h_{пр}$  – глубина отпечатка индентора под действием предварительной нагрузки;  
 $h$  – глубина отпечатка индентора после снятия основной нагрузки.

Шкала твёрдо- сти	Обозначе- ние едини- цы измере- ния	Предваритель- ное усилие $F_{пр}$ , Н (кгс)	Основное усилие $F$ , Н (кгс)	Общее усилие, $F_{пр} + F$ , Н (кгс)	Диапа- зон из- мерений
A	HRA	98,07 (10)	490,3 (50)	588,4 (60)	20...88
B	HRB	98,07 (10)	882,6 (90)	980,7 (100)	20...100
C	HRC	98,07 (10)	1373 (140)	1471 (150)	20...70
D	HRD	98,07 (10)	882,6 (90)	980,7 (100)	40...77
E	HRE	98,07 (10)	882,6 (90)	980,7 (100)	70...100
F	HRF	98,07 (10)	490,3 (50)	588,4 (60)	60...100
G	HRG	98,07 (10)	1373 (140)	1471 (150)	30...94
H	HRH	98,07 (10)	490,3 (50)	588,4 (60)	80...100
K	HRK	98,07 (10)	1373 (140)	1471 (150)	40...100

Таблица 4. Предварительные и основные нагрузки для различных шкал



### 3.1 Измерение твердости по Супер-Роквеллу

Шкалы		Диапазоны измерений
Супер-Роквелла	N 15	70...94 HRN 15
	N 30	40...86 HRN 30
	N 45	20...78 HRN 45
	T 15	62...93 HRT 15
	T 30	15...82 HRT 30
	T 45	10...72 HRT 45

Таблица 5. Обозначение шкал и диапазоны измерения

Шкалы		Прилагаемая нагрузка, Н (кгс)	
		предварительная	окончательная
Супер-Роквелла	N 15	29,42 (3)	147,1 (15)
	N 30		294,2 (30)
	N 45		441,3 (45)
	T 15		147,1 (15)
	T 30		294,2 (30)
	T 45		441,3 (45)

Таблица 6. Нагрузки, прилагаемые к индентору.

Шкала	Толщина образца не менее, мм
N 15	0,15
N 30	0,30
N 45	0,30
T 15	0,25
T 30	0,36
T 45	0,41

Таблица 7. Минимальные толщины образцов.

#### 4. Измерение твердости по Виккерсу

$$HV = 0,189 \frac{F}{d_1^2}$$

Где  $F$  - прилагаемая нагрузка,  $H$ ;  $d$  - диагональ отпечатка,  $мм$

##### Условия измерения

- измерения могут быть выполнены при нагрузках от 0,1 до 100 кгс;
- обеспечение перпендикулярности приложения действующего усилия к испытываемой поверхности
- поверхность испытываемого образца должна иметь шероховатость не более  $Ra = 0,16 \text{ мкм}$
- расстояние между центром отпечатка и краем образца или соседнего отпечатка должно быть не менее 2,5 длины диагонали отпечатка;
- минимальная толщина образца или покрытия должна быть для стальных изделий больше диагонали отпечатка в 1,2 раза; для изделий из цветных металлов - в 1,5 раза;

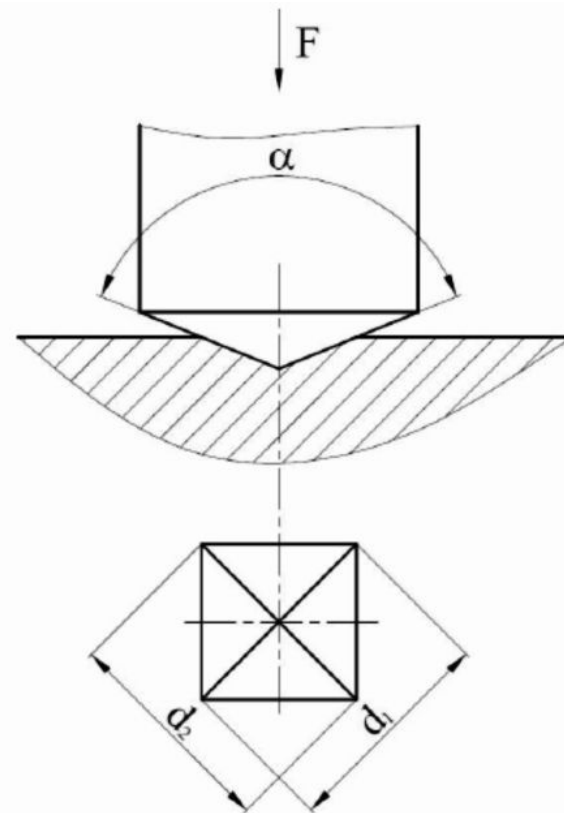


Рис. 4. Схема измерения твердости по Виккерсу.

$d_1, d_2$  - диагонали отпечатка индентора,  $мм$

$$\alpha = 136^\circ$$

## Преимущества

- можно испытывать все материалы одним индентором;
- возможно измерение твердости на покрытиях (материалах) небольшой

Продолжительность выдержки индентора под нагрузкой принимают для сталей 10 ... 15 с, а для цветных металлов - 30 с.

Пример обозначения для числа твердости по Виккерсу 200 полученного при  $P = 30$  кгс (294,2 Н), приложенной к алмазной пирамиде в течение 15 с. : 200 HV 30/15

Рекомендуется использовать испытательные нагрузки по таблице 8.

Таблица 8

### Рекомендуемые нагрузки для измерений

Обозначение шкалы твердости	Номинальное значение нагрузки, Н	Обозначение шкалы твердости	Номинальное значение нагрузки, Н	Обозначение шкалы твердости	Номинальное значение нагрузки, Н
HV 5	49,03	HV 0,2	1,961	HV 0,01	0,09807
HV 10	98,07	HV 0,3	2,942	HV 0,015	0,1471
HV 20	196,1	HV 0,5	4,903	HV 0,02	0,1961
HV 30	294,2	HV 1	9,807	HV 0,025	0,2452
HV 50	490,3	HV 2	19,61	HV 0,05	0,4903
HV 100	980,7	HV 3	29,42	HV 0,1	0,9807

## 5. Измерение микротвердости

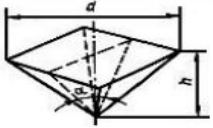
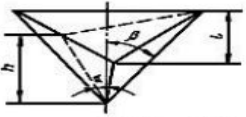
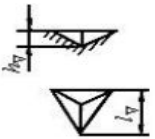
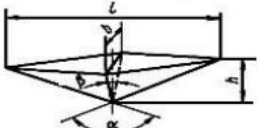
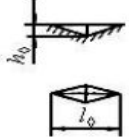
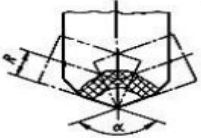
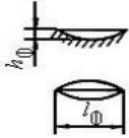
Наименование алмазных наконечников	Параметры заострения алмазных наконечников	Форма отпечатков
1. Четырехгранная пирамида с квадратным основанием	 <p style="text-align: center;"><math>\alpha = 136^\circ</math></p>	
2. Трехгранная пирамида с основанием в виде равностороннего треугольника	 <p style="text-align: center;"><math>\alpha = 65^\circ; \beta = 77^\circ;</math> <math>\alpha + \beta = 142^\circ</math></p>	
3. Четырехгранная пирамида с ромбическим основанием	 <p style="text-align: center;"><math>\alpha = 172^\circ 30'; \beta = 130^\circ</math></p>	
4. Бицилиндрический наконечник	 <p style="text-align: center;"><math>\alpha = 136^\circ; R = 2 \text{ мм}</math> <math>R</math> – радиус цилиндра</p>	

Таблица 9. Примеры наконечников и виды отпечатков

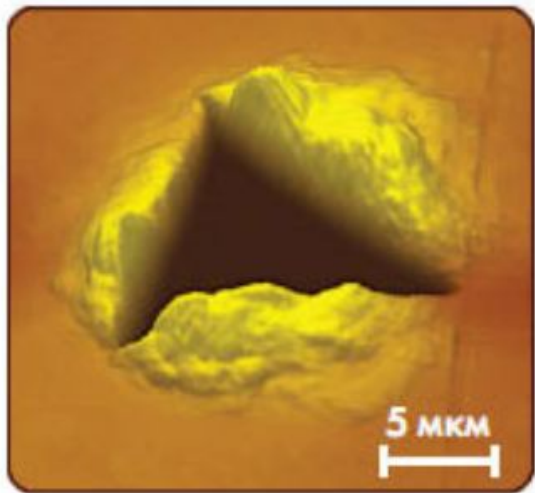


Рис. 5. Отпечаток на поверхности титана (99%)

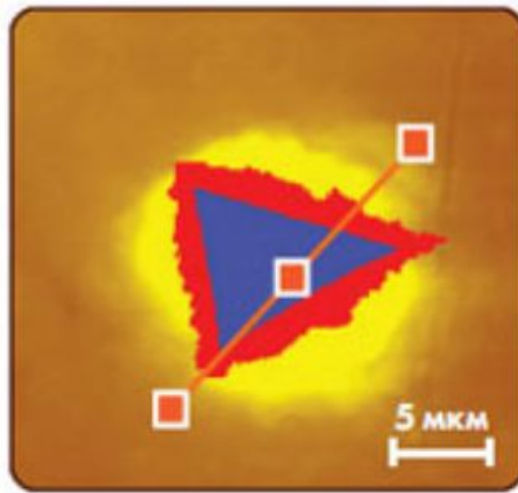


Рис. 6. Пример автоматического расчета площади

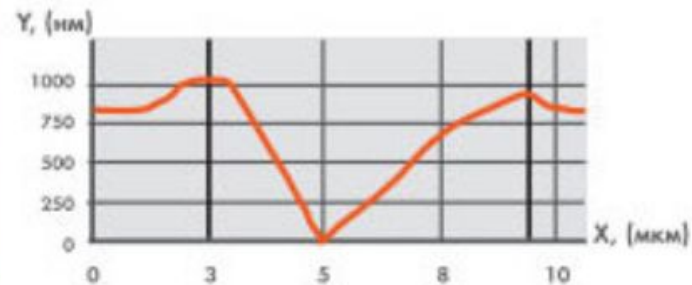


Рис. 7. Профиль отпечатка

Источники:

1. *Балла, О.М. Экспериментальные методы исследования в технологии машиностроения. - 2019. - с. 71-86.*
2. <http://nanoscan.info/metodiki/vosstanovlennyj-otpechatok> - ФГБНУ ТИСНУМ. - *НаноСкан. Метод восстановленного отпечатка.*
3. *ГОСТ 9450-76. - «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников». - Раздел 1-3.*
4. *ГОСТ 9012-59. - «Метод измерения твердости по Бринеллю» - Раздел 5, приложение 1*

Спасибо за  
внимание!