

## Оглавление

Оглавление.....	1
1. Общие сведения об испытаниях на твердость.....	2
2. Метод измерения твердости по Бринеллю.....	3
2.1. Основы измерения твердости по Бринеллю.....	3
2.2. Оборудование для измерения твердости по методу Бринелля.....	5
2.3. Подготовка и работа на приборе.....	7
3. Измерение твердости по методу Роквелла.....	8
3.1. Основы измерения твердости по Роквеллу.....	8
3.2. Оборудование для измерения твердости по методу Роквелла.....	9
3.3. Подготовка и работа на приборе.....	11
4. Измерение твердости по методу Виккерса.....	12
4.1. Основы измерения твердости по Виккерсу.....	12
4.2. Оборудование для измерения твердости по методу Виккерса.....	14
5. Порядок проведения лабораторной работы.....	16
6. Содержание отчета по лабораторной работе.....	16
7. Контрольные вопросы.....	17
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Соотношения между числами твердости HRB, HB, HV.....	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Соотношения между числами твердости HRC, HRA, HB, HV*.....	19

Цель работы: Изучить способы измерения твердости металлов и определить влияние нестабильности средств измерения и неоднородности свойств поверхности на величину твердости.

## 1. Общие сведения об испытаниях на твердость

Под твердостью понимают свойство материала сопротивляться проникновению в него другого не получающего остаточных деформаций тела.

Испытание на твердость – наиболее массовое высокопроизводительное неразрушающее испытание материалов является надежным и универсальным методом физико-химического анализа свойств исследуемого материала. Испытания на твердость и микротвердость охватывают практически неограниченный круг материалов от самых мягких (например, графит) до ультратвердых (алмаз, карбиды и пр.). Испытания на микротвердость дает возможность получать пластичные неразрушенные отпечатки на самых хрупких материалах (минералы, стекло и пр.) из которых невозможно приготовить образцы для других механических испытаний. Измерение твердости производится специальными приборами – твердомерами, позволяющими измерять твердость как в ограниченном объеме (измерение в микрообъемах, нитевидных кристаллов, тонких поверхностных слоев и пр.), так и измерение твердости многотонных отливок и крупногабаритных деталей переносными твердомерами. Известно более 30 способов измерения твердости и микротвердости, которые можно классифицировать следующим образом:

- способы, основанные на вдавливании жесткого наконечника в виде шара, конуса, пирамиды, цилиндра, лезвия и пр. в испытуемое тело, обычно с плоской поверхностью;
- способы, основанные на царапании испытуемого тела: набором эталонных образцов различной твердости; жестким наконечником в виде шара, конуса, пирамиды и пр.;
- способы, основанные на колебании маятника, опирающегося жестким наконечником определенной формы (обычно шар) на испытуемое тело. Измеряют время 10 качаний, амплитуду одного качания, время затухания колебаний до заданной амплитуды и т.д.

Наиболее распространенными способами измерения твердости являются измерения по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу и Шору.

Величина твердости и ее размерность для одного и того же материала зависит от примененного способа измерения. При этом пересчет значений твердости, определенных различными способами производится по таблицам или эмпирическим формулам (приложения 1 и 2). В методическом указании представлены способы измерения твердости изделий по методу Бринелля, Роквелла и Виккерса.

## 2. Метод измерения твердости по Бринеллю

### 2.1. Основы измерения твердости по Бринеллю

Метод измерения твердости по Бринеллю (ГОСТ 9012) заключается во вдавливании шарика (стального или из твердого сплава) диаметра  $D$  в образец (изделие) под действием усилия  $F$ , приложенного перпендикулярно поверхности образца в течение определенного времени и измерении диаметра  $d$  отпечатка после снятия усилия (рисунок 1).

Измерение твердости производится для металлов с твердостью не более 650 единиц для исключения ошибок, связанных с возможной деформацией шарика. При твердости металлов менее 450 единиц применяют стальные шарики или шарики из твердого сплава, при твердости более 450 единиц – шарики из твердого сплава.

Для измерения применяется твердомер Бринелля (ГОСТ 23677) и ряд типоразмеров шариков: стальных или твердосплавных диаметрами 10,0; 5,0; 2,5; 2,0; 1,0 мм.

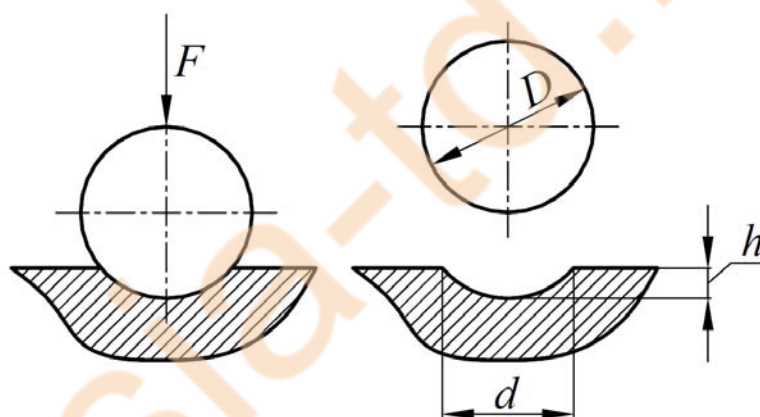


Рисунок 1. Измерение твердости по методу Бринелля.

Твердость по Бринеллю обозначают символом  $HB$  ( $HBW$  в случае применения шарика из твердого сплава), которому предшествует числовое значение твердости из трех значащих цифр, и после символа указывают диаметр шарика, значение приложенного усилия (в кгс) и продолжительность выдержки, если она отличается от 10...15 с.

Мерой твердости служит величина численно равная отношению приложенного усилия  $F$  к площади сферического отпечатка  $A$  и рассчитывается по формуле:

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, [\text{кгс/мм}^2] \text{ или } HB = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, [\text{Н/мм}^2]$$

При измерении твердости по методу Бринелля необходимо выполнять следующие условия:

- толщина образца должна не менее чем в 8 раз превышать глубину отпечатка, а на противоположной стороне образца после испытания не должно быть следов деформации;

- поверхность образца должна быть плоской, гладкой и свободной от окисной пленки. Шероховатость поверхности образца (или площадки на изделии) не более  $Ra2,5$ . Обработку поверхности образца (изделия) можно проводить шлифовкой или мелким напильником. При определении твердости шариком диаметром 1 мм поверхность образца должна быть отполирована;

- образец должен быть подготовлен таким образом, чтобы не изменялись свойства металла в результате механической или другой обработки, например, от нагрева или наклепа;

- расстояние между центром отпечатка и краем образца должно быть не менее 2,5 диаметров отпечатка  $d$ ; расстояние между центрами двух смежных отпечатков должно быть не менее 4 диаметров отпечатка;

- диаметры отпечатков измеряются в двух взаимно перпендикулярных направлениях. За диаметр отпечатка  $d$  принимается среднее арифметическое значение результатов измерений;

- диаметр шарика  $D$  и соответствующее усилие  $F$  выбирают таким образом, чтобы диаметр отпечатка находился в пределах  $(0,24...0,6) D$ .

Усилие  $F$  в зависимости от значения  $K$  (таблица 1) и диаметра шарика  $D$  устанавливают в соответствии с таблицей 2, продолжительность выдержки в соответствии с таблицей 3.

Таблица 1. Выбор параметра  $K$  в зависимости от исследуемого материала.

Материал	Твердость по Бринеллю	$K$
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. Выбор усилия вдавливания  $F$ .

Диаметр шарика, мм	Нагрузка $F$ , Н (кгс), для $K$					
	30	15	10	5	2,5	1
1,0	294,2 (30)	-	98,07 (10)	49,03 (5)	24,52 (2,5)	9,807 (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)

Таблица 3. Выбор продолжительности выдержки усилия.

Твердость по Бринеллю НВ, НВW	Продолжительность выдержки, с
<10	180
10...35	120
35...100	30
> 100	10-15

## 2.2.Оборудование для измерения твердости по методу Бринелля

В лаборатории кафедры для измерения твердости образцов по методу Бринелля используется прибор ТШП-2, устройство которого представлено на рисунке 2.

Прибор ТШП-2 имеет следующие основные технические характеристики:

- испытательные нагрузки, кгс.....750, 1000, 3000.
- допустимая погрешность нагрузки, %..... $\pm 1$ .
- твердость, проверяемая прибором НВ.....8 - 450.
- диаметры стальных шариков к наконечникам, мм.....5, 10.
- отклонение среднего значения твердости, полученного на проверяемом приборе, от среднего значения твердости образцовой меры твердости II разряда, %:
  - при нагрузке 750 кгс.....  $\pm 5$ .
  - при нагрузке 1000 кгс.....  $\pm 4$ .
  - при нагрузке 3000 кгс.....  $\pm 4$ .
- величина свободного хода шарикового наконечника до испытываемой поверхности, мм.....10.

### [Оглавление](#)

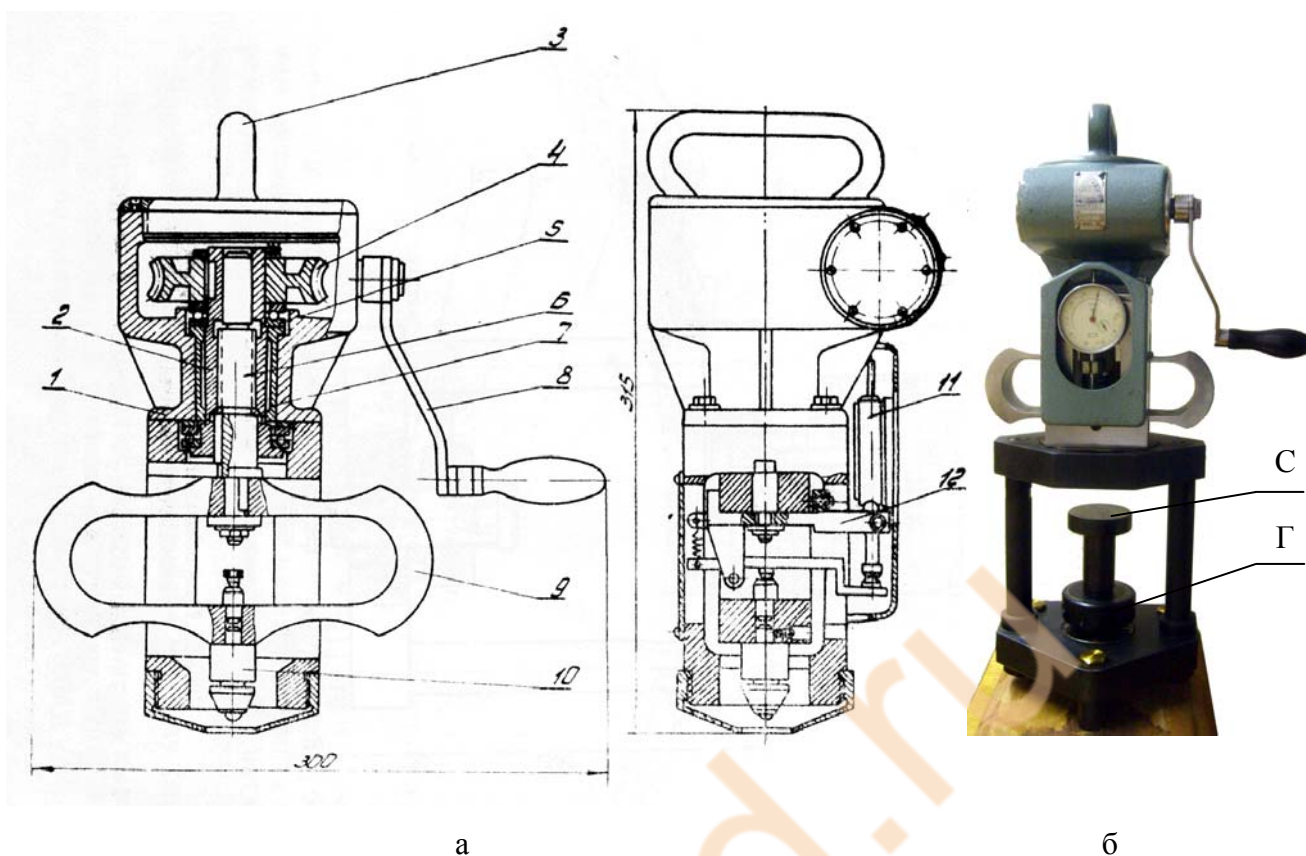


Рисунок 2. Прибор ТШП-2.

Переносной прибор ТШП-2 для измерения твердости состоит из измерительной головки, включающей в себя узел измерения нагрузок и приспособлений для крепления ее к деталям. С прибором поставляются следующие приспособления: для градуировки и проверки прибора; для крепления прибора в шпинделе вертикально-сверлильных станков; для крепления к специальному стенду; цепной захват. По специальному заказу потребителя поставляется приспособление для крепления прибора к головкам рельсов.

Нагрузку в приборе создают вручную. Нагружающий винт 6 жестко соединен одним концом с упругой скобой, гайкой ему служит втулка 2. К упругой скобе соосно с винтом крепят шариковые наконечники 10.

Рукояткой 8 через червячную пару 4 (червячное колесо насажено на втулку 2) вращение передается втулке. Вертикального перемещения втулка 2 не имеет. Вращается она в упорных подшипниках 5 и втулке 7. При вращении втулки нагружающий винт получает вертикальное перемещение. Нагрузку, передаваемую на испытуемое изделие, определяют по деформации упругой скобы 9, находящейся между винтом и наконечником. Деформация упругой скобы пропорциональна силе и измеряется индикатором через неравноплечий ходоувеличительный рычаг 12 (узел измерения). Применяется индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм.

С помощью приспособления для градуировки прибор можно жестко закрепить на каком-либо специальном столе и проверить его показания по нагрузкам (образцовым динамометром ДОСМ-3) и по образцовым мерам твердости.

### 2.3. Подготовка и работа на приборе

Перед проведением экспериментальных исследований по определению твердости по методу Бринелля проводят проверку пресса образцовыми мерами твердости типа МТБ (ГОСТ 9031-75). Стандарт регламентирует образцовые меры твердости в зависимости от способа измерения – прямоугольные и круглые меры для измерений твердости по методам Бринелля, Роквелла, Супер-Роквелла и Виккерса. Необходимо провести три замера твердости меры для проверки точности показаний прибора.

Далее выполняются замеры 10 значений твердости образцов выданных преподавателем для дальнейшей статистической обработки по программе `logm.exe` разработанной на кафедре. При проведении измерений выполнять условия, описанные выше.

Измерения проводятся по следующей схеме:

1. Опустить столик (поз.С на рисунке 2,б) на высоту заготовки перед проведением нагружения.
2. Установить заготовку на столик пресса.
3. Вращая гайку (поз.Г на рисунке 2,б) стола прижать поверхность заготовки к индентору (шарику). При этом стрелка индикатора выводится в показание «0».
4. Вращая рукоятку пресса, нагрузить заготовку расчетным значением нагрузки. Выбор нагрузки производится в соответствии с материалом заготовки и диаметром шарика (смотри таблицы 1 и 2).
5. Выдержать нагрузку в соответствии с таблицей 3.
6. Вращением рукоятки пресса в обратном направлении снять приложенную нагрузку.
7. Установить заготовку на предметный столик микроскопа УИМ-21.
8. Настроить поверхность с отпечатком в фокальной плоскости микроскопа.
9. Выставить систему координат (вертикальную визирную линию) касательно левой (правой) стороны отпечатка.
10. Измерить показания прибора.
11. Переместить вертикальную визирную линию на правую (левую) сторону отпечатка.
12. Измерить показания прибора.

13. Провести аналогичные измерения в вертикальном направлении измерения путем смещения горизонтальной визирной линии.

14. Вычислить диаметр отпечатка в горизонтальном и вертикальном направлениях.

15. Вычислить среднее арифметическое получившихся двух показаний, которое принять за значение диаметра отпечатка.

16. Рассчитать значение твердости по формуле:

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, [\text{кгс/мм}^2] \text{ или } HB = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, [\text{Н/мм}^2]$$

17. Проверить рассчитанное значение твердости по таблицам согласно приложениям 1 и 2.

В результате измерений получить 10 значений твердости образца и провести их статистическую обработку в соответствии с программой *poim*, разработанной на кафедре. Расчет по программе предполагает расчет среднего значения твердости, среднего квадратического отклонения и дисперсии, коэффициента вариации и проверку на нормальное распределение измерений. Результаты измерений занести в протокол отчета (таблица 5).

### 3. Измерение твердости по методу Роквелла

#### 3.1. Основы измерения твердости по Роквеллу

Сущность метода измерения твердости по Роквеллу заключается во внедрении в поверхность образца (или изделия) алмазного конусного (шкалы *A, C, D*) или стального сферического наконечника (шкалы *B, E, F, G, H, K*) под действием последовательно прилагаемых усилий предварительного  $F_0$  и основного  $F_1$  усилий и в определении глубины внедрения наконечника после снятия основного усилия  $F_1$  (ГОСТ 9013).

На рисунке 3 представлена схема измерения твердости с применением алмазного наконечника в виде конуса с углом при вершине  $\alpha=120^\circ$  и радиусом  $R=0,2$  мм по ГОСТ 9377. Аналогичная схема применяется для измерения твердости с применением стального наконечника в виде шара диаметром 1,588 мм (шкалы *B, F, G*) и 3,175 мм (шкалы *E, H, K*) по ГОСТ 3722. На рисунке приняты следующие обозначения:  $F$  - общее усилие, Н,  $h_0$  - глубина внедрения наконечника под действием предварительного усилия, мм,  $h_1$  - глубина внедрения наконечника под действием основного усилия, мм,  $e$  - глубина внедрения наконечника после снятия основного усилия в единицах измерения 0,002 мм.



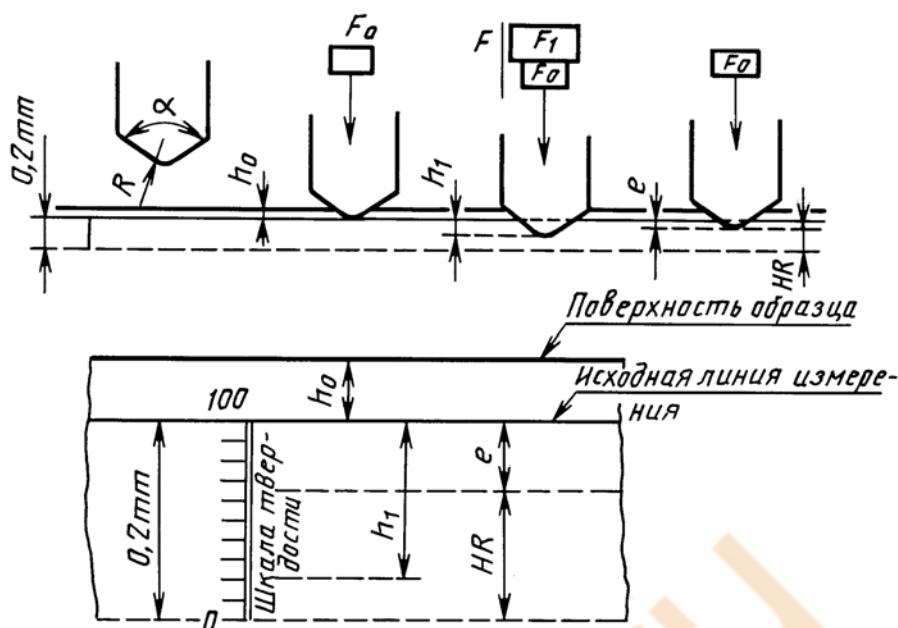


Рисунок 3. Схема проведения измерения твердости с применением алмазного наконечника.

Твердость по Роквеллу обозначают символом  $HR$  с указанием шкалы твердости, которому предшествует числовое значение твердости из трех значащих цифр. Например,  $61,5 HRC_3$  - твердость по Роквеллу 61,5 единиц по шкале  $C$ .

Требования к образцам.

1. Толщина образца должна не менее чем в 10 раз превышать глубину внедрения наконечника после снятия основного усилия. Минимальная толщина регламентирована ГОСТ 9013. Для оценки минимальной толщины образца при измерении по шкале  $C$  в диапазоне  $20HRC... 70HRC$  можно воспользоваться зависимостью  $h_{min} = 2,05 - 0,02 \cdot HRC$ .

2. Шероховатость поверхности образца должна быть не более  $R_a 2,5$ .

3. Образец должен быть подготовлен таким образом, чтобы не изменялись его свойства в результате механической или другой обработки, например, от нагрева или от наклепа.

### 3.2. Оборудование для измерения твердости по методу Роквелла

Приборы для измерения твердости должны обеспечивать приложение усилий, приведенных в таблице 4.

Измерение твердости по методу Роквелла приведено на примере прибора ТК-2М, представленного на рисунке 4.

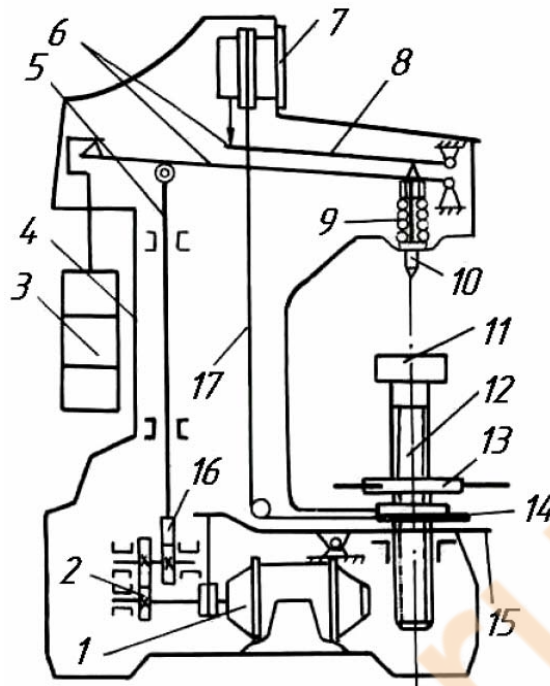


Рисунок 4. Прибор для измерения твердости материалов ТК-2М.

Прибор предназначен для измерения твердости металлов и сплавов по методу вдавливания алмазного конуса или стального закаленного шарика под действием заданной нагрузки в течение определенного времени (метод Роквелла). Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 9013. Механизм 14 подъемного столика 11 состоит из пары винт-маховик 12, 13. Испытания образца на твердость осуществляется с помощью механизма погружения, приводимого в действие электродвигателем 1. От двигателя через червячный редуктор 2 вращение передается кулачковому блоку 16, который через шток 5 опускает грузовой рычаг 6 с грузами 3 и передает нагрузку на образец через наконечник 10 с шариком или алмазным конусом на конце. При повороте кулачкового блока 16 на один оборот шток 5 возвращает грузовой рычаг 6 в первоначальное положение, снимая с наконечника приложенную нагрузку (за счет подвески 6 и пружины 9 на образец передается нагрузка, равная соответственно 60 кгс и 10 кгс, нагрузка в 100 кгс или 150 кгс передается на образец за счет сменных грузов 3).

Включение привода нагружения осуществляется педалью 15, а включение электродвигателя – выключателем, установленным на правой стороне корпуса прибора 4.

Фиксирование глубины проникновения наконечника в образец осуществляется индикатором 7, который приводится в движение рычагом 8. Точная установка индикатора на ноль достигается маховиком 14, который управляет шкалой индикатора 7 через трос 17.

Таблица 4. Нормативные усилия при измерении твердости по Роквеллу.

Шкала твердости	Обозначение единицы измерения	Предварительное усилие $F_0$	Основное усилие $F_1$	Общее усилие $F$	Диапазон измерений, ед. твердости
		Н (кгс)			
<i>A</i>	<i>HRA</i>	98,07 (10)	490,3 (50)	588,4 (60)	20...88
<i>B</i>	<i>HRB</i>		882,6 (90)	980,7 (100)	20...100
<i>C</i>	<i>HRC<sub>Э</sub></i>		1373 (140)	1471 (150)	20...70
<i>D</i>	<i>HRD</i>		882,6 (90)	980,7 (100)	40...77
<i>E</i>	<i>HRE</i>		882,6 (90)	980,7 (100)	70...100
<i>F</i>	<i>HRF</i>		490,3 (50)	588,4 (60)	60...100
<i>G</i>	<i>HRG</i>		1373 (140)	1471 (150)	30...94
<i>H</i>	<i>HRH</i>		490,3 (50)	588,4 (60)	80...100
<i>K</i>	<i>HRK</i>		1373 (140)	1471 (150)	40...100

### 3.3. Подготовка и работа на приборе

Испытуемый образец помещают на подъемный столик 11. Согласно выжидаемой твердости выбирают тип наконечника (в лабораторной работе устанавливается алмазный конус с углом при вершине 120 градусов для измерения твердости по шкале HRC) и устанавливают соответствующие грузы 3. Вращением маховика 13 поднимается столик с образцом до соприкосновения с наконечником. Затем продолжают медленно вращать маховик подъемного столика до тех пор, пока стрелка индикатора не сделает один оборот. При этом пружина 9 сжимается и создает дополнительную нагрузку на образец  $P_0=10$  кгс.

Нажатием педали 15 включают механизм нагружения прибора: вначале прикладывается полная нагрузка затем происходит выдержка под нагрузкой. После того как будет взведена рукоятка 14 положение стрелки на индикаторе будет соответствовать числу твердости по Роквеллу. После определения числа твердости вращением маховика 13 в обратном направлении освобождают образец. На каждом образце должно быть проведено не менее десяти испытаний. Все испытания желательно проводить на одном участке образца. Расстояние от центра отпечатка до края образца или до центра другого отпечатка должно быть не менее 4 мм. Не следует также проводить вдавливание наконечника близко к отпечаткам, полученным по способу Бринелля.

При проведении замеров твердости необходимо соблюдать следующие условия:

- приведение наконечника в контакт с рабочей поверхностью образца, приложение предварительного и основного усилий (в течение 2...8 с), а также снятие основного усилия (в течение 1...3 с) должны производиться плавно и без рывков;
- расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка (но не менее 2 мм);
- расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее 2,5 диаметра отпечатка (но не менее 1 мм);
- значение твердости округляется до 0,5 единицы твердости;
- продолжительность выдержки индикатора под общей нагрузкой в случае отличия от стандартных условий (см. выше) (для металлов, при измерении твердости которых резкого замедления или остановки стрелки индикатора не наблюдается, время выдержки под общим усилием  $F$  должно составлять от 10 до 15 с).

Результаты измерений следует занести в протокол отчета (таблица 5).

## 4. Измерение твердости по методу Виккерса

### 4.1. Основы измерения твердости по Виккерсу

Измерение твердости по методу Виккерса регламентируется ГОСТ 2999. По этому методу измеряются твердость черных и цветных металлов и сплавов при нагрузке от 9,807 Н (1 кгс) до 980,7 Н (100 кгс).

Измерение твердости основано на вдавливании алмазного наконечника в форме правильной четырехгранной пирамиды с углом между гранями  $136^\circ$  в образец (изделие) под действием силы  $F$ , приложенной в течение определенного времени, и измерении диагоналей отпечатка  $d_1, d_2$ , оставшихся на поверхности образца после снятия нагрузки (рисунок 5).

В результате испытаний на поверхности образца получают отпечаток в виде ромба, для которого измеряют обе диагонали и вычисляют их среднее значение.

Твердость по Виккерсу, так же как и по Бринеллю, определяется как удельное давление, приходящееся на единицу поверхности отпечатка.

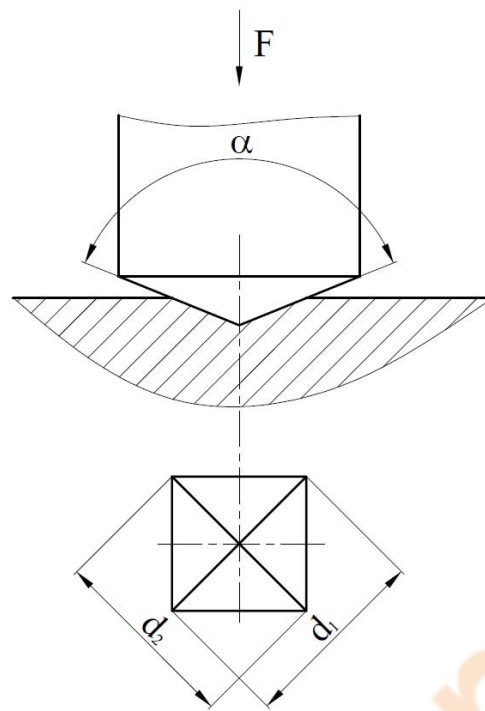


Рисунок 5. Измерение твердости по методу Виккерса.

Твердость по Виккерсу вычисляют по формуле:

$$HV = \frac{0,102 \cdot 2F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0,189 \frac{F}{d^2},$$

где  $F$  - нагрузка, Н,

$$HV = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2},$$

где  $P$  - нагрузка, кгс,  $\alpha$  – угол между противоположными гранями пирамиды при вершине, равный  $136^\circ$ ,  $d$  – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

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. Например, 500 HV – твердость по Виккерсу, полученная при нагрузке  $F = 294,2$  Н (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.

При измерении твердости алмазной пирамидой применяются следующие нагрузки: 9,807 (1); 19,61 (2); 24,52 (2,5); 29,42 (3); 49,03 (5); 98,07 (10); 196,1 (20); 294,2 (30); 490,3 (50); 980,7 (100) Н (кгс). 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).

При измерении минимальная толщина образца должна быть для стальных изделий больше диагонали отпечатка в 1,2 раза, а для изделий из цветных металлов – в 1,5 раза. Расстояние между центром отпечатка и краем образца или краем соседнего отпечатка должно быть не менее 2,5 длины диагонали отпечатка. Поверхность должна иметь шероховатость не более 0,16 мкм и быть свободной от окисной пленки и посторонних веществ.

Твердость по Виккерсу определяется по заранее составленным таблицам по измеренной величине диагонали отпечатка.

#### 4.2. Оборудование для измерения твердости по методу Виккерса

Для измерения твердости по методу Виккерса используются как стационарные (например, прибор Виккерса типа ТВ или ТП-7Р-1), так и переносные твердомеры (например, ТПП-2). На рисунке 6 представлен прибор ТП-7Р-1 с возможностью нагружения силой от 49 до 981 Н (или 5,10,20,30,50 и 100 кгс).

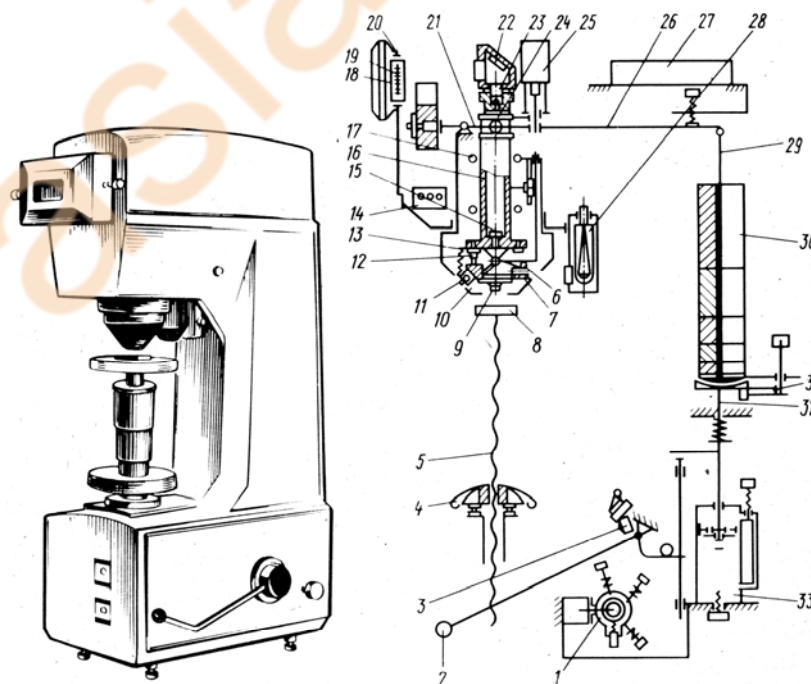


Рисунок 6. Прибор ТП-7Р-1.

Прибор имеет привод демпферного типа, что позволяет регулировать скорость подвода индентора к испытываемому изделию и снабжен проекционной оптической системой, обеспечивающей замер диагонали отпечатка на экране отсчетно-микрометрического устройства. Конструкция прибора обеспечивает автоматическое изменение положения объектива и наконечника перед и после нанесения отпечатка. В конструкцию прибора входят следующие основные механизмы, смонтированные внутри литого корпуса: шпиндель 16, микрометрическая головка 20, грузовой рычаг 21, грузовая подвеска 29, демпфер 33, механизм подъема 5 стола и панель 27 с электроаппаратурой.

Шпиндель и рычажная система предназначены для создания и передачи нагрузки на испытываемый образец. Шпиндель выполнен в виде трубы, помещенной в шарикоподшипниковых направляющих 17, на нижней части его закреплена поворотная каретка 7, несущая на себе испытательный наконечник 11 и объектив 9.

Положение каретки регулируется упорами 6 и 12. В исходном положении каретка устанавливается в положение «объектив».

В шпиндельной трубе смонтирована проекционная часть оптической системы, предназначенной для передачи изображения отпечатка на экран микрометрической головки. Оптическая система состоит из ахроматической линзы 15, окуляра 23, зеркала 22 и объектива 9. Шпиндель соединяется с рычагом 26 подшипниками 24. Для воспроизведения на шпинделе заданной нагрузки на рычажную систему навешивают грузы с помощью грузовой подвески 29 с набором грузов 30.

Деталь устанавливают на предметный стол 8 и вращением маховика 4 поджимают ее к чехлу 10. На грузовую подвеску устанавливают необходимые грузы. Поворотом рукоятки 2 освобождается шток 32 демпфера 33, напряжение подается на магнит 25, с помощью которого каретка 7 переводится из положения «объектив» в положение «наконечник».

Шток демпфера и грузовая подвеска с грузом опускаются вниз. Начинается приложение нагрузки – внедрение наконечника в испытываемое изделие. При полном приложении нагрузки замыкаются контакты 31 и сигнал поступает на реле времени для отсчета времени выдержки. По окончании времени выдержки, о чем свидетельствует сигнальная лампочка 14, нагрузка снимается. Затем выключается осветитель 28, микропереключатель 3 размыкается, отключает магнит 25 и каретка под действием пружины 13 поворачивается в положение «объектив».

Отпечаток проецируется через оптическую проекционную систему на экран микрометрической головки. Диагонали отпечатка измеряют по шкалам 18 и 19 в двух взаимно перпендикулярных направлениях и по таблицам определяют твердость в единицах HV. Пределы измерения твердости 8 HV – 2000 HV.

## 5. Порядок проведения лабораторной работы

1. Изучить теоретическую часть методического пособия.
2. Для измерения твердости образца, выданного преподавателем, выбрать и подготовить необходимые приборы и средства измерения твердости, а также составить схему отпечатков на поверхности образца в соответствии с требованием к их расположению согласно выбранному методу измерения твердости.
3. Измерить твердость образца не менее, чем в десяти точках на каждом образце (если их выдано несколько).
4. Используя программу `potm.exe`, определить соответствие нормальному распределению значений твердости, среднее значение твердости и характеристики рассеяния.
5. На основании анализа результатов измерений твердости образцов, сделать выводы о состоянии образца и правильности выбора прибора для измерения твердости.

## 6. Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- общие и теоретические сведения об измерении твердости образца по принятому методу измерения твердости (если по ходу работы выбрано и обосновано измерение твердости по методу Бринелля, то в отчет вставляют сведения по методу Бринелля, если по методу Роквелла, то сведения по методу Роквелла и т.д.). Должны быть описаны: суть метода, основные характеристики, описание прибора и последовательность измерения;
- эскиз заготовки для измерения твердости с нанесенной на ней схемой отпечатков;
- протокол измерений твердости (таблица 5);
- проверку результатов измерений на соответствие нормальному закону распределения (приложить распечатку);
- выводы по работе.

Таблица 5. Протокол измерений твердости материала образца.

№ п/п	Материал образца	Размеры/толщина образца, мм	Вид индентора	Нагрузка $F$ , Н	Время выдержки, с	Диаметр/диагональ отпечатка $d$ , мм			Твердость $HB$ ( $HRC$ )
						вдоль	поперек	среднее	



## 7. Контрольные вопросы

1. Что такое твердость?
2. Какие существуют способы измерения твердости металлов и сплавов?
3. Классификация методов измерения твердости?
4. Сущность измерения твердости по Бринеллю?
5. До какого значения твердости при испытании по Бринеллю используются стальные шарики?
6. Какого диаметра шарики используются при испытании на твердость по Бринеллю?
7. Из каких условий выбирается диаметр шарика при испытании на твердость по Бринеллю?
8. Сущность измерения твердости по методу Роквелла?
9. Сущность измерения твердости по методу Виккерса?

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Соотношения между числами твердости HRB, HB, HV

Роквелл HRB	Бринелль				Виккерс HV	Роквелл HRB	Бринелль				Виккерс HV
	Диаметр отпечатка $d_{10}$ ( $2d_{5, 4d_{2,5}}$ ), мм	HB при нагрузке P, кгс					Диаметр отпечатка $d_{10}$ ( $2d_{5, 4d_{2,5}}$ ), мм	HB при нагрузке P, кгс			
		3000 ( $30D^2$ )	1000 ( $10D^2$ )	250 ( $2,5D^2$ )				3000 ( $30D^2$ )	1000 ( $10D^2$ )	250 ( $2,5D^2$ )	
<b>100</b>	3,91	<b>240</b>	80,0	20,0	246	-	5,03	-	46,9	11,7	-
<b>99</b>	3,96	<b>234</b>	77,9	19,5	235	<b>76</b>	5,06	<b>139</b>	46,3	11,6	139
<b>98</b>	4,01	<b>228</b>	75,9	19,0	226	<b>75</b>	5,09	<b>137</b>	45,7	11,4	137
<b>97</b>	4,06	<b>222</b>	73,9	18,5	221	-	5,10	-	45,5	-	-
<b>96</b>	4,11	<b>216</b>	72,0	18,0	217	<b>74</b>	5,12	<b>135</b>	45,1	11,3	135
<b>95</b>	4,17	<b>210</b>	70,9	17,5	213	-	5,13	-	45,0	-	-
<b>94</b>	4,21	<b>205</b>	68,5	17,1	209	<b>72</b>	5,21	<b>130</b>	43,5	10,9	130
<b>93</b>	4,26	<b>202</b>	66,8	16,7	201	-	5,22	-	43,3	10,8	-
<b>92</b>	4,32	<b>195</b>	64,9	16,2	197	<b>70</b>	5,31	<b>125</b>	41,7	10,4	125
<b>91</b>	4,37	<b>190</b>	63,3	15,8	190	-	5,32	-	41,5	-	-
<b>90</b>	4,42	<b>185</b>	61,8	15,5	186	<b>68</b>	5,39	<b>121</b>	40,4	10,1	121
-	4,43	-	61,5	15,4	-	-	5,40	-	40,2	-	-
<b>89</b>	4,48	<b>180</b>	60,1	15,0	183	<b>66</b>	5,47	<b>117</b>	39,1	9,78	117
<b>88</b>	4,53	<b>176</b>	58,7	14,7	177	-	5,48	-	38,9	9,73	-
<b>87</b>	4,58	<b>172</b>	57,3	14,3	174	<b>64</b>	5,53	<b>114</b>	38,2	9,54	114
<b>86</b>	4,62	<b>169</b>	56,3	14,1	170	-	5,55	-	37,9	9,46	-
<b>85</b>	4,67	<b>165</b>	55,0	13,8	166	<b>62</b>	5,62	<b>110</b>	36,8	9,20	110
<b>84</b>	4,71	<b>162</b>	54,0	13,5	163	-	5,64	-	36,5	9,14	-
<b>83</b>	4,75	<b>159</b>	53,0	13,3	159	<b>60</b>	5,69	<b>107</b>	35,8	8,97	107
<b>82</b>	4,79	<b>156</b>	52,1	13,0	156	-	5,71	-	35,6	8,90	-
-	4,80	-	51,9	-	-	58	5,74	105	35,1	8,79	105
<b>81</b>	4,84	<b>153</b>	51,0	12,8	153	-	5,76	-	34,9	8,73	-
<b>80</b>	4,88	<b>150</b>	50,1	12,5	149	57	5,79	103	34,5	8,63	103
-	4,89	-	49,8	-	-	-	5,81	-	34,2	8,56	-
<b>79</b>	4,93	<b>147</b>	49,0	12,3	146	56	5,84	101	33,8	8,46	101
<b>78</b>	4,97	<b>144</b>	48,1	12,0	143	-	5,86	-	33,6	8,40	-
-	4,98	-	47,9	-	-	55	5,90	99,2	33,1	8,26	99
<b>77</b>	5,02	<b>141</b>	47,1	11,8	140	53	5,95	97,3	32,4	8,11	97
						51	6,00	95,5	31,8	7,96	95

Примечания:

1. Указанные в таблице значения твердости по Роквеллу и Виккерсу соответствуют значениям твердости по Бринеллю, определенным с помощью шарика диаметром  $D=10$  мм при нагрузке  $P=3000$  кг.

2. Обозначения диаметра отпечатка  $2d_5$  и  $4d_{2,5}$  указывают, что для отыскания по таблице числа твердости при испытании шариком диаметром  $D=5$  мм диаметр отпечатка нужно умножить на 2, а при испытании шариком диаметром  $D=2,5$  мм - умножить на 4. Например, для отпечатка диаметром 1,30 мм, полученного при испытании шариком диаметром 5 мм под нагрузкой  $30D^2$  (750 кгс), число твердости следует искать в таблице для отпечатка 2,60 мм ( $2 \cdot 1,30=2,60$ ), т.е. оно равно 555 (смотри в таблице ниже).

3. Соотношения между числами твердости, которые напечатаны жирным шрифтом, приняты Государственным комитетом стандартов.

### [Оглавление](#)

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Соотношения между числами твердости HRC, HRA, HB, HV\***

Роквелл		Диаметр отпечатка $d_{10}$ ( $2d_5, 4d_{2,5}$ ), мм	Бринелль			Виккерс HV	Роквелл		Диаметр отпечатка $d_{10}$ ( $2d_5, 4d_{2,5}$ ), мм	Бринелль			Виккерс HV
HRC	HRA		HB при нагрузке P, кгс				HRC	HRA		HB при нагрузке P, кгс			
			3000 (30D <sup>2</sup> )	1000 (10D <sup>2</sup> )	250 (2,5D <sup>2</sup> )					3000 (30D <sup>2</sup> )	1000 (10D <sup>2</sup> )	250 (2,5D <sup>2</sup> )	
72	89,0	2,20	782	261	65,0	1220	<b>51</b>	<b>76,5</b>	2,75	495	166	41,3	<b>528</b>
<b>70</b>	<b>86,5</b>	-	-	-	-	<b>1076</b>	<b>50</b>	<b>76,0</b>	-	-	-	-	<b>513</b>
<b>69</b>	<b>86,0</b>	2,25	744	248	62,0	<b>1004</b>	<b>49</b>	<b>75,5</b>	2,80	477	159	39,7	<b>498</b>
<b>68</b>	<b>85,5</b>	-	-	-	-	<b>942</b>	<b>48</b>	<b>74,5</b>	2,85	460	153	38,3	<b>485</b>
<b>67</b>	<b>85,0</b>	2,30	713	238	59,4	<b>894</b>	<b>47</b>	<b>74,0</b>	2,89	<b>448</b>	149	37,3	<b>471</b>
<b>66</b>	<b>84,5</b>	-	-	-	-	<b>854</b>	<b>46</b>	<b>73,5</b>	2,92	<b>437</b>	146	36,4	<b>458</b>
<b>65</b>	<b>84,0</b>	2,35	683	227	56,9	<b>820</b>	<b>45</b>	<b>73,0</b>	2,96	<b>426</b>	142	35,5	<b>446</b>
<b>64</b>	<b>83,5</b>	-	-	-	-	<b>789</b>	<b>44</b>	<b>72,5</b>	3,00	<b>415</b>	138	34,6	<b>435</b>
<b>63</b>	<b>83,0</b>	2,40	652	218	54,3	<b>763</b>	<b>42</b>	<b>71,5</b>	3,08	<b>393</b>	131	32,7	<b>413</b>
<b>62</b>	<b>82,5</b>	-	-	-	-	<b>739</b>	<b>40</b>	<b>70,5</b>	3,16	<b>372</b>	124	31,0	<b>393</b>
<b>61</b>	<b>81,5</b>	2,45	627	210	52,2	<b>715</b>	<b>38</b>		3,25	<b>352</b>	117	29,3	<b>373</b>
<b>60</b>	<b>81,0</b>	-	-	-	-	<b>695</b>	<b>36</b>		3,34	<b>332</b>	111	27,7	<b>353</b>
<b>59</b>	<b>80,5</b>	2,50	600	200	50,0	<b>675</b>	<b>34</b>		3,44	<b>313</b>	104	26,1	<b>334</b>
<b>58</b>	<b>80,0</b>	2,55	578	193	48,8	<b>655</b>	<b>32</b>		3,53	<b>297</b>	98,9	24,6	<b>317</b>
<b>57</b>	<b>79,5</b>	-	-	-	-	<b>636</b>	<b>30</b>		3,61	<b>283</b>	94,4	23,6	<b>301</b>
<b>56</b>	<b>79,0</b>	2,60	555	187	46,2	<b>617</b>	<b>28</b>		3,69	<b>270</b>	90,2	22,5	<b>285</b>
<b>55</b>	<b>78,5</b>	-	-	-	-	<b>598</b>	<b>26</b>		3,76	<b>260</b>	86,8	21,7	<b>271</b>
<b>54</b>	<b>78,0</b>	2,65	532	178	44,0	<b>580</b>	<b>24</b>		3,83	<b>250</b>	83,5	20,9	<b>257</b>
<b>53</b>	<b>77,5</b>	-	-	-	-	<b>562</b>	<b>22</b>		3,91	<b>240</b>	80,0	20,0	<b>246</b>
<b>52</b>	<b>77,0</b>	2,70	512	171	42,7	<b>545</b>	<b>20</b>		3,99	<b>230</b>	76,7	19,2	<b>236</b>

\* примечания смотри ПРИЛОЖЕНИЕ 1.