

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»



Н. Н. Попок  
В. С. Анисимов

## ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания  
к выполнению  
учебно-исследовательской лабораторной работы  
для студентов специальности 1-36 07 02  
«Производство изделий на основе трехмерных технологий»

*Текстовое электронное издание*

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой  
2023

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

**УДК 621.1 (075.8)**

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией  
механико-технологического факультета  
в качестве методических указаний (протокол № 14 от 29.06.2022 г.)

Кафедра технологии и оборудования машиностроительного производства

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Измерение твердости материалов» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**Технические требования:**

*1 оптический диск.*

**Системные требования:**

*PC с процессором не ниже Core 2 Duo;*

*2 Gb RAM; свободное место на HDD 2 Mb;*

*Windows XP/7/8/8.1/10*

*привод CD-ROM/DVD-ROM;*

*мышь*

Редактор *Т. А. Дарьянова*

---

Подписано к использованию 28.02.2023.

Объем издания 1,25 Мб. Заказ 84.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014, перерегистрация от 24.08.2022.

ЛП № 02330/278 от 27.05.2004.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>

## СОДЕРЖАНИЕ

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Краткие теоретические сведения о твердости материалов и методах ее определения .....                                    | 5  |
| 1.1 | Методы определения твердости.....   | 6  |
| 1.2 | Методы определения твердости при статическом нагружении.....  | 7  |
| 1.3 | Методы определения твердости при динамическом нагружении .....  | 15 |
| 1.4 | Описание конструкции и принципа работы стационарного твердомера HBRV-187.5 по шкале Бринелля, Роквелла и Виккерса ..... | 18 |
| 2.  | Порядок выполнения работы.....  | 20 |
| 3.  | Содержание отчета.....  | 21 |
|     | Литература .....  | 22 |

## Цель работы:

ознакомиться с основными понятиями и определениями, относящимися к твердости материалов; изучить конструкцию, принцип действия стационарного твердомера HBRV-187.5 по шкале Бринелля, Роквелла и Виккерса; экспериментальным путем определить твердость образцов.

## 1 Краткие теоретические сведения о твердости материалов и методах ее определения

Одной из наиболее распространенных характеристик, определяющих качество металлов и сплавов, возможность их применения в различных конструкциях и при эксплуатационных условиях работы, является **твердость**. Понятие «твердость» широко распространено и часто применяется в повседневной жизни. Различают твердые и мягкие вещества без определения или численного выражения твердости. В технике наиболее часто это понятие определяют как **сопротивление, оказываемое телом при внедрении в него другого, более твердого тела**. Испытание на твердость относится к наиболее часто используемым методам механических испытаний материалов благодаря следующим преимуществам:

1. Между твердостью пластичных металлов, определяемой способом вдавливания, и другими механическими свойствами (главным образом пределом прочности) существует количественная зависимость. Пластическая деформация металлов аналогична деформации, создаваемой в поверхностных слоях металла при измерении твердости вдавливанием индентора. Между пределом прочности и числом твердости HB различных металлов существует зависимость:

- Сталь с твердостью HB: 120–175  $\sigma_B \approx 0,34$  HB, 175–450  $\sigma_B \approx 0,35$  HB.
- Медь, латунь, бронза: отожженная  $\sigma_B \approx 0,55$  HB, наклепанная  $\sigma_B \approx 0,40$  HB.
- Алюминий и алюминиевые сплавы с твердостью HB: 20–45  $\sigma_B \approx (0,33–0,36)$  HB.
- Дуралюмин: отожженный  $\sigma_B \approx 0,36$  HB, после закалки и старения  $\sigma_B \approx 0,35$  HB.

Подобная количественная зависимость не наблюдается для хрупких материалов, которые при испытаниях на растяжение (сжатие, изгиб, кручение) разрушаются без заметной пластической деформации, а при измерении твердости получают пластическую деформацию. Однако иногда и для этих металлов (например, серых чугунов) наблюдается качественная зависимость между пределом прочности и твердостью: возрастанию твердости обычно соответствует увеличение предела прочности на сжатие. По значениям твердости можно определять

и некоторые пластические свойства металлов. Твердость, определенная вдавливанием, характеризует также предел выносливости некоторых металлов, в частности меди, дуралюмина и сталей в отожженном состоянии.

2. Измерение твердости по технике выполнения значительно проще и быстрее, чем определение прочности, пластичности и вязкости. При испытаниях на твердость не требуется изготовления специальных образцов. Эти испытания выполняются непосредственно на проверяемых деталях после зачистки на поверхности ровной горизонтальной площадки, а иногда даже и без такой подготовки.

3. Измерение твердости обычно не влечет за собой разрушения проверяемой детали, и после этого ее можно использовать по своему назначению.

4. Твердость можно измерять на деталях небольшой толщины, а также в очень тонких слоях, не превышающих десятых долей миллиметра, или в микрообъемах металла; в последнем случае измерения проводят способом микротвердости. Поэтому многие способы измерения твердости пригодны для оценки различных по структуре и свойствам слоев металла, например, поверхностного слоя цементированной, азотированной или закаленной стали, имеющей разную твердость по сечению детали. Методом определения микротвердости можно также измерять твердость отдельных составляющих в сплавах.

### **1.1 Методы определения твердости**

Разработано большое количество методов измерения твердости, которые обычно основываются на том, что в испытуемый материал вдавливают индентор и образующую при этом пластическую и (или) упругую деформацию рассматривают как меру твердости материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твердость. В результате вдавливания с достаточно большой нагрузкой поверхностные слои материала, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток. Особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что она протекает только в небольшом объеме, окруженном недеформированным материалом. В таких условиях возникают, главным образом, касательные напряжения, а доля растягивающих напряжений незначительна по сравнению с получаемыми при других видах механических испытаний (на растяжение, изгиб, кручение, сжатие). Поэтому при измерении твердости вдавливанием пластическую деформацию испытывают не только пластичные, но также металлы (например, чугун), которые при обычных механических испытаниях (на растяжение, сжатие, кручение, изгиб) разрушаются практически без пластической деформации.

Экспериментально твердость определяют статическими и динамическими методами. При статических методах твердость определяется вдавливанием в поверхность материала кого-либо твердого предмета-индентора, выполненного в виде стального шарика, алмазного конуса, пирамиды или иглы, деформацией которого можно пренебречь, или царапанием поверхности образца. По размерам получаемого на поверхности отпечатка судят о твердости материала.

Динамические методы основаны на нанесении отпечатка шариком при ударной нагрузке, когда твердость определяется как сопротивление материала пластическому деформированию при ударе или по отскоку от материала свободно падающего бойка или маятника с бойком. В последнем случае твердость определяется как сопротивление материала упругой и упругопластической деформации. Иногда используют метод определения твердости по затуханию колебаний маятника при его контакте с испытуемым материалом, по сопротивлению абразивному изнашиванию, резанию, шлифованию и др.

## 1.2 Методы определения твердости при статическом нагружении

Методы измерения твердости при статическом нагружении отличаются друг от друга формой индентора (шарик, пирамида, конус), его материалом (закаленная сталь, твердый сплав, алмаз) и величиной приложенной нагрузки (измерение макротвердости, твердости при малых нагрузках и микротвердости), а также способом выражения характеристик твердости. Определение твердости в макроскопической области, т.е. с применением больших усилий при испытании ( $F > 30$  Н), приводит к получению большого отпечатка, который выбирают в качестве параметра макротвердости, характерного для структуры в целом. К испытаниям такого рода относятся способы определения твердости по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу. При определении микротвердости с использованием небольших и очень малых нагрузок (до 2 Н) удастся получить характеристики твердости в специфических областях. Поскольку получаемые отпечатки очень малы, можно при использовании подобных методов провести локальное измерение твердости. Например, можно измерить твердость отдельных кристаллитов или включений, а также описать изменение твердости в зоне диффузии.

### 1.2.1 Определение твердости по Бринеллю

Метод определения твердости по Бринеллю рекомендуется использовать для черных и цветных металлов с твердостью от 8 до 450 единиц. Этот метод основан на вдавливании в испытуемый материал под действием силы  $F$  стального шарика диаметром  $D$  и последующем измерении диаметра  $d$  полученного

отпечатка. Твердость по Бринеллю (число твердости) НВ выражается отношением нагрузки к площади поверхности сферического отпечатка, имеющего форму шарового сегмента диаметром  $d$  (рисунок 1). Выбор нагрузки должен быть таким, чтобы  $0,2D < d < 0,6D$ .

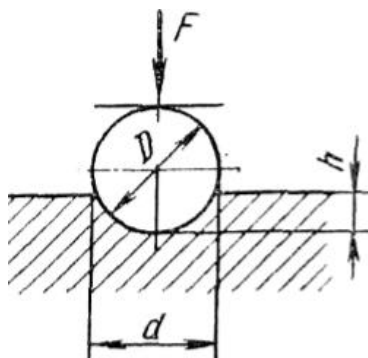


Рисунок 1. – Схема для определения твердости по Бринеллю

Размеры шариков стандартизированы, их диаметры составляют 10; 5; 2,5 мм. Диаметр шарика  $D$ , нагрузка на него  $F$ , время выдержки  $\tau$  под нагрузкой рекомендуются ГОСТ 9012 в зависимости от испытываемого материала, минимальной толщины исследуемого образца и интервала его твердости. Для черных металлов  $F$  принимается  $10D^2$  или  $30D^2$ ,  $\tau = 10$  с; для цветных  $F$  составляет  $2,5D^2$ ,  $10D^2$  или  $30D^2$ ,  $\tau = 60$  (или 30) с. Диаметр отпечатка измеряется с помощью специальной лупы, а твердость находится по таблице (ГОСТ 9012).

Поверхность образцов следует подготовить так, чтобы диаметр образующегося отпечатка можно было точно измерить. Образец должен иметь такую толщину, чтобы отпечаток не вызывал на обратной его стороне, контактирующей с подставкой, сколько-нибудь заметной деформации.

Расстояние между центром отпечатка и краем образца должно составлять не меньше  $2,5d$  (железо и его сплавы, медь и медные сплавы) и  $3d$  (легкие металлы). В противном случае возможно искажение величины твердости из-за смещения материала на краю образца. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков для железа и его сплавов, меди и медных сплавов должно не менее чем в 4 раза, а для легких сплавов в 6 раз превышать средний диаметр отпечатка. Диаметр образующегося отпечатка следует измерять в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определять среднее двух измерений. В анизотропных материалах размеры взаимно перпендикулярных диаметров отпечатка могут отличаться друг от друга. Используемый для определения величины твердости диаметр отпечатка должен быть рассчитан как среднее минимум двух отпечатков.

Твердость испытываемого материала не должна превышать НВ 450, поскольку в противном случае деформация шарика не позволяет провести точные



измерения. Если в качестве индентора используют не закаленную сталь, а твердый сплав, то начиная с твердости, равной HB 350, получают завышенные значения. При твердости HB 450 максимальное отклонение составляет ~2%, поэтому при HB 350–450 не рекомендуется использовать шарики из твердого сплава.

### 1.2.2 Определение твердости по Виккерсу

Рекомендуется использовать метод определения твердости по Виккерсу для черных и цветных металлов и сплавов (в т.ч. в тонких поверхностных слоях и покрытиях). Метод Виккерса особенно удобен для деталей, имеющих сложную форму. Твердость по Виккерсу (HV) определяется вдавливанием в образец четырехгранной алмазной пирамиды с углом между противоположными гранями, равным  $136^\circ$  (рисунок 2), и выражается числом твердости, полученным делением нагрузки на площадь поверхности пирамидального отпечатка (вычисляется по длине диагоналей отпечатка).

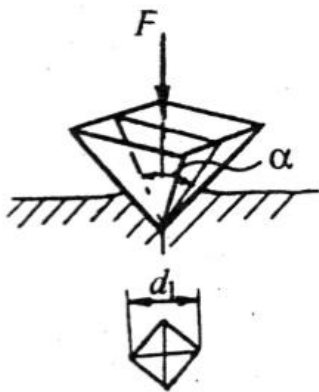


Рисунок 2. – Схема для определения твердости по Виккерсу

Для упрощения определения числа твердости по Виккерсу пользуются таблицами, приведенными в ГОСТ 2999.

Поскольку, строго говоря, поверхность отпечатка по Виккерсу часто не имеет формы квадрата, для расчета твердости используют среднее значение двух диагоналей. При определении твердости по Виккерсу приложенная нагрузка заметно меньше, чем при определении твердости по Бринеллю. Наиболее предпочтительны нагрузки 49, 98, 196, 294, 490 и 980 Н. В стандартном случае применяют нагрузку 294 Н.

Краткое обозначение складывается из следующих символов: индекса HV; величины приложенной нагрузки  $F$  в Ньютонах, умноженной на коэффициент 0,102 и указываемой через черточку длительностью нагружения в секундах (например, 50–20 HV). Сама величина твердости ставится перед индексом. Если нагрузка составляет 294 Н, а продолжительность ее воздействия 10–15 с, то приводят только индекс HV.

При использовании меньших нагрузок получается менее глубокий отпечаток, что позволяет применять образцы меньшей толщины и использовать этот метод для определения твердости относительно тонких поверхностных слоев.

### 1.2.3 Определение твердости по Роквеллу

Метод определения твердости по Роквеллу распространяется на черные и цветные металлы и сплавы.

Метод отличается от рассмотренных выше тремя особенностями:

- совмещением операций вдавливания наконечника и измерения размеров отпечатка, что обуславливает ускорение и возможность автоматизации процесса испытаний;
- применением в качестве наконечника наряду с шариком алмазного конуса;
- число твердости по Роквеллу выражается в условных единицах, соответствующих разности глубин проникновения наконечника под действием основной и предварительной нагрузок.

За единицу твердости по Роквеллу принята величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Измерения могут выполняться по одной из четырех шкал: А, В, С и F. Значения твердости, определенные по разным шкалам, не сопоставимы.

Метод Роквелла получил широкое применение, т.к. он позволяет определять твердость быстро и просто, практически без повреждения испытываемого изделия (образца).

При определении твердости по Роквеллу индентор вдавливается в испытываемый материал и глубина вдавливания  $t$  служит мерой твердости. Определение параметра твердости сводится к определению глубины вдавливания, поэтому само испытание проводится значительно быстрее и весь процесс измерения твердости может быть автоматизирован без больших затрат.

Но если рассматривать глубину вдавливания как непосредственную характеристику твердости, то получается, что мягкие материалы благодаря большой глубине вдавливания имеют высокую твердость, а твердые материалы – соответственно низкую. Но поскольку по Бринеллю и Виккерсу для твердых материалов установлены высокие, а для мягких – низкие значения твердости, то при определении твердости по Роквеллу выбирают какую-либо реперную точку и полученную величину глубины вдавливания  $t_b$  вычитают из произвольно выбранной максимальной глубины вдавливания  $t_{\max}$ :

$$HR = t_{\max} - t_b, \quad (1)$$

Для того чтобы исключить влияние шероховатости поверхности и ошибок, получающихся из-за локальных повреждений или сложной конфигурации образца (в большинстве случаев для определения глубины вдавливания используют стрелочные индикаторы), общую нагрузку прикладывают в два приема – в виде предварительной и основной нагрузок.

Принцип определения твердости по Роквеллу показан на рисунке 3.

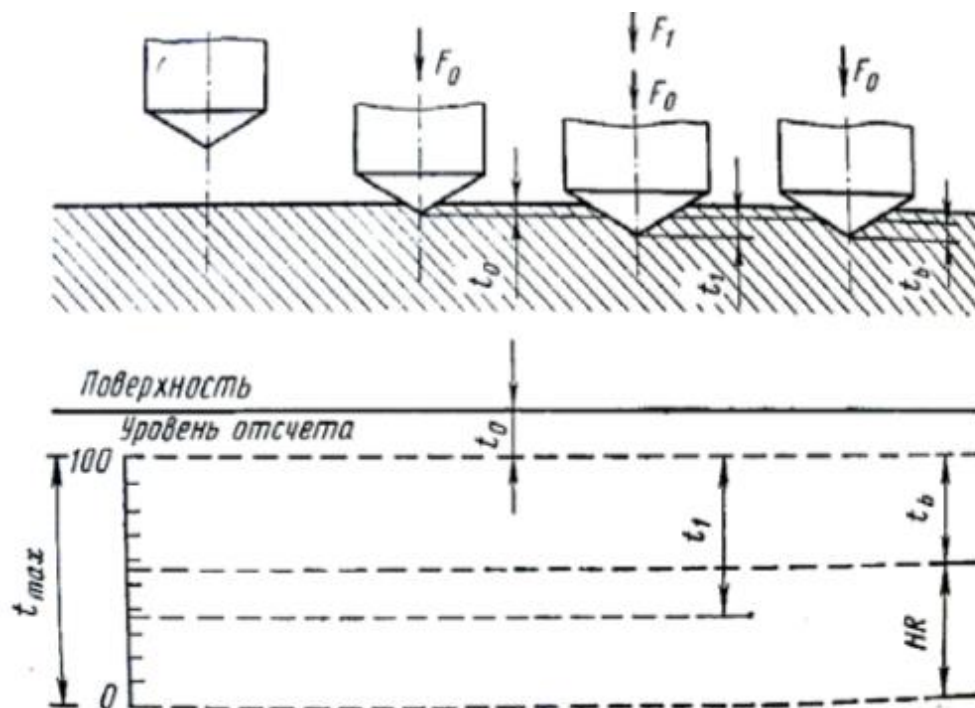


Рисунок 3. – Схема для определения твердости по Роквеллу

В соответствии с этим принципом индентор сначала при предварительной нагрузке  $F_0$  вдавливается в испытуемый материал на глубину  $t_0$ . От этой реперной точки  $t_0$  определяется уровень отсчета для измерения получающейся при определении твердости глубины вдавливания  $t_b$ . При наложении основной нагрузки  $F_1$  в течение 2–8 с индентор вдавливается в материал на общую глубину  $t_1$ . Продолжительность процесса вдавливания при суммарной нагрузке  $F_0 + F_1$  зависит от ползучести испытываемого материала.

В общем случае она составляет:

- от 2 до 3 с – для материалов с не зависящей от времени пластической деформацией;
- от 6 до 8 с – для материалов с зависящей от времени пластической деформацией;
- от 20 до 30 с – для материалов с существенно зависящей от времени пластической деформацией.

По истечении времени вдавливания основную нагрузку  $F_1$  снимают, измеряют полученную глубину вдавливания  $t_b$  и по ней в соответствии с формулой (1) рассчитывают твердость по Роквеллу. Большинство цифровых шкал стрелочных индикаторов, используемых для определения остаточной глубины вдавливания, рассчитано на непосредственное считывание величин твердости, так что отпадает необходимость проведения арифметических расчетов. При нанесении поля допусков на цифровую шкалу можно произвести быструю сортировку исследуемых материалов, а при соединении с электронными приборами, осуществляющими такую сортировку, процесс испытаний может быть легко автоматизирован.

Существует несколько шкал для проверки твердости, основанных на комбинации «индентор – нагрузка» (таблица 1). При измерении твердости по Роквеллу наиболее часто используют метод С. Получаемая величина твердости указывается перед индексом использованного метода, например, 47 HRC. При измерении необходимо помнить, что величина твердости должна представлять собой среднее арифметическое не менее трех отдельных измерений. При определении твердости по Роквеллу методом С расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее 4 мм, расстояние центра отпечатка от края образца – не менее 3 мм.

Таблица 1. – Основные шкалы твердости по Роквеллу

| Шкала | Индентор   | Нагрузка, Н |
|-------|--|-------------|
| А     | Алмазный конус с углом 120° в вершине                                  | 60          |
| В     | Шарик диаметром 1/16 дюйма из карбида вольфрама (или из твердой стали) | 100         |
| С     | Алмазный конус с углом 120° в вершине                                  | 150         |

Испытываемый материал должен иметь достаточную толщину, чтобы отпечаток не вызывал на обратной стороне образца никакой видимой деформации. Для этого толщина испытываемого образца должна быть не менее чем в 8 раз больше глубины вдавливания  $t_b$ . В общем случае поверхность образца, подвергаемая испытанию на твердость, должна быть плоской. При контроле цилиндрических образцов индентор вдавливается глубже, чем при испытании плоских образцов той же твердости, поэтому величина твердости получается заниженной.

Точный пересчет величины твердости по Роквеллу на значения твердости, полученные другими методами испытаний, невозможен. Для отдельных групп материалов получают ориентировочные результаты при тщательном проведении сравнительных исследований.

### 1.2.4 Сравнительные значения твердости, измеренные различными методами

Сравнительные значения твердости, измеренные различными методами, приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Сравнительные значения твердости, измеренные различными методами

| $F = 30000 \text{ Н}$<br>$D = 10 \text{ мм}$<br>$t = 10\text{--}15 \text{ с}$ |                           | Твердость по Роквеллу |      |     | Твердость по Виккерсу, МПа | Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа<br>(углеродистые стали) |
|---|---------------------------|-----------------------|------|-----|----------------------------|--|
| Диаметр отпечатка, мм   | Твердость по Бринеллю, НВ | HRC                   | HRA  | HRB |                            |  |
| 1   | 2                         | 3                     | 4    | 5   | 6                          | 7  |
| 2,20  | 780                       | 72                    | 89   | —   | 12240                      | —  |
| 2,26  | 745                       | 70                    | 87   | —   | 11160                      | —  |
| 2,30  | 712                       | 68                    | 85,5 | —   | 10220                      | —  |
| 2,35  | 682                       | 66                    | 84,5 | —   | 9410                       | —  |
| 2,40  | 653                       | 64                    | 83,5 | —   | 8680                       | —  |
| 2,45  | 627                       | 62                    | 82,5 | —   | 8040                       | —  |
| 2,50  | 601                       | 60                    | 81,0 | —   | 7460                       | —  |
| 2,55  | 578                       | 58                    | 80,0 | —   | 6940                       | —  |
| 2,60  | 555                       | 56                    | 79,0 | —   | 6490                       | —  |
| 2,65  | 534                       | 54                    | 78,0 | —   | 6060                       | —  |
| 2,70  | 514                       | 52                    | 77,0 | —   | 6870                       | —  |
| 2,75  | 495                       | 50                    | 76,0 | —   | 5510                       | 1780   |
| 2,80  | 477                       | 49                    | 75,5 | —   | 5340                       | 1720   |
| 2,85  | 461                       | 48                    | 74,5 | —   | 5020                       | 1650   |
| 2,90  | 444                       | 46                    | 73,5 | —   | 4730                       | 1600   |
| 2,95  | 429                       | 46                    | 73,0 | —   | 4500                       | 1550   |
| 3,00  | 415                       | 44                    | 72,5 | —   | 4350                       | 1490   |
| 3,05  | 401                       | 42                    | 71,5 | —   | 4120                       | 1440   |
| 3,10  | 388                       | 41                    | 71,0 | —   | 4010                       | 1395   |
| 8,15  | 375                       | 40                    | 70,5 | —   | 3900                       | 1350   |
| 3,20  | 363                       | 39                    | 70,0 | —   | 3800                       | 1305   |
| 3,25  | 362                       | 38                    | 69,0 | —   | 3610                       | 1265   |
| 3,30  | 341                       | 37                    | 68,0 | —   | 3440                       | 1225   |
| 3,35  | 331                       | 36                    | 68,5 | —   | 3350                       | 1195   |
| 3,40  | 321                       | 35                    | 68,0 | —   | 3200                       | 1155   |
| 3,45  | 311                       | 34                    | 67,5 | —   | 3120                       | 1115   |
| 3,50  | 302                       | 33                    | 67,0 | —   | 3050                       | 1085   |
| 3,55  | 293                       | 31                    | 66,0 | —   | 2910                       | 1055   |
| 3,60  | 286                       | 30                    | 65,5 | —   | 2850                       | 1030   |

Продолжение таблицы 2

| 1    | 2   | 3  | 4    | 5   | 6    | 7     |
|------|-----|----|------|-----|------|-------|
| 3,65 | 277 | 29 | 65,0 | —   | 2780 | 995   |
| 3,70 | 269 | 28 | 64,5 | —   | 2720 | 970   |
| 3,75 | 262 | 27 | 64,0 | —   | 2610 | 945   |
| 3,80 | 255 | 26 | 63,5 | —   | 2550 | 920   |
| 3,85 | 248 | 25 | 63,0 | —   | 2500 | 895   |
| 3,90 | 241 | 24 | 62,5 | 100 | 2400 | 870   |
| 3,95 | 235 | 23 | 62,0 | 99  | 2350 | 845   |
| 4,00 | 228 | 22 | 61,5 | 98  | 2260 | 825   |
| 4,05 | 223 | 21 | 61,0 | 97  | 2210 | 800   |
| 4,10 | 217 | 20 | 60,0 | 97  | 2170 | 780   |
| 4,15 | 212 | 19 | 59,5 | 96  | 2130 | 760   |
| 4,20 | 207 | 18 | 59,0 | 95  | 2090 | 745   |
| 4,25 | 202 | 16 | 58,0 | 94  | 2010 | 720   |
| 4,30 | 196 | 12 | 57   | 93  | 1970 | 705   |
| 4,35 | 192 | 11 | —    | 92  | 1900 | 690   |
| 4,40 | 187 | —  | —    | 91  | 1860 | 675   |
| 4,45 | 183 | —  | —    | 96  | 1830 | 660   |
| 4,50 | 179 | —  | —    | 99  | 1770 | 640   |
| 4,55 | 174 | —  | —    | 87  | 1740 | 625   |
| 4,60 | 170 | —  | —    | 86  | 1710 | 610   |
| 4,65 | 166 | —  | —    | 85  | 1650 | 600   |
| 4,70 | 163 | —  | —    | 84  | 1620 | 585   |
| 4,75 | 159 | —  | —    | 83  | 1590 | 575   |
| 4,80 | 156 | —  | —    | 82  | 1540 | 56,0  |
| 4,85 | 153 | —  | —    | 81  | 1520 | 55,0  |
| 4,90 | 149 | —  | —    | 80  | 1490 | 53,5  |
| 4,95 | 146 | —  | —    | 78  | 1470 | 52,5  |
| 5,00 | 143 | —  | —    | 76  | 1440 | 51,0  |
| 5,05 | 140 | —  | —    | 76  | —    | 50,0  |
| 5,10 | 137 | —  | —    | 75  | —    | 49,5  |
| 5,15 | 134 | —  | —    | 74  | —    | 48,6  |
| 5,20 | 131 | —  | —    | 72  | —    | 47,0  |
| 6,25 | 128 | —  | —    | 71  | —    | 46,25 |
| 5,30 | 126 | —  | —    | 69  | —    | 45,0  |
| 5,35 | 124 | —  | —    | 69  | —    | 44,0  |
| 5,40 | 121 | —  | —    | 67  | —    | 43,5  |
| 5,45 | 118 | —  | —    | 66  | —    | 42,5  |

Окончание таблицы 2

| 1    | 2   | 3 | 4 | 5  | 6 | 7     |
|------|-----|---|---|----|---|-------|
| 5,50 | 116 | — | — | 65 | — | 41,75 |
| 5,55 | 114 | — | — | 64 | — | 41,25 |
| 5,60 | 112 | — | — | 62 | — | 40,5  |
| 5,65 | 109 | — | — | 61 | — | 39,0  |
| 5,70 | 107 | — | — | 59 | — | 38,5  |
| 5,75 | 105 | — | — | 68 | — | 38,0  |
| 5,80 | 103 | — | — | 57 | — | 37,0  |
| 5,85 | 101 | — | — | 56 | — | 36,5  |
| 5,90 | 99  | — | — | 54 | — | 35,5  |
| 5,95 | 97  | — | — | 53 | — | 35,0  |
| 6,00 | 96  | — | — | 52 | — | 34,5  |

### 1.3 Методы определение твердости при динамическом нагружении

Наряду с методами измерения твердости при статическом нагружении хорошо зарекомендовали себя такие методы, в которых индентор воздействует на испытываемую поверхность, падая с определенной высоты, и под действием ударной нагрузки. При этом твердость можно определять либо по высоте отскока индентора, либо по размеру получаемого отпечатка. На этой основе различается упругодинамический метод (определение твердости методом упругого отскока) и пластико-динамический метод (определение твердости методом удара).

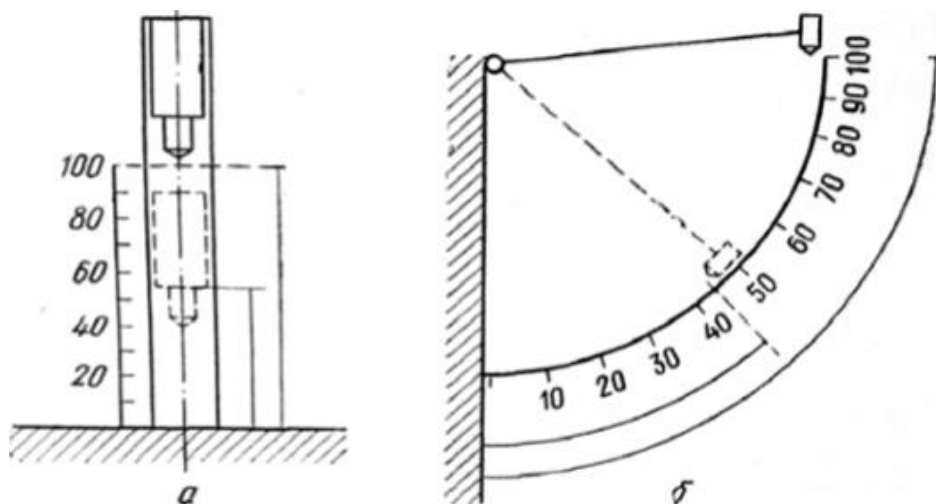
Приборы для определения твердости методом удара удобны, они имеют малый размер, легко транспортируются, что позволяет доставлять их к испытываемому объекту и проводить испытания в самых разнообразных условиях (на материальном складе, на строительном или монтажном участке), а также испытывать большие заготовки и полуфабрикаты, не вырезая специальных образцов или темплетов. Вследствие меньшей точности по сравнению со статическими методами испытаний этот метод находит применение преимущественно для предварительной отсортировки материалов и проверки равномерности свойств.

#### 1.3.1 Упругодинамический метод

Когда используемый для этих способов индентор (называемый обычно бойком) – шарик или определенной формы алмазная игла – падает с заданной высоты на поверхность испытываемого материала, он отскакивает от нее. Под действием почти остроконечного бойка материал пластически деформируется.

На процесс деформации расходуется часть энергии падения, так что при отскоке боек не достигает первоначальной высоты. Высота отскока тем больше, чем меньше доля пластической деформации материала. Основной областью применения этого метода является испытание крупных заготовок на равномерность поверхностной твердости. Поскольку при соударении бойка с поверхностью, как правило, не образуется заметного отпечатка, можно проводить испытания также на окончательно обработанных методом шлифования деталях, например, на поверхности бочек валков холодной прокатки. Если приходится сравнивать определяемые с помощью этого метода величины твердости на различных материалах, то следует учесть, что такое сравнение имеет смысл только в том случае, если материалы имеют примерно одинаковые модули упругости.

Самым известным испытательным прибором является склероскоп Шора. В качестве индентора применяют боек массой  $\sim 2$  г с закругленной алмазной иглой. Принцип испытания представлен на рисунке 4, а.



**Рисунок 4. – Схема определения твердости  
упругодинамическим методом с использованием:  
а – падающего бойка (склероскопа); б – маятникового бойка (склерометра)**

Величиной твердости является высота отскока, и по шкале с произвольно нанесенными делениями в 100 единиц можно непосредственно считывать значения твердости. Поскольку испытательные приборы часто различаются по массе молоточка, форме бойка и иглы, а также по высоте падения, необходимо всегда наряду с величиной твердости, определяемой по высоте отскока, указывать используемый прибор. Разумеется, прибор такого типа можно использовать для испытаний только в том случае, если измерения проводят на горизонтальной поверхности заготовки. При использовании маятникового



молота принцип отскока распространяется также на испытания вертикальных поверхностей (см. рисунок 4, б).

Величина твердости в таких приборах выражается величиной угла отскока маятника. Преимущество этого способа заключается в том, что исключается неконтролируемое при падении бойка влияние трения в направляющих.

### 1.3.2 Пластико-динамический метод

При проведении измерений в качестве индентора чаще всего используется шарик, который воздействует на испытываемый материал в условиях ударно действующей нагрузки, поэтому на поверхности материала остается отпечаток. При использовании молотка Баумана (рисунок 5, а) шарик прижимается к материалу под действием пружины, а величина твердости определяется размером отпечатка. Пересчетные таблицы, полученные при многочисленных сравнительных испытаниях, позволяют выразить результаты испытаний в значениях НВ. Условия проведения испытаний – диаметр шарика (5 или 10 мм), полное или половинное натяжение пружины – зависят от твердости испытываемого материала.

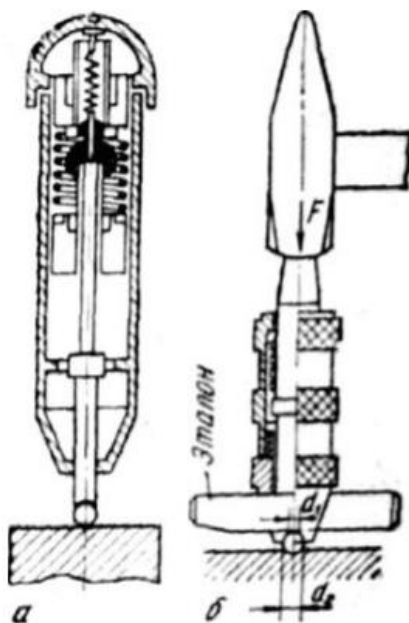


Рисунок 5. – Схема определения твердости  
пластико-динамическим методом с использованием:  
а – молотка Баумана; б – молотка Пальди

Таким же удобным способом измерения твердости является метод Пальди (см. рисунок 5, б). При ударе молотком по установленному на испытываемом материале короткому цилиндрическому стержню шарик производит отпечаток

в материале. Но в отличие от молотка Баумана в этом случае неизвестна величина силы, применяемая при получении отпечатка. По этой причине используется эталонный стержень с известной твердостью, в котором при ударе молотком также образуется отпечаток. По величине диаметров обоих отпечатков ( $d_1$  в эталоне,  $d_2$  в материале) и по известному параметру НВ эталонного стержня  $H_1$  можно определить величину твердости исследуемого материала:

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} = 0, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр шарика, мм.

При отсортировке перепутанных материалов или предварительной разбраковке часто вполне достаточно установить, тверже или мягче испытываемый материал эталонного стержня. При этом диаметр отпечатка в материале должен быть соответственно меньше или больше. В этих случаях метод Польди вполне применим.

#### **1.4 Описание конструкции и принципа работы стационарного твердомера HBRV-187.5 по шкале Бринелля, Роквелла и Виккерса**

Твердомер модели HBRV-187.5 предназначен для определения твердости по методам Роквелла, Бринелля и Виккерса.

В соответствии с методом испытания твердости по Бринеллю твердомер может быть использован для определения твердости по Бринеллю незакаленных сталей, чугуна, цветных металлов и мягких подшипниковых сплавов и т.д.

В соответствии с методом испытания твердости Роквелла твердомер может также использоваться для определения единиц твердости по Роквеллу закаленных стальных частей (HRC), сверхтвердых инструментальных сплавов (HRA) и мягких или незакаленных металлов (HRB).

В соответствии с методом испытания твердости по Виккерсу этот твердомер может быть использован для измерения единиц твердости по Виккерсу цветных и черных металлов.

Твердомер широко используется на предприятиях машиностроения и металлургии, в лабораториях вузов и научно-исследовательских институтов для определения твердости. Основные технологические характеристики твердомера модели HBRV-187.5 приведены в таблице 3.

Твердомер состоит из рамы, главного рычажного механизма, механизма нагрузки и разгрузки, оптического измерительного экрана, механизма выбора нагрузки и механизма подъема рабочего стола. (рисунок 6).

Таблица 3. – Основные технические характеристики твердомера модели HBRV-187.5

| Обозначение шкал измерения твёрдости | Интервалы измерения твёрдости, HV          |            |            |            |            |             |
|--------------------------------------|--|------------|------------|------------|------------|-------------|
|                                      | 250<br>±50                                 | 350<br>±50 | 450<br>±50 | 550<br>±50 | 650<br>±50 | 850<br>±150 |
|                                      | Пределы допускаемой абсолютной погрешности |            |            |            |            |             |
|                                      | Измерения твёрдости, HV, ( ± )             |            |            |            |            |             |
| HV30                                 | 6  | 6          | 8          | 10         | 12         | 15          |
| HV100                                | 6  | 6          | 8          | 10         | 12         | 15          |

Диапазоны измерений твердости по шкале Роквелла:  
 при нагрузке 588,6 Н HRA от 70 до 85;  
 при нагрузке 981 Н HRB от 30 до 100;  
 при нагрузке 1471,5 Н HRC от 20 до 67.

Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения твердости:  
 от 70 до 85 HRA ±2,0;  
 от 30 до 80 HRB ±3,0;  
 от 80 до 100 HRB ±2,0;  
 от 25 до 35 HRC ±2,0.

Испытательные нагрузки по шкалам Виккерса, Н: 294,2; 980,7.  
 Диапазон измерений твердости по шкалам Виккерса, HV: от 200 до 1000

Рама представляет собой закрытый корпус, внутри которого находятся все механизмы, кроме стола, винтового стержня и части основного штока. Механизм нагрузки и разгрузки состоит из основного штока рычажной системы, грузов и ручки. Предварительная испытательная нагрузка 98,07 Н (10 кгс) достигается весом штока (8), давлением пружины (9) и приложенным усилием указанной системы. Основную нагрузку испытания получают силой тяжести грузов, навешенных на стойке (15). Приложение и выключение основной испытательной нагрузки осуществляется шатунным механизмом. Когда ручку управления (2) толкаем от себя, поршень (17) в буфере поднимается, рычаг (13) с грузами за счет толкателя (14) также поднимается, разгружая индентер. При толчке ручки (2) на себя испытательная нагрузка, за счет буфера, постепенно прикладывается к индентору. Ручка (18) на правой стороне корпуса служит для выбора испытательной нагрузки, путем поворота ее до красной метки. Вес устанавливается на стойке (15) автоматически.

Твердомер имеет 7 ступеней нагрузок: 1839; 1471; 980,7; 612,9; 588,4; 306,5; 294,2 Н (187,5; 150; 100; 62,5; 60; 31,25; 30 кгс). Для достижения испытательной нагрузки в 294,2 Н (30 кгс) нужно повернуть маховик (18) на позицию 31,25 кг и снять вес *E* со стойки весов. Вес *E* должен быть на стойке при всех других испытательных нагрузках.

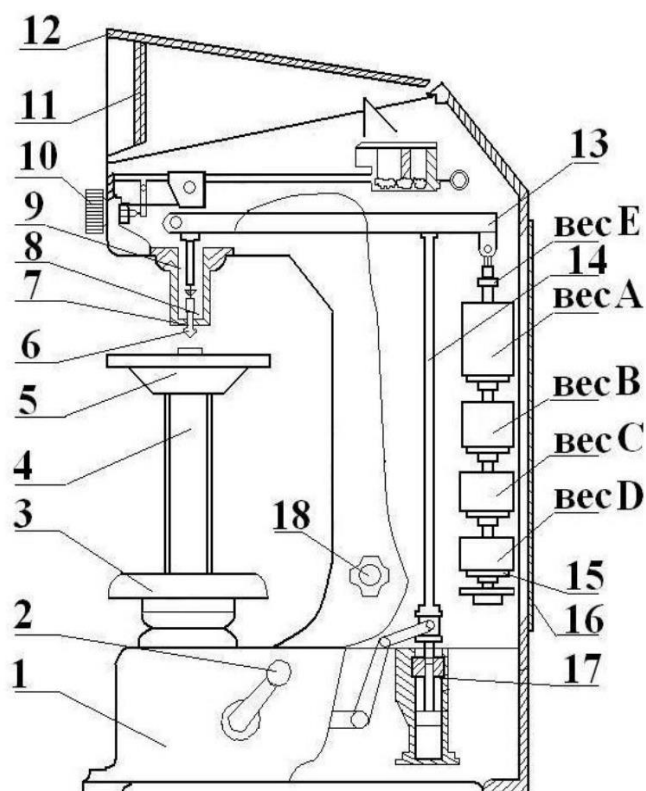


Рисунок 6. – Общий вид стационарного твердомера HBRV-187.5 по шкале Бринелля, Роквелла и Виккерса:

1 – рама; 2 – ручка подачи и снятия нагрузки; 3 – колесо подъемного винта; 4 – винтовой стержень; 5 – рабочий столик; 6 – индентор; 7 – зажимной винт; 8 – основной шток; 9 – пружина; 10 – рукоятка микронастройки; 11 – проекционный экран; 12 – верхняя крышка; 13 – рычаг; 14 – толкатель; 15 – стойка для весов; 16 – задняя панель; 17 – поршень; 18 – ручной маховик изменения нагрузки

Твердомер является оптическим измерительным прибором, главным образом, по методу Роквелла. Прибор преобразовывает глубину отпечатка в единицы твердости и непосредственно отображает на проекционном экране (11), который находится на передней панели твердомера.

При испытаниях по методам Бринелля и Виккерса размер отпечатка измеряют при помощи микроскопа.

## 2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой по эксплуатации стационарного твердомера HBRV-187.5 по шкале Бринелля, Роквелла и Виккерса.
2. Проверить готовность прибора к проведению измерений твердости.
3. Измерить твердость образцов по шкалам твердости HB, HV, HRC. Провести замеры твердости для каждого образца.
4. Записать результаты в таблицу 4.

Таблица 4. – Результаты испытания образцов на твердость

| № образца | Материал образца | Твердость образца |
|-----------|------------------|-------------------|
| 1         |                  |                   |
| 2         |                  |                   |
| 3         |                  |                   |

### 3. Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Основные понятия о твердости материалов и методах ее определения.
4. Описание конструкции и принципа работы стационарного твердомера HBRV-187.5 по шкале Бринелля, Роквелла и Виккерса
5. Результаты испытаний образцов на твердость оформить в виде таблицы 4.
6. Сделать выводы об определении твердости образцов различных материалов.

## Литература

1. Гуляев А.П., Гуляев А.А. Металловедение: учеб. для вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Альянс, 2011. – 644 с.
2. Материаловедение: учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.
3. Материаловедение и технология металлов: учеб. для вузов / Т.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др. – М.: Высш. шк., 2002. – 638 с.
4. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: учеб. для вузов. – М.: Альянс, 2011. – 528 с.
5. Испытания материалов: справ.: [пер. с нем.] / Х. Блюменауэр, Х. Ворхт, И. Гарц и др.; под ред. Х. Блюменауэра. – М.: Metallургия, 1979. – 448 с.
6. Гурвин А.К., Ермолов И.Н., Сажин С.Г. Неразрушающий контроль. Практическое пособие: в 5 кн. / под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1992. – 242 с.