

**Министерство образования и науки Российской
федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого»**

Кафедра «Технология машиностроения»

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Лабораторная работа №1

**Определение твердости
металлических материалов**

Учебное пособие

Великий Новгород
2013

Определение твердости металлических материалов

Цель работы

Приобретение навыков в определении твердости по Бринеллю и Роквеллу.

Содержание работы

1. Ознакомление с методами измерения твердости.
2. Практическое применение метода для определения твердости металлических материалов.
3. Измерение твердости заданных материалов.

Твердость – это способность материала сопротивляться внедрению в него более твердого тела.

Методы измерения твердости отличаются друг от друга формой вдавливаемого тела (индентора): алмазный конус или конус из твердого сплава (типа ВК3, ВК6), алмазная пирамида, стальной закаленный шарик.

- Твердость по Бринеллю оценивают по величине сферического отпечатка от вдавливания стального закаленного шарика из СтШХ15 с диаметром $D = 10, 5, 2,5$ и $1,0$ мм.
- Твердость по Роквеллу оценивают по глубине внедрения в металл алмазного или твердосплавного конуса ВК3, или стального закаленного шарика.

В зависимости от сорта материала, его механических свойств используется тот или иной метод определения твердости.

Твердость по Бринеллю.

По этому способу под действием нагрузки вдавливают стальной шарик. В результате вдавливания закаленного стального шарика в образец (изделие) на его поверхности образуется отпечаток в виде полусферы диаметром d и глубиной h (рис.1).

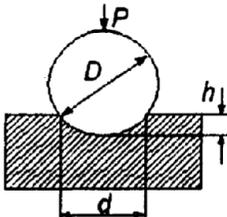


Рис.1. Схема вдавливания индентора в образец

Твердость по Бринеллю HB рассчитывается как отношение приложенного усилия P к поверхности отпечатка S .

$$HB = \xi P / S$$

где ξ – коэффициент равный значению $0,102$, если нагрузка выражается в ньютонах (Н);

S – площадь сферической поверхности отпечатка, определяется из выражения:

$$S = \pi Dh;$$

где
$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2};$$

тогда:
$$HB = \frac{0.102 \cdot 2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})};$$

где P – нагрузка на индентор (шарик) в ньютонах;

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

где P^* – выражается в кгс

Твердость исследуемого материала не должна превышать **HB450**. Нагрузка с которой вдавливается индентор в металл, выбирается по таблице 1.

Таблица 1

Значения нагрузки на индентор P

| Диаметр шарика, D , мм. | Нагрузка P , Н; (P^* , кгс) для $K=0,102 P/D^2$ (P^*/D^2) | | | | |
|---------------------------|--|-------------|--------------|--------------|------------|
| | $K = P^*/D^2 \triangleright 30$ | 10 | 5 | 2,5 | 1 |
| 1 | 294 (30) | 98 (10) | 49 (5) | 24,5 (2,5) | 9,8 (1) |
| 2 | 1176 (120) | 392 (40) | 196 (20) | 98 (10) | 39,2 (4) |
| 2,5 | 1840 (187,5) | 613 (62,5) | 306,5 (31,5) | 153,2 (15,5) | 61,5 (6,2) |
| 5 | 7355 (750) | 2450 (250) | 1225 (125) | 613 (62,5) | 245 (25) |
| 10 | 29430 (3000) | 9800 (1000) | 4900 (500) | 2450 (250) | 980 (100) |

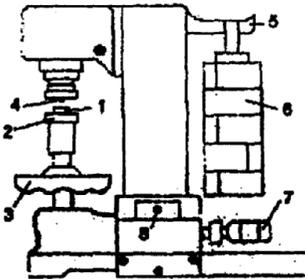


Рис.2 Общий вид прибора для измерения твердости по Бринеллю
1 – образец; 2 – предметный столик;
3 – манометр; 4 – индентор; 5 – коромысло;
6 – грузы; 7 – электродвигатель; 8 – кнопка включения электродвигателя.

Подготовка образцов и методика измерения

Поверхность образцов обрабатывается абразивными шкурками. Шлифование и полирование поверхности осуществляется для того чтобы как можно точнее измерить диаметр отпечатка. Минимальная толщина образца δ_{\min} зависит от твердости материала и условий проведения испытаний. Значение δ_{\min} можно рассчитать по формуле:

$\delta_{\min} = 10 \cdot 0,102P / \pi D \cdot HB$ где P – в ньютонах.

Толщина образцов δ должна быть не менее 10 – кратной глубины отпечатка h , т.е. $\delta \geq 10h$.

Диаметр образующегося отпечатка следует измерять в двух взаимно-перпендикулярных направлениях с помощью лупы и определять среднее значение двух измерений.

Расстояние между центром отпечатка и краем образца должно составлять не меньше $2,5d$ – для железа и его сплавов, меди и медных сплавов и $3d$ - для легких металлов. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков для железа и его сплавов, меди и медных сплавов должно быть не менее чем $4d$, а для легких сплавов $6d$.

Общий вид прибора для определения твердости по Бринеллю приведен на рис.2. Измерение твердости осуществляют в следующем порядке. Образец 1 кладется на предметный столик 2 шлифованной поверхностью кверху. Поворотом маховика 3 вручную по часовой стрелке, столик прибора с образцом поднимается до упора. Индентор (шарик) в этом случае должен вдавиться в этот образец. Затем нажатием кнопки 8 включается электродвигатель 7. В результате этого происходит постепенное вдавливание шарика в образец под действием установленной заранее нагрузки сообщаемой привешенным к коромыслу 5 грузом 6. После автоматического выключения двигателя, маховик 3 вращают против часовой стрелки (разгрузка), опускают предметный столик и снимают образец для измерения отпечатка.

При определении твердости по Бринеллю между нагрузкой P и квадратом диаметра шарика D^2 должно выдерживаться определенное соотношение:

$$K = 0,102 \cdot P/D^2, \text{ Н/мм}^2$$

или $K = P*/D^2, \text{ кгс/мм}^2$

При этом диаметр шарика (D) и нагрузку (P) для испытаний выбирают так что бы выполнялось соотношение:

$$d = (0,25 \div 0,5)D \quad 0,05K \leq 0,5K$$

Величину выбирают $K = 0,102 \cdot P/D^2$ в зависимости от исследуемого материала и его примерной твердости (таблица 2).

Таблица 2.

Условия стандартного определения твердости по Бринеллю

| Материал | Интервал <i>HB</i> | Толщина испытываемо- го образца, мм | P/D^2 , кг/мм ² | Диаметр <i>D</i> , мм | Нагруз- ка <i>P</i> , кгс | Выдержка под на- грузкой, с |
|--------------------|-----------------------|--|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Черные металлы | 140 – 450 | От 6 до 3 | 30 | 10,0 | 3000 | 10 |
| | | » 4 » 2 | | 5,0 | 750 | |
| | | Менее 2 | | 2,5 | 187,5 | |
| То же* | 140 | Более 6 | 10 | 10,0 | 1000 | 10 |
| | | От 6 до 3 | | 5,0 | 250 | |
| | | Менее 3 | | 2,5 | 162,5 | |
| Цветные металлы | 130 | От 6 до 3 | 30 | 10,0 | 3000 | 30 |
| | | » 4 » 2 | | 5,0 | 750 | |
| | | Менее 2 | | 2,5 | 187,5 | |
| То же** | 35 – 130 | От 9 до 3 | 10 | 10,0 | 1000 | 30 |
| | | » 6 » 3 | | 5,0 | 250 | |
| | | Менее 3 | | 2,5 | 62,5 | |
| » | 8 – 35 | Более 6 | 2,5 | 10,0 | 200 | 60 |
| | | От 6 до 3 | | 5,0 | 62,6 | |
| | | Менее 3 | | 2,5 | 15,6 | |

Например необходимо определить твердость по *HB* сплава цветного металла (латуни) толщиной 4мм.

1 Вариант.

1-й шаг. По таблице 2 для образца толщиной 4 мм выбираем диаметр шарика ($D=10$ мм) $K=P^*/D^2 = 10$. Ориентировочная твердость указанного материала (по таблице 2) *HB* 46.

2-й шаг. При $D=10$ мм и $K=10$ кг/мм² находим нагрузку P по таблице 1, $P = 9800$ (1000 кг).

3-й шаг. Навешиваем на рычаг прибора Бринелля найденную нагрузку и закрепляем в наконечнике шарик $D=10$ мм.

4-й шаг. Кладем на предметный столик образец шлифованной поверхностью к индентору и проводим измерения твердости (*HB*) в соответствии с вышеизложенным описанием (изложенным на стр. 5).

5-й шаг. Проводим измерение диаметра отпечатка (d) и проверим требуемую взаимосвязь $d = (0,25 \frac{P}{K} 0,5)D$

Если не выполняется данное соотношение, то меняется диаметр шарика (D) либо K . Это приведет к другой нагрузке P (см. табл.1) и повторению 5-ти шагов.

* для отожженной стали и чугуна $K=10$

** для алюминиевых и медных сплавов $K=P^*/D^2=10$

II Вариант.

После определения диаметра отпечатка, рассчитывается твердость по формуле см. (стр. 4)

Завершается работа анализом выполненной работы заключающимся в сопоставлении полученных результатов с литературными.

Пользуясь данными твердости по *НВ* можно приближенно определить предел прочности материала σ_B (МПа), из соотношения $\sigma_B \approx 3,4 \cdot НВ$.

Например, при твердости стали после отжига *НВ150*, $\sigma_B = 3,4 \cdot 150$.

Зависимости для меди: наклепанной $\sigma_B \approx 4,0 НВ$ и отожженной $\sigma_B \approx 5,5 НВ$, а дуралюмина $\sigma_B \approx (3,5-3,6) НВ$.

Определение твердости по Роквеллу.

Твердость по Роквеллу определяется по глубине отпечатка, полученного в результате вдавливания индентора – алмазного конуса или конуса из твердого сплава с углом при вершине равном 120 градусам. Отсчет единиц твердости производится по шкале *A* и *C* на циферблате твердомера. Стальной шарик диаметром 1,5875 мм используется для определения твердости по шкале *B*.

Пределы измерения твердости по указанным шкалам следующие:

- для шкалы *A* - 70÷85 единиц
- для шкалы *C* – 20÷67 единиц
- для шкалы *B* - 25÷100 единиц

Нагрузку для испытания по разным шкалам следует выбирать по таблице 3.

Таблица 3.

Значение нагрузок для испытаний по разным шкалам, Н (кг)

| Нагрузка | Шкала <i>C</i> | Шкала <i>A</i> | Шкала <i>B</i> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Предварительная | 98 (10) | 96 (10) | 98 (10) |
| Основная | 1373 (140) | 490 (50) | 883 (90) |
| Общая | 1471 (150) | 588 (60) | 981 (100) |

При определении твердости материала по Роквеллу расстояние

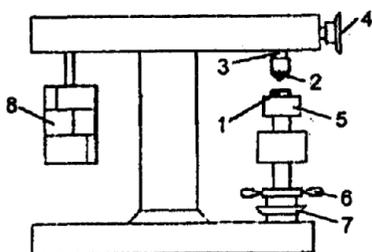


Рис.3 Схема прибора для измерения твердости по Роквеллу

1 - образец; 2 - индентор; 3 - шток; 4 - индикатор; 5 - предметный столик; 6 - маховик; 7 - рукоятка; 8 - грузы

между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее 3 мм. Толщина образцов должна быть не менее чем в 8 раз больше остаточной глубины вдавливания.

Твердость измеряют на приборе показанном на рис.3. В нижней части неподвижной станины установлен предметный столик 5, с образцом 1, в верхней части станины укреплены индикатор 4 и шток 3, в котором ус-

танавливается наконечник с алмазным конусом или шариком 2. Индикатор 4 представляет собой циферблат, на котором нанесены две шкалы (черная и красная) и имеются стрелки - большая (указатель твердости), вращающаяся по шкале, и маленькая - для контроля величины предварительного нагружения, сообщаемого вращением маховика 6.

Измерение твердости осуществляется в следующем порядке. Тщательно отшлифованный образец кладут на предметный столик 5. Поворотом маховика 6 по часовой стрелке поднимают его таким образом, чтобы индентор мог коснуться поверхности образца. При дальнейшем подъеме столика начинают вращаться стрелки на циферблате. *Подъем столика продолжается до тех пор пока маленькая стрелка не займет вертикальное положение, показанное на циферблате - красной точкой.* Это значит, что индентор вдавился в образец под действием предварительной нагрузки равной 10 кг. Если положение большой стрелки точно не совпадает с цифрой 0, то поворачивают шкалу индикатора таким образом, чтобы цифра 0 на черной шкале циферблата переместилась и совпала с большой стрелкой.

Затем нажатием на рукоятку 7 сообщают исследуемому образцу основную нагрузку определяемую грузом 8, подвешенным к рычагу прибора. Время приложения основной нагрузки 5-7 с. При нагружении заданной нагрузкой большая стрелка перемещается по циферблату индикатора против часовой стрелки. Через 5-7 с. (время приложения нагрузки) рукоятка автоматически плавно переходит в исходное положение снимая основную нагрузку, но оставляя предварительную.

Теперь большая стрелка будет перемещаться по циферблату по часовой стрелке и остановится. Цифра которую укажет на шкале циферблата большая стрелка представляет собой число единиц твердости по Роквеллу. Эту цифру следует записать. После этого поворотом маховика против часовой стрелки опускают столик прибора вместе с образцом, снимая тем самым предварительную нагрузку. Прибор измеряет разность между глубиной отпечатков, полученных от вдавливания индентора под действием основной нагрузки и от вдавливания под предварительной нагрузкой.

Если один груз на рычаге составляет 50 кг, то общая нагрузка будет 60 кг. Здесь 50 кг основная нагрузка, 10 кг – предварительная. Три груза сообщают основную нагрузку 140 кг, что соответствует общей нагрузке 150 кг. На приборе Роквелла указывается общая нагрузка.

Твердость отожженной стали и цветных сплавов измеряется по шкале *B (HRB)*, используется стальной шарик при общей нагрузке 100 кг. Толщина образца не может быть меньше 2 мм. Твердость очень тонких слоев металла (толщиной менее 0,3 мм) с нагрузками 60 – 150 кг измерять нельзя.

Алмазный или твердосплавный конус используются для определения твердости закаленных и низко отпускаемых сталей с нагрузкой 150 кг. Твердость определяется по шкале *C (HRC)*.

Для материалов высокой твердости, например, твердых сплавов твердость определяется по шкале *A (HRA)* при общей нагрузке 60 кг.

В таблице 4 даны ориентировочные значения твердости определяемые различными методами.

Таблица 4

| Твердость <i>HV</i> | | Твердость <i>HR</i> по шкале | | | Твердость <i>HV</i> | | Твердость <i>HR</i> по шкале | | |
|----------------------------------|---|---------------------------------|----|---|----------------------------------|---|---------------------------------|----|-----|
| диаметр отпеч- атка, мм | <i>HV</i> при ис- пытании стальным шариком <i>D=10</i> мм | C | A | B | диаметр отпеч- атка, мм | <i>HV</i> при ис- пытании стальным шариком | C | A | B |
| | | | | | | | | | |
| 2,20 | 780 | 72 | 84 | - | 4,00 | 229 | 20 | 61 | 100 |
| 2,25 | 745 | 70 | 83 | - | 4,05 | 223 | 19 | 60 | 99 |
| 2,30 | 712 | 68 | 82 | - | 4,10 | 217 | 17 | 60 | 98 |
| 2,35 | 682 | 66 | 81 | - | 4,15 | 212 | 15 | 59 | 97 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------|-----|----|----|-----|------|-----|----|----|----|
| 2,40 | 673 | 64 | 80 | - | 4,20 | 207 | 14 | 59 | 95 |
| 2,45 | 627 | 62 | 79 | - | 4,25 | 201 | 13 | 58 | 94 |
| 2,50 | 601 | 60 | 78 | - | 4,30 | 197 | 12 | 58 | 93 |
| 2,55 | 578 | 58 | 78 | - | 4,35 | 192 | 11 | 57 | 92 |
| 2,60 | 555 | 56 | 77 | - | 4,40 | 187 | 9 | 57 | 92 |
| 2,65 | 534 | 54 | 76 | - | 4,45 | 183 | 8 | 56 | 90 |
| 2,70 | 514 | 52 | 75 | - | 4,50 | 179 | 7 | 56 | 90 |
| 2,75 | 495 | 50 | 74 | - | 4,55 | 174 | 6 | 55 | 89 |
| 2,80 | 477 | 49 | 74 | - | 4,60 | 170 | 4 | 55 | 88 |
| 2,85 | 461 | 48 | 73 | - | 4,65 | 167 | 3 | 54 | 87 |
| 2,90 | 444 | 46 | 73 | - | 4,70 | 163 | 2 | 53 | 86 |
| 2,95 | 429 | 45 | 72 | - | 4,75 | 159 | 1 | 53 | 85 |
| 3,00 | 415 | 43 | 72 | - | 4,80 | 156 | - | - | 84 |
| 3,05 | 401 | 42 | 71 | - | 4,85 | 152 | - | - | 83 |
| 3,10 | 388 | 41 | 71 | - | 4,90 | 149 | - | - | 82 |
| 3,15 | 375 | 40 | 70 | - | 4,95 | 146 | - | - | 81 |
| 3,20 | 363 | 39 | 70 | - | 5,00 | 143 | - | - | 80 |
| 3,25 | 352 | 38 | 69 | - | 5,05 | 140 | - | - | 79 |
| 3,30 | 341 | 36 | 68 | - | 5,10 | 137 | - | - | 78 |
| 3,35 | 331 | 35 | 67 | - | 5,15 | 134 | - | - | 77 |
| 3,40 | 321 | 33 | 67 | - | 5,20 | 131 | - | - | 76 |
| 3,45 | 311 | 32 | 66 | - | 5,25 | 128 | - | - | 75 |
| 3,50 | 302 | 31 | 66 | - | 5,30 | 126 | - | - | 74 |
| 3,55 | 293 | 30 | 65 | - | 5,35 | 123 | - | - | 73 |
| 3,60 | 285 | 29 | 65 | - | 5,40 | 121 | - | - | 72 |
| 3,65 | 277 | 28 | 64 | - | 5,45 | 118 | - | - | 71 |
| 3,70 | 269 | 27 | 64 | - | 5,50 | 116 | - | - | 70 |
| 3,75 | 262 | 26 | 63 | - | 5,55 | 114 | - | - | 68 |
| 3,80 | 255 | 25 | 63 | - | 5,60 | 111 | - | - | 67 |
| 3,85 | 248 | 24 | 62 | - | 5,65 | 110 | - | - | 66 |
| 3,90 | 241 | 23 | 62 | 102 | 5,70 | 109 | - | - | 65 |
| 3,95 | 235 | 21 | 61 | 101 | 5,75 | 107 | - | - | 64 |

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с правилами работы на приборах, записать основные элементы приборов и их назначение.

2. Получить у преподавателя задание и образцы. Начертить эскизы образцов.
3. Подготовить образцы для исследования (шлифовать, полировать).
4. Расшифровать состав исследуемого материала.
5. Записать режимы пластической или термической обработки.
6. Провести 3-5 измерений твердости на каждом образце.
7. Провести необходимые расчеты для определения твердости *НВ*, *HRC*, *HRA* Численные значения твердости занести в таблицу.
8. Дать заключение.

Литература:

1. А.П. Гуляев. Металловедение. М.: Металлургия. 1977. – 647с.; с. 79.
2. Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. Материаловедение. М.: Машиностроение. 1989. – 455с.; с. 171÷180.
3. Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. Материаловедение. М.: Машиностроение. 1990. – 527с.; с. 95÷98.
4. Г.П. Фетисов и др. Материаловедение и технология металлов. М.: Высшая школа. 2001. –637с.; с. 37÷40.
5. Металловедение и термическая обработка стали. Справочник в 3-х т. / под редакцией М.Л. Бернштейна. М.: Металлургия. 1983 – 352с.; с. 198÷201, т1. Методы испытаний и исследования.
6. ГОСТ9012 – 59 (ИСО 6506 – 81, ИСО 410 – 82) Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.

Содержание отчета

1. Назначение основных элементов прибора для измерения твердости.
2. Эскизы образцов
3. Характеристика материала образцов (состав, марка и др.)
4. Температурно-временные и др. режимы обработки материала
5. Таблица измерений.
6. График зависимости (при необходимости).
7. Заключение (выводы).

Контрольные вопросы

1. Дайте определение твердости?
2. Какая форма индентора при измерении твердости по Роквеллу (шкала А).

3. По каким геометрическим параметрам измеряется твердость по Бринеллю?
4. Для измерения какого сорта материалов используется шкала В (HRB)?
5. Как выбирается нагрузка для измерения твердости по Бринеллю?
6. При какой общей нагрузке измеряется твердость по Роквеллу, (шкала А (HRA))?
7. Какая общая нагрузка при измерении твердости по шкале С (HRC)?
8. При какой общей нагрузке измеряется твердость по шкале В (HRB)?
9. Назовите основные элементы прибора для измерения твердости по Бринеллю?
10. Назовите основные элементы прибора для измерения твердости по Роквеллу?
11. Для определения твердости каких материалов используется шкала С?
12. Какая величина предварительной нагрузки?
13. Назовите вид механической обработки образца, необходимые для проведения измерения твердости?
14. Сущность метода определения твердости по Бринеллю?
15. Сущность метода определения твердости по Роквеллу?
16. Имеется ли связь твердости материала с его прочностью?

Техника безопасности

Перед началом работы

1. Внимательно осмотреть рабочее место и привести его в порядок.
2. Приготовить к работе оборудование и убедиться в его исправности.

Во время работы

1. Содержать рабочее место в чистоте и порядке.
2. Не допускать загромождения рабочего места, проходов в лаборатории.
3. Следить за исправным состоянием оборудования и правильной его эксплуатацией.
4. **Выполнять только ту работу которая поручена преподавателем, при условии, что безопасные способы ее выполнения хо-**

рошо известны. В сомнительных случаях обращаться к преподавателю.

5. Не производить никаких работ, связанных с ремонтом электрооборудования.
6. Перед запуском оборудования предупредить других лиц, принимающих участие в работе.
7. Подачу образцов на нагрев производить с помощью специальных щипцов, не бросать образцы в зону высокой температуры.
8. Соблюдать точно установленный технологический режим термообработки.
9. Находиться на безопасном расстоянии от работающей камерной печи.
10. При загрузке образцов или тиглей в печь не допускать их соприкосновения с открытыми нагревательными элементами.
11. Все токоведущие части печей должны быть тщательно изолированы, а металлические не токоведущие части надежно заземлены.
12. При обнаружении неисправности печи немедленно выключить ее и сообщить преподавателю или лаборанту.
13. Не оставлять без надзора работающие печи.
14. При закалке изделия в масле или воде обязательно пользоваться защитными очками.

По окончании работы

1. Остановить работу нагревательных устройств, выключив их в установленном порядке.
2. Привести в порядок рабочее место.