

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ

Кафедра «Вагони та вагонне господарство»

Т.П.Даніленко, Н.С.Брайковська

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до лабораторної (практичної) роботи
“ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ”

з дисципліни «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ТА ТЕХНОЛОГІЯ МАТЕРІАЛІВ»
для студентів механічних спеціальностей усіх форм навчання

Київ 2013

Даніленко Т. П., Брайковська Н. С.

Методичні рекомендації до лабораторної (практичної) роботи «Визначення твердості металевих матеріалів» з дисципліни «Матеріалознавство та технологія матеріалів» для студентів механічних спеціальностей усіх форм навчання – К.: ДЕТУТ, 2013. – 20 с.

У роботі наведені теоретичні відомості про сучасні методи визначення твердості металевих матеріалів з поясненнями дії відповідних приладів, методичні рекомендації щодо виконання практичної частини з визначення твердості.

Розглянуті та затверджені на засіданні кафедри «Вагони та вагонне господарство» (протокол № 3 від 17.09.12 р.) та засіданні методичної комісії факультету ІРСЗ (протокол № 3 від 18.10.12 р.).

Призначені для студентів механічних спеціальностей усіх форм навчання, та відповідають робочій програмі дисципліни «Матеріалознавство та технологія матеріалів».

Укладачі: *Т. П. Даніленко*, к.т.н., доцент
Н. С. Брайковська, к.т.н., професор

Рецензенти: *В. М. Гарнець*, к.т.н., професор
Ю. М. Черних, к.т.н., професор

ЗМІСТ

<i>Вступ</i>	4
1. Теоретичні відомості.....	4
1.1. Основні відомості про твердість та її визначення.....	4
1.2. Методи визначення твердості вдавлюванням	5
1.2.1. Твердість за Брінеллем.....	6
1.2.2. Твердість за Роквеллом.....	11
1.2.3. Твердість за Віккерсом і мікротвердість.....	13
1.3. Прилади динамічної дії.....	16
2. Практична частина.....	16
3. Порядок оформлення звіту.....	17
Контрольні запитання.....	17
<i>Література</i>	18

ВСТУП

Визначення твердості широко використовують як спосіб випробування матеріалів і належить до способів випробування при статичному навантаженні, якщо її визначають через вдавлювання у зразок стандартного тіла – індентора, або при динамічному навантаженні на приладах динамічної дії.

Твердість є механічною властивістю, що контролюється для багатьох видів продукції. Випробування можна проводити безпосередньо на готовій деталі без її руйнування, часто випробування не потребують виготовлення спеціальних зразків. Твердість і мікротвердість можна вимірювати в деталях малої товщини, для яких проведення випробувань інших механічних властивостей є складним, або неможливим. Знаючи твердість матеріалу, можна прогнозувати й інші його механічні властивості.

Лабораторна (практична) робота Визначення твердості металевих матеріалів

Мета роботи

1. Ознайомитися з методами визначення твердості.
2. Вивчити устрій приладів і схему визначення твердості за Брінеллем Роквеллом, Віккерсом, мікротвердості на приладі ПМТ-3, твердості на приладі ТДМ-2.
3. Визначити твердість зразків вказаними методами.

1. Теоретичні відомості

1.1. Основні відомості про твердість та її визначення

Найчастіше твердість визначають *через вдавлювання в поверхню матеріалу стандартного тіла*, яке зветься *індентором* (кулі, конуса, пірамідки); при застосуванні цього методу твердість характеризує *здатність матеріалу опиратися місцевій пластичній деформації*, тобто характеризує властивість матеріалу опиратися проникненню в нього цього стандартного тіла.

Матеріал, з якого виготовлено індентор, має твердість значно більшу ніж матеріал, твердість якого визначають, тому індентор вдавлюється в об'єкт дослідження, створюючи в ньому *відбиток*. За розміром відбитка судять про твердість матеріалу: чим твердіший матеріал, тим меншим буде розмір відбитка і навпаки.

Особливості вимірювання твердості:

- ◆ Простота виконання випробувань.
- ◆ Випробування можна проводити безпосередньо на готовій деталі без її руйнування, часто випробування не потребують виготовлення спеціальних зразків.

- ◆ Твердість і мікротвердість можна вимірювати в деталях малої товщини, для яких проведення випробувань інших механічних властивостей є складним або неможливим.
- ◆ Між твердістю та границею міцності металу існує кількісна залежність, яка в ряді випадків дає можливість, виходячи із рівня твердості, приблизно оцінювати рівень границі міцності R_m (σ_B); для сталей ця залежність описується формулою:

$$R_m (\sigma_B) = 0,33 \div 0,36 HB.$$

1.2. Методи визначення твердості вдавленням

Основні методи визначення твердості вдавленням:

- ◆ за Брінеллем;
- ◆ за Роквеллом;
- ◆ за Віккерсом;
- ◆ спосіб вимірювання мікротвердості на приладі ПМТ-3.

Брінелль, Роквелл і Віккерс – автори методів. Методами Брінелля, Роквелла і Віккерса вимірюють **макротвердість**, тобто усереднену твердість відносно значних за розмірами обсягів металу.

Вимірювання ведуть на приладах, які називаються пресами, відповідно, Брінелля, Роквелла і Віккерса, або вимірювачами твердості за названими методами, а також на багатьох сучасних, в тому числі, універсальних приладах, які можуть поєднувати всі названі методи і бути портативними (переносними).

На приладі ПМТ-3 вимірюють **мікротвердість**, тобто твердість малих за розмірами обсягів металу.

Схема випробування макро- і мікротвердості на всіх приладах в основному однакова, вона наведена на *рис. 1*.

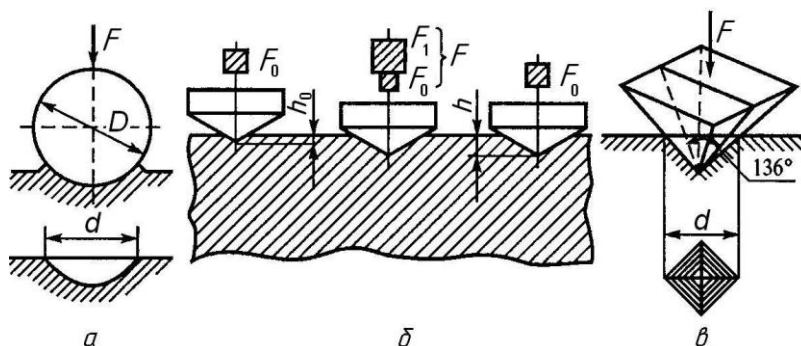


Рис. 1. Схема визначення твердості:

a – за Брінеллем; *б* – за Роквеллом; *в* – за Віккерсом і мікротвердості

Випробування зводяться до таких основних операцій:

- 1) зразок або деталь, твердість яких треба визначити, розташовують на спеціальному столику приладу, який називається *предметним*;
- 2) зразок підводять до *індентора*;
- 3) забезпечують прикладення протягом деякого часу навантаження F (випробувальне зусилля) до індентора; внаслідок вдавлення індентора

поверхневі шари металу, що знаходяться під індентором та поблизу нього, деформуються і в металі створюється **відбиток** індентора (рис. 1);

4) навантаження із зразка знімають, індентор припідіймають;

5) зразок або деталь знімають зі столика і потім виконують такі дії:

- ◆ вимірюють діаметр d відбитка кулі (рис. 1, a) якщо випробування проводили за Брінеллем, і визначають твердість за спеціальною табл. 1;
- ◆ знімають показники тведості з індикатора, якщо випробування проводили за Роквеллом (рис.1, δ);
- ◆ вимірюють діагональ d відбитка від пірамідки (рис.1, θ) під мікроскопом за допомогою окуляр-мікрометра, не знімаючи зразок з предметного столика, якщо випробування проводили за Віккерсом, або визначали мікротвердість на приладі ПМТ-3, і розраховують твердість за формулами, або знаходять за спеціальними таблицями.

Чим більша твердість металу, тим значніше його опір пластичній деформації, до якої призводить вдавлювання індентора, тим на меншу глибину проникає індентор, тобто за величиною відбитку або за його глибиною судять про величину твердості матеріалу.

1.2.1. Твердість за Брінеллем

За методом Брінелля індентором, що вдавлюється в матеріал, є кулька з твердого сплаву [1], або сталева загартована кулька [2]. Твердість за Брінеллем позначається числом твердості, за яким стоять літери HBW (якщо індентором є кулька з твердого сплаву) або HB (якщо індентором є загартована кулька), наприклад, $514HBW$, або $514HB$. Число твердості показує відношення застосованого для вдавлювання випробувального зусилля F до площі поверхні S сферичної лунки, яка є відбитком після вдавнення індентора-кульки:

$$HBW(HB) = 0,102 \frac{F}{S} = 0,102 \frac{2F}{\pi D^2 (1 - \sqrt{1 - d^2/D^2})} \quad (1),$$

де: F – випробувальне зусилля, H ;

D – діаметр кульки-індентора, $мм$;

d – середній діаметр відбитка для двох вимірювань у взаємно перпендикулярних напрямках, $мм$;

0,102 – константа, яка визначає співвідношення ($1H=0,102 \text{ кгс}$).

Розмірність в позначенні твердості не наводиться. Куля може мати діаметр $D = 1; 2,5; 5$; або 10 мм (кульку з $D = 1 \text{ мм}$ застосовують дуже рідко). Зусилля випробування може становити $9,807 \text{ Н}; 24,52 \text{ Н}; 49,03 \text{ Н}$ і т.д.; максимальне значення – $29,42 \text{ кН}$. Зусилля обирають таким чином, щоб діаметр відбитка d знаходився у межах $0,24 \dots 0,6 D$.

Очевидно, що одне й те саме навантаження F дає відбитки різного розміру від куль різного розміру, причому співвідношення діаметрів відбитків при одному й тому самому навантаженні дорівнює співвідношенню діаметрів куль-інденторів, до яких прикладається навантаження, тому, оскільки $D_{10} = 2D_5 = 4D_{2,5} = 10D_1$, то $d_{10} = 2d_5 = 4d_{2,5} = 10d_1$, що наочно ілюструє рис. 2.

Метод Брінелля зручний у використанні, його застосування не потребує ретельної підготовки зразка, поверхня має бути гладкою та рівною без сторонніх речовин. **Обмеженнями** методу є те, що:

- метод Брінелля рекомендується застосовувати для металів з твердістю не більше 650 HBW [1; 2], оскільки випробування більш твердих матеріалів можуть призвести до деформування кулі-індентора, а не матеріалу зразка;
- цей метод не дозволяє вимірювати твердість тонких поверхневих шарів металу (наприклад, шарів, сформованих хіміко-термічною обробкою), оскільки індентор продавлює цей шар.

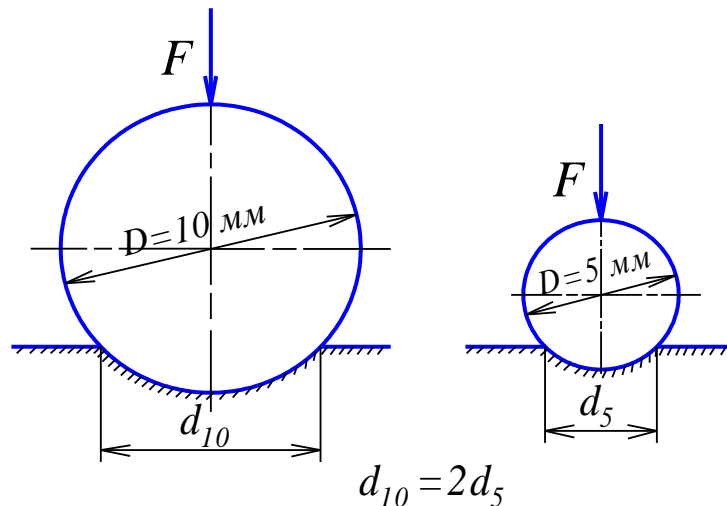


Рис. 2. Співвідношення діаметрів відбитків d_{10} і d_5 від куль діаметрами $D=10\text{ мм}$ і $D=5\text{ мм}$ внаслідок дії навантаження F

Крім того треба додержуватися таких умов випробування твердості за Брінеллем: товщина зразка має бути, як мінімум, у 8 разів більше глибини відбитка; відстань від краю зразка до центру кожного відбитка має дорівнювати мінімум 2,5 значення середнього діаметра відбитка d ; відстань від двох сусідніх відбитків має дорівнювати, як мінімум, значенню трьох середніх діаметрів відбитка ($3d$).

На практиці площу поверхні відбитка S і значення HBW (HB) не розраховують, а значення твердості знаходять за спеціальною таблицею стандарту [3] за діаметром відбитка d , який вимірюють за допомогою спеціального відлікового оптичного мікроскопа. У скороченому вигляді таблиця стандарту [3] представлена як табл. 1.

Випробувальне зусилля має бути таким, щоб діаметр відбитка d був залежно від діаметра кулі-індентора D у межах від $0,24 D$ до $0,6 D$, тому в стандарті [1] для деяких матеріалів наведені рекомендовані співвідношення $0,102 \cdot F/D^2$ (табл. 2).

Визначення чисел твердості за Брінеллем через діаметр відбитка d

Діаметр відбитка, * <i>мм</i>	Число твердості при випробувальному зусиллі $0,102 \cdot F^{**}$			Діаметр відбитка, * <i>мм</i>	Число твердості при випробувальному зусиллі $0,102 \cdot F^{**}$		
	$30D^2$	$10D^2$	$2,5D^2$		$30D^2$	$10D^2$	$2,5D^2$
$d_{10};$ $2d_5;$ $4d_{2,5};$ $10d_1$				$d_{10};$ $2d_5;$ $4d_{2,5};$ $10d_1$			
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
2,40	653	218	54,5	4,25	201	67,1	16,8
2,45	627	209	52,2	4,30	197	65,5	16,4
2,50	601	200	50,1	4,35	192	63,9	16,0
2,55	578	193	48,1	4,40	187	62,4	15,6
2,60	555	185	46,3	4,45	183	60,9	15,2
2,65	534	178	44,5	4,50	179	59,5	14,9
2,70	514	171	42,9	4,55	174	58,1	14,5
2,75	495	165	41,3	4,60	170	56,8	14,2
2,80	477	159	39,8	4,65	167	55,5	13,9
2,85	461	154	38,4	4,70	163	54,3	13,6
2,90	444	148	37,0	4,75	159	53,0	13,3
2,95	429	143	35,8	4,80	156	51,9	13,0
3,0	415	138	34,6	4,85	152	50,7	12,7
3,05	401	134	33,4	4,90	149	49,6	12,4
3,10	388	129	32,3	4,95	146	48,6	12,2
3,15	375	125	31,3	5,0	143	47,5	11,9
3,20	363	121	30,3	5,05	140	46,5	11,6
3,25	352	117	29,3	5,10	137	45,5	11,4
3,30	341	114	28,4	5,15	134	44,6	11,2
3,35	331	110	27,6	5,20	131	43,7	10,9
3,40	321	107	26,7	5,25	128	42,8	10,7
3,45	311	104	25,9	5,30	126	41,9	10,5
3,50	302	101	25,2	5,35	123	41,0	10,3
3,55	293	97,7	24,5	5,40	121	40,2	10,1
3,60	285	95	23,7	5,45	118	39,4	9,86
3,65	277	92,3	23,1	5,50	116	38,6	9,66
3,70	269	89,7	22,4	5,55	114	37,9	9,46
3,75	262	87,2	21,8	5,60	111	37,1	9,27
3,80	255	84,9	21,2	5,65	110	36,4	9,10
3,85	248	82,6	20,7	5,70	109	35,7	8,93
3,90	241	80,4	20,1	5,75	107	35,0	8,76
3,95	235	78,3	19,6	5,80	103	34,3	8,59
4,0	229	76,3	19,1	5,85	101	33,7	8,43
4,05	223	74,3	18,6	5,90	99,2	33,1	8,26
4,10	217	72,4	18,1	5,95	97,3	32,4	8,11
4,15	212	70,6	17,6	6,0	95,5	31,8	7,96
4,20	207	68,8	17,2				

*Позначення $2d_5$; $4d_{2,5}$ і $10d_1$ вказують, що для того, щоб визначити за *табл. 1* число твердості при випробуваннях кулею $D = 5$ мм, діаметр відбитка d_5 треба помножити на 2, при випробуваннях кулею $D = 2,5$ мм – помножити на 4, а при випробуваннях кулею $D = 10$ мм – помножити на 10. Наприклад, якщо випробування кулею $D=5$ мм дали відбиток $d_5 = 1,8$ мм при навантаженні

$0,102 \cdot 7355 H = 30 \times 5^2$, тоді число твердості слід визначати за *табл. 1* як для відбитка $d_{10} = 3,6$ мм ($2 \times 1,8 = 3,6$ мм) і воно дорівнюватиме 285 HB.

** Випробувальне зусилля $0,102 \cdot F$ в *табл. 1* виражено через діаметр кулі: $30D^2$; $10D^2$; $5D^2$, а при випробуваннях воно надається в ньютонках (H); тому для визначення, за якою колонкою *табл. 1* ($30D^2$; $10D^2$ або $5D^2$) треба визначати твердість, необхідно вирішити рівняння $0,102 \cdot F = xD^2$, з якого знаходимо x , яке може мати значення 30, 10 або 5. Наприклад, якщо $F = 7355$ H, а застосована кулька-індентор має $D = 5$ мм, то назване рівняння має вигляд: $0,102 \cdot 7355 = x5^2$, звідки знаходимо $x = 30$, тобто знаходити число твердості необхідно за колонкою $30D^2$ *табл. 1*.

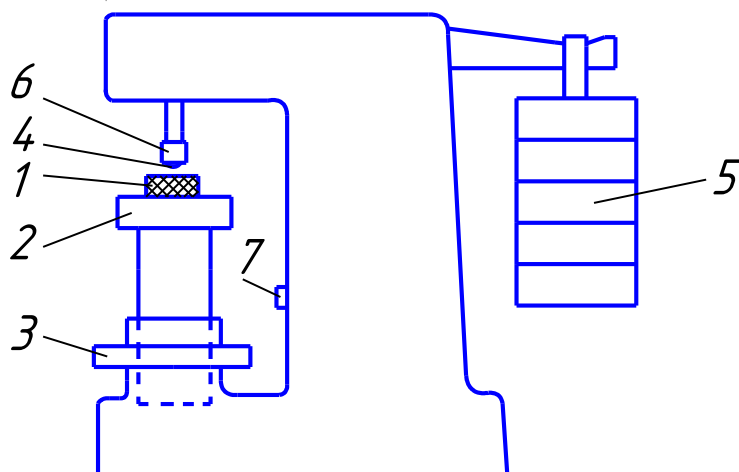
Таблиця 2

Співвідношення $0,102 \cdot F/D^2$ для різних металевих матеріалів

Матеріал	Твердість за Брінеллем, HBW	Відношення зусилля-діаметр, $0,102 \cdot F/D^2$, H/мм ²
Сталь, нікелеві сплави, титанові сплави		30
Чавун	< 140	10
	≥ 140	30
Міль і сплави міді	< 35	5
	від 35 до 200	10
	> 200	30
Легкі метали та їхні сплави	< 35	2,5
	від 35 до 80	5; 10; 15
	> 80	10; 15
Свинець, олово		1

Послідовність вимірювання твердості за Брінеллем така.

Накінцевник *б* (*рис. 3, а*) з індентором-кулею *4* закріплюють у шпінделі. На предметному столику *2* розташовують зразок *1* зашліфованою поверхнею догори. Обертанням маховика *3* за годинниковою стрілкою предметний столик піднімають і притискають зразок до індентора-кулі *4*. Обертання продовжують



а



б

Рис. 3. Схема вимірювача твердості за Брінеллем (*а*) і загальний вигляд сучасного вимірювача твердості моделі TH600 (*б*)

доти, доки не спрацює фіксатор, або до упору з обмежувачем. Натисканням кнопки 7 вмикають електродвигун, який через важільну систему, розташовану в пресі, забезпечує навантаження штоку, а через нього – вдавнення кулі внаслідок дії вантажу 5. Час від початку прикладання зусилля до досягнення повного значення зусилля має бути від 2 до 8 с. Навантаження діє 10-15 с, час дії вста-навлюється автоматично, залежно від твердості матеріалу, що випробовується. По закінченні дії вантажу електродвигун через ту саму важільну систему автоматично знімає навантаження зі штоку. Обертанням маховика проти годинникової стрілки предметний столик опускають і знімають зразок.

На зразку за допомогою вимірювального мікроскопа типа МПБ-2 (рис. 4, а) вимірюють діаметр відбитка. Мікроскоп складається з колонки 1, установочного кільця 2 і тубуса 3, в якому закріплені об'єктив 4 і окуляр 5 з вимірювальною шкалою (рис. 4, б). В основі мікроскопа є отвір 6. Мікроскоп встановлюють основою на зразок з відбитком так, щоб відбиток було видно у цьому отворі. Відбиток візуально спостерігають в окулярі 5 мікроскопа. Окуляр можна обертати за допомогою окулярного кільця для встановлення різкого зображення відбитка в окулярі. Окрім того різке зображення отримують і обертанням установочного кільця 2. Вимірюють діаметр відбитка (див. рис. 4, б) у двох взаємно перпендикулярних напрямках і вираховують середнє арифметичне d з двох вимірювань.

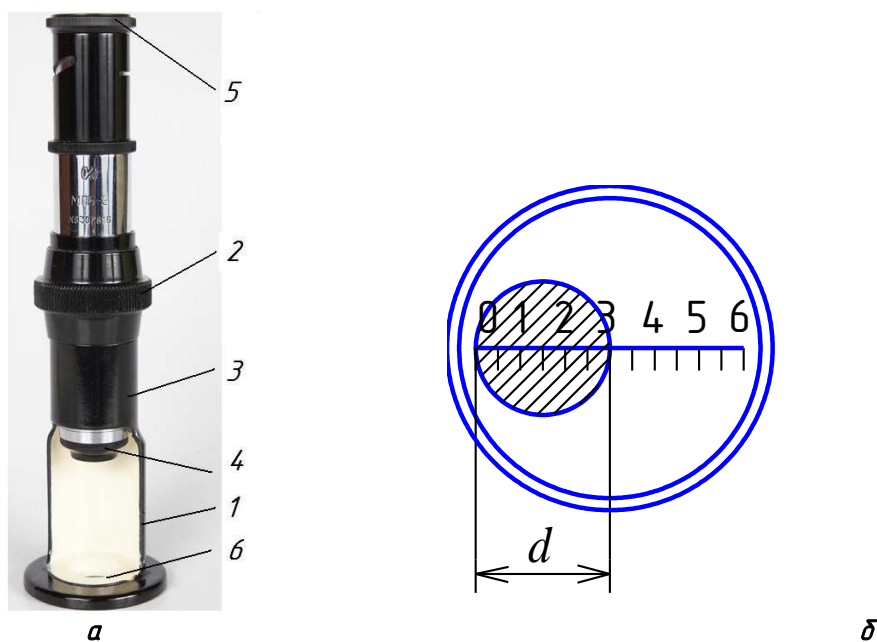


Рис. 4. Вигляд вимірювального мікроскопа МПБ-2 (а) і схема вимірювання діаметра відбитка d за допомогою вимірювальної шкали окуляра мікроскопа (б)

За табл. 1 визначають твердість за Брінеллем через діаметр відбитка d .

На рис. 3, б наведено загальний вигляд сучасного цифрового вимірювача твердості моделі ТН600, на якому застосовують автоматичне завантаження випробувального зусилля діапазону від 1839 до 29420 Н і який забезпечує широкий діапазон вимірів (8...650 HBW).

1.2.2. Твердість за Роквеллом

Твердість за Роквеллом [4] визначають на пресі Роквелла за *глибиною відбитка в умовних одиницях*, її значення знімають зі спеціального індикатора приладу за відхиленням його стрілки.

Індикатор має три основні шкали: *A*, *B* і *C*, при чому шкали *A* і *C* суміщені. Інденторами в цьому методі є алмазний конус з кутом біля вершини 120° (вимірювання за шкалами *A* і *C*) або сталева кулька діаметром $D = 1,588 \text{ мм}$ (вимірювання за шкалою *B*). Індикатор **5** (рис. 5, *a*) являє собою циферблат (рис. 5, *в*) із чорною і червоною шкалами: чорна шкала – це суміщені шкали *A* і *C*, а червона – це шкала *B*.

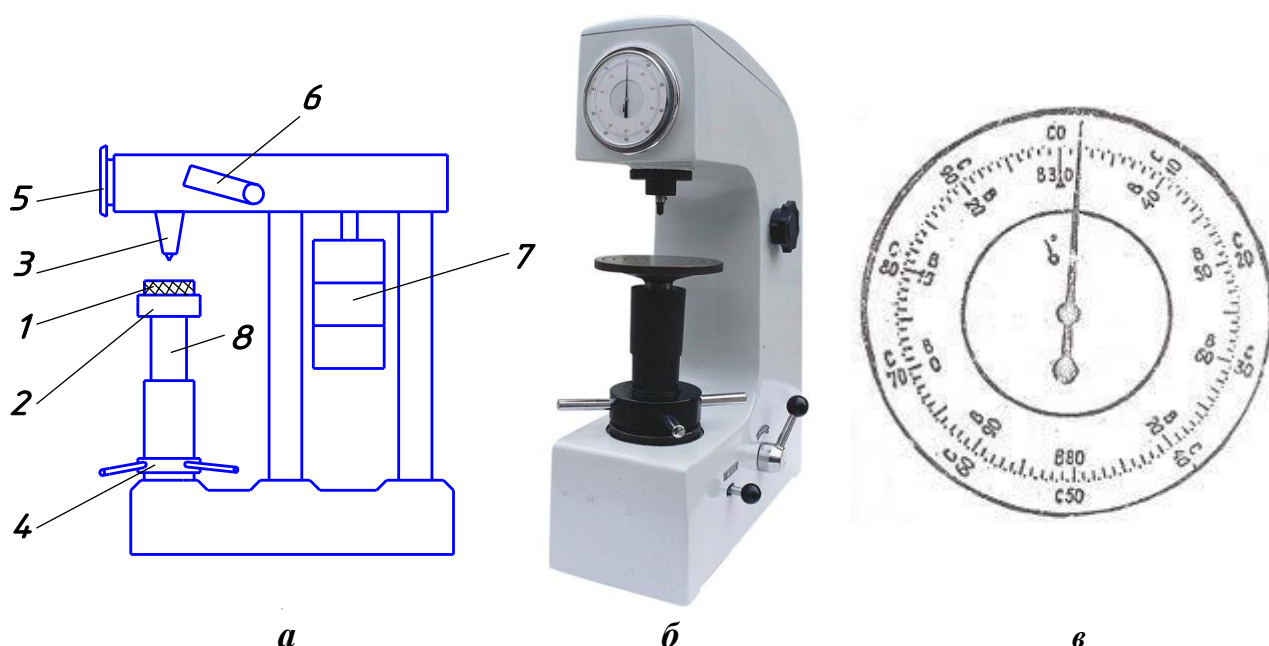


Рис. 5. Схема вимірювача твердості за Роквеллом (*a*); загальний вигляд сучасного вимірювача твердості моделі HR-150A (*б*); схема індикатора приладу (*в*)

Конус або кульку вдавлюють двома послідовними навантаженнями: попереднім $F_0=98,07 \text{ Н}$ і загальним ($F=F_0+F_1$), де F_1 є основним навантаженням (див. рис. 1, *д*). Індикатор має дві стрілки – велику (вказівник твердості) і малу, за якою контролюється попереднє навантаження індентора. Накінцевник **3** з індентором закріплюють у шпінделі. Обертанням маховика **4** за годинниковою стрілкою приводиться до руху підйомний гвинт **8** і столик **2** із зразком **1**; зразок **1** притискається до індентора (кулі або конуса), після цього обертання маховика продовжують, а стрілки індикатора починають обертатися. Підйом столика **2** продовжують доти, доки мала стрілка не стане вертикально на червону точку циферблата. Таке її положення свідчить, що індентор вдавився в зразок внаслідок дії навантаження в $98,07 \text{ Н}$ (попереднього). Велика стрілка займає також вертикальне положення і повинна вказувати на «0» на *чорній* шкалі циферблату. Після цього за допомогою спеціальної рукоятки **б** через важільну систему прикладається і основне навантаження **7**, в результаті

чого загальне навантаження становить 588,4; 980,7; або 1471 H , внаслідок чого створюється відбиток на зразку. Основне навантаження прикладається протягом 10-15 s . У цей час велика стрілка циферблату переміщується і вказує число твердості за Роквеллом. Це значення фіксують (записують). Рукоятку **б** плавно переводять у початкове положення, тим самим знімаючи основне навантаження. Маховик **4** обертають проти годинникової стрілки, внаслідок чого предметний столик **2** із зразком опускається, тим самим знімається попереднє навантаження. Зразок знімають зі столика.

Індентор-кульку застосовують для м'яких матеріалів з $HB < 450$, в цьому разі загальне навантаження F_1 становить 980,7 H , твердість визначають за червоною шкалою (шкалою B) індикатора і позначають її символом HRB , перед яким ставлять числове значення твердості.

Твердість більш твердих матеріалів визначають із застосуванням алмазного конуса за чорною шкалою і позначається вона числовим значенням твердості, за яким стоїть відповідний символ HRA (при $F = 588,4 H$) або HRC (при $F = 1471 H$) (шкали A і C на приладі суміщені), наприклад, $61HRC$.

Твердість за Роквеллом вимірюють в умовних одиницях. За одиницю твердості прийнята величина, яка відповідає заглибленню індентора на 0,002 mm . Твердість за Роквеллом (HR) відповідає такій, що розрахована за формулами :

– при вимірюванні за шкалами A і C , тобто коли індентором є конус,

$$HRC (HRA) = 100 - e;$$

– при вимірюванні за шкалою B , тобто коли індентором є куля,

$$HRB = 130 - e,$$

при цьому: $e = (h - h_0) / 0,002$; де:

h – заглиблення індентора під дією загального навантаження F (див. *рис. 1, д*), яке заміряють після зняття навантаження F_1 , але під дією F_0 , mm ;

h_0 – заглиблення індентора під дією попереднього навантаження F_0 , mm .

Але підкреслимо, що значення твердості за цими формулами не розраховують, а знімають показники твердості з індикатора приладу.

Алмазним конусом можна випробовувати матеріали товщиною $\geq 0,8 mm$, а кулею - $\geq 1,5 mm$, але товщина зразка повинна бути не менше 10-кратної глибини відбитка. Відстань між центрами двох сусідніх відбитків має бути не менше чотирьох діаметрів відбитків, але не менше 2 mm . Відстань від центру відбитка до краю зразка має бути не менше 2,5 діаметра відбитка, але не менше 1 mm .

На *рис. 5 д* представлено сучасний вимірювач твердості за Роквеллом моделі HR-150A, який забезпечує діапазон вимірів 20...88 HRA , 20...100 HRB , 20...90 HRC із застосуванням стандартних зусиль навантаження.

За *табл. 3*, залежно від приблизної твердості матеріалу за Віккерсом, яку слід знайти в літературі, або попередньо визначити, можна обрати шкалу твердості для вимірювання за Роквеллом, відповідне їй навантаження і вид індентора.

Таблиця 3

Співвідношення умов визначення твердості за Роквеллом з твердістю за Віккерсом

Приблизна твердість матеріалу за Віккерсом	Позначення шкали	Вид індентора	Загальне навантаження, H	Позначення твердості	Границі вимірювань, одиниці твердості за Роквеллом
1	2	3	4	5	6
60-240	B	Сталева куля діаметром 1,588мм	980	HRB	25-100
240-900	C	Алмазний конус	1470	HRC	20-67
390-900	A	Алмазний конус	588	HRA	70-90

1.2.3. Твердість за Віккерсом і мікротвердість

Твердість за Віккерсом і мікротвердість визначають вдавленням індентора у вигляді чотирьохгранної алмазної *пірамідки* із двограним кутом 136° біля вершини (рис. 1, *б*). Поверхня зразків для визначення твердості за Віккерсом повинна бути ретельно відшліфованою або відполірованою, а для визначення мікротвердості – відполірованою.

Метод Віккерса [5] застосовують для визначення твердості деталей *малої товщини* (до 0,3...0,5 мм, але не менше, ніж 1,5 довжини діагоналі d відбитка) і *тонких поверхневих шарів* (зазвичай, до 0,03...0,05 мм), які мають високу твердість, наприклад, покриттів, поверхневих шарів після хіміко-термічної обробки (цементованих, азотованих, загартованих тощо). Зрозуміло, що чим менша товщина зразка, тим менше навантаження має бути застосовано для вимірювання його твердості, оскільки після випробування не має бути видно ніякої деформації на зворотному боці зразка.

Твердість визначають вдавленням індентора під навантаженням $F=0,09807...980,7 \text{ Н}$. При цьому твердість, яку визначають із застосуванням навантажень $F=0,09807...1,961 \text{ Н}$, називають *мікротвердістю за Віккерсом*.

Твердість за Віккерсом і мікротвердість позначають HV . Фізично твердість у цих методах означає відношення прикладеного навантаження F до площі отриманого відбитка S і розраховують за формулою:

Твердість за Віккерсом і мікротвердість визначають за формулою:

$$HV = \frac{F}{S} = 0,102 \frac{2F \sin(136^\circ/2)}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2} \quad (2),$$

де: F – навантаження на піраміду, H ; 136° – кут між протилежними гранями пірамідки біля вершини; d – середнє арифметичне значення довжин обох діагоналей відбитка, які вимірюють після зняття навантаження, мм; 0,102 – константа, яка визначає співвідношення ($1 \text{ Н} = 0,102 \text{ кгс}$).

Методом мікротвердості звичайно користуються для визначення твердості окремих зерен або структурних складових, тонких шарів металу, тонкостінних виробів (фольг та ін.). Навантаження може бути від 0,0098 до 4,905 H (0,001...0,5 $кгс$).

Особливістю методів Віккерса і визначення мікротвердості є те, що прилади для визначення твердості мають *мікроскоп з мікрометром*. За допомогою мікроскопа вибирають місце для вдавлювання індентора, а після вдавлювання за допомогою мікрометра і лінійки окуляра мікроскопа вимірюють довжину діагоналі відбитка.

Прилад для вимірювання твердості за **Віккерсом** (рис. 6) має предметний столик 2, на якому розташовують зразок 1 і який пересувається вертикально за допомогою маховика 3. Вантаж 7 розташовують на підвісі. Прилад має мікроскоп 9 для вимірювання довжини діагоналі відбитка індентора-пірамідки.

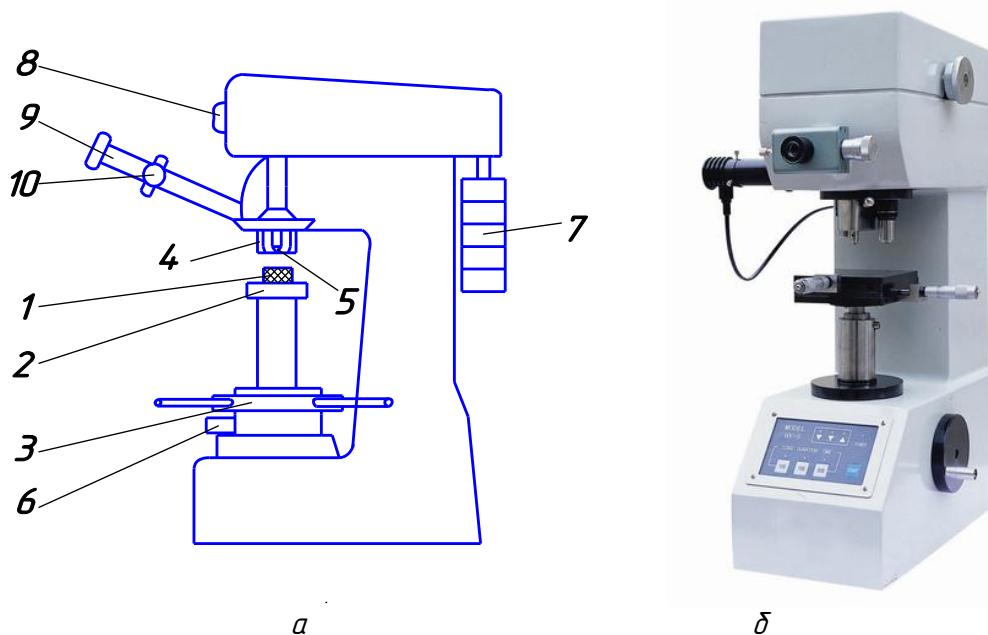


Рис. 6. Схема вимірювача твердості за Віккерсом (а) і загальний вигляд сучасного вимірювача твердості моделі HV-5 (б)

Перед тим, як приступити до випробувань, мікроскоп 9, який встановлено не стаціонарно, пересувають ліворуч у крайнє положення. Обертанням маховика 3 притискають зразок 1 до упору 4. Натисканням спускової педалі 6 забезпечують через важільну систему навантаження на пірамідку-індентор 5. Тривалість дії навантаження контролюється автоматично, під час дії навантаження горить сигнальна лампочка 8. Коли вона гасне, столик опускають обертанням маховика, пересувають мікроскоп праворуч у крайнє положення, після чого за допомогою окуляр-мікрометра мікроскопа і, користуючись для точного вимірювання мікрогвинтом 10, вимірюють довжину діагоналі відбитка і розраховують твердість за Віккерсом за формулою (2), або за спеціальною таблицею знаходять значення твердості за довжиною діагоналі.

Прилад для вимірювання твердості за Віккерсом HV-5 (рис. 5, б) має автоматичну систему керування і діапазон вимірювань 5...3000 HV.

Існує також багато універсальних приладів (УТ 5011; HBRV-187.5 та ін.), які дозволяють вимірювати твердість названими трьома методами: за Брінеллем, за Роквеллом, за Віккерсом.

Мікротвердість визначають за стандартом [6].

Прилад для вимірювання мікротвердості ПМТ-3 (рис. 7) має стояк, яким може пересуватися кронштейн з мікроскопом 1. Гвинти 2 і 3 призначені для грубої і точної настройки мікроскопа через його пересування над предметним столиком 8 із зразком. До тубуса мікроскопа прикріплено механізм навантаження, до якого входять вантаж 12 і шток 5 з алмазною пірамідкою.

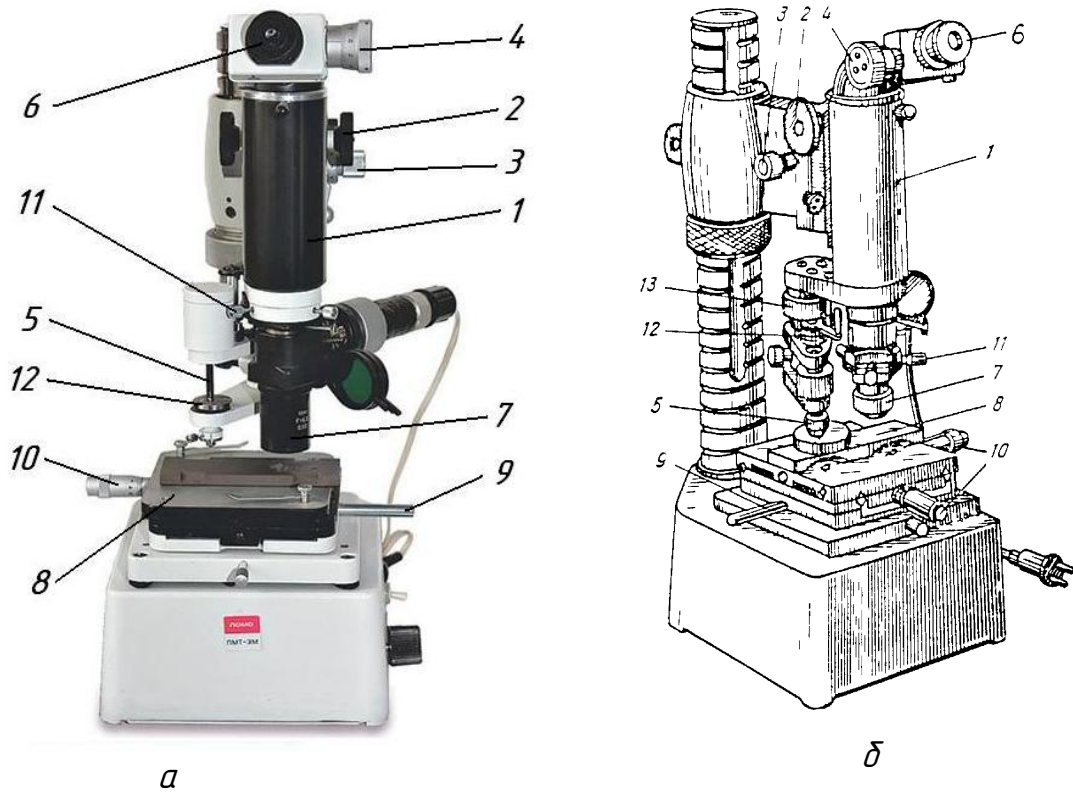


Рис. 7. Вигляд вимірювача мікротвердості моделі ПМТ-3М (а) і загальна схема вимірювача мікротвердості ПМТ-3 (б)

Предметний столик можна пересувати горизонтально за допомогою гвинтів 10 у взаємно перпендикулярних напрямках, а за допомогою рукоятки 9 – обертати навколо осі на 90° . На зразку, дивлячись в окуляр 6 мікроскопа, вибирають місце дослідження. Обертанням столика на 90° за допомогою рукоятки 9 підводять зразок під механізм навантаження, на якому попередньо розташували вантаж 12. Здійснюють навантаження вручну за допомогою ручки навантаження 13 або автоматично, опускаючи шток з алмазною пірамідкою. Навантаження триває 5-10 с, після чого шток підіймається (вручну, або автоматично). Столик обертають у початкову позицію, підводячи зразок під об'єктив 7 мікроскопа; за необхідності корегують (за допомогою регулюючих гвинтів 11) розташування відбитку відносно відміток, що є на окулярі. Вимірюють діагональ відбитка через обертання окулярного мікрометра 4. По довжині діагоналі відбитку за спеціальною таблицею знаходять значення твердості.

1.3. Прилади динамічної дії

Низка сучасних приладів для вимірювання твердості є приладами динамічної дії, принцип яких ґрунтується на ударі індентора по поверхні металу і вимірюванні швидкості його пружного відскакування від поверхні. Швидкість відскакування є функцією твердості. Прилад такої дії має датчики швидкості руху індентора до і після удару по поверхні, електронний блок, який підсилює і перетворює сигнали датчиків у цифровий код та ідентифікує результати у вигляді значень твердості, які з'являються на табло. Динамічні вимірювачі застосовують для деталей масою більше трьох кілограмів з товщиною стінки не менше 10 мм. Чистота поверхні для контролю – не менше $Rz20$. Динамічні прилади, наприклад ТДМ-1 і ТДМ-2 (рис. 8), мають досить широкий діапазон вимірювань і адаптовані до методів Брінелля (90...450 HB) і Роквелла (20...70 HRC), тобто результати вимірювань твердості надаються в одиницях названих методів.



Рис. 8. Вигляд вимірювача твердості моделі ТДМ 2

2. Практична частина

- 2.1. Ознайомитися зі схемами, устроєм і роботою приладів для вимірювання твердості за Брінеллем, Роквеллом, Віккерсом, приладів ПМТ-3 і ТДМ-2; вивчити порядок визначення твердості на цих приладах.
- 2.2. Виконати випробування твердості на зразках з вуглецевої сталі у відпаленому або загартованому стані з різним вмістом вуглецю за вказаними методами.
- 2.3. Залежно від методу, що застосовано:
 - ◆ визначити твердість за шкалою індикатора за Роквеллом;
 - ◆ виміряти розмір відбитка кулі за допомогою мікроскопа МПБ-2 (рис. 4) і за табл.1 визначити твердість за Брінеллем;
 - ◆ виміряти за допомогою окуляр-мікрометра мікроскопа довжину діагоналі відбитка пірамідки при випробуваннях за Віккерсом або визначенні мікротвердості і за формулою (2) визначити твердість за Віккерсом, або мікротвердість;
 - ◆ визначити твердість за допомогою приладу ТДМ-2.

3. Порядок оформлення звіту

Внести до таблиці результати вимірювання твердості:

Характеристики	Метод визначення твердості				
	<i>Брінелля</i>	<i>Роквелла</i>	<i>Віккерса</i>	<i>на ПМТ-3</i>	<i>на ТДМ-2</i>
№ зразка					
Характеристика індентора					
Застосоване навантаження					
Вигляд відбитка індентора					
Розмір відбитка індентора					
Визначена твердість					

Контрольні запитання

1. Що таке пружна і пластична деформації?
2. Що таке *твердість*?
3. У чому полягає процес вимірювання твердості вдавлюванням?
4. Що таке *індентор* і які форми інденторів використовуються в методах визначення твердості за Брінеллем, Роквеллом, Віккерсом та на приладі ПМТ-3?
5. Користуючись схемами приладів, поясніть порядок вимірювання твердості на них.
6. Як позначається твердість різними методами?
7. Які навантаження застосовують в методах Брінелля, Роквелла, Віккерса та на приладі ПМТ-3?
8. Для *більш твердих* матеріалів слід застосовувати метод Брінелля чи Роквелла?
9. Яким методом слід визначати твердість тонкостінних шарів металу?
10. Яким методом слід визначати твердість структурних складових металу?
11. Як визначають твердість на приладі ТДМ-2?

Література

1. ДСТУ ISO 6506-1:2007. Матеріали металеві. Визначення твердості за Брінеллем. Частина 1. Метод випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 16 с.
2. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. – М.: Стандартиформ, 2007. – 43 с.
3. ДСТУ ISO 6506-4:2008. Матеріали металеві. Визначення твердості за Брінеллем. Частина 4. Таблиця значень твердості. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 18 с.
4. ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.
5. ДСТУ ISO 6507-1:2007. Матеріали металеві. Визначення твердості за Віккерсом. Частина 1. Метод випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 20 с.
6. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 35 с.

Навчально-методичне видання

**Даніленко Тетяна Петрівна
Брайковська Надія Сергіївна**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної (практичної) роботи
«ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ»
з дисципліни «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ТА ТЕХНОЛОГІЯ МАТЕРІАЛІВ»
для студентів механічних спеціальностей
усіх форм навчанн**

Відповідальна за випуск Т. П. Даніленко,
канд. техн. наук, доцент

Редактор Н. В. Щербак
Макет і верстка В. О. Андрієнка

Підписано до друку 07.10.2013. Формат 60x84/16.
Папір – офсетний. Друк – на ризографі.
Зам. № 292/13. Наклад 25 прим.

Надруковано у Редакційно-видавничому відділі ДЕТУТ
Свідоцтво про реєстрацію від 27.12.2007. Серія ДК № 3079
03049, м. Київ – 49, вул. Миколи Лукашевича, 19