

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**  
**З ФІЗИЧНОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**  
**"МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ТА**  
**МІКРОТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ"**

**ХАРКІВ 2000**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з фізичного матеріалознавства "Методи визначення твердості та мікротвердості металів і сплавів". Упоряд: Є.Ю. Бадіян, А.Г. Тонкопряд.— Харків: ХНУ, 2000. — 24 с.

Упорядники: Є.Ю. Бадіян  
А.Г. Тонкопряд

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**  
**З ФІЗИЧНОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**  
**"МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ТА**  
**МІКРОТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ"**

Рекомендовано  
кафедрою фізики твердого тіла  
Протокол № 7 від 04.09.98 р.

**ХАРКІВ 2000**

# МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ТА МІКРОТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

## Вступ

Вимірювання твердості і мікротвердості представляє сьогодні найбільш універсальний спосіб визначення механічних властивостей матеріалів і тонкий метод дослідження.

ТВЕРДІСТЮ називають властивість матеріалу чинити опір пружній і пластичній деформації при контактному впливі в поверхневому шарі.

Вимірювання твердості унаслідок швидкості і простоти здійснення, а також можливості без зруйнування виробу судити про його властивості, одержало широке застосування для контролю якості металевих виробів, мінералів, полімерних і біологічних матеріалів.

Твердість матеріалів вимірюють за допомогою впливу на поверхню досліджуваного зразка наконечника (індентора), виготовленого з матеріалу, що мало деформується (тверда загартована сталь, діамант, сапфір або твердий сплав), і має форму кульки, конуса, піраміди або голки. Способи вимірювання твердості розрізняються за характером впливу наконечника. Твердість можна вимірювати вдавлюванням наконечника, дряпанням поверхні, ударом або ж по відскоку наконечника - кульки. Твердість, яка визначається дряпанням, характеризує опір зруйнуванню; твердість, яка визначається по відскоку, характеризує пружні властивості; твердість, яка визначається вдавлюванням, характеризує опір пластичній деформації.

Найбільше поширення одержало вимірювання твердості вдавлюванням. У таблиці 1 наведені основні методи статичного визначення твердості вдавлюванням. У результаті вдавлювання досить великим навантаженням поверхневі шари матеріалу, які знаходяться під наконечником і поблизу нього, пластично деформуються, при цьому деформація протікає у невеликому об'ємі, оточеному недеформованим матеріалом. У таких умовах випробування, близьких до всебічного нерівномірного стиску,

виникають головним чином дотичні напруження, а частка розтягуючих напружень незначна в порівнянні з одержуваними при інших видах механічних іспитів (на розтяг, вигин, крутіння, стиск). Між твердістю, яка визначається способом вдавлювання, і іншими механічними властивостями існує певна кількісна залежність.

Варто розрізнати два способи визначення твердості вдавлюванням: ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ (МАКРОТВЕРДОСТІ) ТА ВИМІРЮВАННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ.

Вимірювання ТВЕРДОСТІ характеризується тим, що у випробуваний матеріал вдавлюють тіло значних розмірів (у залежності від використовуваного способу це може бути загартована сталева кулька, діамантовий конус або діамантова піраміда), яке проникає на порівняно велику глибину, що залежить від величини прикладеного навантаження і властивостей матеріалу. У результаті вимірювання твердість характеризує твердість усього випробуваного матеріалу, тому що у об'ємі, який деформується, представлені усі фази і структурні складові сплаву. Якщо метал має гетерогенну структуру з великими виділеннями окремих складових, різних за властивостями, то для випробування твердості варто вибирати кульку більшого діаметра. Якщо ж метал має порівняно дрібну та однорідну структуру, то малі за об'ємом ділянки металу, який випробується, можуть бути досить характерними для оцінки твердості матеріалу в цілому. У цих випадках випробування можна проводити вдавлюванням наконечника з меншим розміром (наприклад, діамантовим конусом або пірамідою) на меншу глибину (отже, при невеликому навантаженні).

Вимірювання МІКРОТВЕРДОСТІ полягає у визначенні твердості окремих зерен, фаз і структурних складових сплаву (а не "усереднену" твердість, як при вимірюванні макротвердості). Мікротвердість визначають вдавлюванням діамантової пірам.ди.

Таблиця 1.

Основні методи статичного визначення твердості вдавлюванням.

Назва приладу	Принцип дії і форма наконечника	Параметр, який вимірюється, метод обчислення твердості, розмірність
Прес Бринеля	Вдавлювання сталеві кульки загартованої кульки діаметром (D) 1,25; 2,5; 5 або 10 мм навантаженнями (P) 5-300 кгс у плоску поверхню випробуваного тіла	Твердість обчислюється по діаметру відбитка як навантаження, поділене на площу поверхні відбитка $HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$
Прилад Вікерса	Вдавлювання діамантової піраміди із квадратною основою і кутом при вершині між гранями 136° навантаженнями у 1-120 кгс	Твердість визначається по діагоналі відбитка як навантаження, поділене на площу поверхні відбитка $HV = 1.8544 \frac{P}{d^2}, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$
Прилад Роквела	Вдавлювання діамантового конуса із кутом загострення 120° або сталевих кульок 1/2"; 1/4"; 1/8" або 1/16" стандартними навантаженнями 150, 100 і 60 кгс	Мірою твердості служить різниця глибин проникнення наконечника при прикладенні основного і попереднього навантаження, виміряна в умовних поділках
Монотрон Шора	Вдавлювання діамантової кульки діаметром 0,75 мм або сталевих кульок діаметром 1/16" і 2,5 мм на стандартну глибину 0,045 мм	Мірою твердості служить навантаження (кгс) необхідне для вдавлювання на стандартну глибину

У поєднанні з вимірюванням мікротвердості за допомогою вдавлювання діамантової піраміди ефективним є і метод дряпання (склерометрія). Метод дряпання дозволяє, зокрема,

наочно характеризувати мікротвердість різних структурних складових, виявляти зміцнення у меж кристалів, вивчати анізотропію кристалів, визначати істинний опір розриву. У випадку вимірювання мікротвердості об'єм, який деформується вдавлюванням, повинний бути менше об'єму зерна, яке вимірюється, а прикладене навантаження - невелике.

Інформація з мікротвердості сприяє з'ясуванню впливу типу кристалічної структури, електронної будови і типу міжатомного зв'язку на твердість, яка є узагальненою характеристикою опору пластичній деформації. Мікротвердість не є такою строгою фізичною константою речовини, як, наприклад, температура плавлення, кипіння або теплота плавлення. Однак ця умовна узагальнена характеристика опору великим пластичним деформаціям при контактному стисканні є вельми чутлива до різних факторів, які пов'язані з енергією кристалічної решітки, і показує таку ж періодичну зміну зі зростанням атомного номера елемента, як модуль пружності, температура плавлення або енергія активації повзучості.

## **ЧАСТИНА 1. ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ**

### **Ціль роботи:**

1. Ознайомитися із різними методами вимірювання твердості металів і сплавів:

- а) вдавлюванням кульки (вимірювання за Бринелем);
- б) вдавлюванням кульки або конуса (вимірювання за Роквелом);
- в) вдавлюванням діамантової піраміди (вимірювання за Вікерсом).

2. Вивчити принцип дії приладів, призначених для визначення твердості.

3. Визначити твердість металів і сплавів різними методами.

Порівняти результати, отримані різними методами.

## Вимірювання твердості за Бринелем (вдавлюванням кульки)

Сутність методу полягає у вдавлюванні сталеві кульки діаметром  $D$  у зразок під дією навантаження  $P$  та вимірюванні діаметра відбитка  $d$  після зняття навантаження. Схема визначення твердості за Бринелем наведена на рис.1а. Число твердості за Бринелем характеризується відношенням діючого навантаження на кульку, до площі поверхні відбитка:

$$HB = \frac{P}{F_{\text{пов}}} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1)$$

де  $P$  — навантаження на кульку, кгс (Н);  
 $F$  — площа поверхні відбитка, мм<sup>2</sup>;  
 $D$  — діаметр кульки, яка вдавлюється, мм;  
 $d$  — діаметр відбитка, мм.

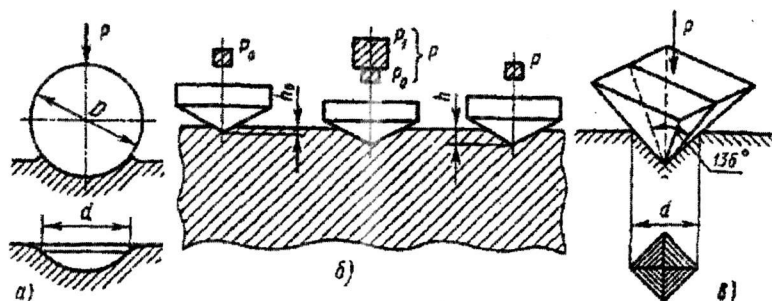


Рис. 1. Схема визначення твердості за Бринелем (а),  
Роквелом (б) та Вікерсом (в).



Твердість за Бринелем позначається цифрами, що характеризують величину твердості, і літерами НВ, наприклад, 185 НВ (при  $D=10$  мм і  $P=300$  кгс). Твердість визначають або по формулі (1), або за спеціальними таблицями, виходячи із діаметра відбитка  $d$  для певного діаметра кульки та величини навантаження. Твердість за Бринелем вимірюють при постійному співвідношенні між величиною навантаження  $P$  і квадратом діаметра кульки  $D^2$ . Навантаження  $P$  вибирають у залежності від якості випробовуваного матеріалу по формулі  $P=KD^2$ , де  $K$  — стала для даного матеріалу. ГОСТом установлені норми для випробувань за Бринелем (табл. 2).

Таблиця 2.

Умови випробування металів на твердість за Бринелем.

Метали	Твердість, НВ	Товщина зразка, мм	Співвідношення між $P$ і $D^2$	Діаметр кульки $D$ , мм	Навантаження $P$ , кг	Витримка під навантаженням, с
Чорні	140-450	6-3	$P=30D^2$	10	30	10
		4-2		5	75	10
		>2		2,5	187,5	10
Чорні	≤140	>6	$P=10D^2$	10	30	10
		6-3		5	25	10
		>3		2,5	62,5	—
Кольорові	≥130	6-3	$P=30D^2$	10	30	30
		4-2		5	75	30
		>2		2,5	187,5	30
Кольорові	35-130	9-3	$P=10D^2$	10	10	30
		6-3		5	25	30
		2-3		2,5	62,5	30
Кольорові	8-35	>6	$P=2,5D^2$	10	25	60
	8-35	6-3		5	62,5	60
	8-35	<3		2,5	15,6	60

Відзначимо один із принципів недоліків способу Бринеля. При вдавлюванні кулі навантаженнями різної величини форма відбитків на тому ж самому твердому тілі не виходить подібною, тому відношення сили до квадрата діаметра відбитка не зберігається постійним. У результаті число твердості за

Бринелем, яке становить відношення сили до площі поверхні відбитка, також змінюється, а саме, зростає із підвищенням величини навантаження.

Твердість за Бринелем вимірюють, як правило, для металів і сплавів невеликої і середньої твердості, не випробують матеріали із твердістю більш 450НВ і не вимірюють твердість тонких поверхневих шарів (<1-2мм). Між числом твердості НВ і границею міцності  $\sigma_B$  різних матеріалів існує визначена залежність:

для сталі із твердістю НВ 120-450	$\sigma_B \approx 3.45 \text{ НВ}$ ,
для міді, латуні, бронзи (відпаленої)	$\sigma_B \approx 5.5 \text{ НВ}$ ,
для алюмінію і алюмінієвих сплавів із твердістю НВ 20-45	$\sigma_B \approx 3.5 \text{ НВ}$

У меншому ступені дотримується точна кількісна залежність між числами твердості НВ і границею витривалості.

Найбільше поширеними приладами для випробувань на твердість за Бринелем є автоматичні важільний і гідравлічний преси. Для визначення твердості за Бринелем студентам пропонується провести вимірювання на універсальному приладі 2137 ТУ, призначеному для вимірювання твердості металів і сплавів за Бринелем і за Вікерсом. Загальний вид приладу 2137 ТУ наведений на рис. 2. У даному приладі при вимірюванні твердості за Бринелем сталеву кульку вдавлюють у зразок вантажами 7. У верхній частині станини приладу є шпindel, у який вставляють один із трьох наконечників 1 із кулькою діаметром 10; 5; 2.5 мм. Столик 22 служить для установки на ньому випробовуваного зразка. При обертанні по годинній стрільці маховика 24 піднімають столик із зразком, притискаючи до обмежувача. Попередньо для кожного досліджуваного матеріалу відповідно до таблиці 2 установлюють наконечник із кулькою визначеного діаметра, навантаження і час витримки. Далі проводять випробування, потім, повертаючи маховик 24 проти годинної стрілки, опускають столик приладу і знімають зразок.

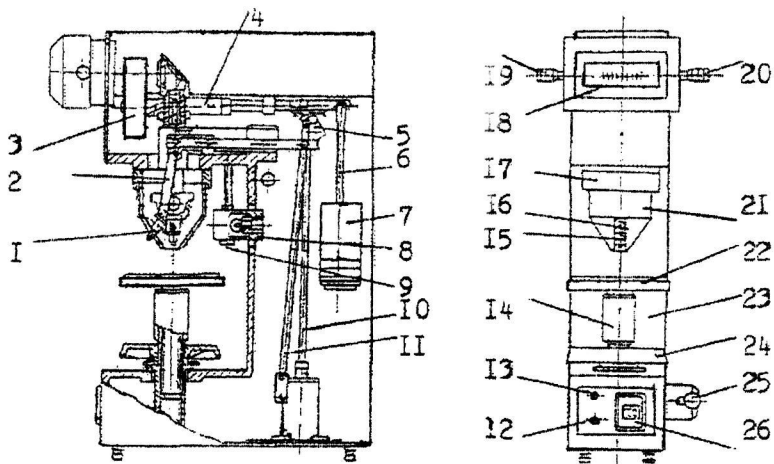
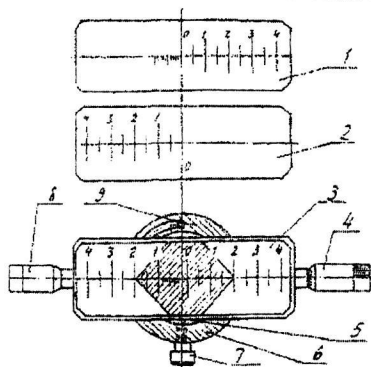


Рис. 2. Загальний вид приладу 2137 ТУ.

1 — наконечник випробувальний; 2 — важіль; 3 — противага; 4 — важіль; 5 — кронштейн; 6 — підвіска вантажна; 7 — набір вантажів; 8 — освітлювач; 9 — гвинт; 10 — штанга; 11 — тяга; 12 — тумблер МЕРЕЖА; 13 — лампа ВИТРИМКА; 14 — стакан; 15 — об'єктив; 16 — гвинт; 17 — кільце; 18 — голівка вимірювальна; 19 — гвинт; 20 — гвинт мікрометричний; 21 — упор; 22 — стіл; 23 — корпус; 24 — маховик; 25 — ручка; 26 — реле часу.

#### 18 — ВИМІРЮВАЛЬНА ГОЛІВКА



1 — шкала матова;  
 2 — шкала;  
 3 — рамка вимірювальна;  
 4 — гвинт мікрометричний;  
 5 — труба;  
 6 — кільце стопорне;  
 7 — гвинт притискний;  
 8 — гвинт;  
 9 — штифт

## Вимірювання твердості за Роквелом (вдавлюванням конуса або кульки)

Сутність методу полягає у вдавлюванні наконечника з діамантовим конусом із кутом у вершині  $120^\circ$  (шкали А і С) або зі сталевую кулькою діаметром 1,585 мм (1/16") (шкала В) у випробуваний зразок під дією послідовно прикладаємих попереднього  $P_0$  (кгс) і основного  $P_1$  (кгс) навантажень і вимірюванні залишкової глибини проникнення наконечника після зняття основного і збереження попереднього навантаження. Принципова відмінність вимірювання твердості по способу Роквела від вимірювання по способу Бринеля полягає в тому, що за Роквелом твердість визначають по глибині відбитка, одержуваного при вдавлюванні наконечника, а не по площі відбитка. За Роквелом можна змінювати навантаження у широких межах без зміни значень твердості, тому що при вдавлюванні конуса зберігається закон подібності.

Твердість за Роквелом вимірюють на автоматизованому приладі (рис. 3), у нижній частині нерухокої станини якого встановлений столик 6. У верхній частині станини укріплені індикатор 4 і шток 5, у якому встановлюється наконечник із діамантовим конусом або зі сталевую кулькою. Індикатор 4 є циферблатом, на якому нанесені дві шкали (чорна і червона) і є дві стрілки — велика (показчик твердості), що обертається по шкалі, і маленька, для контролю величини попереднього навантаження, яке передається обертанням маховика 7.

Під навантаженням  $P_0$  індикатор приладу вдавлюється у зразок на глибину  $h_0$ . Попереднє навантаження проводять для того, щоб виключити вплив пружної деформації і шорсткості зразка на результати вимірювань. Потім на випробуваний зразок подається повне навантаження  $P=P_0+P_1$  і глибина занурення наконечника зростає. Після зняття основного навантаження  $P_1$  число твердості за Роквелом HR прочитується безпосередньо на циферблаті, причому, воно є умовною безрозмірною величиною,

що непрямо вказує на глибину проникнення наконечника у випробуваний матеріал. Схема визначення твердості за Роквелом наведена на рис. 1 б. Числа твердості за Роквелом можна перерахувати на числа твердості за Бринелем за допомогою спеціальної таблиці.

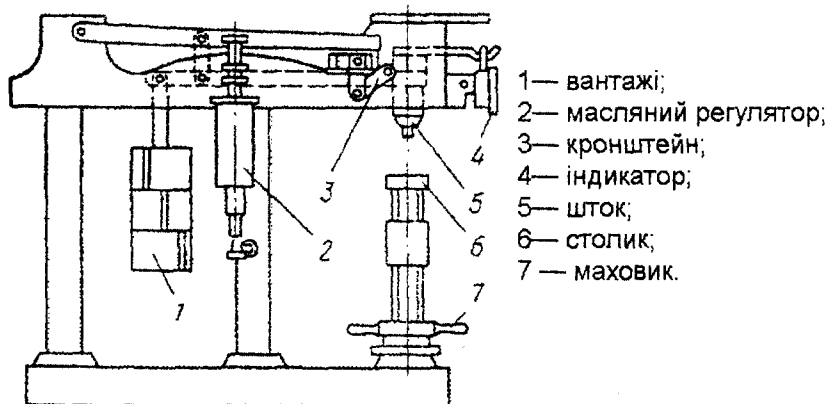


Рис. 3. Схема приладу для вимірювання твердості вдавленням діамантового конуса або сталеві кульки (вимірювання за Роквелом).

Твердість за Роквелом можна вимірювати:

а) *діамантовим конусом* з загальним навантаженням 60 кг ( $P=10$  кг + 50 кг) по шкалі А\* (твердість позначається HRA) та з загальним навантаженням 150 кг ( $P=10$  кг + 140 кг) по чорній шкалі С (твердість позначається HRC). Числа HRA можна перевести на числа HRC за формулою  $HRC=2 HRA - 104$ .

б) *сталюю кулькою* з загальним навантаженням 100 кг ( $P=10$  кг + 90 кг) по червоній шкалі В циферблата (твердість позначається HRB).

\* На індикаторі приладу шкала А сполучена зі шкалою С.

Одиниця твердості по Роквеллу — безрозмірна величина, що відповідає осьовому переміщенню індикатора на 0,002 мм.

По шкалі С визначають твердість матеріалів із високою твердістю (>450НВ), коли сталева кулька може деформуватися. Шкала А використовується для визначення твердості тонких (0.5 - 1.0 мм) поверхневих шарів і дуже твердих матеріалів. По шкалі В визначають твердість порівняно м'яких матеріалів(<400НВ). Спосіб визначення твердості за Роквеллом не дає можливості вимірювати твердість крихких тіл і твердість тіл мікроскопічного розміру (структурних складових сплаву), унаслідок того, що навантаження (150, 100 і 60 кгс), які застосовуються, викликають їхнє зруйнування. Спосіб визначення твердості за Роквеллом є одним із точних і зручних методів, він незамінний для контролю якості виробів після термічної обробки.

### **Вимірювання твердості за Вікерсом (вдавлюванням діамантової піраміди)**

Цей метод полягає у вдавлюванні діамантового наконечника, що має форму правильної чотиригранної піраміди з кутом у вершині 136°, у зразок під дією навантаження Р та вимірюванні діагоналі відбитка d, що залишається після зняття навантаження. Твердість за Вікерсом позначається символом НV, причому позначення розмірності ( $\frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$ ) опускається, і обчислюють твердість по формулі:

$$HV=1,854 \frac{P}{d^2} \quad (3)$$

де Р — навантаження, кгс (Н);

d — середнє арифметичне значення довжини обох діагоналей відбитка після зняття навантаження, мм.

Таким чином, твердість за Вікерсом, як і твердість за Бринелем, визначається як зусилля, яке припадає на одиницю поверхні відбитка, і для матеріалів твердістю до 450НВ вони практично збігаються. Водночас вимірювання пірамідою дають

більш точні значення для металів із високою твердістю, чим вимірювання кулькою або конусом. Як правило, цей метод використовують для визначення твердості тонких поверхневих шарів і деталей малої товщини, які мають високу твердість.

Схема визначення твердості за Вікерсом наведена на рис. 1 в. Студентам пропонується провести випробування по визначенню твердості за Вікерсом на універсальному приладі 2137ТУ, описаному вище.

Поверхня зразків для визначення твердості пірамідою повинна бути ретельно відшліфована шкуркою з дрібним зерном або навіть відполірована. При вимірюванні твердості повинна бути забезпечена перпендикулярність діючого зусилля до випробуваної поверхні. Товщина випробуваного зразка повинна бути не менше ніж 1.5 діагоналі відбитка. Вибір навантаження робиться в залежності від товщини випробуваного шару металу. Навантаження може змінюватися від 1 кгс до 100 кгс. Для одержання більш точного результату вимірювання твердості навантаження повинне бути якнайбільше, причому на зворотній стороні зразка не повинно бути помітно слідів деформації. Тривалість витримки під навантаженням повинна складати 10-15 с. При невідомій товщині випробуваного шару варто зробити декілька вимірювань при різних навантаженнях. Якщо при цьому твердість буде змінюватися, то варто зменшувати навантаження доти, поки при двох суміжних навантаженнях твердість буде близька за своїми значеннями або збігатися.

Після проведення випробування знаходять середнє арифметичне значення довжин обох діагоналей відбитка за допомогою вимірювальної голівки приладу, або за допомогою мікроскопа МПБ-2.

Число твердості за Вікерсом знаходять або по формулі (3), або по спеціальних таблицях при стандартних значеннях навантаження  $P$  по виміряному розміру  $d$ . Слід зазначити, що точного переведення чисел твердості за Вікерсом на числа твердості по інших шкалах або на міцність при розтягуванні не існує.

## ЗАВДАННЯ

Визначити твердість зразків металів і сплавів за Бринелем і за Викерсом. Для дослідження взяти зразки міді, алюмінію, цинку, сталі, чавуну, латуні або інших матеріалів, які запропонує викладач.

### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ Визначення твердості за Бринелем

1. Обробити поверхню досліджуваного зразка напилком, наждачним папером, щоб вона становила гладку, горизонтальну площадку. Товщина зразка повинна бути не менше десятикратної глибини відбитка.

2. Включити прилад у мережу тумблером 12, при цьому засвітиться лампа освітлювача 8.

3. Установити на вантажну підвіску 6 набір вантажів 7, які відповідають обраному навантаженню.

4. Зразок, який випробується, установлюють на столику 22 так, щоб його поверхня була точно перпендикулярна осі шпинделя і за допомогою маховика 24 підводять її до зіткнення з обмежувачем.

5. Установити на реле часу 26 потрібний час витримки.

6. Відвести рукоятку 25 вправо і вивести її з зачеплення. Штанги під дією пружини, важеля і вантажів будуть опускатися, а наконечник 1 проникати у випробуваний зразок. По закінченні заданої витримки часу спрацьовує світлова сигналізація. Рукоятку 25 ввести в зачеплення. Штанги і важіль повернуться у вихідне положення.

7. Після випробування виміряти діаметр відбитка в двох взаємно перпендикулярних напрямках двома способами:

а) за допомогою вимірювальної голівки 18;

б) за допомогою мікроскопа МПБ-2, на окулярі якого нанесена шкала з поділками (ціна поділки — 0.05 мм).

Підрахувати середнє арифметичне двох вимірювань.



8. По таблиці чисел твердості відповідно до діаметра кульки та обраного навантаження знайти значення твердості випробуваного зразка.

Провести 2-3 вимірювання для того ж самого зразка. Кожне наступне вимірювання треба проводити на відстані не менше двох діаметрів від попереднього відбитка.

Результати вимірювань твердості за Бринелем занести в таблицю 3.

Таблиця 3.

№ з/р	Матеріал	Умови випробування		Діаметр відбитка, мм			Твердість, НВ			
		P, кгс.	D, мм	1-го	2-го	3-го	1-го	2-го	3-го	серед. знач.

### Визначення твердості за Вікерсом

Установити в універсальному приладі 2137 ТУ наконечник із діамантовою пірамідою.

Провести вимірювання твердості за Вікерсом. Порядок виконання роботи залишається таким же, як і при проведенні випробувань на твердість за Бринелем.

Обрати досліджуваними зразками матеріали з твердістю <450НВ, випробувані студентами в першій частині роботи (вимірювання твердості за Бринелем).

Після випробування виміряти діагоналі відбитка за допомогою мікроскопа МПБ-2. Підрахувати середнє арифметичне значення діагоналі відбитка.

По таблиці чисел твердості у відповідності з величиною навантаження P та діагоналлю відбитка d (у мм) знайти значення твердості випробуваного зразка.

Для кожного зразка провести 2-3 вимірювання. Результати вимірювань твердості за Вікерсом занести в таблицю 4.

Таблиця 4.

№ з/р	Матеріал	Навантаження, кгс	Діаметр відбитка, мм			Твердість, НВ			
			1-го	2-го	3-го	1-го	2-го	3-го	серед. знач.

Порівняти отримані значення твердості за Бринелем і за Вікерсом для тих же самих зразків.

## **ЧАСТИНА 2. ВИМІРЮВАННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ**

### **Ціль роботи:**

1. Вивчити будову приладу ПМТ-3; навчитися юстувати мікротвердомір.
2. Визначити величину мікротвердості:
  - а) різних областей металевого зразка: у тілі різних зерен, в межі зерен, у потрійному стикі меж зерен (ТС ГЗ);
  - б) окремих фаз і структурних складових у сплавах.
3. Студентам спеціалізації "Медичне матеріалознавство" виміряти мікротвердість різних медичних матеріалів.

### **Вступ.**

При дослідженні, зокрема, діаграм рівноваги, ліквацийних явищ у сплавах, вивченні дифузійних явищ широко використовується метод вимірювання мікротвердості, відмінною рисою якого є те, що він сполучається з мікроскопічними дослідженнями структури матеріалів. МІКРОТВЕРДІСТЬ визначають вдавллюванням діамантової піраміди. Прилад для вимірювання мікротвердості складається з механізму для вдавллювання діамантової піраміди під невеликим навантаженням і металографічного мікроскопу. На припаді типу ПМТ-3, розробленого М.М. Хрущовим і Є.С. Берковичем (рис. 4), випробування на мікротвердість робиться вдавллюванням стандартної 136-градусної піраміди з квадратною основою різними навантаженнями: 2.5; 10; 20; 50; 100; 200 гс у залежності від особливостей досліджуваної структури і задач дослідження.

### **Будова приладу ПМТ-3.**

Прилад ПМТ-3 (рис 4) має масивний корпус, стійку і кронштейн, що забезпечують жорсткість. Штатив 8 вертикального мікроскопа з тубусом переміщується вниз і нагору за допомогою макрометричного гвинта 6 і мікрометричного гвинта 5. На верхній

кінець тубуса насаджений окулярний мікрометр 7, а в нижньому конусі закріплений об'єктив 11. Прилад постачаний двома об'єктивами для перегляду мікрошліфа при збільшеннях 478 і 135 разів. Окуляр збільшує в 15 разів. Окулярний мікрометр має нерухому сітку, відліковий мікрометричний барабанчик і каретку з рухомою сіткою. На нерухомій сітці довжиною 5мм нанесені штрихи з цифрами. На рухомій сітці гвинтового окулярного мікрометра нанесені нитки, що перетинаються під прямим кутом, і бі-штрих (перехрестя ниток). Повний оборот барабана (100 малих поділок на барабані) відповідає переміщенню бі-штриха (перехрестя ниток) на одну поділку шкали. Діамантова піраміда кріпиться в нижній частині штока 2, навантаження для вдавлювання піраміди створюється за допомогою вантажів 3, що мають форму шайб із вирізом. Вдавлювання діамантової піраміди в зразок під дією вантажу здійснюється поворотом ручки, установленій на штоку. Вимірювання діагоналі отриманого відбитка робиться за допомогою окулярного мікрометра.

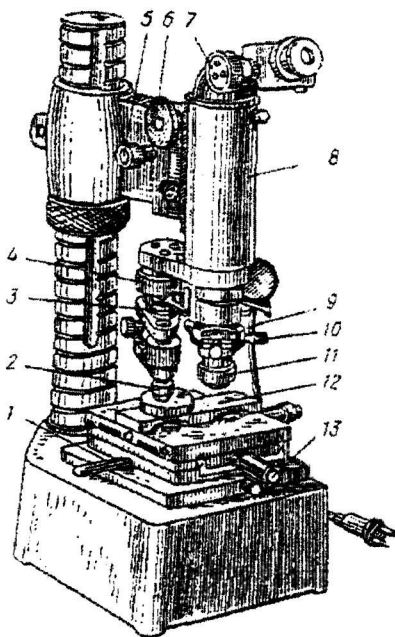
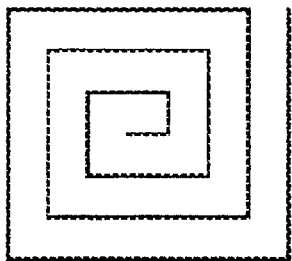


Рис. 4. Загальний вид приладу ПМТ-3.

1 — ручка, 2 — шток із діамантовою пірамідою, 3 — вантажі, 4 — ручка для підняття штока з діамантовою пірамідою, 5 — мікрометричний гвинт, 6 — макрометричний гвинт, 7 — окулярний мікрометр, 8 — штатив, 9 — опакілюмінатор, 10 — гвинт, 11 — об'єктив, 12 — столик, 13 — мікрометричний гвинт.

### Центрування приладу ПМТ-3

Перед проведенням випробувань прилад ПМТ-3 необхідно центрувати для того, щоб відбиток діамантової піраміди утворювався точно у тому місці зразка, яке було обрано при дослідженні (місце на зразку під перехрестям ниток гвинтового окулярного мікрометра). Коли зображення відбитка виявиться зміщеним від перехрестя, але потрапляє у поле зору мікроскопа, необхідно користуватися центруючим пристроєм, розташованим над об'єктивом. У випадку, коли відбиток піраміди не знаходиться у полі зору мікроскопа ні з робочим, ні з додатковим об'єктивом, варто використовувати наступний спосіб юстування мікротвердоміра [6]. На поверхню досліджуваного зразка діамантовою пірамідою наноситься фігура у вигляді спіралі (див. рис.) із шагом, що не перевищує лінійне поле мікроскопа. Площа, яка зайнята спіраллю, значно більше поля



зору мікроскопа і практично завжди (при будь-якому розюстуванні) елемент спіралі потрапляє в це поле. Юстування зводиться до переміщення центру поля зору мікроскопа за допомогою юстовочних гвинтів у початок спіралі, і виконується наступним способом. Досліджуваний

зразок розміщують на предметному столику мікротвердоміра. Столик встановлюють у положення, яке відповідає середньому значенню показань шкал мікрометричних гвинтів. Перехрестя ниток гвинтового окулярного мікрометра встановлюють точно в центрі поля зору мікроскопа. При цьому бі-штрих повинний знаходитися проти цифри "4" нерухомої шкали, а нуль на шкалі барабанчика — точно проти риски. Потім повертають предметний столик на  $180^\circ$  (до упору), опускають шток і діамантовою пірамідою з навантаженням до 10 г наносять спіраль (див. рис.). Для нанесення спіралі зручно користуватися таблицею 5, у якій зазначений розмір і черговість обертання мікрометричних гвинтів

предметного столика. Цифри 1<sup>±</sup>, 2<sup>±</sup>, ... позначають один, два, ... і т.д. повних обороти гвинтів, а знаки "+" і "-" — обертання по і проти годинної стрілки відповідно. При виконанні операцій, зазначених у таблиці 5, спіраль займе площу 4×4 мм<sup>2</sup>. При необхідності площу можна збільшити. Після нанесення спіралі шток піднімають і встановлюють предметний столик із зразком у початкове положення (у початок спіралі). Потім повертають столик на 180° (переводять зразок під об'єктив) і центрировочними гвинтами встановлюють перехрестя ниток гвинтового окулярного мікрометра в початок спіралі. Після юстування приладу проводять контрольне випробування.

Таблиця 5.

Послідовність і величина переміщень предметного столика при нанесенні спіралі на поверхню зразка вістрям діамантової піраміди.

Номер переміщення	Перший гвинт	Другий гвинт	Номер переміщення	Перший гвинт	Другий гвинт
1	1+	-	9	5+	-
2	-	1+	10	-	5+
3	2-	-	11	6-	-
4	-	2-	12	-	6-
5	3+	-	13	7+	-
6	-	3+	14	-	7+
7	4-	-	15	8-	-
8	-	4-	16	-	8-

### ЗАВДАННЯ

1. Підготувати зразки міді, алюмінію і сталі (чавуна) для вимірювання мікротвердості (за рекомендацією викладача). Виготовити мікروشліфи досліджуваних зразків шляхом механічної шліфовки і полірування, а потім виявити мікроструктуру за допомогою хімічних реактивів.
2. Визначити мікротвердість чистих металів у тілі окремих зерен, в областях меж зерен, в області потрійних стиків меж зерен (ТС ГЗ).
3. Визначити мікротвердість для окремих фаз і структурних складових у зразках сталі (або чавуна).

## Порядок проведення роботи по визначенню мікротвердості

Вимірювання мікротвердості проводять на приладі ПМТ-3 (див. рис. 4). Мікрошліф розміщують на столику 12 так, щоб досліджувана поверхня була паралельна площині столика і звернена нагору. Це досягається установкою зразка у пластилін і вирівнюванням положення робочої поверхні зразка ручним пресом. За допомогою двох гвинтів 13, столик переміщується у двох взаємно перпендикулярних напрямках, що дозволяє вибрати ділянку, у якій необхідно виміряти твердість. Обране на зразку місце для нанесення відбитка підводять під перехрестя ниток. Потім установлюють вантажі на шток механізму, який навантажує, повертають столик 12 на  $180^\circ$  (від одного упора до іншого), тим самим обрана ділянка зразка потрапляє під діамантову піраміду. Поворотом ручки 4 опускають шток із діамантовою пірамідою і витримують зразок під навантаженням (при випробуванні чорних металів 10-15 с, кольорових металів — 30 с), після чого, повертаючи ручку 4 у вихідне положення, піднімають шток. Потім, повертаючи столик 12 на  $180^\circ$ , зразок повертають у вихідне

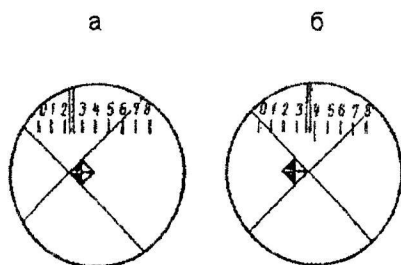


Рис. 5. Вимірювання діагоналі відбитка окулярним мікрометром

положення під об'єktiv мікроскопа для виміру діагоналі відбитка. Обертанням барабана окулярного мікрометра 7 правий кут ниток підвести до лівого кута відбитка (рис. 5) так, щоб товщина ниток залишалася зліва від контура відбитка, а вершина косинця збігалася з лівим кутом відбитка. Відзначають показання на лімбі барабана окулярного мікрометра. Потім підводять правий кут ниток до протилежного кута відбитка і відзначають показання на лімбі барабана окулярного мікрометра. Різниця двох показань указує довжину діагоналі відбитка у поділках. Повертаючи окуляр на  $90^\circ$ , визначають також довжину другої діагоналі і обчислюють середню довжину діагоналі. Зазначені виміри отриманого відбитка проводять не менше

2-3 разів. Ціну поділки окулярного мікрометра визначають за допомогою об'єкт-мікрометра.

Числа мікротвердості це числа твердості по Вікерсу, і обчислюються по формулі:

$$H = \frac{P}{F} = \frac{2 P \cos 22^\circ}{d^2} = 1.854 \frac{P}{d^2}, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} \quad (4)$$

де  $P$  — навантаження, кгс (Н);

$d$  — середнє арифметичне значення довжини обох діагоналей відбитка після зняття навантаження, мм.

На практиці для визначення розміру мікротвердості по довжині діагоналі відбитка користуються спеціальними таблицями, розрахованими на навантаження 20; 50; 100 г.

Результати вимірювань мікротвердості представити у виді таблиць 6, 7.

Таблиця 6.

№ з/р	Матеріал	Місце вимір. мікротвердості	Навантаження, кгс	Діагональ відбитка, мм			Величина мікротвердості, кгс/мм <sup>2</sup>
				$d^1$	$d^2$	$\bar{d}$	
		тіло зерна					
		область меж зерен					
		ТС ГЗ					

Таблиця 7.

№ з/р	Сплав	Фаза	Структурна складова	Навантаження, кгс	Діагональ відбитка, мм			Величина мікротвердості, кгс/мм <sup>2</sup>
					$d^1$	$d^2$	$\bar{d}$	

Безкоштовно

Відповідальний випусковий А. Ф. Сіренко

План 2000.

Тираж 100.

---

ХНУ, 61077 Харків, м. Свободи, 4

---

Видавничий центр ХНУ