

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи № 3
«Вивчення техніки випробувань матеріалів
на твердість за Вікерсом»
з дисципліни «Історія технологій та основи наукової діяльності»
для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка»
всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 3 «Вивчення техніки випробувань матеріалів на твердість за Вікерсом» з дисципліни «Історія технологій та основи наукової діяльності» для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / Укл: О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 17 с.

Укладачі: О.Є. Капустян, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЗ та МК
Протокол № 5 від 26.11.2025

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол № 4 від 17.12.2025

ЗМІСТ

1 Мета роботи.....	4
2 Загальні відомості.....	5
2.1 Метод і область його застосування.....	5
2.2 Можливі джерела помилок при вимірах твердості за Вікерсом.....	8
3 Контрольні запитання.....	11
4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання	13
5 Порядок проведення лабораторної роботи.....	14
6 Зміст звіту.....	15
7 Вказівки з техніки безпеки.....	16
Перелік джерел посилання	17

1 МЕТА РОБОТИ

Опанувати техніку та технологію вимірювання твердості сплавів та покриттів за Вікерсом.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Метод і область його застосування

Метод заснований на тому, що правильна чотиригранна алмазна пірамідка вдавлюється у випробовуваний матеріал під дією постійної сили P [1]. Коли в випробувальному зразку закінчуються процеси деформації, алмазна пірамідка піднімається, а на поверхні матеріалу залишається відбиток пірамідальної форми. Проекція цього відбитка – квадрат. Твердість за Вікерсом визначається як відношення величини навантаження до площі поверхні відбитка:

$$HV = \frac{P}{O}, \quad (2.1)$$

де P – величина навантаження, кГ;

O – поверхня відбитку, мм^2 .

Величина поверхні відбитка може бути розрахована за формулою:

$$O = \frac{4ah}{2}, \quad (2.2)$$

$$h = \frac{a}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}} = \frac{a}{2 \cos 22^\circ}, \quad (2.3)$$

$$O = \frac{4a}{2} \cdot \frac{a}{2 \cos 22^\circ} = \frac{a^2}{\cos 22^\circ}, \quad (2.4)$$

де O – площа поверхні відбитка, мм^2 ;

a – сторона квадрату, мм;

h – глибина відбитка, мм.

При вимірах зазвичай визначають величину діагоналі відбитка d :

$$d^2 = 2a^2, \quad (2.5)$$

Величина поверхні може бути розрахована за рівнянням:

$$O = \frac{d^2}{2 \cos 22^\circ} = \frac{d^2}{1,8544}, \quad (2.6)$$

Твердість за Вікерсом розраховують так:

$$HV = \frac{P \cdot 1,8544}{d^2}. \quad (2.7)$$

де d — середня довжина діагоналі відбитка, мм;

O — площа поверхні відбитка, мм²;

P — навантаження, кГ.

У зв'язку з тим, що розрахунки твердості за наведеними вище формулами віднімають досить багато часу, на практиці зазвичай використовують таблиці, складені для різних величин навантажень. Найчастіше застосовують навантаження рівні 10 кГ, 30 кГ і 60 кГ.

Вимірювання твердості за Вікерсом має не менше значення, ніж вимір по Брінеллю. Це пояснюється тим, що метод Віккерса має низку переваг у порівнянні з методом Брінелля. Ці переваги полягають в тому, що вимірювання твердості можуть проводитися і на м'яких, і на дуже твердих матеріалах; крім того, величина твердості не залежить від прикладеного навантаження (в певних межах).

Остання перевага особливо цінна в тих випадках, коли необхідно виміряти твердість тонкої пластинки або тонкого шару, а товщина пластинки або шару повинна становити не менше $1,5d$, де d — величина діагоналі відбитка. Недолік методу — велика чутливість алмазної пірамідки по відношенню до поштовхів і ударів. Величина навантаження не повинна перевищувати, як правило, 120 кГ. Вимірювання твердості за Вікерсом стандартизовано відповідно до ДСТУ ISO 6507-1:2007 [1].

Для вимірювання твердості за цим методом застосовують правильну чотиригранну алмазну піраміду з кутом між двома протилежними гранями 136° [1]. Вибір цього кута не довільний; він встановлює зв'язок між методом Брінелля і Віккерса. При вимірі твердості по Брінеллю діаметр відбитка лежить в межах від 0,25 до 0,50 від діаметра кульки.

Таким чином, середній діаметр відбитка становить $0,375 D$. Якщо при такому діаметрі відбитка провести дотичні до кола, які проходять через центр кульки, то кут між ними складе 136° (рис. 2.1).

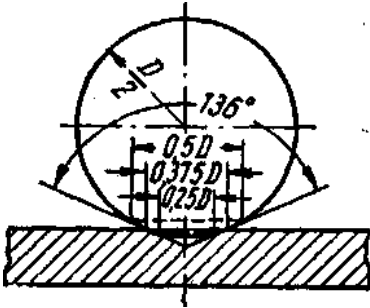


Рисунок 2.1 – Зв'язок між кутом при вершині в піраміді Віккерса (136°) і кулькою, яка застосовується у методі Брінелля

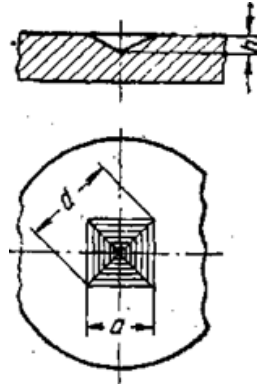


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення відбитка при вимірюванні твердості за Вікерсом

На рисунку 2.2 схематично показаний відбиток, який виходить при вимірах твердості за Вікерсом.

До твердості, яка дорівнює приблизно 400 кг/мм^2 , існує збіг при визначенні твердості обома методами. Слід зазначити, однак, що такий збіг спостерігається лише в тому випадку, якщо виконані певні вимоги по відношенню до стану випробовуваного матеріалу і індентора. При твердості матеріалу вище 400 кг/мм^2 методи Брінелля і Віккерса дають різні результати.

При вимірюванні довжин діагоналей необхідно на кожному відбитку вимірювати довжину двох діагоналей і розраховувати середню величину, яку потім приймають за основу при визначенні твердості за Вікерсом. Довжина діагоналей повинна вимірюватися з точністю до 2 мкм.

Поверхня зразка, призначеного для вимірювання твердості за Вікерсом, повинна бути оброблена значно ретельніше, ніж поверхня зразка для вимірювань твердості по Брінеллю.

Рознер вивчив вплив якості обробки поверхні і освітленості на точність вимірювань твердості. При підготовці поверхні загартованих зразків не повинно бути відпуску матеріалів через перегрів поверхні.

Навантаження на індентор повинно досягати номінального значення протягом 15 с, після цього його витримують ще протягом 30 с. Відзначаючи величину твердості матеріалу, слід вказувати також і величину навантаження, при якому ці вимірювання проводилися. Наприклад, твердість, яка виміряна при навантаженні 30 кГ, може бути записана так:

$$HV30 = 625 \text{ кГ/мм}^2.$$

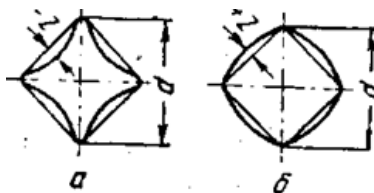
При вимірі твердості за Вікерсом необхідно стежити за тим, щоб відстань між окремими відбитками була не менше, ніж потроєна величина діагоналі d .

Вимірювання твердості за Вікерсом може проводитися на матеріалах різної твердості аж до самих специфічних випадків, як наприклад вимірювання твердості сірого чавуну. Кірнер встановив, що твердість за Вікерсом може вимірюватися навіть на твердих і крихких металопокриттях. Мехлінг описав спеціальні методи вимірювання твердості гальванічних покриттів. При вимірах твердості за Вікерсом при малих навантаженнях слід враховувати залежність величини виміряної твердості від прикладеного навантаження. Це питання буде спеціально розглянуто в розділі, присвяченому виміру мікротвердості. В роботі Росова наводиться методика вимірювання твердості за Вікерсом, яка забезпечує підвищену точність вимірювань. Це досягається тим, що при оцінці величини твердості враховують величину медіани відбитку.

2.2 Можливі джерела помилок при вимірах твердості за Вікерсом

Джерела помилок при вимірах твердості за Вікерсом багато в чому такі ж, як в методі Брінелля. Однак є і специфічні джерела помилок. Точність виготовлення алмазної пірамідки впливає на форму відбитка і, отже, на точність методу.

Кут в 136° між двома протилежними гранями пірамідки не повинен мати відхилення більш ніж $\pm 20'$ від номінальної величини. При вимірах твердості за Вікерсом на більшості матеріалів на краях відбитків утворюється потовщення або усадка в залежності від ступеня пластичності матеріалу (рис. 2.3).



а – утворення потовщення на краях відбитка при вимірюванні твердості матеріалів, які зміцнюються. Результат вимірювання твердості завищений; б – утворення усадки матеріалу на краях відбитка при вимірюванні твердості матеріалів, які зміцнюються.

Результат вимірювання твердості занижений

Рисунок 2.3 – Два види відбитків при вимірюванні твердості за Вікерсом

Якщо відбиток має перекручену форму, то розрахунок його поверхні за величиною діагоналей буде неточним. О'Нейл запропонував більш точний метод розрахунку поверхні відбитка. Для цього він перетворює проекцію спотвореного відбитка, роблячи її квадратною. Отримана таким шляхом сторона квадрата a' буде дорівнювати:

$$a' = \frac{d}{\sqrt{2}} \pm Z. \quad (2.8)$$

Величина поверхні відбитка може бути розрахована за рівнянням:

$$O = \left(\frac{d}{\sqrt{2}} \pm Z \right)^2. \quad (2.9)$$

Величина твердості за Вікерсом може бути розрахована так:

$$HV = \frac{P \cdot 1,8544}{2 \left(\frac{d}{\sqrt{2}} \pm Z \right)^2}. \quad (2.10)$$

де P — навантаження на індентор, Н;

d — середня довжина діагоналі відбитка, мм;

Z — похибка (або абсолютна величина зміщення) визначення геометричних розмірів відбитка, мм.

О'Нейл показав, що похибка при вимірюванні твердості, яка обумовлена спотворенням країв відбитка, може досягати 10 %.

Фішер знайшов, що величина твердості за Вікерсом з ростом навантаження може збільшуватися або зменшуватися в залежності від ступеня деформації матеріалу в холодному стані. Він встановив, що при збільшенні навантаження від 1 кг до 100 кг величина твердості може змінитися на 35 %.

З КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Як визначається твердість матеріалів за Вікерсом?
2. Які індентори використовуються при вимірюванні твердості за Вікерсом?
3. Які навантаження на індентор застосовуються при вимірюванні твердості за Вікерсом?
4. З якою метою здійснюється витримка під навантаженням?
5. Який час витримки під навантаженням для чорних і кольорових металів і сплавів?
6. Яка форма відбитка твердості, з чим пов'язані її спотворення?
7. Які параметри відбитка вимірюються для визначення твердості за Вікерсом?
8. Яким параметром оцінюється розкид значень твердості за Вікерсом, яким факторам він обумовлений?
9. Які вимоги пред'являються до поверхні матеріалу при вимірюванні твердості за Вікерсом і якими методами вони досягаються?
10. Які методи застосовуються для підготовки поверхні мікрошліфа з метою усунення впливу наклепу поверхневого шару?
11. Яка мінімально допустима відстань між сусідніми відбитками, і чим обумовлена ця вимога?
12. Яке співвідношення між діагоналлю відбитка і глибиною впровадження індентора?
13. З чим пов'язані похибки вимірювання твердості за Вікерсом і які методи їх зниження?
14. Твердість за Вікерсом: характеристика, призначення, області застосування.
15. Твердість за Вікерсом: індентор (матеріал, геометрія, розрахункова формула), призначення.
16. Правила підготовки зразка до виміру твердості за Вікерсом.
17. Правила проведення замірів твердості за Вікерсом.
18. Як тарують прилад? Які використовуються еталони?
19. Назвіть фактори, що впливають на результати визначення

мікротвердості.

20. Твердість за Вікерсом : правила нанесення відбитків.

21. Які похибки можуть виникати при визначенні твердості за Вікерсом і як вони можуть бути усунені або зведені до мінімуму?

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

- 4.1 Набір зразків різних за твердістю.
- 4.2 Прилад для визначення твердості за Вікерсом.
- 4.3 Комп'ютер.
- 4.4 Полірувальний верстат.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Використовувані при виконанні роботи полірувальний верстат і прилад підключаються до мережі змінного струму напругою 380 і 220 В. Тому існує небезпека враження електричним струмом, а також травмування диском, що обертається верстата.

Щоб попередити виникнення подібних нещасних випадків, а також пошкодження апаратного забезпечення обладнання, необхідно виконувати певні вимоги безпеки.

1. Приступати до роботи після прослуховування інструктажу з техніки безпеки у керівника роботи і засвоєння матеріалу даних методичних вказівок.

2. Включати верстат і освітлювальний пристрій за дозволом викладача або лаборанта.

3. Виконувати тільки ту роботу, яка передбачена завданням.

4. Переконатися в надійності заземлення електродвигуна верстата, електроізоляції кабелю і проводів.

5. Виявляти особливу уважність і акуратність при роботі.

6. Не торкатися рухомих і струмоведучих частин обладнання.

7. Працювати на верстаті в спецодязі із застібнутими манжетами.

8. Повідомляти викладачеві або лаборанту про несправностей обладнання, не намагатися усунути їх самостійно.

9. Виконувати роботу 'при наявності в лабораторії не менше двох осіб.

10. Після закінчення роботи вимкнути верстат і освітлювальний пристрій мікротвердоміра, привести в порядок робоче місце.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Вивчити будову і принцип дії приладу.
2. На приладі визначити твердість за Вікерсом запропонованих зразків.
3. Скласти звіт про роботу.

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Порядок і послідовність випробування на твердість за Вікерсом.
3. Навести отримані результати.
4. Сформулювати висновки.

Перелік джерел посилання

1. ДСТУ ISO 6507-1:2007 Матеріали металеві. Визначення твердості за Вікерсом. Частина 1. Метод випробування (ISO 6507-1:2005, IDT).