

## МІКРОТВЕРДІСТЬ ЯК ЗАСІБ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ

*Моїсеєнко Л.Л., Гедвілло О.І.,  
Херсонський державний морський інститут*

*Дослідження на мікротвердість металів, як найбільш поширене і високопродуктивне неруйнівне випробування, є точним і надійним методом фізико-хімічного аналізу матеріалів.*

*Мікротвердість може виступати як засіб контролю якості механічних властивостей матеріалів і надавати інформацію про анізотропію механічних властивостей, відображати різницю енергії міжатомних зв'язків з різних кристалографічних площин і напрямів, і є достатньо чутливою до різних чинників, пов'язаних з енергією кристалічної решітки і періодичністю зміни атомного номера елемента, як і модуль пружності, температура плавлення.*

*Ключові слова: мікротвердість, механічні властивості матеріалів, контроль якості, енергія кристалічної решітки, атомний номер елемента.*

**Вступ.** Науково-технічний розвиток практично в усіх галузях народного господарства безумовно пов'язаний з використанням новітніх прогресивних технологій та сучасних різноманітних матеріалів. Завдання розвитку техніки загалом та фундаментальних досліджень властивостей матеріалів не можуть бути успішно вирішені без удосконалення методів контролю їх якості, зокрема, у результаті визначення твердості.

**Актуальність досліджень.** Визначення твердості металів здійснюється як у промисловості, так і при лабораторних випробуваннях і суттєво частіше, ніж визначення інших механічних властивостей. Це обумовлено наступними перевагами, які притаманні вимірюванню твердості.

1. Між твердістю пластичних металів та іншими механічними властивостями (головним чином межею міцності) існує кількісна залежність. Роботи ряду вчених (Н.Н. Давиденков, Я.Б. Фризман, М.П. Марковець) показали, що за значенням твердості можна визначити також і деякі пластичні властивості металів.

2. Вимірювання твердості за технікою виконання значно простіше, ніж визначення міцності, пластичності та в'язкості. Випробування твердості у значній більшості випадків не потребує виготовлення спеціальних зразків і виконуються безпосередньо на деталях, що перевіряються.

3. Вимірювання твердості звичайно не призводить до руйнування деталі, що перевіряється, і після вимірювання її можна використовувати за призначенням.

4. Твердість можна визначити на деталях невеликої товщини, а також у дуже тонких шарах металу.

**Постановка задачі.** Слід розрізняти два способи визначення твердості вдавлюванням: вимірювання макротвердості та вимірювання мікротвердості.

Якщо у першому випадку у випробовуваний матеріал вдавлюється тіло, що проникає на порівняно більшу глибину, і вимірювана твердість

характеризує твердість усього випробовуваного матеріалу, то вимірювання мікротвердості має на меті визначення твердості окремих зерен, фаз, структурних складових сплаву, а не “середню” твердість.

Випробування на мікротвердість металів, як найбільш поширене високопродуктивне неруйнівне випробування матеріалів, посідає одне з провідних місць серед засобів контролю якості матеріалів та їх обробки. Разом з тим таке дослідження є точним і надійним методом фізико-хімічного аналізу. Тому розвиток наукових основ цього випробування, його уніфікація і розширення галузей застосування представляє досить актуальне завдання. Пошук нових конструкційних матеріалів та різноманітних технологій обробки їх для найбільш складних експлуатаційних умов і різке підвищення вимог по відношенню до міцності, в'язкості, зношуваності матеріалів при екстремальних температурах, тисках, особливо в агресивних середовищах потребують розвитку і вдосконалення методів механічних досліджень.

У зв'язку з цим і викликаний інтерес до розвитку найпростішого без зразкового і універсального випробування на мікротвердість: з одного боку, це найбільш швидке, що не руйнує, випробування, придатне для автоматичного масового контролю якості матеріалу, правильності технологічної обробки виробів та деталей, а з другого – випробування на твердість і мікротвердість охоплює практично нічим не обмежене коло матеріалів, від найм'якіших (легкоплавкі метали, лід, графіт тощо) до ультратвердих (алмаз, тугоплавкі карбіди, бориди, абразивні матеріали тощо).

**Метою статті** є аналіз теоретичних основ сучасних способів визначення твердості і, зокрема, методики визначення мікротвердості.

**Результати дослідження.** Вибираючи той чи інший матеріал для виготовлення різних деталей, конструктор, враховуючи умови, в яких вони працюють, цікавиться, перш за все, властивостями цього матеріалу. Зрозуміло, що від того, якими властивостями володіє матеріал, і залежить в основному його застосування. Це, перш за все, відноситься і до таких важливих конструкційних матеріалів, як метали і сплави на їх основі.

За останні роки в науці і техніці досягнуто значних успіхів у розробці й впровадженню в промисловість нових конструкційних матеріалів, удосконалення технології їх виготовлення та обробки. Безперечно, що виконати це без відповідного постійного контролю за якістю технології їх одержання та обробки неможливо. Особливо це відноситься до їх механічних властивостей.

Механічні властивості – найбільш важлива характеристика металів. Результати механічних досліджень розширюють знання про природу металів і процесів, що відбуваються при їх обробці. Серед найбільш розповсюджених способів визначення механічних властивостей металів є випробування на твердість. Твердість вимірюють шляхом впливу на поверхню металу наконечника, виготовленого із матеріалу, що мало деформується (тверда загартована сталь, алмаз або твердий сплав), і має форму кульки, конуса, піраміди або голки [1].

Існує кілька способів вимірювання твердості, що розрізняються за характером впливу наконечника. Найбільше застосування одержало вимірювання твердості вдавлуванням.

У результаті вдавлування з достатньо великим навантаженням поверхневий шар металу, що знаходиться під наконечником та поблизу нього зазнає пластичної деформації. Після зняття навантаження у випробуваному тілі залишається відбиток. Особливість деформації, що при цьому відбувається, полягає в тому, що вона протікає тільки у невеликому об'ємі, обмеженому недеформованим металом. Тому при вимірюванні твердості вдавлуванням пластичної деформації зазнають не тільки пластичні метали, але і непластичні, наприклад, чавун.

Випробування на мікротвердість дає можливість одержати пластичні (без руйнування) відбитки на найбільш крихких матеріалах, із яких приготувати зразки для інших механічних досліджень дуже важко або неможливо.

З точки зору механіки твердість представляє собою локальний опір пружним та пластичним деформаціям при упровадженні в площину випробовуваного матеріалу жорсткого наконечника і виражається середнім контактним тиском на поверхні не поновлюваного відбитка або середньою роботою, що витрачається на витіснення одиниці об'єму матеріалу з-під наконечника [2].

У якості індентора може бути вибрана жорстка сфера довільного діаметра, що вдавлюється на будь-яку глибину: конус з будь-яким кутом загострення; піраміда з трикутною, квадратною, ромбічною або іншою основою, з довільними кутами нахилу граней до осі; біконічне або біциліндричне лезо; плоский штамп у вигляді торцю циліндра тощо.

З міркувань зручності вимірювань та для дотримання постійності твердості даного матеріалу можна зафіксувати або певний кут вдавлення для сферичного індентора, або певний кут між гранями піраміди, або постійний кут загострення конуса. Проте вибір довільних взаємно незв'язаних форм інденторів виключає співпадання або хоч би стійку відповідність чисел твердості внаслідок значної відмінності напружених станів матеріалів під інденторами різних форм. Тому необхідно вибрати одну, найбільш раціональну форму індентора, що забезпечувала відповідність напружених станів навколо відбитків. Ідеальним був би такий вибір форми інденторів, який забезпечував би збіг чисел твердості для одного і того ж випробовуваного тіла при дослідженні даним індентором з різними навантаженнями.

На наш погляд, на увагу заслуговує метод використання індентора у вигляді 136-градусної піраміди з квадратною основою. Індентор у формі чотиригранної піраміди з квадратною основою і кутом між гранями  $136^\circ$ , відомої як піраміда Віккерса, дає збіг кутів відповідно збігу чисел твердості [3]. У той же час використання гострокінцевої 136-градусної піраміди виключило головний недолік сферичного наконечника – порушення геометричної та механічної подібності відбитків у міру заглиблення індентора під дією навантаження.

Стандартне відношення  $d/D = 0,375$  відповідає великим ступеням деформації та стійко пов'язане з межею міцності.

Індентор у формі чотиригранної піраміди з квадратною основою і кутом між гранями  $136^\circ$  використаний у мікротвердомірі ПМТ-3.

Принцип дії приладу заснований на вдавлюванні алмазної піраміди у досліджуваний матеріал під певним навантаженням та вимірюванні лінійної величини діагоналі одержаного відбитка. Число мікротвердості  $H$  визначається відношенням навантаження  $P$  до бокової поверхні  $S$  відбитка у припущенні, що кути відбитка відповідають кутам піраміди:

$$H = \frac{P}{S}. \quad (1)$$

На предметний столик слід помістити об'єкт-мікрометр (зразок) і переміщенням тубусу встановити різке зображення об'єкт-мікрометра, який необхідно повернути так, щоб його штрихи були паралельними штрихам рухомої шкали окулярного мікрометра.

При роботі з приладом ПМТ-3 слід звертати увагу на наступні моменти. Обертанням барабанчика окулярного мікрометра сумістити перехрестя рухомої сітки окулярного мікрометра із зображенням штриха об'єкт-мікрометра та зробити відлік по барабанчику окулярного мікрометра.

Досліджуваний шліф встановлюють на пластині на предметному столику. При цьому поверхня зразка повинна бути паралельною робочій площині столика. Фокусують мікроскоп з об'єктивом  $F = 6,2$ ,  $A = 0,65$  на випробовувану поверхню.

Положення механізму навантаження по висоті повинно бути відрегульоване так, щоб при сфокусованому мікроскопі з об'єктивом  $F = 6,2$ ,  $A = 0,65$  на свіжий відкол кам'яної солі алмазна піраміда з навантаженням  $5 \text{ Г}$  залишала відбиток з діагоналлю, рівною  $21 \dots 22 \text{ мкм}$  або  $70 \dots 75$  поділок барабанчика окулярного мікрометра, що відповідає мікротвердості кристалу кам'яної солі  $19 \dots 21 \text{ кг/мм}^2$ . При цьому слід дотримуватись, щоб товщина кристалу солі не повинна бути меншою  $1,0 \text{ мм}$ .

Число твердості можна визначити за таблицею [4] або підрахувати за формулою:

$$H = \frac{1854 P}{C^2}, \quad (2)$$

де  $H$  – число твердості,  $\text{кг/мм}^2$ ;

$P$  – навантаження,  $\text{Г}$ ;

$C$  – діагональ відбитка,  $\text{мкм}$ .

Для загальноприйнятого способу обчислення мікротвердості у вигляді формули (1) необхідно знаходити значення середньгеометричної діагоналі ромбічного відбитка  $d_{\text{ср.геом.}} = \sqrt{d_{\text{мін}} \cdot d_{\text{макс}}}$ .

**Висновки.** Мікротвердість, як засіб контролю якості та характеру і кількісної характеристики механічних властивостей матеріалу, може також

давати інформацію про анізотропію механічних властивостей та відобразити різницю енергії міжатомних зв'язків по різних кристалографічних площинах і напрямках.

Мікротвердість не є такою суворою фізичною константою, як, наприклад, температура плавлення. Однак, ця умовна узагальнена характеристика опору значним пластичним деформаціям при контактному стисненні досить чутлива до різних факторів, пов'язаних з енергією кристаллографічної ґратки, та періодичністю зміни атомного номера елемента, рівно, як модуль пружності, температура плавлення тощо.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Атаманюк В.В. Технология конструкционных материалов: пособие для высших учебных заведений. – К.: Кондор, 2006. – 528 с.
2. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. – М.: Наука, 1976. – 230 с.
3. Smith R.L., Sandland G.E. Some notes on the use of a diamond pyramid for hardness testing. – J. Iron and Steel Institute, 1925. – Vol. 3, № 1. – P. 285-304.
4. Микротвердомер ПМТ-3. Инструкция к пользованию. – Ордена Ленина Ленинградское оптико-механическое объединение. – Л., 1970. – 28 с.

#### **Моисеенко Л.Л., Гедвилло О.И. МИКРОТВЕРДОСТЬ КАК СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ**

*Исследование на микротвердость металлов, как наиболее распространенное и высокопродуктивное неразрушающее испытание, является точным и надежным методом физико-химического анализа материалов.*

*Микротвердость может выступать как средство контроля качества механических свойств материалов и давать информацию об анизотропии механических свойств, отображать разницу энергии межатомных связей по разным кристаллографическим плоскостям и направлениям и является достаточно чувствительной к разным факторам, связанным с энергией кристаллической решетки и периодичностью изменения атомного номера элемента, как и модуль упругости, температура плавления.*

*Ключевые слова: микротвердость, механические свойства материалов, контроль качества, энергия кристаллической решетки, атомный номер элемента.*

#### **Moiseenko L.L., Gedvillo O.I. MICROHARDNESS AS THE METHOD OF QUALITY CONTROL OF MATERIALS MECHANICAL PROPERTIES**

*Research on the microhardness of metals, as most widespread and highly productive non-destructive test, is the exact and reliable method of physical and chemical analysis of materials.*

*A microhardness can be considered as quality control of mechanical properties of materials, and gives information about the anisotropy of mechanical properties, to represent the difference in energy of interatomic bonds on different crystallographic planes and directions and is sensible enough to various factors, related to energy of crystal lattice and periodicity of change of atomic number of element, as well as modulus of elasticity, temperature of melting.*

*Key words: microhardness, mechanical properties of materials, quality control, energy of crystal lattice, atomic number of element.*