

ЛЕКЦІЯ 18

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ТА ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ

1. ТВЕРДІСТЬ

Твердість – це властивість матеріалів чинити опір проникненню в них загострених, твердих тіл – інденторів.

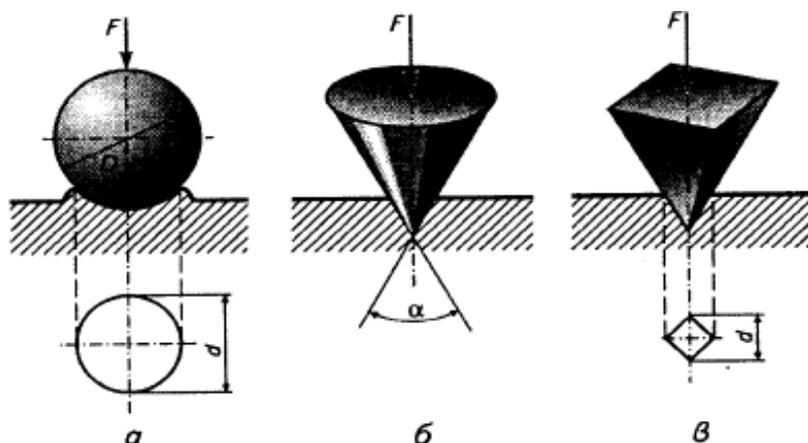
Методів визначення твердості чимало: дряпанням, динамічні, статичні. Найбільш поширені статичні – вдавлюванням індентора в поверхневі шари випробуваного матеріалу. Індентор – кулька, конус або пірамідка – виготовляються з алмазу, загартованої сталі або з твердого сплаву.

Метод Брінелля. Число твердості – HB, індентор – сталева кулька діаметром D , що дорівнює 10; 5 або 2,5 мм, вдавлюється навантаженням F (Н). За допомогою спеціального мікроскопа вимірюється діаметр d відбитка (мм), а відтак визначається число твердості HB:

$$HB = F/S,$$

де S – площа поверхні відбитка (мм^2), тобто сферичного сегмента.

Для того, щоб при випробуванні кульками різних діаметрів одержувати однакові числа твердості, діаметр D і навантаження F обирають відповідно до довідникових даних.



а – за Брінеллем; б – за Роквеллом; в – за Віккерсом

Метод Брінелля дає надійні результати в межах 80...4500 HB.

Значення HB для деяких матеріалів: свинець (30...80), золото (130...250), залізо (500...800), сталі (1500...3000), загартовані сталі (6000...7000).

Метод Роквелла. Число твердості – HR, індентор – алмазний конус або загартована сталева кулька $D=1,59$ мм. Навантаження F на індентор складається з двох частин:

$$F = F_0 + F_1,$$

де $F_0=0,1$ кН – попереднє навантаження;

$F_1=0,5; 0,9$ або $1,4$ кН – основне навантаження.

Отже, сумарне, або загальне, навантаження F може бути: 0,6; 1,0 або 1,5 кН.

Число твердості, за Роквеллом, пов'язане з глибиною проникнення індентора й автоматично визначається твердоміром за допомогою індикатора, що має три "шкали Роквелла" А, В, С, а відтак – три можливі числа твердості HRA (для дуже твердих матеріалів), HRB (для м'яких та середніх матеріалів), HRC (для середніх та твердих матеріалів).

HR не має розмірності, вимірюється в межах твердості 20...100 HR, наприклад для загартованих сталей 60...70 HR.

Метод Віккерса. Число твердості – HV, індентор – алмазна чотиригранна піраміда.

Величина навантаження дорівнює 10; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000 та 1200 Н (частіше 100 Н).

Тривалість навантаження для чорних металів становить 10...15 с, для кольорових – 30 с. При відомому навантаженні F вимірюється (за допомогою вмонтованого у прес мікроскопа) діагональ відбитка d і визначається число твердості HV (S - площа поверхні відбитка):

$$HV = F/S = 18,54F/d^2.$$

Методом Віккерса можна визначати твердість будь-яких матеріалів – від найм'якших і до алмаза (практично до 9 000 МПа).

Між значеннями твердості, виміряними різними методами, існує відповідна кореляція, яку подають у вигляді таблиць, номограм тощо.

Числа твердості за Брінеллем і Віккерсом практично співпадають до 4 000 МПа, тобто HB=HV.

При визначенні твердості дуже тонких стрічок, фольг, дроту малих діаметрів, тонких деформованих шарів, гальванічного покриття, напилення, тобто при визначенні мікротвердості, теж застосовується вдавлювання алмазної пірамідки з кутом при вершині $\alpha=136^\circ$ при навантаженні, що може становити 0,05...50 Н. Випробування проводять на приладі ПМТ-3.

Метод Мооса – десятибальна шкала для визначення твердості мінералів. Визначається твердість дряпанням (алмазним або твердосплавним наконечником) і характеризується кількістю балів НМ (від 1 до 10): тальк – 1; гіпс – 2; кальцит – 3; флюорит – 4; апатит – 5; ортоклаз – 6; кварц – 7; топаз – 8; корунд, сапфір – 9; алмаз – 10.

Між твердістю та міцністю (границею міцності σ_B) є досить стійка кореляція (співвідношення або взаємний зв'язок), а саме:

$$\sigma_B = kHV.$$

Для широкого класу матеріалів (при руйнуванні яких утворюється шийка) $k = 0,25...0,55$, тобто $\sigma = (0,55...0,25)HV$.

Твердість значною мірою зумовлює іншу властивість матеріалів – *зносостійкість*, тобто здатність матеріалів чинити опір зношуванню.

Зношування (спрацювання) – це процес зміни розмірів, форми, маси або стану поверхневих шарів матеріалу під впливом тертя та зовнішнього середовища. Зношування (спрацювання) буває: абразивне, корозійно-механічне, ерозійне тощо.

Вимірювання твердості за Роквеллом регламентується державним стандартом. При вимірюванні твердості за Роквеллом *індентором* служить стальна кулька діаметром 1,588 мм (для м'яких матеріалів) або алмазний конус з кутом при вершині 120° і радіусом заокруглення вершини 0,2 мм.

При визначенні твердості за Роквеллом до індентора прикладається спочатку попереднє навантаження $P_0=100\text{ Н}$, а потім – основне P_1 .

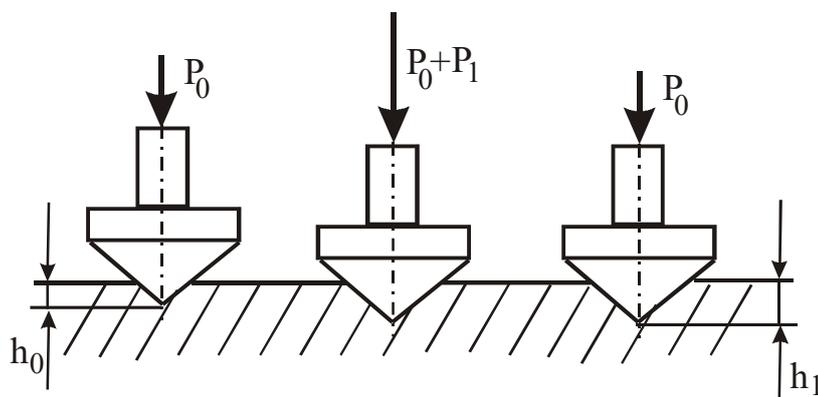


Схема визначення твердості за Роквеллом.

P_0 – попереднє навантаження величиною 100 Н;

P_1 – основне навантаження.

Таким чином, загальне навантаження на індентор рівне

$$P = P_0 + P_1$$

Умови визначення твердості за Роквеллом

Приблизна твердість за Віккерсом	Шкала Роквелла	Тип індентора	Навантаження, Н	Допустимі межі виміру твердості за Роквеллом
600...2400	В	Стальна кулька	1000	25...100
2400...9000	С	Алмазний конус	1500	20...67
3900...9000	А	Алмазний конус	600	70...85

При використанні сталюї кульки із сумарним навантаженням $1000H$, твердість визначається за червоною шкалою B . Конструктивно ця шкала зміщена відносно нульового положення чорної на 30 поділок.

Про твердість матеріалу роблять висновок за різницею глибин втискання індентора під дією двох послідовно прикладених навантажень P_0 і P_1 .

За одиницю твердості e прийнято величину, яка відповідає осьовому переміщенню індентора на $0,002$ мм.

$$e = (h_1 - h_0) / 0,002,$$

де h_1 і h_0 – глибина втискання індентора при прикладанні відповідно повного ($P_0 + P_1$) та попереднього P_0 навантаження.

Стрілка приладу вказує на величину твердості за Роквеллом на вибраній шкалі.

Товщина матеріалу при визначенні твердості за Роквеллом повинна бути не менше 8-кратної глибини втискання індентора, що складає $0,5 \dots 1$ мм.

Конструктивна **схема твердоміра Роквелла** подібна до твердоміра Брінелля (навантаження електромеханічне або важільне, піднімання зразка за допомогою гвинта). Відмінність полягає лише в тому, що конструкцією передбачений спеціальний відліковий прилад (**індикатор**), на якому розміщено три шкали і який безпосередньо показує величину твердості. Ціна поділки шкали $0,002$ мм.

Індикатор має дві стрілки. *Велика стрілка* вказує на твердість, а *мала* служить для контролю величини попереднього навантаження (співпадання стрілки з крапкою циферблату вказує на досягнення попереднього навантаження в $100 H$).

Нульова поділка чорної шкали співпадає з початковим положенням стрілки. Червона шкала зміщена відносно нульової поділки чорної шкали на 30 поділок у напрямку, протилежному до руху стрілки індикатора при збільшенні навантаження.

При підніманні стола після контакту зразка з індентором мала стрілка почне повертатися. Підіймання стола закінчують, коли мала стрілка співпадає з крапкою. Це відповідає величині попереднього навантаження $100 H$. При цьому велика стрілка також буде переміщатися і зупиниться приблизно у вертикальному положенні з відхиленням до 5 поділок від нуля чорної шкали. Точне встановлення великої стрілки на нуль здійснюють поворотом циферблата з допомогою тросів, які приводяться в рух гофрованим сектором.

Переваги методу Роквелла:

- висока продуктивність контролю;
- можливість без будь-яких розрахунків (відразу за шкалою приладу) визначити твердість досліджуваного зразка;
- простота обслуговування;
- висока точність вимірювання в порівнянні з іншими методами;
- збереження якісної поверхні після вимірювання (мало помітні сліди від індентора);
- можливість автоматизації процесу.

Недоліки методу Роквелла:

– не можна випробовувати неоднорідні за структурою сплави, крихкі вироби з раковинами на поверхні, криволінійні поверхні при радіусі кривизни менше ніж 15 мм, зразки товщиною менше 8-кратної глибини втискання індентора.

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ЗА БРІНЕЛЛЕМ

Умови визначення твердості за Брінеллем регламентуються державним стандартом. Схема визначення твердості показана на рисунку.

У поверхню зразка за допомогою твердоміра Брінелля втискають сталеву загартовану кульку (*індентор*) діаметром D , який може бути рівним 2,5; 5 або 10 мм. Діаметр кульки вибирають у зворотній залежності від очікуваної твердості). Внаслідок пластичної деформації поверхневих шарів зразка отримується відбиток у вигляді сферичної лунки діаметром d .

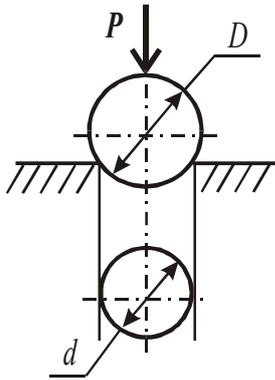


Схема визначення твердості за Брінеллем

Число твердості за Брінеллем HB визначають як відношення величини навантаження P , яким втискали кульку, до площі поверхні отриманого сферичного відбитка (лунки), F :

$$HB = P/F = 2P/\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right). \quad (5.2)$$

Діаметр відбитка визначається за допомогою спеціальної лупи, яка має шкалу з ціною поділки 0,02 мм.

Щоб не проводити аналітичних обчислень за формулою (5.2), на практиці часто користуються стандартною таблицею, в якій наведена залежність числа твердості HB від d , D і P . Якщо використовувати міжнародну систему одиниць SI , приймаючи значення зусилля у H , площі лунки в m^2 , то значення HB отримаємо в $Па$. В такому випадку в конструкторській і технологічній документації вказують значення твердості та її розмірність, наприклад: $HB 4500 МПа$. Допускається позасистемна розмірність зусилля в $кгс$, площі в $мм^2$. Тоді отримують розмірність твердості $кгс/мм^2$. При вказуванні значення твердості таку розмірність умовно упускають, наприклад $HB 270$.

Для пластичних матеріалів, схильних до повзучості (зростання пластичної деформації під дією постійного навантаження), випробування на твердість проводять з *деякою витримкою* при постійному навантаженні. Її час зростає зі зростанням пластичності металу. Для чорних металів витримка становить 10 с, кольорових 30...60 с.

Діаметр кульки, навантаження (від 156 до 30000 H) та час витримки під навантаженням (10, 30 і 60 с) вибирають залежно від очікуваної твердості та товщини зразка.

Переваги методу Брінелля

- простота випробувань і порівняно висока точність отримуваних результатів;
- проста залежність між твердістю HB та границею міцності матеріалів;
 - можливість визначення твердості сплавів, які мають неоднорідну макроструктуру, наприклад, чавуну.

Недоліки методу Брінелля

- обмежене застосування (до $HV\ 4500\ МПа$), зумовлене можливою деформацією сталльної кульки;
- неможливість випробування тонких виробів (товщиною менше 2...3 мм) та тонких поверхневих шарів (менше 1 мм);
- наявність на деталі відносно великого відбитка (діаметром до 6 мм), який залишається після випробувань, що може привести до непридатності деталі для подальшої експлуатації.

Параметри випробувань при визначенні твердості за методом Брінелля

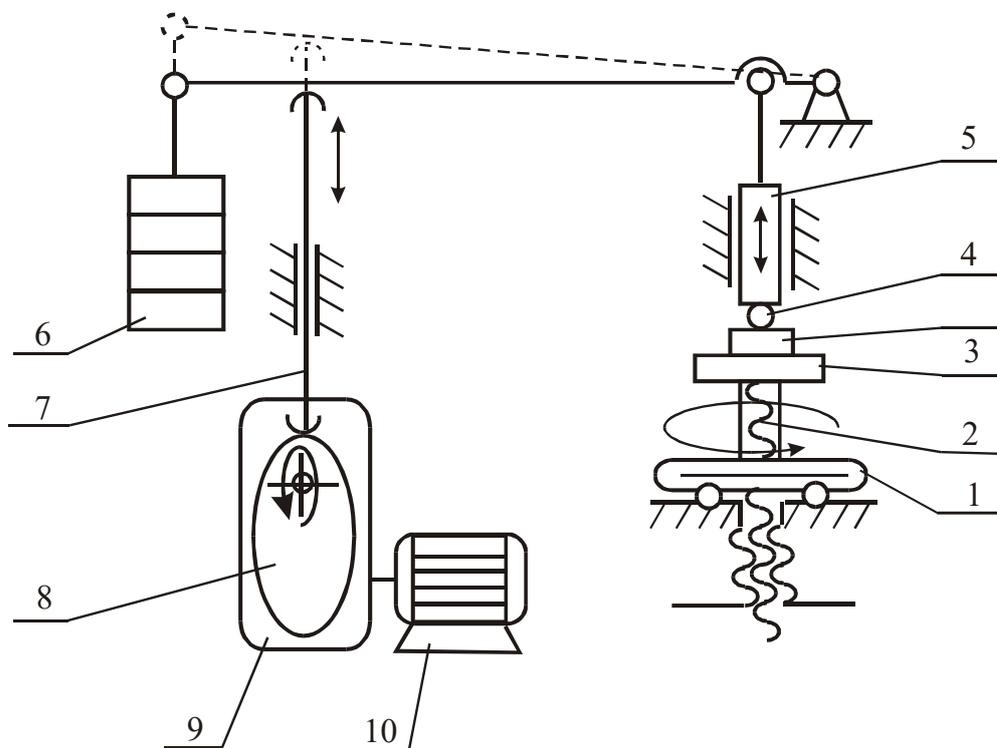
Матеріал	Інтервал твердості за Брінеллем, $МПа$	Мінімальна товщина зразка, мм	Діаметр кульки, D , мм	Співвідношення між P , кгс і D , мм	Навантаження P		Час витримки, с
					кгс	H	
Чорні метали	1400...1500	6...3	10	$P=30D^2$	3000	29430	10
		4..2	5		750	7357	
		<2	2,5		187,5	1839	
Кольорові метали	<1400	>6	10	$P=10D^2$	1000	9810	10
		6...3	5		250	2452	
		<3	2,5		62,5	613	
Кольорові метали	350...1300	9...6	10	$P=10D^2$	1000	9810	30
		6...3	5		250	2452	
		<3	2,5		62,5	613	
Кольорові метали	80...350	>6	10	$P=2,5D^2$	250	2452	60
		6...3	5		62,5	613	
		<3	2,5		15,6	153	

Будова і принцип роботи твердоміра Брінелля

Принципова *схема твердоміра Брінелля* зображена на рисунку. За допомогою поворотного штурвала 1 і гвинта 2 рухомий стіл 3 може здійснювати зворотно-поступальний рух вгору-вниз. На стіл встановлюється випробовуваний зразок 4. Поворотом штурвала стіл піднімається і зразок дотикається до індентора 5.

Навантаження для втискання індентора в досліджувану поверхню створюється за рахунок ваги гир через важільну схему із співвідношенням довжини плечей 1:50. У початковому положенні (коли зусилля до індентора ще не прикладене) вага гир 6 сприймається штоком 7, який приводиться в рух кулачком 8 від черв'ячного редуктора 9 та електродвигуна 10. Для створення нормативного навантаження на твердомірі встановлюється необхідна кількість гир. Запуск двигуна 10 здійснюється кнопкою на панелі керування твердоміра. Після повороту кулачка 8 вага гир через важіль

сприймається індентором, який проникає в поверхневі шари контрольованого зразка. В момент прикладання навантаження до зразка запалюється сигнальна лампочка, яка гасне при знятті навантаження. Час витримки зразка під навантаженням забезпечує реле часу.



Принципова схема твердоміра Брінелля

Сучасні твердоміри для визначення твердості за Брінеллем можуть бути *універсальними* (один прилад для визначення твердості за Брінеллем та Роквеллом). Як правило, робоче зусилля в ньому створюється також за рахунок ваги гир, однак привід силового механізму здійснюється не від електродвигуна через кулачок, а важелем від руки.

Співвідношення між числами твердості, визначеними різними методами

Брінелль, HB	Роквелл,			Брінелль, HB	Роквелл,		
	HRC	HRA	HRB		HRC	HRA	HRB
183	8	56	90	235	21	61	101
197	9	57	91	241	23	62	102
192	11	57	92	246	24	62	-
197	12	58	93	255	25	63	-
201	13	58	94	262	26	63	-
207	14	59	95	269	27	64	-
212	15	59	97	277	28	64	-
217	17	60	98	285	29	65	-
223	19	60	99	293	30	65	-
229	20	61	100	302	31	66	-

2. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дати визначення твердості.
2. Як визначається твердість матеріалів за Брінелем, Роквеллом, Вікерсом?
3. Твердість яких матеріалів визначається за Моосом?