

Лабораторна робота № 4

Визначення твердості металів і сплавів

Мета роботи: Оволодіти методикою визначення твердості металів методами Бринелля і Роквелла.

1. Завдання роботи:

1.1. Ознайомитися з методикою визначення твердості металів і конструкцією приладів Бринелля і Роквелла.

1.2. Скласти звіт.

2. Загальні положення і вказівки щодо виконання роботи

Твердістю називають здатність металу чинити опір проникненню в нього іншого більш твердого тіла. Існує декілька способів визначення твердості металів, з яких найбільш поширеними є методи Бринелля і Роквелла.

Метод Бринелля.

Методика визначення твердості за Бринеллем полягає в тому, що користуючись спеціальним приладом (прес Бринелля) у випробуваній метал втискується сталеві кулька діаметром D із силою P протягом деякого часу T (рис. 1).

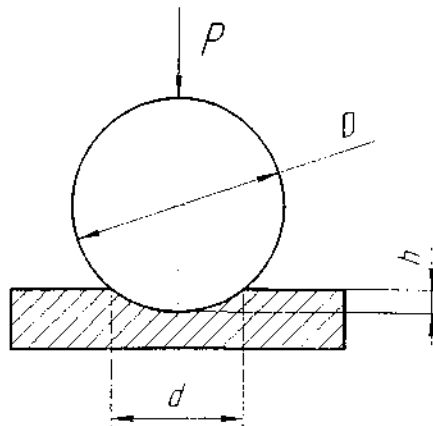


Рис. 1. Схема випробування за методом Бринелля

В результаті на поверхні металу утворюється відтиск діаметром d за величиною поверхні якого визначають значення твердості НВ. Процес вимірювання твердості складається з наступних етапів:

1. Підготовка зразків до випробовування

Зразок повинен мати паралельні поверхні (випробовувану і опорну), очищені від окалини і корозії. Випробовувану поверхню необхідно обробити шліфувальною шкіркою, шліфувальним кругом чи напилком, при цьому зразок не повинен нагріватися вище $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Мінімальна товщина зразка повинна бути не менше десятикратної глибини відтиску.

Прес Бринелля використовується тільки для визначення твердості незагартованих сталей і чавунів, кольорових металів і їх сплавів, тому при випробовуванні матеріалів з великою твердістю кулька при втисканні буде деформуватися і отримаємо недостовірний результат.

2. Визначення діаметра кульки, величини сили навантаження і часу витримки

Для визначення твердості різних матеріалів використовують наконечники з кульками діаметром 10, 5 і 2,5 мм. Діаметр кульки вибирається у залежності від товщини випробовуваного матеріалу.

Отримане число твердості при різних рівних умовах визначається діаметром відтиску d (рис. 1). Останній тим менший, чим вища твердість і навпаки. Але при випробовуванні одного і того ж матеріалу кульками різних діаметрів, порівняльні результати одержуються тільки тоді, коли використовується однакова ступінь напруження кульки, яка дорівнює відношенню сили навантаження до діаметра кульки, тобто:

$$K = \frac{P}{D^2}. \quad (1)$$

У цьому випадку витримується закон подібності між отриманими діаметрами відтисків. Для різних матеріалів встановлена наступна ступінь навантаження: для чорних металів $K = 30$; для твердих кольорових металів $K = 10$; для м'яких кольорових металів $K = 2,5$.

Таким чином, навантаження визначають у залежності від виду випробовуваного матеріалу з формули (1).

Вибір діаметра кульки D , величини навантаження P і часу витримки T виконують за табл. 1.

Таблиця 1

Матеріал	Твердість за Брінеллем	Мінімальна товщина вимірювального матеріалу, мм	Співвідношення між навантаженням P і діаметром кульки D , мм	Діаметр кульки D , мм	Навантаження P на індексатор, кН	Витримання під навантаженням, с
Чорні метали і сплави	130...450	6...3 4...2 <2	$P = 30D^2$	10,0 5,0 2,5	29,420 7,355 1,960	10
	<140	>6 6...3	$P = 10D^2$	10,0 5,0	9,807 2,452	10
Кольорові метали і сплави	>140	>6	$P = 30D^2$	10,0 5,0 2,5	2,452 — —	10
	140...450	6...3 4...2 <2	$P = 10D^2$	10,0 5,0 2,5	29,420 7,355 1,839	30
	35...130	9...3 6...3	$P = 2,5D^2$	10,0 5,0	9,807 2,452	60

3. Підготовка твердоміра до випробовувань.

Схема твердоміра Бринелля приводиться на рис. 2.

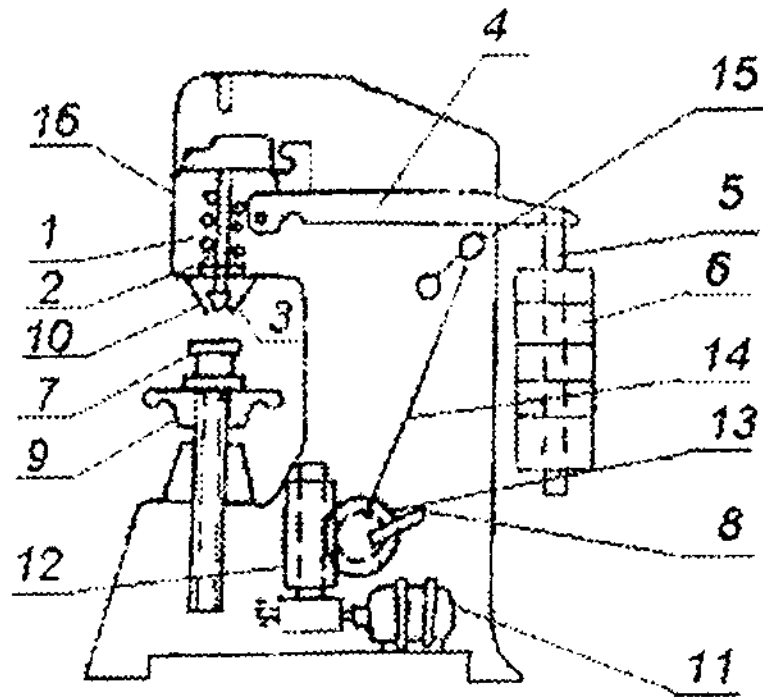


Рис. 2. Схема преса Бринелля

В тримачі 1 гвинтом 2 закріплено кульковий наконечник 3 і встановлюють необхідне навантаження P , яке створюється вагою важільної системи 4, підвісками 5 і змінними вагами 6. В залежності від форми випробовуваного зразка підбирають опорний столик 7. Вимірювання твердості плоских зразків проводять на плоскому столику, а циліндричних - на призматичному. Рухомий упор 8 встановлюють на потрібну витримку зразка під навантаженням. Потім маховиком 9 підводять зразок до кульки до упору в обмежувач 10. Центр кульки при цьому повинен знаходитись від краю зразка і від центра сусіднього відтиску на відстані не менше 2-х діаметрів кульки.

Натисканням кнопки включають електродвигун 11, який через черв'ячний редуктор 12, кривошипний вал 13 і шатун 14 відводить вниз ролик 15. При цьому дія навантаження P через систему важелів 4 передається кульковому наконечнику 3. Цей момент фіксується загоранням контрольної лампочки 16. Після відповідної витримки випробовуваного зразка під навантаженням P проходить автоматичне переключення електродвигуна на зворотне обертання і ролик 15 переміщається вгору, повертаючи важелі у вихідне положення, контрольна лампочка гасне, електродвигун автоматично виключається. Столик приладу опускають маховиком 9 вниз і зразок знімають. За допомогою спеціальної лупи, на окулярі якої нанесена шкала з поділками, вимірюють діаметр відтиску в двох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 3) і визначають його середнє значення.

Випробування одного зразка проводять двічі. Із двох отриманих вимірювань визначають середнє арифметичне значення діаметра відбитку, яке

використовують для розрахунку твердості.

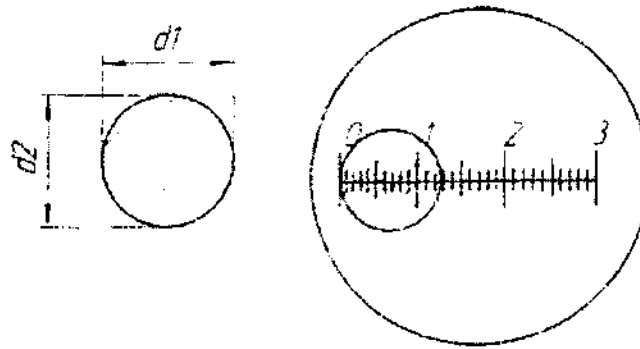


Рис. 3. Схема вимірювання діаметра відтиску за допомогою лупи

Число твердості за Бринеллем HB характеризується відношенням навантаження до площі відтиску:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \text{ МН/м}^2 \text{ (кгс/мм}^2\text{)}. \quad (2)$$

Для того, щоб уникнути довгих обчислень на практиці користуються готовою таблицею, в якій у залежності від діаметра відбитку дається вже підрахована твердість (табл. 3).

За величиною твердості можна судити про міцність металу, тобто між числом твердості HB і межею міцності при розтягуванні існує наступна залежність:

Сталь з твердістю HB 120...175	$\sigma_B = 0,34HB$	(3)
----------------------------------	---------------------	-----

Сталь з твердістю HB 175...450	$\sigma_B = 0,35HB$	(4)
----------------------------------	---------------------	-----

Сірий чавун:	$\sigma_B = (HB - 40) / 6$	(5)
--------------	----------------------------	-----

Мідь, латунь, бронза:		
– відпалена	$\sigma_B = 0,55HB$	(6)

– наклепана	$\sigma_B = 0,40HB$	(7)
-------------	---------------------	-----

Алюміній та алюмінієві сплави з твердістю HB 20...45	$\sigma_B = (0,33...0,36)HB$	(8)
--	------------------------------	-----

Дюралюміній:		
– відпалений	$\sigma_B = 0,36HB$	(9)

– після гартування і старіння	$\sigma_B = 0,35HB$	(10)
-------------------------------	---------------------	------

Метод Роквелла

Визначення твердості методом Роквелла виконується втисканням у випробовуємий зразок алмазного конуса та загартованої кульки діаметром 1,59 мм (1/16"). Алмазний конус використовують для випробування дуже твердих матеріалів, а сталева кулька – для більш м'яких.

За методом Роквелла твердість вимірюється глибиною відбитку. Схема випробування зображена на рис. 4.

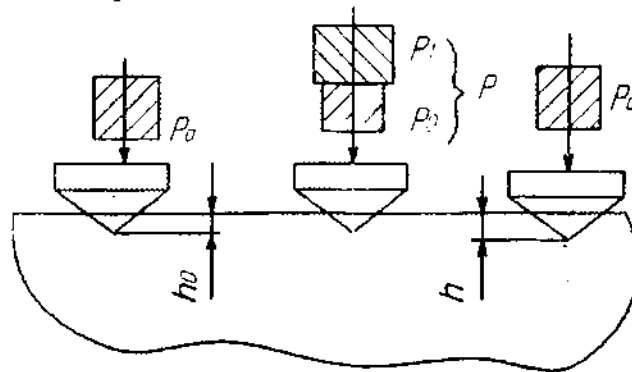


Рис. 4. Схема випробування твердості за методом Роквелла

З початку здійснюється попереднє навантаження $P_0 = 98 \text{ Н}$ (10 кгс), щоб забезпечити тісний контакт наконечника з випробуваним талом поверхня якого має нерівномірності, окисли та інші включення, порушуючи точність вимірювань. Під навантаженням P_0 наконечник заглиблюється у зразок на глибину h_0 . Потім подається повне навантаження $P = P_0 + P_1$ і глибина втиснення збільшується. Після зняття основного навантаження P_1 , коли на наконечник знову діє тільки попереднє навантаження P_0 , глибина втиснення визначає твердість за Роквеллом, яку позначають символом HR. Відлік числа твердості проводять за допомогою показників індикатора, де за годинниковою стрілкою нанесенні три шкали – «С» і «А» (чорні) і «В» (червона).

За шкалами «С» і «А» визначають твердість при випробуванні конусом, а за шкалою «В» – кулькою.

При втисканні наконечника стрілка індикатора рухається проти годинникової стрілки і відхилення на одну поділку шкали відповідає глибині занурення наконечника на 0,002 мм (2 мкм).

Тому чим більша глибина втискування – тим менше число твердості HR і навпаки. Твердість за шкалами «С» і «А» не має перевищувати числа поділок шкали (100 поділок), а при вимірюванні за шкалою «В» твердості м'яких матеріалів стрілка може вийти за межу 100 поділок (вимірювання проводять до числа 130).

Таким чином числа твердості за Роквеллом являють собою безрозмірну величину, пов'язану з глибиною відтисків формулами:

$$HRC = 100 - \frac{(h - h_0)}{0,002}. \quad (11)$$

$$HRB = 130 - \frac{(h - h_0)}{0,002}. \quad (11)$$

Процес вимірювання твердості на приладі Роквелла складається із наступних етапів:

1. Підготовка зразків до випробовувань.

Підготовка зразків до випробовувань проводиться як і для випробувань на прикладі Бринелля. Мінімальна товщина зразка повинна бути не менше 10-кратної глибини відтиску. Відстань від центру відтиску до краю зразка або до центра іншого відтиску повинна бути не менша 1,5 мм при втисканні конуса і не менша 4 мм при втисканні кульки.

2. Визначення виду наконечника, навантаження і шкали твердості.

При вимірюванні твердості загартованих сталей і твердих сплавів використовують алмазний конусний наконечник і загальне навантаження $P = 1470 \text{ Н}$ (150 кгс). Відлік чисел твердості в цьому випадку проводиться за шкалою „С”. Допускається використання конусних наконечників з твердих металокерамічних сплавів (ВК) при твердості зразка HRC до 50. При вимірюванні твердості м'яких металів (не загартованих сталей, кольорових металів їх сплавів) використовують кульковий наконечник і загальне навантаження $P = 981 \text{ Н}$ (100 кгс). Відлік чисел твердості в цьому випадку проводиться за шкалою „В” (табл. 2).

Таблиця 2

Визначення виду наконечника, навантаження і шкали твердості

Шкала	Позначення чисел твердості	Індентор	Навантаження на індентор, кН (кгс)	Границя вимірювання в одиницях твердості	Випробувальні матеріали
A	HRA	Алмазний конус	0,59 (60)	70...85	Твердосплавні матеріали
B	HRB	Кулька $D = 1/16''$	0,98 (100)	25...100	Сплави в знеміцненому стані
C	HRC	Алмазний конус	1,47 (150)	20...67	Сплави в зміцненому стані

3. Підготовка твердоміра і випробовування твердості.

Схема твердоміра наведена на рис. 5.

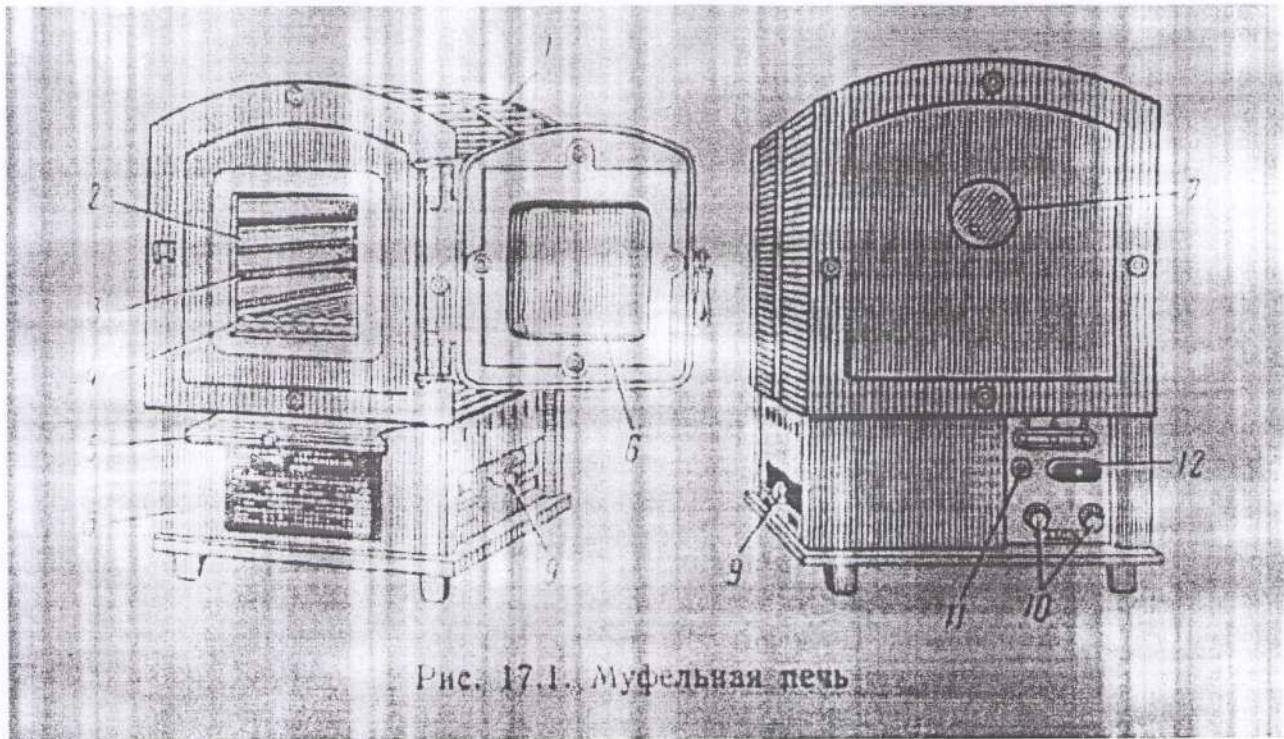


Рис. 17.1. Муфельная печь

На задній стінці підставки знаходяться дві клеми 10 для підключення шнура і три штепсельних гнізда 11 з буквами А, Б і в. При включенні штепсельної вилки 12 в гнізда А і Б піч споживає повну потужність, а при включенні в гнізда Б і в робочу потужність.

Максимальна температура нагріву печі 1000°C . Час розігріву до максимальної температури 120 хв.

Перед тим як включити піч, реостат виводять, тобто ручку 9 ставлять у крайнє праве положення, а штепсельну вилку 12 включають в гнізда А і Б. Потім піч включають у мережу. Коли досягнута максимальна температура, штепсельну вилку 12 переставляють в гнізда Б і в (робочий режим печі). Якщо необхідна менша температура, поступово вводять реостат пересуванням ручки у справа наліво.

Методика проведення гартування

1. Визначити температуру гарту сталі, користуючись для цього нижньою частиною діаграми залізо-цементит (рис. 17.2). Для середньовуглецевих доєвтектоїдних сталей (40-65) нормальною температурою гартування є температура на $30-50^{\circ}\text{C}$ вище лінії GS (див. рис. 17.2), тобто Ас - ($30-50^{\circ}\text{C}$).

Для високовуглецевих заєвтектоїдних сталей (У9 - У12) нормальною температурою гарту є температура на $30-50^{\circ}\text{C}$ вище лінії PSK (див. рис. 17.2), тобто Ас - ($30-50^{\circ}\text{C}$). Температуру гарту записати в графу 6 протоколу.

2. Визначити час нагріву зразків з розрахунку 1,5 хв на 1 мм діаметра або товщини зразка і записати в графу 7 протоколу.

3. Зразки помістити в піч, нагріту до температури гарту для сталі даної марки, і витримати в печі необхідний час. При нагріванні до температури гарту зразків зі сталі 40-65 вихідна ферито-перлітна структура перетвориться в структуру аустеніту, а в зразках зі сталі У9-у 12 при температурі гарту буде структура аустеніт і цементит, тобто частина цементиту залишається нерозчиненою.

4. Зразки послідовно один за іншим вийняти з печі і охолодити у воді (частина зразків) і в маслі при безперервному енергійному русі зразка в охолоджуючій рідині. При охолодженні у воді відбувається розпад аустеніту з утворенням мартенситу. При охолодженні в олії утворюється змішана мартенсито-трооститна структура.

5. Обидва торця зразків зачистити на шліфувальній шкірці.

6. Визначити твердість загартованих зразків по HRC і отриманий результат записати в графи 8 і 9 протоколу.

Мета роботи: Вивчити лінії, точки і області діаграми «залізо-цементит», її фази і структури; перетворення в сплавах з різним вмістом вуглецю при нагріванні і охолодженні; використання правила фаз Гіббса і правила відрізків.

Теоретичні відомості

Діаграма стану (діаграма фазової рівноваги) сплавів «залізо-вуглець» — графічне відображення фазового стану сплавів заліза з вуглецем в залежності від їх хімічного складу і температури. Фазова діаграма стану «залізо-вуглець» є фундаментом науки про сталь і чавун, як сплави заліза з вуглецем.

Вуглець із залізом утворює хімічну сполуку Fe₃C (цементит) або може перебувати у сплаві у вільному стані у вигляді графіту. Відповідно є дві діаграми сплавів «залізо-вуглець»: цементитна і графітна. Оскільки на практиці застосовують сплави заліза із вмістом вуглецю до 6,67% (що відповідає вмісту вуглецю у цементиті), то зазвичай розглядається частина діаграми стану від чистого заліза до вмісту вуглецю 6,67%, що відповідає цементиту і вона носить назву «цементитна». Оскільки цементит фаза метастабільна, то і відповідна діаграма називається метастабільною (суцільні лінії на рисунку).

Фази діаграми «залізо-вуглець»

1. Рідка фаза — однорідний розчин вуглецю у розплавленому залізі. У рідкому стані залізо добре розчиняє вуглець в будь-яких пропорціях з утворенням однорідної рідкої фази.

2. Ферит — твердий розчин проникнення вуглецю в α -залізі (α -ферит) з ОЦК (об'ємно-центрованою кубічною решіткою) чи у γ -залізі (γ -ферит) з ГЦК (гране-центрованою кубічною решіткою).

Ферит має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальну — 0,006 % при кімнатній температурі (точка Q), максимальну — 0,022 % при температурі 723 °C (точка P). Атоми вуглецю розташовані у центрі грані чи на середині ребер куба, а також у дефектах решітки.

При температурі понад 1392 °C існує γ -ферит (високотемпературний ферит), з граничною розчинністю вуглецю близько 0,1 % за температури 1493 °C (точка H).

Властивості фериту наближені до властивостей чистого заліза. Він є м'яким (твердість — до 130 HB; границя міцності при розтяганні $\sigma_B = 250\ldots 300$ МПа; відносне видовження $\delta = 30\ldots 40$ %), пластичним і магнітним до 768 °C матеріалом.

3. Аустеніт — твердий розчин проникнення вуглецю в γ -залізі з ГЦК (гране-центрованою кубічною решіткою). Атоми вуглецю займають місце у центрі гранецентрованої кубічної решітки.

Аустеніт має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальну — 0,8 % при температурі 727 °C (точка S), максимальну — 2,14 % при температурі 1147 °C (точка E). Аустеніт має твердість 200...250 HB, пластичний і немагнітний.

При розчиненні інших елементів в аустеніті або в фериті змінюються властивості і температурні межі їх існування.

4. Цементит (Fe₃C) — хімічна сполука заліза з вуглецем (карбід заліза), зі складною ромбічною кристалічною решіткою, містить вуглецю 6,67%. Він твердий (понад 800 HB) і крихкий. Цементит фаза метастабільна і при тривалому нагріванні самовільно розкладається з виділенням графіту.

У залізовуглецевих сплавах цементит як фаза може виділятися при різних умовах:

- цементит первинний — виділяється з рідини у вигляді великих пластинчатих кристалів;
- цементит вторинний — виділяється з аустеніту і розташовується у вигляді сітки навколо зерен аустеніту, що після евтектоїдного перетворення стануть зернами перліту;
- цементит третинний — виділяється з фериту і у вигляді дрібних включень розташовується біля границь феритних зерен;
- цементит евтектичний — спостерігається лише у білих чавунах

навантаження на індентор. Якщо стрілка зупиняється між показчиками «Більше» і «Менше», то твердість випробуваних зразків відповідає показчику «Норма».

До недоліків вимірювання твердості на твердомірі Брінеля належать: неможливість випробування сплавів з твердістю понад 450 НВ, оскільки сталева кулька – індентор буде деформуватися, даючи неточні показники твердості; неможливість випробування твердості тонких зразків (менше ніж 2 мм); після випробування залишаються помітні сліди на поверхні виробів.

Випробування твердості за Роквеллом

За Брінелем неможливо випробовувати загартовану сталь, яка має твердість більше 400-450 НВ, тому що буде деформуватися кулька і результати випробувань будуть неточними. Також не можна випробувати зразки після хіміко-термічної обробки (азотування, цементація та ін.). В таких випадках для вимірювання твердості застосовують метод Роквелла (ТК2). На цьому твердомірі твердість вимірюють за трьома шкалами (табл. 2).

Таблиця 2. Характеристика шкал твердоміра Роквелла

Шкала	Позначення чисел твердості	Індентор	Навантаження на індентор, кН (кгс)	Границя вимірювання в одиницях твердості	Випробувальні матеріали
А	HRA	Алмазний конус	0,59 (60)	70...85	Твердосплавні матеріали
В	HRB	Кулька D=1/16"	0,98 (100)	25...100	Сплави в знеміцненому стані
С	HRC	Алмазний конус	1,47 (150)	20...67	Сплави в зміцненому стані

Основне навантаження становить 900 Н – для кульки (шкала В), 1400 Н – для алмазного конуса (шкала С) і 500 Н – для алмазного конуса при випробуванні дуже твердих та більш тонких матеріалів (шкала А).

Сутність цього методу полягає в тому, що у зразок, який випробовується, втискується алмазний конус з кутом при вершині 120 градусів і радіусом закруглення вершини 0,2 мм – для твердих металів і сталеві загартована кулька діаметром 1,59 мм (1/16") – для м'яких. На приладі Роквелла вимірюється не діаметр відбитка, а різниця між глибинами відбитка h , отриманого від втискування наконечника або кульки під загальним (попереднє + основне) та попереднім навантаженнями (рис. 5).

Перед вимірюванням твердості зразок 4 ставлять на столик гвинта 2 і обертають маховик 5 гвинта 2, притискуючи зразок до індентора 5 доти, доки пружина шпинделя 6 не стиснеться повністю, створивши при цьому попереднє навантаження 98 Н на індентор. Після цього, натиснувши на кнопку твердоміра, вмикається електродвигун 13 твердоміра, який через редуктор 12 приводить в обертальний рух кривошип 11. Від кривошипа опускається шатун 10, що звільняє важіль 8 і навантаження передається на шпиндель 6 твердоміра з індентором 5, що вдавлюється в зразок 4. При подальшому обертанні кривошипа шатун піднімається і знімає навантаження на індентор, повернувши важіль 8 та вантаж 9 у вихідне положення. При цьому електродвигун 13 твердоміра автоматично вимикається.

Після зняття навантаження на індентор, знявши зразок із столика, вимірюють діаметр відбитка на поверхні зразка за допомогою лупи МПБ-2 (рис. 2, а) з градуйованою шкалою (рис. 2, б). Для цього потрібно край відбитка сумістити з початком шкали (нульовою поділкою). Прочитати поділку шкали, з якою збігається протилежний край відбитка, що відповідатиме розміру діаметра відбитка ($d = 3,2$ мм).

Рис. 2. Лупа МПБ-2 для вимірювання діаметра відбитка кульки: а – загальний вигляд у розрізі; 1 – окуляр; 2 – шкала; 3 – гайка; 4 – об'єктив; 5 – відбиток; 6 – джерело світла; б – схема вимірювання діаметра відбитка

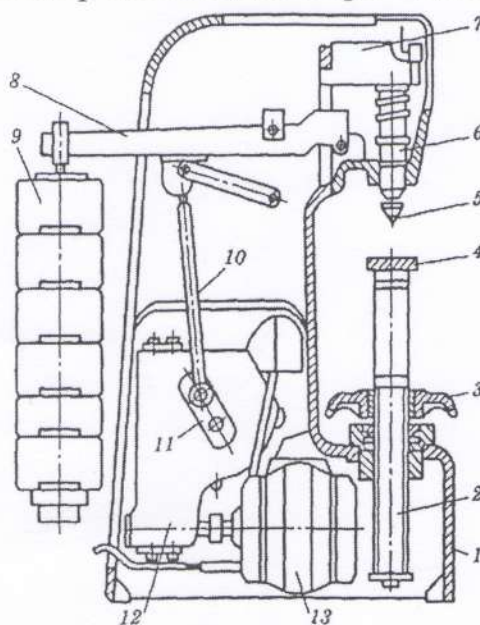


Рис. 3. Кінематична схема твердоміра Брінелля (типу ТШ)

Загальний вигляд твердоміра Роквелла зображено на рис. 6, а, а його кінематичну схему – на рис. 6, б.

У верхній частині станини твердоміра розміщено шпindel 1, в якому за допомогою гвинта 4 закріплюють оправку 5 з індентором (сталева кулька або алмазний чи твердосплавний конус). Постійний вантаж 16 створює навантаження на індентор 0,59 кН. Якщо на постійний вантаж 16 поставити вантаж 17, то буде створено навантаження 0,98 кН. Якщо збільшити вантаж 18 (0,59 кН), то загальне максимальне навантаження на індентор досягне 1,47 кН (див. табл. 2).

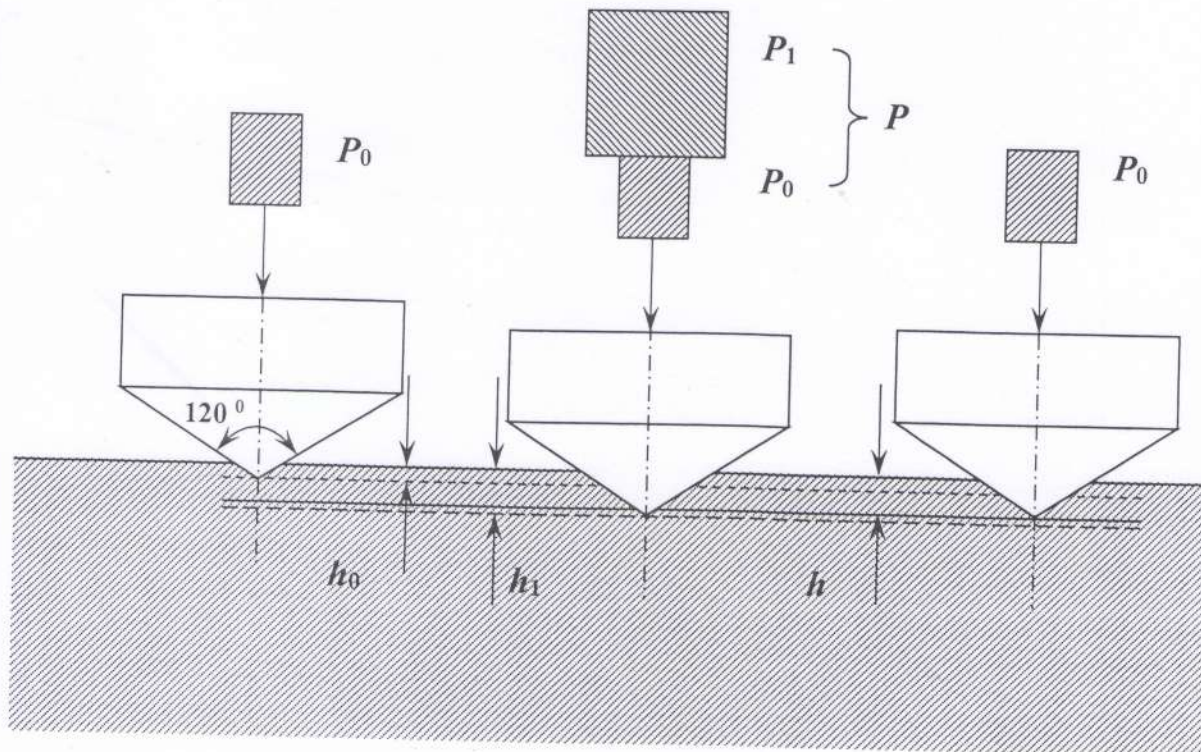


Рис. 5. Схема визначення твердості за Роквеллом

Стіл 7 призначений для розміщення на ньому випробувального зразка 6. При обертанні за ходом годинникової стрілки маховика 8 в рух приводиться гвинт 11, який, переміщуючись угору, піднімає стіл 7 із зразком 6, підводячи його до індентора. За подальшого обертання маховика 8 стискується пружина 2 шпинделя 1, кулька або алмазний конус починає втискуватися у зразок 6 і при цьому стрілки головки індикатора 22 обертаються в протилежні боки. Маховик 8 обертають доти, доки мала стрілка 1 (рис. 7, а) індикатора не дійде до червоної точки 2, а велика стрілка 3 не займе приблизно вертикальне положення (з похибкою ± 5 поділок пікали індикатора) (рис. 7, б), що створить попереднє навантаження 0,098 кН.

Точне виставлення шкали індикатора на нуль (рис. 7, в) виконують за допомогою барабана 9 (див. рис. 6,б) тросиком 21, закріпленим на індикаторі 22.