

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
З ДИСЦИПЛІНИ “МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО”
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ З РОЗДІЛУ
“ МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства.
Протокол №13 від 16.06.11

Методичні вказівки з дисципліни “Матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Механічні властивості матеріалів” для студентів усіх форм навчання. / Укл.: Трофименко В.В., Клименко О.П., Овчаренко В.І. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2012. – 38 с.

Укладачі: В.В. Трофименко, канд. техн. наук
О.П. Клименко, канд. техн. наук
В.І. Овчаренко, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.Б. Гірін, д-р техн. наук

Навчальне видання
Методичні вказівки
з дисципліни “Матеріалознавство”
до виконання лабораторного практикуму
з розділу “Механічні властивості матеріалів”
для студентів усіх форм навчання.

Укладачі: ТРОФИМЕНКО Віталій Васильович
КЛИМЕНКО Олександр Павлович
ОВЧАРЕНКО Володимир Іванович

Авторська редакція

Підписано до друку 13.12.12. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов.-друк. арк. 1,68. Облік.-вид. арк. 1,71. Тираж 80 прим. Замовлення №80.
Свідоцтво ДК №303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпропетровськ-5, просп. Гагаріна, 8.

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

ВСТУП

Механічні властивості зумовлюють поведінку виробу під впливом зовнішніх навантажень, які можуть значно змінюватися залежно від умов експлуатації. Визначення механічних властивостей починається ще на стадії виробництва матеріалів для збереження їх якісних показників. Коли споживач підбирає матеріал для виготовлення тих чи інших конструкцій, то головним критерієм виявляється саме рівень механічних характеристик з урахуванням умов експлуатації цих конструкцій.

Значний вплив на механічні характеристики матеріалів здійснюється при виготовленні конструкції і під час їх експлуатації (температура, тиск, агресивність середовища та ін.). тому необхідно проводити періодичний контроль механічних властивостей з метою виявлення небезпечних ділянок конструкції або окремої деталі, а також для оцінки залишкового ресурсу їх працездатності.

Різноманітність умов експлуатації потребує великої кількості механічних випробовувань, але при цьому можливо виділити такі основні класифікаційні ознаки:

- 1 – характер навантаження (розтягування, стискання, згин, циклічне навантаження та ін.);
- 2 – швидкість навантаження (статичні або динамічні);
- 3 – термін процесу випробувань в часі (короткочасні, тривалі).

В результаті механічних випробувань матеріалів визначають наступні характеристики: пружність, міцність, пластичність, твердість, втомленість, тріщиностійкість, холодноламкість.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: вивчити поняття твердості матеріалів, методику визначення її за методами Брінелля і Роквелла та сфери застосування методів. Ознайомитися з будовою та принципом дії твердомірів, навчитись вимірювати на твердомірі твердість різних матеріалів за методами Брінелля та Роквелла.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1. ТВЕРДІСТЬ ТА МЕТОДИ ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ

Твердість – здатність матеріалів чинити опір пластичній деформації або проникненню стороннього тіла.

Випробування на твердість відрізняються простотою і високою продуктивністю. Тому вимірювання твердості найпоширеніші з усіх механічних випробувань, як при дослідженнях, так і при контролі якості продукції в виробничих умовах.

Використання методів механічних випробувань на твердість *дозволяє*:

- випробувати малі об'єми металу;
- проводити механічні випробування, коли інші способи використати неможливо;
- випробувати матеріали без руйнування;
- використовувати зразки з попередньою обробкою малої ділянки поверхні матеріалу;
- визначати твердість окремих структурних складових або окремих шарів матеріалу;
- вимірювати твердість безпосередньо на працюючому устаткуванні;
- встановлювати аналітичний зв'язок з даними інших випробувань.

Способи визначення твердості в залежності від **часового характеру** прикладання навантаження та вимірювання опору втискання індентора розподіляють на *статичні, динамічні та кінетичні*.

Статичні методи найбільш поширені. Навантаження на індентор прикладають плавно й повільно, час витримування під навантаженням регламентується стандартами на методи проведення випробувань.

Динамічні методи визначення твердості. Індентор впливає на зразок з певною кінетичною енергією, що витрачається на пружну віддачу і формування відтиску, а також на втрати від вібрації, тепловиділення, на тертя та ін. Твердість визначається за зміною кінетичної енергії індентора. Динамічну твердість називають також твердістю матеріалу при ударі. Твердість при ударі характеризує опір занурюванню індентора не тільки поверхні зразка, але й деякого об'єму матеріалу. До динамічних методів умовно відносять метод дряпання.

Кінетичні методи визначення твердості базуються на реєстрації процесу втискання індентора з записом діаграми «навантаження на індентор – глибина занурювання індентора». Реєструють кінетику процесу пружно-пластичного деформування матеріалу при втисканні індентора, а не тільки кінцевий результат випробувань, як при інших методах.

За принципом прикладання навантаження способи визначення твердості поділяють на *втискання, відскок, дряпання та різання*.

Способи **втискання** найпоширеніші. Твердість визначають як опір, який чинить тіло, що випробується, зануренню більш твердого індентора та відображає опір матеріалу пластичній деформації.

Способи **відскоку** базуються на зміні твердості за висотою відскоку бойка, який падає на поверхню, що випробується. Твердість відображає переважно опір пружної деформації. Вимірювання твердості способом відскоку застосовують для контролю великих виробів і конструкцій з використанням переносних приборів.

При способах **дряпання** та **різання** твердість визначають відповідно як опір матеріалу дряпанню або різанню індентором.

При всіх методах випробувань на твердість необхідна підготовка поверхні зразка. Чим менше глибина вдавлювання індентора, тим вища вимагається чистота поверхні. Необхідно усунути зміну властивостей поверхневого шару внаслідок нагрівання або нагартування при шліфуванні та поліруванні.

При **статичному вдавлюванні** твердий наконечник – **індентор** під заданим навантаженням занурюють по нормалі до поверхні, що випробується. Число твердості характеризує опір матеріалів місцевій пластичній деформації, що виникає при вдавлюванні індентора.

В залежності від особливостей прикладеного навантаження, конструкції інденторів та методик визначення чисел твердості розрізняють методи: Брінелля; Роквелла; Кнуппа; Віккерса; мікротвердості (Додаток 1, 2).

1.2. ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ ЗА МЕТОДОМ БРІНЕЛЛЯ

Кулька із загартованої сталі діаметром D вдавлюється в зразок або виріб під дією навантаження P , після зняття якого вимірюють діаметр відтиску d (рис. 1.1).

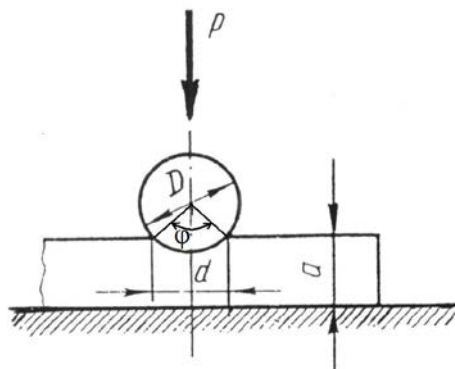


Рис. 1.1. Схема випробування твердості за методом Брінелля

Всі числа твердості позначають літерою Н від англ. “Hardness” – твердість. Число твердості по Брінеллю HB дорівнює відношенню навантаження Р (кгс) до площі кулькової поверхні відтиску F (мм²):

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1.1)$$

де Р – навантаження, кгс;

D – діаметр кільки, мм;

d – діаметр відтиску, мм.

Тому твердість по Брінеллю має розмірність напруги кгс/мм². З метою наслідування ця розмірність не замінена на МПа, у відповідності з системою міжнародних одиниць (СИ), тем більше що поряд з числом твердості розмірність не вказують.

Якщо Р=3000 кгс, D=10 мм та витримування під навантаженням складає 10...15 с, то ці умови випробування поряд зі значенням HB не вказують. Будь-які інші умови випробувань повинні бути вказані. Наприклад, 185HB 5/650/20 означає твердість в 185 одиниць Брінелля при використанні кульки с D=5 мм при Р=650 кгс і часу витримування під навантаженням 20 с.

Між межею міцності при розриві і твердістю по Брінеллю різних матеріалів існує залежність:

$$\sigma_B = K \cdot HB, \text{ кгс/мм}^2, \quad (1.2)$$

де сталь с твердістю:

HB<175..... $\sigma_B \approx 0,343HB$;

HB>175..... $\sigma_B \approx 0,361HB$;

мідь, латунь, бронза: відпалена..... $\sigma_B \approx 0,55HB$;

наклепана..... $\sigma_B \approx 0,40HB$;

алюміній та його сплави: з твердістю HB 20-45..... $\sigma_B \approx (0,33 \div 0,36)HB$;

дуралюмін..... $\sigma_B \approx 0,36HB$.

Методом Брінелля можна випробувати матеріали с твердістю не більше 450 HB, тому що при більшій твердості матеріалу кулька із загартованої сталі деформується.

Умови розміщення відтисків на поверхні зразка. При втисканні наконечника навколо його відтисків виникають зони пластичної деформації, в яких матеріал деформаційно зміцнюється (явище наклепу) і твердість його збільшується. Щоб ці зони не вносили похибки у вимірювання твердості, відстань між центрами двох сусідніх відтисків має бути $4d$, а для м'яких металів (<35 HB) – понад $6d$. Для забезпечення стійкості зразка, усунення похибки від центра відтиску до краю зразка повинна бути більшою за $2,5d$, а для м'яких металів – $3d$.

Вибір навантаження втискання наконечника. Щоб отримувати однакові (порівняльні) значення твердості матеріалу за різних умов вимірювання (D , P), необхідно, щоб між діаметром відтиску d і діаметром сферичного наконечника збігалося співвідношення $0,25D < d < 0,6D$ і забезпечувалась б геометрична подібність відтисків ($\phi = \text{const}$) вибором навантаження P за залежністю:

$$P = K \cdot D^2, \quad (1.3)$$

де K – стала величина значення якої вибирають залежно від твердості матеріалу (табл. 1.1)

Таблиця 1.1

Вибір коефіцієнта K

Матеріал	Діапазон твердості матеріалу, HB	K , Н/мм ² (кгс/мм ²)
Залізо, сталь, чавун та інші міцні сплави	96...650	294 (30)
Титан і його сплави	50...220	147 (15)
Алюміній, мідь нікель та їх сплави	32...200	98 (10)
Магній та його сплави	16...100	49 (5)
Підшипникові сплави	8...50	24,5 (2,5)
Олово, свинець	3...20	9,8 (1)

Вибір тривалості втискання наконечника в зразок. Оскільки під час випробування може проявлятися ефект повзучості, тим сильніший, чим м'якіший матеріал, рекомендується витримувати наконечник під навантаженням відповідно до даних табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Вибір тривалості навантаження індентора залежно від твердості матеріалу

Твердість, НВ	понад 100	35...100	10...35	до 10
Час навантаження, с	10...15	30	120	180

1.2.1. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Твердомір для вимірювання твердості за методом Брінелля, відліковий мікроскоп, зразки з матеріалів різної твердості, зразкові міри твердості.

Вимірювання твердості виконують на стаціонарних або переносних твердомірах типу ТБ. На рис. 1.2 показана схема стаціонарного твердоміра ТБ з механічним приводом від електродвигуна. Основні механізми приладу змонтовані в масивному корпусі 20. у його верхню частину вмонтовано шпиндель 2, у який вставляють змінний наконечник 1. зразок установлюють для вимірювання на столику 23 з гладкою опорною поверхнею для плоских зразків або з призматичним заглибленням – для циліндричних. Обертанням рукою маховика 21 за годинниковою стрілкою столик приладу піднімають за допомогою гвинта 22 до впирання зразка в кульку, закріплену в наконечнику 1, і стискання пружини 3 (до обмежувача 19). Це забезпечує прикладення до зразка попереднього навантаження 980 Н, що запобігає зміщенню зразка під час випробувань. Основне навантаження прикладається при вмиканні двигуна 14, який через редуктор 13, кривошип 12, шток 9, опорний ролик 8 опускає велике коромисло 6. Коромисло масою опори 10 і важків 11 через скобу 5 і мале коромисло 4 навантажує шпиндель 2, що забезпечує втискання кульки наконечника в метал. Навантаження на кульку зберігається протягом певного часу, який попередньо задають відповідним розташуванням обмежувачів 16 і 15, встановлених на валу редуктора. Через заданий проміжок часу перемикач 17 реверсує двигун, який, обертаючись у протилежному напрямку, розвантажує кульку. Після автоматичного вимкнення двигуна обертанням маховика 21 опускають столик твердоміра та знімають зразок. Співвідношення плечей малого коромисла – 1:4, великого – 1:10, загальне співвідношення – 1:40. комбінацію важків 11 можна регулювати величину навантаження на індентор від 980 до 29430 Н.

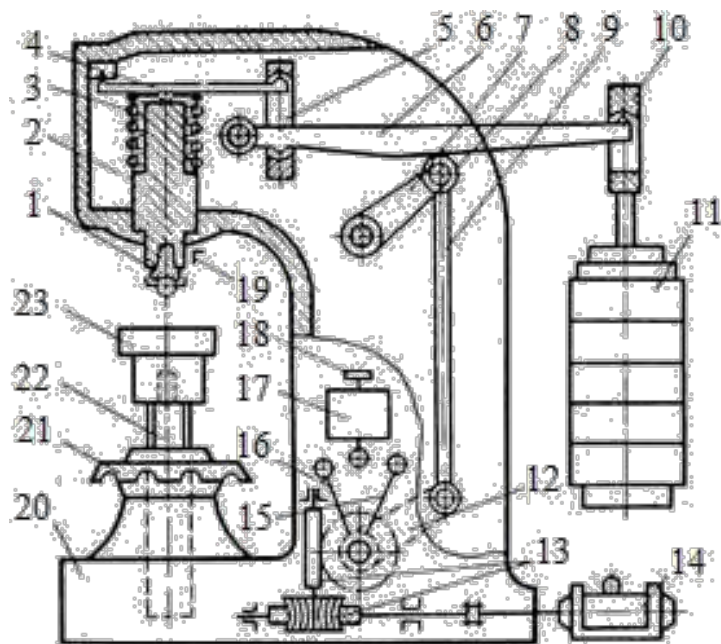


Рис. 1.2. Схема твердоміра ТБ з механічним приводом:

1 – наконечник з кулькою; 2 – шпindelь; 3 – пружина; 4 – мале коромисло;
 5 – опорна скоба; 6 – велике коромисло; 7 – важіль; 8 – опорний ролик;
 9 – шток; 10 – опора; 11 – важки; 12 – кривошип; 13 – черв'ячний редуктор;
 14 – електродвигун; 15, 16 – відповідно нерухомий і рухомий обмежувачі
 автоматичного перемикача; 17 – перемикач; 18 – кнопка пуску; 19 – обмежувач;
 20 – корпус; 21 – маховик з гайкою; 22 – гвинт; 23 – столик для плоских зразків

Твердоміри підлягають періодичній перевірці. Зразковим динамометром визначають відносну похибку навантаження. Перевіряють відхилення діаметрів кульок від номінальних. Поточна перевірка точності вимірювань (після заміни кульки, перед вимірюванням твердості партії зразків) здійснюється за допомогою зразкових мір твердості.

Вимірювання діаметра відтиску. Діаметр відтиску виміряють відліковим мікроскопом (рис. 1.3). У корпус 6 мікроскопа встановлено тубус 3 оптичної системи, у який вмонтовані окуляр 1, об'єктив 5 та сітка зі шкалою 2 для вимірювання діаметра відтисків. Обертанням окуляра 1 в протилежних напрямках піднімають або опускають його відносно шкали, досягаючи її чіткого зображення. Обертанням кільця 4, що забезпечує піднімання чи опускання тубуса 3, регулюється чіткість зображення контуру відтиску.

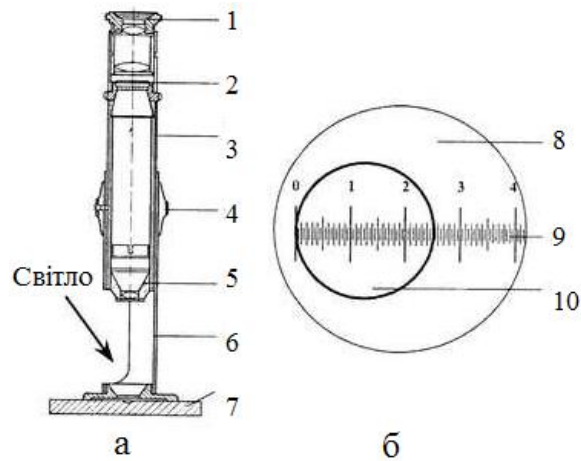


Рис. 1.3. Відліковий мікроскоп МПБ-2 (а) та схема вимірювання діаметра відтиску за його шкалою (б):

- 1 – окуляр; 2 – шкала; 3 – тубус; 4 – кільце регулювання чіткості зображення;
 5 – об'єктив; 6 – корпус; 7 – зразок з відтиском; 8 – поле зору мікроскопа;
 9 – шкала з ціною поділки 0,05 мм; 10 – відтиск

1.2.2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Визначити діаметр кульки, навантаження і тривалість навантаження індентора в залежності від твердості матеріалу і товщини зразка, користуючись таблицями 1.1, 1.2 та додатком 1.

2. Встановити зразок на опорний столик шліфованою поверхнею догори. Центр відтиску повинен знаходитися від краю зразка на відстані не менше діаметра кульки, а від центра сусіднього відтиску – на відстані двох діаметрів кульки.

3. Довести зразок до доторкування з кулькою обертанням маховика по годинній стрілці до повного упора.

4. Включити надавлюванням кнопки вмикача електродвигун. Навантаження зразка, зняття навантаження й виключення мотора проходять автоматично. Прикладання повного навантаження та витримку під навантаженням сигналізує загоряння лампочки.

5. Відпустити столик зі зразком обертуючи маховик проти годинної стрілки.

6. Получити на цьому ж зразку ще один відбиток.

7. Діаметри відтисків вимірювати за допомогою відлікового мікроскопа в двох взаємно перпендикулярних напрямках та визначити середнє арифметичне з двох вимірювань.

8. Результати вимірювань занести в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Результати вимірювань

Зразок		Умови випробувань		Результати випробувань			Твердість НВ		Перевод НВ в одиниці HRC по таблиці (додаток 3)	Межа міцності σв, кгс/мм²
матеріал	товщина, мм	діаметр шарика, мм	навантаження Р, кгс	діаметр відтиску d, мм			за формулою	за таблицею		
				d ₁	d ₂	d _{ср}				

9. За формулою 1.1 або за додатком 3 визначити відповідно розрахункове або табличне значення твердості для кожного заміру, обчислити середнє арифметичне значення твердості матеріалу та записати його в протокол вимірювань (табл. 1.3).

1.3. ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ ЗА МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА

Принципова відмінність вимірювань твердості по методу Роквелла від метода Брінелля в тому, що твердість визначають за глибиною відтиску, що утворюється при вдавлюванні алмазного конуса або сталюї кульки (рис. 1.4), а не за площею відтиску.

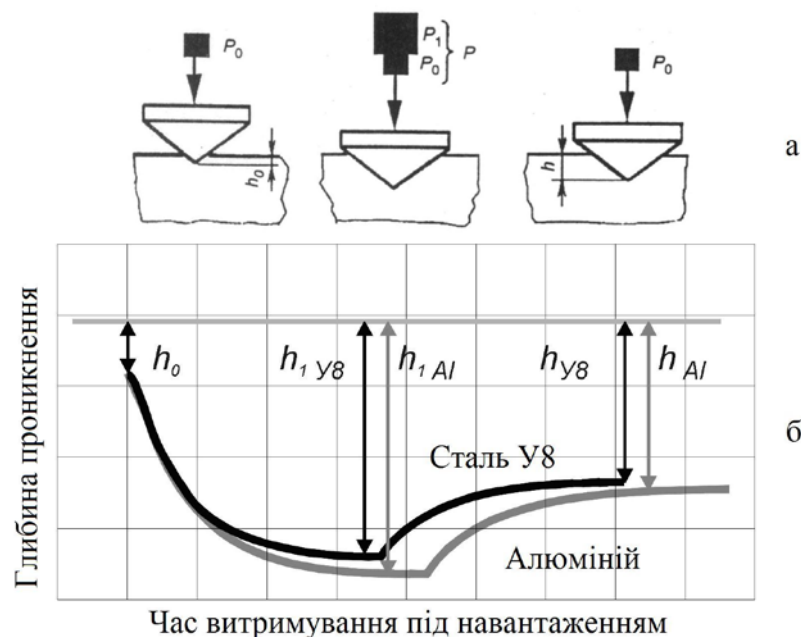


Рис. 1.4. Вимірювання твердості по Роквеллу:

а – схема прикладення навантаження;

б – змінення глибини проникнення наконечника

Від твердості матеріалу, що випробується, залежить глибина заглиблення наконечника, а також тривалість релаксаційних процесів, які визначають тривалість прикладених навантажень.

Індентором є алмазний конус з кутом при вершині 120° і радіусом закруглення 0,2 мм або кулька з загартованої сталі діаметром 1/16 дюйма (1,5875 мм). Величину твердості оцінюють за глибиною проникнення індентора. Для того, щоб зафіксувати вихідне положення індентора, його піджимають до випробуваної поверхні під попереднім навантаженням $P_0=10$ кгс, а стрілку індикатора глибини проникнення виводять на нуль. Потім прикладають основне навантаження $P_1=140$ кгс при використанні алмазного конуса та $P_1=90$ кгс при використанні кулькового індентора.

Загальне навантаження $P=P_0+P_1$ в першому випадку дорівнює 150 кгс, а у другому – $P=100$ кгс. Після зняття основного навантаження P_1 під залишковим навантаженням P_0 індикатор глибини проникнення прямо вказує значення твердості по Роквеллу.

Число твердості по Роквеллу при використанні алмазного конуса позначають символом HRC (від англ. “Cone” – конус), а при використанні кулькового індентора – символом HRB (від англ. “Ball” – куля).

Чим менша твердість, тим більша глибина проникнення індентора e , а різниця між умовно обраним числом та глибиною проникнення:

$$HRC=100 - e; \text{ та } HRB = 130 - e, \quad (1.4)$$

де e вимірюється в одиницях, що дорівнюють по ціні одного ділення індикатора 0,002 мм.

Таким чином, числа твердості по Роквеллу є безрозмірними величинами.

За шкалою **B** вимірюють твердість порівняно м'яких об'єктів, а за шкалою **C** – більш твердих. Для вимірювання твердості тонких шарів або виробів використовують алмазний конус, $P_0=10$ кгс та $P_1=50$ кгс, тобто зменшене загальне навантаження на конус: 60 кгс замість 150 кгс. В цьому випадку число твердості позначають символом HRA:

$$HRA=100 - e \quad (1.5)$$

Метод Роквелла не потребує вимірювати відтиск і визначати по таблицях число твердості. Значення твердості визначають після зняття основного

навантаження по шкалі індикатора приладу. Простота методики вимірювання, висока продуктивність, можливість автоматизації вимірювань зробили метод Роквелла найпоширенішим способом контролю твердості в виробничих умовах.

Сучасні твердоміри Роквелла комплектують наконечниками з діаметром кульок $\varnothing 3,175$ мм; $\varnothing 6,350$ мм; $\varnothing 12,70$ мм; $\varnothing 5$ мм та $\varnothing 10$ мм. Відповідно, добавлені шкали D, E, F, G, H, K, L, M, P, R, S, V для вимірювання твердості чавуну, сплавів міді, алюмінію, цинку, свинцю, а також пластмас, дерева і фанери. Шкали HR5/60 (діаметр кульки 5 мм, навантаження 60 кгс), HR5/100; HR5/150; HR10/60; HR10/100; HR10/150 – для вимірювання твердості вуглеграфітових матеріалів (Додаток 1).

1.3.1. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Твердомір для вимірювання твердості за методом Роквелла, зразкові міри твердості, зразки з матеріалів різної твердості.

Вимірювання твердості за методом Роквелла виконується на стаціонарних або переносних твердомірах з механічним чи електричним приводом.

Одним з найпоширеніших стаціонарних твердомірів є прилад ТК-2 з електричним приводом важільного механізму навантаження (рис.1.5).

Перед початком вимірювання наконечник 2 закріплюють в хвостовику шпинделя 6 гвинтом 3 і тумблером вмикають електродвигун 18. Зразок 1 для вимірювання встановлюють на столику 23 і плавним обертанням маховика 22 піднімають столик до втискування зразка в наконечник з початковим зусиллям 98 Н. Це зусилля створюється стисканням пружини 5. Контроль за величиною прикладеного навантаження та визначення твердості здійснюється за показами індикатора годинникового типу 7, який реєструє переміщення шпинделя, а, отже, і наконечника через мірний важіль. Початковому навантаженню 98 Н на індикаторі приладу відповідає положення маленької стрілки навпроти червоної крапки, при цьому велика стрілка розташовується приблизно вертикально (з відхиленням від вертикалі ± 5 поділок) (рис. 1.5,б). Обертанням барабана 21, який через тросик 8 обертає шкалу, суміщають цифру 0 **чорної шкали** індикатора з великою стрілкою. Основне навантаження прикладається до наконечника при вмиканні клавішею 20 електроприводу, який складається з двигуна 18, редуктора 17 та блока кулачків 15. при обертанні кулачкового

блока на один оберт за посередництвом штока 14 відбувається плавне опускання та піднімання вантажного важеля 9 разом з опорою 10 та важками 11, 12, 13, внаслідок чого здійснюється цикл навантаження-розвантаження наконечника основним зусиллям. Тривалість нормального циклу – 4 с, прискореного – 2 с встановлюється відповідним положенням ручки перемикача 16 (відповідно навпроти літер **Н** та **У**). Після певного оберт кулачковий блок автоматично вимикається. Після завершення циклу навантаження основним зусиллям наконечник втискається в зразок тільки початковим навантаженням. Велика стрілка індикатора обертається за годинниковою стрілкою до значення твердості за відповідною шкалою (**HRA**, **HRB**, **HRC**) (рис. 1.5,в). Вимірювання твердості завершується звільненням зразка від початкового навантаження обертанням маховика 22 проти годинникової стрілки.

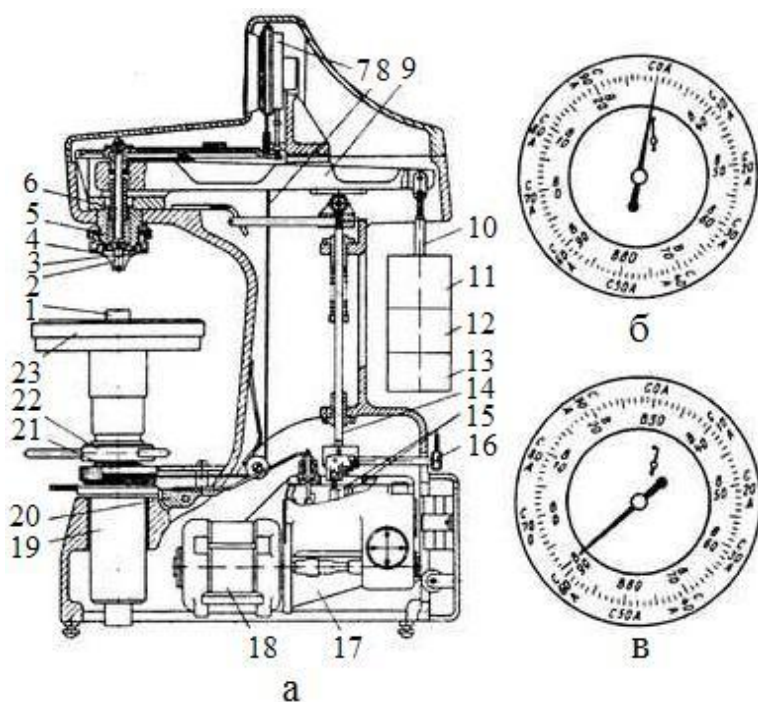


Рис. 1.5. Схема твердоміра ТК-2 (а) та шкали індикатора перед прикладенням початкового навантаження (б) та після усунення основного навантаження (в):
 1 – зразок; 2 – наконечник; 3 – гвинт кріплення наконечника; 4 – обмежувач;
 5 – пружина; 6 – шпиндель; 7 – індикатор; 8 – трос;
 9 – вантажний важіль; 10 – опора; 11,12 – змінні важки; 13 – постійний важок;
 14 – шток; 15 – кулачковий блок; 16 – ручка; 17 – редуктор; 18 – електродвигун;
 19 – гвинт; 20 – клавіша; 21 – барабан; 22 – маховик; 23 – столик

Перші три виміри твердості після заміни наконечника або столика є пробними і не враховуються. Перевірку правильності показів твердомірів

здійснюють за зразковими мірами твердості. Середнє значення твердості за п'ятьма вимірами не повинно відрізнятися від твердості міри не більш ніж на одиницю.

Головним недоліком методу Роквелла є відсутність геометричної подібності відтисків, отриманих не лише різними наконечниками, але одним і тим самим. Проте він універсальніший (широкий діапазон вимірювання твердості) та продуктивніший, ніж метод Брінелля, менше пошкоджує поверхню виробів відтискання індентора. Твердість, виміряна за методом Роквелла, може бути переведена в значення твердості, виміряної за іншими методами, зокрема за методом Брінелля.

1.3.2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Визначити необхідне навантаження і вид індентора в залежності від матеріалу, користуючись таблицею (Додаток 1).

2. Встановити зразок на столику приладу.

3. Довести зразок до зіткнення з наконечником за допомогою маховика.

4. Створити попереднє навантаження 10 кгс. Для чого обертанням маховика продовжити піднімання столика доти, доки мала стрілка індикатора не опиниться проти червоної крапки на шкалі, а велика не стане приблизно в вертикальне положення.

5. За допомогою барабана провести точне встановлення шкали індикатора на нуль.

6. Надавллюванням на клавішу біля маховика увімкнути основне навантаження. При цьому підвіска з важелями опускається, і цим забезпечується дія основного навантаження. Час прикладення основного навантаження – 5-7 с.

7. Записати число твердості за Роквеллом, тобто цифру, на яку вказує на велика стрілка шкали циферблата.

8. Розгрузити зразок повністю, для чого обертають маховик проти годинної стрілки, при цьому столик зі зразком опускається.

9. Випробування повторити на одному зразку 3 рази. Значення твердості визначають як середнє значення з трьох вимірювань. Одержані значення занести в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Результати вимірювань

Зразок		Умови випробування			Результати випробувань, HRC				Перевід HRC в одиниці HB по таблиці (додаток 3)	Межа міцності σ_B , кгс/мм ²
матеріал	товщина, мм	шкала	тип наконечника	навантаження P, кгс	1	2	3	середнє		

10. Використовуючи дані (Додаток 3) перевести значення твердості зразків, виміряні за методом Роквелла, у значення твердості за методом Брінелля.

1.4. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи та висвітлити мету роботи.
2. Сформулювати поняття твердості матеріалів та охарактеризувати способи визначення твердості матеріалів.
3. Навести схему вимірювання та записати формулу визначення твердості за методом Брінелля.
4. Навести схему вимірювання твердості за методом Роквелла.
5. Зробити висновок щодо результатів визначення твердості методами Брінелля та Роквелла.

1.5. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке твердість матеріалів?
2. Які способи визначення твердості ви знаєте?
3. В чому принципові відзнаки метода вимірювання твердості за Роквеллом від метода Брінелля?
4. Які шкали має прибор Роквелла? При яких навантаженнях і якими інденторами (наконечниками) проводяться випробування на кожній із шкал?
5. Порядок підготовки приладу до проведення випробування на твердість за методом Брінелля.
6. Порядок підготовки приладу та випробування на твердість за методом Роквелла.

7. Яка величина попереднього навантаження при випробуванні на твердість за методом Роквелла.
8. Яким чином проводиться перевод значень твердості за Брінеллем в одиниці твердості за Роквеллом і навпаки?
9. Які механічні характеристики металів і сплавів мають взаємозв'язок твердістю?
10. Які методи визначення твердості матеріалів існують, окрім методів Брінелля і Роквелла?
11. В яких одиницях виражається твердість за Брінеллем і Роквеллом?
12. В чому переваги й недоліки метода Брінелля?
13. В чому переваги й недоліки метода Роквелла?
14. Яке навантаження та діаметр кульки слід використовувати при визначенні твердості по Брінеллю?
15. З якою метою використовують різні шкали (А, В, С) твердості за Роквеллом?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

СТАТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ НА РОЗТЯГ

Мета роботи: ознайомитись з видами деформації та механічними властивостями матеріалів; вивчити методику статичних випробувань на розтяг та опрацювання результатів; за результатами випробувань стандартних зразків визначити характеристики міцності й пластичності досліджуваних сплавів.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Механічні властивості – характеристики, які визначають поведінку матеріалу під впливом механічних сил, що прикладені. При випробуванні на розтяг визначають показники міцності і пластичності матеріалів (Додаток 4).

Показники міцності – напруги, що викликають деформацію та руйнування зразка. *Напруга* σ (МПа):

$$\sigma = P/F, \quad (2.1)$$

де P – величина діючої сили, H ;

F – площа, на якій діє сила, mm^2 .

Застосування напруг взамін зусиль виключає вплив розмірів зразка на результати випробувань.

Показники пластичності – змінювання розмірів зразка в результаті деформації.

Розрахунок вказаних змін відносно початкових розмірів зразка виключає вплив геометрії зразка на результати розрахунків. Випробувальні машини реєструють *технічну діаграму розтягування* – криву змінення зусилля від абсолютного подовження зразка Δl , мм.

Випробування металів на одноосне розтягування проводять за ГОСТ 1497-84. Статичне випробування на розтягування проводять із швидкістю 5–31 мм/хв. до межі плинності і 6–124 мм/хв. за межею плинності $0,1 \times l_0$ мм/хв.

Розрахункову довжину l_0 згідно з ГОСТ приймають рівною:

$$l_0 = 11,3\sqrt{F_0} \text{ або } l_0 = 5,65\sqrt{F_0}, \quad (2.2)$$

де F_0 – площа поперечного перетину в робочій частині зразка, мм^2 .

Використовують циліндричні і плоскі зразки (рис. 2.1), дозволяється проводити й випробування на натурних зразках проволочки і круглого профілю прокату.

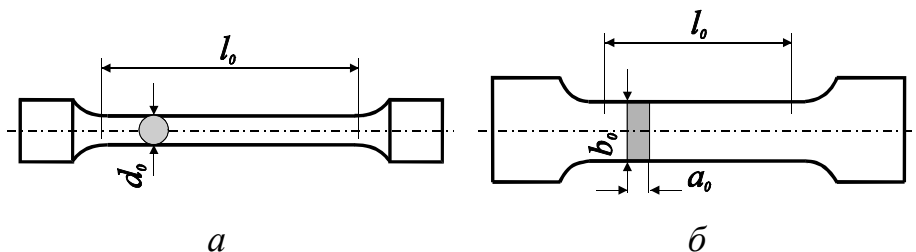


Рис. 2.1. Зразки для випробування металів на розтягування:
а – круглий зразок; б – плоский зразок

Вид технічної діаграми розтягування залежить від марки сталі або сплаву (рис. 2.2).

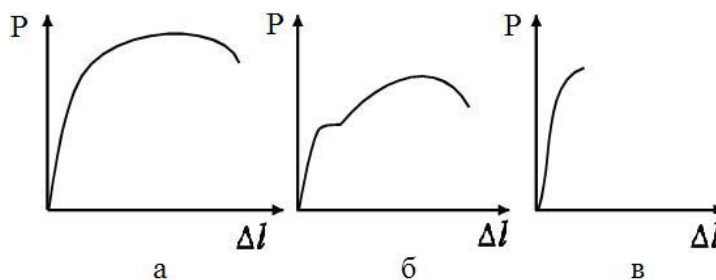


Рис. 2.2. Діаграми розтягування сталей та сплавів:
а – леговані сталі, бронзи; б – низьковуглецеві сталі, $\alpha+\beta$ латуні;
в – чавуни, ливарні сплави алюмінію

Показники міцності

Границя текучості фізична σ_T (МПа) – найменша напруга, при якій зразок деформується без помітного збільшення розтягуючого навантаження:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}, \quad (2.3)$$

де P_T – навантаження, що відповідає площині плинності, H .

Визначають за наявності на діаграмі розтягування явно вираженої сходинок текучості (рис. 2.2, б).

Границя текучості умовна $\sigma_{0,2}$ (МПа) – напруга, при якій залишкове подовження зразка досягає 0,2%. Визначають за відсутності на діаграмі розтягування площини плинності (рис. 2.2, а, в):

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (2.4)$$

де $P_{0,2}$ визначають графічно за точкою перетину технічної діаграми розтягування з прямою, проведеною паралельно прямолінійній початковій ділянці діаграми, на відстані від початку запису, що відповідає подовженню 0,2%.

Границя міцності σ_B (МПа) – напруга, що відповідає найбільшому навантаженню до руйнування зразка:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}, \quad (2.5)$$

де $P_{\max}$ – найбільше навантаження на технічній діаграмі розтягування зразка, H .

Показники пластичності

Відносне подовження δ (%):

$$\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} 100, \quad (2.6)$$

де l_K – довжина зразка після розриву, $мм$;

l_0 – початкова розрахункова довжина зразка, $мм$.

Відносне звуження ψ (%):

$$\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} 100, \quad (2.7)$$

де F_0 – початкова площа поперечного перетину зразка, $мм^2$;

F_K – площа поперечного перетину зразка в місці розриву, $мм^2$.

Випробування на розтягування пластмас проводять за ГОСТ 11262-80. Застосовують зразки завтовшки 1–10 мм. Час від виготовлення зразків до їх випробувань повинно бути не менше 16 годин, включаючи кондиціонування при $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ і вологості $50\pm 5\%$, якщо в нормативних документах нема інших вказівок.

Товщину і ширину зразків вимірюють в трьох місцях: в середині і на відстані 5 мм від міток. За одержаним середнім арифметичним значенням розраховують A_0 , початковий поперечний перетин.

Перед випробуванням на зразок наносять мітки, які не погіршують якості зразків. Подовження зразка реєструють або приладів, які закріплюють на зразку, або по відстані поміж затискачами. Форма та розміри зразків залежать від типу випробуваного матеріалу.

Еластичні термoplastи поліетилен, пластифікований полівінілхлорид випробують на зразках типу 1 (рис. 2.3), виготовлених пресуванням, екструзією, литтям під тиском. Швидкість випробування 100-500 мм/хв.

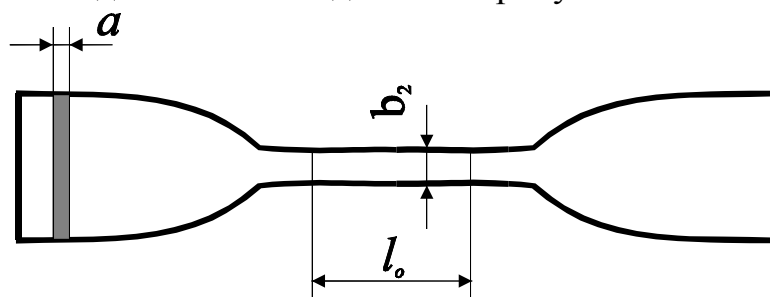


Рис. 2.3. Зразок для випробування пластмас на розтягування (тип 1)

Тверді литі термoplastи, наповнені та армовані компаунди випробують на зразках типу 2 (рис. 2.4), виготовлених литтям під тиском, пресуванням, механічною обробкою. Швидкість випробування 1–100 мм/хв.

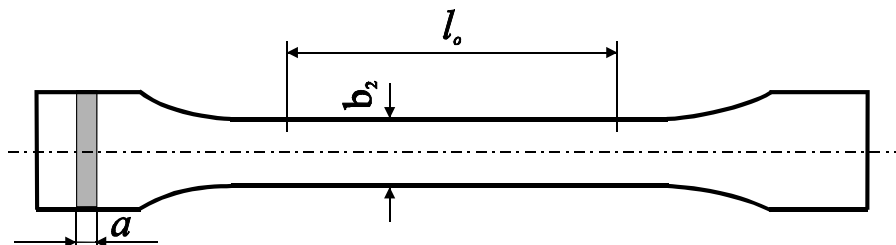


Рис. 2.4. Зразок (тип 2)

Термореактивні пластмаси, матеріали с неорганічними наповнювачами випробують на зразках типу 3 (рис. 2.5), виготовлених пресуванням і механічною обробкою. Швидкість випробування 2–10 мм/хв.

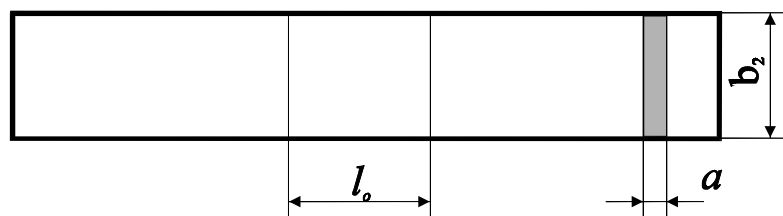


Рис. 2.5. Зразок (тип 3)

Діаграми можуть містити або не містити явно виражену межу плинності (рис. 2.6).

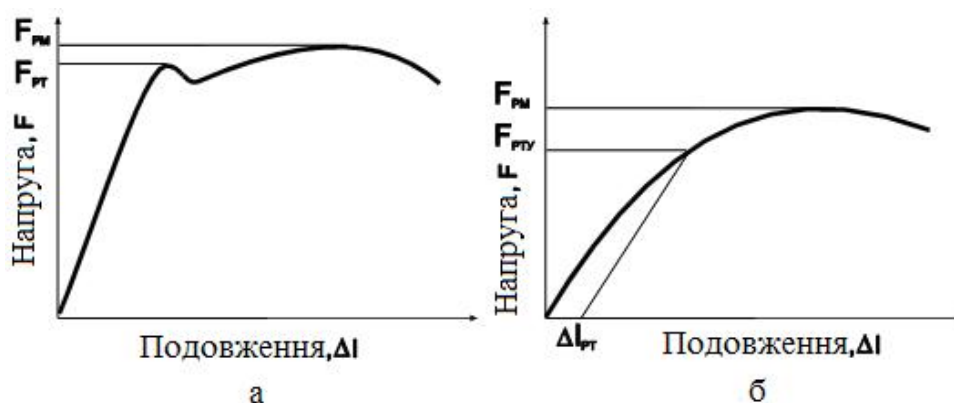


Рис. 2.6. Діаграми розтягування пластмас:

а – діаграма з явно вираженою межею плинності;

б – діаграма з умовною межею плинності

Показники міцності

Границя текучості при розтягуванні σ_{PT} (МПа):

$$\sigma_{PT} = \frac{F_{PT}}{A_0}, \quad (2.8)$$

де F_{PT} – навантаження при досягненні межі плинності (рис. 6), H ;

A_0 – початковий поперечний перетин зразка, mm^2 .

Границя текучості умовна σ_{PTU} (МПа):

$$\sigma_{PTU} = \frac{F_{PTU}}{A_0}, \quad (2.9)$$

де F_{PTU} – навантаження при досягненні умовної межі плинності, H .

F_{PTU} визначають графічно (рис. 2.6) за точкою перетину технічної діаграми розтягування з прямою, проведеною паралельно прямолінійній початковій ділянці діаграми, на відстані від початку запису, який відповідає подовженню 1%.

Міцність при розтягуванні σ_{PM} (МПа):

$$\sigma_{PM} = \frac{F_{PM}}{A_0}, \quad (2.10)$$

де F_{PM} – максимальне навантаження при випробуванні на розтягування, Н.

Показники пластичності

Відносне подовження на границі текучості ε_{PT} (%):

$$\varepsilon_{PT} = \frac{\Delta l_{PT}}{l_0} \cdot 100, \quad (2.11)$$

де Δl_{PT} – змінення розрахункової довжини зразка на границі текучості, мм;

l_0 – початкова розрахункова довжина зразка, мм.

Відносне подовження при максимальному навантаженні ε_{PM} (%):

$$\varepsilon_{PM} = \frac{\Delta l_{PM}}{l_0} \cdot 100, \quad (2.12)$$

де Δl_{PM} – змінення розрахункової довжини зразка в момент досягнення максимального навантаження, мм.

Відносне подовження при розриві ε_P (%):

$$\varepsilon_P = \frac{\Delta l_P}{l_0} \cdot 100, \quad (2.13)$$

де Δl_P – змінення розрахункової довжини зразка в момент розриву, мм.

Випробування на розтягування гуми проводять за ГОСТ 270-75. Діаграма розтягування приведена на рис. 2.7, зразок для випробування – на рис. 2.8.

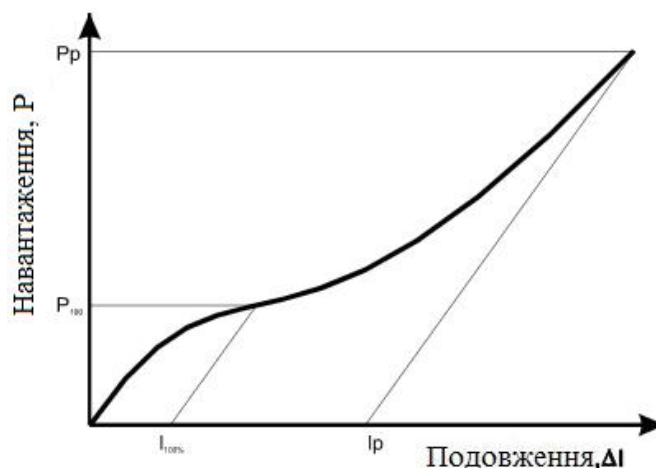


Рис. 2.7. Діаграма розтягування гуми

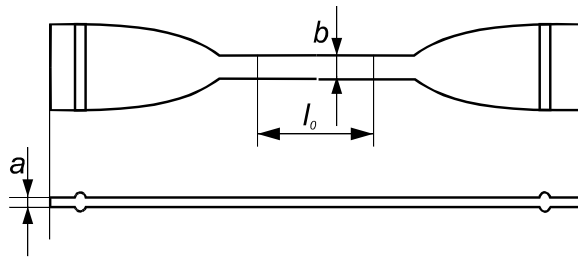


Рис. 2.8. Зразок для випробування гуми на розтягування

Показники міцності

Міцність при розтягуванні f_p (МПа):

$$f_p = \frac{P_p}{S_0}, \quad (2.14)$$

де P_p – розривне навантаження, Н;

S_0 – початкова площа поперечного перетину зразка, мм².

Умовна напруга при заданому подовженні f_ϵ (МПа) – характеристика жорсткості гуми, наприклад, при подовженні ϵ , рівному 100%:

$$f_{100} = P_{100}/S_0. \quad (2.15)$$

Показники пластичності

Відносне подовження при розриві ϵ_p (%):

$$\epsilon_p = \frac{l_p - l_0}{l_0} \cdot 100, \quad (2.16)$$

де l_p – абсолютне подовження в момент розриву, мм.

Залишкове подовження після розриву θ_p (%):

$$\theta_p = [(l_2 - l_0)/l_0] \cdot 100, \quad (2.17)$$

де l_2 – довжина робочої ділянки після розриву, мм.

2.1. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Розривна машина для випробування на розтягання 2166 Р-5, зразки стандартної форми з різних матеріалів, штангенциркуль.

Розривна машина 2166 Р-5 (рис. 2.9) призначена для випробування на розтягування зразків металів, пластмас, гуми, тканин.

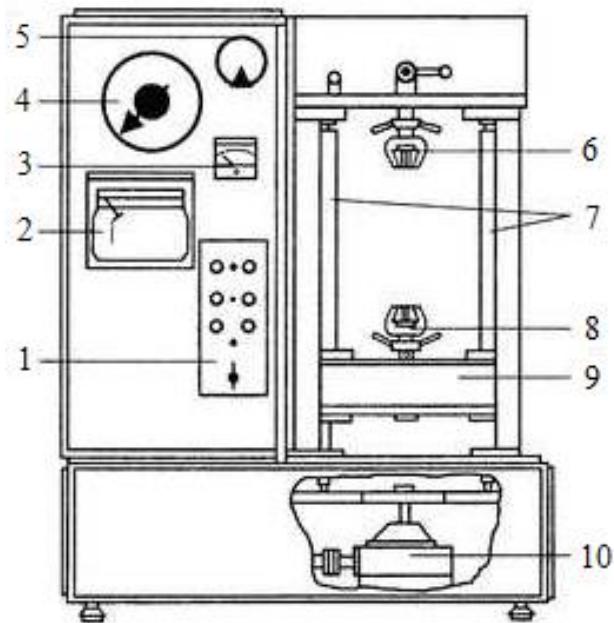


Рис. 2.9. Схема розривної машини Р-5:

1 – пульт керування; 2 – прилад запису діаграми розтягання; 3 – прилад реєстрації швидкості розтягання; 4 – шкала навантаження; 5 – шкала деформації; 6 – нерухомий затискач; 7 – гвинтовий механізм пересування поперечника; 8 – рухомий затискач; 9 – поперечник;
10 – механічний привід від електродвигуна

Найбільше навантаження при випробуванні – 5000 Н (500кгс).

Швидкість робочого ходу активного захвату – 1–1000 мм/хв.

Діапазон переміщення захвата – 0–1000 мм.

Система вимірювання деформації зразка:

Довжина робочої ділянки – 25–50 мм.

Форма й розміри головок й перехідних частин зразків визначаються способом кріплення їх у затискачах машини. Спосіб кріплення повинен запобігати проковзуванню зразків у затискачах, деформації головок, руйнуванню в місцях переходу від робочої частини до головки.

Випробування проводять за температури $20 \pm 10^\circ\text{C}$ на розривних машинах різних типів, що мають механізми навантаження зразка, передачі зусилля розтягання, центрування зразка, вимірювання зусилля й деформації, а також прилад для запису діаграми розтягання.

У машинах з механічним приводом деформування зразка здійснюється за допомогою гвинтової передачі. Максимальне зусилля, яке вони можуть

створювати, не перевищує 0,1 МН. У машинах з гідравлічним приводом, розрахованих на максимальні зусилля до 1 МН, рухомий затискач переміщається від штока поршня гідравлічного циліндра. Ці машини мають той недолік, що в них важко забезпечити постійну швидкість деформування зразка (при збільшенні опору зразка пластичній деформації зростає тиск оливи в робочому циліндрі й вона просочується в проміжок між поршнем і стінкою циліндра, що зменшує швидкість деформування).

Щоб зменшити ексцентричність прикладеного до зразка через затискачі навантаження, застосовують самоцентровні кульові опори або спеціальні аксіатори.

Зусилля розтягання вимірюються зрівноважуванням прикладеної сили рухомим вантажем або маятниковим важелем, який зі зростанням зусилля відхиляється від рівноважного вертикального положення на певний кут, гідравлічним сило вимірювачем (месдозою), торсійним сило вимірювачем за допомогою пружини, яка працює на скручування, а також тензорезисторними силовимірювачами.

Важільні та маятникові сило вимірювачі внаслідок їх високої інерційності успішно застосовують лише при швидкості деформування до 20...40 мм/хв і плавній зміні сили опору зразка деформації, оскільки маятник коливається при різкій зміні зусилля. Менш інерційні гідравлічні й торсійні динамометри застосовують в гідравлічних машинах. Та найбільшого поширення набули тензорезисторні динамометри завдяки їх надійності, компактності, високій точності.

Для регулювання швидкості деформування машини з механічним приводом оснащують двигуном постійного струму, який живиться від тиристорного перетворювача змінного струму в постійний. Тиристорний перетворювач має високі швидкодію, коефіцієнт корисної дії й надійно регулює швидкість обертання вала двигуна.

Усі машини мають пристрої запису первинної діаграми розтягання. Рух пера самописця по діаграмній стрічці відтворює зміну навантаження, а рух стрічки зумовлений обертанням діаграмного барабана (у більшості машин відповідно до швидкості руху рухомого затискача машини). А це означає, що видовження зразка приймається рівним переміщенню цього затискача. Проте, величина переміщення затискача складається не тільки з деформації зразка на розрахунковій довжині, але й з пружної деформації всіх частин машини, що передають навантаження на зразок. Що менша ця “зайва” деформація, то

більша жорсткість машини, а, отже, точність визначення характеристик механічних властивостей.

2.2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Заміряти штангенциркулем початкові розміри зразків з різних матеріалів, перевірити відповідність їх розмірів вимогам стандарту.

2. Зразок матеріалу встановити в захват.

3. На блоку вимірювання сили встановити діапазон вимірювання зусилля. На панелі блока індикації встановити режим вимірювання подовження зразка. Швидкість випробування встановити перемикачами панелі блока автоматики (позиція 1, рис. 2.9).

Початкову робочу довжину зразків відраховують по відстані меж захватами машини. Подовження при розриві визначають по зміні положення рухомої траверси.

4. На приладі ПДА-1 встановити масштаби запису по координатах: «Х» – подовження зразка та «У» – зусилля випробування.

5. Кнопкою «↓» пульта керування включити переміщення рухомої траверси.

6. Зусилля при випробуванні фіксувати по цифровому індикатору блока вимірювання зусилля. Величину подовження фіксувати по цифровому індикатору блока індикації.

7. На технічній діаграмі розтягування зразка матеріалу відмітити значення максимального зусилля випробування та величини подовження зразка.

8. Кнопкою «↑» пульта управління (позиція 1, рис. 2.9) повернути рухому траверсу в вихідне положення.

9. Видалити із захватів частки розірваного зразка та встановити новий зразок.

10. Провести випробування згідно п.п. 1–8. Початкові й кінцеві розміри зразків, максимальне зусилля до руйнування записати у протокол випробувань (табл. 2.1).

11. По технічній діаграмі розтягування металевих зразків визначають:

- величину фізичної σ_T або умовної $\sigma_{0,2}$ межі плинності, в залежності від виду діаграми (формули 2.3, 2.4);
- величину межі міцності σ_B (формула 2.5);
- величину відносного подовження δ (формула 2.6);

– величину відносного звуження ψ (формула 2.7)

Таблиця 2.1

Результати випробувань

Зразок, вид обробки	Розміри робочої частини зразка, мм								Зусилля при випробуванні, МПа		Механічні властивості			
	до випробувань				після випробувань						показники міцності, МПа		показники пластичності, %	
	l ₀	n ₀	m ₀	F ₀	l _k	n _k	m _k	F _k	P _T (P _{0,2})	P _{max}	σ _T	σ _B	δ	ψ
відпал														
холодна деформація														

12. По технічній діаграмі розтягування зразка пластмаси визначити:

- межу плинності при розтягуванні σ_{PT} або межу плинності умовну σ_{PTy} , залежності від виду діаграми (формули 2.8, 2.9);
- міцність при розтягуванні σ_{PM} (формула 2.10);
- відносне подовження на межі плинності ϵ_{PT} (формула 2.11);
- відносне подовження при розриві ϵ_R (формула 2.13).

13. По технічній діаграмі розтягування зразка гуми визначити:

- міцність при розтягуванні f_R (формула 2.14);
- відносне подовження при розриві ϵ_R (формула 2.16).

14. Проаналізувати результати випробувань та установити вплив хімічного складу, структурного стану досліджених матеріалів на їх механічні властивості.

2.3. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи та висвітлити мету роботи.
2. Сформулювати поняття про механічні властивості, показники міцності та пластичності матеріалів.
3. Навести схеми технічних діаграм розтягування для різних видів матеріалів.
4. Навести формули для визначення показників міцності та пластичності матеріалів.
5. Заповнити протокол випробування та зробити висновок щодо результатів визначення показників міцності та пластичності матеріалів.

2.4. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке механічні властивості?
2. Якими показниками характеризується міцність металевих матеріалів?
3. Якими показниками характеризується пластичність металевих матеріалів?
4. Як проводять випробування на розтягування металів?
5. Якими початковими параметрами характеризуються зразки для випробувань металів на розтягування?
6. Який вид має технічна діаграма розтягування для легованих сталей, бронзи?
7. Який вид має технічна діаграма розтягування для низьколегованих сталей, $\alpha + \beta$ латуней?
8. Який вид має технічна діаграма розтягування для чавунів, ливарних сплавів алюмінію?
9. Як проводять випробування на розтягування пластмас?
10. Як проводять випробування на розтягування гуми?
11. Устрій розривної машини 2166 Р-5.
12. Порядок виконання роботи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОСТІЙКОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ РОЗТЯГІЖІННІ

Мета роботи: ознайомитися з методикою побудови термомеханічних кривих полімерів та визначення теплостійкості за заданим розміром залишкового подовження.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Технологічні та експлуатаційні властивості полімерів залежать від їх фізичного і фазового стану. Фазові стани полімерів визначають при побудові термомеханічних кривих.

Термомеханічні криві (ТМК) показують залежність деформації ϵ зразка матеріалу від температури t при дії постійного невеликого навантаження $P = \text{const}$. Ділянки кривих відповідають фізичним станам полімерів (рис. 3.1).

ТМК аморфних термопластичних полімерів (рис. 3.1, а):

– в області I, нижче температури склоутворення T_C , полімер знаходиться в **скловидному стані**. Теплові коливання здійснюють тільки атоми в середині полімерних ланок. Час між поворотами ланок молекул і в'язкість системи надзвичайно більші;

– в області II, вище температури склоутворення T_C , полімер знаходиться у **вискоеластичному стані** (гумоподібному);

– в області III, вище температури плинності T_T , полімер знаходиться у **в'язкотекучому стані**. В результаті інтенсивних коливань і поворотів сегментів (груп ланок) макромолекул стають рухомими цілі макромолекули. Зсув проходить поетапно;

– в області IV, вище температури T_D , відбувається **деструкція полімерів**.

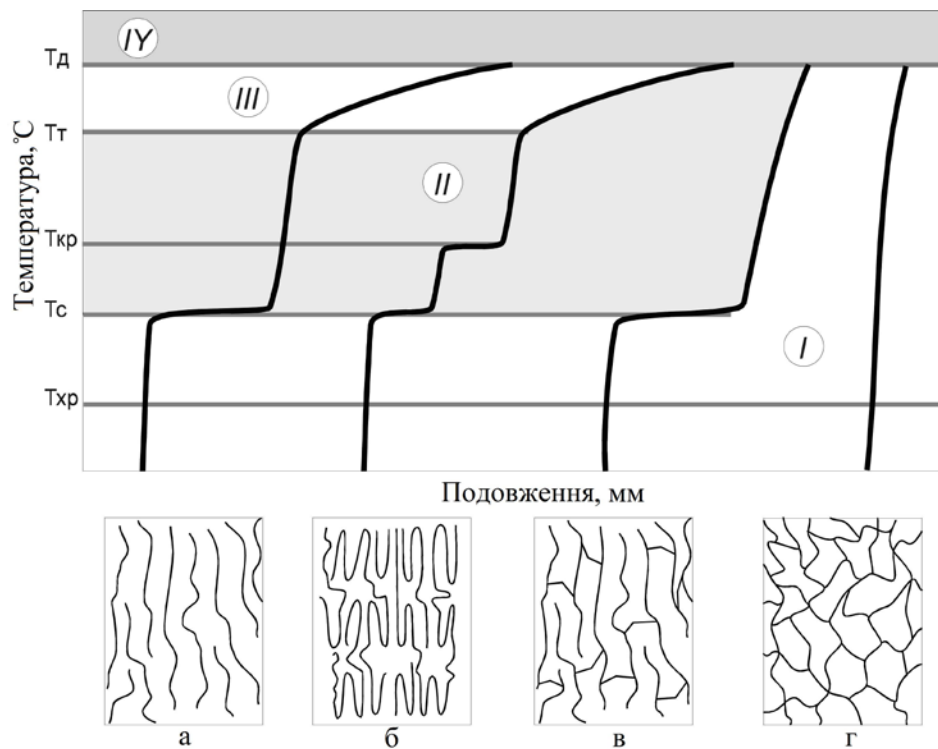


Рис. 3.1. Термомеханічні криві полімерів:

а – аморфний термопластичний полімер; б – кристалічний термопластичний полімер; в – рідкосітчастий полімер (еластомір); г – термореактивний густосітчастий полімер (реактопласт); I – аморфний стан; II – вискоеластичний стан; III – в'язкоплинний стан; IV – руйнування

Верхньою робочою температурою лінійних аморфних полімерів є температура склоутворення T_C .

Нижньою робочою температурою є температура переходу в крихкий стан $T_{ХР}$.

ТМК кристалічних термопластичних полімерів (рис. 3.1, б):

– в області I, нижче температури склоутворення T_C , полімер знаходиться в **скловидному стані**.

– в області II, вище температури склоутворення T_C , аморфна фаза полімер переходить у **високоеластичний стан**. Вище температури T_{KP} (або $T_{пл}$) відбувається перехід в аморфний високоеластичний стан кристалічних ділянок (їх плавлення);

– в області III, вище температури плинності T_T , полімер знаходиться у **в'язкотекучому стані**;

– в області IV, вище температури T_d , відбувається **деструкція полімерів**.

ТМК рідкосітчастих полімерів (еластомірів) (рис. 3.1, в).

– в області I, нижче температури склоутворення T_C , рідкосітчастий полімер знаходиться в **скловидному стані**;

– в області II, в температури склоутворення T_C , полімер знаходиться в **високоеластичному стані**;

області III і температури плинності T_T полімер не має;

– в області IV, вище температури T_d , відбувається **деструкція полімерів**.

ТМК термореактивних полімерів (реактопластів) (рис. 3.1, г):

– в області I полімер знаходиться в **скловидному стані**;

– областей II і III у полімерів не існує;

– в області IV, вище температури T_d , відбувається **деструкція полімерів**.

Побудова термомеханічних кривих дозволяє визначити температурні інтервали стану полімерів й теплостійкість в умовах розтягування. Це один з методів визначення температурних меж працездатності полімерних матеріалів. Його використовують для плівок і тонких листів товщиною менше 1,5 мм. Метод дозволяє визначати усадку при малих навантаженнях в умовах розтягування.

Випробування проводять в рідині або в газовому середовищі. Нагрівання ведуть зі швидкістю 2 °С/хв. Зразок знаходиться під навантаженням 0,35 МПа (0,035 кг/мм²). В методі використовують зразки в формі стрічки шириною від 6 до 25 мм та довжиною от 50 до 180 мм. Тонкі зразки дозволяється складати в декілька шарів.

Результати випробувань надають у вигляді залежності подовження від температури (рис. 3.2).

Температуру теплостійкості визначають:

– за подовженням зразка, рівним 2% (рис. 3.2, А);

- за усадкою зразка, рівною 2% (рис. 3.2, Б);
- якщо зразок перед подовженням має усадку, то подовження визначають за величиною подовження 2% після області усадки матеріалу (рис. 3.2, В).

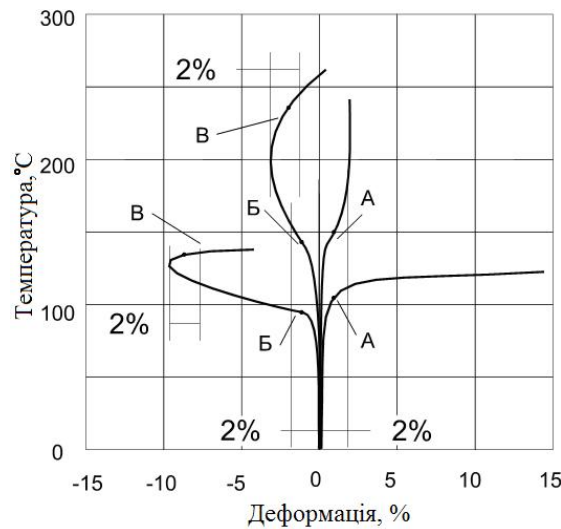


Рис. 3.2. Схема визначення теплостійкості полімерів при розтягуванні:
А – за подовженням; Б – за усадкою; В – за подовженням після усадки

3.1. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Схема установки для побудови термомеханічних кривих наведена на рис. 3.3.

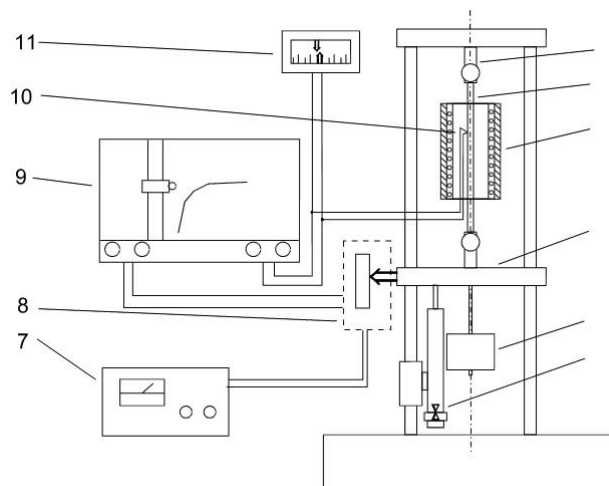


Рис. 3.3. Схема установка для визначення
теплостійкості полімерів при розтягуванні:

- 1 – нерухомий затискач; 2 – зразок; 3 – піч; 4 – рухомий затискач; 5 – ваги;
- 6 – пристрій для градуїровки датчика деформації; 7 – блок живлення Б5-47;
- 8 – датчик деформації зразка; 9 – самописець ЛКД-4-003;
- 10 – термопара; 11 – блок керування піччю

Реєстрацію термомеханічних кривих проводять планшетним двокоординатним потенціометром ЛКД-4-003. Датчик подовженням зразка виготовлено за мостовою схемою з живленням постійним струмом від блоку Б5-47. Контроль температури зразка проводиться термопарою ХА (хромель-алюмель). Термопара, встановлена в печі, торкається поверхні зразка.

3.2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Підготувати зразки полімерних матеріалів. Ширина зразків – 6 мм, довжина зразків – 140 мм. Плівки полімерів скласти в декілька шарів.

2. Визначити площу перетину зразків. Визначити навантаження для випробування при порівняльних випробуваннях зразків за питомим навантаженням 0,35 МПа (35 г/мм²).

3. Запис експериментальних кривих проводять на листі паперу розміром 25х35 см. По осі Y нанести шкалу температур 0÷300°C. Шкалу подовженням зразка по осі X наносять після градуїровки датчика подовження зразка.

4. Увімкнути джерело живлення Б5-47. Обертанням ручки «Баланс моста» установки встановити стрілку індикатора в нульове положення.

5. Встановити перемикачі «Предел измерения» двохкоординатного потенціометра ЛКД-4-003 в положення «X» – 0,1 mV/см, «Y» – 1 mV/см.

6. Лист встановити на самописець. Перемикачем "Вкл" увімкнути живлення. Для електростатичного утримування листа надавить перемикач «Диагр».

7. Перемикачем «Двиг» подати живлення на двигуни ЛКД-4-003. Ручкою «Установка нуля» перемістити каретку з пером на нуль шкали температур.

8. Провести градуїровку шкали датчика переміщення:

8.1. Встановити рухомий захват біля мітки на випробувальній установці і позначити на горизонтальній шкалі початкове положення пера самописця.

8.2. Вивернути гвинт мікрометра на два оберти і позначити на горизонтальній шкалі змінене положення пера самописця. Це відповідає подовженню зразка на 2%.

8.3. Відвести пристосування від рухомого захвата установки.

9. Встановити зразок в захват установки. Прикласти до зразка випробувальне навантаження.

10. Увімкнути живлення печі. Провести реєстрацію змінення довжини зразка при нагріванні.
11. Після розриву зразка відключити піч і замінити зразок.
12. Визначити температурні межі областей стану полімерів.
13. Визначити температури теплостійкості зразків.

3.3. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи та висвітлити мету роботи.
2. Сформулювати поняття про термомеханічні криві матеріалів.
3. Навести схеми термомеханічних кривих для різних видів полімерних матеріалів.
4. Сформулювати основні положення щодо визначення теплостійкості полімерів.
5. Зробити висновок щодо результатів визначення показників теплостійкості полімерних матеріалів.

3.4. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Надайте характеристику ТМК аморфних термопластичних полімерів.
2. Надайте характеристику ТМК кристалічних термопластичних полімерів.
3. Надайте характеристику ТМК рідкосітчастих полімерів (еластомірів).
4. Надайте характеристику ТМК термореактивних полімерів (реактопластів).
5. Порядок проведення роботи.

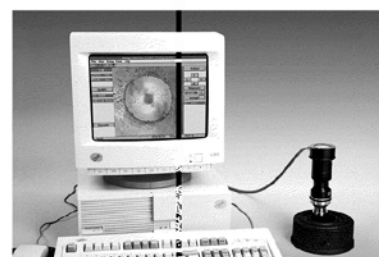
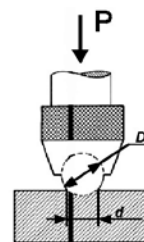
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Материаловедение и технология металлов / Фетисов Г.П. и др. – М.: Высш. шк., 2002. – 638 с.
2. Золоторевский В.С. механические свойства металлов. Уч-к для вузов. 2-е изд. М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
3. Методы измерения механических свойств полимеров. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. – М.: «Химия», 1978. – 336 с.
4. Мартинчук В.П., Полонський Л.Г. Становлення та розвиток методів визначення твердості матеріалів. Техніко-історичний аспект // Весник ХНАДУ / Сб. научн. тр. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2009. – Вып. 46. – С. 26-33.

5. Методы измерения твердости. Справочное издание / А.Г. Колмаков и др. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2000. – 128 с.
6. Материаловедение: Практикум / А.П. Клименко, В.И. Овчаренко, В.В. Трофименко. - Днепропетровск: Пороги, 2011. - 186 с.
7. Технологія конструкційних матеріалів. Практикум: Навч. посібник / В.М. Плескач, І.П. Волчок. - Запоріжжя: Дике Поле, 2007. - 168 с.
8. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Практикум: Навч. посібник / Василь Попович та інші. - Львів: Видавництво “Папуга”, 2004. - 422 с.
9. ГОСТ 9012-59 (ИСО 410-1982, ИСО 6506-81). Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.
10. ГОСТ 4670-91 (ИСО 2039/1-87) Пластмассы. Определение твердости. Метод вдавливания шарика.
11. ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86). Металлы. Методы измерения твердости по Роквеллу.
12. ГОСТ 24622-91 (ИСО 2039/2-87) Пластмассы. Определение твердости. Твердость по Роквеллу.
13. ГОСТ 1497-84. (СТ СЭВ 471-77) Металлы. Методы испытаний на растяжение.
14. ГОСТ 11262-80 (СТ СЭВ 1199-78) Пластмассы. Метод испытания на растяжение.

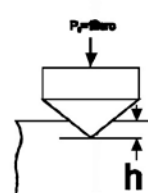
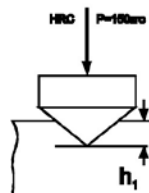
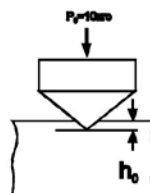
Твердость по Бринеллю HB

Диаметр шарика, мм	Нагрузка, кг	Выдержка под нагрузкой, с	Материал
2,5 5,0 10,0	62,5 250 1000	10	Черные металлы твердостью до 140HB
2,5 5,0 10,0	187,5 750 3000	10	Черные металлы твердостью более 140HB
2,5 5,0 10,0	62,5 250 1000	30	Сплавы меди твердостью 35...130HB
2,5 5,0 10,0	187,5 750 3000	30	Сплавы меди твердостью более 130HB
2,5 5,0 10,0	15,6 62,5 250	60	Сплавы алюминия, пластмассы



$$HB = \frac{2P}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Твердость по Роквеллу HR



Шкала	Индентор	Общая нагрузка, кг	Материал
A	Конус алмаз, твердый сплав	60	Твердые сплавы, детали после поверхностной закалки, тонкий лист
B	Шарик Ø1/16"	100	Конструкционные стали, цветные сплавы
C	Конус алмаз	150	Сталь после упрочняющей термической обработки
D	Конус алмаз, твердый сплав	100	Детали после поверхностной закалки, с мягкой сердцевиной
E	Стальной шарик Ø1/8" (3,175 мм)	100	Чугун, сплавы алюминия, магния, антифрикционные сплавы, пластмассы
F	Стальной шарик Ø1/16" (1,588 мм)	60	Сплавы меди после отжига, тонкий лист
G	Стальной шарик Ø1/16" (1,588 мм)	150	Фосфористая бронза, ковкий чугун низкой твердости
H	Стальной шарик Ø1/8" (3,175 мм)	60	Сплавы алюминия, цинка, свинца
K	Стальной шарик Ø1/8" (3,175 мм)	150	Антифрикционные сплавы, пластмассы, фанера, дерево
L	Стальной шарик Ø1/4" (6,350 мм)	60	Антифрикционные сплавы, пластмассы, фанера, дерево
M	Стальной шарик Ø1/4" (6,350 мм)	100	
P	Стальной шарик Ø1/4" (6,350 мм)	150	
R	Стальной шарик Ø1/2" (12,70 мм)	60	Антифрикционные сплавы, пластмассы, фанера, дерево
S	Стальной шарик Ø1/2" (12,70 мм)	100	
V	Стальной шарик Ø1/2" (12,70 мм)	150	
HR 5/60 HR 5/100 HR 5/150	Стальной шарик Ø 5 мм	60 100 150	Графитные, металлографитные, угольнографитные материалы
HR 10/60 HR 10/100 HR 10/150	Стальной шарик Ø 10 мм	60 100 150	Графитные, металлографитные, угольнографитные материалы

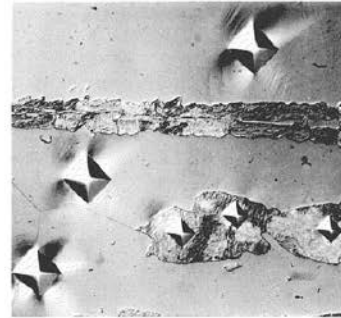
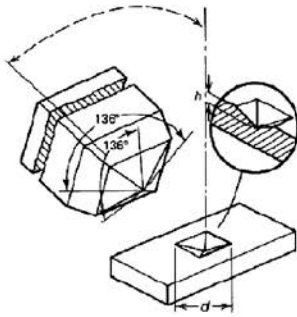
Методи визначення твердості [6]

Додаток 2

Твердость по Виккерсу HV

$$HV = P/F = 1,854P/d^2$$

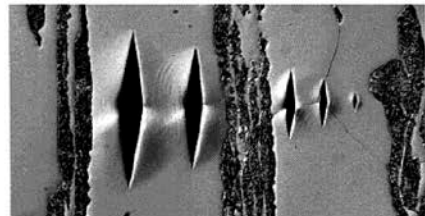
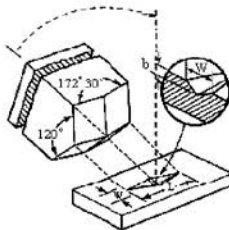
Нагрузка 10-100Н,
время выдержки 10-15с



Твердость по Кнуппу ТК

$$TK = 14,229 * (0,102 * F/d^2)$$

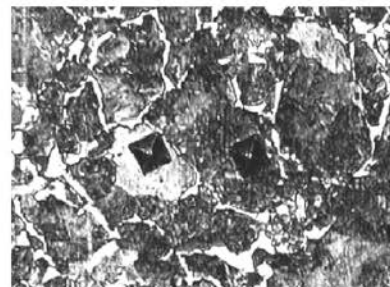
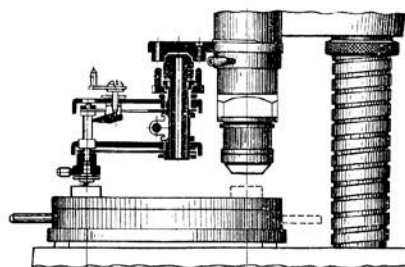
Нагрузка 0,1кГс,
время выдержки 20с



Микротвердость Н_μ

$$HV = P/F = 1,854P/d^2$$

Нагрузка 0,05-5Н,
время выдержки 10-15с



Методи визначення твердості [6]

Додаток 3

Таблица перевода значений твердости

По Роквеллу HR			По Бринеллю 10/3000 HB		По Виккерсу HV	По Роквеллу HR			По Бринеллю 10/3000 HB		По Виккерсу HV
HRB	HRC	HRA	Диаметр отпечатка, мм	HB		HRB	HRC	HRA	Диаметр отпечатка, мм	HB	
-	-	-	2,00	946	-	98	22	62	4,00	229	226
-	-	-	2,05	898	-	97	21	61	4,05	223	221
-	-	-	2,10	857	-	97	20	61	4,10	217	217
-	-	-	2,15	817	-	96	19	60	4,15	212	213
-	72	89	2,20	782	1220	95	18	60	4,20	207	209
-	69	87	2,25	744	1114	94	17	59	4,25	201	201
-	67	85	2,30	713	1021	93	16	58	4,30	197	197
-	65	84	2,35	683	940	92	15	58	4,35	192	190
-	63	83	2,40	652	867	91	14	57	4,40	187	186
-	61	82	2,45	627	803	89	13	56	4,45	183	180
-	59	81	2,50	600	746	88	12	56	4,50	179	177
-	58	80	2,55	578	694	87	11	55	4,55	174	174
-	56	79	2,60	555	649	86	10	55	4,60	170	171
-	54	78	2,65	532	606	85	9	54	4,65	167	165
-	52	77	2,70	512	587	84	8	53	4,70	163	162
-	51	76	2,75	495	551	83	7	53	4,75	159	159
-	49	76	2,80	477	534	82	6	52	4,80	156	154
-	48	75	2,85	460	502	81	5	52	4,85	152	152
-	47	74	2,90	444	474	80	4	51	4,90	149	149
-	45	73	2,95	429	460	78	3	50	4,95	146	147
-	44	73	3,00	415	435	76	2	50	5,00	143	144
-	43	72	3,05	401	423	76	1	-	5,05	140	-
-	41	71	3,10	388	401	75	-	-	5,10	137	-
-	40	71	3,15	375	390	74	-	-	5,15	134	-
-	39	70	3,20	363	380	72	-	-	5,20	131	-
-	38	69	3,25	352	361	71	-	-	5,25	128	-
-	37	69	3,30	341	344	69	-	-	5,30	126	-
-	36	68	3,35	331	335	68	-	-	5,35	123	-
-	35	68	3,40	321	320	67	-	-	5,40	121	-
-	34	67	3,45	311	312	66	-	-	5,45	118	-
-	33	67	3,50	302	305	65	-	-	5,50	116	-
-	31	66	3,55	293	291	64	-	-	5,55	114	-
-	30	66	3,60	285	285	62	-	-	5,60	111	-
-	29	65	3,65	277	278	61	-	-	5,65	109	-
-	28	65	3,70	269	272	59	-	-	5,70	107	-
-	27	64	3,75	262	261	58	-	-	5,75	105	-
-	26	64	3,80	255	255	57	-	-	5,80	103	-
-	25	63	3,85	248	250	56	-	-	5,85	101	-
100	24	63	3,90	241	240	54	-	-	5,90	99	-
99	23	62	3,95	235	235	53	-	-	5,95	97	-

Визначення твердості [6]

Визначення міцності [6]



