



INSTYTUT MASZYN I URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH
Politechnika Śląska w Gliwicach



INSTRUKCJA DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH

POMIARY TWARDOŚCI

Instrukcja przeznaczona jest dla studentów następujących kierunków:

1. Energetyka - sem. 3 MKiE
2. Mechanika i Budowa Maszyn - sem. 4 MKiE
3. Inżynieria bezpieczeństwa - sem. 2 NoM

1. Opis zagadnienia

Twardość - jest to odporność materiału na odkształcenia plastyczne (trwale) podczas działania skupionego nacisku na powierzchnię tego materiału. Twardość jest cechą umowną. Nie jest stałą materiałową, stąd porównywanie twardości jest możliwe zasadniczo w zakresie jednej metody i to z pewnymi zastrzeżeniami, z których najważniejsze jest zachowanie podobieństwa geometrycznego odcisków. Pojęcie twardości jest ogólnie znane. Problemem jest liczbowe określenie twardości. Klasyfikacja prób twardości w zależności od rodzaju oporu materiału stawianego podczas próby:

1. **Próby statyczne** (polegają na wciskaniu twardego elementu, zwanego wgłębnikiem – np. kulka, stożek, ostrosłup - w badany materiał poza granicę sprężystości do spowodowania odkształceń trwałych). Powszechnie stosowane metody tej grupy to:

- Metoda Brinella;
- Metoda Rockwella;
- Metoda Vickersa.

Do rzadziej spotykanych (nie znormalizowane w Polsce) należą :

- Metoda Knoopa;
- Metoda Chruszczowa-Bierkowicza;
- Metoda Grodzińskiego;

2. **Próby dynamiczne** (polegają na uderzeniowym oddziaływaniu twardego elementu na powierzchnię badanego ciała, związane są z odkształceniem plastycznym lub sprężystym). Stosowane metody tej grupy to:

- Metoda Młotek Poldi;
- Metoda Shore'a.

3. **Próby zarysowania** (opór materiału jest związany z jego zarysowaniem).

4. **Próby twardości, o której decyduje ścieralność materiału**

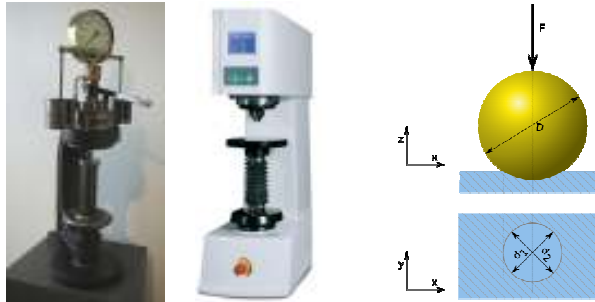
Pomiar twardości, oprócz samego określenia twardości, a więc jednej z cech materiału, pozwala na ocenę struktury materiału, jednorodności, obrabialności, jak również umożliwia kontrolę jakości obróbki cieplnej. Stwierdzono również, że między wytrzymałością na rozciąganie stali węglowej nie hartowanej a twardością w skali Brinella istnieje związek:

$$R_m \approx 0.35HB$$

Określenie wytrzymałości na rozciąganie dla stali poprzez zmierzenie jej twardości stosowane jest tylko w przypadku, gdy wykonanie próbek do badań wytrzymałościowych jest niemożliwe, ponieważ wiązałyby się ze zniszczeniem urządzenia.

Metoda Brinella.

Jest to metoda najstarsza (wprowadzona przez Brinella w 1900 r.). Stosuje się ją do badania twardości metali nieżelaznych i miękkiej stali. Metoda ta polega na wciskaniu hartowanej kulki ze stali stopowej lub z węglików spiekanych w gładką powierzchnię badanego materiału pod działaniem siły obciążającej przyłożonej prostopadle do powierzchni w określonym czasie.



Rys. 1. Twardościomierze Brinella ^{i,ii}, oszacowanie twardości ⁱⁱⁱ

Miarą twardości w tej metodzie jest średnica odcisku kulki mierzona na powierzchni przedmiotu, a twardość określa się z zależności:

$$HB = \frac{0,204F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

gdzie:

F – siła obciążająca [N]

N, D – średnica kulki [mm]

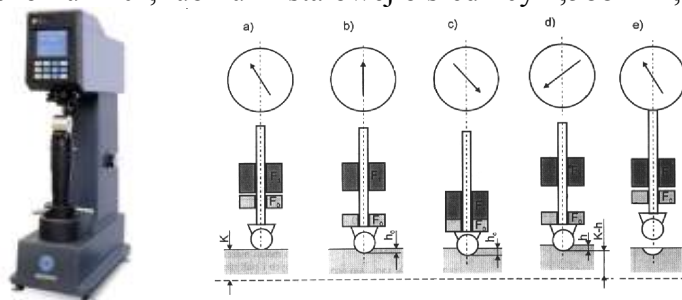
d – średnia średnica odcisku [mm]

Przykładowe oznaczenie:

185HB5/750/20 - badanie przeprowadzono przy użyciu: kulki o średnicy $D=5$ mm, przy obciążeniu: $F=7355$ N (750kG) w czasie $t = 20$ s.

Metoda Rockwella

Zasada pomiaru twardości Rockwella polega na dwustopniowym wciskaniu w badany materiał diamentowego stożka o wierzchołku 120° , lub kulki stalowej o średnicy 1,588 mm, lub 3,175 mm.



Rys. 2. Twardościomierz Rockwella ⁱ, oszacowanie twardości ^{iv}

Miarą twardości jest głębokość wniknięcia stożka w materiał. Głębokość odkształcenia $e'=h_1-h_0$ mierzy się czujnikiem zegarowym. Działka elementarna miernika odpowiada 0,002 mm zagłębienia. Stąd wynika, że wskazanie czujnika wynosi $e=e'/0,002$ i jest wielkością niemianowaną. Przyjęto takie oznaczenia, aby większym twardościom odpowiadały większe liczby:

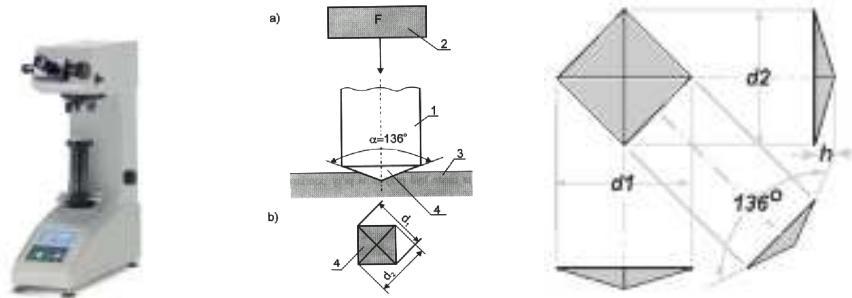
HR=100-e - dla stożka

HR=130-e - dla kulki

Liczbowa wielkość tej głębokości oznacza twardość Rockwella i zapisywana jest np.: 61HRC, gdzie C – oznacza zastosowaną skalę pomiaru (jedną z dziewięciu dostępnych).

Metoda Vickersa

Została ona opracowana w 1925 r. Nazwa pochodzi od pierwszego producenta tych twardościomierzy. Polega ona na wciskaniu w powierzchnię badanego przedmiotu diamentowego wgłębnika w kształcie ostrosłupa o podstawie kwadratu i kącie pomiędzy przeciwległymi ścianami 136°.



Rys. 3. Twardościomierz Vickersaⁱ, oszacowanie twardości^{v,vi}

Miarą twardości jest – podobnie jak w metodzie Brinella – pole powierzchni odcisku (średnia wartość długości przekątnych). Twardość Vickers’a wyznacza się z zależności:

$$HV = 0.189 \frac{F}{d^2}$$

gdzie:

F – siła obciążająca [N]

d – średnia długość przekątnych [mm]

Przykładowe oznaczenie:

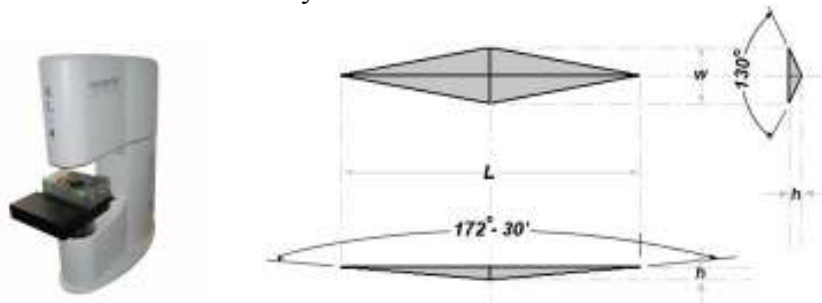
480HV - twardość zmierzona przy obciążeniu siłą $F=294$ N, w czasie $t = 10 \div 15$ s.

480HV 10/30 - twardość zmierzona przy obciążeniu siłą $F=98$ N (10kG), w czasie $t = 30$ s.

W metodzie Vickersa tak dobrano geometrię wierzchołka ostrosłupa, aby umożliwić porównywanie wyników pomiaru z metodą Brinella (przy założeniu, że w próbie Brinella $d/D=0,375$). Porównywanie wyników jest możliwe do wartości 300 HB.

Metoda Knoop

Metoda ta nie została w Polsce znormalizowana. Polega na statycznym wgniataniu wgłębnika w kształcie ostrosłupa o podstawie rombu w badany materiał.



Rys. 4. Twardościomierz Vickersa & Knoopⁱ, oszacowanie twardości^{vi}

Twardość Knoopa wyznacza się z zależności:

$$HK = 14,228 \frac{0,102F}{l^2}$$

gdzie:

F – siła obciążająca [N]

l – długość dłuższej przekątnej [mm]

Metoda ta może być stosowana głównie do pomiaru twardości warstw powierzchniowych. Do jej pomiaru mogą być stosowane twardościomierze Vickersa.

Metoda Chruszczowa-Bierkowicza

Metoda ta polega na zastosowaniu wglębniaka diamentowego w kształcie ostrosłupa trójściennego, którego ściany są pochylone względem osi ostrosłupa pod kątem 65° . Twardość Chruszczowa-Bierkowicza jest wyznaczana z zależności:

$$HCH = 1570 \frac{0,102F}{l^2}$$

gdzie:

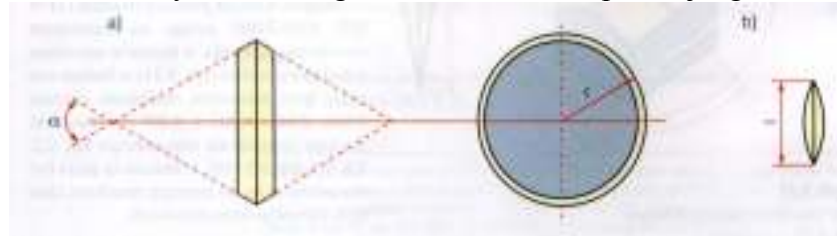
F – siła obciążająca [N]

l – wysokość trójkąta odcisku [μm]

Metoda ta umożliwia pomiar materiałów szczególnie twardych, np. węglików spiekanych.

Metoda Grodzińskiego

Polega na wciskaniu w badany materiał wglębniaka w kształcie podwójnego stożka.



Rys. 5. Oszacowanie twardości Grodzińskiego. Wglębniak, schemat odcisku^{vii}

Wyznacza się ją ze wzoru:

$$HG = \frac{0,102F}{cl^3} \quad c = \frac{\text{tg} \frac{\alpha}{2}}{6r}$$

gdzie:

F – siła obciążająca [N]

c – stała dla danego stożka

l – długość odcisku [mm]

α – kąt między tworzącymi

r – promień podstawy stożków [mm].

Metoda ta może być pomocna przy pomiarach bardzo twardych materiałów, w tym węglików.

Metoda Młotek Poldi

Pomiar twardości młotkiem Poldi polega na równoczesnym wgniataniu kulki stalowej o średnicy 10 mm w badany materiał i próbkę wzorcową w trakcie uderzenia w sworzeń urządzenia młotkiem o masie 500 g.



Rys. 6. Młotek Poldi^{viii}

Po porównaniu średnic odcisków w próbce badanej d i próbce wzorcowej d_w szukana twardość może być obliczona w skali Brinella z zależności:

$$HB = \frac{10 - \sqrt{100 - d_w^2}}{10 - \sqrt{100 - d^2}} (HB)_w$$

gdzie:

$(HB)_w$ – znana twardość próbki wzorcowej

Młotki Poldi znajdują nadal szerokie zastosowanie w magazynach stali i przy pomiarach twardości dużych elementów.

Metoda Shore'a

W metodzie tej miarą twardości jest wysokość odbicia ciężarka stalowego z końcówką diamentową lub rubinową o masie 2,626 g swobodnie spadającego z wysokości 275 mm na powierzchnię badanego metalu. Miarą twardości, uzależnionej głównie od własności sprężystych badanego materiału, jest liczba jednostek w skali podzielonej na 140 działek.

2. Wykonanie pomiarów.

- Badanie twardości należy przeprowadzić przy użyciu elektronicznego optycznego twardościomierza Krautkramer TIV-101. Metoda TIV (Through Indenter Viewing) bazuje na twardości Vickersa. Pozwala “widzieć” przez diamentowy wgłębnik za pomocą specjalnego układu optycznego. Twardość mierzona jest pod obciążeniem. Gdy tylko obciążenie zostanie osiągnięte, obraz uzyskanego odcisku jest przekazywany do urządzenia i bezpośrednio przez nie oceniany. Wynik uzyskuje się automatycznie i szybko w wybranej skali twardości.



Rys. 7. Twardościomierz Krautkramer TIV^{ix}

- Badania przeprowadzamy w sekcjach tak, aby każda osoba z sekcji dokonała przynajmniej jednej serii pomiarów twardości dla wybranego elementu.
- Liczba pomiarów w ramach jednego badania powinna wynosić od 3 do 9.
- Otrzymane wyniki zamieszczamy w tablicy pomiarowej (na podstawie tablicy 1).

3. Opracowanie sprawozdania.

Sprawozdanie z przeprowadzonego ćwiczenia laboratoryjnego powinno zawierać:

1. Krótki opis pomiarów twardości.
2. Krótki opis urządzenia, za pomocą którego wykonano zadanie.
3. Cechy geometryczne elementu badań (rysunek wraz z wymiarami).
4. Tablicę pomiarową.
5. Wnioski.

Tablica 1. Tablica pomiarowa

Lp.	student Nazwisko i Imię	metoda pomiarów	pomiar 1	pomiar 2	pomiar 3	pomiar 4	pomiar 5	pomiar 6	pomiar 7	pomiar 8	pomiar 9	średnia
1.												
2.												
3.												
4.												
5.												
6.												

Zamieszczone w pracy zdjęcia i rysunki zaczerpnięto z:

- i Photo taken at Eskilstuna stadsmuseum (city museum), in Eskilstuna, Sweden
- ii http://www.testlab.com.pl/Produkty/?k=tward_stacj
- iii <http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:BrinellHardness.svg&filetimestamp=20090416190629>
- iv <http://ultra.ap.krakow.pl/~kmr/Rockwe3.gif>
- v <http://ultra.ap.krakow.pl/~kmr/Vicker1.gif>
- vi http://www.struers.dk/default.asp?top_id=0&main_id=0&sub_id=0&doc_id=470&admin_language=20
- vii <http://www.pg.gda.pl/mech/kim/rymkiewicz/19-20%20Wlasciwosci%20materialow.pdf>
- viii <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Kugelschlagh%C3%A4rtepr%C3%BCfger%C3%A4t.jpg>
- ix <http://www.ge-mcs.com/en/hardness-testing/uci/tiv.html>