	<p style="text-align: center;">POLITECHNIKA LUBELSKA WYDZIAŁ MECHANICZNY KATEDRA INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ</p>	<p style="text-align: center;">Laboratorium Inżynierii Materiałowej ĆWICZENIE Nr 2.2</p>
<p>Akceptował: Kierownik Katedry prof. dr hab. B. Surowska</p>		<p>Opracowali: dr inż. Sławomir Szewczyk mgr inż. Aleksander Łepecki</p>

I. Temat ćwiczenia: **Badania twardości materiałów metodą Rockwella.**

II. Cel ćwiczenia: Badanie związków między budową strukturalną materiałów a twardością. Poznanie zasad pomiaru twardości metodą Rockwella.

III. Ważniejsze pytania kontrolne:

1. Istota pomiaru twardości sposobem Rockwella przy użyciu stożka diamentowego, kulki stalowej lub z węglików spiekanych
2. Budowa i zasada działania twardościomierza Rockwella
3. Zasady doboru różnych skal pomiaru twardości (A, B, C i F)
4. Cel stosowania obciążenia wstępnego F_0 przy pomiarze twardości
5. Błędy pomiarów twardości na powierzchniach cylindrycznych i sferycznych oraz błędy spowodowane brakiem współosiowości badanego elementu i wgłębnika
6. Zalety i wady metody Rockwella
7. Wpływ temperatury odpuszczania na twardość zahartowanej stali
8. Związki między twardością Rockwella a własnościami mechanicznymi stali.

IV. Literatura:

1. Przybyłowicz K.: Metaloznawstwo. WNT, Warszawa 2007.
2. Blicharski M.: Inżynieria materiałowa. WNT, Warszawa 2014.
3. Praca zbior. pod red. A. Werońskiego: Ćwiczenia laboratoryjne z inżynierii materiałowej. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2002.
4. Dobrzański L. A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego. WNT, Warszawa 2002.
5. PN-EN ISO 6508-1. Metale. Pomiar twardości sposobem Rockwella. Część 1: Metoda badań (skale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T).
6. PN-EN ISO 6508-2. Metale. Pomiar twardości sposobem Rockwella. Część 2: Sprawdzanie i wzorcowanie twardościomierzy.
7. PN-93/H-04357. Stal i staliwo. Tablice porównawcze twardości określonej sposobem Rockwella, Vickersa, Brinella, Shore'a i wytrzymałości na rozciąganie.

V. Przebieg ćwiczenia:

1. Urządzenia i materiały do badań

1.1. Twardościomierz Rockwella

1.2. Wzorce kontrolne twardości

1.3. Próbki metali i stopów:

- a) ze stali gatunek 56Si7 po hartowaniu i odpuszczaniu w temperaturze 473°K, 673°K i 873°K
- b) ze stali gatunek C10, C22, C40, C60 po hartowaniu w wodzie
- c) ze stali gatunek C40 hartowane w wodzie, oleju, w strumieniu powietrza
- d) ze stali gatunek C40, C80U, C120U po hartowaniu w wodzie
- e) ze stali gatunek 41Cr4 hartowane powierzchniowo
- f) próbki stalowe po obróbce cieplno-chemicznej: nawęglane, węgloazotowane, chromowane dyfuzyjnie
- g) próbki cienkich taśm stalowych
- h) próbki twardych stopów odlewniczych.

1.4. Instrukcja obsługi twardościomierza Rockwella

1.5. Szlifierka, papiery ściernie.

2. Przebieg badań

Przed rozpoczęciem ćwiczenia student obowiązkowo **zapoznaje się z zaleceniami instrukcji BHP**. Prowadzący zajęcia sprawdza opanowanie wiadomości podanych w instrukcji BHP i znajomość problematyki badawczej. Po dopuszczeniu do wykonania ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

2.1. Uważnie przeczytać instrukcję obsługi twardościomierza

2.2. Sprawdzić jakość powierzchni badanych próbek w miejscu pomiaru twardości. Pomiar powinien być wykonany na płaskiej i gładkiej powierzchni, bez warstwy tlenków i zanieczyszczeń, nie pokrytej smarami. W razie potrzeby szlifować ręcznie stosując papiery ściernie o ziarnistości 100÷300

2.3. Zapoznać się z wymaganiami podanymi w normie PN-EN ISO 6508-1, następnie ustalić niezbędne warunki przeprowadzenia próby:

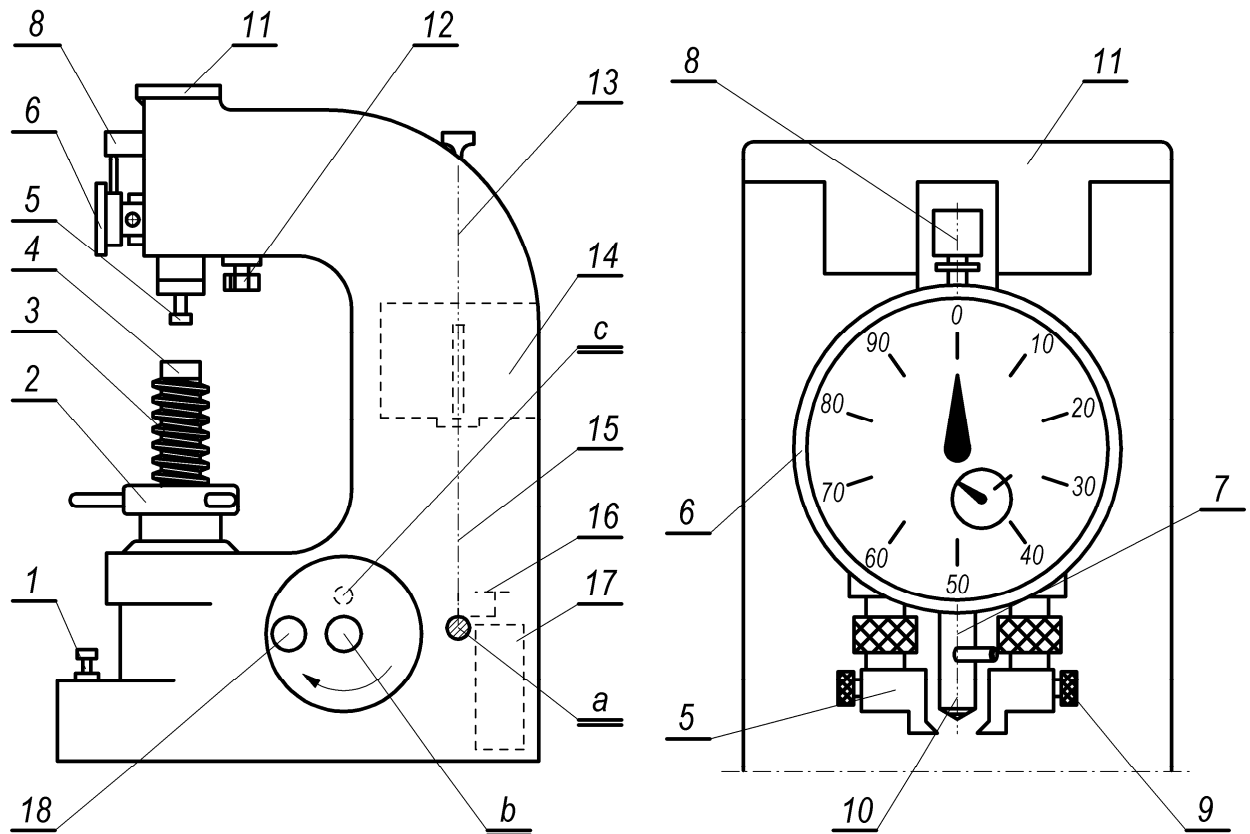
- a) wybrać rodzaj skali (A, B, C lub F) w zależności od grubości badanej próbki lub warstwy oraz przewidywanej twardości
- b) minimalną grubość próbki do badań lub badanej warstwy podano w załączniku B do normy
- c) określić rodzaj wgłębnika (stożek diamentowy lub kulka)
- d) ustalić wartość całkowitej siły obciążającej
- e) ustalić minimalną odległość między środkami dwóch sąsiednich odcisków oraz odległość od brzegu próbki

2.4. Opracować i uzgodnić z prowadzącym ćwiczenia zakres badań (rodzaj wgłębnika, obciążenie, rozmieszczenie odcisków, ilość pomiarów, itp.)

- 2.5. Zgodnie z instrukcją obsługi twardościomierza wykonać minimum trzy pomiary próbne
 - 2.6. Wykonać na każdej otrzymanej próbce po 3 odciski. Wyniki badań zestawić w tablicy pomiarów
 - 2.7. Wykonać szkic badanych próbek z zaznaczeniem miejsc pomiaru twardości
 - 2.8. Przy badaniu wypukłych powierzchni cylindrycznych i sferycznych należy uwzględnić poprawki podane w załączniku C do normy
 - 2.9. W oparciu o PN-93/H-04357 porównać otrzymane twardości HR z twardościami według Vickersa oraz Brinella
3. Opracowanie sprawozdania
- Sprawozdanie z przeprowadzonych badań powinno zawierać:
- 3.1. Cel badań, przedmiot badań, spis literatury
 - 3.2. Schemat ilustrujący zasadę działania twardościomierza Rockwella
 - 3.3. Uzasadnienie wyboru skali pomiarowej
 - 3.4. Szkic badanych próbek z zaznaczeniem miejsc pomiaru twardości
 - 3.5. Tabelaryczne zestawienie wyników badań
 - 3.6. Omówienie błędów pomiaru
 - 3.7. Wykres zmian twardości (np. wpływ temperatury odpuszczania na twardość za hartowanej stali)
 - 3.7. Wnioski dotyczące związków między twardością a budową strukturalną badanych materiałów.
4. Materiały uzupełniające
- 4.1. Instrukcja obsługi twardościomierza Rockwella typ KP-15001
 - 4.2. Polskie Normy
 - PN-EN ISO 6506-1. Metale. Pomiar twardości sposobem Brinella. Część 1: Metoda badań.
 - PN-93/H-04357. Stal i staliwo. Tablice porównawcze twardości określonej sposobem Rockwella, Vickersa, Brinella, Shore'a i wytrzymałości na rozciąganie.

4.1. Instrukcja obsługi twardościomierza Rockwella typ KP-15001

4.1.1. Budowa i zasada działania



Rys.4.1. Schemat twardościomierza Rockwella:

1-przycisk startowy, 2-nakrętka główna, 3-śruba podnośna, 4-stolik przedmiotowy (wymienny), 5-urządzenie dociskowe, 6-czujnik zegarowy, 7-tłocznik wgłębnika, 8-dźwignia główna, 9-śruby mocujące urządzenie dociskowe, 10-wgłębnik (stożek lub kulka), 11-nakładka korpusu z łożyskiem dźwigni, 12-śruba do poziomowania dźwigni głównej, 13-szalka, 14-obciążnik, 15-cięgno, 16-śruba regulacyjna tłumika, 17-tłumik olejowy, 18-pokrętło do zdejmowania obciążenia głównego, a,b,c-punkty smarowania

Zasada działania

Laboratoryjny twardościomierz typ KP-15001 służy do pomiarów twardości metali i stopów metodą Rockwella w skalach A, B, C i F.

Skale twardości

Skala twardości Rockwella	Symbol twardości	Rodzaj wgłębnika	Siła obciążająca wstępna F_0 [N]	Siła obciążająca całkowita F [N]	Podziałka czujnika zegarowego (kolor)
A	HRA	stożek diamentowy	98,07	588,4	czarna
B	HRB	kulka $\phi 1,5875$	98,07	980,7	czerwona
C	HRC	stożek diamentowy	98,07	1471,0	czarna
F	HRF	kulka $\phi 1,5875$	98,07	588,4	czerwona

Wszystkie podzespoły twardościomierza zamontowane są w sztywnym metalowym korpusie. Badaną próbkę umieszcza się na stoliku przedmiotowym (4) podnoszonym za pomocą nakrętki głównej (2) i śruby podnośnej (3). Po podniesieniu stolika do pewnej wysokości, wgłębnik (10) pod działaniem siły F_0 zagłębia się w badaną próbkę. Siłę obciążającą wstępną F_0 określa masa dźwigni głównej (8). Ten etap pomiaru stanowi kalibrację obciążenia wstępnego. W etapie następnym wciśnięcie przycisku startowego (1) powoduje za pośrednictwem mechanizmu dźwigniowego i przekładni zębatej, zwolnienie obciążenia głównego (14) zawieszono na szalce (13). Obciążenie główne wraz z ustalonym uprzednio obciążeniem wstępnym stanowią obciążenie całkowite F , które działa poprzez dźwignię główną (8) na wgłębnik (10).

Ruch dźwigni głównej stanowi również napęd dla czujnika zegarowego (6), na którym odczytuje się wielkość obciążenia wstępnego (mała wskazówka) i wyniki pomiarów twardości odpowiednio dla wybranego rodzaju skali.

4.1.2. Przebieg pomiaru twardości

1. Pokrętko (18) obrócić zgodnie z biegiem wskazówek zegara i ustawić w pozycji „do oporu” (wyraźnie słyszalne stuknięcie zapadki).
2. Na szalkę (13) ostrożnie nałożyć obciążnik (14), którego wartość odpowiada sile obciążającej głównej F_1 dla wybranego rodzaju skali.
3. Umocować wgłębnik (10) - stożek diamentowy lub oprawkę z kulką w gnieździe tłoczni (7), dokręcić wkretem.
4. Dobrać odpowiedni stolik przedmiotowy (4) w zależności od wielkości i kształtu badanego przedmiotu. Osadzić stolik w gnieździe śruby podnośnej (3).
5. Sprawdzić jakość powierzchni badanej próbki w miejscu pomiaru twardości. Pomiar powinien być wykonany na płaskiej i gładkiej powierzchni, bez warstwy tlenków i zanieczyszczeń, nie pokrytej smarami. W razie potrzeby szlifować ręcznie

stosując papiery ściernie o ziarnistości 100÷300. Powierzchnia styku próbki ze stolikiem przedmiotowym powinna być płaska i wolna od zanieczyszczeń. W przypadku elementów o kształcie cylindrycznym należy zastosować stolik z pryzmą stalową o twardości co najmniej 60 HRC. Grubość próbki do badań nie może być mniejsza od 10-krotnej wartości trwałego przyrostu głębokości odcisku.

6. Umieścić próbkę na stoliku przedmiotowym w taki sposób, aby zapewnić prostopadłość badanej powierzchni do osi węgelnika i kierunku działania siły obciążającej oraz tak, aby urządzenie dociskowe (5) zabezpieczało przed przesunięciem się próbki podczas pomiaru.
7. Tarczę podziałową czujnika zegarowego (6) obrócić tak, aby cyfra „0” (czarna) znalazła się na pionowej osi czujnika w górnym jej położeniu (niektóre czujniki posiadają kreskę, według której ustawia się zero skali).
8. Obracając w prawo nakrętkę główną (2) podnieść stolik do zetknięcia powierzchni badanej ze stopkami urządzenia dociskowego (5). Uważnie obserwując wskazówki czujnika (małą i dużą) w dalszym ciągu powoli podnosić stolik do momentu, gdy mała wskazówka pokryje się z kreską czerwoną a jednocześnie duża pokryje się z cyfrą „0” w przypadku stożka diamentowego (nastąpi to przy około dwóch pełnych obrotach dużej wskazówki), lub z działką „30” (skala czerwona) podczas pomiaru węgelnikiem kulkowym.
9. Takie ustawienie zapewnia uzyskanie obciążenia wstępnego F_0 (98,07 N). Jeżeli nie udało się uzyskać takiego położenia dużej wskazówki czujnika (6), to znaczy wskazówka obróciła się za daleko o max 5 działek lub za blisko max 3 działki od położenia „0”, wówczas obracamy skalę tak, aby nastąpiło pokrycie się wskazówki z „0” skali. Nie wolno cofać (opuszczać stolika) nakrętkę, aby uzyskać właściwe ustawienie zera.
10. Na chwilę wcisnąć do oporu przycisk startowy (1). Wciśnięcie przycisku spowoduje zwolnienie obciążenia głównego F_1 , wówczas pokrętło (18) obraca się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, aż do momentu wyraźnie słyszalnego stuknięcia zapadki. Czas obrotu pokrętła (zwiększania siły obciążającej) wynosi około 8 sekund. Całkowita siła obciążająca F powinna działać przez $4\text{ s} \pm 2\text{ s}$.
11. Obrócić do „oporu” zgodnie z biegiem wskazówek zegara pokrętło (18). Spowoduje to usunięcie siły głównej F_1 przy jednoczesnym pozostawieniu siły wstępnej F_0 .
12. Wynik pomiaru twardości odczytać na skali czujnika. Pokrycie się dużej wskazówki z działką skali pozwala na bezpośredni odczyt twardości z dokładnością do 0,5 jednostki HR. Gdy węgelnikiem jest stożek diamentowy odczytu twardości dokonujemy na skali czujnika z działkami czarnymi, przy kulce z działkami czerwonymi.
13. Opuścić stolik przedmiotowy obracając w lewo nakrętkę główną (2) tak, aby próbkę można było swobodnie przesunąć do wykonania następnego odcisku.
14. Następny pomiar na powierzchni próbki wykonać w odległości nie mniejszej jak 3 mm, zgodnie z punktami 2÷13.

4.1.3. Uwagi ogólne

- a) Pomiar twardości za pomocą kulki może być stosowany dla metali i stopów o twardości 20÷100 HRB lub 60÷100 HRF (do około 230 HBW).
- b) Stożek diamentowy (skala C i A) należy stosować do badania stali po obróbce cieplnej lub cieplno-chemicznej mającej na celu uzyskanie, między innymi twardości 20÷70 HRC lub 20÷88 HRA, bądź innych stopów o takiej twardości.
- c) Badanie twardości zbyt blisko krawędzi przedmiotu, bądź nie zachowanie właściwej odległości od środków poprzednich odcisków może spowodować uszkodzenie stożka diamentowego.
- d) Często popełnianym błędem przy pomiarze twardości sposobem Rockwella jest niewłaściwe ustawienie dużej wskazówki na zerze. Podczas pomiaru nie wolno ustawiać wskazówki na zero podziałki czerwonej, lecz zawsze na zero skali z podziałką czarną (czarna cyfra „0” pokrywa się z czerwoną działką „30”).
Takie ustawienie zera obowiązuje zarówno przy pomiarze twardości kulką jak i stożkiem diamentowym. Natomiast twardość w jednostkach HR podczas pomiaru stożkiem odczytujemy na skali z liczbami czarnymi, zaś przy pomiarze kulką na skali z liczbami czerwonymi.