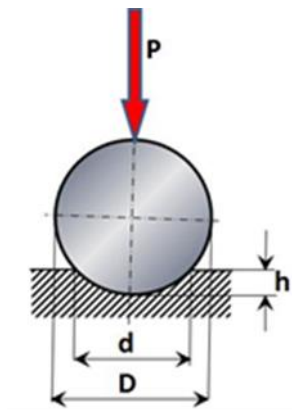


## Pomiary twardości metali



Opracował : dr inż. Konrad Konowski \*)

Szczecin 2005 r.

\*) Opracowano na podstawie skryptu [1]

# 1. Wprowadzenie

Twardość jest miarą odporności materiału (ciała stałego) przeciw lokalnym odkształceniom trwałym, powstałym na powierzchni badanego przedmiotu wskutek wciskania w nią drugiego twardszego ciała zwanego wgłębnikiem. Wgłębnikiem jest zazwyczaj kulka stalowa albo stożek lub ostrosłup. Można wyróżnić następujące metody badań twardości:

- metoda ryskowa
- metody statyczne
- metody dynamiczne

**Metoda ryskowa.** Jest jedną z najstarszych metod i polega na przyrównywaniu twardości badanego materiału do twardości wybranych minerałów. Zaproponowana została przez Mohsa, który wybranym minerałom przyporządkował kolejne liczby od 1 do 10, (tabela1). Tworzą one skalę twardości minerałów. O tym który minerał reprezentuje większą twardość decyduje możliwość jego zarysowania. Na przykład kwarc zarysowuje ortoklaz, natomiast jest zarysowywany przez topaz i stąd jego miejsce w skali Mohsa jest między tymi dwoma minerałami.

Tabela1

Twardość według skali Mohsa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Minerał	talk	gips	kalcyt	fluoryt	apatyt	ortoklaz	kwarc	topaz	korund	diament

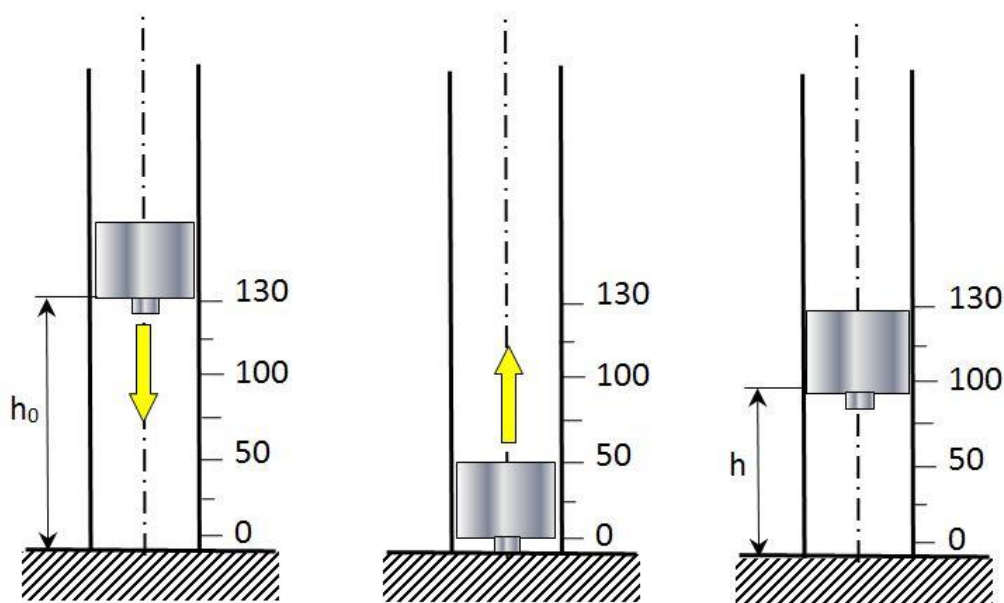
**Metody statyczne.** W metodach tych twardość materiału określa się w zależności od wartości siły obciążającej wgłębnik i wielkości odkształcenia trwałego wywołanego działaniem tej siły. Do najbardziej rozpowszechnionych metod statycznych zalicza się metody: Brinella, Rockwella i Vickersa. Wybór metody zależy od twardości badanego materiału oraz od grubości badanego elementu lub badanej warstwy.

**Metody dynamiczne.** Dynamiczne pomiary twardości wykonywane są znacznie rzadziej niż statyczne. Bezpośrednią przyczyną takiej sytuacji jest ich mniejsza dokładność. Wykorzystuje się je przeważnie dla celów kontroli pracy i jakości materiałów. Dynamiczny pomiar twardości polega na udarowym działaniu wgłębnika na badaną powierzchnię. Wyróżnić tu można metodę Shore'a oraz metodę porównawczą za pomocą młotka Poldi'ego.

Metoda Shore'a polega na pomiarze wysokości odbicia od badanego materiału swobodnie spadającego z określonej wysokości ciężarka stalowego o masie 2.626 g zakończonego twardym wgłębnikiem. Jest ona najczęściej stosowana do pomiaru twardości gumy. Przedstawiono ją schematycznie na rys.1. Ze względu na krótki czas pomiaru znalazła ona zastosowanie w masowym pomiarze twardości małych przedmiotów. Ponieważ wysokość odbicia ciężarka oprócz twardości zależy od modułu sprężystości materiału, wyskalowany skleroskop nadaje się tylko do pomiaru twardości materiałów o jednakowym module Younga.

Udoskonaloną wersją metody skleroskopowej Shore'a jest metoda dynamiczna (odbicia sprężystego) opracowana przez Dietmara Leeba w 1974r. Została ona opatentowana przez firmę Proceq w 1975r. Oznaczenie twardości metalu w skali Leeba polega na pomiarze prędkości masy udarowej przed i po uderzeniu w próbkę oraz odpowiednim przeliczeniu otrzymanych wartości.

Element uderzający o masie 5,5 g (stanowiący masę uderową), zakończony kulką z węgliku wolframu, wyrzucany jest w kierunku próbki siłą sprężyny. Rezultatem pomiaru jest iloraz prędkości bijaka po odbiciu przez prędkość przed odbiciem, pomnożony przez 1000. Wynik pomiaru (0–1000) jest w dużym stopniu uzależniony od modułu Younga, jako cechy określającej próbkę. Twardościomierze Leeba podają wyniki w jednostkach HL, a także – po automatycznej konwersji – w skalach Brinella, Rockwella i Vickersa oraz Rm MPa.



Rys.1. Schemat pomiaru twardości metodą Shore'a [2]

Metoda porównawcza pomiaru twardości przy pomocy młotka Poldi'ego polega na jednoczesnym wgnieceniu stalowej kulki w badany materiał oraz w płytkę wzorcową uderzeniem młotka o masie 0.5 kg (rys.2). Twardość określa się na zasadzie porównania odcisku w badanym materiale i płytce wzorcowej.

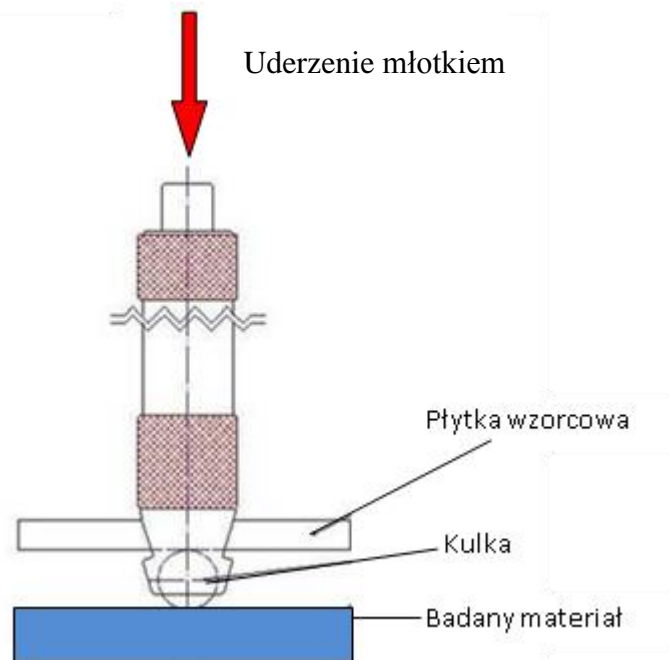
Materiały mogą być badane na makrotwardość i mikrotwardość. Przy badaniu makrotwardości określa się twardość materiału jako całości, natomiast przy badaniach mikrotwardości określa się twardość poszczególnych składników strukturalnych danego materiału. Próby mikrotwardości stosowane są również ze względu na konieczność pomiaru twardości elementów o bardzo małych wymiarach takich jak:

- druty o średnicach rzędu 0.1 mm,
- żyłki w przekroju poprzecznym,
- cienkie warstwy galwaniczne, nawęglane, azotowane itp.

gdzie użycie dużych sił grozi uszkodzeniem badanych elementów.

Zastosowanie małych obciążeń wywieranych przez wgłębnik na badaną próbkę powoduje uzyskiwanie bardzo małych odcisków. Aparatura przeznaczona do pomiaru takich odcisków musi gwarantować dużą dokładność odczytu. Wśród badań mikrotwardości można wymienić metodę Vickersa i Knoopa. W tego rodzaju badaniach obciążenia przyjmują wartości niższe od 9.8N. Metoda Knoopa polega na wciskaniu w badany materiał diamentowego ostrosłupa o podstawie rombu. Twardość określa się jako stosunek siły obciążającej do powierzchni rzutu odcisku. Metoda ta służy do pomiarów twardości i

mikrotwardości podobnie jak metoda Vickersa. Jest jednak ona dokładniejsza w porównaniu do metody Vickersa.



Rys.2. Schemat pomiaru twardości za pomocą młotka Poldi'ego [2]

Badania twardości są szeroko stosowane w przemyśle przy kontroli zarówno półfabrykatów jak i wyrobów gotowych, np. przy sprawdzaniu prawidłowości obróbki cieplnej. Jako przykład można podać czop wału korbowego silnika spalinowego. Powierzchnia zewnętrzna czopa, współpracująca z panewką, powinna mieć dużą twardość w celu zapewnienia odporności na ścieranie. Jednocześnie ze względu na charakter pracy wału korbowego ( duże obciążenia dynamiczne) wymaga się, aby rdzeń charakteryzował się dużą udarnością. Wynika stąd, że w przekroju poprzecznym wału twardość czopa powinna być zmienna. Największa na powierzchni zewnętrznej i malejąca w kierunku osi czopa. Zbyt duża twardość może powodować np. łuszczenie się powierzchni lub szybsze zużycie elementów współpracujących, zbyt mała twardość może powodować trudność w uzyskaniu wymaganej gładkości.

## 2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi metodami pomiaru twardości metali (Brinella, Rockwella, Vickersa), urządzeniami służącymi do tego celu oraz praktycznym określeniem twardości różnych metali tymi metodami. Na podstawie zmierzonej twardości HB ( w stopniach Brinella), należy wyznaczyć orientacyjną wartość  $R_m$  badanych materiałów, porównać ją z wartością ( $R_m$ ) podaną w odpowiedniej normie materiałowej i przeprowadzić dyskusję otrzymanych wyników.

### 3. Pomiar twardości metodą Brinella.

Metoda Brinella polega na wciskaniu określoną siłą wglębniaka, w postaci hartowanej kulki stalowej lub kulki z węglików spiekanych o średnicy  $D$ , w powierzchnię badanego materiału w określonym czasie. Nazwa tej metody pochodzi od nazwiska jej twórcy Brinella, który wprowadził ją w 1900 roku. Według normy **PN-EN ISO 6506-1;2002** jako wglębniaki używane są kulki stalowe hartowane o znormalizowanych średnicach 1,0; 2,5; 5; 10 mm. Zalecana średnica kulki wynosi 10 mm.

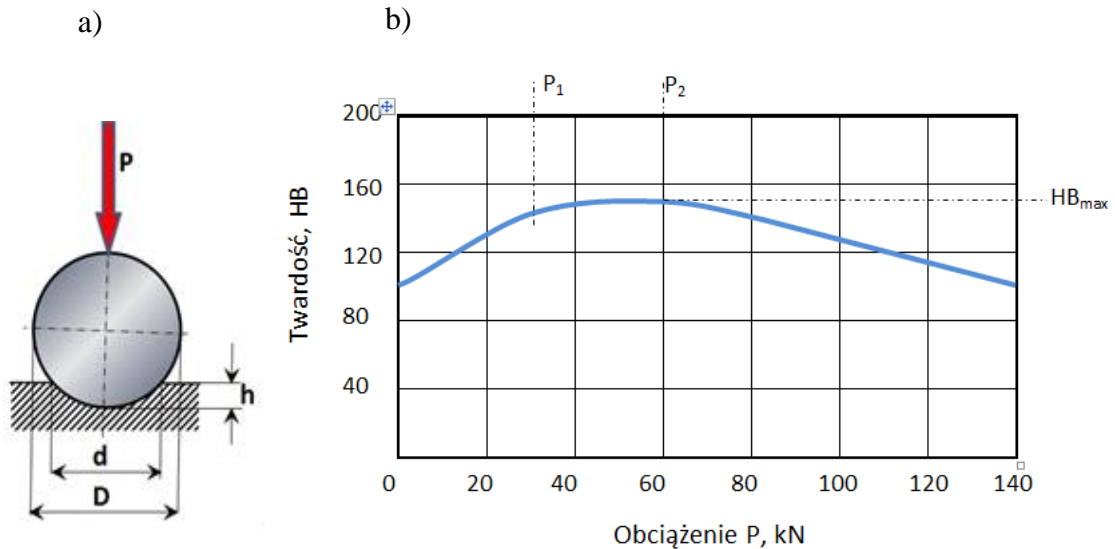
Twardość Brinella określa stosunek siły  $P$  wciskającej wglębniak do pola  $A$  trwałego odcisku, który w postaci czaszy kulistej utworzy się na powierzchni materiału

$$HB = 0,102 \frac{P}{A} \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad (1)$$

Jest to więc średnia wartość ciśnienia obliczonego w sposób umowny, po osiągnięciu którego kulka przestaje się zagłębiać w materiał. Zasadę pomiaru twardości przedstawiono na rys.3a. Uwzględniając zależności geometryczne, wzór (1) można przedstawić w następującej postaci:

$$HB = 0,102 \cdot \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot \left[ D - \sqrt{D^2 - d^2} \right]} \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad (2)$$

gdzie:  $P$  – siła obciążająca [N]  
 $D$  – średnica kulki [mm]  
 $d$  – średnica odcisku [mm]



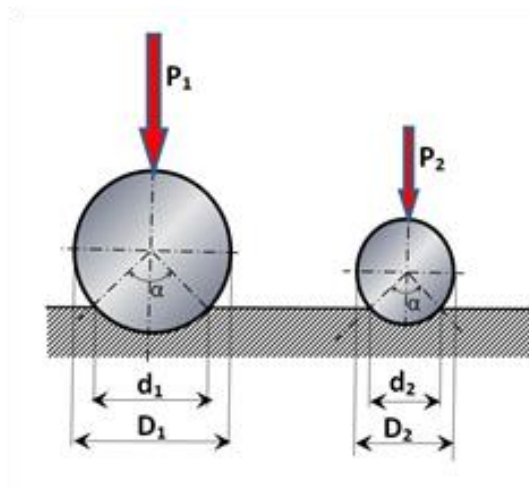
Rys.3. a) Zasada pomiaru twardości metodą Brinella,  
 b) Wpływ obciążenia na wartość twardości [3]

Analizując wzór (2) można zauważyć, że odnośnienie pomiaru twardości do pola powierzchni czaszy zamiast do jej rzutu, zaniża otrzymaną wartość twardości, ponieważ ze wzrostem średnicy odcisku pole powierzchni czaszy rośnie szybciej niż pole powierzchni jej rzutu. Efekt ten można jednak traktować jako kompensację wpływu miejscowego wzmocnienia się materiału w trakcie wykonywanej próby.

Wzór (2) jest zależnością wiążącą siłę, wymiary kulki, wgłębnika oraz średnicy odcisku. Z badań wynika, że badając ten sam materiał za pomocą takiej samej kulki, ale przy zastosowaniu dwóch różnych sił obciążających otrzymuje się różne średnice odcisków, a tym samym różne wartości twardości. A zatem nie jest zachowana zasada podobieństwa i zależność między siłą obciążającą  $P$  a twardością  $HB$  nie jest funkcją liniową. Zależność ta ma postać pewnej krzywej, która na przykład dla stali przedstawiona jest na rys.3b. Z wykresu tego wynika, że dla określenia twardości materiału należałoby wyznaczyć maksymalną wartość  $HB_{max}$ . Jest to jednak zadanie bardzo pracochłonne, ponieważ wymaga przeprowadzenia wielu prób. Z tego względu, na podstawie badań doświadczalnych uznano, że skoro w pewnym przedziale obciążeń  $P_1 \leq P \leq P_2$  wartości twardości mało różnią się między sobą, można dla realizacji próby dobrać dowolną wartość siły  $P$  z tego właśnie przedziału. Warunek taki będzie spełniony, o ile średnica odcisku  $d$  zawarta będzie w granicach

$$0,25D \leq d \leq 0,6D. \quad (3)$$

W celu uzyskania jednakowych liczb twardości  $HB$  dla tego samego materiału przy zastosowaniu kulek o różnych średnicach  $D$ , należy tak dobrać naciski  $P$  dla każdej kulki, aby wystąpiły jednakowe rozkłady ciśnień na powierzchni odcisków (jednakowe stany naprężeń), tzn. aby zachodziło podobieństwo statyczne prób, wówczas odciski będą geometrycznie podobne. Dla osiągnięcia tego podobieństwa siły nacisku muszą być proporcjonalne do kwadratu dowolnie obranego wymiaru liniowego kulki lub odcisku. Może nim być np. średnica kulki, wtedy



Rys.4. Podobieństwo geometryczne odcisków kulkami o różnej średnicy [1]

$$\frac{P_1}{D_1^2} = \frac{P_2}{D_2^2} = K \quad (4)$$

Z warunku porównywalności prób wynika, że należy tak dobierać wartości nacisku  $P$  dla różnych kulek, aby był zachowany stały współczynnik  $K$  (współczynnik porównywalności). Wartości  $K$  dla różnych materiałów należy z kolei tak dobrać, aby średnica  $d$  odcisku spełniała warunek (3). Wartość siły obciążającej oblicza się według wzoru:

$$P = 9,807 \cdot K \cdot D^2 \quad (5)$$

gdzie:  $P$  - siła obciążająca [N]  
 $D$  – średnica kulki [mm]  
 $K$  - współczynnik porównywalności

W zależności od twardości badanego materiału stosuje się dwa rodzaje kulek. Do metali o twardości do 450 HB stosuje się kulki stalowe o twardości min. 850 HV 10, a metale o twardości do 650 HB bada się kulką z węglików spiekanych. Według PN-EN w zakresie twardości powyżej 350 HB należy rozróżnić w zapisie twardości otrzymane przy pomocy kulki stalowej (HBS) i kulki wykonanej z węglików spiekanych (HBW). Symbol jednostki Brinella składa się z trzech cyfr wyrażających wartość twardości (zawsze są to trzy cyfry znaczące np. 350; 51,7; 7,25), symbolu twardości Brinella HB (HBS, HBW) oraz liczb oznaczających średnicę kulki, wartość stosowanego obciążenia oraz czas jego działania. Na przykład twardość Brinella zmierzona za pomocą stalowej kulki o średnicy  $D=5$  mm, pod obciążeniem  $P=7355$  N działającego w ciągu 10 – 15 s i wywołująca odcisk o średnicy  $d=1,630$  jest oznaczona następująco:

350HBS 5/750                      lub              350 HB 5/750

Tabela 2. Zalecane wartości współczynnika  $K$

Zalecana wartość $K$	Twardość Brinella HB, (HBS lub HBW)	Rodzaj badanego materiału
30	96÷650	stal, żeliwo i stopy niklu, tytanu, kobaltu o twardości > 140 HB, miedź i jej stopy o twardości > 200 HB
15	50÷325	miedź i jej stopy o twardości 50÷300 HB metale lekkie i ich stopy oraz stopy łożyskowe o twardości > 50 HB
10	32÷200	żeliwo i stopy niklu, tytanu, kobaltu o twardości < 140 HB, miedź i jej stopy o twardości 35÷200 HB, metale lekkie i ich stopy o twardości > 80 HB
5	16÷100	miedź i jej stopy o twardości < 35 HB, metale lekkie i ich stopy oraz stopy łożyskowe o twardości 35÷80 HB
2,5	8÷50	metale lekkie i ich stopy oraz stopy łożyskowe o twardości < 35 HB
1,25	4÷25	ołów, cyna, stopy łożyskowe oraz inne metale o twardości < 20 HB
1	3,2÷20	

Zapis twardości upraszcza się jeśli stosuje się warunki standardowe, tj. kulkę o średnicy  $D=10$  mm, siłę obciążającą  $P= 29420$  N działającą przez 10 – 15 s. W takim przypadku zapis składa się tylko z wartości twardości odczytanej z norm na podstawie średnicy odcisku i symbolu oznaczającego użycie metody Brinella, np. gdyby średnica odcisku była  $d=4,42$  mm wówczas oznaczenie wyraziłoby się symbolem

185 HBS                      lub           185 HB

Jeżeli czas działania siły mieści się w przedziale od 10 do 15 s, to niezależnie od wielkości kulki i działającej siły w zapisie twardości Brinella pomija się jego oznaczenie.

Powierzchnia próbki lub przedmiotu w miejscu pomiaru powinna być płaska i gładka, wolna od zgorzeliny, smaru oraz innych zanieczyszczeń. Chropowatość obrobionych mechanicznie próbek nie powinna przekraczać  $R_a=5$   $\mu$ m. Pomiaru twardości dokonuje się w temperaturze  $20\pm 15^\circ\text{C}$  obciążając wgłębnik równomiernie i bez wstrząsów. Do określenia twardości konieczne jest wykonanie przynajmniej trzech odcisków zwracając uwagę na minimalne dopuszczalne odległości między sąsiednimi odciskami. Pomiar średnicy należy mierzyć w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach. Jako wynik przyjmuje się średnią z tych dwóch pomiarów, a wynik odczytuje się z tablic twardości zamieszczonych w normie.

Pomiar odcisku przeprowadza się za pomocą mikroskopu lub lupy. Powinien on zapewniać odpowiednią dokładność zależną od typu badań:

Przy badaniach odbiorczych

dla średnic odcisków  $d \leq 2,5$  mm z dokładnością do 0,01 mm

dla średnic odcisków  $d > 2,5$  mm z dokładnością do 0,05 mm

Przy badaniach rozjemczych

dla średnic odcisków  $d \leq 2,5$  mm z dokładnością do 0,006 mm

dla średnic odcisków  $d > 2,5$  mm z dokładnością do 0,025 mm

Skala urządzenia pomiarowego powinna być tak podzielona, aby umożliwić pomiar średnicy odcisku z dokładnością do  $\pm 0,5\%$ .

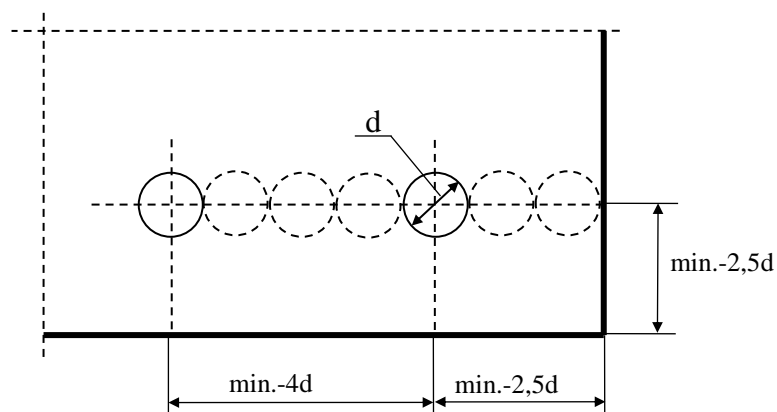
Kształt próbek powinien zapewniać ich nieruchome ustawienie w taki sposób, aby badana powierzchnia była prostopadła do kierunku działania siły obciążającej. Najmniejszy dopuszczalny promień krzywizny badanej powierzchni nie może być mniejszy niż  $3D$ . Grubość próbek do badań powinna uniemożliwiać powstanie lokalnego odkształcenia na powierzchni przeciwległej do odcisku. Przyjmuje się, że powinna ona być nie mniejsza od 10 głębokości odcisku.

Istotnym problemem przy prowadzeniu pomiarów twardości metodą Brinella jest zachowanie odpowiednich odstępów między odciskami. Przy twardościach większych niż 35HB odstęp środków dwóch sąsiednich odcisków powinien być większy od 4-ch średnic odcisku ( $4d$ ), natomiast odstęp środka odcisku od krawędzi badanej powierzchni powinien być większy od  $2,5d$ . Jeżeli twardość badanego materiału jest mniejsza od 35 HB wtedy wymienione wyżej odstępów należy zwiększyć odpowiednio do  $6d$  i  $3d$ .

Między twardością HB w stopniach Brinella a wytrzymałością na rozciąganie  $R_m$  w [MPa] istnieją pewne zależności. Na podstawie licznych badań ustalono [2]:

- dla stali o twardości  $125 \leq HB \leq 175$   $R_m=3.33 HB$
- dla stali o twardości  $HB > 175$   $R_m=3.53 HB$
- dla aluminium (odlewanego)  $R_m=2.55 HB$
- dla brązu i mosiądzu wyzarzonego  $R_m=5.39 HB$
- dla brązu i mosiądzu walcowanego  $R_m=3.92 HB$
- dla żeliwa szarego  $R_m= (HB-40)/6$





Rys.5. Ilustracja minimalnych odległości między kolejnymi odciskami przy badaniach twardości metodą Brinella [3]

Wyznaczone na podstawie twardości HB wartości  $R_m$  mogą być traktowane tylko wielkości orientacyjne. Norma PN-93/ H-04357 zawiera porównawcze twardości określone metodą Brinella, Rockwella, Vickersa, Shore'a i wytrzymałości na rozciąganie dla stali i staliwa.

Pomiaru twardości dokonuje się na urządzeniu pokazanym na rys.6. Badany materiał układa się na ruchomym stoliku. Do obudowy należy założyć kulkę o odpowiedniej średnicy. Na skali Brinella dobrać odpowiedni zakres obciążenia. Następnie należy dosunąć próbkę do obudowy wgłębnika, w celu oględzin powierzchni próbki poprzez głowicę optyczną. Następnie obracając dźwignię ustawić wgłębnik w pozycji pionowej i obciążyć siłą. Po ustaleniu się maksymalnego obciążenia odczekać 10 – 15 s w celu zdjęcia obciążenia i usunięcia wgłębnika. Poprzez układ optyczny odczytać średnicę odcisku w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach.



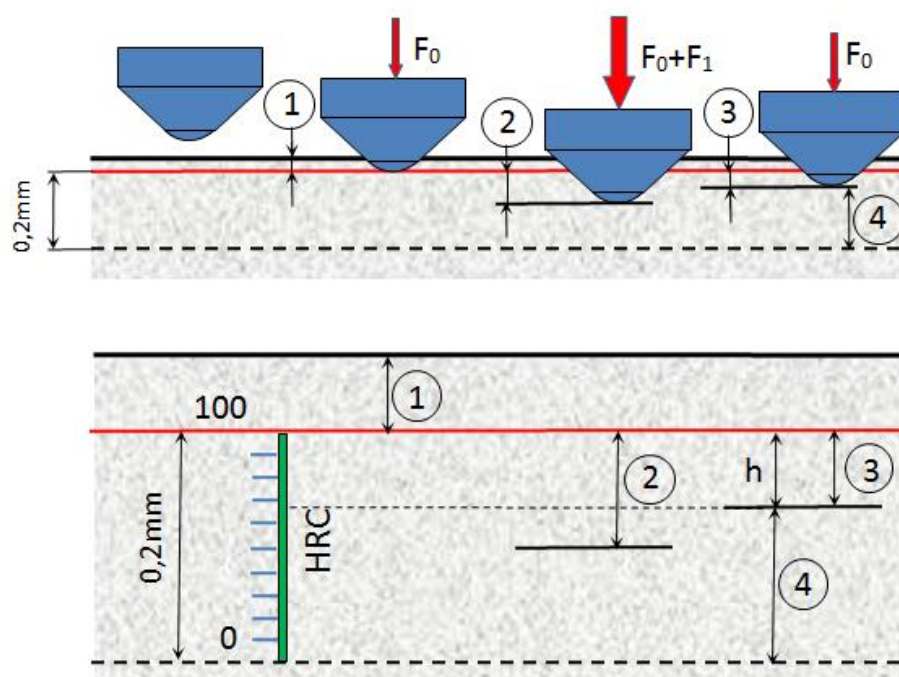
Rys.6. Ogólny widok twardościomierza do pomiarów twardości metodą Brinella i Vickersa

Wykonanie ćwiczenia:

- dokonać oględzin powierzchni próbki
- określić grupę materiałową oraz przypuszczalną twardość badanego materiału
- dobrać parametry próby ( rodzaj wgłębnika, obciążenie , czas)
- ustawić próbkę na stoliku twardościomierza
- dokonać pomiaru zgodnie ze schematem w opisie stanowiska
- dokonać pomiaru średnicy odcisku
- powtórzyć pomiar trzykrotnie dla każdej z badanych próbek
- obliczyć wg wzoru (2) bądź korzystając z norm wyznaczyć twardość badanych próbek.
- zapisać wyniki w protokole pomiarów

#### 4. Pomiar twardości metodą Rockwella

Zgodnie z **PN-EN ISO 6508-1:2002** pomiar twardości metodą Rockwella polega na dwustopniowym wciskaniu w badany materiał prostopadle do jego powierzchni wgłębnika siłą wstępną  $F_0$ , a następnie siłą główną  $F_1$ . Przy obciążeniu wgłębnika siłą  $F_0$  wnika on na głębokość **1** ( rys.7).

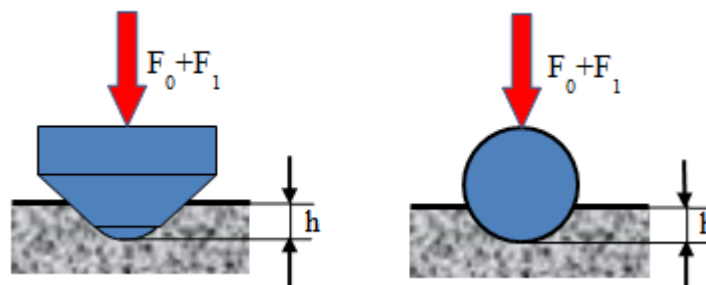


Rys.7. Zasada pomiaru twardości metodą Rockwella:

- 1-głębokość odcisku pod wpływem wstępnej siły obciążającej  $F_0$
- 2-głębokość odcisku pod wpływem wstępnej i głównej siły obciążającej
- 3- głębokość odcisku po usunięciu głównej siły obciążającej  $F_1$

Jest to punkt odniesienia pomiaru, czyli punkt „zerowy”. W tym położeniu następuje wyzerowanie czujnika, w który wyposażony jest twardościomierz. Obciążenie wstępne stosuje się w celu zmniejszenia błędu pomiarowego spowodowanego niejednorodnością powierzchni. Obciążenie wgłębnika siłą główną  $F_1$  powoduje dalsze wnikanie wgłębnika w badany materiał do głębokości **2** wskazywanej przez czujnik twardościomierza. Na odkształcenie to (zagłębienie) składają się odkształcenia trwałe jak i odkształcenia sprężyste. W celu usunięcia odkształceń sprężystych obciążenie zostaje zmniejszone do obciążenia wstępnego  $F_0$ . W wyniku tego wgłębnik zostaje wypchnięty z materiału na głębokość **3** pod wpływem odkształceń sprężystych. Miarą twardości jest trwały przyrost głębokości odcisku **3** pod działaniem określonej siły wstępnej, po usunięciu głównej siły obciążającej.

Wgłębnikiem w opisywanej metodzie może być hartowana stalowa kulka o twardości min. 850 HV 10 i średnicy  $1/16''=1,5875$  mm (skala B,F,G,T) lub  $1/8''=3,175$  mm (skala E,H,K) bądź diamentowy stożek o kącie wierzchołkowym  $120^\circ$  i promieniu zaokrąglenia stożka 0,2 mm (rys.8). Kąt wierzchołkowy stożka został tak dobrany aby wyniki otrzymywanej twardości przy użyciu różnej siły dawały jednakowe wyniki. Pozwoliło to na uniezależnienie wyniku od wartości siły co jest kłopotliwe w przypadku pomiarów przy użyciu kulek.



Rys.8. Wgłębniki stosowane w metodzie Rockwella do pomiarów twardości

Twardość oblicza się korzystając z zależności:

$$\text{Twardość Rockwella} = HR = N - \frac{h}{S} \quad (6)$$

gdzie:  $N$  – oznacza stałą zależną od rodzaju wgłębnika ( $N=130$  dla kulki,  $N=100$  dla stożka)  
 $S$  – jest jednostką twardości HR zależną od dobranej skali (0,002 mm, lub 0,001 mm)

Maksymalne wartości twardości (przy  $h=0$ ), które można zmierzyć metodą Rockwella wynoszą odpowiednio 100 HR i 130 HR.

Dokładnością jaką winien zapewnić czujnik jest 0,5 HR, co odpowiada zagłębieniu wgłębnika o 0,001 mm. Zapis twardości ogranicza się do podania odczytanej z czujnika wartości twardości oraz symbolu HR uzupełnionego o literę skali, według której został przeprowadzony pomiar np. 87HRB lub 60HRC

Orientacyjne zestawienie grup materiałowych z przypisaniem poszczególnych skal zgodnie z PN-EN jest następujące:

- Skala **A** do stali węglowych i stopowych w stanie zahartowanym i ulepszonym cieplnie, do cienkich wyrobów stalowych, przedmiotów stalowych płytko

utwardzonych przez nawęglanie, do węglików spiekanych i innych stopów o twardości 60 -80HRA

- Skala **B** do wyrobów z miękkich stali, do stali węglowych i stopowych w stanie zmiękczone lub normalizowanym, żeliwa ciągliwego, stopów miedzi, aluminium oraz innych stopów metali nieżelaznych o twardości 30 – 100HRB
- Skala **C** do materiałów twardszych niż 100 HRB np. do stali węglowych i stopowych w stanie hartowanym lub ulepszonym cieplnie, wyrobów stalowych głęboko utwardzonych przez nawęglanie, twarde odlewów żeliwnych, perlitycznego żeliwa ciągliwego, tytanu oraz innych materiałów i stopów o twardości 20 – 67HRC. Górną granicą stosowania tej skali jest liczba twardości 67HRC jaką można uzyskać w stalach węglowych narzędziowych

Tabela 3

Symbol	Określenie	Jednostka
F <sub>0</sub>	Siła obciążająca wstępna	N
F <sub>1</sub>	Siła obciążająca główna	N
F	Siła obciążająca całkowita	N
S	Jednostka skali, odpowiednia do skali	mm
N	Stała liczbowa, odpowiednia do skali	
h	Trwały przyrost głębokości odcisku pod działaniem wstępnej siły obciążającej po usunięciu siły obciążającej głównej	mm
HRA HRC HRD	<b>Twardość Rockwella=</b> $100 - \frac{h}{0,002}$	
HRB HRE HRF HRG HRH HRK	<b>Twardość Rockwella=</b> $130 - \frac{h}{0,002}$	
HRN HRT	<b>Twardość Rockwella=</b> $100 - \frac{h}{0,001}$	

- Skala **D** do cienkich wyrobów stalowych, przedmiotów stalowych średnio głęboko utwardzonych przez nawęglanie, do perlitycznego żeliwa ciągliwego.
- Skala **E** do odlewów żeliwnych, aluminium, stopów magnezu, metali i stopów łożyskowych.
- Skala **F** do stali węglowych i stopowych w stanie zmiękczone lub normalizowanym, wyżarzonych stopów miedzi oraz innych stopów metali nieżelaznych, do miękkich blach cienkich o twardości 60 – 100HRF.
- Skala **G** do żeliwa ciągliwego, stopów miedziowo-niklowo-cynkowych do twardości 92HRG
- Skala **H** do aluminium, cynku i ołowiu.
- Skala **K** do metali i stopów łożyskowych oraz innych bardzo miękkich i cienkich materiałów metalowych

- Skala **N** do stali węglowych i stopowych w stanie zahartowanym ulepszonym cieplnie lub utwardzonym obróbką plastyczną oraz do pomiarów twardości warstwy nawęglonej oraz innych stopów przy grubości przedmiotu 0,15 – 0,7 mm.
- Skala **T** do stali w stanie zmięczonym, normalizowanym, przesyconym oraz innych stopów metali nieżelaznych przy grubości przedmiotu 0,25 – 0,7 mm

Tabela 4. Zestawienie sił i zakresów pomiarowych dla różnych skal pomiarowych twardości

Skala twardości Rockwella	Symbol twardości *	Rodzaj wgłębnika	Siła wstępna	Siła główna	Siła obciążająca całkowita	Zakres stosowania (pomiar twardości Rockwella)
			F <sub>0</sub> [N]	F <sub>1</sub> [N]	F [N]	
A	HRA	Stożek diamentowy	98,07	490,3	588,4	20HRA do 88HRA
B	HRB	Kulka 1,5875 mm	98,07	882,6	980,7	20HRB do 100HRB
C	HRC	Stożek diamentowy	98,07	1373	1471	20HRC do 70HRC
D	HRD	Stożek diamentowy	98,07	882,6	980,7	40HRD do 77HRD
E	HRE	Kulka 3,175 mm	98,07	882,6	980,7	70HRE do 100HRE
F	HRF	Kulka 1,5875 mm	98,07	490,3	588,4	60HRF do 100HRF
G	HRG	Kulka 1,5875 mm	98,07	1373	1471	30HRG do 94HRG
H	HRH	Kulka 3,175 mm	98,07	490,3	588,4	80HRH do 100HRH
K	HRK	Kulka 3,175 mm	98,07	1373	1471	40HRK do 100HRK
15N	HR15N	Stożek diamentowy	29,42	117,7	147,1	70HR15N do 94HR15N
30N	HR30N	Stożek diamentowy	29,42	264,8	294,2	42HR30N do 86HR30N
45N	HR45N	Stożek diamentowy	29,42	411,9	441,3	20HR45N do 77HR45N
15T	HR15T	Kulka 1,5875 mm	29,42	117,7	147,1	67HR15T do 93HR15T
30T	HR30T	Kulka 1,5875 mm	29,42	264,8	294,2	29HR30T do 82HR30T
45T	HR45T	Kulka 1,5875 mm	29,42	411,9	441,3	10HR45T do 72HR45T

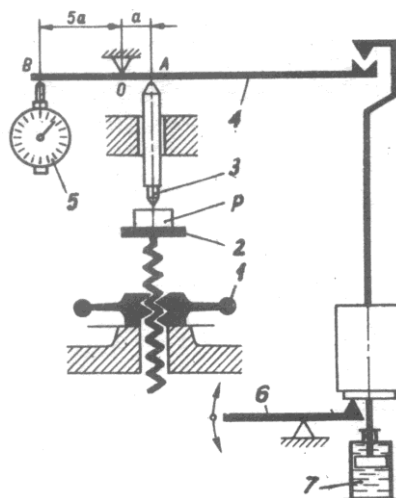
\*Dla skal przy zastosowaniu wgłębnika kulkowego symbol twardości uzupełnia się literą „S”, jeżeli wgłębnik kulkowy jest stalowy, a literą „W” gdy jest on z węglików.

Aby przeprowadzić pomiar twardości metodą Rockwella niezbędne są następujące urządzenia i oprzyrządowanie:

- Układ obciążający, zapewniający płynne i prostopadle do powierzchni próbki zwiększanie nacisku na wgłębnik oraz określone przez normę wartości siły wstępnej i całkowitej
- Stożek diamentowy z zaokrąglonym wierzchołkiem ( promień zaokrąglenia 0,2 mm, kąt wierzchołkowy 120±0,5°, kulka ze stali ulepszonej cieplnie o twardości ≥ 850 HV i średnicy 1/16” lub 1/8”.
- Czujnik zegarowy lub inne urządzenie pomiarowe o dokładności odczytu co najmniej 0,5 jednostki skali HR, co odpowiada 0,001 mm wgłębienia
- Stolik na którym umieszcza się badaną próbkę.

Kształt badanych próbek materiału powinien umożliwiać nieruchome ich ustawienie na stoliku w czasie działania obciążenia oraz zachowanie prostopadłości badanej powierzchni względem osi stożka lub kulki. Grubość przedmiotu powinna być tak dobrana, aby nie powstawały miejscowe odkształcenia na powierzchni przeciwległej do odcisku. Norma zaleca stosowanie próbek o grubości większej od dziesięciokrotnej wartości trwałego przyrostu głębokości odcisku. W badaniach twardości stosuje się próbki, których powierzchnia jest wygładzona (średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości nie powinno przekraczać  $2,5 \mu\text{m}$ ) i oczyszczona ze zgorzeli, smaru lub innych zanieczyszczeń. Promień krzywizny może wpływać na wartości pomiarów twardości o ile nie mieści się w odpowiednich granicach. Zaleca się aby promień krzywizny badanych próbek był większy od 19 mm w przypadku badań z użyciem wgłębnika w postaci stożka diamentowego oraz 12,5 mm przy zastosowaniu stalowej kulki. Przy wykonywaniu próby na powierzchniach o mniejszych promieniach krzywizny, lecz nie mniejszych niż 3 mm, należy zastosować niezbędne poprawki podane w normie.

Schemat twardościomierza Rockwella przedstawiono na rys.9. Pokręcając nakrętkę 1 podnosi się próbkę p ułożoną na stoliku pomiarowym 2 aż do zetknięcia się z wgłębnikiem 3. Od tego położenia podnosi się stolik jeszcze około 2mm, powodując uniesienie się dźwigni 4, która ma środek obrotu w punkcie O. Nacisk samej dźwigni na wgłębnik jest tak wyregulowany, że wynosi dokładnie 9,807 N (10 kG) i stanowi nacisk wstępny. W tym położeniu nastawia się czujnik 5 na wskazania początkowe 100 lub 130 (30 + jeden pełny obrót) zależnie od rodzaju użytego wgłębnika. Czujnik stosowany w twardościomierzach Rockwella jest w zasadzie typowym czujnikiem zegarowym z podziałką obwodową podzieloną na 100 jednostek. Przesunięcie stopki czujnika o 0,01 mm powoduje obrót wskazówki o jedną działkę. Ponieważ stosunek ramion AO:OB. Jest równy 1:5, odpowiada to przesunięciu wgłębnika 0,002 mm. W miarę jak wgłębnik pod działaniem obciążenia całkowitego wciska się w próbkę, wskazówka czujnika cofa się od wskazania 100 (lub 130) dając od razu odczyt liczby twardości. Jednakże odczyt dokonany wtedy, gdy wgłębnik jest obciążony naciskiem całkowitym, nie jest miarodajny, ponieważ na wskazania czujnika w tym stanie wpływa nie tylko wgłębienie odcisnięte trwale w próbce, ale także odkształcenia sprężyste, które pod działaniem obciążenia powstają w próbce i w całym układzie twardościomierza. Należy więc najpierw odciążyć układ do nacisku wstępnego, do obciążenia, przy którym czujnik był ustawiony na wskazania początkowe i dopiero wtedy dokonać odczytu liczby twardości.



Rys.9. Schemat twardościomierza Rockwella: 1-nakrętka, 2- stolik pomiarowy, 3 –wgłębnik, 4 – dźwignia, 5 – czujnik, 6 – dźwignia 7 – amortyzator, p – badana próbka



Rys.10. Ogólny widok twardościomierza Rockwella i jego powiększony fragment

Przebieg pomiaru twardości metodą Rockwella składa się więc z kilku kolejnych etapów:

- założenia w uchwycie odpowiedniego wgłębnika i zawieszenia odpowiednich ciężarków ( rys.9 ) na dźwigni AB
- umieszczenia próbki na stoliku
- realizacja obciążenia wstępnego, za pomocą wyskalowanej sprężyny. Uzyskuje się to przez podniesienie stolika wraz z próbką do zetknięcia próbki z obudową wgłębnika, tak aby wskazówka czujnika zegarowego na małej skali znalazła się w położeniu oznaczonym czerwoną kreską. Wstępne obciążenie wynosi wtedy 9,8 N.
- realizacja obciążenia głównego za pomocą ciężarków. Przedtem należy wyzerować wskazania czujnika na dużej skali. Duża skala podzielona jest na 100 części ( kolor czarny dla stożka oraz kolor czerwony dla kulki)
- odciążenia wgłębnika ( zdejmuje się tylko obciążenie główne) za pomocą dźwigni 6 ( rys.9 )
- odczytu twardość w stopniach Rockwella na odpowiedniej skali

Istotnym zagadnieniem przy pomiarze twardości tą metodą, podobnie jak w przypadku pomiarów twardości metodą Brinella, jest zachowanie odpowiednich odstępów między odciskami. Odstęp środków dwóch sąsiednich odcisków powinien odpowiadać co najmniej 4-ro krotnej średnicy odcisku lecz nie powinien być mniejszy niż 2mm. Odległość między środkiem odcisku a krawędzią próbki powinna odpowiadać co najmniej 2,5 krotnej średnicy odcisku, lecz nie powinna być mniejsza niż 1 mm. Ostateczny wynik pomiaru twardości otrzymuje się jako średnią arytmetyczną twardości obliczonej dla co najmniej 3 pomiarów. Pomiar wykonuje się w temperaturze pokojowej tj.  $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Jeżeli jest wykonywany w innej temperaturze to należy ją podać w protokole pomiarowym. W zależności od rodzaju badanego materiału do próby stosuje się różne czasy obciążenia siłą główną. Czas ten dobiera się w oparciu o zależność powstawania odkształceń trwałych od czasu działania obciążenia. Dla materiałów wykazujących odkształcenia plastyczne, niezależnie od czasu trwania obciążenia, co objawia się wyraźnym zatrzymaniem się wskazań urządzenia pomiarowego, czas ten wynosi od 1s do 3s. W przypadku materiałów o nieznacznej zależności odkształceń

od czasu, czas ten wynosi od 1s do 5s. Nieznaczna zależność odkształceń od czasu działania obciążenia charakteryzuje się nieznacznymi przyrostami wskazań urządzenia pomiarowego. Jeśli urządzenie wskazuje ciągły powolny wzrost wskazań, świadczy to o dużej zależności odkształceń od czasu działania obciążenia, i wówczas czas ten należy wydłużyć do 10 -15 s.

Metoda Rockwella ze względu na swoje zalety jakimi są: bardzo szybki odczyt twardości i znikome uszkodzenia badanego elementu, stosowana jest bardzo często do kontroli części hartowanych w masowej produkcji. Inną zaletą jest możliwość pomiarów twardości materiałów zarówno miękkich jak i twardych. Natomiast wadą tej metody jest różnorodność skal pomiarowych, co znacznie utrudnia porównywanie otrzymywanych wyników, nawet w obrębie tej samej metody. Małe odciski wgłębników w tej metodzie nie pozwalają jednak na pomiary twardości materiałów niejednorodnych.

## 5. Pomiar twardości metodą Vickersa

Metoda pomiaru twardości sposobem Vickersa( **PN-EN ISO 6507-1:1999** ) [7] polega na wciskaniu w próbkę diamentowego wgłębnika w kształcie ostrosłupa o podstawie kwadratu i kącie wierzchołkowym  $136^\circ$  z określoną siłą oraz zmierzeniu długości przekątnych  $d_1$  i  $d_2$  powstałego odcisku, po usunięciu obciążenia ( rys.11). Miarą twardości jest stosunek siły obciążającej  $F$  do pola powierzchni odcisku, którego kształt przyjmuje się jako ostrosłup prosty o podstawie kwadratowej, o tym samym kącie wierzchołkowym jaki ma wgłębnik.

Zgodnie z normą twardość Vickersa oznacza się przez HV i oblicza ze wzoru (7):

$$HV = 0,102 \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2} \quad (7)$$

gdzie:  $F$  - jest to siła obciążająca [N],

$d$  - jest to średnia arytmetyczna z wartości dwóch przekątnych odcisku  $d_1$  i  $d_2$  [mm]

Kształt ostrosłupowy wgłębnika powoduje, że wszystkie odciski są do siebie geometrycznie podobne i że liczba twardości obliczona analogicznie jak w metodzie Brinella nie zależy od wartości zastosowanego nacisku. ( jak to miało miejsce w metodzie Brinella).

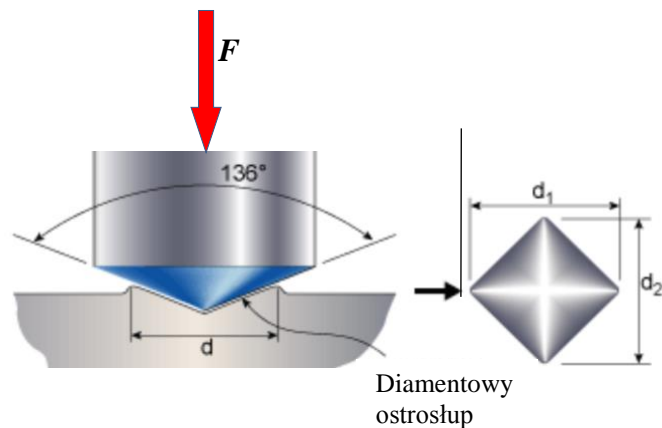
Nazwa metody pochodzi od pierwszego producenta twardościomierzy przystosowanych do prowadzenia badań twardości tym sposobem. Sama metoda opracowana została w 1925 r. przez Smitha i Sandlanda. Wyeliminowała ona wiele ujemnych cech metod Brinella i Rockwella, pozostawiając jednak zalety wymienionych sposobów pomiarów twardości.

W celu zapewnienia porównywalności twardości Vickersa z twardością Brinella, kąt wierzchołkowy wgłębnika został tak dobrany, aby zapewnić jego równość z kątem między stycznymi do odcisku Brinella w optymalnym zakresie obciążeń. W pomiarach twardości sposobem Brinella średnica odcisku  $d$  przeważnie mieści się w zakresie średnic  $0,25 D \div 0,5 D$

Wynika stąd, że średnia wartość średnicy odcisku równa jest  $d=0,375 D$ . Zatem obliczona ze wzoru (8) średnia wartość kąta wgniatania  $\phi = 44^\circ$ .

$$\sin \frac{\phi}{2} = \frac{d}{D} \quad (8)$$



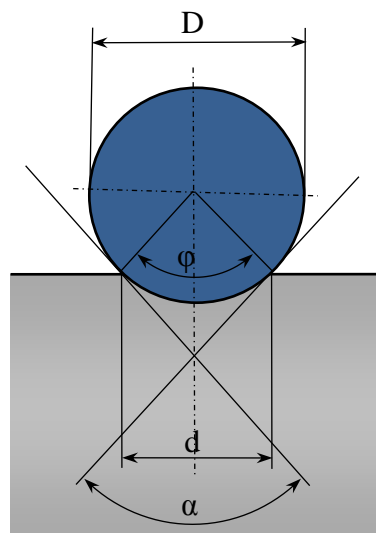


Rys.11. Schemat pomiaru twardości metodą Vickersa

A kąt dwuścienny węgelnika wynosi:

$$\alpha = 180^\circ - 44^\circ = 136^\circ \quad (9)$$

Ponieważ kąt ten odpowiada kątowi wierzchołkowemu ostrosłupa używanego w metodzie Vickersa, otrzymuje się twardości HV zbliżone do twardości HB. Porównywanie wyników uzyskiwanych w obu metodach jest możliwe do wartości twardości wynoszącej 300 HB. Powyżej tej wartości kąt wgniatania  $\alpha$  otrzymywany przy stosowaniu metody Brinella szybko maleje i dlatego przestaje być spełniony warunek porównywalności wyników obu metod.



Rys.12 Schemat zasady porównywalności wyników otrzymanych metodą Brinella i Vickersa

Próbka do pomiaru twardości metodą Vickersa powinna być wykonana w sposób nie wpływający na wynik pomiaru. Powierzchnie w miejscu pomiaru i styku próbki ze stolikiem powinny być wolne od zanieczyszczeń, tlenków i innych ciał a jej chropowatość nie powinna przekraczać  $2,5\mu\text{m}$ . Twardość Vickersa jest oznaczona symbolem HV poprzedzonym wartością twardości, po którym następuje liczba określająca siłę obciążającą oraz warunkowo czas jej działania np.

**640HV30** - oznacza twardość Vickersa 640 mierzona przy sile obciążającej 294,2N działającej w czasie od 10 s do 15 s

**640HV30/20** - oznacza twardość Vickersa 640 mierzona przy sile obciążającej 294,2N działającej w czasie od 20 s

Podczas pomiaru zalecany czas obciążania powinien wynosić od 10s do 15 s. Dla niektórych materiałów stosuje się dłuższy czas obciążania. Czas ten powinien być mierzony z dokładnością  $\pm 2$  s.

Odległość między środkiem odcisku a krawędzią próbki powinna być co najmniej 2,5 razy większa od średniej długości przekątnej odcisku w przypadku stali, miedzi i stopów miedzi oraz co najmniej 3 razy większa od średniej długości przekątnej odcisku w przypadku metali lekkich, ołowiu i cyny oraz ich stopów.

Odległość między środkami dwóch sąsiednich odcisków powinna być co najmniej 3 razy większa od średniej długości przekątnej odcisku w przypadku stali, miedzi i stopów i co najmniej 6 razy większa od średniej długości przekątnej w przypadku metali lekkich, ołowiu i cyny oraz ich stopów. Jeśli dwa sąsiadujące odciski różnią się wymiarem, odległość ta powinna być określona na podstawie średniej długości przekątnej większego odcisku.

W przypadku powierzchni płaskich różnica między wartościami długości dwóch przekątnych odcisku nie powinna być większa niż 5%. Jeśli różnica ta jest większa, należy ten fakt odnotować w protokole pomiarów. Pomiar twardości powinny być przeprowadzone w temperaturze otoczenia w zakresie od 10° do 35°.

Pomiar twardości metodą Vickersa charakteryzuje się mniejszymi odciskami w stosunku do poprzednich metod. Umożliwia to przeprowadzeni badania twardości materiału o bardzo małych wymiarach, np. bardzo cienkich blach, a nawet składników strukturalnych. W związku z powyższym metoda ta w zakresie obciążenia od 0,0098÷9,8N nosi nazwę metody pomiaru mikrotwardości. Różni się ona od normalnej metody Vickersa jedynie stosowanymi obciążeniami oraz powiększeniami stosowanymi przy pomiarze przekątnych jeśli chodzi o urządzenia pomiarowe. Natomiast w przypadku próbki musi się ona charakteryzować mniejszą chropowatością, nie przekraczającą  $R_a \leq 0,5 \mu\text{m}$ . W tabeli 5 przedstawiono stosowane wartości sił obciążających w metodzie Vickersa.

Tabela 5. Wartości sił obciążających w metodzie Vickersa

Próba twardości <sup>1)</sup>		Próba twardości przy małej sile obciążającej		Próba mikrotwardości <sup>2)</sup>	
Symbol twardości	Nominalna wartość siły obciążającej $F$ [N]	Symbol twardości	Nominalna wartość siły obciążającej $F$ [N]	Symbol twardości	Nominalna wartość siły obciążającej $F$ [N]
HV 5	49,03	HV 0,2	1,961	HV 0,01	0,09807
HV 10	98,07	HV 0,3	2,942	HV 0,015	0,1471
HV 20	196,1	HV 0,5	4,903	HV 0,02	0,1961
HV 30	294,2	HV 1	9,807	HV 0,025	0,2452
HV 50	490,3	HV 2	19,61	HV 0,05	0,4903
HV 100	980,7	HV 3	29,42	HV0,1	0,9807

1) Mogą być stosowane nominalne wartości siły obciążającej większe niż 980,7 N.  
2) Wartości siły obciążającej zalecane przy próbie mikrotwardości

Ogólny widok twardościomierza Vickersa przedstawiono na rys.13. Ma on możliwość obciążenia próbki siłami 49,03 N lub 98,07 N. Są one realizowane za pomocą cechowanej sprężyny. Pomiar przekątnych w wykonanym odcisku w materiale próbki, odbywa się za pomocą układu optycznego.

Metoda pomiaru twardości Vickersa wykazuje szereg zalet, do których zalicza się:

- możliwość pomiarów twardości materiałów miękkich i twardych przy użyciu jednej skali,
- łatwe porównywanie z wynikami pomiaru twardości metodą Brinella,
- możliwość pomiaru twardości przedmiotów małych i cienkich warstw utwardzonych,
- przedmiot nie ulega zniszczeniu

Wadą tej metody jest natomiast jej nieprzydatność w pomiarach twardości materiałów niejednorodnych.



Rys.13 Widok twardościomierza Vickersa

## 6. Wykonanie ćwiczenia

- dokonać oględzin powierzchni próbki
- określić grupę materiałową oraz przypuszczalną twardość badanego materiału
- dobrać parametry próby ( obciążenie , czas)
- ustawić próbkę na stoliku twardościomierza
- obciążyć próbkę ( wykonać odcisk)
- dokonać pomiaru przekątnych ( $d_1$ ,  $d_2$ ) odcisku
- powtórzyć pomiar trzykrotnie dla każdej z badanych próbek
- obliczyć wg wzoru bądź korzystając z norm wyznaczyć twardość badanych próbek.
- zapisać wyniki w protokole pomiarowym

## 7. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Określenie celu badania
2. Definicje twardości oraz zasady jej pomiaru poszczególnymi metodami ( Brinella, Rockwella, Vickersa)
3. Protokół zawierający wyniki pomiarów i obliczeń
4. Dyskusję otrzymanych wyników zawierającą:
  - ◆ Porównanie twardości badanych metali
  - ◆ Ocena wartości  $R_m$  wyznaczonych na podstawie HB ( błąd procentowy)
  - ◆ Omówienie zalet i wad poszczególnych metod pomiaru twardości
  - ◆ Uwagi i wnioski

Literatura:

1. Grudziński Karol: **Ćwiczenia laboratoryjne z Wytrzymałości Materiałów.** Politechnika Szczecińska. Szczecin 1972 r.
2. Walicki Edward, Ratajczak Małgorzata, Ratajczak Piotr, Michalski Dariusz: **Wytrzymałość Materiałów. I. Wprowadzenie teoretyczne do laboratorium.** Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego. Zielona Góra 2003 r.
3. Kowalewski Zbigniew: **Ćwiczenia laboratoryjne z Wytrzymałości Materiałów.** Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2000 r
4. Katarzyński Stefan, Kocańda Stanisław, Zakrzewski Marek: **Badanie własności mechanicznych metali.** WNT Warszawa 1969
5. PN-EN ISO 6506 – 1:2002. Metale – Pomiar twardości sposobem Brinella – Część 1: Metoda badań
6. PN-EN ISO 6508 -1:2002. Metale. Pomiar twardości sposobem Rockwella – Część 1: Metoda badań ( skale A,B,C,D,E,F,G,H,K,N,T)
7. PN-EN ISO 6507 – 1:1999. Metale – Pomiar twardości sposobem Vickersa.: Metoda badań

## **Dodatek :      Przegląd wybranych twardościomierzy do metali**

Budowane obecnie twardościomierze, charakteryzują się automatycznym opracowaniem wyników pomiarów, które wyświetlane są w postaci cyfrowej.. Mogą one być odczytywane bezpośrednio na ekranie bądź też przesyłane do dalszego przetwarzania poprzez odpowiednie interfejsy Umożliwiają one pomiary twardości różnymi metodami. Poniżej przedstawiono uniwersalne twardościomierze „ ZOOM\_TESTOR 1000 SERIES, DIGI\_TESTOR 930 oraz przenośny uniwersalny twardościomierz IMPACT\_D do badań dynamicznych.

### **"ZOOM-TESTOR" 1000 SERIES**



Najnowszy system pętli sprzężenia zwrotnego z wewnętrzną kamerą video i automatycznym powiększeniem obiektywu.

Umożliwia badanie twardości w trzech skalach: Vickersa, Brinella, Rockwella, pomiar twardości - kulka etc.

Dostępnych jest 6 modeli: obciążenie 250 kG, 750 kG, 3000 kG, Brinell-Vickers lub Brinell-Vickers-Rockwell

Przykładanie obciążenia sterowane silnikiem

Stabilne i precyzyjne urządzenie dla wszystkich aplikacji

Optyczna ocena testu przez wbudowany system video

Duży, kolorowy wyświetlacz LCD

7 - stopni powiększenia obiektywu

Wszystkie informacje wyświetlane tylko na 1 stronie

200 dowolnych, programowalnych definicji testu

### **DIGI-TESTOR" 930**

Wysoka precyzja systemu zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego sterująca zadawaniem siły, oraz utrzymaniem siły w zadanym czasie do 250 kG

Umożliwia badanie twardości w trzech skalach: Rockwella, Vickersa, Brinella

Maksymalnie krótki cykl testu. Siła zadawana poprzez cyfrową pętlę sprzężenia zwrotnego, oraz utrzymanie siły w zadanym czasie



New model comes available Spring 2004

Przyjazny dla użytkownika, wysoki stopień automatyzacji i łatwość obsługi

Na panelu TESTORA otrzymujemy bezpośredni cyfrowy odczyt wartości twardości

Dołączonych jest wiele funkcji takich jak konwersja wyników, czas, tolerancja, korekcja dla powierzchni cylindrycznych oraz wartości, obliczenia statystyczne

Drukarka lub/ i możliwość połączenia z PC przez interfejs RS232

Sztywna rama gwarantująca wysoką precyzję odczytu

Spełnia wszystkie normy badań np. testy akceptacyjne

Stoliki dla pomiaru głębokości zaadaptowane dla wszystkich materiałów

Komunikacja z użytkownikiem w jednym z pięciu języków

## IMPACT-D



Przenośny, dynamiczny twardościomierz do badania metali TH-130

Dynamiczny, szybki pomiar twardości

Przyrząd zintegrowany - Impact D nie zawiera okablowania

Szeroki zakres pomiarowy

Bezpośrednio wyświetlane skale twardości: Rockwella HRB, HRC, Vickersa HV, Brinella HB, Shore'a HS, HL

Przyrząd do badania wszystkich rodzajów materiałów metalowych

Może być używany w dowolnej pozycji

Prosta obsługa i niskie koszty pomiarów

Wysoka dokładność +/- 0.5%

Czytelny LCD wyświetlacz pokazujący wszystkie funkcje i parametry

Zgodny z ASTM A 956

Wyjście danych poprzez RS-232

Opcjonalnie może być podłączona drukarka TA210

## TIV 105– przenośny twardościomierz Vickersa



Obciążenie diamentowego ostrosłupa – 50 N

Zastosowanie do pomiarów twardości takich materiałów jak: stal metale nieżelazne, szkło, tworzywa sztuczne itp.

Zakres pomiarowy 100HV -1000HV

Więcej informacji o typach i rodzajach twardościomierzy można znaleźć na stronach internetowych producentów tych urządzeń m.in.

<http://www.instron.com>,

<http://www.krautkramer.com>