

Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH

Ceramika Konstruktoryjna i Techniczna

Kierunek: Ceramika

2015/16

Ćwiczenie 5

Mikrotwardość

Literatura:

- [1] <http://galaxy.uci.agh.edu.pl/~ziam/PomiaryTwardosci.pdf>, wrzesień 2015.
- [2] Roman Pampuch, Współczesne materiały ceramiczne, AGH, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2005.
- [3] Laboratorium z nauki o materiałach, pod red. Jerzego Lisa, skrypt AGH SU 1566, str. 109.
- [3] Normy: PN-EN ISO 6506-1:2008; PN-EN ISO 6507-1:2007, PN-EN ISO 6508-1:2007.

Cel ćwiczenia

W trakcie wykonywania ćwiczenia Student zapozna się z techniką pomiaru mikrotwardości materiałów ceramicznych. Zostanie użyty mikrotwardościomierz Vickersa. Przy pomocy tego przyrządu zostanie wyznaczona zależność mikrotwardości od obciążenia przykładanego do wgłębnika.

Bardziej ogólny cel ćwiczenia obejmują przyswojenie podstawowych wiadomości dotyczących: definicji opisujących twardość i mikrotwardość, mechanizmów zjawiska twardości oraz technik pomiaru wraz z podaniem ich zalet i ograniczeń.

Wiadomości podstawowe

Najbardziej ogólnie **twardość** definiuje się jako miarę odporności materiału (ciała stałego) na trwałe odkształcenie indukowane zewnętrznymi siłami. Dalsze uszczegółowienie definicji pojęcia twardości zależy od konkretnej techniki pomiaru. Bardzo często wykorzystuje się techniki polegające na punktowym obciążeniu materiału poprzez wgłębnik o ściśle określonym kształcie. W tym przypadku powyższą definicję można wypowiedzieć następująco: **twardość** to miara odporności materiału na odkształcenie plastyczne powstające w wyniku wciskania wgłębnika. Ze względu na wielkość siły działającej na wgłębnik wyróżnia się **makro-**, **mikro-** i **nanotwardość**. W praktyce makrotwardość nazywa się po prostu twardością. Progi sił określa się w dość arbitralny sposób. Przejęto, że w wypadku testowania tworzyw metalicznych mikrotwardość mierzy się wtedy, gdy siła wciskająca wgłębnik jest mniejsza od 1,96 N (0,2 kG – czytaj. „0,2 kilograma siły”; 1 kG = 9,8 N), a nanotwardość, gdy siła jest mniejsza niż 0,5 N (ok. 0,05 kG). Podane progi sił są w większości stosowane także w testach materiałów ceramicznych. Przy założeniu, że pomiaru dokonuje się na materiale polikrystalicznym, można nieco zwiększyć poziom abstrakcji i zdefiniować mikrotwardość jako twardość mierzoną przy wystarczająco małej sile, tak aby ślad wgłębnika był nie większy niż wielkość pojedynczych ziaren, a właściwie ich przekrojów widocznych po wykonaniu tzw. zglądu.

Fizykochemiczne mechanizmy twardości

Kluczem do zrozumienia podstawowych mechanizmów rządzących zjawiskiem twardości jest znajomość budowy danego materiału w skali atomowej, tj. jego struktury. Najważniejszym czynnikiem jest tu typ wiązań chemicznych. Materiały ceramiczne, których elementy strukturalne powiązane są wiązaniami kowalencyjnymi i/lub jonowymi, należą do najtwardszych ciał stałych. Można tu wspomnieć o tak twardych substancjach jak diament (C), karborund (SiC – węgiel krzemu), korund (Al_2O_3 – tlenek glinu), węgiel boru (B_4C), itp. Z drugiej strony, typowe metale, są o jeden do dwu rzędów wielkości mniej twarde niż ceramika. Dzieje się tak, gdyż odkształcenie trwałe wymaga skorelowanego przemieszczania się znacznej ilości atomów. Proces taki jest działaniem „przeciwko” siłom spójności materiału (wiązaniami chemicznym i fizycznym) i wymaga określonych porcji energii. Skorelowany ruch atomów prowadzący do odkształcenia trwałego może zachodzić

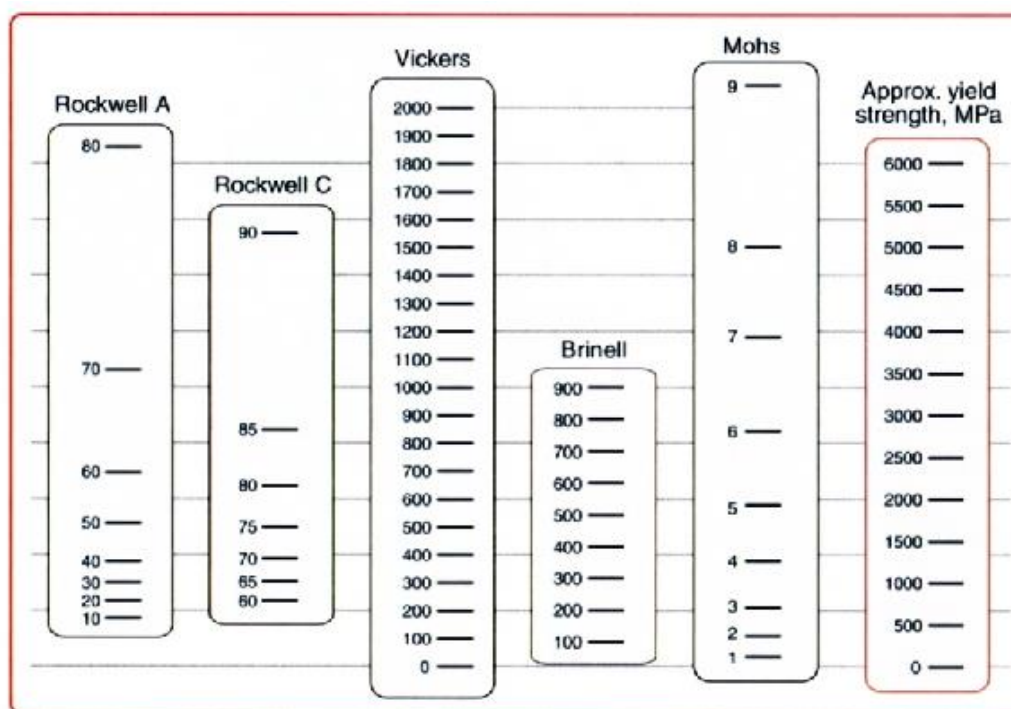
dzięki kilku mechanizmom, których efektywność opisywana jest m.in. wielkością tzw. energii aktywacji odniesioną do danej ilości atomów (np. 1 mola). Energia ta jest funkcją wielu czynników, m.in. temperatury materiału. W temperaturach zbliżonych do pokojowej głównym mechanizmem odkształcenia plastycznego jest tzw. zachowawczy poślizg dyslokacji. Ruch dyslokacji krawędziowych to w istocie ruch atomów znajdujących się na linii dyslokacji. Łatwość przemieszczania się elementów materii w obszarze dyslokacji wynika z lokalnego podniesienia energii atomów na linii dyslokacji, zatem mniejsza energia musi być dostarczona z zewnątrz aby ruch wywołać. Aby zwizualizować opisywany mechanizm najlepiej wyobrazić sobie dywan, który przesuwamy na płaskiej podłodze. Ciężar dywanu utrudnia zadanie. Ale jeśli wywołamy fałdę na dywanie i wprawimy ją w ruch to dywan, niejako bez wysiłku, przemieścimy ruchem nazwijmy to „pełzającym”. Dywan jest alegorią płaszczyzny atomów przemieszczanej względem innej płaszczyzny atomów (podłoga), a fałda odpowiada koncepcyjnie linii dyslokacji – czyli linii atomów charakteryzujących się podwyższoną energią. Zatem w próbie twardości biegnącej w temperaturze pokojowej mierzy się tak naprawdę opór jaki pokonują wspomniane defekty liniowe przemieszczając się w materii pod wpływem zewnętrznego bodźca mechanicznego. W przypadku metali opór ten jest stosunkowo mały, gdyż ruch dyslokacji wiąże się z przemieszczeniem atomów połączonych oddziaływaniami o stosunkowo niskiej energii. Warto przypomnieć w tym miejscu, iż wiązanie metaliczne polega na elektrostatycznym oddziaływaniu pomiędzy dodatnio naładowanymi rdzeniami atomowymi i ujemnie naładowanym gazem lub „morzem” quasi-swobodnym elektronów walencyjnych. Natura wiązania metalicznego narzuca to, iż nie jest ono zlokalizowane w konkretnym kierunku przestrzeni. Przeciwnie jest w przypadku ceramiki. Ich sieć krystaliczna, ze względu na wysokoenergetyczne wiązania kowalencyjne, jonowe, czy też kowalencyjno-jonowe, stawia duży opór przemieszczającym się dyslokacjom. W przypadku zlokalizowanych wiązań kowalencyjnych (diament, SiC) ruch dyslokacji wymaga, bowiem, zrywania i ponownego odtwarzania poszczególnych wiązań. Nieco łatwiejszy jest „poślizg” dyslokacji w kryształach jonowych. Jednak i on może efektywnie odbywać się tylko w takich kierunkach krystalograficznych, w których odpychające oddziaływanie pomiędzy jonami tego samego znaku jest minimalne. Powyższe dywagacje można streścić w stwierdzeniu, że lokalizacja wiązań kowalencyjnych i odpychanie elektrostatyczne potencjalnie występujące w strukturach jonowych zmniejsza ilość tzw. systemów (płaszczyzna i kierunek) łatwego, tj. niskoenergetycznego poślizgu dyslokacji, co jest bezpośrednią przyczyną wysokiej twardości kryształów kowalencyjnych, jonowych i kowalencyjno-jonowych.

Z punktu widzenia materiałoznawcy warto się też zastanowić nad wyjaśnieniem **niskich twardości polimerów** konstrukcyjnych (np. polimetakrylan metylu – pleksiglas, żywice epoksydowe czy poliestrowe, itp.). Biorąc pod uwagę, że materiały te w skali atomowej zbudowane są z łańcuchów węglowych, w których występuje wiązanie kowalencyjne, wydawać by się mogło, że materiały te powinny mieć twardość zbliżoną do diamentu. Nie jest to zgodne z doświadczeniem. Kluczem do wyjaśnienia tej rozbieżności jest obserwacja, że poszczególne łańcuchy węglowe oddziałują ze sobą bardzo słabymi wiązaniami drugorzędowymi (siły van der Waalsa, wiązania wodorowe, itp.). Łańcuchy mogą przemieszczać się względem siebie jako całość i mogą to robić stosunkowo łatwo, tzn. cały

proces wymaga małych ilości energii. Makroskopowo widzimy dzięki temu znaczną deformację trwałą materiału już przy małym obciążeniu siłami zewnętrznymi, czyli rejestrujemy niską twardość.

Praktyka pomiaru twardości

Twardość i mikrotwardość nie są stałymi materiałowymi. Wynika to z faktu, iż nie można jednoznacznie wskazać wielkości fizycznej, która opisuje wspomniane właściwości. Wielkość fizyczna używana w danym opisie (a zatem i jej jednostka) związana jest bowiem ściśle z zastosowaną techniką pomiarową. Z tego względu porównanie wyników pomiarów możliwe jest tylko na podstawie odpowiednich diagramów, tabel, przeliczników, itp. Przykładowe zestawienie różnych skali twardości przedstawia Rys. 1.



Rys.1. Porównanie wybranych skali twardości oraz odpowiadającego im zakresu granicy plastyczności (na podst. oprac. [1]).

Jednostka twardości czy mikrotwardości jest w większości przypadków bezwymiarową (przynajmniej w zapisie formalnym) i ściśle związaną z konkretną skalą, czyli metodyką pomiaru (Rys. 1). Tym niemniej w literaturze poświęconej materiałom ceramicznym spotyka się opis twardości (głównie Vickersa) wyrażonej nie w bezwymiarowych jednostkach tej skali a w gigapaskalach (GPa). Wynika to z faktu, iż formalnie bezwymiarowa jednostka twardości Vickersa na podstawie definicji testu może być przyrównana do $1 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$, co z kolei łatwo przeliczyć na jednostkę naprężenia/ciśnienia. To właśnie to naprężenie (ciśnienie) jest miarą wspomnianego wyżej oporu stawianego wgłębnikowi próbującemu materiał.

Najogólniej **wszystkie techniki pomiaru twardości zaliczyć można do trzech grup** – techniki statyczne, dynamiczne i specjalne. **W metodach statycznych** materiał nakłuwa się odpowiednim, ściśle zdefiniowanym pod względem geometrycznym i materiałowym wgłębnikiem. Siła obciążająca wgłębnik działa stosunkowo długo (statycznie), tj. przez kilka – kilkadziesiąt sekund. **W metodach dynamicznych** siła działa impulsowo – tworzywo testuje się odpowiednim bijakiem uderzającym w nie w ściśle zdefiniowany sposób. Tak mierzona twardość nieco wymyka się wcześniej podanej definicji, gdyż duże znaczenie zaczynają tu mieć właściwości sprężyste a nie plastyczne materiału. Z tego względu niektóre z technik dynamicznych są bardzo korzystne w przypadku polimerów, zwłaszcza tych o szerokim zakresie odkształcenia sprężystego (elastomerów takich jak guma). **Do metod specjalnych** zalicza się próby polegające na pomiarze oporu materiału na zarysowanie. Najbardziej typowym przykładem jest skala twardości Mohsa (minerały, ale też ceramiczne płytki podłogowe czy ścienne).

Poniżej podano podstawową charakterystykę metod należących do wspomnianych klas. Ścisły opis reżimu pomiarowego konkretnej metody jest w większości znormalizowany.

- **statyczne**

Wspólną cechą procedury metod statycznych jest wykorzystanie urządzeń wciskających w odpowiednio przygotowaną próbkę (najczęściej zgląd, tj. polerowany przekrój) tzw. wgłębnika. Urządzenia te pozwalają na selekcję siły obciążającej oraz czasu trwania obciążenia. Zwykle czas ten wynosi kilka do małych kilkadziesiąt sekund.

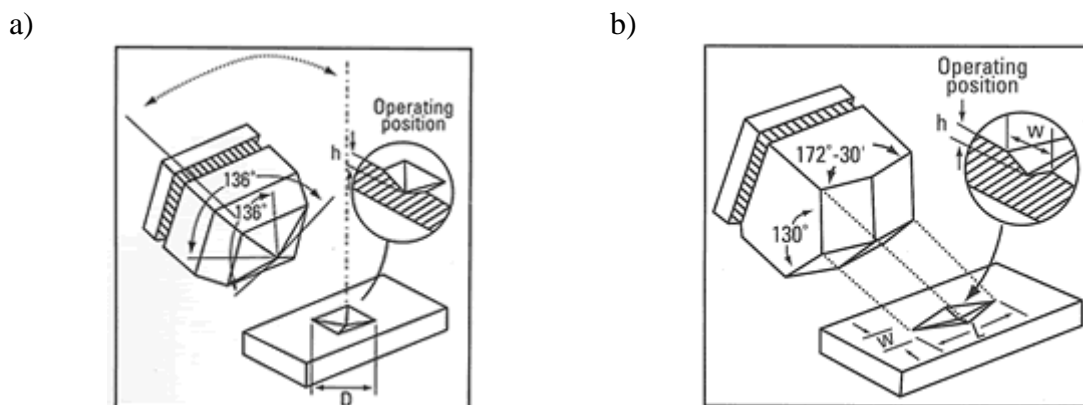
Metody Vickersa i Knoopa

W metodzie Vickersa i Knoopa stosuje się wgłębniki diamentowe w kształcie ostrosłupów. W próbie Vickersa jest to ostrosłup o podstawie kwadratu i kącie pomiędzy przeciwległymi ścianami trójkątnymi wynoszącym 136° (Rys. 2a). W teście Knoopa wgłębnikiem jest natomiast ostrosłup o podstawie rombu. Kąty pomiędzy przyległymi ścianami wynoszą odpowiednio $172^\circ 30'$ i 130° (Rys. 2b). Długości przekątnych odcisku Knoopa pozostają w stałej proporcji 7:1.

W obu technikach bezpośrednio mierzy się długości przekątnych odcisków. Dokonuje się tego za pomocą mikroskopu będącego w większości konstrukcji częścią twardościomierza. Maksymalne obciążenie w teście Vickersa wynosi ok. 120 kG a w teście Knoopa zazwyczaj nie więcej niż 4 kG. Grubość próbki testowanej wgłębnikiem Vickersa powinna być większa niż 1,5 przekątnej odcisku a odległość pomiędzy środkami sąsiadujących wgłębień nie mniejsza niż 3-6 krotność przekątnej.

Wykonując pomiary, zwłaszcza przy większych obciążeniach, bardzo ważne jest aby nie indukować pęknięć. Pęknięcia (tzw. „wąsy”) tworzą się szczególnie łatwo w narożach odcisków. Wykorzystanie odcisku z pęknięciami zawyża wynik twardości, gdyż sam odcisk jest mniejszy ze względu na fakt pochłonięcia części na tworzenie owych „wąsów”. Niebezpieczeństwo tworzenia się pęknięć wzrasta w przypadku próbkowania materiałów o dużej kruchości, czyli ceramicznych. W tym kontekście korzystniejszy jest wgłębnik Knoopa.

Jego geometria zapewnia mniejszą penetrację materiału – tworzący się odcisk ma mniejszą głębokość w porównaniu do odcisku Vickersa powstałego w wyniku działania tej samej siły obciążającej. Przewaga metody Knoopa nad testem Vickersa jest szczególnie widoczna przy badaniach makrotwardości (twardości) takich materiałów jak np. szkło, czy węgiel krzemowy (SiC), a także przy testach warstw i pokryć (emalii). W takich przypadkach istnieje również mniejsze prawdopodobieństwo uszkodzenia samego wglębniaka.



Rys. 2. Geometria wglębniaka i odcisku: a) Vickersa, b) Knoopa.

Twardość Vickersa (HV) oblicza się jako stosunek siły obciążającej wglębnik (F) do powierzchni bocznej odcisku, co po przekształceniach daje zależność opisaną równaniem (1). Przy czym (D) to przekątna odcisku. W praktyce (D) jest równe średniej arytmetycznej dwu zmierzonych przekątnych.

$$HV = \frac{2F \cos \frac{180^\circ - 136^\circ}{2}}{D^2} = \frac{F \cos 22^\circ}{D^2} = \frac{1,8544F}{D^2} \quad (1)$$

Twardość Knoopa (HK) wyznacza się natomiast przez relację obciążenia wglębniaka (F) do powierzchni rzutu odcisku na płaszczyznę próbki, czyli płaszczyznę prostopadłą do osi działania siły. Powierzchnię tę oblicza się na podstawie wielkości dłuższej przekątnej odcisku (L). Ostatecznie wykorzystuje się zależność daną równaniem (2).

$$HK = \frac{14,229F}{L^2} \quad (2)$$

Format zapisu twardość Vickersa przedstawia następujący przykład – 1200 HV 10/20, co odczytuję się jako: 1200 jednostek (kG/mm^2) HV; siła 10 kG (98,1 N); czas obciążania wglębniaka 20 sekund. Jeśli nie podano czasu to znaczy, że wynosi on 10-15 sekund.

Metody Brinella i Rockwella

Metoda Brinella opracowana została dla tworzyw metalicznych. Polega ona na wciskaniu kulki z węgla wolframu, węglików spiekanych lub stalowej o średnicy 1-10 mm. Standardowo stosuje się kulkę o średnicy 10 mm obciążoną siłą 3000 kG (29420 N), czas próby wynosi 10-15 sekund. Po wykonaniu odcisku mierzy się jego średnicę (D). Miarą twardości Brinella (HBW – twardość Brinella; kulka z węgla wolframu), (HB lub HBS – wgłębnik stalowy) lub (BHN – ang. *Brinell Hardness*) jest stosunek obciążenia (F) do pola odcisku, przy czym (d) to średnica kulki wgłębnika.

$$\text{BHN} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3)$$

Wartość siły (F) podaje się w kilogramach siły, a średnice w milimetrach. Siłę obciążającą należy tak dobrać, aby spełniona była zależność: $0,24D < d < 0,6D$.

Przykładowy zapis wyniku i jego znaczenie:

800 HBW 1/30/20 – twardość Brinella wynosi 800 jednostek, pomiar za pomocą kulki z węgla wolframu o średnicy 1 mm obciążanej siłą 30 kG przez 20 sekund.

400 HBW – twardość wynosi 400 jednostek Brinella, kulka 10 mm, siła 3000 kG, czas 10-15 sekund.

W metodzie Rockwella jako wgłębnika używa się kulek stalowych o średnicy 1,588 mm lub 3,175 mm dla metali oraz 3-13 mm dla polimerów. Stosuje się też stożek diamentowego o kącie wierzchołkowym 120° . Najczęściej stosowane obciążenia to: 60, 100 i 150 kG. Siła przykładana jest dwustopniowo. Wstępne obciążenie wynosi 10 kG, co eliminuje błędy mogące wynikać z nierówności powierzchni. Następnie dociąża się wgłębnik do siły nominalnej. Po upływie ustalonego czasu odciąża się wgłębnik, ale tylko do wartości obciążenia wstępnego i odczytuje twardość materiału. Wartość twardości określa następująca zależność:

$$\text{HR} = N - \frac{h}{S} \quad (4)$$

gdzie:

N – stała, równa 100 dla stożka i 130 dla kuli,

h – trwały przyrost głębokości odcisku,

S – stała zależna od skali twardości Rockwella, 0,002 – skale A – K, 0,001 – skale N i T.

Głębokość odcisku musi być co najmniej 10 razy mniejsza niż grubość próbki, a odległość pomiędzy kolejnymi odciskami nie mniejsza niż 3-5 krotność średnicy odcisku.

Wadą metody jest to, że wykorzystuje kilkanaście skali (w tym cztery dla polimerów). Każda skala jest oznaczona literą alfabetu, którą podaje się po symbolu HR. Najczęściej stosuje się skale B i C dla metali i R dla tworzyw polimerowych (HRB, HRC, HRR).

- **dynamiczne**

Metoda Poldi (Huty Poldi)

Konfiguracja testu jest następująca: kulka stalowa o średnicy (D) 10 mm umieszczona jest pomiędzy próbką a płytką wzorcową – o znanej twardości (zwykle 202 HBW) - HB_w. Odcisk powstaje tak na próbce (d_p) jak i płytce wzorcowej (d_w), poprzez uderzenie płytki wzorcowej przez trzpień dociskany do niej sprężyną. Trzpień napędzany jest odpowiednim bijakiem („młotkiem”). Twardość określa się przez porównanie dwu odcisków:

$$HB_x = \frac{D - \sqrt{D^2 - d_w^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_p^2}} HB_w \quad (5)$$

Metoda Shore'a

Zasada działania skleroskopu Shore'a opiera się o pomiar wysokości na jaką odbija się od badanego materiału znormalizowany bijak, który spada na próbkę ze stałej wysokości. Test ten to właściwie test sprężystości. Jednak przyjmuje się jako zasadę, że materiał miękki jest mniej sprężysty niż twardy. Nowsze konstrukcje skleroskopów bazują też na pomiarze prędkości bijaka po odbiciu od badanego tworzywa. Prędkość bijaka jest przetwarzana następnie na odpowiedni sygnał elektryczny i przekazywana do układu przeliczającego. Umożliwia to otrzymanie wyniku w jednostkach Vickersa, Brinella, Rockwella, itd.

- **specjalne**

Metoda Mohsa

Jest to test porównawczy, tzn. wykorzystujący wzorce twardości. Metoda polega na ręcznym zarysowaniu powierzchni próbki wzorcowymi minerałami, których twardość rośnie wg tabeli zwanej skalą Mohsa (Tab. 1). Moment pojawienia się śladu rysika (rysy) na testowanej powierzchni określa jej twardość.

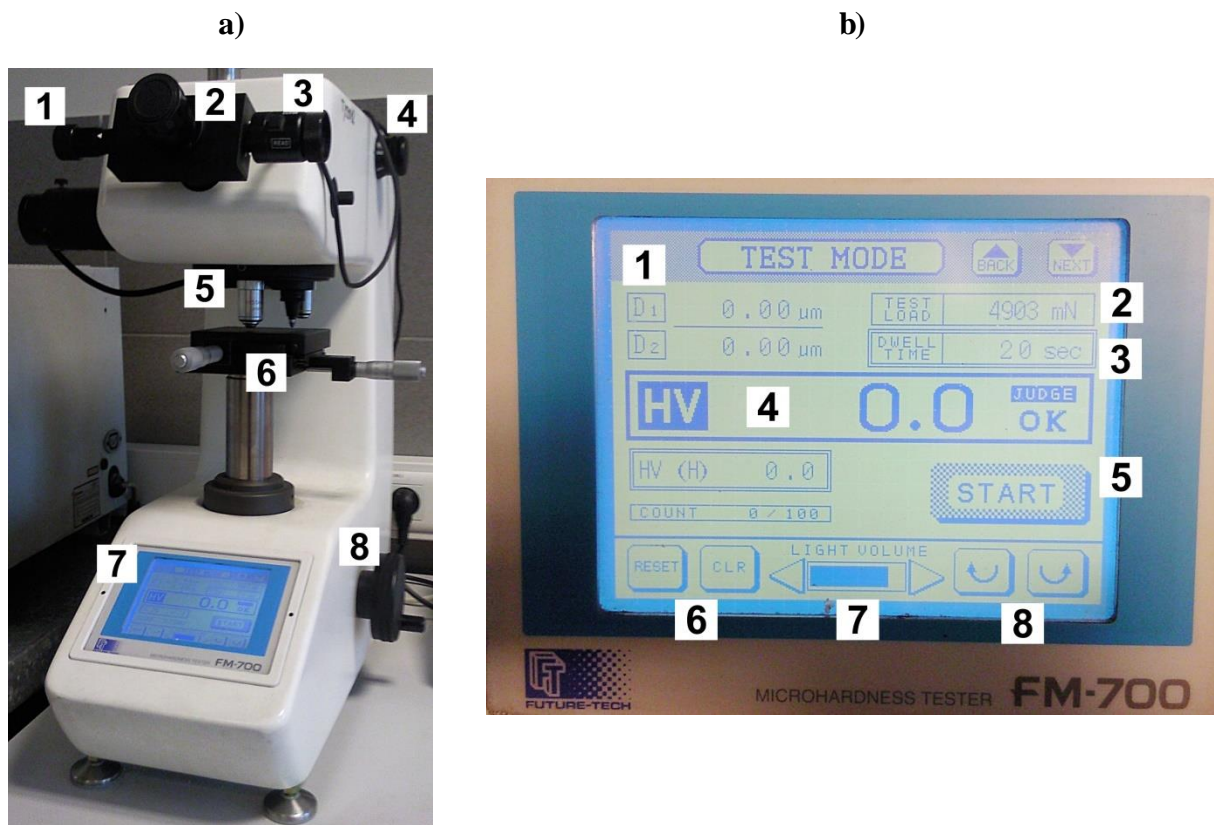
Tabela 1. Skala Mohsa

talk - 1	gips - 2	kalcyt - 3	fluoryt - 4	apatyt - 5
ortoklaz - 6	kwarc - 7	topaz - 8	korund - 9	diament - 10

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Ćwiczenie polega na pomiarze zależności mikrotwardości danego tworzywa w funkcji siły obciążającej. Próbkę do badań podaje prowadzący. Mogą to być na przykład spieki 3Y-TZP (tetragonalny dwutlenku cyrkonu domieszkowany 3 % molowymi Y₂O₃) w formie wypolerowanych pastylek o grubości około 3 mm i średnicy na poziomie 14 mm. Materiały te bada się w mikrotwardościomierzu Future-Tech, Japonia, model FM-700. Przed pomiarami należy bezwzględnie zaznajomić się z podanymi poniżej wytycznymi dotyczącymi obsługi tegoż urządzenia. Mikrotwardości określa się przy obciążeniach: 50, 100, 200, 300, 500 gram

siły (0,05-0,5 kG). Dla każdego obciążenia należy wykonać po 5 testów twardości. Pojedynczy pomiar polega na wykonaniu odcisku (czas obciążania węgelnika wynosi 10 sekund), a następnie pomiarze dwu przekątnych wgłębnia za pomocą układu optycznego przyrządu. Po zatwierdzeniu wyników pomiaru przekątnych twardościomierz sam wylicza wartość HV i wyświetla ją na ekranie (Rys. 3b). Wynik podawany jest oczywiście w jednostkach twardości Vickersa (kG/mm^2). Dla każdej serii pięciu wyników (zmierzonych przy danej sile) należy wyznaczyć średnią arytmetyczną i oszacować niepewność wyznaczenia tej średniej – czyli obliczyć przedział ufności.



Rys. 3. Mikrotwardościomierz FM-700:

- a) 1. jednoczesne przemieszczanie obu linii pomiarowych; 2. okular; 3. regulacja długości odcinka pomiarowego (przesuwanie prawej linii pomiarowej) i przycisk „READ” służący do zatwierdzania zmierzonej wartości; 4. regulacja nacisku obciążającego węgelnik – skala w gramach siły; 5. głowica rewolwerowa obiektywów i węgelnika; 6. stolik próbki wraz ze śrubami regulującymi jego położenie w płaszczyźnie X-Y; 7. ekran regulacyjno-pomiarowy; 8. regulacja położenie stolika próbki w osi pionowej – służy ona m.in. do ustawiania ogniskowej układu optycznego, czyli ostrości obrazu próbki.
- b) ekran dotykowy: 1 odczyt długości mierzonego obiektu, np. przekątnych odcisku; 2. siła obciążająca; 3. czas działania siły obciążającej – możliwość zmiany wartości po dotknięciu ekranu w obszarze tegoż parametru; 4. odczyt twardości wg wybranej skali (tu HV) – możliwość zmiany skali poprzez dotknięcie tegoż pola ekranu; 5. uruchamianie pomiaru twardości; 6. zerowanie wartości pomiaru długości i twardości; 7. regulacja jasności obrazu mikroskopowego; 8. ręczna zmiana położenia (obrót) głowicy rewolwerowej obiektywów i węgelnika.

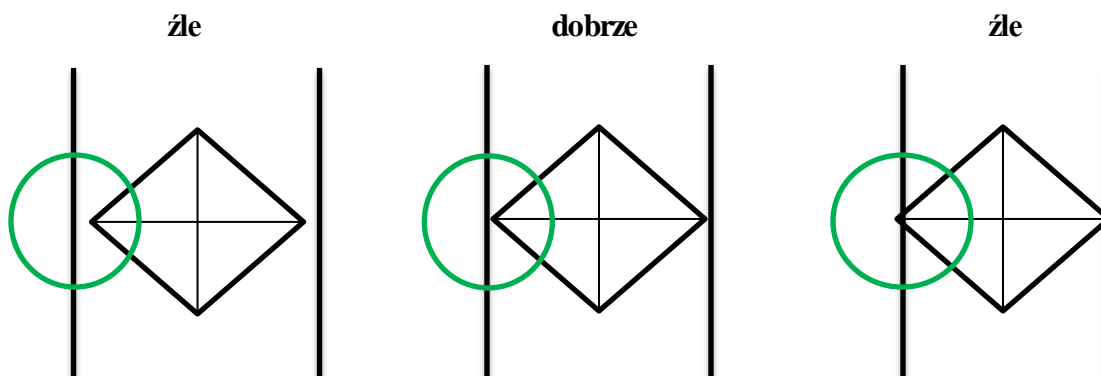
Obsługa mikrotwardościomierza (FM-700)

1. Przystudiować ogólny schemat budowy mikrotwardościomierza i zaznajomić się szczegółowo z jego funkcjami i zestawem elementów regulacyjnych (Rys. 3a, b wraz z opisem).
2. Opuścić stolik pomiarowy ok. 5-10 centymetrów poniżej czubka węgelnika Vickersa.
3. Włączyć przyrząd i jeśli to konieczne przestawić go na tryb HV, ustawić wybraną siłę i czas jej działania (10 sekund).
4. Upewnić się, że urządzenie jest w trybie mikroskopu, w razie konieczności włączyć ten tryb zmieniając położenie głowicy rewolwerowej.
5. Wybrać obiektyw o największym powiększeniu (oznaczenie na obiektywie).
6. Sprawdzić czy można swobodnie umieścić próbkę pomiędzy obiektywem a stolikiem, ewentualnie dodatkowo obniżyć stolik.
7. Patrząc w okular ustawić ostrość na powierzchni badanego materiału ostrożnie podnosząc lub opuszczając stolik próbki. Zadbać, aby nie doszło do zetknięcia obiektywu z próbką. **Uwaga ten punkt jest krytyczny** ze względu na bezpieczeństwo obsługi urządzenia, tzn. zabezpiecza przed uszkodzeniem węgelnika w trakcie pomiarów. Dlatego powyższą procedurę należy wykonać z największą uwagą. Prawidłowe ustawienie ostrości najlepiej skontrolować wizualizując krawędź próbki. Następnie ustawić próbkę centralnie pod obiektywem i ewentualnie doregulować ostrość.
8. Linie pomiarowe umieścić w centrum obrazu i zetknąć ze sobą, a następnie wyzerować przyrząd wciskając „RESET” po tym „CLR” – Rys. 3b podpunkt 6.
9. Ustawić żadaną wielkość siły obciążającej węgelnik.
10. Na ekranie przyrządu wcisnąć „START”, odczekać aż urządzenie wykona odcisk i powróci w tryb mikroskopu (nastąpi automatyczna zamiana węgelnika na obiektyw).
11. W razie potrzeby doregulować ogniskową układu optycznego, tak aby uzyskać ostry obraz krawędzi odcisku.
12. Zmierzyć odcisk, zatwierdzając każdą z dwu prostopadłych przekątnych, a następnie odczytać wynik pomiaru twardości w jednostkach HV.
13. Wybrać punkt następnego pomiaru (odcisku). W tym celu przemieścić próbkę w płaszczyźnie stolika pomiarowego. Wzajemna odległość sąsiadujących odcisków powinna być nie mniejsza niż trzykrotność średniej przekątnej. Wziąć pod uwagę, że odcisk wykonywany jest w centrum pola widzenia mikroskopu.
14. Po skończonej pracy uporządkować stanowisko i wyłączyć twardościomierz (wyłączniki na tylnej ścianie).

Dodatkowe wskazówki pomocne w wykonaniu prawidłowego pomiaru

Precyzja odczytu mikrotwardości zależy w praktyce od dokładności pomiaru długości odcinków odpowiadających przekątnym odcisku. Ze względu na mały rozmiar odcisku powstającego pod działaniem niewielkich sił (rzędu ułamka niutona lub najwyżej kilku niutonów) może wystąpić problem polegający na ostrym zwizualizowaniu odcisku i co niemniej ważne na tym, że grubość linii pomiarowych zaczyna być znacząca w porównaniu

do mierzonych długości. Na Rys. 4 przedstawiono trzy przypadki, z których dwa są błędnymi odczytami (zawyżenie lub zaniżenie długości przekątnej).



Rys. 4. Przykładowe konfiguracje linii pomiarowych i odcisku wraz z zaznaczeniem najczęściej popełnianych błędów – zawyżenie lub zaniżenie długości.

Zawartość sprawozdania

1. Informacje o próbkach i urządzeniu pomiarowym oraz warunkach pomiaru, w tym czas działania obciążenia.
2. Tabela średnich wartości HV (z populacji 5 pomiarów) rejestrowanych przy danych obciążeniach. Podać również przedział ufności dla każdej średniej. Uwaga - mikrotwardości wyrazić w jednostkach HV oraz w GPa.
3. Graficzne zobrazowanie danych z powyższej tabeli – z tym, że należy podać tylko przebieg wyrażony w jednostkach HV. Nanieść przedziały ufności (słupki błędów osi Y).
4. Podsumowanie.

Opracowanie - Norbert Moskała, Waldemar Pyda, Łukasz Zych;

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, 2015 r.