

Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH
CERAMIKA TECHNICZNA I KONSTRUKCYJNA

Laboratorium

Rok akademicki 2019/20

Ćwiczenie 6

Metodyka przygotowania zglądów oraz pomiar odporności na kruche pękanie metodą nakłuc wgłębnikiem Vickersa oraz zginania belki z karbem

Zagadnienia:

1. Metodyka przygotowania zglądów
2. Twardość i metoda Vickersa
3. Odporność na kruche pękanie, energia pękania i metody pomiaru odporności na kruche pękanie
4. Pomiar twardości i odporności na kruche pękanie metodą nakłuc wgłębnikiem Vickersa
5. Podstawowe mechanizmy podnoszenie odporności na kruche pękanie
6. Interpretacja wyników pomiarów twardości i odporności na kruche pękanie

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest przygotowanie zglądów materiału kompozytowego ZTA i przeprowadzenie pomiarów twardości i odporności na kruche pękanie metodą nakłuc wgłębnikiem Vickersa.

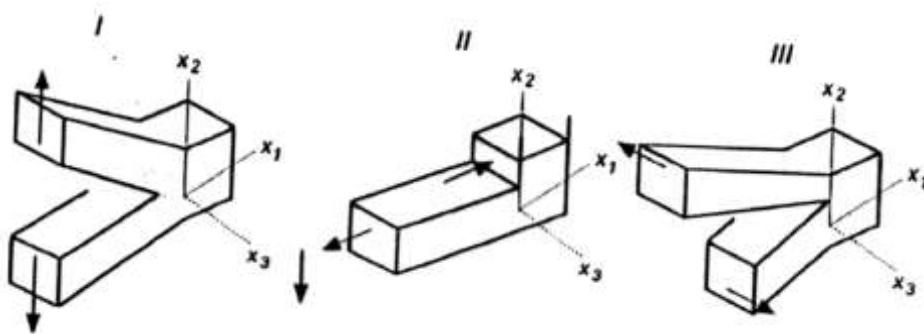
CZEŚĆ I: Część teoretyczna

1. Odporność na kruche pękanie

a) Krytyczny współczynnik intensywności naprężeń

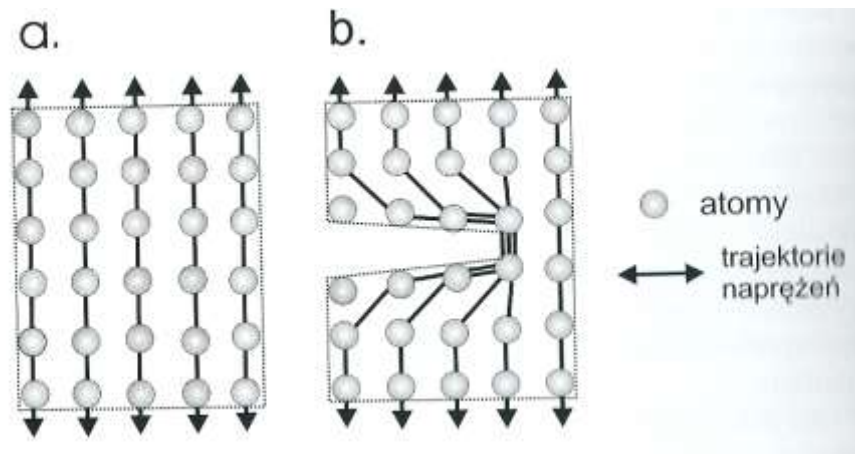
Ze względu na strukturę materiały ceramiczne są tworzywami kruchymi. Warunki kruchego pękania materiałów, a więc rozprzestrzeniania się spękań pod wpływem zewnętrznych naprężeń skoncentrowanych na szczelinach, określa mechanika pękania. Najczęściej odporność na kruche pękanie wyrażona jest poprzez podanie krytycznej wartości współczynnika naprężeń K_{Ic} . Istota pojęcia odporności na kruche pękanie polega na tym, że **współczynnik intensywności naprężeń K_I** , określający zmianę rozkładu naprężeń w materiale sprężystym w obecności pęknięcia, osiąga swą wartość krytyczną K_{Ic} w momencie zapoczątkowania katastrofalnego rozprzestrzeniania się pęknięcia obecnego w materiale.

Jeśli rozpatruje się zachowanie pojedynczego pęknięcia w obciążonym mechanicznie jednorodnym ośrodku, to należy przeanalizować trzy proste mechanizmy pękania [1]:



Rys. 1 Trzy typy naprężeń powodujących kruche pękanie

W przypadku typu pierwszego koncentrację naprężeń u wierzchołka szczeliny przedstawia Rys. 2b.



Rys. 2 Schemat koncentracji naprężeń u wierzchołka pęknięcia [2]

Powstającą podczas generowania szczeliny koncentrację naprężeń można wyrazić następującym wzorem:

$$\sigma = (E\gamma/\pi c)^{1/2}$$

Zależność Griffitha ma zatem postać:

$$\sigma(\pi c)^{1/2} = (E\gamma)^{1/2}$$

Gdzie lewa strona równania stanowi krytyczną wartość współczynnika intensywności naprężeń, Jeżeli wartość członu po lewej stronie równania przekroczy wartość wytrzymałości teoretycznej materiału po prawej stronie równania nastąpi proces kruchej zniszczenia materiału. Taką maksymalną wartość nazywamy **krytycznym współczynnikiem intensywności naprężeń**.

b) Energia pękania γ

Energia pękania to podstawowa wielkość, która decyduje o odporności materiału na kruche pęknięcie. Wartość tej energii podwyższa energię różnych procesów, do których należą:

- energia powierzchniowa
- energia powstawania nowych spękań (rozgałęzianie, mikropęknięcia)
- energia odkształcenia plastycznego (dyslokacje)
- energia przemian polimorficznych
- energia związana z wyciąganiem, mostkowaniem pęknięcia

- energia związana z wkląaniem pęknięcia
- energia innych procesów

c) Propagacja pęknięcia a podniesienie wartości odporności na kruche pękanie

- odchyłanie pęknięcia
- rozgałęzianie pęknięcia
- mostkowanie pęknięcia

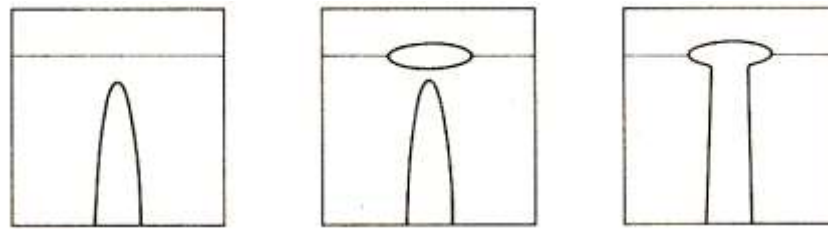
d) Czynniki wpływające na wartość odporności na kruche pękanie [3]

W odniesieniu do tworzyw polikrystalicznych wolnych od naprężeń droga pęknięcia może ulegać wkląaniu w wyniku oddziaływania wierzchołka szczeliny z granicami międzyziarnowymi. Sytuację tą opisuje mechanizm zaproponowany przez Cooka i Gordona.

Niezależnie od promienia krzywizny wierzchołka pęknięcia, rozmiarów pęknięcia i sposobu przykładania naprężeń zewnętrznych, stosunek maksymalnych naprężeń równoległych i prostopadłych do powierzchni spękania ma stałą wartość, która wynosi $1/5$ wytrzymałości ziaren krystalicznych. Przy takim rozkładzie naprężeń wewnętrznych istotne znaczenie dla rozprzestrzeniania pęknięcia ma fakt istnienia w materiale granic międzyziarnowych lub międzyfazowych. Gdy obszar maksymalnych naprężeń równoległych do płaszczyzny pęknięcia, wyprzedzających wierzchołek pęknięcia, dociera do granicy prostopadłej do płaszczyzny pęknięcia, występuje tendencja do rozwarstwienia się materiału wzdłuż granicy międzyziarnowej i tym samym do rozgałęzienia pęknięcia.

Jeśli jednak wytrzymałość granic międzyziarnowych jest mniejsza od $1/5$ wytrzymałości ziaren krystalicznych, to pod wpływem naprężeń równoległych granica międzyziarnowa ulega rozwarstwieniu przed dojściem do niej wierzchołka pęknięcia. Pierwotne pęknięcie łączy się z nowo powstałym pęknięciem poprzecznym i kierunek rozprzestrzeniania się pęknięcia ulega

odchyleniu w kierunku równoległym do działania naprężeń. Zjawisko to zostało zilustrowane na Rys. 3.

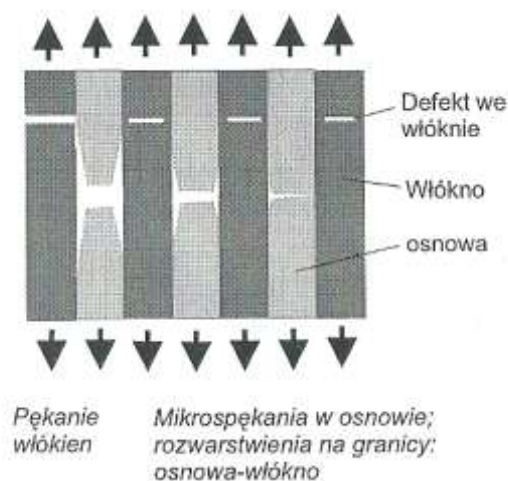


Rys. 3 Schemat działania mechanizmu Cooka – Gordona.

Proces taki hamuje rozprzestrzenianie się pęknięć, ponieważ tendencja do rozprzestrzeniania się pęknięć równoległych do kierunku przyłożonej z zewnątrz siły jest praktycznie znikoma.

Zbrojenie włóknami [4]

W przypadku tworzyw kompozytowych zbrojonych włóknami propagujące pęknięcie po dośrodku do granicy włókno/osnowa ulega rozgałęzieniu w kierunku prostopadłym. Naprężenia związane z głównym kierunkiem rozprzestrzeniania się pęknięcia są wyższe od naprężeń związanych rozgałęzieniem. W związku z tym wraz ze wzrostem obciążenia rozwarstwienia pojawiają się również w innych miejscach kompozytu do momentu pozostania samych włókien. W kolejnym kroku rozprzestrzeniają się defekty w bardziej wytrzymałych włóknach.

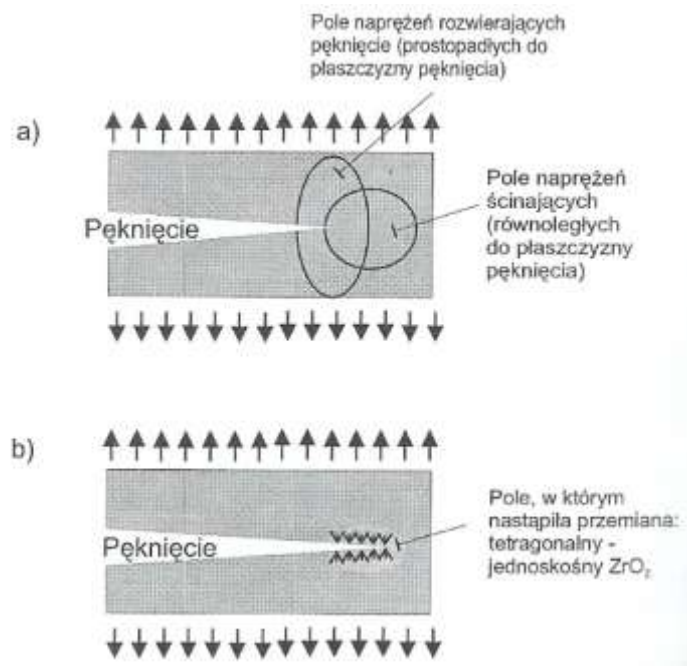


Rys. 4 Rozprzestrzenianie pęknięcia w tworzywach zbrojonych włóknami

W mechanice pękania kompozytów zbrojonych włóknami duże znaczenie odgrywa granica rozdziału włókno osnowa oraz resztkowe naprężenie cieplne wynikające z różnicy współczynników rozszerzalności cieplnej osnowy i włókna.

Przemiany polimorficzne [4]

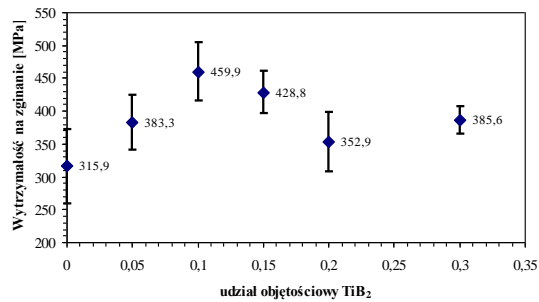
Jedną z metod podnoszenia odporności na kruche pęknięcie materiałów ceramicznych jest wprowadzenie cząstek, w których w obecności naprężeń zachodzi przemiana polimorficzna. Przykładem takim jest ZrO_2 . W obecności naprężeń rozciągających może dojść do przemiany odmiany tetragonalnej w jednoskośną tej fazy. Podczas przemiany martenzytycznej dochodzi do ścinania struktury krystalicznej. W wyniku tej przemiany w obszarze wierzchołka pęknięcia mogą się pojawić naprężenia ściskające hamujące pęknięcie, a wynikające w większej objętości komórki odmiany jednoskośnej.



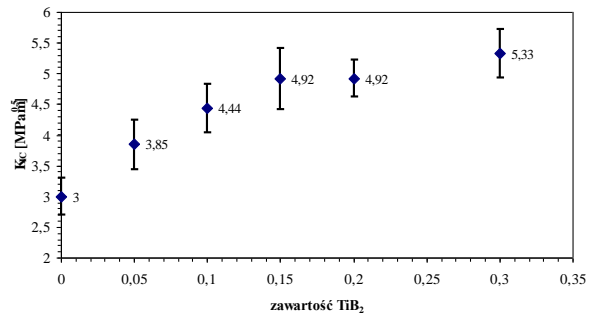
Rys. 5 Schemat pól naprężeń w obszarze wierzchołka pęknięcia jednofazowego polikryształu (a), schemat pól naprężeń w tym obszarze dla kompozytu zawierającego cząstki dwutlenku cyrkonu.

Pola naprężeń cieplnych

Resztkowe naprężenia cieplne pojawiają kiedy w materiale znajdują się co najmniej dwie fazy znacznie różniące się współczynnikiem rozszerzalności cieplnej. W wyniku procesu otrzymywania materiału (spiekania) podczas chłodzenia ziarna powstają naprężenia w materiale.

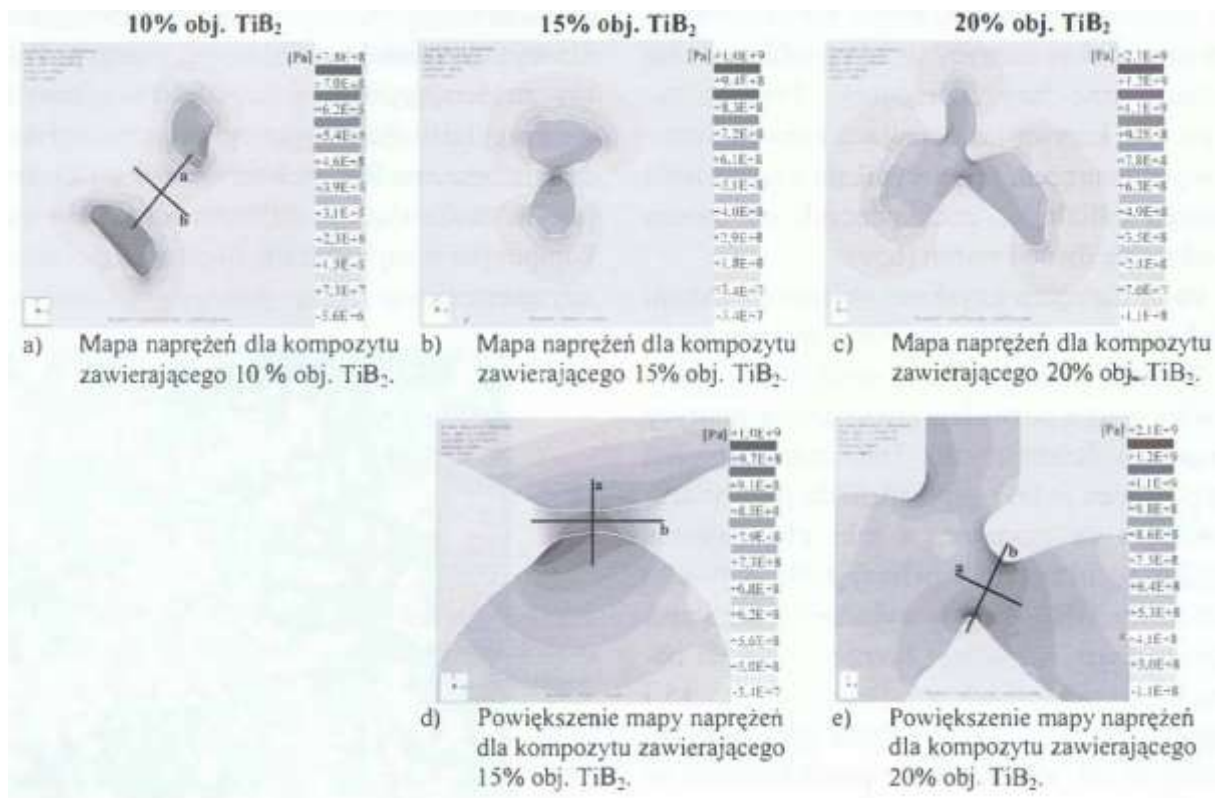


Rys. 6 Wytrzymałość na zginanie tworzyw AlN-TiB₂ [5]



Rys. 7 Krytyczny współczynnik intensywności naprężeń tworzyw AlN-TiB₂ [5]

Za wartość wytrzymałości na zginanie oraz krytycznego współczynnika odporności na kruche pękanie w przypadku kompozytów zawierających zdyspergowane cząstki w osnowie odpowiadają naprężenia cieplne. Podnoszenie wartości odporności na kruche pękanie zachodzi gdy współczynnik rozszerzalności cieplnej fazy wtrąconej jest dużo wyższy niż dla osnowy (fazy ciągłej kompozytu). W takiej sytuacji rozprowadzone równomiernie ziarna będą wytwarzały w osnowie naprężenia ściskające, a zatem będą prowadziły do hamowania propagującego pęknięcia i wzrostu odporności na kruche pękanie. Wraz ze wzrostem tej wartości wzrasta wytrzymałość na zginanie materiału ale, w wielu przypadkach, tylko do momentu gdy mamy do czynienia z dobrze rozprowadzonymi izolowanymi cząstkami fazy rozproszonej. W momencie gdy ziarna zaczynają tworzyć skupiska między ziarnami pojawiają się naprężenia rozciągające (tak jak w przypadku ściskania sprężyny). Prowadzą one do powstawania mikrospękań w tym obszarze, co objawia się z jednej strony podwyższeniem wartości krytycznego współczynnika intensywności naprężeń a z drugiej strony spadkiem wytrzymałości materiału.



Rys. 6 Mapy naprężeń dla tworzyw AlN- TiB_2 wykonane metodą elementów skończonych [5]

e) Przykładowe dane literaturowe dla materiałów ceramicznych [6]

Material	G_c [$kJ \cdot m^{-2}$]	K_{Ic} [$MN \cdot m^{-3/2}$]
Metale czyste, plastyczne (np. Cu, Ni, Ag, Al)	100–1000	100–350
Stale na wirniki (A533; Discalloy)	220–240	204–214
Stale na zbiorniki ciśnieniowe (HY130)	150	170
Stale o wysokiej wytrzymałości	15–118	50–154
Stale miękkie	100	140
Stopy tytanu (Ti6Al4V)	26–114	50–115
GFRP**	10–100	20–60
Żywice epoksydowe wzmocnione włóknem szklanym	40–100	42–60
Stopy aluminium (wysokiej wytrzymałości - niskiej wytrzymałości)	8–30	23–45
CFRP**	5–30	32–45
Żywie drewno, pęknięcie prostopadle do włókna	8–20	11–13

Material	G_c [$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$]	K_{Ic} [$\text{MN}\cdot\text{m}^{-3/2}$]
Zywice epoksydowe wzmocnione włóknem boru	17	46
Stale średnio węglowe	13	51
Polipropylen	8	3
Polietylen (małej gęstości)	6-7	1
Polietylen (dużej gęstości)	6-7	2
Akrylobutadienostyren (ABS)	5	4
Nylon	2-4	3
Cement wzmocniany stalą	0,2-4	10-15
Żeliwo	0,2-3	6-20
Polistyren	2	2
Zwykłe drewno (pęknięcie równoległe do włókna)	0,5-2	0,5-1
Poliwęglan	0,4-1	1-2,6
Węgliki spiekane (W w osnowie Co)	0,3-0,5	14-16
PMMA**	0,3-0,4	0,9-1,4
Zywice epoksydowe	0,1-0,3	0,3-0,5
Granit (Westerly Granite)	0,1	3
Poliester	0,1	0,5
Azotek krzemu, Si_3N_4	0,1	4-5
Beryl	0,08	4
Węglik krzemu SiC	0,05	3
Tlenek magnezu, MgO	0,04	3
Beton niezbrojony	0,03	0,2
Kalcyt (marmur, wapień)	0,02	0,9
Tlenek aluminium Al_2O_3	0,02	3-5
Łupki naftowe	0,02	0,6
Szkło sodowe	0,01	0,7-0,8
Porcelany elektrotechniczne	0,01	1
Lód	0,003	0,2*

Rys. 7 Przykładowe wartości odporności na kruche pęknięcie [7]

2. Metody pomiaru odporności na kruche pęknięcie

Wyznaczenie eksperymentalne wartości K_{Ic} według obowiązujących norm, opracowanych pierwotnie dla materiałów metalicznych i potem rozszerzanych na tworzywa ceramiczne, polega na określeniu wytrzymałości na trójpunktowe zginanie próbki z naciętym karbem o określonej geometrii. Ponieważ metoda ta jest bardzo pracochłonna, ze względu na kłopoty z obróbką przy przygotowaniu większej ilości próbek o określonej geometrii, często określa się wartość współczynnika K_{Ic} na podstawie pomiarów parametrów odcisku Vickersa z pęknięciami wywołanymi w narożach odcisku.

a) Pomiar długości spękań z odcisku Vickersa

Wykorzystywana w ćwiczeniu metoda korzysta z faktu, że przy przyłożeniu w teście Vickersa większej siły wokół naroży odcisku zaczynają się pojawiać pęknięcia Palmqvista (Rys. 7) [7]. Mierząc długość tych pęknięć i znając moduł Younga materiału można wyznaczyć współczynnik K_{Ic} stosując wzór Niihary [8]:

$$K_{Ic} = 0.018HV^{0.6}E^{0.4}al^{-0.5}$$

Gdzie:

HV – twardość Vickersa [MPa]

E – moduł Younga [MPa]

2a – przekątna wgłębienia [m]

l – średnia długość spękań [m]

Z powyższego wzoru można skorzystać jedynie, gdy spełniona jest zależność $0,25 < l/a < 1,5$. W przypadku większych nacisków dla materiałów o wysokiej odporności na kruche pękanie pojawiają się pęknięcia środkowe i konieczne jest zastosowanie wzoru Anstisa (4).

$$K_{IC} = 0,016 \left(\frac{E}{HV} \right)^{0,5} \cdot \frac{P}{c^{1,5}}$$

Gdzie:

$c=a+l$

2a – przekątna wgłębienia [m]

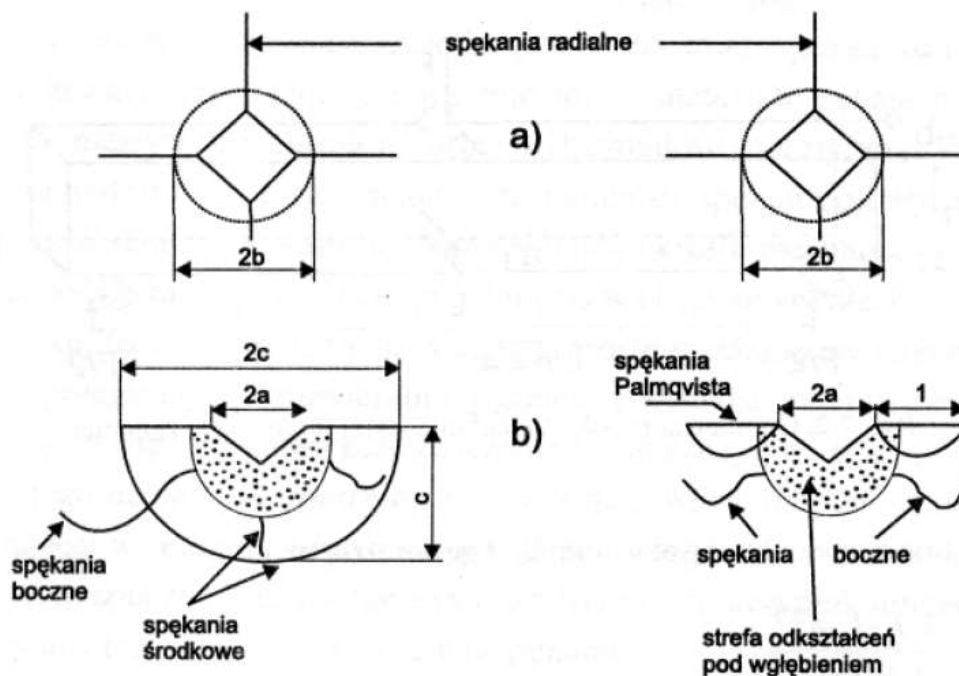
l – średnia długość spękań [m]

P – przyłożone o obciążenie

HV – twardość Vickersa [MPa]

E – moduł Younga [MPa]

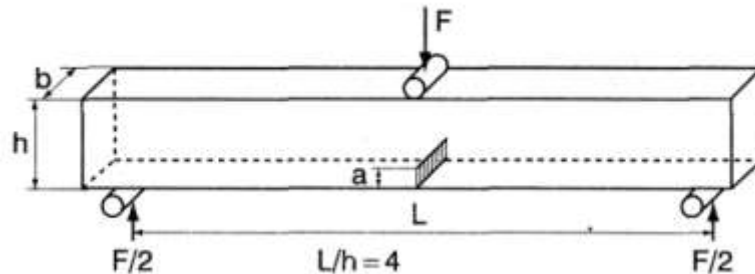
Różnica pomiędzy spękaniami Palmqvista i środkowymi ukazuje rys. 4.



Rys. 8 Mapy Geometria i rodzaje spękań wokół wgłębienia Vickersa: a) widok z góry, b) przekrój pionowy [7]

b) Metoda łamania belki z karbem

Najbardziej miarodajną metodą wyznaczania wartości odporności na kruche pękanie jest pomiar zginania belki z karbem, co przedstawiono na poniższym rysunku.



Rys. 9 Geometria próbki w metodzie wykorzystującej belkę z karbem

W tej metodzie istotne jest, by powierzchnie belki były wypolerowane by nie wprowadzać dodatkowych koncentratorów naprężeń. Współczynnik K_{IC} można obliczyć przy wykorzystaniu poniższego wzoru:

$$K_{IC} = \frac{3YFL\sqrt{a}}{2bh^2}$$

Gdzie:

F – siła działająca na belkę [N]

b – szerokość próbki

h – wysokość próbki

L – odległość podpór

a – głębokość karbu

Y – f(a/h) – współczynnik korekcyjny związany ze skończonymi wymiarami próbki

c) Metoda łamania belki z karbem wygenerowanym wgłębniakiem

Istnieje też metoda łamania belki z karbem, gdzie zamiast tradycyjnego nacinanego karbu wykonuje się karb z użyciem piramidki Knoopa.

CZĘŚĆ II: Metodyka przygotowania zglądów

Wstęp [9]

Zgląd metalograficzny to próbka materiału o specjalnie przygotowanej powierzchni badanego umożliwiającej przeprowadzenie obserwacji mikroskopowych w celu opisu mikrostruktury lub

przeznaczonej do wykonania innych pomiarów np. pomiaru twardości metodą nakłuć węgelnikiem Vickersa.

1. Pobieranie próbek do badań

Próbka musi być pobrana z obszaru reprezentatywnego dla całego elementu badanego materiału. W przypadku próbek o małym rozmiarze, zgląd może być wykonany z całej próbki bez konieczności cięcia. Należy unikać wycinania próbek w sposób mogący wpłynąć na zmianę struktury materiału np. w wyniku działania wysokiej temperatury. Prawdłowo dobrane parametry cięcia prowadzą do uzyskania takiej powierzchni zglądu, że w większości przypadków zbędny staje się etap zgrubnego szlifowania.

2. Oprawianie próbek

Znanych jest kilka sposobów oprawiania próbek: uchwyty mechaniczne (klamry, zaciski, sprężynki, rurki); galwanizowanie np. niklem; zalewnie tworzywami o niskiej temperaturze topienia np. stop Wooda; inkludowanie w tworzywach sztucznych (żywice epoksydowe, inne tworzywa chemo- lub termoutwardzalne).

Oprawianie próbek prowadzi się w celu:

- zabezpieczenia krawędzi próbki przed destrukcyjnym działaniem materiałów ściernych
- uzyskania próbki o wymiarach umożliwiającym zamocowanie jej w uchwycie szlifierki
- uzyskania próbki o wymiarach ułatwiających preparatykę ręczną

3. Szlifowanie

Zabieg szlifowania prowadzi się w celu wyrównania powierzchni przygotowywanego zglądu. Szlifowanie można prowadzić ręcznie na papierach ściernych lub automatycznie na szlifierkach zaopatrzonych w tarcze szlifierskie. Istotne jest aby nacisk był równomiernie rozłożony (w przeciwnym razie szlifowana powierzchnia nie będzie płaska) oraz żeby siła nacisku była odpowiednio dopasowana (za mały docisk powoduje efekt polerowania, za duży powoduje powstawanie głębokich rys oraz wgniatanie wykruszonych ziaren ścierniwa w powierzchnię próbki). Szlifowanie rozpoczyna się od tarcz lub papierów ściernych o grubym ziarnie, przechodząc kolejno do coraz to mniejszego uziarnienia. Należy pamiętać, że każdorazowa zmiana na ścierniwa o mniejszej ziarnistości powinna się wiązać ze zmianą kierunku ruchu na prostopadły do poprzednich rys. Zaleca się także chłodzenie szlifowanych próbek wodą w celu uniknięcia przegrzania i potencjalnych zmian w mikrostrukturze.

4. Polerowanie

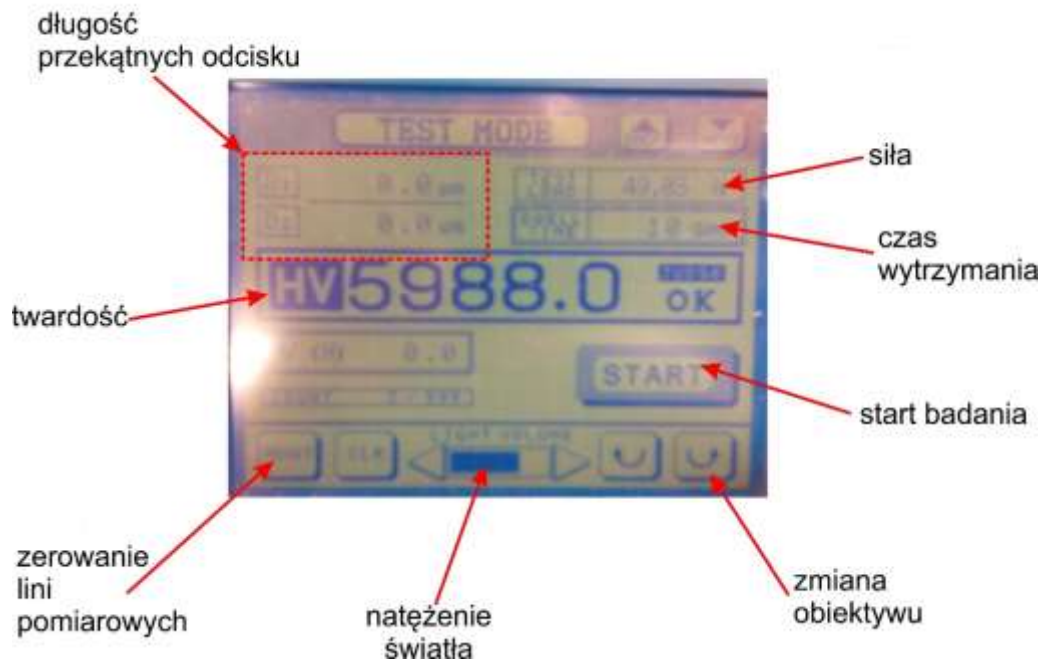
Próbki poddaje się polerowaniu w celu usunięcia powstałych podczas szlifowania rys. Stosuje się obrotowe tarcze polerskie pokryte filcem lub innymi rodzajami materiałów, które w zależności od obrabianego materiału zwilża się wodną zawiesiną Al_2O_3 , zawiesina diamentowa o bardzo małej ziarnistości lub koloidalna krzemionka. Podczas polerowania ręcznego próbka jest dociskana z niewielką siłą do tarczy i przesuwana w kierunku przeciwnym do ruchu tarczy.

CZĘŚĆ III: Wykonanie pomiarów twardości oraz odporności na kruche pęknięcie

W przypadku pomiarów z użyciem piramidki Vickersa zostanie wykorzystany twardościomierz firmy Futuretech przedstawiony na Rys. 10.



Rys. 10 Twardościomierz Futuretech

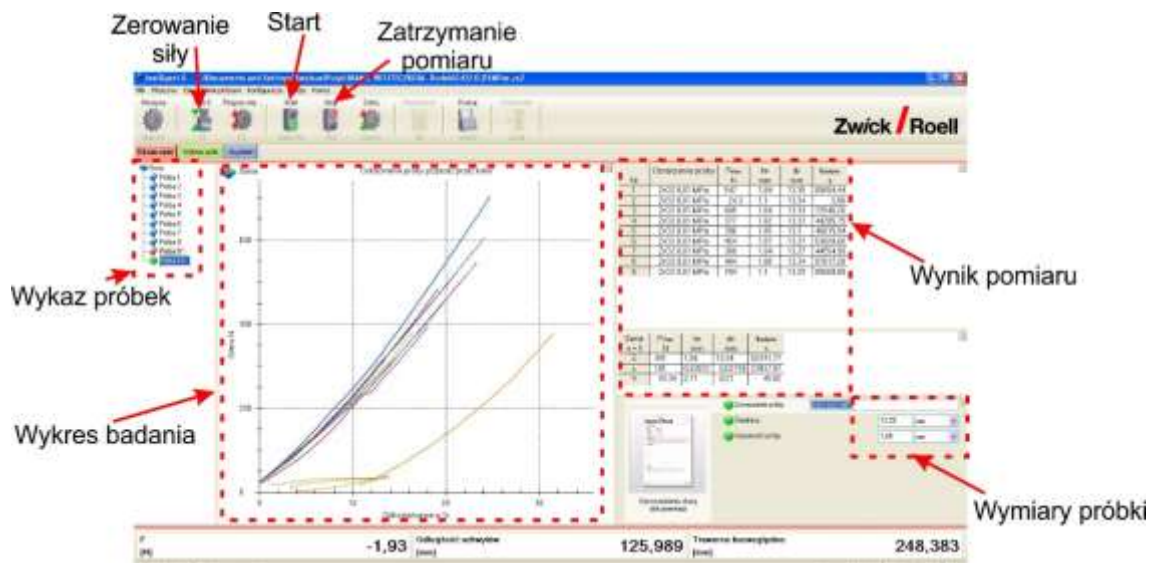


Rys. 11 Sterowanie pomiarem na twardościomierzu FutureTech

W przypadku badań wytrzymałościowych pomiary będą wykonywane na maszynie wytrzymałościowej ZwickRoell Z2,5 – Rys. 12



Rys. 12 Maszyna wytrzymałościowa ZwickRoell Z2,5 - sterowanie



Rys. 13 Opis elementów programu pomiarowego

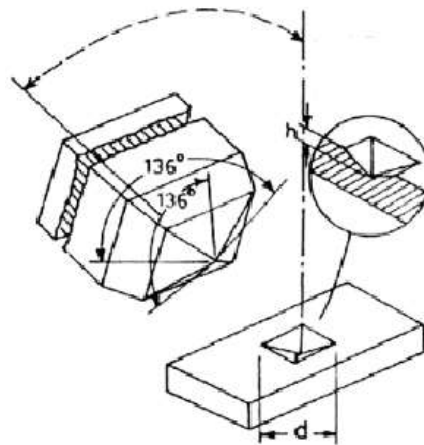
1. Pomiar twardości metodą nakłuc wgłębnikiem Vickersa

W metodzie Vickersa stosuje się wgłębnik diamentowy w kształcie ostrosłupa o podstawie kwadratu i kącie nachylenia ścian wierzchołka $\alpha=136^\circ$. Wyznaczona w ten sposób twardość HV wyraża stosunek siły obciążenia do powierzchni bocznej odcisku.

Aby wykonać pomiar należy ustawić obraz próbki na mikroskopie, czas wytrzymania wgłębnika w materiale oraz obciążenie. Po wykonaniu odcisku odczytuje się jego przekątne.



Rys. 14 Geometria Twardościomierz firmy Futuretech



Rys. 15 Geometria Schemat pomiaru twardości metodą Vickersa

Znając średnią wartość przekątnej oraz siłę nacisku wgłębnika na materiał obliczamy twardość Vickersa korzystając z następującego wzoru:

$$H_V = \frac{F}{S} \Rightarrow H_V = 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2} [GPa]$$

gdzie:

F - siła nacisku [N]

d = $(d_1+d_2)/2$ - średnia przekątna odcisku [m]

2. Badanie odporności na kruche pękanie metodą pomiaru długości spękań

Podstawą metody jest stwierdzenie, że długość spękań wychodzących z wgłębień odcisku Vickersa, ma związek z odpornością na kruche pękanie K_{Ic} badanego materiału. Obraz spękań zależy od rodzaju materiału i wielkości siły nacisku wgłębnika.

W celu wykonania pomiaru należy przy obciążeniu 1kg oraz czasie wytrzymania 10s wykonać odcisk na materiale z wykorzystaniem piramidki Vickersa. Po wykonaniu odcisku mierzymy przekątne oraz długości spękań wychodzących z czterech naroży odcisku. Wartość modułu Younga przyjmujemy na podstawie pomiarów rezonansowych z poprzednich ćwiczeń.

Przedmiotem analizy w odniesieniu do wyznaczenia stałej K_{Ic} są spękania Palmqvista (Rys. 10). Jeśli dla spękań Palmqvista spełniony jest warunek $0,25 < l/0,5d < 2,5$ wówczas odporność na kruche pękanie wyrażoną poprzez wartość krytycznego współczynnika intensywności naprężeń K_{Ic} można wyznaczyć w oparciu o następujący wzór:

$$K_{Ic} = 0,018 \cdot H^{0,6} \cdot E^{0,4} \cdot 0,5d \cdot l^{-0,5} [\text{MPa} \cdot \text{m}^{0,5}]$$

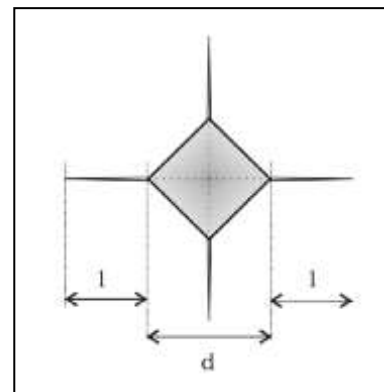
gdzie:

H - twardość Vickersa [MPa]

E - moduł Younga [MPa]

d - przekątna wgłębienia [m]

l - średnia długość spękań [m]

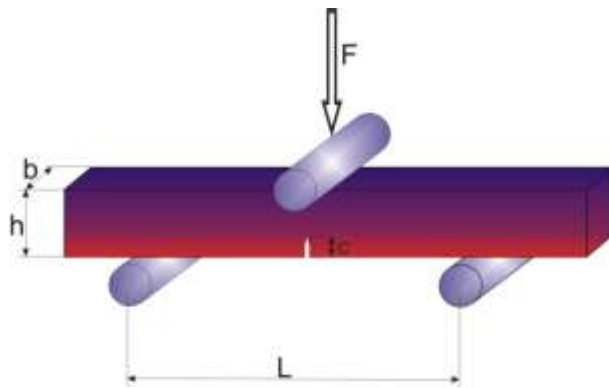


Rys. 16. Schemat spękań wychodzących z naroży odcisku w metodzie Vickersa.

3. Badanie odporności na kruche pękanie metodą zginania belki z karbem

Metoda Evansa, polegająca na wyznaczeniu wartości siły powodującej złamanie belki z karbem podczas trójpunktowego zginania. Do pomiarów zostanie użyte urządzenie do badania wytrzymałości na zginanie firmy ZwickRoell model Z2,5.

Przed pomiarem należy zmierzyć rozstaw podpór, wysokość i szerokość belki w miejscu przyłożonej siły oraz głębokość naciętego karbu (szczeliny). Próbkę ustawiamy karbem (szczeliną) w dół na podporach oddalonych o siebie o 20 mm. Szybkość trawersy (szybkość najazdu pletwy) wynosi 0,1 mm/min, ze względu na czułość pomiaru.



Rys. 17 Urządzenie oraz kształt, ułożenie i wymiary próbki do badania K_{Ic}

Wartość współczynnika odporności na kruche pękanie należy wyliczyć wykorzystując wzór (należy zwrócić uwagę na jednostki):

$$K_{Ic} = \frac{1,5 \cdot F \cdot L}{b \cdot h^2} \cdot Y \cdot c^{0,5} \quad (2)$$

$$Y = 1,93 - 3,07 \cdot \frac{c}{h} + 13,66 \cdot \left(\frac{c}{h}\right)^2 - 23,98 \cdot \left(\frac{c}{h}\right)^3 + 25,22 \cdot \left(\frac{c}{h}\right)^4 \quad (3)$$

Gdzie:

K_{Ic} – współczynnik odporności na kruche pękanie [$\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$]

F – wartość siły przyłożonej do belki [N]

L – rozstaw podpór [mm]

b – szerokość belki [mm]

h – wysokość belki [mm]

c – długość naciętego karbu [mm]

Wykonanie ćwiczenia

W przypadku pomiaru K_{Ic} z odcisku Vickersa:

1. Zapoznanie się z budową, działaniem i obsługą twardościomierza FV-700 (Futur-Tech)

2. Ustalić z prowadzącym warunki pomiaru: wartość obciążenia przy którym wykonywane będą odciski, czas obciążania.
3. Ustawić próbkę na stoliku twardościomierza i wykonać 5 nakłuc w głębnikiem Vickersa.
 - po każdym nakłuciu zmierzyć przekątne (d_1 , d_2) powstałego odcisku
 - przesunąć stolik urządzenia tak aby kolejny odcisk wykonywany był w odległości nie mniejszej niż czterokrotność przekątnej
4. Po skończonym pomiarze twardości zwiększyć obciążenie do tak aby od naroży odcisku powstawały pęknięcia.
5. Wykonać analogicznie jak przy pomiarze twardości 5 nakłuc w głębnikiem Vickersa
 - po każdym nakłuciu zmierzyć przekątne (d_1 , d_2) i długość pęknięć (l_1 , l_2 , l_3 , l_4)
6. Z wykorzystaniem wzorów (1) i (2) podanych w instrukcji, obliczyć wartość twardości i odporności na kruche pękanie.

W przypadku zgnania belki z karbem:

1. Zmierzyć wymiary 5 belek: wysokość, szerokość oraz głębokość karbu
2. Ustalić rozstaw podpór oraz szybkość posuwu trawersy (szybkość przykładanego obciążenia)
3. Zamocować (pod okiem prowadzącego) belkę w urządzeniu wytrzymałościowym
4. Wprowadzić dane wymiarowe materiału
5. Wyzerować siłę
6. Uruchomić pomiar (opis sterowania maszyny wytrzymałościowej znajduje się w niniejszej instrukcji) – pomiar przeprowadzamy pod okiem prowadzącego
7. Mając dane ustawienia układu pomiarowego, siłę przy której zniszczono próbkę oraz wymiary materiału należy policzyć średnią wartość K_{Ic} oraz przedział odchylenia standardowe i przedział ufności.

Sprawozdanie (fragment sprawozdania końcowego)

W sprawozdaniu powinny się znaleźć następujące informacje:

1. Krótki opis wykonania ćwiczenia (użyte materiały, aparatura, przebieg itp.)
2. Tabelaryczne zestawienie danych wyjściowych i obliczonych pojedynczych wartości zmierzonych właściwości badanych próbek

3. Dyskusja przebiegu pomiarów i otrzymanych wyników.
4. Wnioski dotyczące twardości i odporności na kruche pękanie materiałów kompozytowych ZTA.

Literatura:

-
- ¹ Kozłowski K. Kompozyty wzmacniane włóknami. Podstawy technologii, Skrypty uczelniane AGH, Kraków 1983
 - ² Pampuch R. Pomaga Życ. Ceramika Wczoraj i Dziś. Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2008
 - ³ Rutkowski P. Badanie właściwości mechanicznych kompozytów AlN-TiB₂. Praca magisterska AGH 2002
 - ⁴ Pampuch R. Współczesne materiały ceramiczne, Polskie Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2005
 - ⁵ Rutkowski P., Grabowski G., Stobierski L. Rola naprężeń cieplnych w kształtowaniu właściwości mechanicznych kompozytów ceramicznych, Materiały Ceramiczne, 2 (2003) 69-75
 - ⁶ Ashby M.F., Jones D.R., Materiały inżynierskie, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1993
 - ⁷ Pędzich Z., Piekarczyk J., Stobierski L., Szutkowska M., Walat E.: Twardość Vickersa i odporność na pękanie wybranych kompozytów ceramicznych. Kompozyty (Composites), 3 (2003) 7, s. 296-300.
 - ⁸ Niihara K.: A fracture mechanics analysis of indentation induced Palmqvist cracks in ceramics, J. Mater. Lett., 2, (1983), 221.
 - ⁹ Cebula D., Wiedermann J.: Badania metalograficzne. Preparatyka i metody obserwacji. Wyd. Biuro Gamma, Warszawa 1999.