



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

NAUKA O MATERIAŁACH

Wykład IX: Odształcenie materiałów - właściwości plastyczne

JERZY LIS
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Technologii Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych




Treść wykładu:

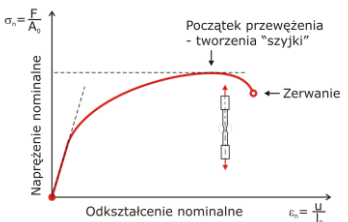
1. Odształcenie plastyczne
2. Parametry makroskopowe
3. Granica plastyczności
4. Mechanizmy odształcenia plastycznego
5. Zjawiska podwyższające granicę plastyczności
6. Wpływ temperatury na plastyczność materiałów



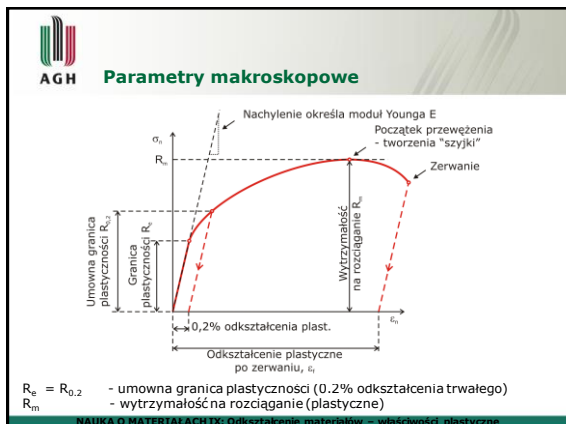
NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odształcenie materiałów - właściwości plastyczne

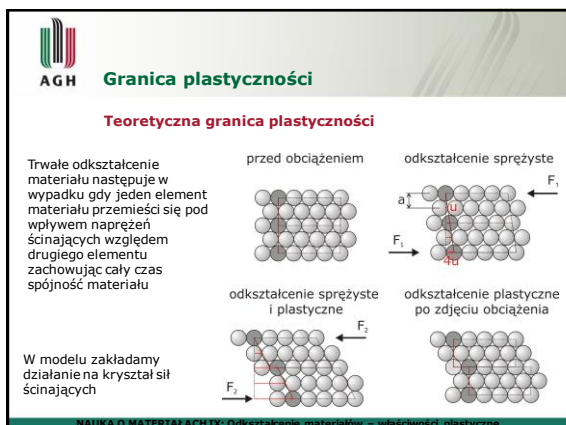


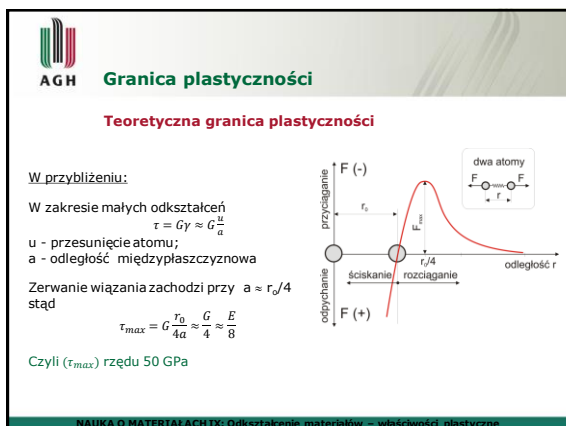
Parametry makroskopowe



NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odształcenie materiałów - właściwości plastyczne







AGH Granica plastyczności

Oznaczenie granicy plastyczności w próbie twardości

- Próba twardości polega na wciśnięciu w powierzchnię materiału węgelnika w kształcie piramidy lub kulki
- Podczas wciśnięcia następuje lokalne plastyczne (trwałe) odkształcenie materiału i powstaje trwałe wgłębienie o kształcie węgelnika
- Wyznaczana tą metodą **twardość H** jest wielkością charakteryzującą materiał związaną z jego właściwościami plastycznymi

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

AGH Granica plastyczności

Oznaczenie granicy plastyczności w próbie twardości

Twardość wyznaczana metodą Vickersa (techniczna)
 Węgielnik wykonany jest z monokryształu diamentu o kształcie piramidy
 H_v - twardość Vickersa
 $H_v = F/S$, gdzie: F - obciążenie; S - całkowita powierzchnia wgłębienia

Dla określenia granicy plastyczności stosujemy
 H - rzeczywista twardość
 $H = F/A$, gdzie: F - obciążenie; A - powierzchnia rzutu wgłębienia
 $H \sim HV$ (wielkości skorelowane w tablicach)
 Można wykażać, że $H = 3 R_e$

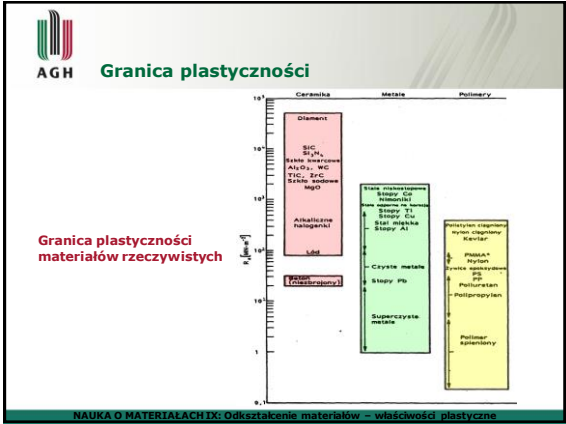
Metodą tą można (w sposób przybliżony) określić granicę plastyczności materiałów, zwłaszcza tych, których nie można odkształcić plastycznie w próbach rozciągania (ściskania) – jak np. kruche materiały ceramiczne

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

AGH Granica plastyczności

Granica plastyczności materiałów rzeczywistych

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne



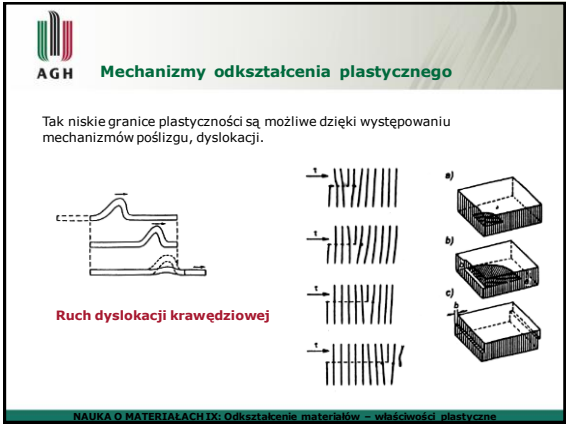
AGH Granica plastyczności

Granica plastyczności materiałów rzeczywistych

- typowymi materiałami plastycznymi są metale i stopy - ich granica plastyczności jest rzędu $10^{-6} - 10^{-2} E$ i jest niższa od wytrzymałości tworzyw
- granica plastyczności materiałów ceramicznych jest wyższa tj. $10^{-2} - 10^{-1} E$ znacznie przewyższa wartości wytrzymałości tych tworzyw - są to materiały kruche
- polimery charakteryzują się niską wartością granicy plastyczności chociaż w wypadku polimerów usieciowanych wartości te zbliżają się do metali

W wypadku metali muszą istnieć mechanizmy obniżające granicę plastyczności !!!!!!!!!

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odształcenie materiałów – właściwości plastyczne



AGH Mechanizmy odkształcenia plastycznego

Ruch dyslokacji śrubowej

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

AGH Mechanizmy odkształcenia plastycznego

- Niskie granice plastyczności są możliwe gdyż w czasie odkształcenia trwałego następuje zerwanie pojedynczych wiązań
- Materiały zawierających wysokie stężenia dyslokacji, w których ruch dyslokacji jest możliwy oraz występują dodatkowe źródła dyslokacji tj. w metalach posiadają **właściwości plastyczne**.
- W metalach odkształcenie plastyczne może zachodzić także przez **bliźniakowanie**


NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

AGH Mechanizmy odkształcenia plastycznego

Obraz dyslokacji w stali

Schemat powierzchni metalu odkształconego plastycznie

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne




Mechanizmy odkształcenia plastycznego

Systemy poślizgu (dla poślizgu dyslokacji)

- Poślizg w strukturach krystalograficznych zachodzi wzdłuż uprzywilejowanych płaszczyzn i określonych kierunków charakteryzujących się największą gęstością upakowania
- Kombinacja płaszczyzny i kierunku tworzy tzw. system poślizgu
- Materiały uważa się za plastyczne jeżeli posiadają więcej niż 5 niezależnych systemów poślizgu

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne



Mechanizmy odkształcenia plastycznego

Materiał	System poślizgu	Liczba systemów
Miedź RSC	$\langle 101 \rangle \{ 111 \}$	$3 \times 4 = 12$
Molibden RPC	$\langle 111 \rangle \{ 112 \}$	$6 \times 2 = 12$
Kadm HZ	$\langle 1120 \rangle \{ 0001 \}$	$1 \times 3 = 3$
MgO RSC	$\langle 110 \rangle \{ 110 \}$	2
Grafit HZ	$\langle 1120 \rangle \{ 1010 \}$	1

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne



ZJAWISKA PODWYŻSZAJĄCE GRANICĘ PLASTYCZNOŚCI

ZJAWISKA PODWYŻSZAJĄCE GRANICĘ PLASTYCZNOŚCI (umocnienie materiału)

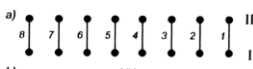
- Dla odkształcenia plastycznego konieczne jest występowanie dyslokacji i ich łatwe przemieszczanie w sieci krystalicznej.
- Gdy dyslokacja się przemieszcza poszczególne wiązania muszą ulegać zerwaniu i odtwarzaniu. Wymaga to pokonania pewnej siły.
- Minimalną siłę jaką należy pokonać dla uruchomienia dyslokacji nazywamy **krytycznym naprężeniem poślizgu dyslokacji**.
- Zjawiska zwiększające krytyczne naprężenie poślizgu dyslokacji czyli zmniejszające plastyczność materiału nazywamy **mechanizmami umocnienia materiału**.


NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

AGH **ZJAWISKA PODWYŻSZAJĄCE GRANICĘ PLASTYCZNOŚCI**

A. Występowanie wiązań ukierunkowanych np. atomowych, które nie mogą ulegać znacznej deformacji (przykład ceramika kowalencyjna)

Wiązania metaliczne praktycznie mogą się odkształcać bez przeszkód do momentu jego zerwania i stąd możliwy jest łatwy ruch dyslokacji.
W materiałach ceramicznych dyslokacje mają utrudniony ruch gdyż:

a)  Wiązania ukierunkowane mogą odkształcać się o niewielki kąt ok. 3° bez zerwania ciągłości materiału, stąd

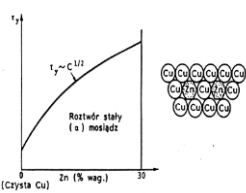
b)  **Napężenia niezbędne dla ruchu dyslokacji są w ceramice duże większe niż w metalach i nieraz większe od wytrzymałości materiałów = materiały kruche**

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

AGH **ZJAWISKA PODWYŻSZAJĄCE GRANICĘ PLASTYCZNOŚCI**

B. Umacnianie rozтворowe i dyspersyjne

Występowanie domieszek obcych atomów w formie roztworów stałych utrudnia ruch dyslokacji stąd obniża plastyczność. Stopy mają mniejszą plastyczność niż czyste metale.
Podobny efekt można osiągnąć za pomocą dyspersyjnych wtrąceń jak w kompozytach ziarnistych.



NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

AGH **ZJAWISKA PODWYŻSZAJĄCE GRANICĘ PLASTYCZNOŚCI**

C. Umocnienie odkształceniowe

W toku umocnienia plastycznego dyslokacje ulegają spiętrzeniu i „spłątaniu”. Powoduje to umocnienie materiału. Aby materiał był znów plastyczny należy poddać go wyżarzaniu.



NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

AGH **ZJAWISKA PODWYŻSZAJĄCE GRANICĘ PLASTYCZNOŚCI**

D. Umocnienie w polikryształe

- Jeżeli granice międzyziarnowe są słabe to ruch dyslokacji jest przez nie utrudniony co powoduje obniżenie plastyczności.
- Ziarna których systemy poślizgu są odchylone od kierunku działania naprężeń zewnętrznych będą odkształcały się słabiej stąd sumarycznie w polikryształe dla odkształcenia plastycznego konieczne jest większe naprężenie

$R_e = 3 \tau_y$ - czynnik Taylora.

The diagram shows a polycrystalline material under stress τ . Grain 1 has a slip system aligned with the stress direction, while grain 3 has a slip system at an angle. The stress-strain curve shows that grain 3 has a higher yield strength than grain 1.

AGH **Wpływ temperatury na plastyczność materiałów**

TEMPERATURA

W temperaturach pokojowych właściwości plastyczne wykazują jedynie metale.

Wraz ze wzrostem temperatury wzrasta ruchliwość defektów punktowych a wraz z nimi możliwość ruchów dyfuzyjnych dyslokacji.

The graph plots yield strength R_p in MPa against temperature in °C for three steel grades: S196K, S244K, and S41K. All grades show a decrease in yield strength as temperature increases.

W podwyższonych temperaturach możliwe jest wystąpienie odkształceń plastycznych także materiałów kruchych np. ceramicznych = **NADPLASTYCZNOŚĆ**

AGH **AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZYCIA W KRAKOWIE**

NAUKA O MATERIAŁACH

Dziękuję. Do zobaczenia za tydzień.

JERZY LIS
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Technologii Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych
