



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

NAUKA O MATERIAŁACH

**Wykład IX: Odształcenie materiałów
- właściwości plastyczne**

JERZY LIS
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki




Treść wykładu:

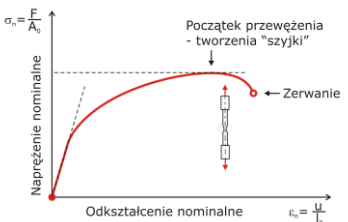
1. Odształcenie plastyczne
2. Parametry makroskopowe
3. Granica plastyczności
4. Mechanizmy odkształcenia plastycznego
5. Zjawiska podwyższające granicę plastyczności
6. Wpływ temperatury na plastyczność materiałów



NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odształcenie materiałów – właściwości plastyczne

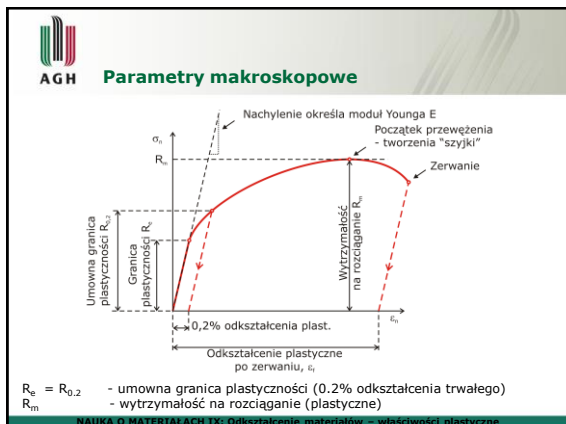


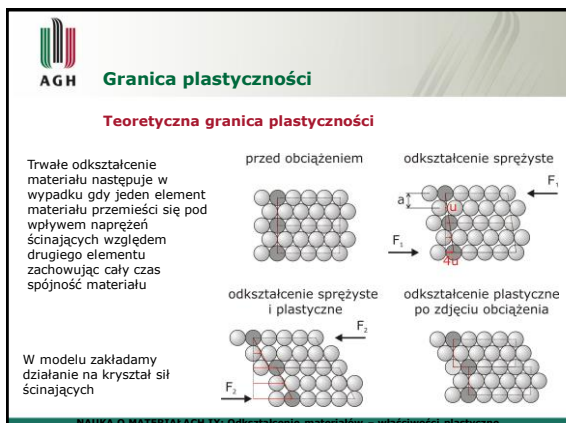
Parametry makroskopowe

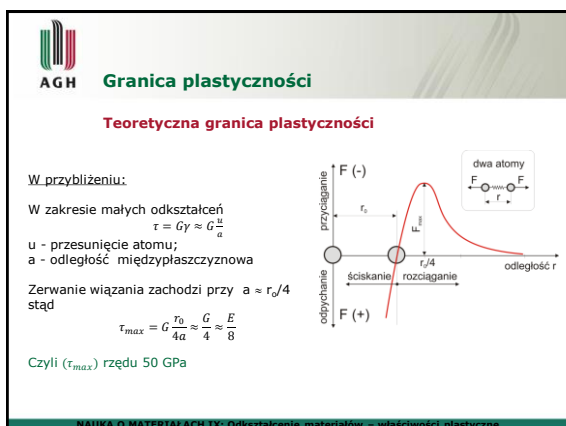


Graph showing nominal stress ($\sigma_n = \frac{F_n}{A_n}$) versus nominal strain ($\epsilon_n = \frac{L_n}{L_0}$). The curve illustrates the yield point phenomenon, with labels for 'Początek przewężenia - tworzenia "szyjki"' (start of necking - formation of 'neck') and 'Zerwanie' (fracture).

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)
 Wgłennik wykonany jest z monokrystalu 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 **$H = 3 R_e$**

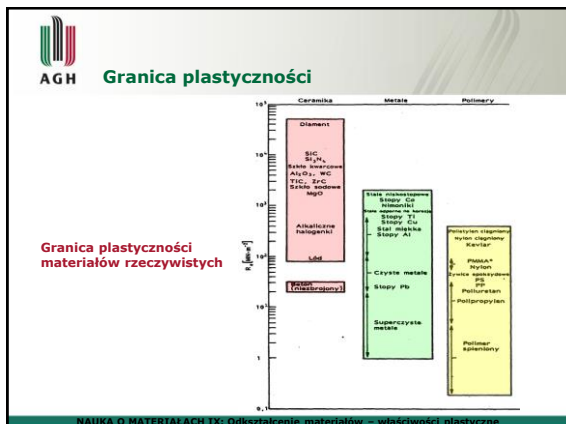
Metodą tą można (w sposób przybliżony) określić granicę plastyczności materiałów, zwłaszcza tych, których nie można odkształcić plastycznie w próbach rozciągania (ściskania) – jak np. kruche materiały ceramiczne

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

AGH Granica plastyczności

Granica plastyczności materiałów rzeczywistych

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

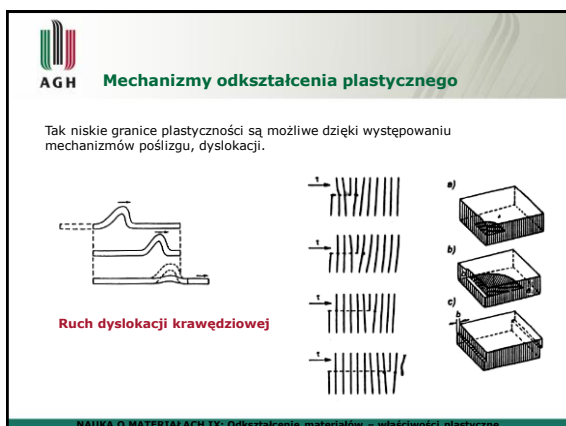


AGH Granica plastyczności

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 !!!!!!!!!



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 PODWYŻSAJĄCE GRANICĘ PLASTYCZNOŚCI

ZJAWISKA PODWYŻSAJĄCE 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**.

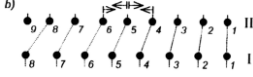
NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

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

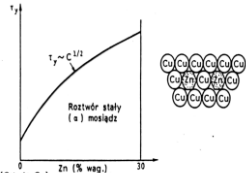
b)  **Napreżenia niezbędne dla ruchu dyslokacji są w ceramice duże większe niż w metalach i nieraz większe od wytrzymałości materiałów = materiały kruche**

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

AGH **ZJAWISKA PODWYŻSZAJĄCE GRANICĘ PLASTYCZNOŚCI**

B. Umacnianie roztworowe 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 „splątaniu”. Powoduje to umocnienie materiału. Aby materiał był znów plastyczny należy poddać go wyżarzaniu.



NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

AGH **ZJAWISKA PODWYŻSAJĄCE 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 odchyłone 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.

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

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.

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

NAUKA O MATERIAŁACH IX: Odkształcenie materiałów – właściwości plastyczne

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

NAUKA O MATERIAŁACH

Dziękuję. Do zobaczenia za tydzień.

JERZY LIS
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
