

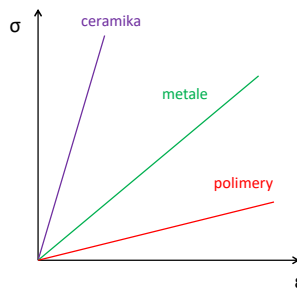
Materiałoznawstwo

Metale, cz. 3

Dr hab. inż. Leszek Niedzicki, prof. PW

Dr inż. Marta Kasprzyk

Odształcenia pod wpływem obciążeń



Własności mechaniczne to zachowanie się materiałów pod wpływem obciążeń

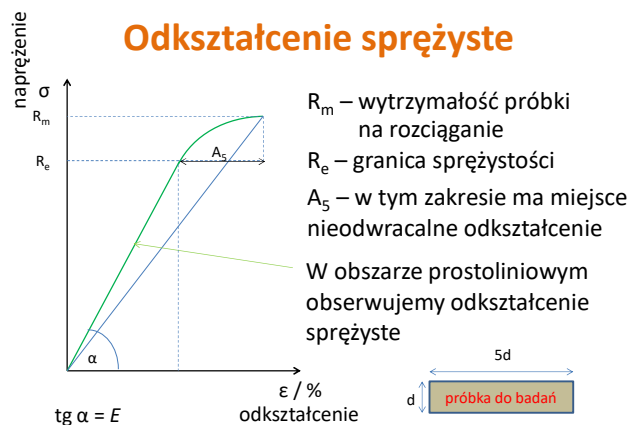
ϵ – odkształcenie liniowe

σ – naprężenie

Odształcenia pod wpływem obciążeń

- W materiałach ceramicznych jest duża siła wiązań, stąd materiał długo nie daje znacznych symptomów wpływu sił na odkształcenie, do czasu gwałtownego pęknięcia materiału.
- W polimerach jest mała siła wiązań, więc przy niewielkich obciążeniach widzimy duże odkształcenia.
- W metalach odkształcenie jest zwykle proporcjonalne do naprężenia.

Odształcenie sprężyste



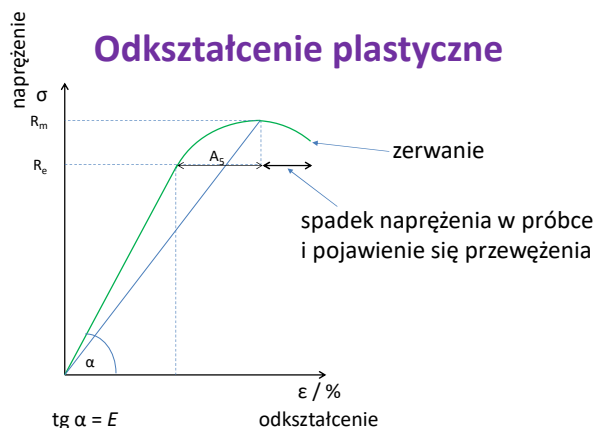
Odształcenie plastyczne

Jest trwałe i nieodwracalne po przekroczeniu granicy plastyczności.

A_5 – nieodwracalne odkształcenie, które pojawia się po przekroczeniu granicy sprężystości R_e . Do tego punktu obserwujemy równomierne wydłużanie próbki bez pojawienia się przewężenia.

Nieodwracalne odkształcenie jest rejestrowane dalej do momentu przekroczenia wytrzymałości na zerwanie (do zerwania próbki), wtedy też obserwujemy spadek naprężenia w próbce i pojawienie się przewężenia (przed zerwaniem).

Odształcenie plastyczne

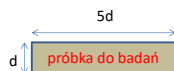


Od czego zależą odkształcenia sprężyste?

Miarą wytrzymałości jest wytrzymałość na zerwanie.

Np. w ceramicznych materiałach $R_e = R_m$

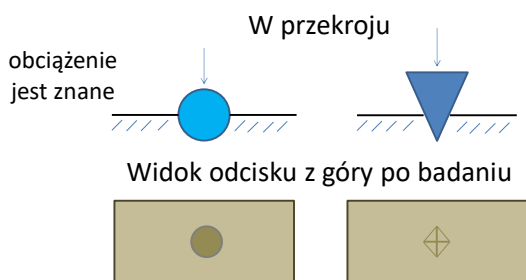
Poniżej wartości R_e materiał jest na tyle elastyczny, że po zdjęciu obciążenia wraca do swojej poprzedniej postaci.



Twardość

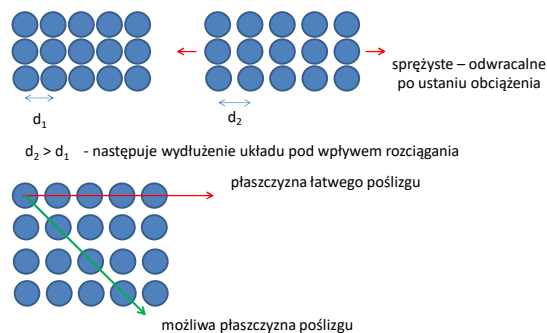
- Jest miarą odporności materiału na odkształcenia plastyczne przy obciążeniu przyłożonemu do małej powierzchni.
- W ten sposób można ustalić jaką twardość ma materiał w skali Mohsa
- Po badaniu ocenia się wielkość pozostawionego wgłębienia.

Wgłębniaki



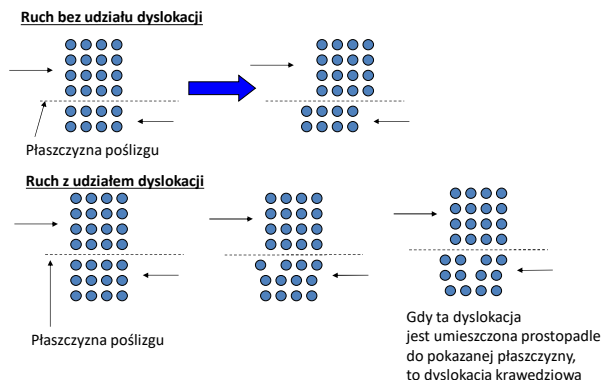
Można zmierzyć wymiary odcisku i na tej podstawie porównywać twardość

Sprężystość a plastyczność



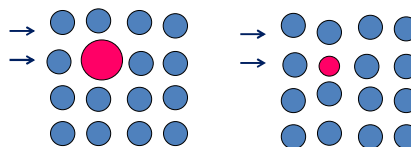
Napężenia progowe poślizgu są teoretycznie b. duże, ale w rzeczywistości 100x mniejsze niż teoretyczne.

Defekty liniowe – poślizg (przyp.)



Poślizg i ruch dyslokacji

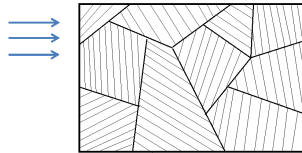
Są też inne defekty, które utrudniają poślizg np. gdy duży albo mały atom znajduje się w położeniu węzłowym



Blokowanie odkształceń plastycznych

Nadmiar dyslokacji może skutecznie zatrzymywać odkształcenia plastyczne.

Tak samo dzieje się, gdy brak defektów, ale materiał jest polikrystaliczny i ma nieregularne granice ziaren.



Sposoby umocnienia materiałów

Istotne jest wytworzenie w materiale przeszkód dla ruchu dyslokacji (utrudniają poślizg), poprzez:

- wprowadzenie defektów punktowych
- wprowadzenie dyslokacji (umocnienie odkształceniowe)
- wydzielenie wtórnych faz (umocnienie wydzieleniowe)
- granice międzykrystaliczne

Wprowadzenie defektów punktowych

Można wykonać poprzez tworzenie roztworów stałych z atomami, które znacząco różnią się wielkością (wyraźnie większe lub mniejsze). Stąd popularność dodatków węgla, azotu, boru w bardzo twardych materiałach.

Wprowadzenie dyslokacji

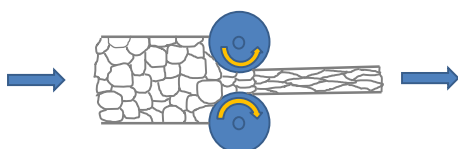
Można otrzymać taki materiał poprzez obróbkę materiału na zimno, np. poprzez walcowanie metalu na zimno.

Podczas tego procesu rośnie znacząco wytrzymałość metalu na rozciąganie. Przy tym typie walcowania, defekty z poszczególnych płaszczyzn zaczynają sobie przeszkadzać i blokować ruch. Przez to może dochodzić do utraty plastyczności (szczególnie przy cienkich blachach), co zwiększa wartość energii potrzebnej do dalszego walcowania.

Wprowadzenie dyslokacji – c.d.

Czasami, żeby uzyskać cieńsze blachy, bez konieczności użycia dużej ilości energii, można pozbyć się nadmiaru dyslokacji poprzez zatrzymanie walcowania i wygrzanie blachy. Taki proces przywraca plastyczność materiałowi.

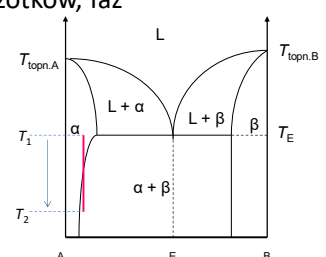
Następnie, po ochłodzeniu, można prowadzić znów proces walcowania na zimno.



Wydzielenia wtórnych faz

Pojawiają się wtedy krystality na granicy faz (wtórne, drobne krystality). Prowadzi się dyspersję węglików, azotków, faz międzymetalicznych.

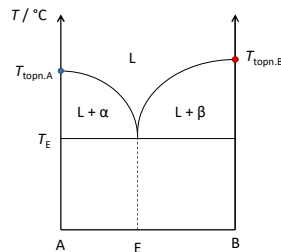
Z wykresu fazowego przejście z $T_1 \rightarrow T_2$



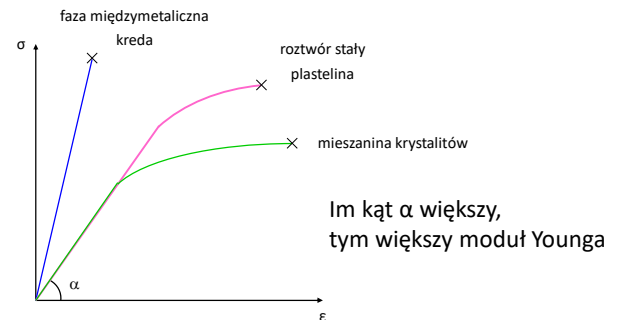
Pojawianie się wielu granic międzykrystalicznych

Nanokrystality utrudniają poślizg po granicy faz.

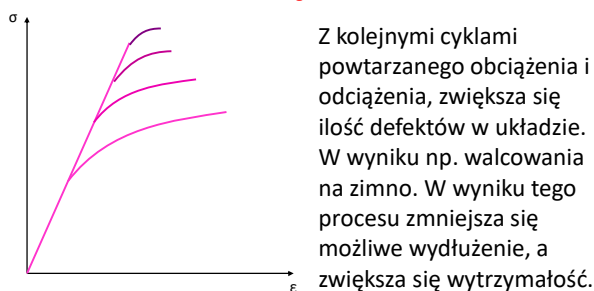
Taka sytuacja ma miejsce m.in. w materiałach o składzie eutektycznym.



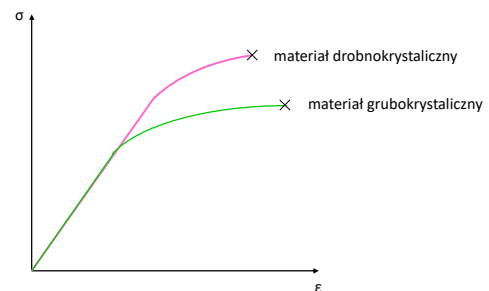
Porównanie modułu Younga vs. obciążenie



Porównanie modułu Younga vs. obciążenie



Obciążenia a wielkość krystalitów

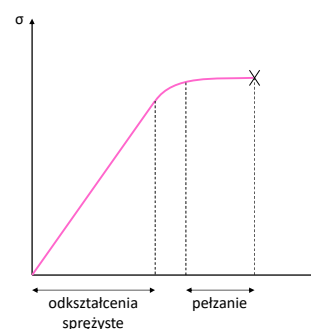


Wytrzymałość materiałów

Wytrzymałość materiału zależy istotnie od temperatury pracy metalu.

Jeśli metal jest wytrzymały np. w $T > 1000^{\circ}\text{C}$ oznacza materiał posiada żaroodporność, ale to za mało. Musi być również żarowytrzymały, żeby móc pracować, zapewniając bezpieczeństwo.

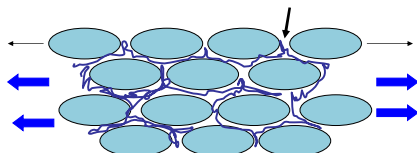
Pętlanie



Materiał zaczyna płynąć pod wpływem stałego naprężenia, co zwiększa znacząco wydłużenie. To zjawisko pojawia się w podwyższonych temperaturach, od zakresu $0,3 \div 0,5 T_{topn.}$ materiału. Wtedy już należy się liczyć z pętlaniem pod wpływem obciążenia. Ma to szczególne znaczenie przy projektowaniu materiałów konstrukcyjnych.

Ziarna w fazie ciekłej

Pętlanie odbywa się przez ruch ziaren po ziarnie. Na powierzchni ziaren pod wpływem obciążenia pojawiają się wydzielenia i dzięki nim możemy zacząć obserwować pętlanie krystalitów, ziarno po ziarnie



Właściwości mechaniczne

Są anizotropowe, zależą od kierunku badania, ponieważ wiążą się z ułożeniem krystalitów w materiale stopowym, tzn. np. czy są ułożone losowo, czy są ukierunkowane.

Wydzielenia

Wydzielenia muszą być topliwe w wysokiej T i nie ulegać rekrytalizacji (rozrastaniu się).

Właściwości:

- duża T topnienia
- mała rozpuszczalność w fazie metalicznej
 - > np. Ni_3Al , $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$ – faza (nadstopowa) międzymetaliczna γ'
 - > zw. boru typu M_3B
 - > węgliki typu MC (TiC , NbC), typu M_{23}C_6 , M_7C , M_6C , (np. Cr_7C_3) – dobrze hamuje poślizg
 - > fazy Lavesa np. TiW

Właściwości elektryczne

Przewodnictwo elektronowe

Konduktywność (odwrotność rezystywności):

$$\rho = R \cdot A / L \quad (R = \rho \cdot L / A, \sigma = 1/\rho)$$

Jednostki przewodnictwa: $[\text{S/m}]$ lub $[\text{S/cm}]$

Właściwości elektryczne

Najlepiej przewodzące metale (wartości w S/cm):

Ag	630 000	Inne metale:	Przykładowe stopy:		
Cu	596 000	Ga	71 000	Au-Cu	~500 000
Au	411 000	Pb	45 500	brąz	~180 000 (~10% Sn)
Al	377 000	Ti	23 800	mosiądz	167 000 (30% Zn)
Ca	298 000	Hg	10 200	stal	ok. 69 000 (nierdzewna)
Rh	231 000			stal	14 000 (węglowa)
W	179 000				
Zn	169 000				
Co	160 000				
Ni	143 000				
Ru	141 000				
Li	108 000				
Fe	103 000				
Pt	94 300				
Sn	91 700				
		Dla porównania:			
		grafit (w płaszczyźnie warstw)			~1000
		polimery (dobrze) przewodzące			~50-100
		kwas akumulatorowy (prz. jonowe)			0,4
		elektrolit w ogniwach Li-ion (prz. jonowe)			0,01

Dla porównania:

grafit (w płaszczyźnie warstw)	~1000
polimery (dobrze) przewodzące	~50-100
kwas akumulatorowy (prz. jonowe)	0,4
elektrolit w ogniwach Li-ion (prz. jonowe)	0,01

Przewodnictwo

Najlepszymi przewodnikami są czyste metale, ponieważ przewodnictwo jest bardzo wrażliwe na istnienie jakichkolwiek defektów punktowych.

Również wielkość krystalitów ma kluczowe znaczenie – każda granica między krystalitami zwiększa opór (brak ciągłości fazy, obce wytrącenia między krystalitami, większe odległości międzyatomowe, niedopasowanie atomów po obu stronach granicy, itd.). Im mniej granic (większe krystality) tym lepsze przewodnictwo.

Grzałki robi się celowo ze stopów, gdyż wtedy powstaje roztwór stały i przewodnictwo maleje, więc materiał będzie miał większą rezystywność i większe straty cieplne przy przewodzeniu. Stąd będzie ulegał szybkiemu nagrzewaniu.

Przewodnictwo

Fazy międzymetaliczne słabo przewodzą prąd.

Są oczywiście wyjątki, jak np. niektóre azotki, czy stop miedź-złoto, ale to rzadkość.

Co do zasady, przewodność elektryczna w materiałach metalicznych spada wraz z odkształceniem/wzrostem naprężenia, ponieważ odległości między krystalitami rosną, co powoduje osłabianie kontaktu (wzrost oporu) jak i odległości międzyatomowe w krystalitach rosną, co powoduje wzrost oporu (II prawo Ohma – $R = \rho \cdot L/A$, więc $R \sim L$).

Metale dobrze przewodzące prąd

Do tych metali należą Ag, Cu i Au, stąd najczęściej wykorzystywane są do konstrukcji kabli itp.

Minima na wykresie oznaczają nadstruktury, gdzie defekty są uporządkowane. Tam występują uporządkowane roztwory stałe.

Metale dobrze przewodzące prąd

