



# Wykład 3

Henryk Adrian

*Wg Blicharski M. Wstęp do inżynierii materiałowej*

# Umocnienie

- ◆ Materiały krystaliczne zawsze zawierają dyslokacje
- ◆ Poślizg dyslokacji prowadzi do odkształcenia plastycznego
- ◆ Naprężenie działające w systemie poślizgu wywiera na jednostkę długości dyslokacji siłę  $\tau b$
- ◆ Naprężenie do wygięcia dyslokacji w łuk  $\tau = \alpha Gb/\rho$
- ◆  $\sigma = 3.06\tau$

# Umocnienie

- ◆ Kryształy mają wytrzymałość związaną z tym, że podczas ruchu poślizgowego dyslokacji następuje zrywanie i ponowne tworzenie wiązań międzyatomowych
- ◆ B. duże opory własne sieci na jednostkę długości dyslokacji występują przy wiązaniach atomowych
  - Dlatego materiały ceramiczne mają dużą wytrzymałość
- ◆ Czyste metale są bardzo miękkie
  - Opory własne sieci dla ruchu dyslokacji są małe
- ◆ Wytrzymałość materiału krystalicznego można zwiększyć przez wytworzenie przeszkód dla ruchu dyslokacji

# Umocnienie

- ◆ Ze względu na wymiary wyróżniamy następujące przeszkody w ruchu dyslokacji
  - Zerowymiarowe – atomy domieszek w roztworze
  - Jednowymiarowe – dyslokacje
  - Dwuwymiarowe – granice ziarn
  - Trójwymiarowe – cząstki drugiej fazy
- ◆ Mamy mechanizmy umocnienia
  - Roztworowe
  - Dyslokacyjne
  - Wydzieleniowe
  - Przez rozdrobnienie ziarna

# Mechanizmy umocnienia

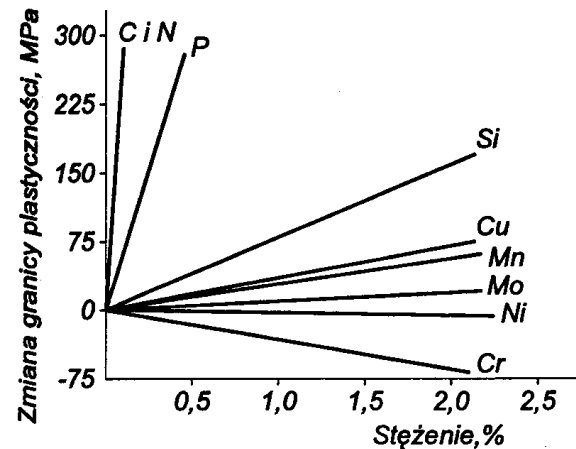
- ◆ Przyjmując addytywność umocnień od poszczególnych mechanizmów granicę plastyczności można opisać równaniem:

$$\sigma_e = \sigma_o + \Delta\sigma_r + \Delta\sigma_d + \Delta\sigma_w + k_p \cdot d^{-\frac{1}{2}}$$

# Umocnienie roztworowe

- ◆ Mechanizm skuteczny ale trudno uzyskać się większe efekty ze względu na ograniczoną rozpuszczalność pierwiastków. Duży efekt umocnienia uzyskuje się przy wykorzystaniu przemiany martenzytycznej

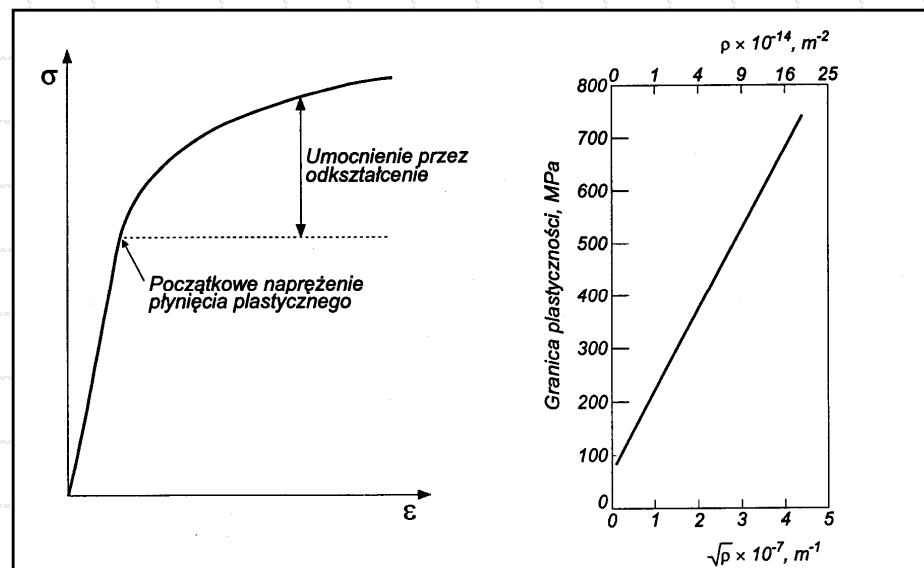
$$\Delta\sigma_r \sim \sqrt{c}$$



# Umocnienie dyslokacyjne

- ◆ Mechanizm skuteczny w wyrobach przerabianych plastycznie. Podczas eksploatacji temperatura nie może wzrosnąć powyżej  $0.3 T_t$ .

$$\Delta\sigma_d = \beta Gb\sqrt{\rho}$$



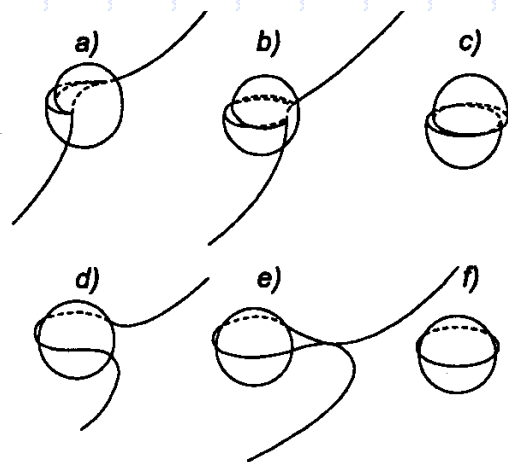
# Umocnienie wydzieleniowe

- ◆ Mechanizm wykorzystywany w stopach w których rozpuszczalność domieszki maleje ze wzrostem temperatury a wydzielane cząstki są koherentne lub częściowo koherentne z osnową i charakteryzują się dużą dyspersją. temperatura eksploatacji musi być niższa od temperatury koagulacji lub rozpuszczania cząstek



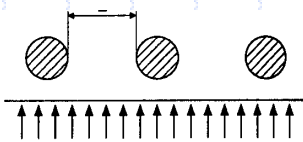
# Umocnienie wydzieleniowe

◆ cząstki koherentne

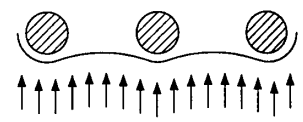


# Umocnienie wydzieleniowe

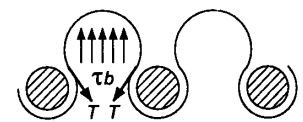
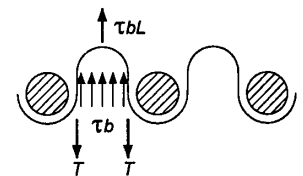
◆ cząstki niekoherentne



$$\tau = \frac{2\alpha Gb}{L}$$



$$\tau = \frac{\sqrt{2}\alpha Gb\sqrt{V_v}}{r}$$



$$\Delta\sigma_w = 3.06\tau$$

# Umocnienie wydzieleniowe

- ◆ Mechanizm wykorzystywany w stopach w których rozpuszczalność domieszki maleje ze wzrostem temperatury a wydzielane cząstki są koherentne lub częściowo koherentne z osnową i charakteryzują się dużą dyspersją.
- ◆ Temperatura eksploatacji musi być niższa od temperatury koagulacji lub rozpuszczania cząstek

# Rozdrobnienie ziarn

- ◆ Najkorzystniejszy mechanizm umocnienia gdyż oprócz wzrostu wytrzymałości powoduje spadek temperatury przejścia w stan kruchy.
- ◆ Mechanizm skuteczny w metalach i stopach stosowanych przy niższych temperaturach. Szeroko stosowany w stalach mikrostopowych

# Rozdrobnienie ziarn

- ◆ B- stała związana z oporem sieci na odkształcenie, C – miara odporności na propagację pęknięcia

$$\sigma_e = \sigma_o + k_p d^{-\frac{1}{2}}$$

$$\beta T_{kr} = \ln(B) - \ln(C) - \ln\left(d^{-\frac{1}{2}}\right)$$

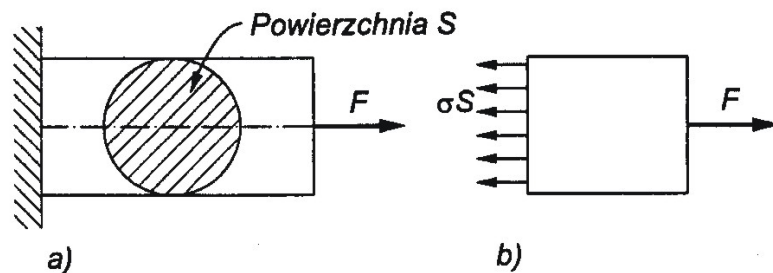
# Własności mechaniczne

- ◆ Znajomość reakcji materiału na obciążenie mechaniczne jest ważna, gdyż umożliwia takie projektowanie konstrukcji, by obciążenia eksploatacyjne nie powodowały rwałych odkształceń
- ◆ Gdy materiały są obrabiane plastycznie – umożliwia prawidłowe zaprojektowanie urządzeń do obróbki plastycznej

# Naprężenie i odkształcenie

## ◆ Naprężenie

- $\sigma = F/S$



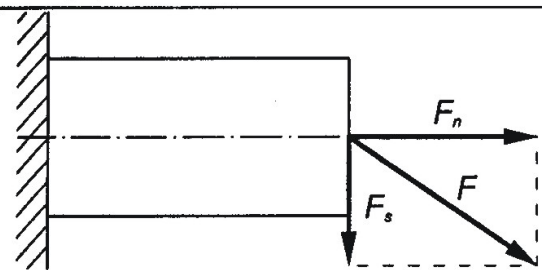
## ◆ Jednostka naprężenia $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$

- $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$

# Naprężenie i odkształcenie

- ◆ Naprężenie rozciągające – siła prostopadła do płaszczyzny przekroju
  - $\sigma = F_n / S$
- ◆ Naprężenie styczne
  - $\tau = F_s / S$

5.1. Naprężenie i odkształcenie





# Odształcenie

## ◆ Nominalne odkształcenie liniowe

- $\varepsilon_n = \Delta l / l_0 = (l - l_0) / l_0$

## ◆ Odkształcenie poprzeczne

- $\varepsilon_p = -\Delta a / a_0 = (a - a_0) / a_0$

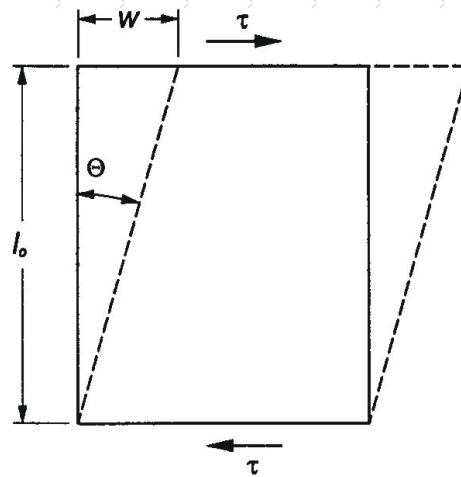
## ◆ Liczba Poissona

- $\nu = -\varepsilon_p / \varepsilon_n$

# Odształcenie

## ◆ Odształcenie postaciowe

- $\gamma = w/l_o = \text{tg } \theta$



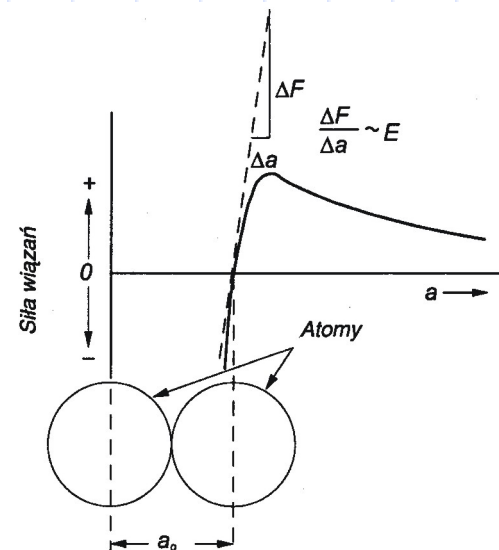
# Odkształcenie rzeczywiste

◆ Wyraża wzór:

$$\varepsilon_r = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right)$$

# Moduły sprężystości

- ◆ Prawo Hooke'a
  - $\sigma = E\varepsilon$
  - E-moduł Younga lub wsp. sprężystości wzdłużnej
- ◆ Taka sama zależność w przypadku ściskania
- ◆ E jest proporcjonalny do pochylenia krzywej zależności siły wiązania od odl. Między atomami w punkcie równowagi

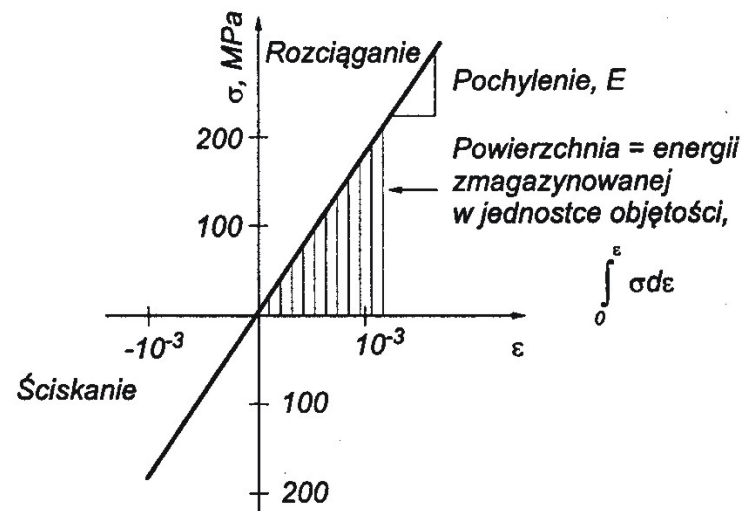


# Moduły sprężystości

- ◆ Moduły sprężystości i temperatury topnienia rosną ze wzrostem sił wiązań
- ◆  $\tau = G\gamma$
- ◆  $G$  – moduł Kirchoffa lub wsp. sprężystości poprzecznej
- ◆ Dla większości metali  $G \sim (3/8)E$ ,  $\nu = 0,33$

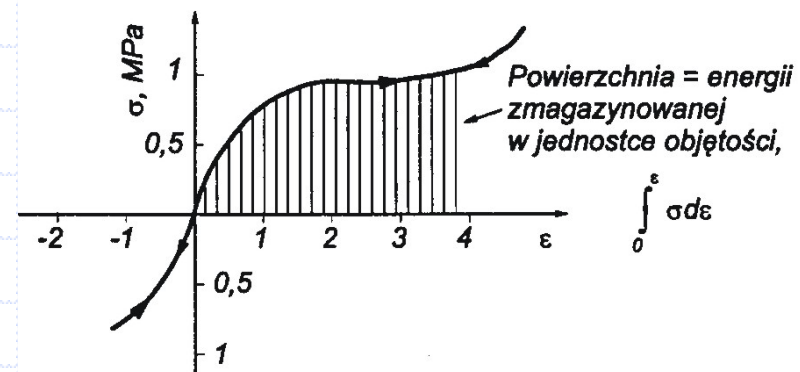
# Odształcenie sprężyste

- ◆ Przy zachowaniu sprężystym materiału odkształcenie ma charakter przemijający – zanika po zdjęciu obciążenia
- ◆ Takie odwracalne odkształcenie nazywamy sprężystym



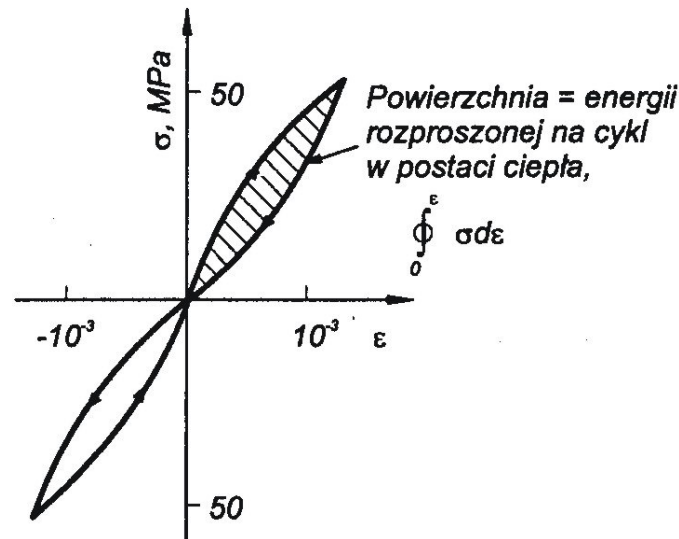
# Duże odkształcenie sprężyste

- ◆ Wykres zależności naprężenia od odkształcenia materiałów charakteryzujących się bardzo dużymi odkształceniami sprężystymi
- ◆ Takie własności wykazuje np. guma



# Odkształcenie anelastyczne

- ◆ Krzywa obciążenia nie pokrywa się dokładnie z krzywą odciążenia – rozpraszanie energii
- ◆ Materiały o dużym anelastycznym zachowaniu są korzystne w tłumieniu drgań lub w wygłuszaniu hałasu



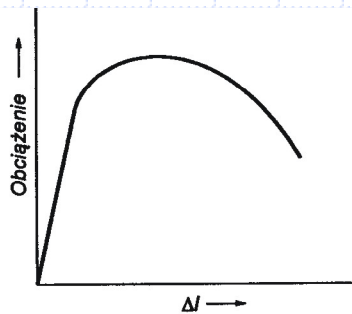


# Statyczna próba rozciągania

- ◆ Umożliwia określenie podstawowych charakterystyk wytrzymałościowych i plastycznych
- ◆ Sprzęt do jej realizacji: maszyna wytrzymałościowa, umożliwiająca rejestrację zmiany długości pomiarowej próbki ( $\Delta l$ ) i siły ( $F$ )
- ◆ Wymiary próbek, definicje parametrów są znormalizowane
- ◆ Próbki stosowane w próbie rozciągania nazywamy próbkami wytrzymałościowymi

# Statyczna próba rozciągania

- ◆ Bezpośredni wynik próby rozciągania – wykres  $F$  w funkcji  $\Delta l$
- ◆ Dla materiału plastycznego – przykład wykresu



- ◆ Dla lepszego scharakteryzowania materiału normalizuje się wykres próby ze względu na wymiary próbki

# Statyczna próba rozciągania

- ◆ Normalizacja polega na tym, że obciążenie  $F$  zastępuje się naprężeniem nominalnym  $\sigma_n$

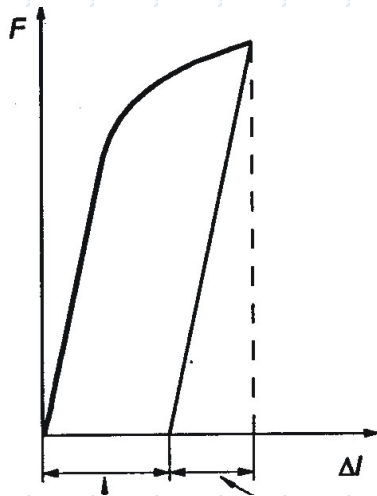
$$\sigma_n = \frac{F}{S_o}$$

- ◆ Wydłużenie  $\Delta l$  zastępuje się wydłużeniem nominalnym  $\varepsilon_n$

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta l}{l_o}$$

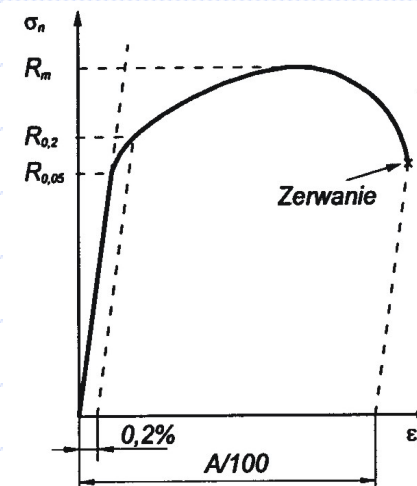
# Statyczna próba rozciągania

- ◆ Kształt krzywej  $\sigma_n - \varepsilon_n$  jest identyczny  $F - \Delta l$
- ◆ Wykresy  $\sigma_n - \varepsilon_n$  pozwalają na porównywanie danych próbek mających różne, choć znormalizowane wymiary
- ◆ Początkowo próbka rozciąga się sprężysto, później plastycznie (trwale). Jeśli usuniemy naprężenie to próbka będzie dłuższa



# Statyczna próba rozciągania

- ◆ Do obciążenia maksymalnego zmniejszenie przekroju jest równomierne na całej długości
- ◆ Przy obciążeniu maksymalnym zaczyna tworzyć się przewężenie (szyjka)
- ◆ Następnie zachodzi szybkie zmniejszanie przekroju w szyjce i spadek siły, aż do zerwania
- ◆ Po utworzeniu szyjki odkształcenie następuje jedynie w jej obszarze



# Statyczna próba rozciągania

