

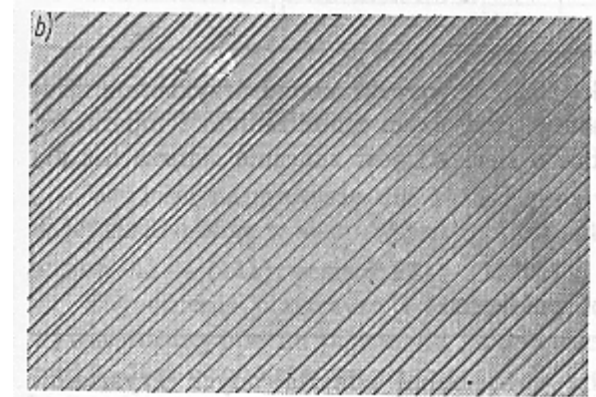
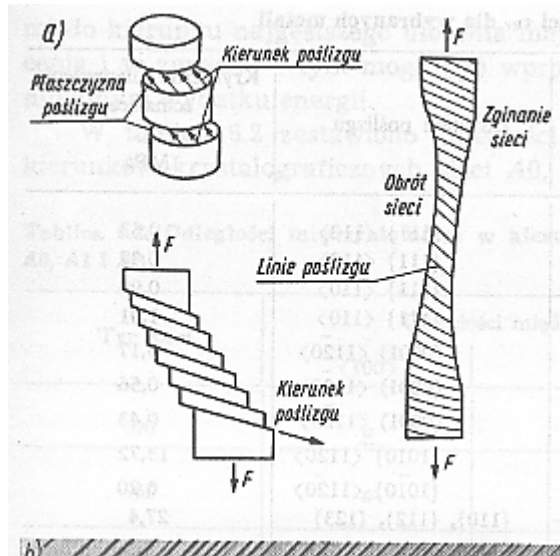


Wykład 5

Henryk Adrian

Poślizg, jako ruch dyslokacji

- Możliwość odkształcenia plastycznego metale zawdzięczają ciągłości związanej z łatwością generowania i ruchu dyslokacji
- Po przekroczeniu granicy plastyczności linie poślizgu



Poślizg

Podczas odkształcenia plastycznego związanego z ruchem dyslokacji wiązania międzyatomowe są zrywane tylko w pobliżu dyslokacji, a po jej przejściu natychmiast odnawiane

- Efektem wyjścia dyslokacji na powierzchnię kryształu jest powstanie stopnia, analogicznego do tego, który powstałby w przypadku sztywnego ścięcia kryształu
- Łatwość odkształcenia zależy od tworzenia i ruchu dyslokacji
- Wyżarzony metal zawiera 10^{10} - $10^{12}/\text{m}^2$ dyslokacji

Poślizg

Miarą łatwości ruchu dyslokacji jest krytyczne naprężenie styczne, τ_{kr}

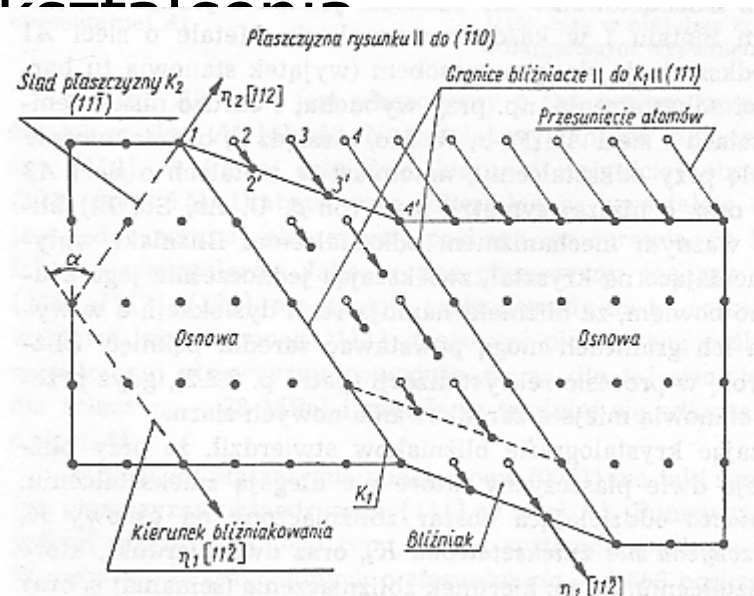
■ Systemy poslizgu

- Cu $\{111\}\langle 110\rangle$ 0.63 MPa
- Au $\{111\}\langle 110\rangle$ 0.90 MPa
- Al. $\{111\}\langle 110\rangle$ 1.01 MPa
- Ti A3 13.72 MPa
- Fe $\{110\},\{112\},\{123\}\langle 111\rangle$ 27.4 MPa
- Naprężenie τ_{kr} zależy od zawartości domieszek, maleje ze wzrostem temperatury

Bliźniakowanie

Nagłe, poślizgowe przemieszczenie atomów w małym, ograniczonym przez granice bliźniacze, obszarze

- Metale o sieci A1 praktycznie nieodkształcają się tym sposobem- wyjątek: niskie T, duże szybkości odkształcenia



Bliźniakowanie

W metalach o sieci A2 bliźniakowanie odgrywa małą rolę przy odkształcaniu

- W metalach o sieci A3 bliźniakowanie jest ważnym mechanizmem odkształcenia
- Bliźniaki wpływają umacniająco na kryształ, zwiększając jego kruchość, hamują ruch dyslokacji
- Odgrywają ważną rolę w procesie rekrytalizacji, ułatwiając zarodkowanie nowych ziarn
- Przy odkształceniu udarowym udział bliźniakowania rośnie w stosunku do poślizgu

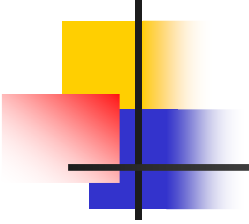
Bliźniakowanie



W miarę wzrostu naprężeń rosną wymiary bliźniaków, rośnie ich ilość

- Różnice w mechanizmach odkształcenia
 - Przy poślizgu orientacja wzajemnie przemieszczających się części kryształu nie ulega zmianie, po utworzeniu bliźniaka jego orientacja jest różna od osnowy
 - Przy poślizgu dyslokacje przemieszczają się w pojedynczych płaszczyznach poślizgu, przy bliźniakowaniu w wielu – w płaszczyznach równoległych do bliźniaczej
 - Odkształcenie postaciowe znacznie większe przy przy bliźniakowaniu

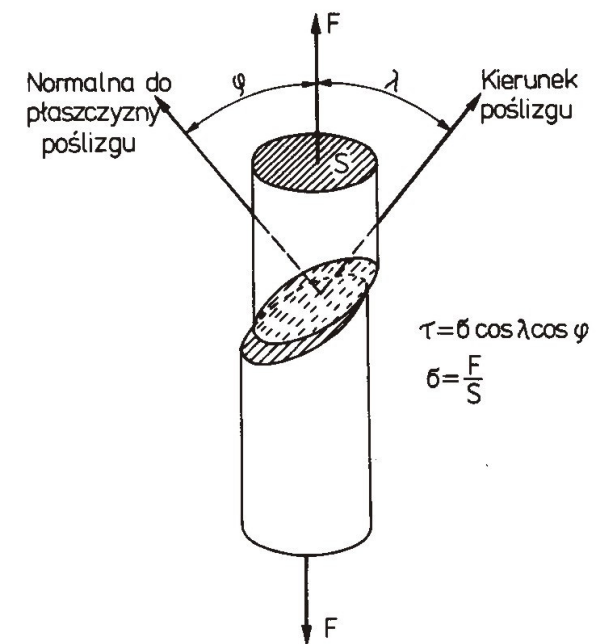
Bliźniakowanie

- 
- Naprężenie do zapoczątkowania poślizgu znacznie mniejsze, niż do zarodkowania bliźniaków
 - Odkształcenie poślizgowe zachodzi łatwiej w wyższych temperaturach
 - Odkształcenie przez poślizg zachodzi we wszystkich metalach, bliźniakowanie uprzywilejowane w sieci A3

Umocnienie w wyniku odkształcenia

- W kryształach istnieje co najmniej kilka systemów poślizgu, w których możliwy jest ruch dyslokacji
- Poślizg zaczyna się w tym systemie, w którym składowa styczna naprężenia przekroczy wartość

- $\tau_{pk} = F \cdot \cos \lambda \cdot \cos \phi / A_n$



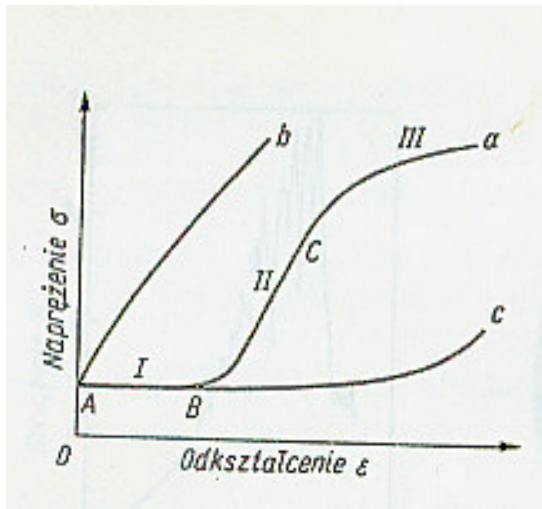
Umocnienie w wyniku odkształcenia

- Gdy w kryształe dzieła wiele poslizgów, odkształcenie się zacznie w tym systemie, w którym naprężenie τ_{pk} będzie największe (musi być większe od τ_{kr})
- Gdy naprężenie w kilku systemach jest jednakowe, poslizg wystąpi w nich równocześnie powodując większe umocnienie kryształu, wskutek wzajemnego blokowania ruchu dyslokacji

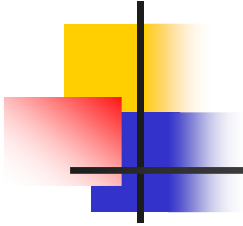
Umocnienie w wyniku odkształcenia

Krzywe rozciągania monokryształów

- a) sieć A1 z jednym systemem poślizgu
- b) A1 z wieloma systemami poślizgu
- c) A3 pod kątem 45 do osi próbki
 - Krzywa a) I działa jeden system poślizgu (zakres łatwego poślizgu)



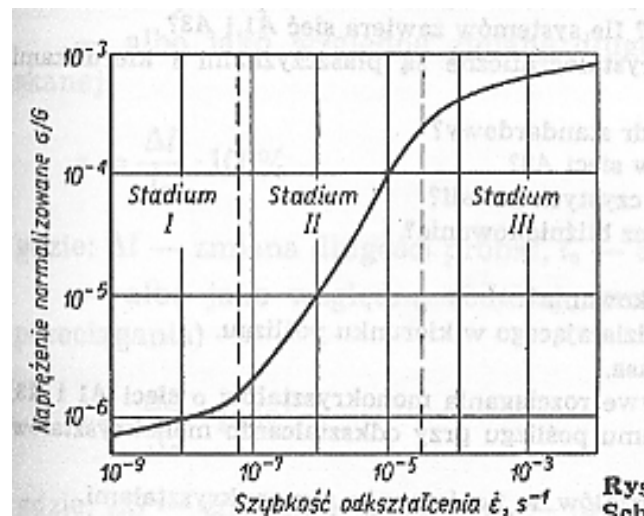
Umocnienie w wyniku odkształcenia



- II stadium – system liniowego umocnienia (działa więcej jak jeden system poslizgu)
- III stadium – zakres parabolicznego umocnienia, występuje poślizg poprzeczny dyslokacji śrubowych, co powoduje spadek współczynnika umocnienia

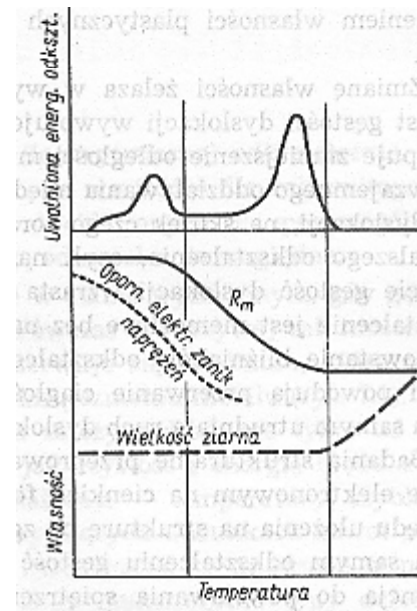
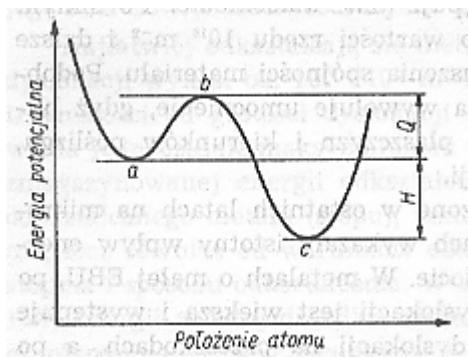
Nadplastyczność strukturalna

- Nadplastyczność – zjawisko dużego odkształcenia plastycznego do 2000%, przy małych szybkościach odkształcania, obserwowane w niektórych bardzo drobnoziarnistych stopach (np. Mg-33%Al)
- Głównym mechanizmem nadplastycznego płynięcia jest poślizg po granicach ziarn i dyfuzja wymuszona istnieniem pól naprężeń



Przemiany podczas wyżarzania po zgnioście

- Zmiany energii potencjalnej atomów w procesie rekrytalizacji
- Uwalnianie energii odkształcenia przy nagrzewaniu



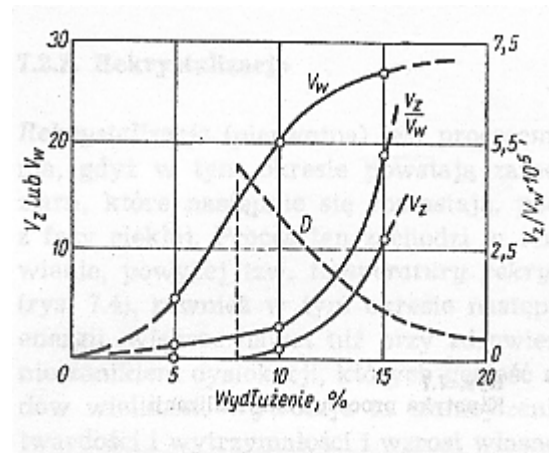
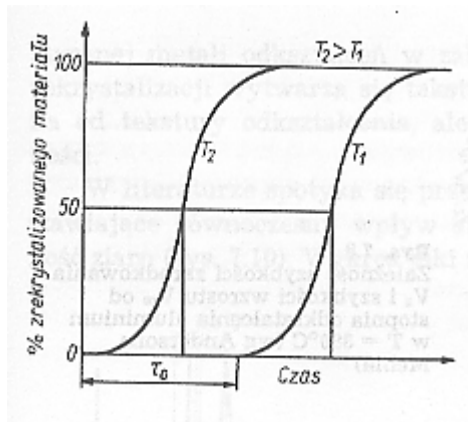


Zdrowienie i rekryształizacja

- Zdrowienie – przynagrzewaniu poniżej T_r
- $T_r = 0.4T_t$
- Szybkość rekryształizacji:
- $1/\tau_r = A \cdot \exp(-Q/RT)$

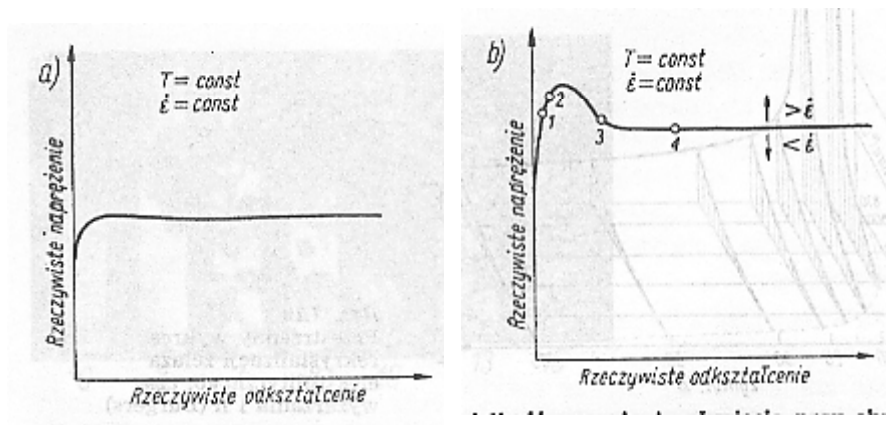
Rekrystalizacja

- Kinetyka procesu rekrystalizacji

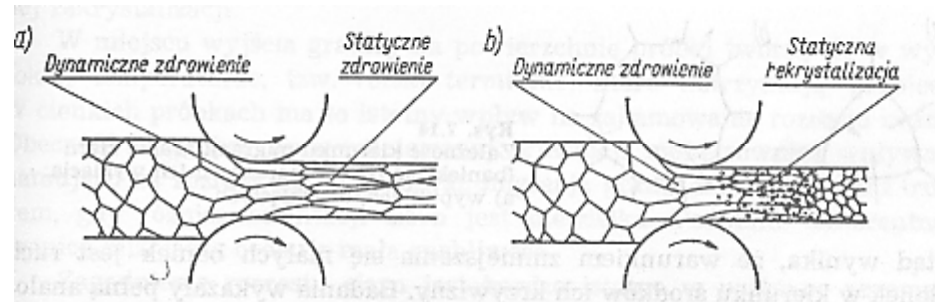


Rekrytalizacja

- Dynamiczne zdrowienie i rekrytalizacja dynamiczna



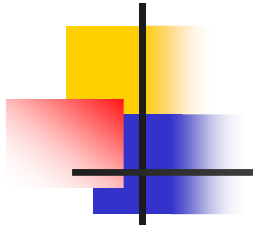
Dynamiczne zdrowienie i rekrytalizacja dynamiczna





Rozrost ziarn

- Po zakończeniu rekrytalizacji, dalsze wytrzymywanie metalu w podwyższonej T wywołuje rozrost ziarn
- $D^2 - D_0^2 = A \exp(-Q/RT) \tau$





Umocnienie

- Materiały krystaliczne zawsze zawierają dyslokacje
- Poślizg dyslokacji prowadzi do odkształcenia plastycznego
- Naprężenie działające w systemie poślizgu wywiera na jednostkę długości dyslokacji siłę τb
- 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

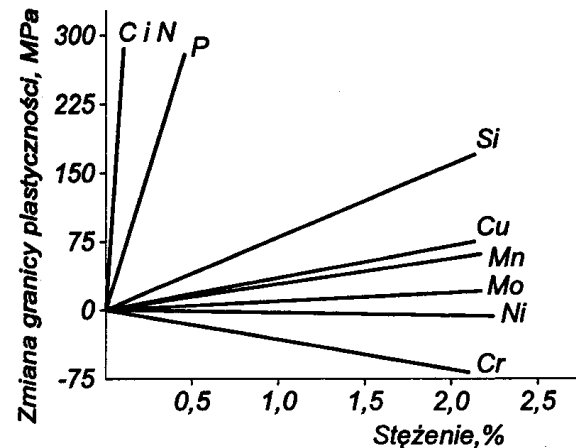
- Przyjmując addytywność umocnień od poszczególnych mechanizmów granicę plastyczności można opisać równaniem:

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

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

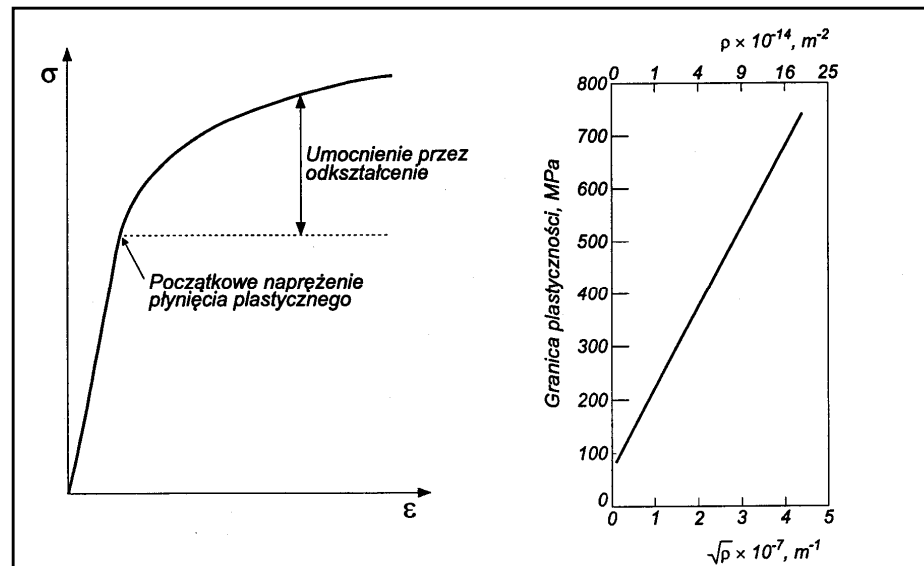
$$\Delta\sigma_r \sim \sqrt{c}$$



Umocnienie dyslokacyjne

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

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



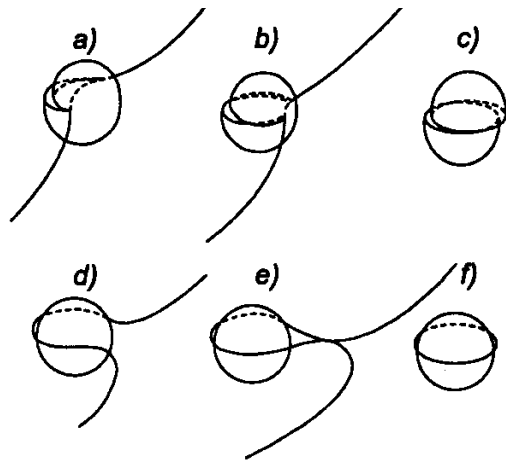


Umocnienie wydzieleniowe

- Mechanizm wykorzystywany w stopach w których rozpuszczalność domieszki maleje ze spadkiem 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

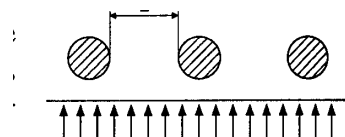
Umocnienie wydzieleniowe

- cząstki koherentne

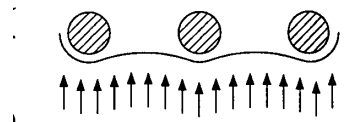


Umocnienie wydzieleniowe

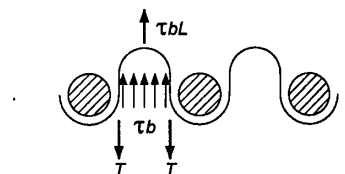
■ cząstki niekoherentne



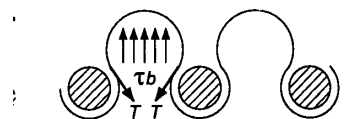
$$\tau = \frac{2\alpha Gb}{L}$$



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



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





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

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

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