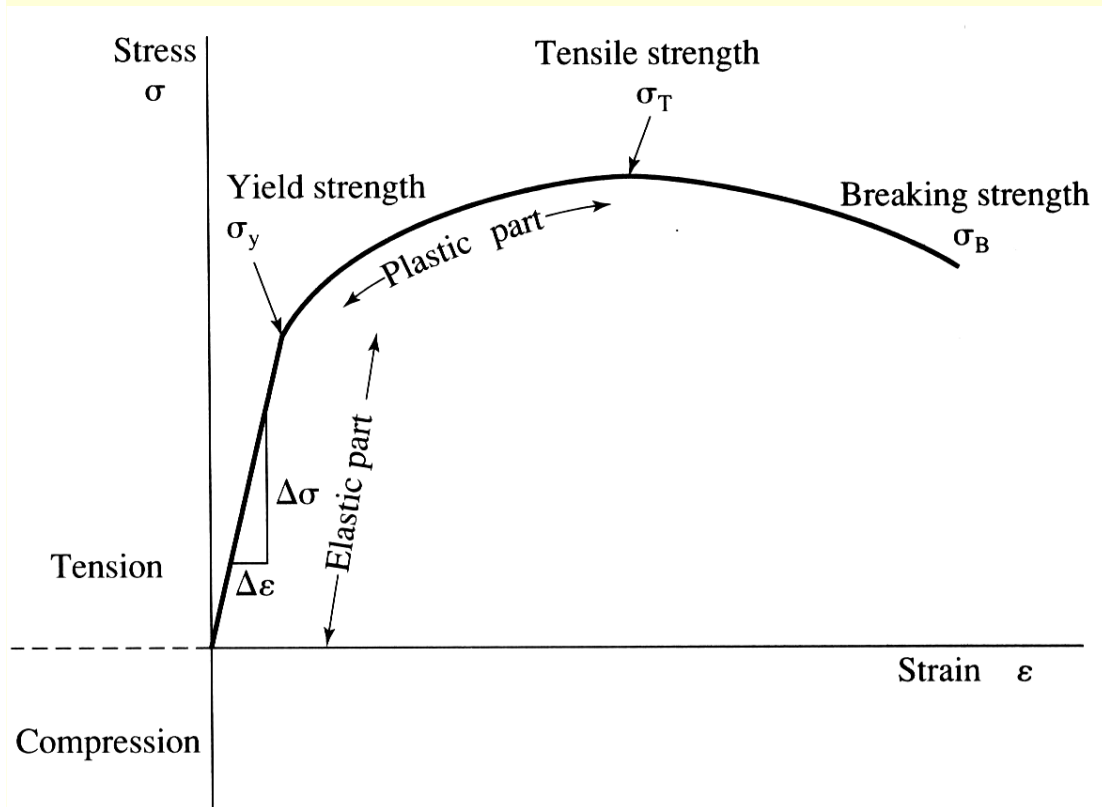


# MEHANIČKA SVOJSTVA

Prema mehaničkim svojstvima materijale možemo podijeliti na plastične ("ductile") kao primjerice aluminij, na lomljive/tvrde/kрте ("brittle"), primjerice staklo, kreda i silicij, te čvrste/žilave ("tough", "strenght") kao primjerice čelik. Iako mnogi materijali sadrže na neki način sva tri svojstva, ovisno o tome koje ponašanje prevladava, svrstavamo ih u jednu od navedenih kategorija.

Spomenuta svojstva se mogu najbolje objasniti pomoću krivulje naprezanje-deformacija ("stress-strain")



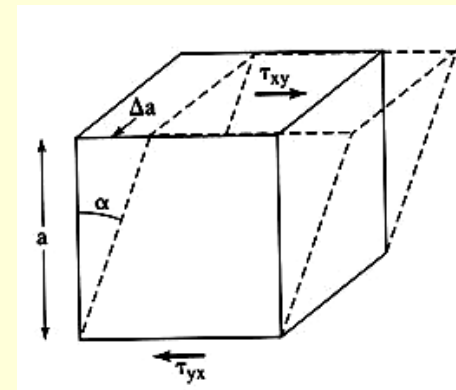
$\sigma_y$  = granica elastičnosti, granično naprezanje, čvrstoća popuštanja-  
"yield strenght"

$$\sigma (F/A) = E \varepsilon (\Delta l/l)$$

nagib pravca E = Youngov modul

$\sigma_T$  = maksimalna čvrstoća materijala "tensile strenght"

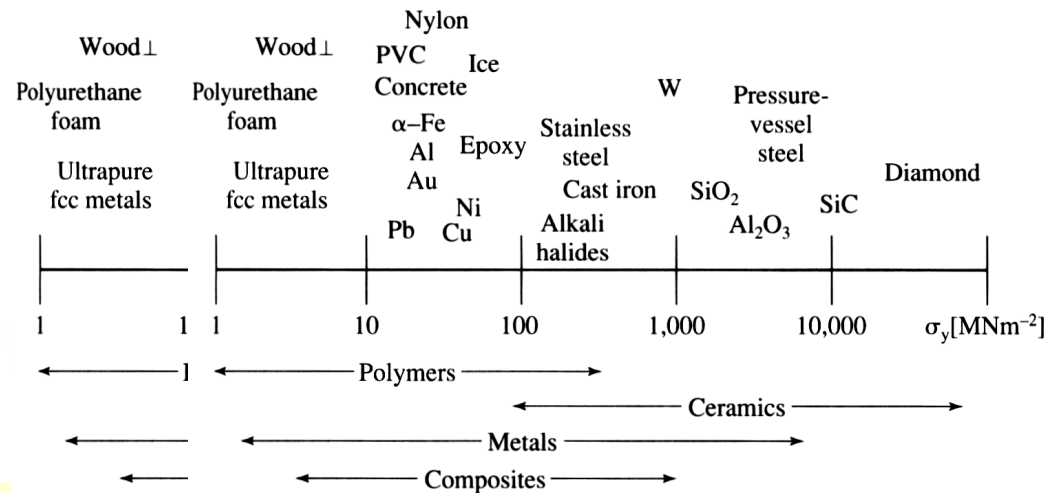
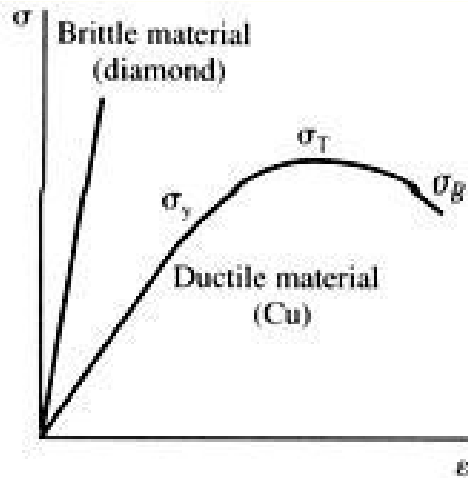
$\sigma_B$  = granica kidanja, lomna čvrstoća ("breaking strenght" ili "tensile fracture strenght").



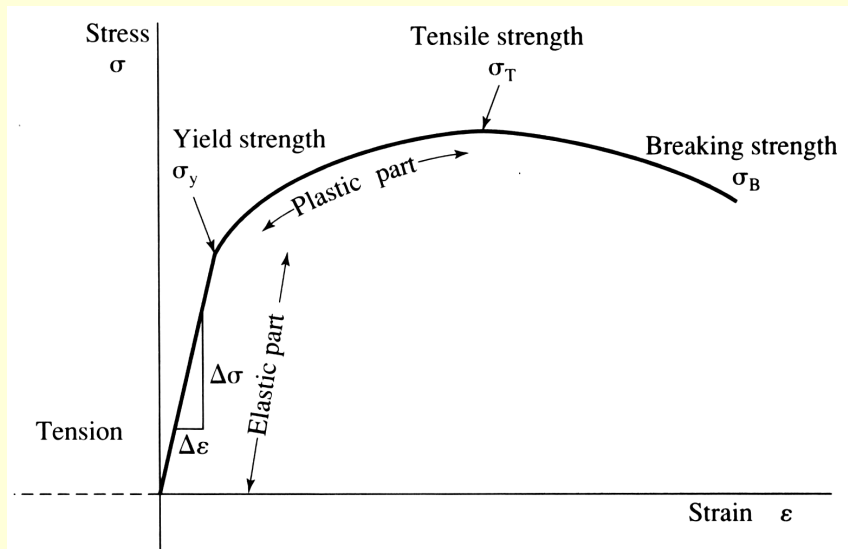
Za deformaciju smicanjem

$$\tau = \mu \alpha$$

$\mu$  = modul smicanja

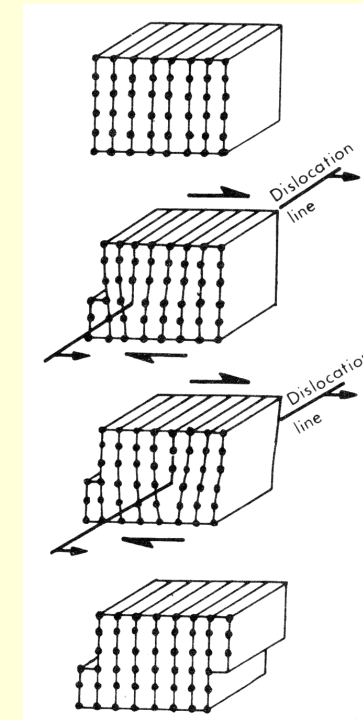


Modul elastičnosti i granično naprezanje su važne veličine jer nam omogućuju odabir prikladnog materijala. Primjerice za izvijač je važno da ima veliku vrijednost graničnog naprezanja  $\sigma_y$ , veliku vrijednost Youngovog modula  $E$  kao i što veću maksimalna čvrstoća materijala  $\sigma_\tau$  ("tensile strength"). Krti/tvrđi materijali ("brittle") kao što su dijamant, staklo, keramika, kamen, silicij, germanij praktički nemaju plastičnog područja već pucaju čim se dostigne granično naprezanje i karakteristika im je veliki iznos Youngovog modula. Kaže se ta takvi materijali posjeduju lomljivu tvrdoću ("fracture toughness"), tako da se iz takvih materijala ne smiju primjerice raditi čekići. No čekić se ne smije izraditi ni iz t.z. plastičnih materijala ("ductile materials") koji se za razliku od tvrdih i krtih mogu prilično deformirati prije nego što puknu. Primjerice čekić treba izraditi iz t.z. čvrstih/žilavih materijala ("strength/tough materials") koju imaju i veliki Youngov modul, i veliku maksimalnu čvrstoću materijala  $\sigma_\tau$  (primjerice čelik).



Što se dešava sa strukturom prilikom plastične deformacije?  
 Ne mijenja se ni gustoća ni početna struktura!!!!

Objašnjenje

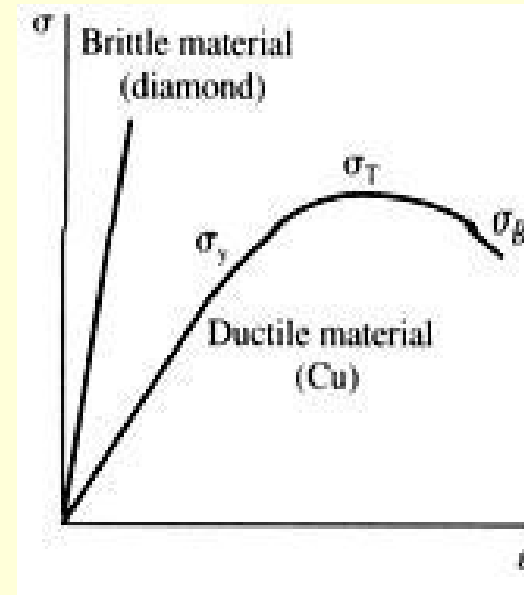


## Činjenica: materijali se deformiraju plastično pomoću gibanja dislokacija

Tvrde/krte materijale (dijamant, silicij) ne možemo napraviti plastične ali zato možemo plastične materijale (čisti Al, Cu, Fe) napraviti žilavije (veća granica elastičnosti  $\sigma_y$  i veća vrijednost *maksimalne čvrstoće*  $\sigma_\tau$ .)

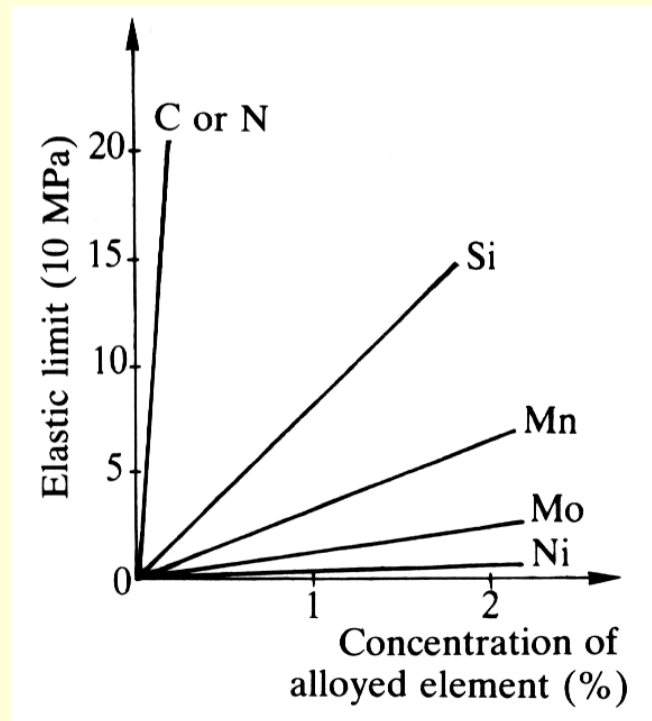
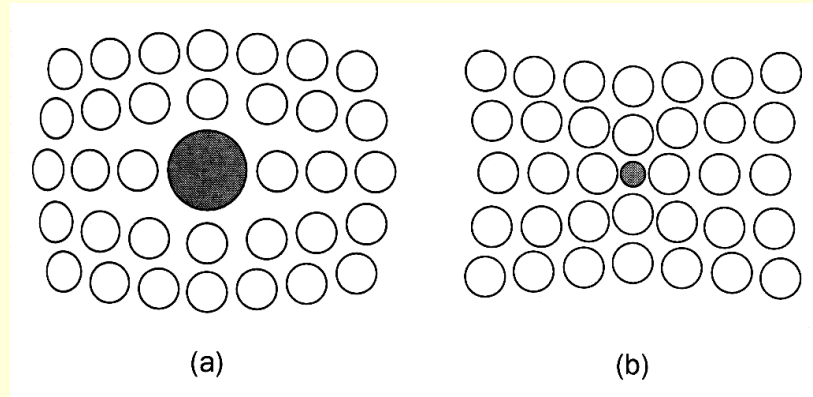
Kako?

Osnovni način kako metale, koji uslijed prevelike plastičnosti nisu tehnološki primjenljivi, napraviti žilavijima, sastoji se u sprječavanju gibanja/klizanja dislokacija. To se može postići na više načina:



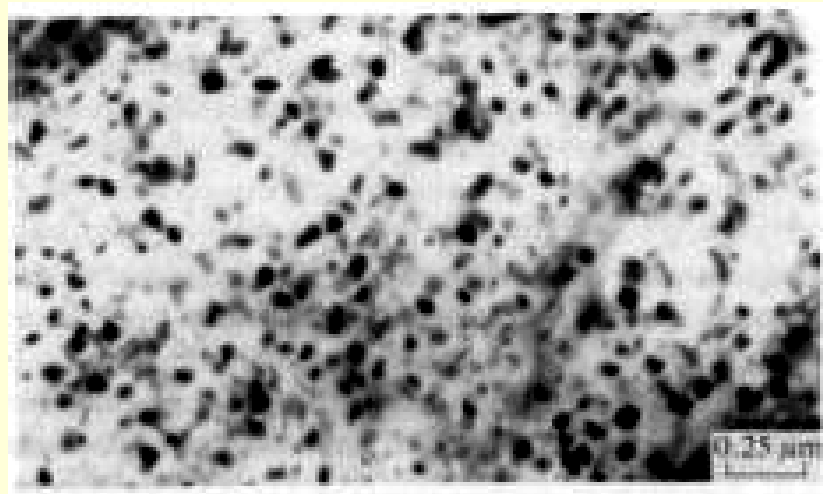
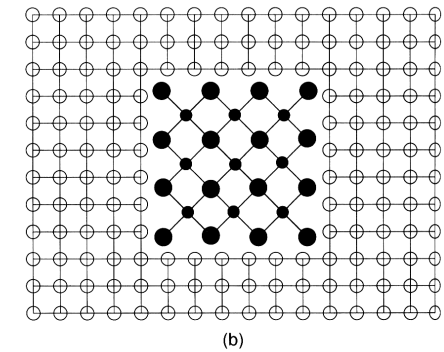
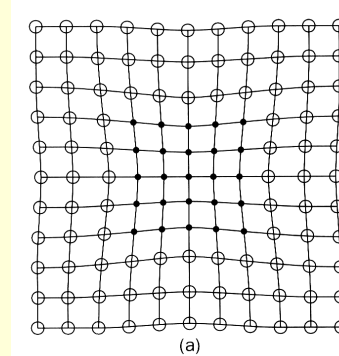
# Očvršćivanje čvrstom topivošću ("solid solution strenghtening/hardening")

Stvaranjem supstitucijske ili intersticijske čvrste otopine dolazi do elastične distorzije kristalne rešetke matrice što uzrokuje prepreke za gibanje/klizanje dislokacija - očvršćivanje čvrstom topivošću.



# Očvršćivanje pomoću precipitata ("precipitation strengthening/ hardening")

Ako u osnovnu strukturu nekog materijala uspijemo uvesti koherentne ili nekoherentne druge strukture (precipitati) mikrometarskih ili manjih dimenzija, te strukture se ponašaju kao prepreke za gibanje/klizanje dislokacija - očvršćivanje pomoću čvrste topivosti



Mikroprecipitati  $\text{Fe}_2\text{Mo}$  u slitini Fe-Mn-Co-Mo.

## Očvršćivanje tvrdim česticama ("dispersion strengthening/hardening")

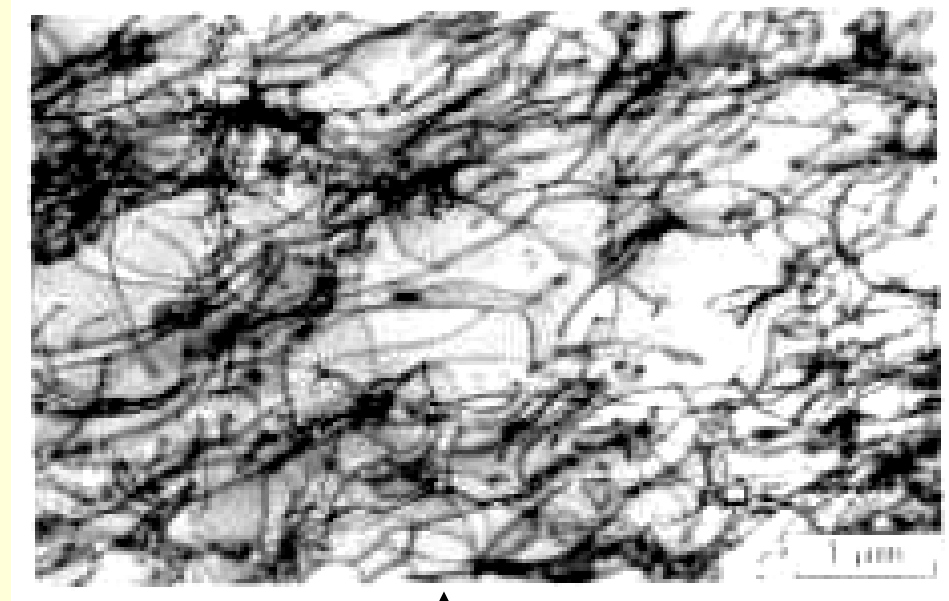
Ako se u inače plastični materijal, primjerice aluminij, unesu tvrde čestice (primjerice korunda  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) homogeno po čitavom volumenu aluminijskog materijala, dobiva se očvršćivanje na sličan način kao kod očvršćivanja pomoću precipitata.

No ove dvije pojave razlikujemo uslijed toga što su za razliku od precipitata, ovakve čestice temperaturno neovisne (ne mijenjaju primjerice ni veličinu ni strukturu s temperaturom).

## Očvršćivanje deformacijom ("work hardening/strengthening")

Metali i slitine u kristalnom stanju praktički nikada nisu bez dislokacija.

Broj dislokacija se definira kao duljina po jedinici volumena dakle  $\text{cm cm}^{-3}$ , odnosno  $\text{cm}^{-2}$ , i u "normalnom stanju" postoji oko  $10^6 \text{ cm}^{-2}$ , što znači da je prosječni razmak između dislokacija oko 10 mm.



↑  
mehanički obrađen čelik

Intenzivnom obradom (kovanje, valjanjem) može ih se dobiti i do  $10^{10}$  do  $10^{12} \text{ cm}^{-2}$ , što daje prosječni razmak oko 10 nm.

Dislokacije se međusobno isprepliću i jedna drugu koče te sprječavaju gibanje - očvršćivanje deformacijom/obradom