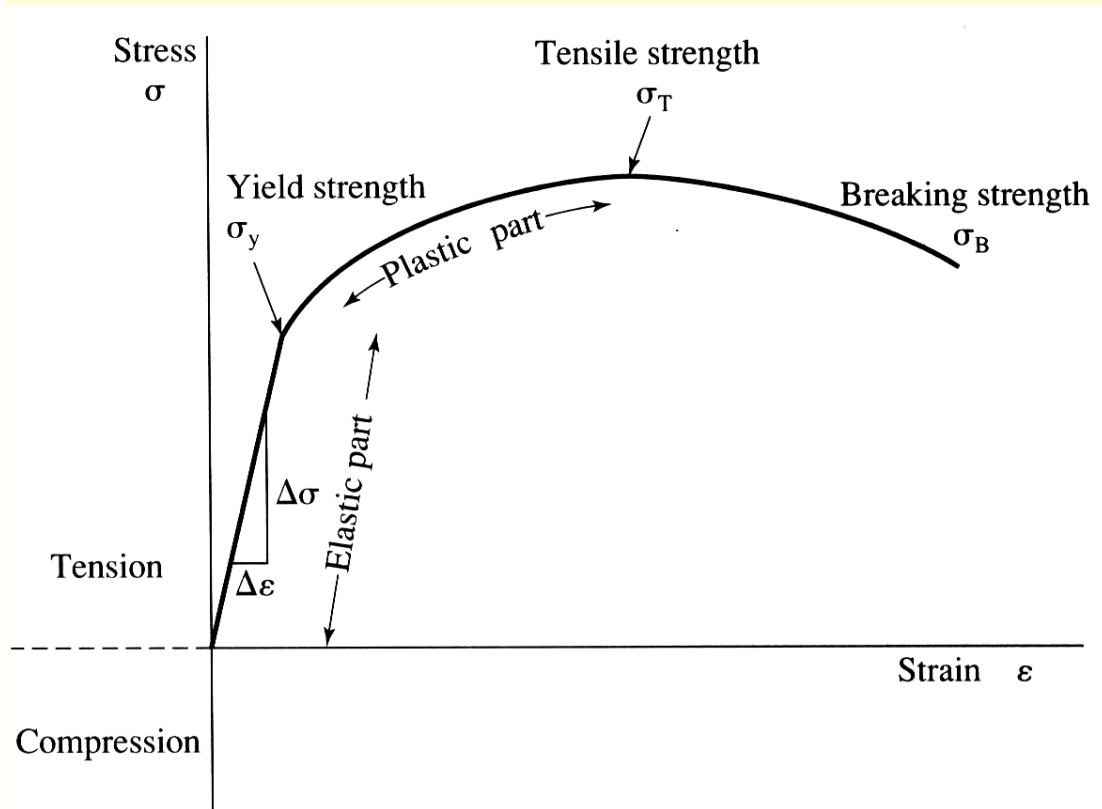


MEHANIČKA SVOJSTVA

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") 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")



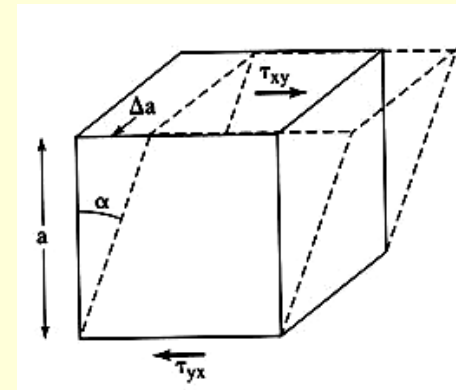
σ_y = granica elastičnosti, granično naprezanje, čvrstoća popuštanja-
"yield strenght"

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

nagib pravca E = Youngov modul

σ_T = maksimalna čvrstoća materijala "tensile strenght"

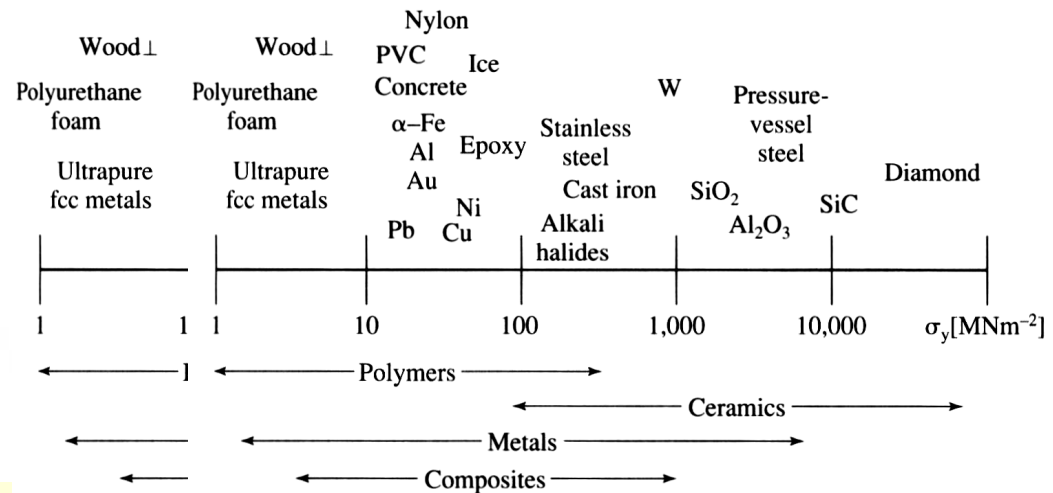
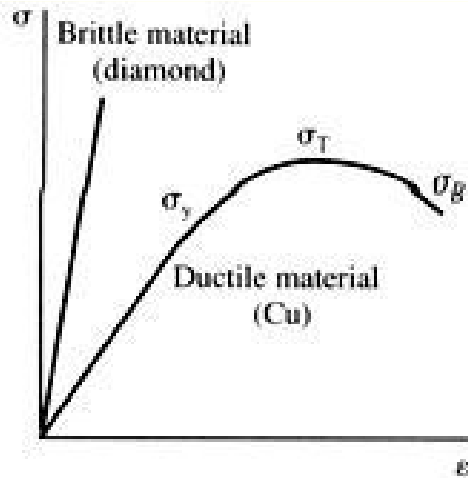
σ_B = granica kidanja, lomna čvrstoća ("breaking strenght" ili "tensile fracture strenght").



Za deformaciju smicanjem

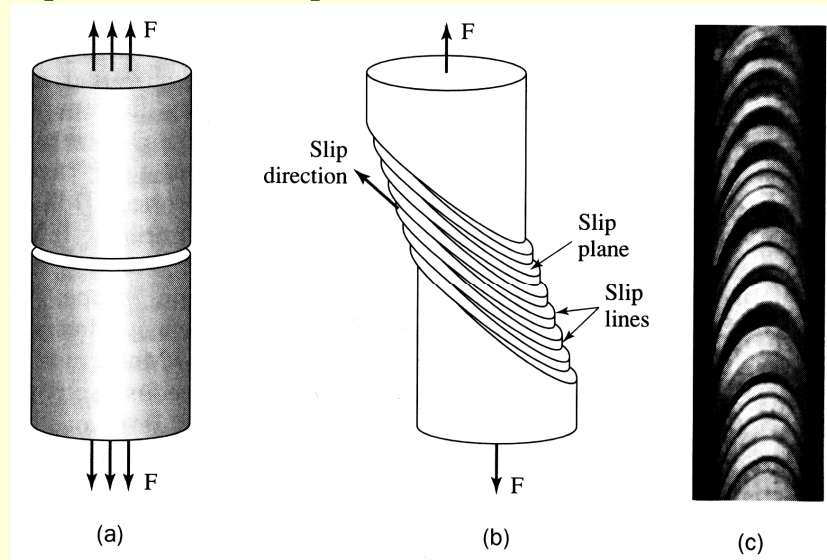
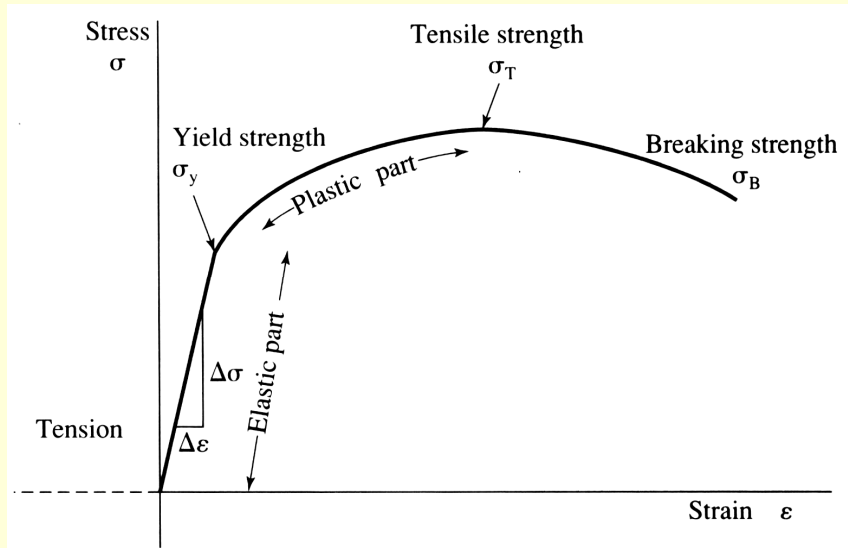
$$\tau = \mu \alpha$$

μ = modul smicanja



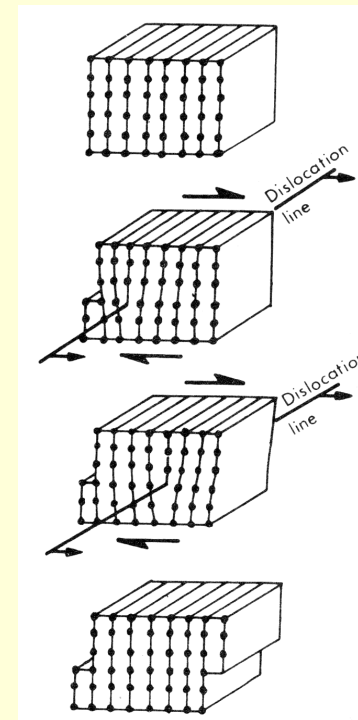
Modul elastičnosti i granično naprezanje su važne veličine jer nam omogućuju odabir prikladnog materijala. Primjerice za izvijač je važno da ima veliku vrijednost graničnog naprezanja σ_y , veliku vrijednost Youngovog modula E kao i što veću maksimalna čvrstoća materijala σ_T ("tensile strength"). Krti/tvrđi 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 σ_T (primjerice čelik).

Što se dešava sa strukturom prilikom plastične deformacije?



Monokristal cinka

Prilikom plastične deformacije:
ne mijenja se ni gustoća ni
početna struktura

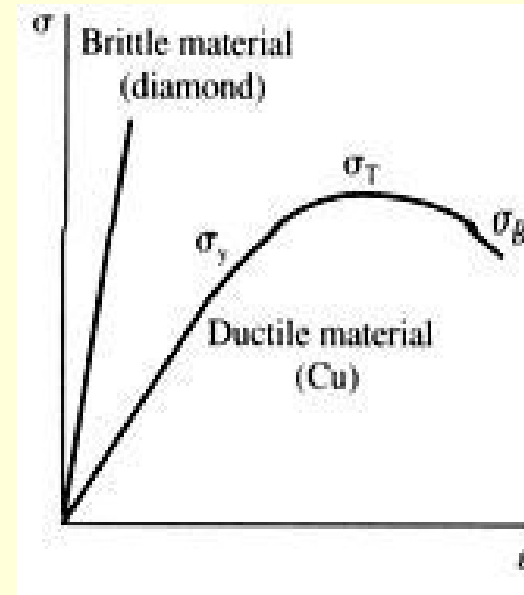


Činjenica: materijali se deformiraju plastično pomoću gibanja dislokacija

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

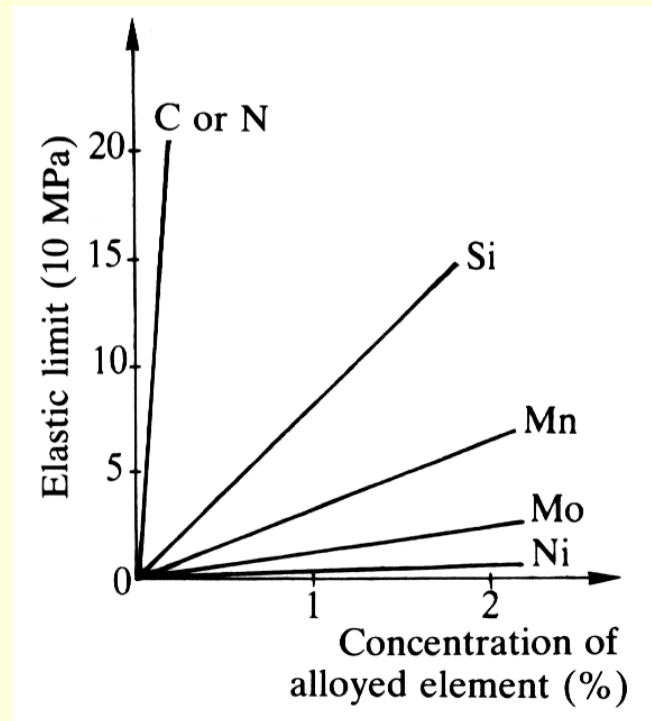
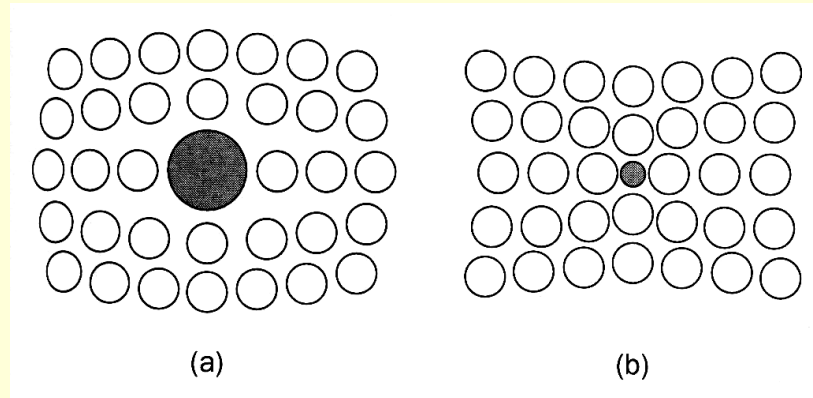
Kako?

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:



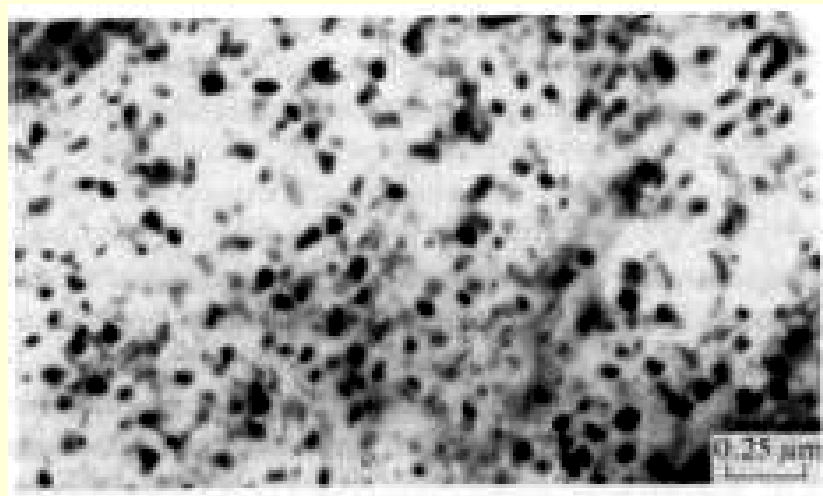
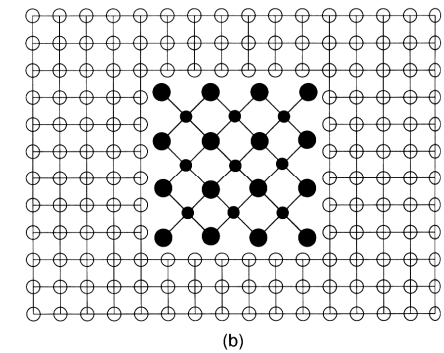
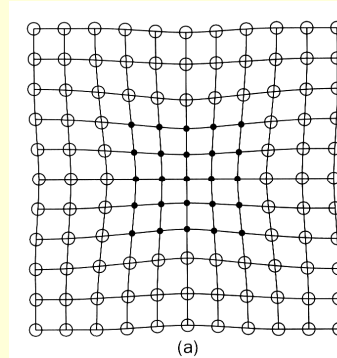
Očvršćivanje čvrstom topivošću ("solid solution strenghtening/hardening")

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 Fe_2Mo 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 Al_2O_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 cm cm^{-3} , odnosno cm^{-2} , i u "normalnom stanju" postoji oko 10^6 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} cm^{-2} , što daje prosječni razmak oko 10 nm.

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

Utjecaj veličine kristalita/zrna ("grain size strengthening")

Za dani metal, monokristal je vrlo "mekan" u usporedbi sa polikristalnim uzorkom, jer ne postoje granice kristalita. Polikristalni uzorka se može očvršćivati smanjivanjem veličine kristalita. Primjerice granica elastičnosti bakra se poveća dva puta ako se kristaliti smanje sa 100 μ m do 10 μ m. Objašnjenje: dislokacija biva na granici kristalita zakočena (nema "kontinuiranosti" kristalne strukture što je uvjet za lagano gibanje dislokacije).



Nailazi slijedeća dislokacija, koja "zapne" na prethodnoj, tako da dolazi do nagomilavanja dislokacija uz granice zrna ("pile-up"). **Pojava je još izraženija ako su kristaliti nanometerskih veličina.**

Superplastičnost

Standardne materijali se može rijetko rastegnuti više od 100%. Međutim neki posebno priređeni materijali mogu se na povišenim temperaturama razvući i do preko 1000% prije nego puknu - superplastični materijali; pojava superplastičnost. Podatak o najvećoj superplastičnoj deformaciji stoji uz eutektičku slitinu Pb-Sn (4850 % do 7750 %), odnosno za aluminijsku broncu (5500 % do 8000 %).

cirkonijeva slitina Zr-705

posebni keramički materijal

(a) prije deformacije; (b) standardna deformacija; (c) superplastična

