

Машински материјали

Предавање број 4

*Понашање метала при деловању спољних сила-
еластична деформација, пластична деформација,
рекристализација, обрада деформисањем у хладном и
топлом стању.*

*Својства метала и легура њихово испитивање, модул
еластичности, чврстоћа, тврдоћа и енергија удара*

Еластичне и пластичне деформације рекристализација

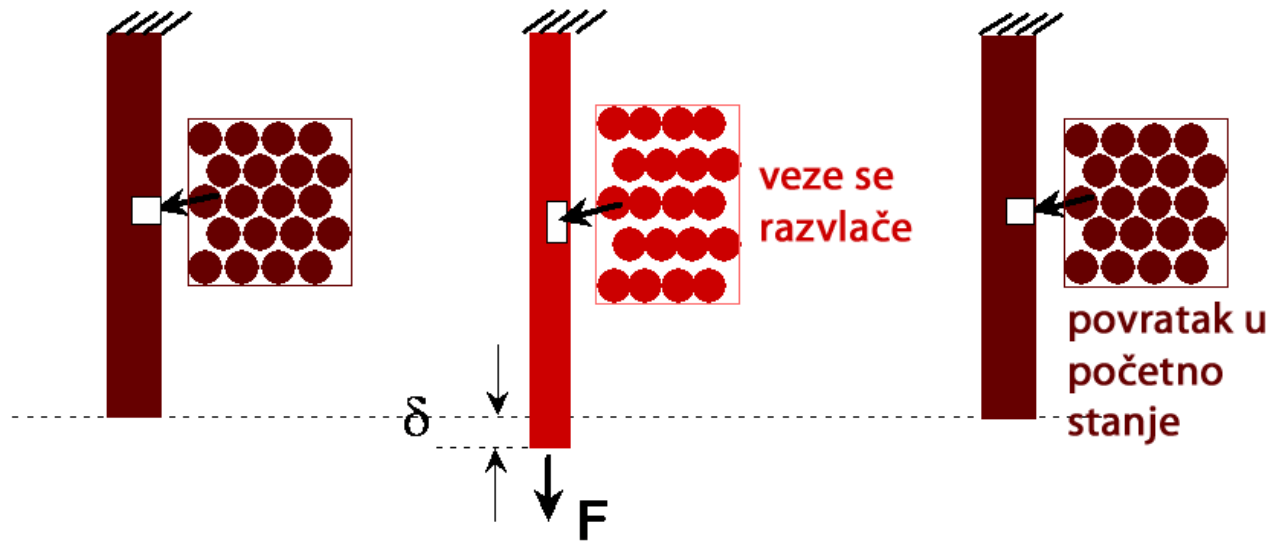
- Дефиниција : Еластична деформација : деформација без трајног премештања атома у други положај. Облик и својства чврстих тела враћају се по престанку дејства силе.
- После извесног степена еластичне деформације, јавља се пластична деформација.
- **Важно:** *Да би дошло до пластичне деформације, неопходно је да на тело делује смицајно напрезање.*

ЕЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЈА

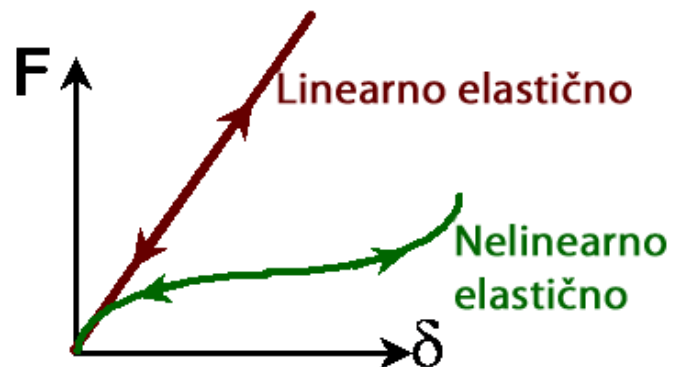
1. ПОЧЕТАК

2. МАЛО ОПТЕРЕЋЕЊЕ

3. РАСТЕРЕЋЕЊЕ



Еластично значи реверзибилно!



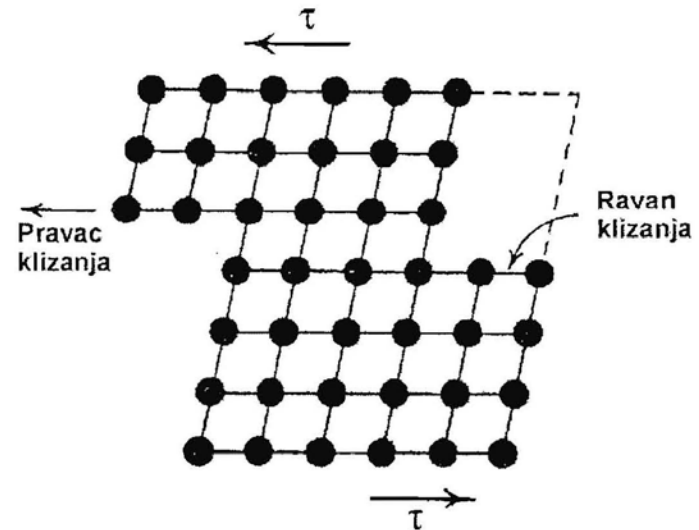
Пластична деформација

Ако промене које се јављају при пластичној деформацији посматрамо у атомарним димензијама, онда се могу дефинисати **пет основних механизма** пластичне деформације:

1. Клизање
2. Двојниковање
3. Успињање-спуштање дислокација
4. Клизање по границама зрна
5. Дифузионо пластично попуштање

Клизање

Клизање у кристалима се одвија под дејством смицаног напона, када се горњи део кристала помера у односу на доњи део кристала по одређеној равни, која се назива раван клизања, у одређеном правцу који се назива правац клизања.



Атоми се померају за цео број трансляционих вектора решетке, тако да је на крају распоред атома исти као и пре клизања.

Разложено смицајно напрезање

Разлагање примењеног затезног напрезања на смицајну и нормалну компоненту дато је на примеру цилиндричног монокристала.

Под дејством силе F пластична деформација се одиграва по површини S :

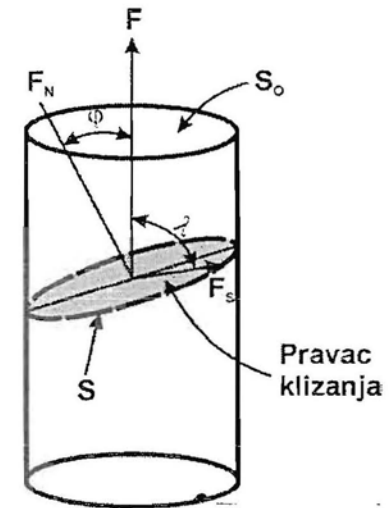
Сила изазива затезно напрезање:

$$\sigma = F/S_0$$

Површина клизне равни S

$$S = S_0 / \cos \varphi$$

φ -угао између осе кристала и нормале на клизну раван.



Цилиндрични кристал на кога делује затезно напрезање

Разложено смицајно напрезање

Укупна сила F може да се разложи на:

а) сила нормална на раван клизања F_N

$$F_N = F \cos \varphi$$

б) Смицајна сила паралелна равни клизања

$$F_s = F \cos \lambda$$

Укупно напрезање састављено је из две компоненте

ц) Нормалног напона који делује нормално на раван клизања

$$\sigma_N = F_N / S = F \cos \varphi (\cos \varphi / S_0) = F / S_0 \cos^2 \varphi = \sigma \cos^2 \varphi$$

д) Смицајног напрезања кој етези да изазове клизање

$$с) \tau_s = F_s / S = F \cos \lambda (\cos \varphi / S_0) = F / S_0 \cos \varphi \cos \lambda = \sigma \cos \varphi \cos \lambda$$

Разложени смицајни напон

$$\tau_s = \sigma \cos \varphi \cos \lambda$$

Теоријско критично смицајно напрезање

Теоријска смицајна чврстоћа је напон који треба применити да се сви атоми који припадају једној равни, истовремено помере смицањем по равни клизања у правцу клизања за транслациони вектор решетке, тј. једно међуатомско растојање

$$\tau = \tau_t \sin(2\pi x/b)$$

ако је померање x мало, sinus malog ugla приближан је углу

$$\tau = \tau_t (2\pi x/b)$$

Знамо да је смицајна деформација γ (са сл.7.3) једнака

$$\gamma = x/a$$

а преко Хуковог закона се добија

$$\tau = G\gamma = x/a G$$

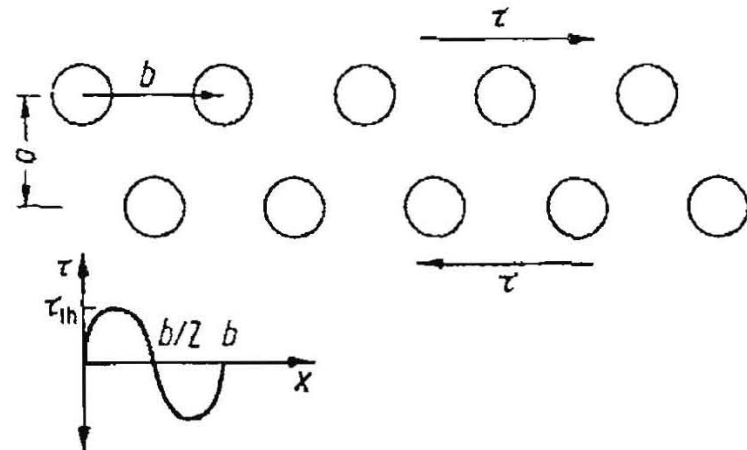
где је G – смицајни модул

Кombinovanjem (7.11) и (7.13) се добија

$$\tau_t = (G / 2\pi) (b/a)$$

Ако се стави да је $a = b$, онда је теоријска смицајна чврстоћа једнака

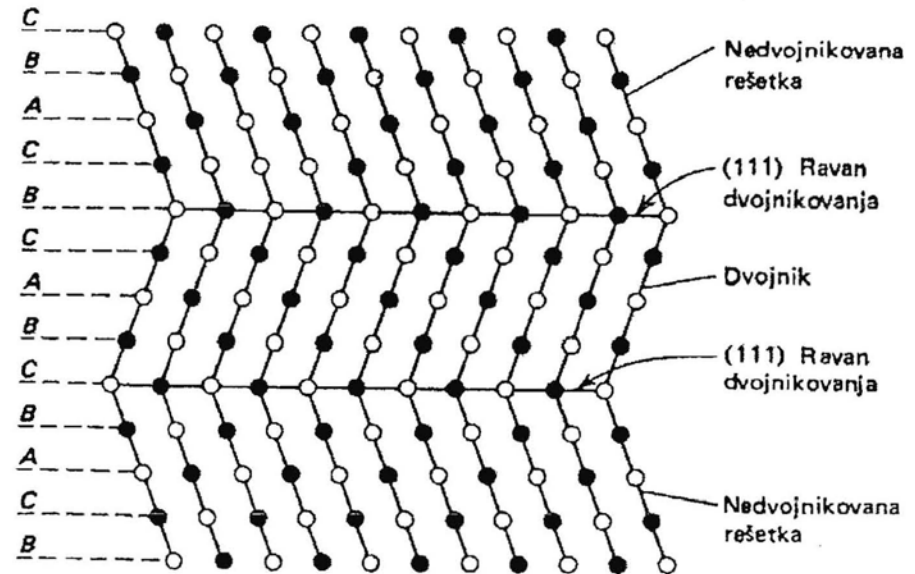
$$\tau_t = G / 2\pi = 0,16 G$$



3. Model za izracunavanje teorijskog smicajnog naprezanja

Двојниковање

Двојниковање је процес у коме се један део кристала деформише тако да формира себи симетричан део у односу на недеформисани део кристала при двојниковању величина померања атома је пропорционална удаљености од равни двојниковања.



Sl. 7.4. Dvojniovani kristal

Раван двојниковања је кристалографска раван симетрије између деформисаног и недеформисаног дела кристала.

При двојниковању је мала смицајна деформација па је зато клизање много важнији механизам од двојниковања.

Механизми ојачавања метала и легура

Чврстоћа металних материјала може да се повећа:

- хладном деформацијом, деформационо ојачавање
- рафинацијом кристалног зрна, тзв. ојачавање границама зрна,
- легирањем, растварајуће ојачавање,
- таложењем секундарних фаза

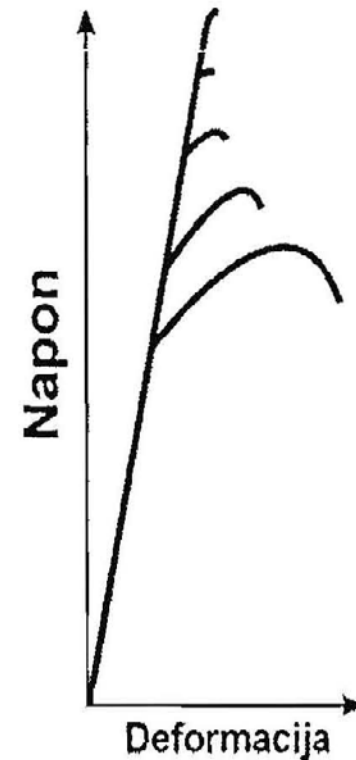
Деформационо ојачавање метала

Деформационо ојачавање је повећање отпора деформацији са растом степена деформације.

Криве напон-деформација зову се и криве ојачавања.

Криве деформационог ојачавања имају параболичан облик.

Са повећањем степена деформације нагиб криве се смањује и при високим степенима деформације теже нули.

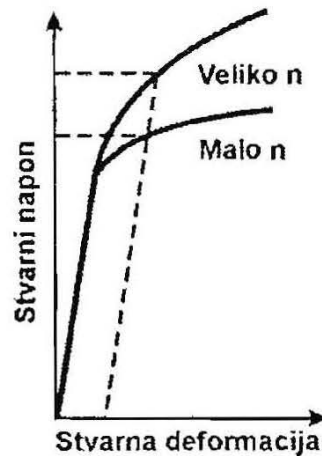


Узорак оптерећен више пута напоном већим од напона течења, показује све веће ојачавање и смањену пластичност

Деформационо ојачавање метала

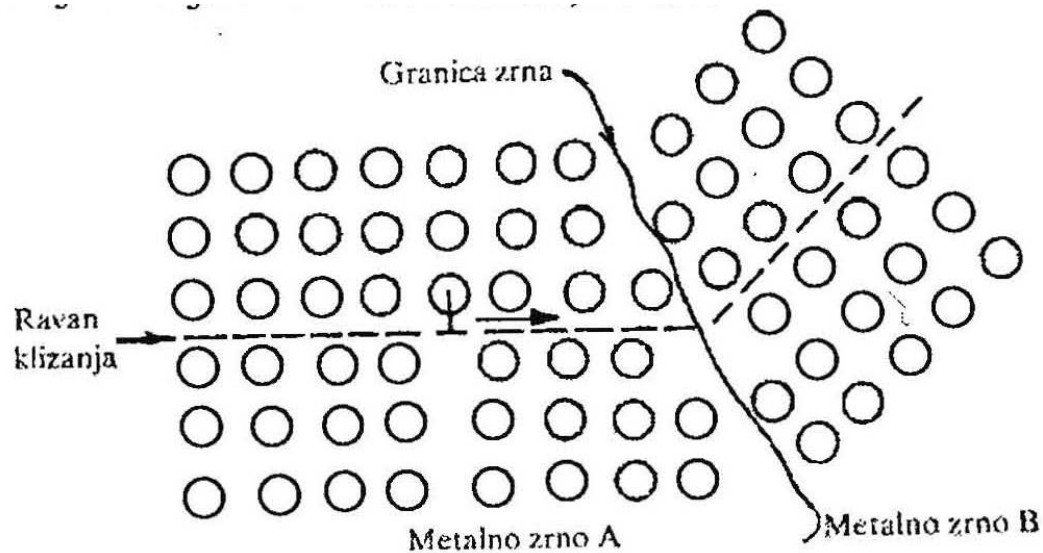
$$\sigma_0 = k \varepsilon^n \quad (8.1)$$

gde je σ_0 - stvarni napon, k – faktor proporcionalnosti, naziva se i koeficijent čvrstoće, ε - stvarna deformacija i n - indeks deformacionog ojačavanja, sl. 8.2.



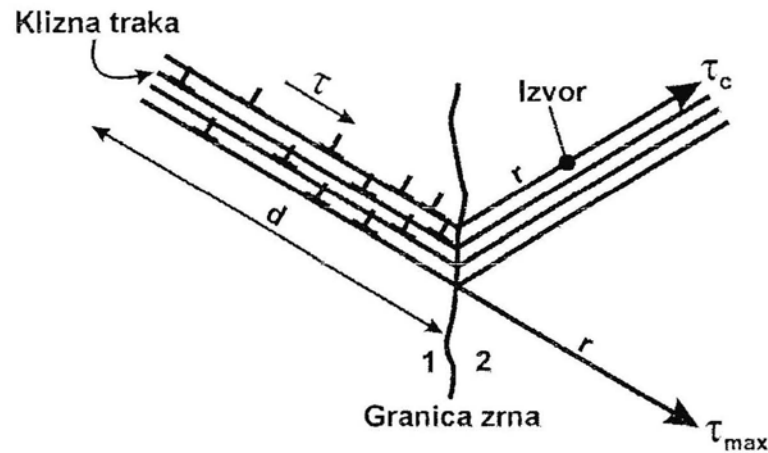
Slika 8.2. Kriva stvarni napon – stvarna deformacija. Veće ojačavanje je za metal sa većim indeksom deformacionog ojačavanja n

Ојачавање границама зрна



Slika 8.3. Granice zrna otežavaju kretanje dislokacija

Ojačavaње границама зрна



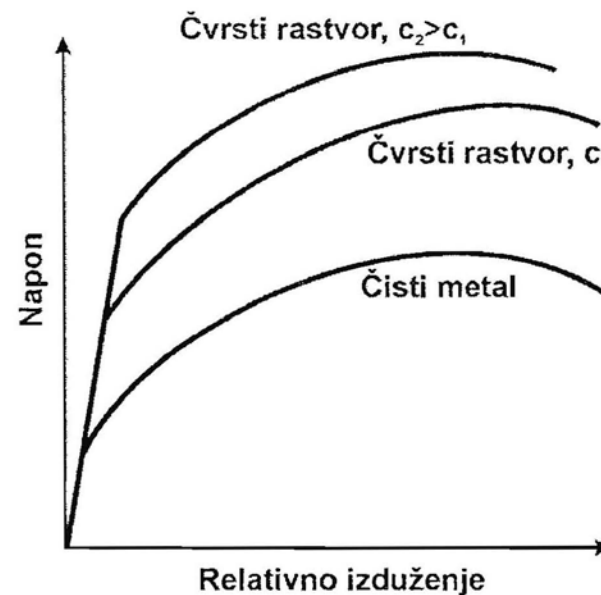
Slika 8.4. Nagomilavanje dislokacija na granici zrna

$$R_e = \sigma_0 + k_0 d^{-1/2} \quad (8.2.)$$

Pri čemu je σ_0 – konstanta materijala, k_0 – Hal-Pečov faktor, a d – prečnik zrna.

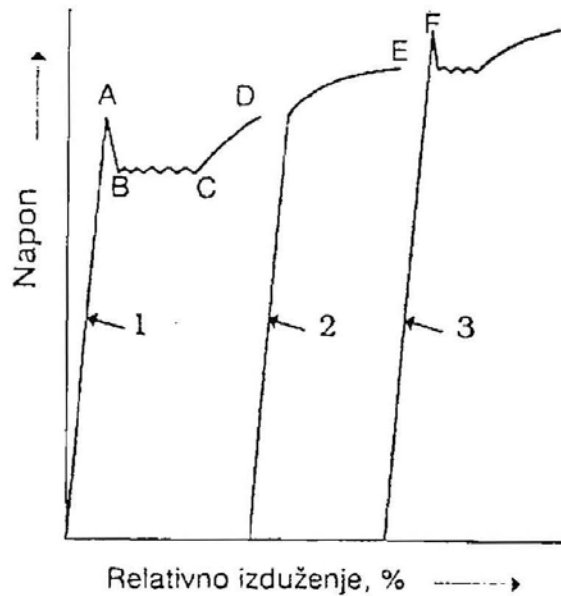
Растварајуће ојачавање

Легирајући елементи са основним металом граде чврсте растворе. У односу на основни метал чврсти раствори имају већу чврстоћу. Ојачавање које се постиже додавањем легирајућих елемената назива се растварајуће ојачавање.

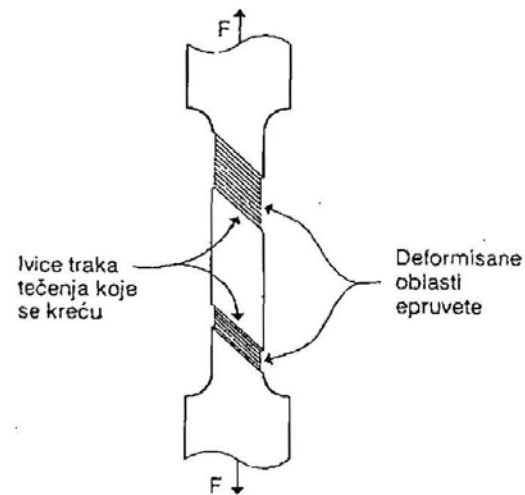


Slika 8.5. Uticaj koncentracije rastvorenih atoma(c) na krivu napon-deformacija

Растварајуће ојачавање



Slika 8.6. Krive napon - deformacija 1- meko žaren, 2- deformisan do tačke D i posle rasterećenja epruvete odmah nastavljeno ispitivanje 3- deformisan do tačke E i posle rasterećenja ispitivanje nastavljeno nakon nekoliko nedelja



Slika 8.7. Pojava Ludersovih traka tečenja pri ispitivanju zatezanjem

Ојачавање секундарним фазама

Механизми ојачавања су резултат реакција честица са дислокацијама.

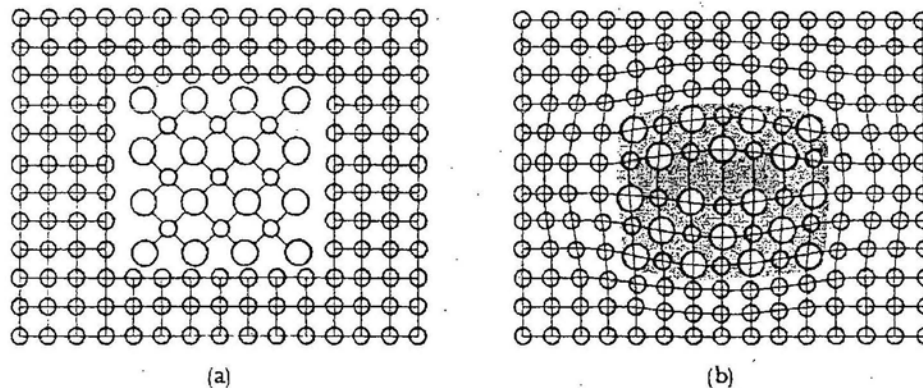
1. **Кочење дислокација** пољем еластичних напона које делују око честица, што се дефинише као еластична деформација.

2. **Сечење честица**, која се дефинише као дисперзно ојачавање

Ефекат ојачавања секундарним фазама зависи од врстесекундарних фаза.

Подела честица се обично врши према природи граничне површине између честице и основе.

3. **Заобилажење честица** које се дефинише као дисперзно ојачавање.



Слика 8.8. а) Некоherentна и б) коherentна гранична површина

Подела честица врши се према природи граничне површине између честица и основе на делимично кохерентне и кохерентне честице.

Ефекат ојачавања секундарним фазама зависе од врсте секундарних фаза.

Рекристализација

Температура и време жарења одабирају се у зависности од природе метала и степена деформације.

Рекристализација се састоји у томе, што се на температури жарења из спљоштених и издужених зрна образују нова зрна, различито оријентисана са нормалном недеформисаном кристалном решетком.

Влакнаста структура поново прелази у зрнасту, чврстоћа и тврдоћа се смањују док се издужење и жилавост повећавају.

Рекристализација се обавља у чврстом стању и почиње од центра кристализације који се јављају на местима највећих деформација кристалне решетке.