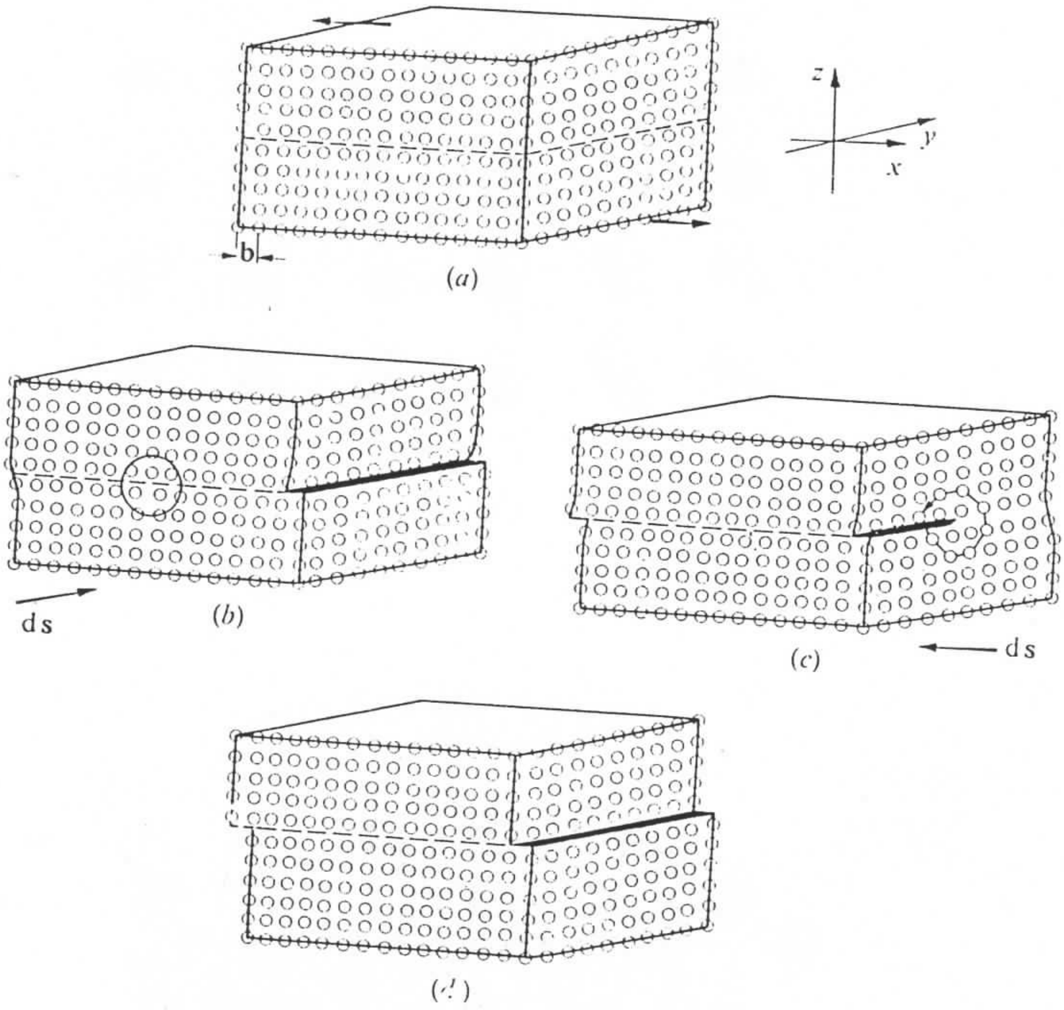


Fig. 11.1. The two possible intermediate steps in the elementary slip process in crystals (a) to (a), namely (b) the edge dislocation and (c) the screw dislocation.

11.1 Topological properties of dislocations

Burgers-kör két definíciója:

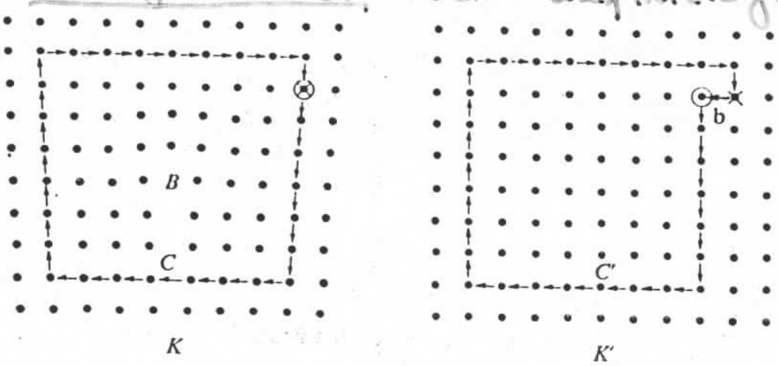
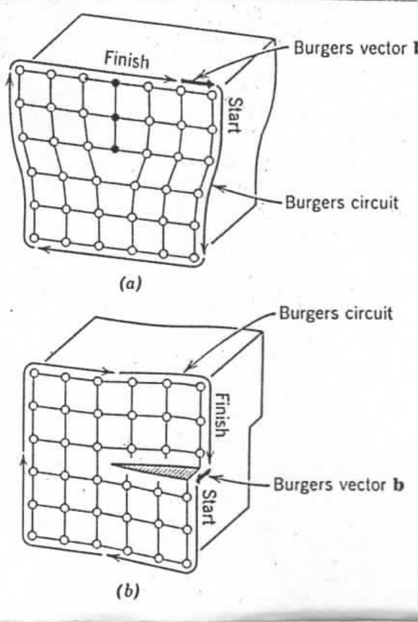
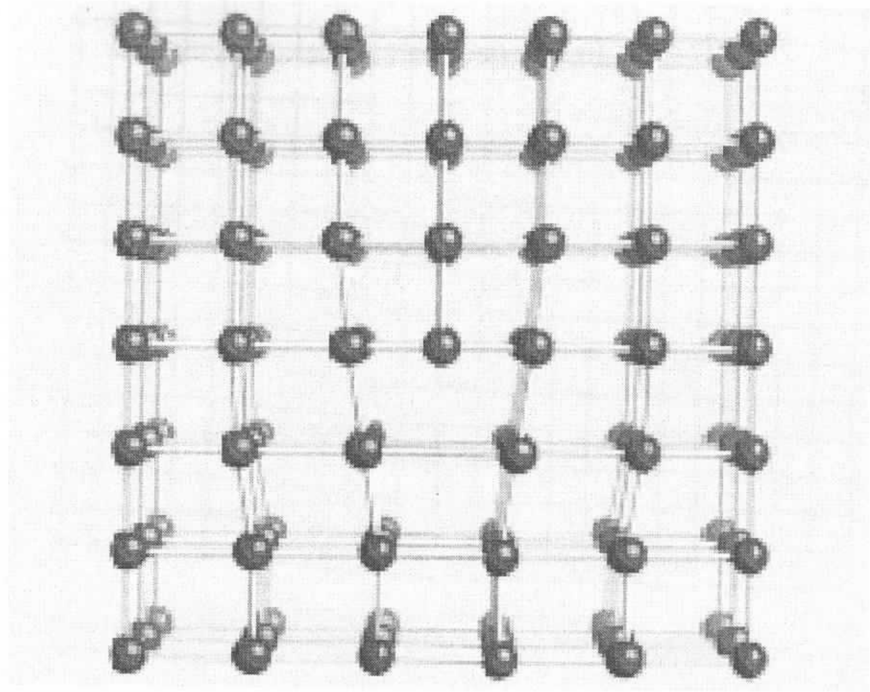
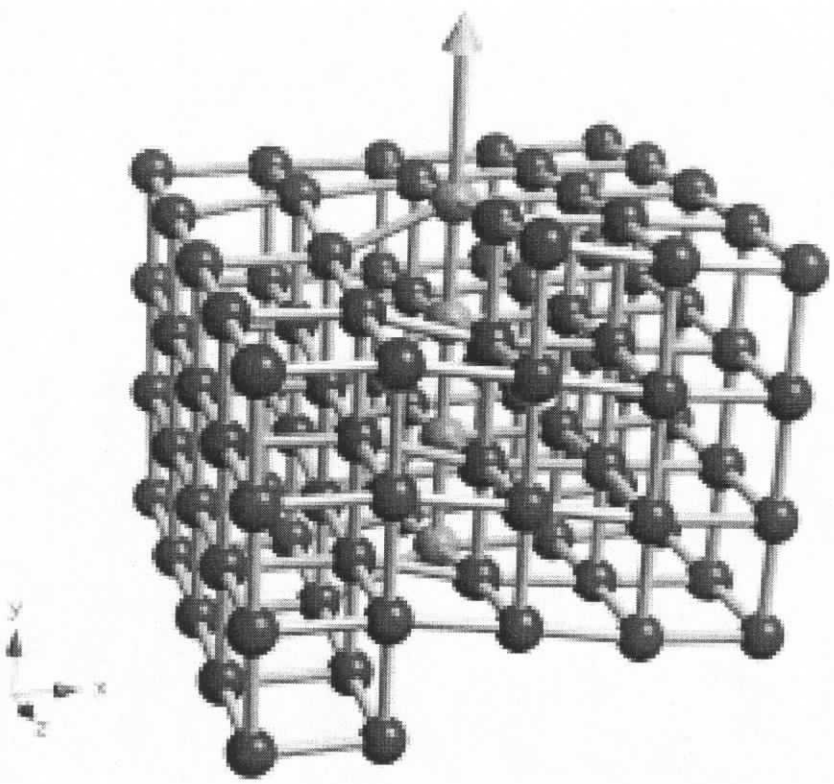


Fig. 11.3. Burgers circuit C round a 'bad' crystal region B in the crystal K and C' in the perfect crystal K' with closing vector $\boldsymbol{b}$.





Éldiszlokáció



Csavardiszlokáció

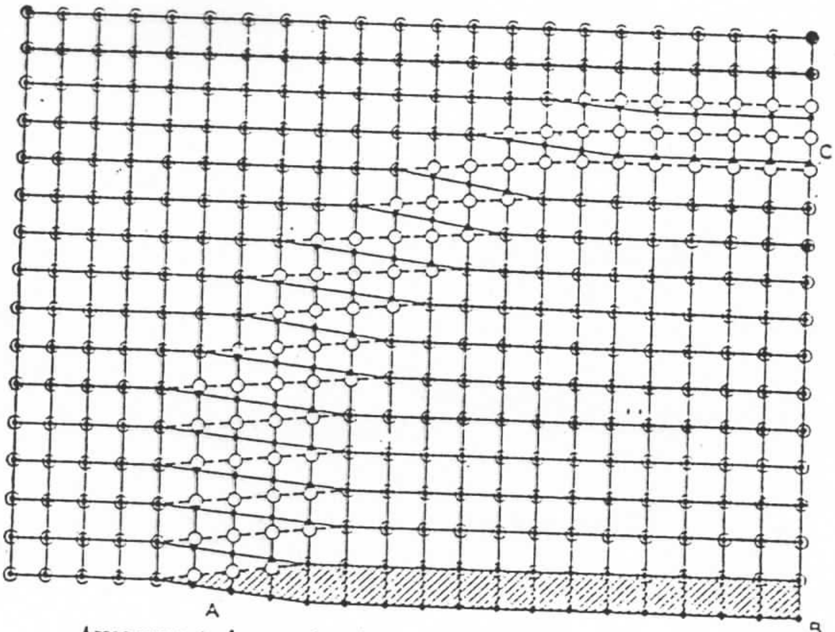


Fig. 11.6. Arrangement of atoms for the curved dislocation. Open circles represent the atomic plane just above the slip plane; closed circles represent the atoms just below.

Nem csak él- és csavardiszlokáció van: körbevonalú diszl.

Diszl. elcsúszott és el nem csúszott tartományok határa vagy önmagában záródó vonal, vagy felülettől felületig megy — nem végződhet a kristályban!

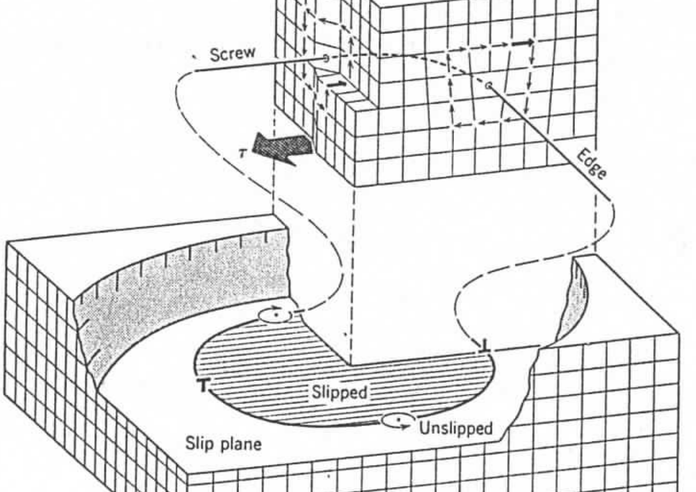
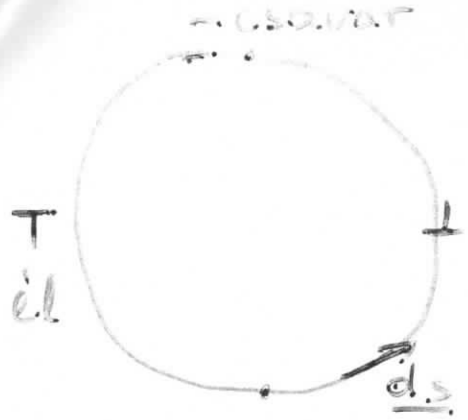


Figure 4.4 Geometry of a closed dislocation loop showing, in cut-out section, regions of pure edge and pure screw dislocation.

Atomelrendeződés hurok belsejében = mint kívül, mert teljes rácsáll.-nal mozdult el az ag.-a csúszási sík definíciója lényegtelen: bármely fel., amelyet a diszl. határol.

b és dl a fontos!



+ él: 5 félsík
4 félsík felett

+ csavar: csigalépcső csavarodási iránya ($\underline{b}$ $d\underline{s}$) szög + értéket felvesz.

+ vagy – definíció: $\underline{b}$ és $d\underline{s}$ egymáshoz viszonyított helyzete. Tetszőleges lehet, mindig együtt fordulnak elő.

<u>Burgers-vektor megmaradása</u>: egy disl. mentén a $\underline{b}$ állandó.

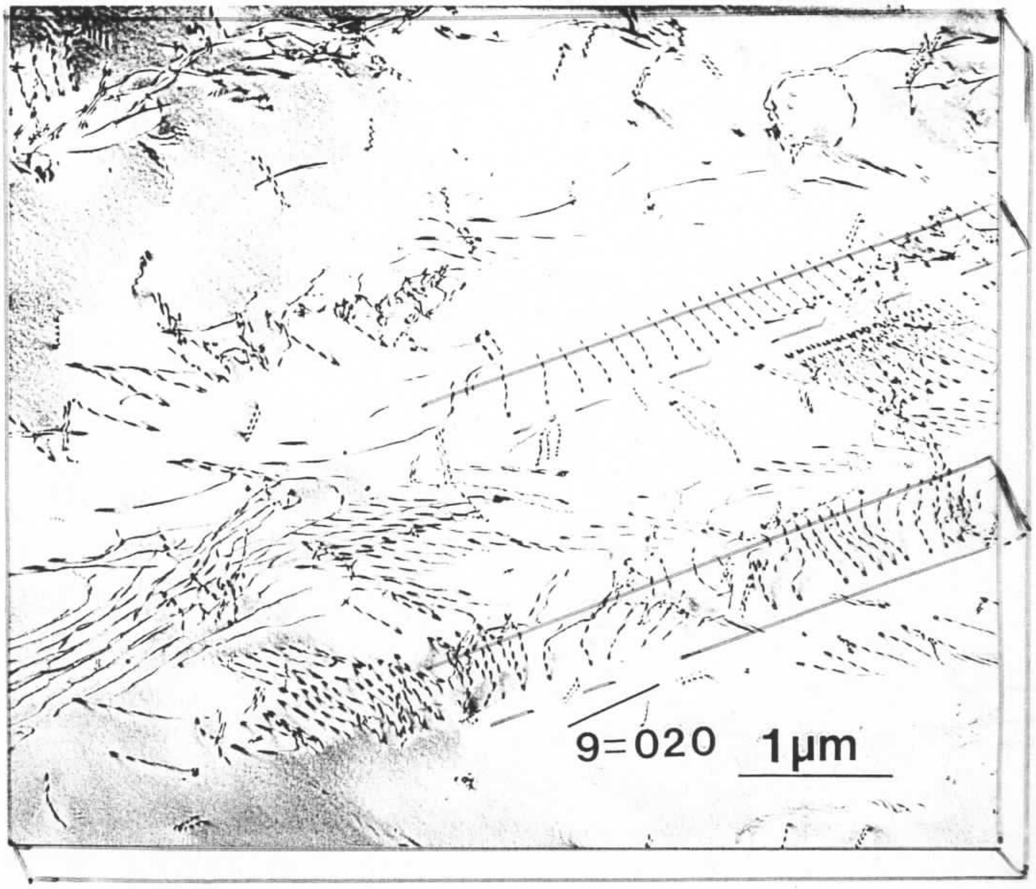
(Burg.-kört végigcsúsztatjuk a dl. vonal mentén.)

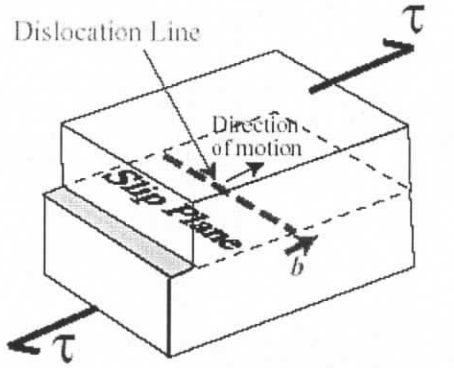
Él: $\underline{b}$ és $d\underline{s}$ meghatározzák a dl. síkját

Csavar: $\underline{b}$ és $d\underline{s}$ ||, nem definiálnak egyértelműen egy síkot, a csavardl. több síkban is szabadon mozoghat.

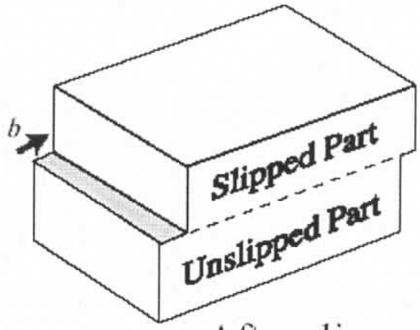
Quenched + 3 min at RT ; $\varepsilon = 1.9\%$

$z = [001]$

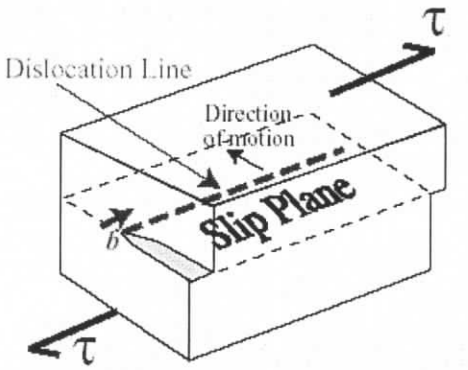




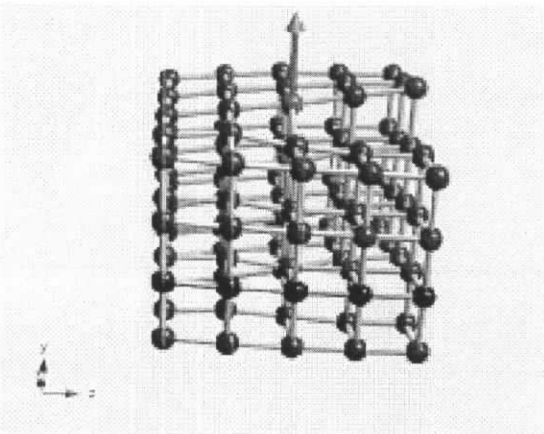
During slip of an edge dislocation

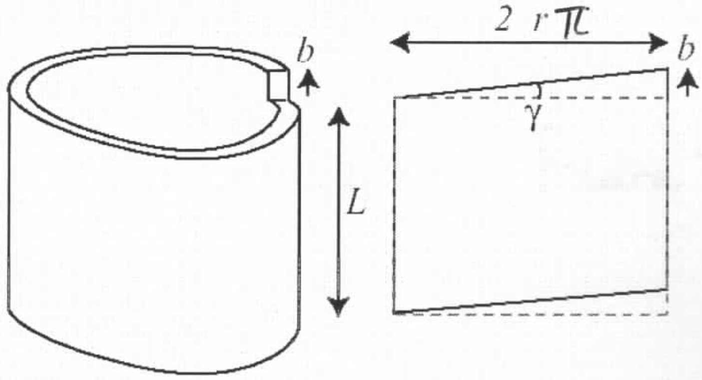


After slip



During slip of a screw dislocation





Diszlokáció energiája

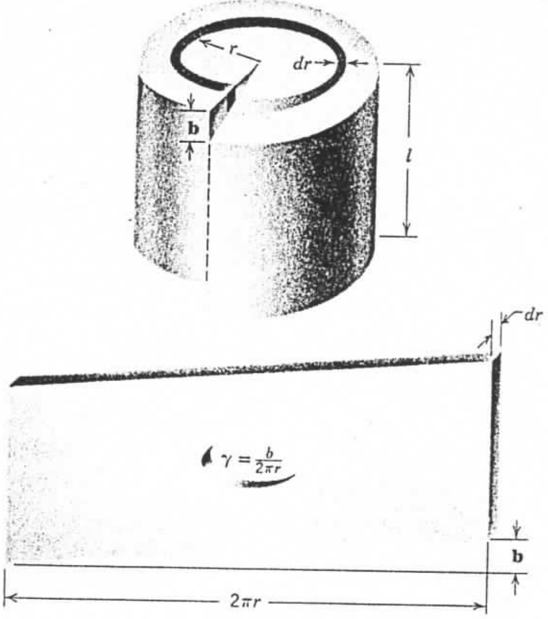


Figure 4.5 Geometric model for the calculation of shear strain around a screw dislocation.

$$\frac{dE}{dV} = \frac{1}{2}\tau\gamma = \frac{1}{2}G\gamma^2 = \frac{G}{2}\left[\frac{b}{2\pi r}\right]^2$$

$$dV = 2\pi r\, l\, dr$$

$$dE = \frac{l\,Gb^2}{4\pi}\,\frac{dr}{r}$$

$$E_{r > r_0} = \int_{r_0}^{R} l\,\frac{Gb^2}{4\pi}\,\frac{dr}{r} = l\,\frac{Gb^2}{4\pi}\ln\frac{R}{r_0}$$

$$E = l\,\frac{Gb^2}{4\pi}\ln\frac{R}{r_0} + E_{core}$$

$r_0 = 0$ és $R = \infty$ nem lehet.

$\frac{R}{r_0}$	$\ln\frac{R}{r_0}$	E/l
100	6.9	$\frac{Gb^2}{2}$
1000	11.5	Gb^2

$r_0 \simeq b$ $E_{core} < 0.1\,E$

Éldiszlokációra:

$$E_{él} = \frac{1}{1-\nu} E_{cs} \simeq L\left(\frac{1}{2} \div 1\right)\frac{Gb^2}{1-\nu}$$

ν: Poisson-szám

Ha $\nu = \frac{1}{3} \rightarrow E_{él} = \frac{3}{2} E_{cs}$

Lényeg: • b^2 $\rightsquigarrow$ minimális Burgers-vektorú diszlokációk a legalacsonyabb energiájúak.

• $E \sim L$ → vonalmenti feszültség
(v.ö. felületi fesz.)

$$T = \frac{\partial E}{\partial l} \simeq \frac{1}{2} G b^2$$

legtöbbször ezt használják.

Diszl. energiája általánosabban:

Mag járuléka elhanyagolható

Rug. kontinuum energiasűrűsége:

$$e = \frac{1}{2}\sum_{i,k=1}^{3} \sigma_{ik}\, \varepsilon_{ik}$$

fesz. tenzor

def. tenzor

2 diszlokáció: A B

ε_{ik}^{A} ε_{ik}^{B}

σ_{ik}^{A} σ_{ik}^{B}

Egyenletek lineárisak ⇝

$$\varepsilon_{ik} = \varepsilon_{ik}^{A} + \varepsilon_{ik}^{B}$$

$$\sigma_{ik} = \sigma_{ik}^{A} + \sigma_{ik}^{B}$$

Rugalmas energia 2 diszlokáció jelenlétében:

$$E = \underbrace{\frac{1}{2}\sum_{i,k}\int \sigma_{ik}^{A}\,\varepsilon_{ik}^{A}\,dV}_{E_s^A} + \underbrace{\frac{1}{2}\sum_{i,k}\int \sigma_{ik}^{B}\,\varepsilon_{ik}^{B}\,dV}_{E_s^B} + \underbrace{\frac{1}{2}\sum_{i,k}\int\left(\sigma_{ik}^{A}\,\varepsilon_{ik}^{B} + \sigma_{ik}^{B}\,\varepsilon_{ik}^{A}\right)}_{E_{KH}}$$

Belátható: $\sum \sigma_{ik}^{A}\,\varepsilon_{ik}^{B} = \sum \sigma_{ik}^{B}\,\varepsilon_{ik}^{A}$ ⇝

$$E_{KH} = \sum_{i,k}\int \sigma_{ik}^{A}\,\varepsilon_{ik}^{B}\,dV \left(= \sum \int \sigma^{B}\,\varepsilon^{A}\,dV\right)$$

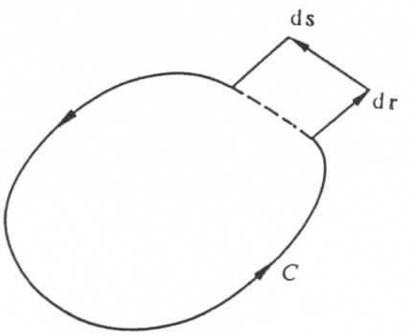
Geometriai átalakítás (K.-Zs. 2.3. fejezet)

$$\boxed{E_{KH} = \underline{b}^{A} \int_{\underline{F}_A} \underline{\underline{\sigma}}^{B}\,d\underline{F} = \sum_{i,k} b_i^{A} \int_{F_A} \sigma_{ik}^{B}\,dF_k}$$

diszlokációs hurok felülete

1) Diszlokációra ható erő

Legyen a disl. síkgörbe (egyneműség kedvéért)



Vágási fel. tetszőleges,

legyen az ábra síkja.

A_p-ban σ feszültség

(mint az előbb σ^{B}_{ik} – nem hangsúlyoztuk ki, hogy diszlokációtól ered.)

$d\underline{s} \to d\underline{r}$-rel mozdul el

$$E_{kH} = \underline{b}^{A} \int_{F_A} \sigma \cdot dF$$

$$dE_{kH} = \underline{b}^{A} \sigma (d\underline{r} \times d\underline{s}) = -(d\underline{s} \times d\underline{r})\sigma \underline{b}$$

$$= -[(\sigma \underline{b}) \times d\underline{s}]\, d\underline{r}$$

$$\underline{f} = -\operatorname{grad} E = -\frac{dE}{dr}$$

Disl. $d\underline{s}$ ívelemére ható erő:

$$\boxed{d\underline{f} = [(\sigma \underline{b}) \times d\underline{s}]}$$

Primitív példa:

$$d\underline{f} = (\sigma \underline{b}) \times d\underline{s}$$

$$\underline{f} = \sigma b l$$

Másképp:

nyíróerő munkája:

$$\sigma\, l\, d \cdot b$$

Amíg a $\sigma l d$ erő b-vel mozdul el, addig a dl-re ható f erő d-vel:

$$f \cdot d = \sigma l d b$$

$$\underline{f = \sigma l b}$$

Speciális esetek

a) Éldiszlokáció $\quad \underline{b}(b,0,0) \quad d\underline{s}(0,-ds,0)$

$$d\underline{f} = \left[(\underline{\underline{\sigma}}\, \underline{b}) \times d\underline{s}\right]$$

$$(\underline{\underline{\sigma}})[\underline{b}] = (\sigma_{xx} b, \sigma_{yx} b, \sigma_{zx} b)$$

$$d\underline{f} = [\underbrace{b \sigma_{xz} ds}_{df_x};\ 0;\ \underbrace{-\sigma_{xx} b ds}_{df_z}]$$

$$\frac{df_x}{ds} = \sigma_{xz} b$$

csúsztató erő: mindig $\perp$ a dl-vonalra; csúszósíkban hat

(gliding force)

$\frac{d\underline{f}_2}{ds}$: kúszást (climb) előidéző erő;

nem a $[\underline{b} \times d\underline{s}]$ síkjában hat.

Climb: ha ezen erő hatására elmozdul $d\underline{z}$-t

$dV = dz\, b\, ds$ térfogatelem keletkezik:

általában $d\underline{r}$ elmozdulás esetén

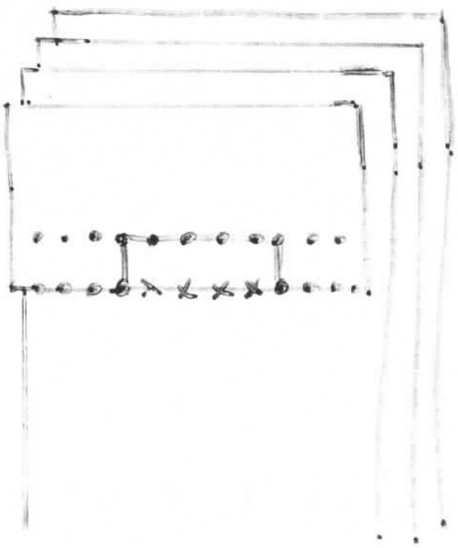
$$dV = d\underline{r}\,[\underline{b} \times d\underline{s}]$$

$dV = 0$: elmozdulás a csúszósíkban →

→ konzervatív mozgás

$dV \neq 0$: vakancia V vagy I abszorbciója!

lehetséges, → nemkonzervatív mozgás



Pl: dV/Ω db. V kell!

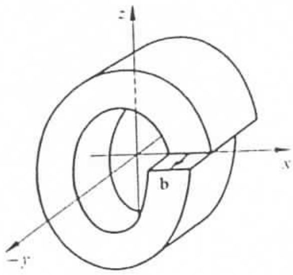
Csavardiszlokációnál

$[\underline{b} \times d\underline{s}] = 0$, nincs

nemkonzervatív mozgás!

Diszlokációk feszültségtere rug. kontinuumban

a) Csavardiszlokáció

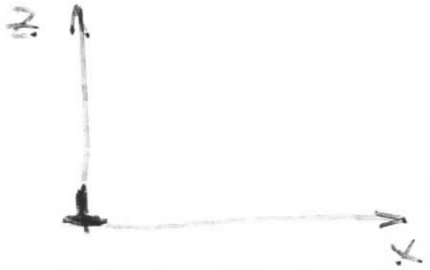


$$\sigma_{xy} = -\frac{Gb}{2\pi}\cdot\frac{z}{x^2+z^2} = \dots \frac{z}{r^2}$$

$$\sigma_{yz} = \frac{Gb}{2\pi}\cdot\frac{x}{x^2+z^2} = \dots \frac{x}{r^2}$$

Hengerkoordinátákban: $\sigma_{xy} = \frac{Gb}{2\pi}\cdot\frac{1}{r}$

b) Éldiszlokáció



$$\sigma_{xz} = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)}\cdot\frac{x(x^2-z^2)}{(x^2+z^2)^2}$$

$$\sigma_{xx} = -\frac{Gb}{2\pi(1-\nu)}\cdot\frac{z(3x^2+z^2)}{(x^2+z^2)^2}$$

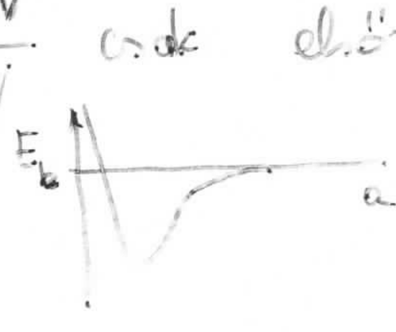
$$\sigma_{zz} = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)}\cdot\frac{z(x^2-z^2)}{(x^2+z^2)^2}$$

$$\sigma_{yy} = \nu(\sigma_{xx}+\sigma_{zz})$$

Felső féltérben: $\sigma_{xx} < 0$: kompresszív erő $\underline{b}$ irányban

Alsó féltérben: $\sigma_{xx} > 0$: dilatált zóna

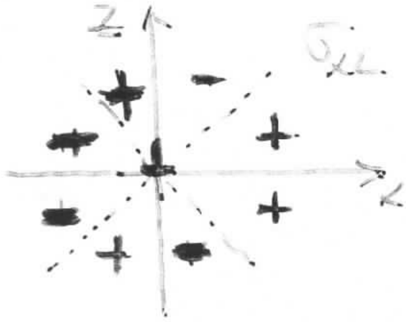
($\frac{dV}{V}$ csak elsőrendben 0:



taszító hatás erősebben nő, mint a vonzó)

$x = \pm z$ σ_{xz} és σ_{zz} előjelet vált.

Legfontosabb: σ_{xz} (csúsztató fesz. $\underline{b}$ irányban)

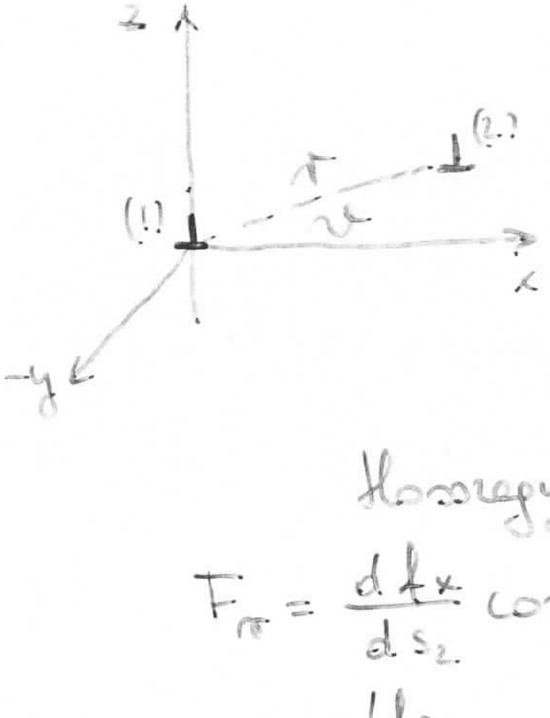


Egyenes diszlokációk kölcsönhatása

$$d\underline{f} = \left[(\underline{\underline{\sigma}}\,\underline{b}) \times d\underline{s} \right]$$

Éldiszlokációk kh-a:

$\underline{b}\,(b, 0, 0)$ $d\underline{s}\,(0, -ds_2, 0)$



$$df_x = \sigma_{xz} b\, ds; \quad df_y = 0; \quad df_z = \sigma_{xx} b\, ds$$

$$df_x^{(2)} = \sigma_{xz}^{(1)} b_2\, ds_2 = b \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{x(x^2-z^2)}{(x^2+z^2)^2} ds_2$$

$$df_z^{(2)} = -\sigma_{xx}^{(1)} b_2\, ds_2 = b \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{z(3x^2+z^2)}{(x^2+z^2)^2} ds_2$$

Hosszegységre ható erő polár koord.-ban:

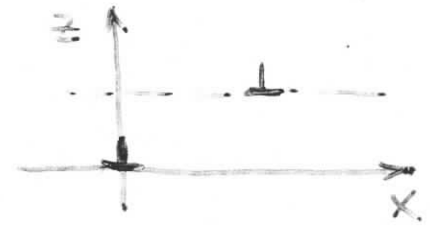
$$F_r = \frac{df_x}{ds_2} \cos\vartheta + \frac{df_z}{ds_2} \sin\vartheta = \frac{Gb^2}{2\pi(1-\nu)} \frac{1}{r}$$

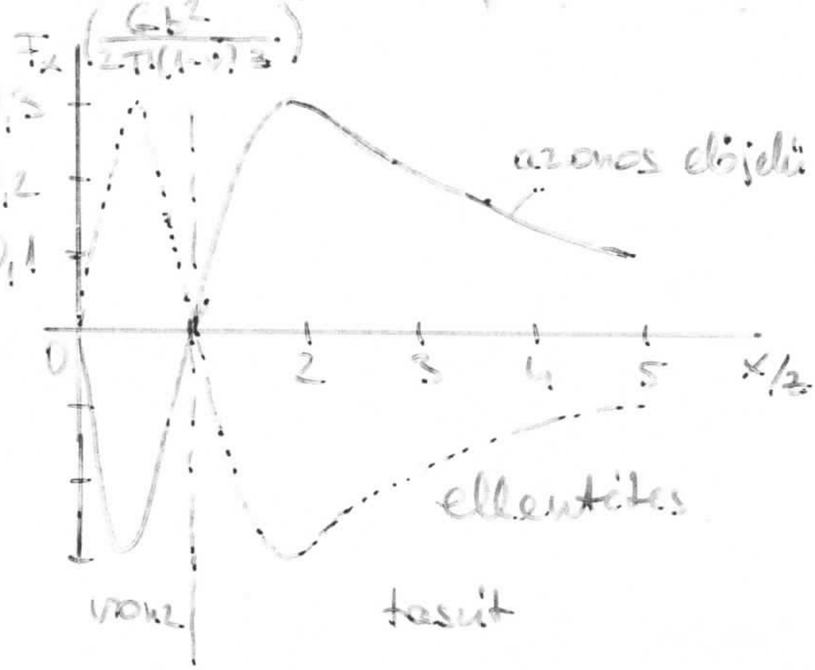
$$F_\vartheta = \frac{df_z}{ds_2} \cos\vartheta - \frac{df_x}{ds_2} \sin\vartheta = \frac{Gb^2}{2\pi(1-\nu)} \frac{\sin 2\vartheta}{r}$$

Ha a disl. $\underline{b}$-nek iránya előjelet vált, akkor az erők is előjelet váltanak.

F_T azonos előjelű disl.-k esetén taszító.

Nézzük meg a csúszósíkbeli F_x komponenst z = áll. mellett:





Azonos előjelű: $x = 0$
Ellentétes $x = z$
} az egy.i helyzet.

— · —

Ph. él és csavar között nincs kh.

— · —

Ph. csavardisl.

$$F\left(\frac{df_x^{(2)}}{ds_2} = \frac{Gb^2}{2\pi}\frac{x}{x^2+z^2};\ 0;\ \frac{df_z^{(2)}}{ds_2} = \frac{Gb^2}{2\pi}\frac{y}{x^2+z^2}\right)$$

$$F_r = \frac{Gb^2}{2\pi r}; \qquad F_\vartheta = 0$$

Összefoglalás:

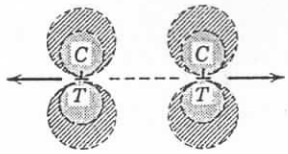
$$F_r = \frac{C\, b_1 b_2}{r} \qquad \text{Cs. és él disl.-ra}$$

$$F_\vartheta = \begin{cases} \dfrac{C\, b_1 b_2 \sin 2\vartheta}{r} & \text{él} \\ 0 & \text{cs.} \end{cases}$$

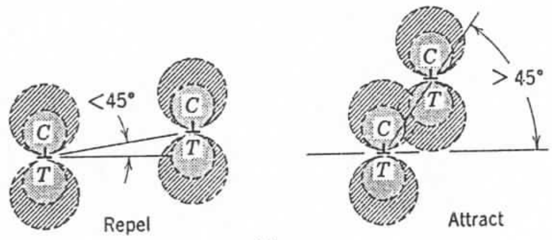
$$C = \begin{cases} \dfrac{G}{2\pi(1-\nu)} & \text{él} \\ \dfrac{G}{2\pi} & \text{cs.} \end{cases}$$

Csavardiszlokációk: ellentétes előjelű, ugyanakkora $\underline{b}$ vektorral vonzzák egymást.
azonos előjelű – taszítják egymást

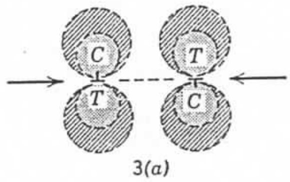
Éldiszlokációk: bonyolultabb, ϑ-tól függően előjelet is vált.



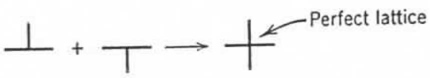
(1)



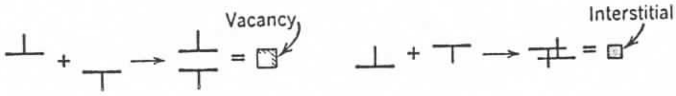
(2)

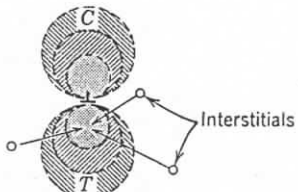


3(a)



3(b)

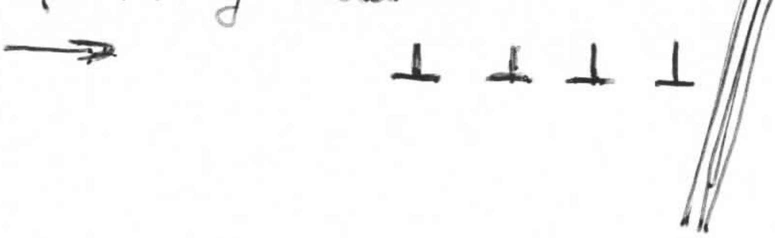




(4)

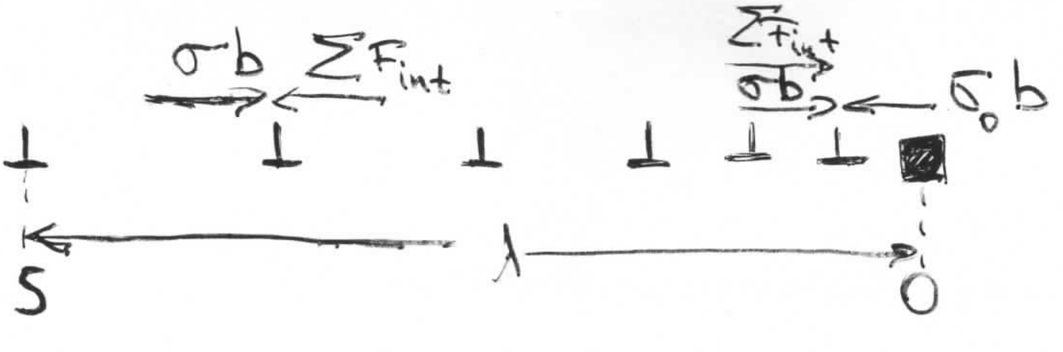
Diszlokációk feltorlódása akadálynál:

τ feszültség kívülről



Pile-up

Szemcse-
határ



Infinitezimális fesz. növ → ∀ dl továbbmozdul δx

A belső erők munkája 0.

A pile-up en-ja sem változik (1. rendben) mert

$$\partial U / \partial x = 0 \quad \text{egyensúlyban}$$

Így a teljes munka: $N \sigma b \delta x - \sigma_0 b \delta x = 0$

külső — vez. dl. továbbmozdul az akadály felé

Vez. dl: $N\sigma = \sigma_0 = \sigma_{eff}$ $\quad N \simeq 20-500$, σ_{eff} nagy!

2. dl: $(N-1)\sigma$ ... dl.-k közti táv. nő.

N ismeretlenes egy. rendszer, numerikusan megoldható

$$\sigma_{eff} = N\sigma = \pi(1-\nu)\lambda\sigma^2/Gb$$

Adott σ_{eff} eléréséhez:

$\sigma \sim \lambda^{-1/2}$ $\quad \lambda \simeq d/2 \Rightarrow$

$\sigma \sim d^{-1/2}$ $\quad$ Hall-Petch