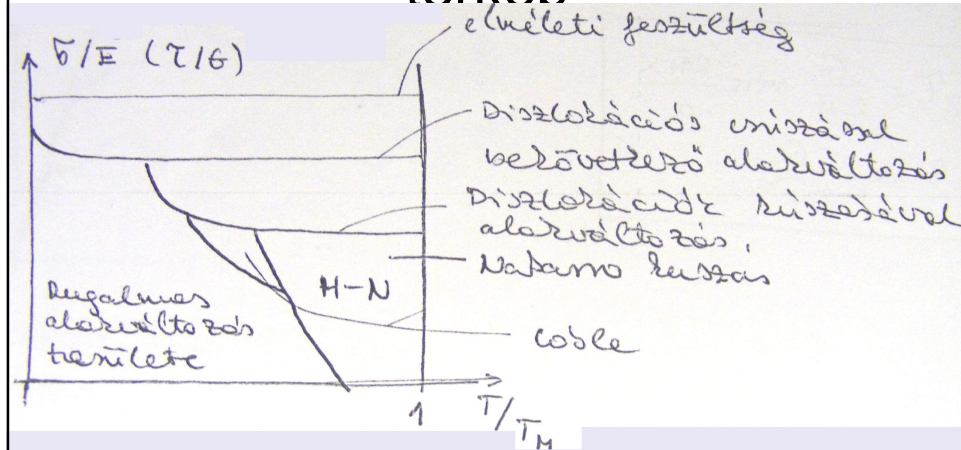


Anyagismeret

4. előadás

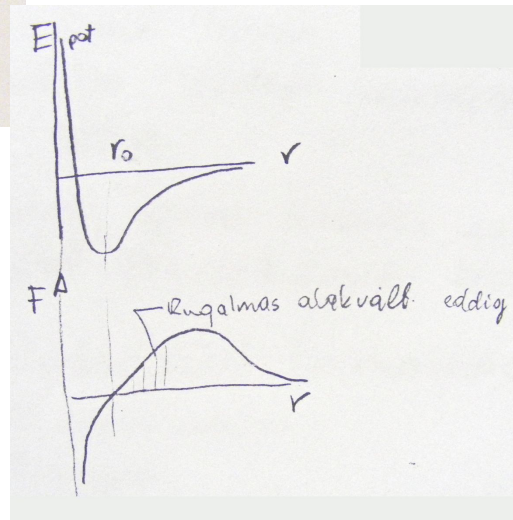
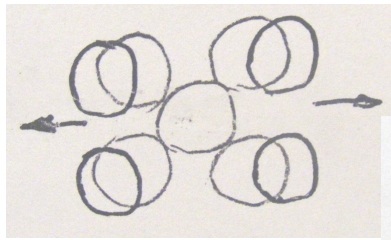
Egyfázisú fémes anyagok
mechanikai tulajdonságait
befolyásoló tényezők

Alakváltozás mechanizmus térkép



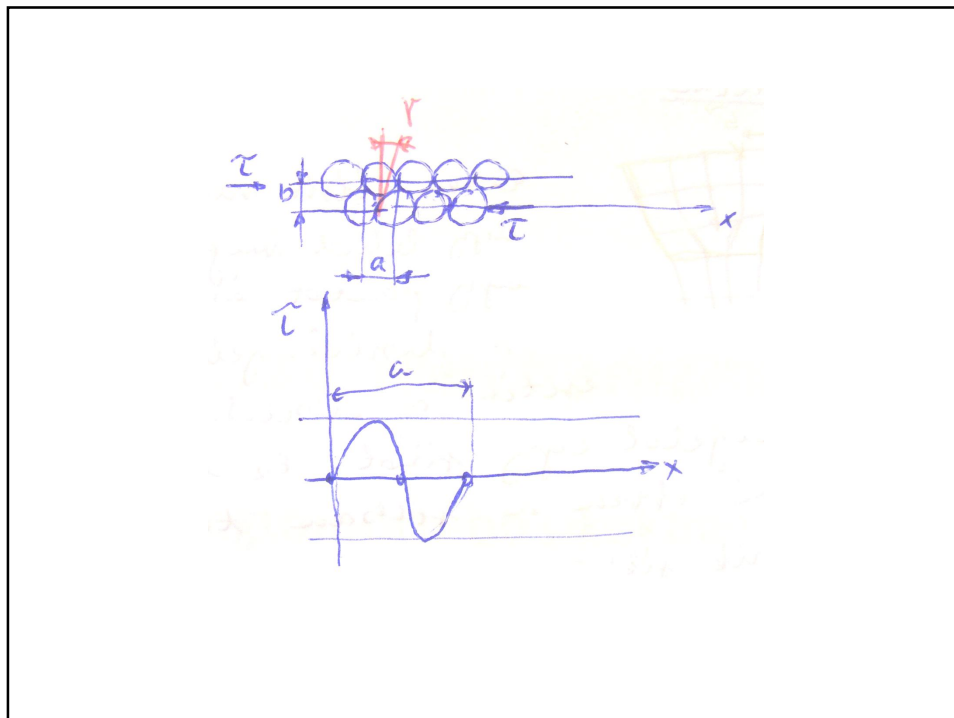
Rugalmas alakváltozás

- Ha a terhelő erő viszonylag kicsi, az alakváltozás úgy megy végbe, hogy az atomok megtartják szomszédjaikat.
- Az alakváltozás reverzibilis
- Az anyagban károsodás nem keletkezik, energia nem halmozódik fel.



Diszlokáció csúszási mechanizmus

- A csúszás mindig a legtömöttebb síkokban és irányokban megy végbe
- Egy ideális modellben meg lehet határozni egy olyan elméleti szilárdságot, ahol a képlékeny alakváltozás végbemegy.



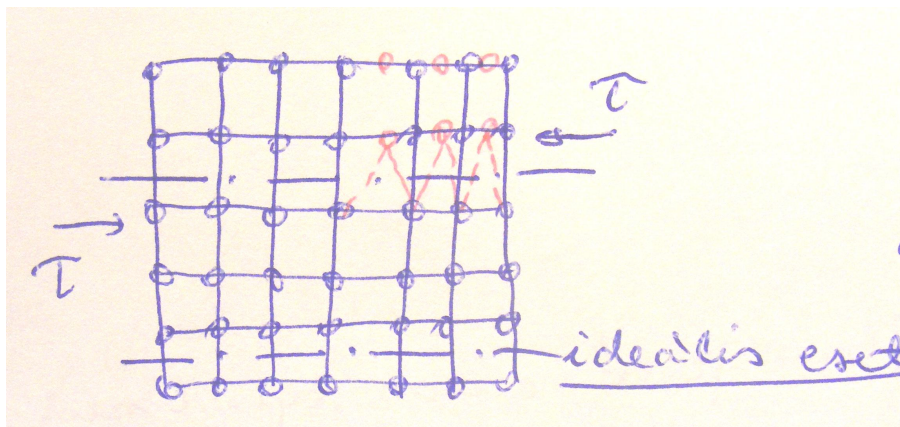
- Ha abból indulunk ki, hogy a síkok tömöttek, elég egy olyan síkot tanulmányozni, ami a legtömöttebb.
- A felső atomsor az alsón x irányban elmozdulhat. Kialakulhat, hogy az atomok „egymáson” vannak, ilyenkor a $\tau=0$.
- Továbbtolva az atomsort elérünk egy olyan helyzetbe, ami olyan, mint a kiinduló helyzet.

- Frenkel írta le:

$$\tau = A \sin(2 \pi x) / a$$

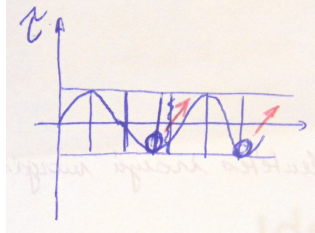
- Ha a szög kicsi, az alakváltozás rugalmas, felírható Hook törvénye: $\tau = \gamma G$

- Amikor a terhelés elkezdődik a rács hibátlan. A jobb oldali atomok elmozdulnak. Kialakul a diszlokáció.



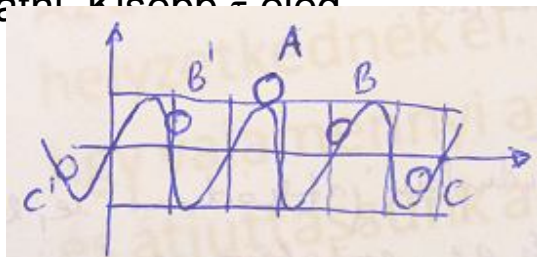
Ideális eset

- Az atomok a potenciálfüggvény minimumban helyzetkednek el. Az elcsúsztatáshoz az kell, hogy valamennyi atomot egyszerre kiemeljünk és átjuttassunk a potenciálmátrixon.



Csúszósíkban

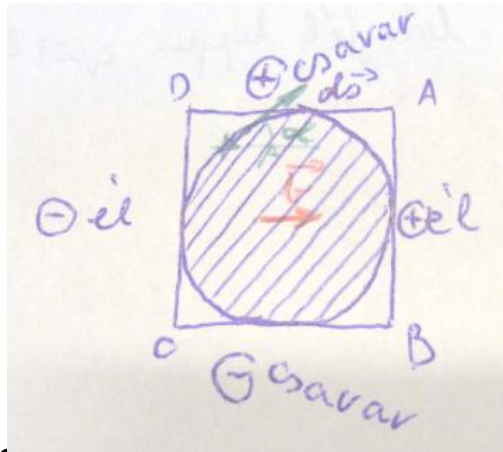
- A B atomhoz kevés energia kell, a B' pedig „törekszik”. Nem az összes atomot kell egyszerre elmozdítani, hanem a diszlokáció környékén lévőket kell mozgatni. Kisebbség.



- Valóságban itt van egy helyi minimum.

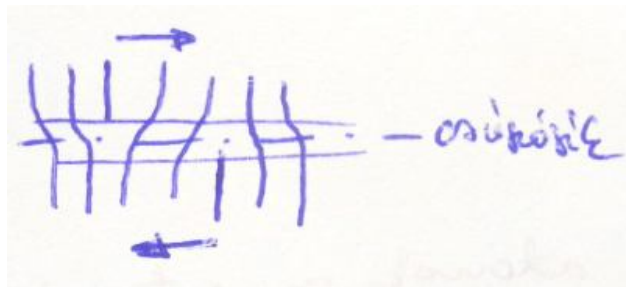


- A diszlokáció csak bizonyos feltételek mellett jöhet létre:
 - Zárt hurkot alkot
 - Kiér a felületre
 - Több diszlokáció csomópontot alkot



- A-B extra fél-sík
- C-D extra fél-sík hiány (hátsó többlet)
- A diszlokáció vonala kör lesz, esetleg sarkasög

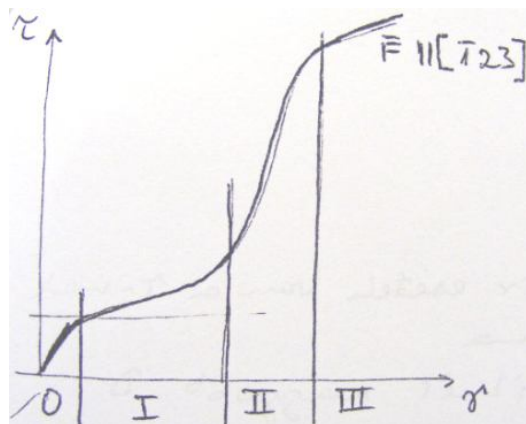
- Ellentétes előjelű, azonos csúszósíkokban fekvő, azonos típusú diszlokációk találkozása kioltja egymást.



- Azonos típusú ellentétes előjelű diszlokációk ellentétes irányú mozgása azonos alakváltozást hoz létre.

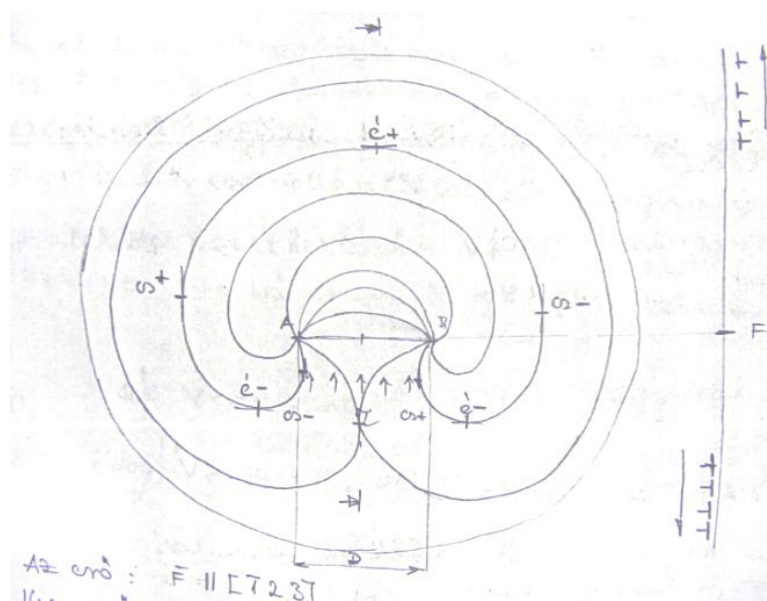
Egykristályok alakváltozása

- FKK-ra: A csúszósík mindig a legkönnyebb irányban jön létre



- I. egyszerű csúszás szakasza
- II. bonyolult csúszás szakasza
- III. keresztcsúszás szakasza

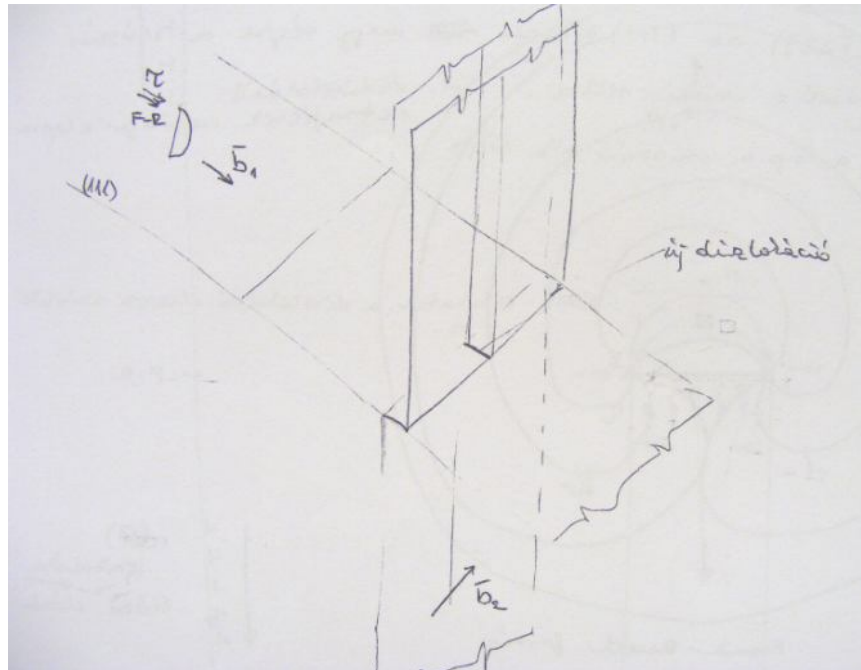
I. Egyszerű csúszás szakasza



- Amikor a diszlokáció eléri a félkört, elveszíti stabilitását és kisebb erő is elegendő a kör tágításához.
- Ha a diszlokáció összeér, „leszakad és elszalad”
- Kör esetén van a τ -nak maximuma

II. Bonyolult csúszás szakasza

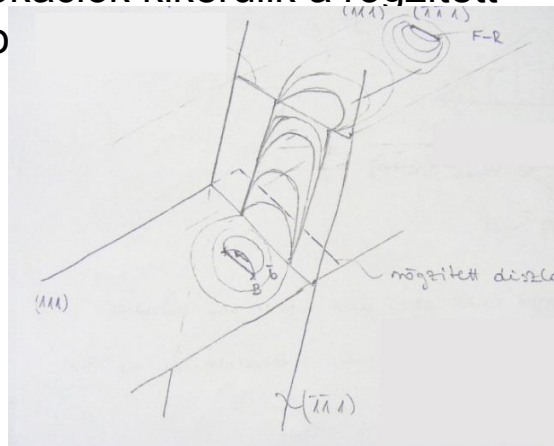
- Mindkét síkon van Frank-Read forrás. A két síkon mozgó diszlokációk vannak. A két sík metszésvonalán nagy valószínűséggel találkozhatnak



- b megállítja a többi diszlokációt, amelyeket a F-R forrás hoz létre.
- Egy rögzített diszlokáció nehezíti a mögötte lévő diszlokációk mozgását és ezzel ott lévő F-R forrás működését is.
- A F-R forrás nem tud kihajolni annyira, hogy elveszítse stabilitását.
- A további alakításhoz további feszültségre van szükség.
- Ezért meredekebb a görbe.
- Ezért nem lesz pontos rugalmassági határ, mert nem lehet kimérni, meddig lesz egy F-R forrás, ami kibocsát egy diszlokáció hurkot.

III. Keresztcsúszás szakasza

- Ebben a szakaszban tulajdonképpen a diszlokációk kikerülnek a rögzített diszlo



- Mivel b csavardiszlokáció (111 síkban) párhuzamos a diszlokáció tengelyével , ezért nem kötött csúszási síkhoz, bármely irányban elmozdulhat.
- A rögzített diszlokáció miatt átmegy (-1, -1, 1) síkra.
- Azzal , hogy a diszlokáció az eredetivel párhuzamos síkra átmegy, nő annak a valószínűsége, hogy ellentétes irányú diszlokációval találkozik és kioltják egymást
- A III. szakaszban ezért kevésbé meredek a görbe.

TKK egykristályok képlékeny alakváltozása

- Alakítás során a nagyszámú csúszási rendszer miatt az egyszerű csúszás szakasza önállóan alig fordul elő, rendszerint több csúszósíkon, több csúszási irányban megy végbe a diszlokáció mozgás.

Hexagonális kristály

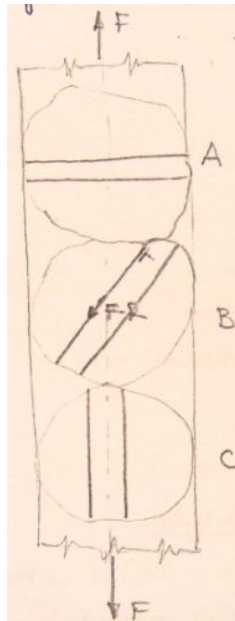
- Csúszási sík: (0001) és nagy t feszültség esetén a (10-11) síkon is lesz diszlokáció mozgás.
- Kevés a csúszási sík, kevesebb rögzített diszlokáció jön létre, kevesebb diszlokációreakció, így kevésbé keményedik fel az alakítás során.

Megállapítások

- Az egykristályok mindig anizotrópok. Tulajdonságaik irányfüggőek. Az anizotrópia a rugalmas szakaszon a elnagyobb. Kis képlékeny alakváltozás során csökken az anizotrópia.
- Az egyenletes diszlokációeloszlás megszűnik. Diszlokációban sűrű és ritkább részek jönnek létre. Cellás szerkezet jön létre átlagos diszlokációsűrűség nő.

Polikristályos fémek alakváltozása

- A csúszási síkok és irányok tetszőlegesen helyezkednek el, ami a kristályosodásból következik.
- Tegyük fel, hogy minden szemcsében csak egy csúszósík van.



- B-ben indul meg a képlékeny alakváltozás. A F-R forrás aktivizálódik. A diszlokáció kiér a szemcsehatárra és ott lépcsőt akar létrehozni. Nem tud kimenni a felületre, hanem megáll a szemcsehatáron. Nő a feszültség.
- A kristallit határon olyan nagy helyi feszültség jön létre, hogy az A-ban lévő kedvezőtlen orientációjú csúszósíkokban is megindul a képlékeny alakváltozás.

- A szomszédos szemcsékben minimum 5 csúszási rendszernek kell működnie, ahhoz, hogy a képlékeny alakváltozás beinduljon.
- FKK rendszerben: $(12\%5)=792$; 382 változat lehet (csúszási rendszerek száma)
- A rendelkezésre álló igen nagy csúszási rendszerből azok fognak működni, amelyeknél az elmozdulások minimálisak, a befektetett munkák maximálisak.

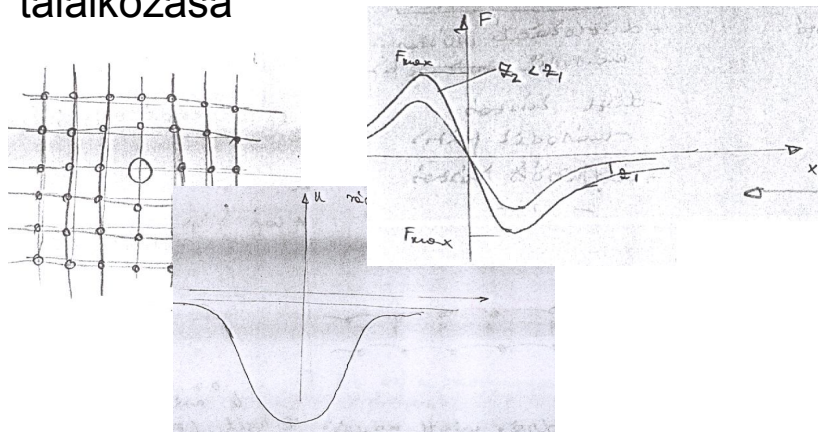
- A helyi alakváltozás és feszültségállapot lényegesen eltérhet az átlagos feszültségállapottól.
- Csak az a polikristályos fém izotrop, amelyben a csúszó síkok és irányok teljesen véletlenszerűen helyezkednek el.

Ötvözet

- Legalább látszatra egynemű fémes anyag, amit két vagy több alkotó különböző módszerekkel való egyesítése után állítunk elő. Alapötvöző minden esetben fémes anyag.
- Alkotóelemek kapcsolata a fémes ötvözetben:
 - Szilárd oldat: az alkotók egymást szilárd állapotban is oldják
 - Fémes vegyület: alkotók egymással kémiai reakcióba lépnek
 - Eutektikum: egymással sem szilárd oldatot, sem fémes vegyületet nem képeznek

Szilárd oldatot képező ötvözők hatása az alakváltozásra

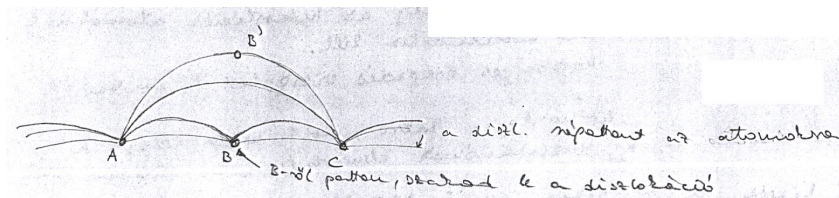
- Mozgó diszlokáció és szubsztitúciós atom találkozása



- Tegyük fel, hogy valahol van egy ötvöző atom.
- A diszlokáció (nem folyamatos) mozgatásához nagyobb erő kell. Ez az erő nem állandó. Magyarázata:
 - Nő az erő
 - Rápattan az ötvöző atomra
 - Lecsökken a többleterő
 - Növekvő erő
 - Lepattan az atomról

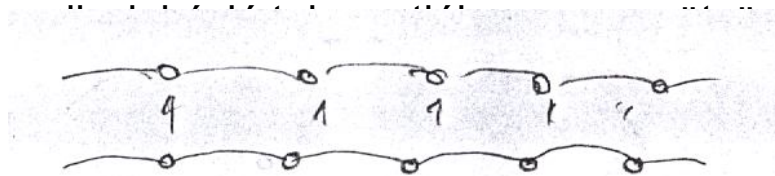
Híg szilárd oldat

- Az ötvözők csak néhány százalékban vannak jelen, távol helyezkednek el egymástól.



Nagy koncentrációjú ötvözet

- Ötvöző atomok sűrűbben helyezkednek el
- A kisebb távolság miatt nagyobb τ kell (a távolsággal fordítottan arányos), ezért hamarabb érjük el az F_{max} értékét. Egyszerre több atomról szakad le a diszlokáció.
- Ez interstíciós atomra is érvényes, ha nem



Tútelített szilárd oldat

- A szubsztitúciós szilárd oldatoknál az ötvöző és alapfém atomjainak átmérői nem nagy mértékben különböznek egymástól, ezért a rácstorzító hatás nem jelentős.
 - Nem változnak a tulajdonságok
- Interstíciós szilárd oldat esetén a rácstorzítás jelentős.
 - Ha ebből hozunk létre szilárd oldatot, jelentős tulajdonságváltozást eredményez.

Többfázisú ötvözetek hatása, viselkedése

- Ötvözetek tulajdonsága függ
 - Fázisok tulajdonságaitól
 - Fázisok mennyiségétől
 - Fázisok alakjától
 - Második fázis méretétől
 - Második fázis elhelyezkedésétől

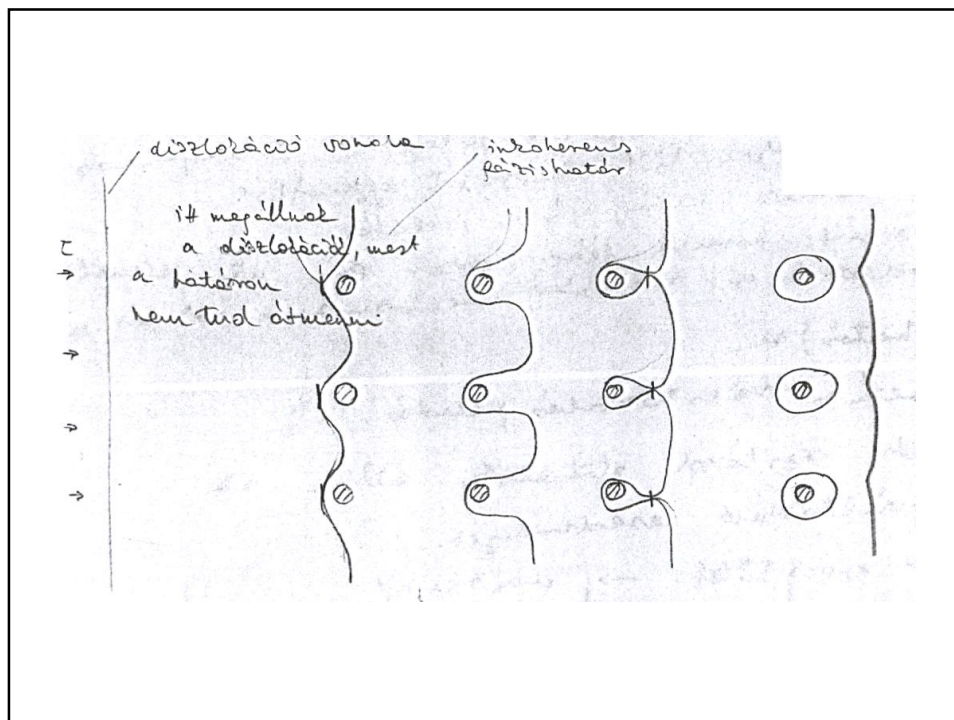
Az utóbbi kettő csak együtt kezelhető:

Nagy méret: ritka elhelyezkedés

Kis méret: Sűrű elhelyezkedés

Inkoherens határú második fázis

- Lágy szilárd oldatban olyan második fázis van, melynek a tulajdonsága nagyban különbözik az alapfémtől.
- Az inkoherens fázishatáron a diszlokáció nem tud átmenni.
- Tegyük fel, hogy a második fázis gömb alakú és egyenletes eloszlású



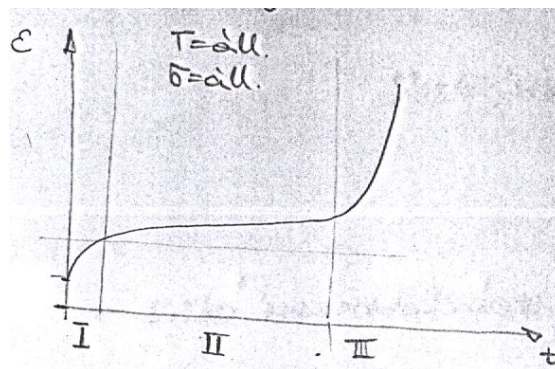
Koherens határú második fázis

- Kristályrács között meghatározott kapcsolat van.
- A diszlokáció át tud menni a határon

Diszlokáció kúszási mechanizmus

- Állandó terhelés mellett nagyobb hőmérsékleten hosszú idő után törés következhet be folyáshatárnál kisebb feszültségen is.
- Ezt a törést jelentős képlékeny alakváltozás előzi meg.

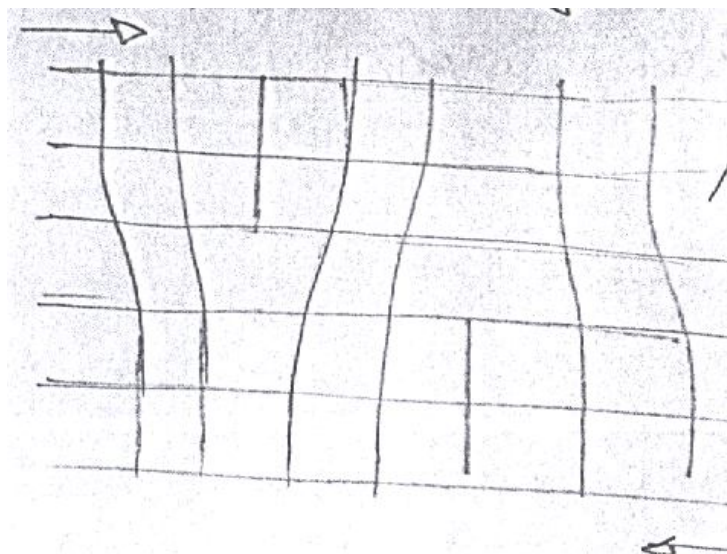
Kúszási diagram



- I. kezdeti, instabil szakasz
- II. stabil szakasz
- III. törést megelőző szakasz

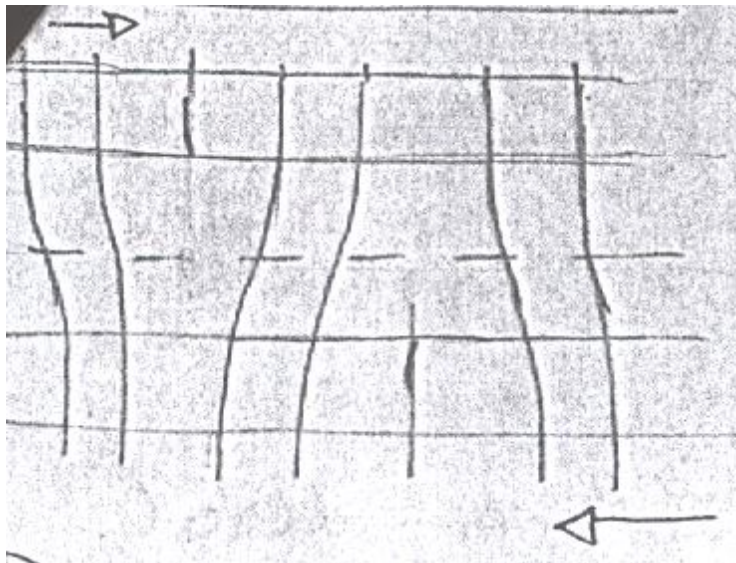
- A terhelés hatására I. szakaszban mindig bekövetkezik egy kismértékű diszlokáció mozgás, kismértékű alakváltozás.
- A terhelés kisebb, mint a folyáshatár
- Az első szakaszban olyan folyamatok játszódnak le, mint amit a képlékeny alakváltozás folyamán megismertünk.
 - 1. Néhány F-R forrás aktivizálódik
 - 2. Ezek a diszlokációk rögzített diszlokációt hoznak létre
 - 3. További diszlokáció termelés akadályozva (FELKEMÉYNEDIK)
- Ezzel egyidőben olyan folyamatok hatnak, amik a felkeményedés ellen dolgoznak.

1. Kioltják egymást



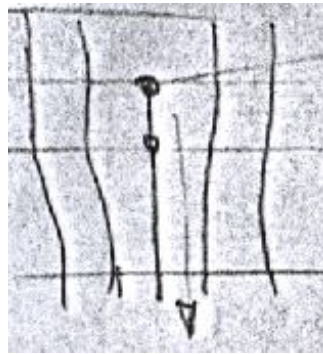
Vakanciasor keletkezik

- A két diszlokáció nem közös csúszósíkban van, csak közel egymáshoz.
- Szobahőmérsékleten nem tud feltöltődni a vakanciasor
- Magasabb hőmérsékleten a diffúzió kiviszi a vakanciát valamilyen határra



Színfém diszlokáció kúszása

- Látszólag a csúszósíkra „merőlegesen csúszik el” a diszlokáció
- Következmény: azért nem áll meg a folyás, mert a diszlokáció kúszás eredményeként a diszlokáció mennyisége csökken, egy része megsemmisül.

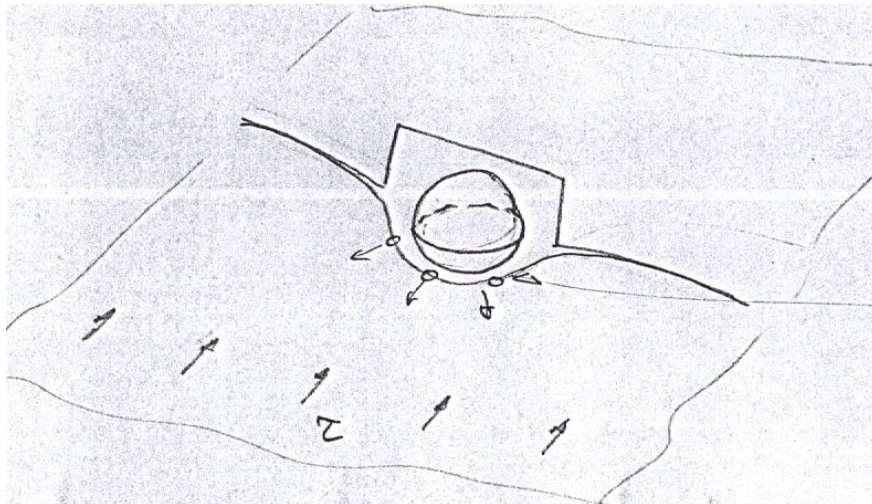


Szilárd oldat

- Az ötvöző atomok következtében nehezedik a diszlokáció csúszás, kúszás. Nagyobb feszültség kell ezekhez.
- Az anyagok kúszással szembeni ellenállása nő az ötvözés miatt

Többfázisú ötvözetek

- A nyomófeszültség hatására a második fázis mellett lévő diszlokáció szakaszra olyan feszültség hat, amely arra készteti az éldiszlokáció extra félsíkjának atomjait, hogy eldiffundáljanak, aminek következtében a diszlokáció vonala olyan csúszósíkba kerül, amelyben már nincs második fázis.

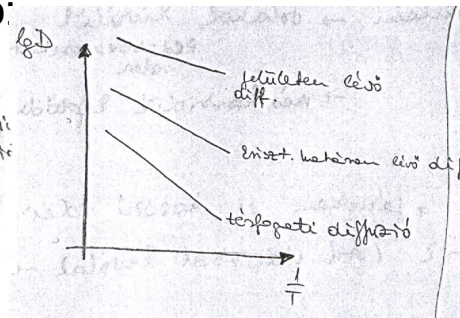


Diffúziós kúszás

- Akkor következik be, ha a terhelő feszültség kisebb, a hőmérséklet nagyobb, mint az előzőekben
- Diffúziós együttható:

$$D = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

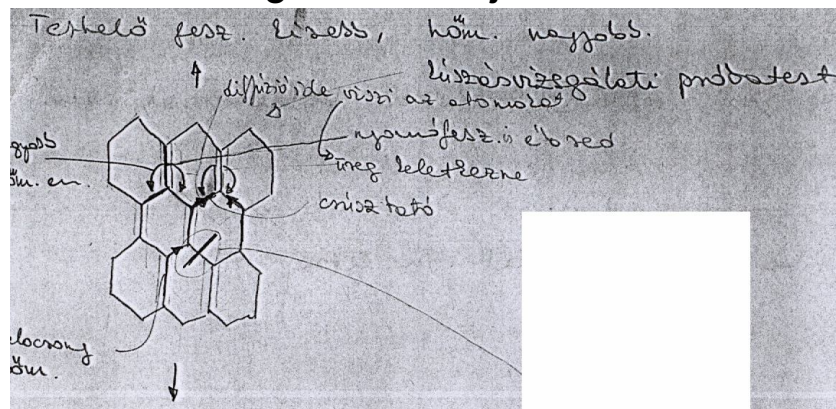
D_0 : anyagállandó
 Q : diff. aktív. energiája
 R : gáz. állandó
 T : abszolút hőmérséklet



- Alacsonyabb hőmérsékleten a diffúzió többnyire a kristallithatáron megy végbe (Coble-kúszás)
- Magasabb hőmérsékleten a diffúzió többnyire a szemcsén belül megy végbe (térfigeteli diffúzió) (Nabarro kúszás)

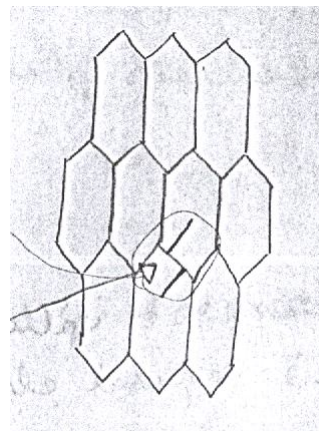
Nabarro kúszás

- Ha a hőmérséklet magasabb, a szemcsén belül is térfogati diffúzió játszódhat le.



Coble kúszás

- Alacsonyabb hőmérsékleten a diffúzió a kristályhatárokon megy végbe

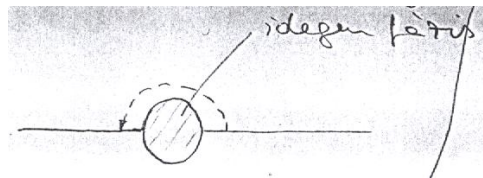


Szilárd oldat

- Nehezítik a kúszási folyamatot az ötvözők

Második fázis

- Tételezzük fel, hogy a második fázis a szemcsehatáron van.

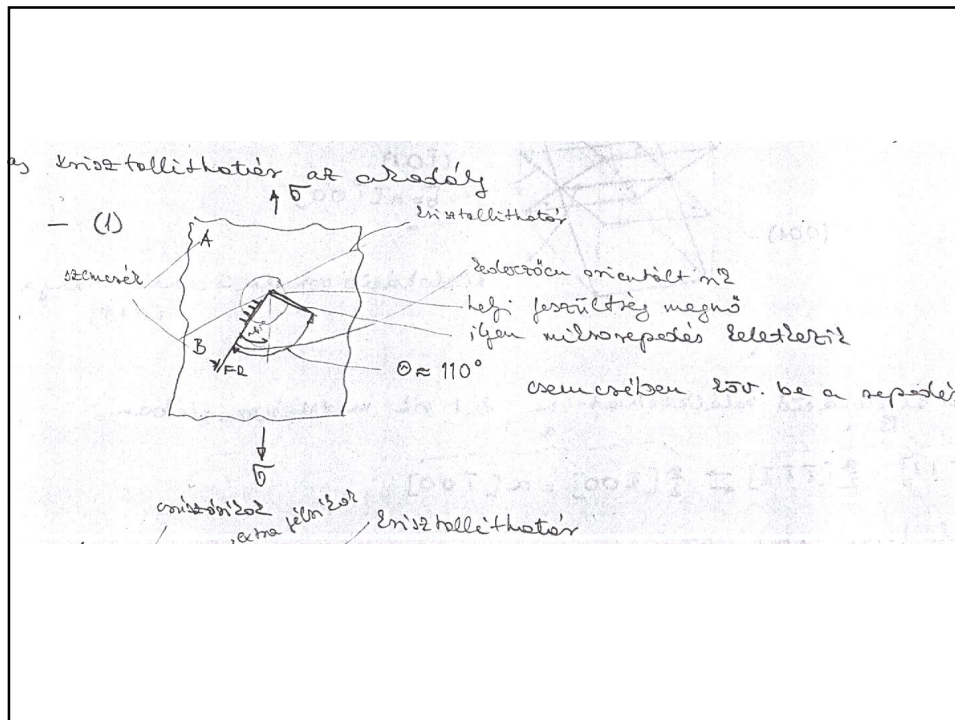


- 1. A szemcsehatáron lévő második fázis esetében az atomok kénytelenek kikerülni, ezzel nehezítik a diffúziós kúszást.
- 2. Nehezítik a csúszást

- 3. A második fázis egyenletes eloszlása is megváltozik a diffúziós kúszás során. A diffúzió elviszi az atomokat: nő a második fázis aránya.
- A kúszásnak olyan anyagok állnak ellen, amelyek kemény második fázissal rendelkeznek (Cr, Mo)
- A kúszás során szövetszerkezeti változás van. (pl szemcsés perlit jön létre)
- Egyes karbidok (Fe_3C) képesek elbomlani
 - Valahol kiválik (pl.: szemcsehatárokon)
 - Más karbidok képződnek

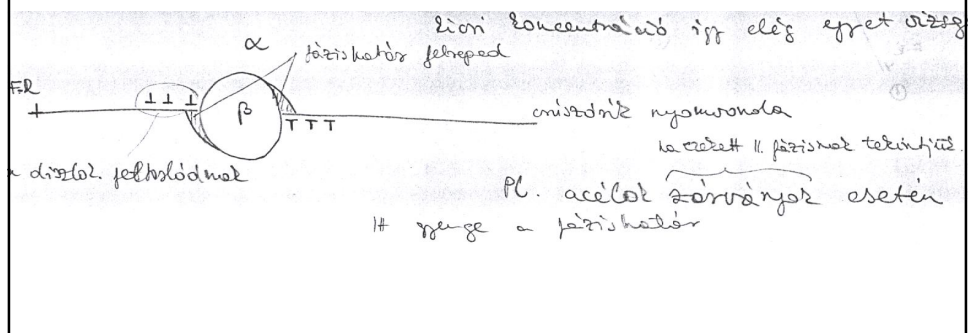
Repedések és mikrorepedések keletkezése

- A képlékeny alakváltozás következménye a diszlokáció sűrűség általános növekedése és a diszlokációk torlódása, blokkolódása.
- Ezek azt eredményezik, hogy helyileg nagy lesz a diszlokáció sűrűség és ennek következtében az energia (entalpia) is.
- Az atomok közötti kötőerőt meghaladhatja ez az energianövekmény
- Megszűnhet az atomok közötti kapcsolat:
MIKROREPEDÉS KELETKEZIK

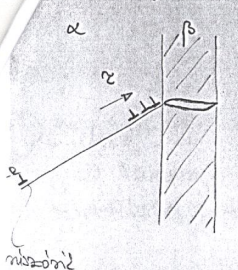


Töbffázisú rendszerek

α lágy
 β zsebé jól alakítható fém



α lágy fém
 β rideg fém



1. fém
2. fém

dist. teng. seb. $500 \frac{m}{s}$

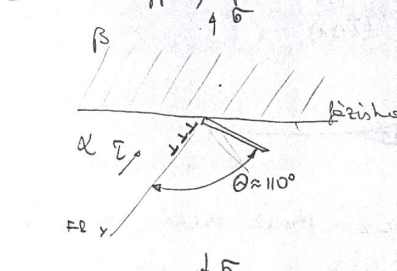
Ha β rideg nem lépez ki. fém-et
már elviselni \rightarrow elreped

Pl.: perlitlenetérnél az F_{α} C
így szorult elrepedni

1. fém a 1. fém

β -ban 250 -be a repedés

3. α lágy ; β keményebb lágy



1. fém
2. fém

$\theta \approx 110^\circ$

1. fém a 1. fém

β és a fémnek elég kemény, erős

α -ban 250 -be a repedés