



Anyagtudomány és Technológia Tanszék



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Anyagismeret

Szilárdságnövelés

Ötvözetek szilárdságának növelésére alkalmazható
technológiák alapjai

Dr. Mészáros István Attila

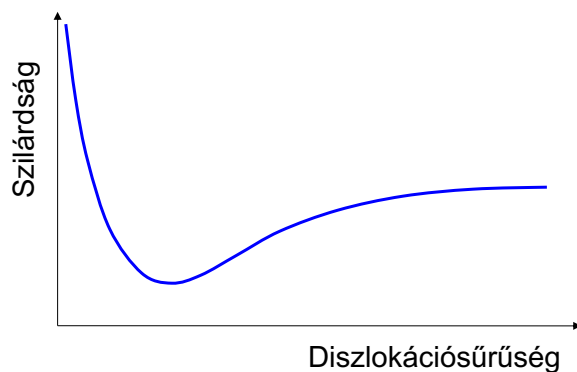
1

Szilárdságnövelési eljárások

- Képlékenyalakítás
- Szemcseméret csökkentése
- Ötvözés
- Hőkezelési eljárások
 - Allotróp átalakulás nélkül
 - kiválósos keményedés
 - diszperziós keményedés
 - Allotróp átalakulással
- Kompozit anyagok

2

Képlékenyalakítás hatása



Hidegalakítás során megváltoznak a mechanikai jellemzők. Az anyag szilárdsága nő, képlékenysége és szívóssága csökken. Az aktuális folyáshatár, illetve a feszültség növekedése a következő egyenletekkel írható le:

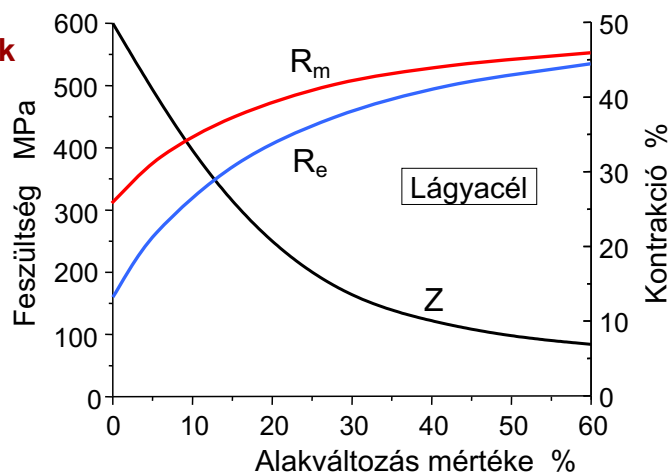
3

3

$$\Delta\sigma = \alpha G b \sqrt{\rho} = \alpha G b \sqrt{\frac{\varepsilon}{bL}}$$

ahol α - keményedési kitevő,
 G - csúsztató rug. modulusz,
 ρ - diszlokációsűrűség
 L - diszlokációk szabad úthossza
 ε - alakváltozás

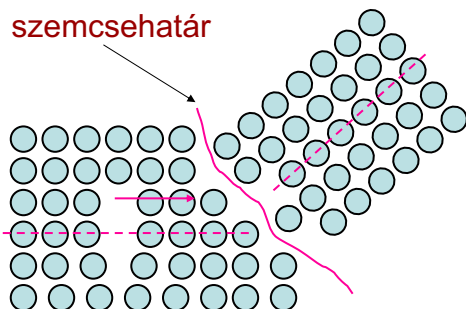
Mechanikai tulajdonságok változása



4

4

Szemcsehatárok hatása

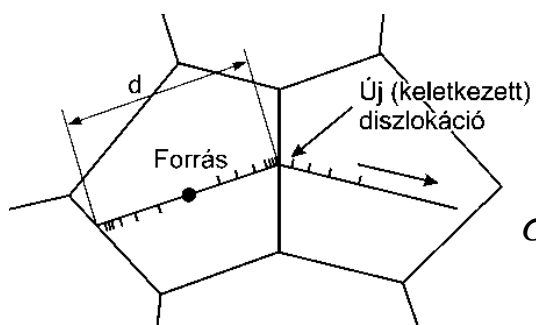


A szomszédos kristallitok egymástól eltérő orientációja miatt a szemcsehatárok akadályozzák a diszlokációk mozgását az egyik szemcséből a másikba.

5

5

Szemcsehatárok hatása



Hall-Petch egyenlet
(alsó folyáshatár)

$$\sigma_{polikr} = \sigma_{egykr} + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

A határon felhalmozódó diszlokációk feszültségtere (feszültségcsúcs) indítja meg az alakváltozást a szomszédos kristallitban.

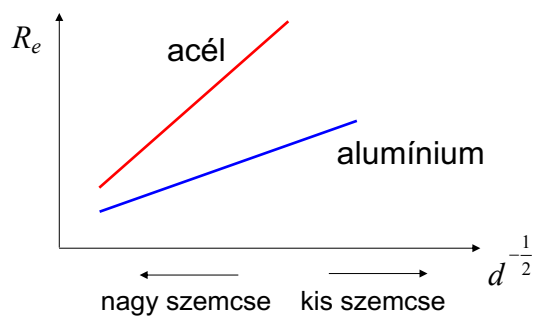
Szemcseméret $\uparrow \Rightarrow$ szemcsehatáron felhalmozódó diszlokációk száma \uparrow

Inhomogén alakváltozás

6

6

Szemcseméret hatása



Hall-Petch-egyenlet

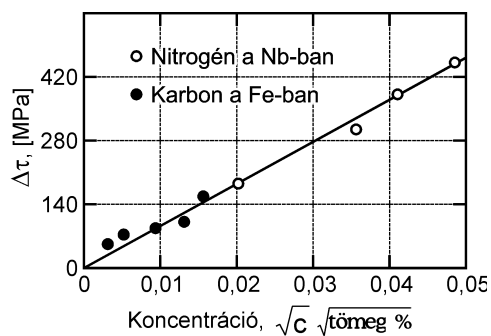
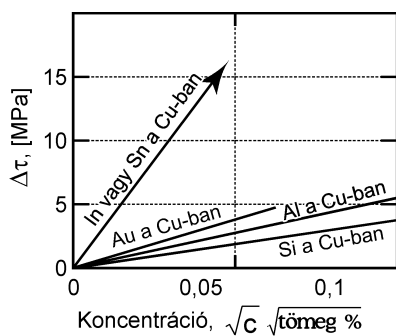
$$R_e = R_{e0} + kd^{-\frac{1}{2}}$$

R_{e0} - egykristály folyási határa,
 d - szemcseátmérő,
 k - anyagtól függő állandó

7

7

Ötvözés hatása

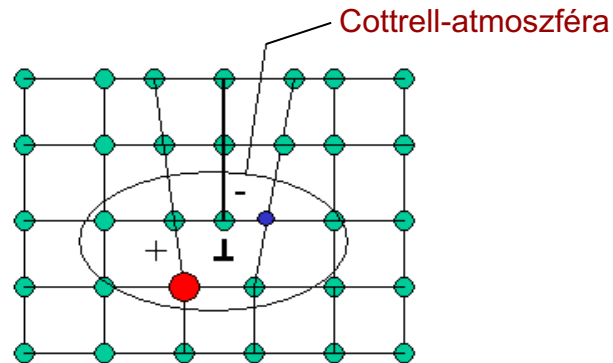


Az interstíciós ötvözők szilárdságnövelő hatása (nagyságrenddel) erősebb mint a szubsztitúciós ötvözőké.

8

8

Ötvözés hatása (szilárd oldatos)



Szilárdoldatos keményítésnél az ötvözőatomok egy része a diszlokáció környezetében helyezkedik el. Az alapfém atomjainál kisebb atomok a csúszósík felett (a nyomott zónában), a nagyobbak a csúszósík alatt (a húzott zónában) helyezkednek el, ez a Cottrell-atmoszféra.

9

9

A szilárdságnövelés alapvető oka, hogy az oldott atomok torzítják a rácsot, ezzel növelik a rács energiatartalmát. További ok, hogy a diszlokációkat nehéz leszakítani a Cottrell-atmoszféráról.

Az ötvözőatomok szilárdságnövelő hatása:

$$\Delta\sigma = G \left(\frac{r - r_0}{r_0} \right)^2 C$$

ahol G – a csúsztató rugalmassági modulusz

C – az ötvöző atom koncentrációja

r_0 – az alapfém atomsugara

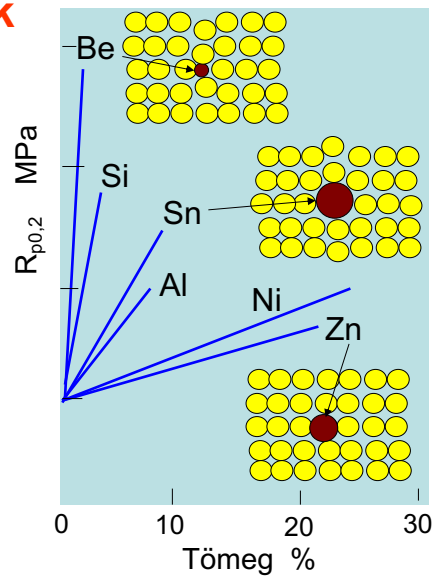
r – az ötvöző fém atomsugara.

10

10

Az ötvözőelemek hatása a Cu-alapú ötvözetek folyáshatárára

Fém	sugár nm	$(r-r_{Cu})/r_{Cu} * 100$
Cu	0.1278	---
Zn	0.1332	4,2 %
Al	0.1432	12,0 %
Sn	0.1509	18,1 %
Ni	0.1243	-2,7 %
Si	0.1176	-8,0 %
Be	0.114	-10,8 %



11

11

Kiválásos keményedés

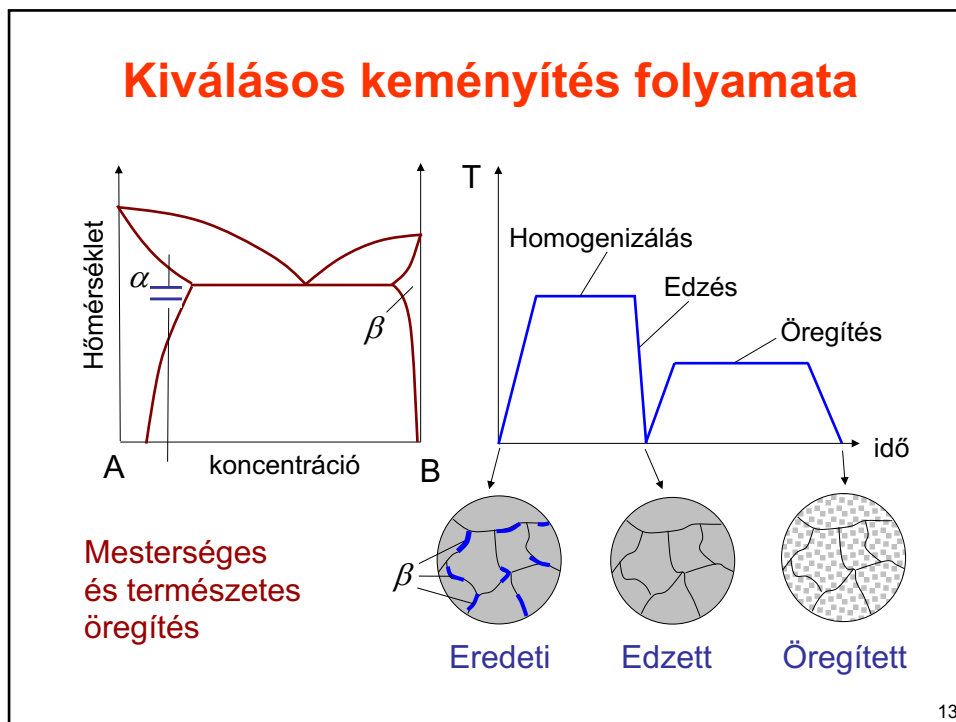
Feltételek (binér rendszerben)

- Az egyik alkotó szilárd állapotban korlátoltan, de jelentős mértékben oldódik a másikban.
- A oldódás mértéke a hőmérséklettel csökken.
- Az oldó fém lágy és szívós.
- A kiváló fázis kemény és szilárd.
- A kiválás kezdetben koherens.

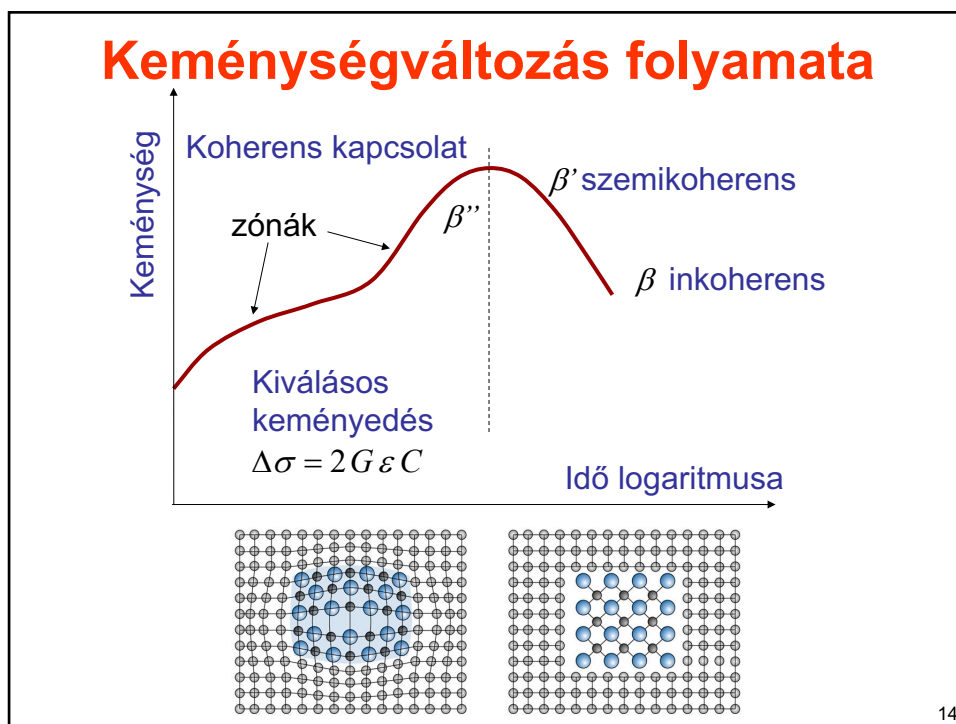
Példák: Cu-Al, Cu-Be, Cu-Sn,
Mg-Al,
Al-Ag,
Ti-Al

12

12

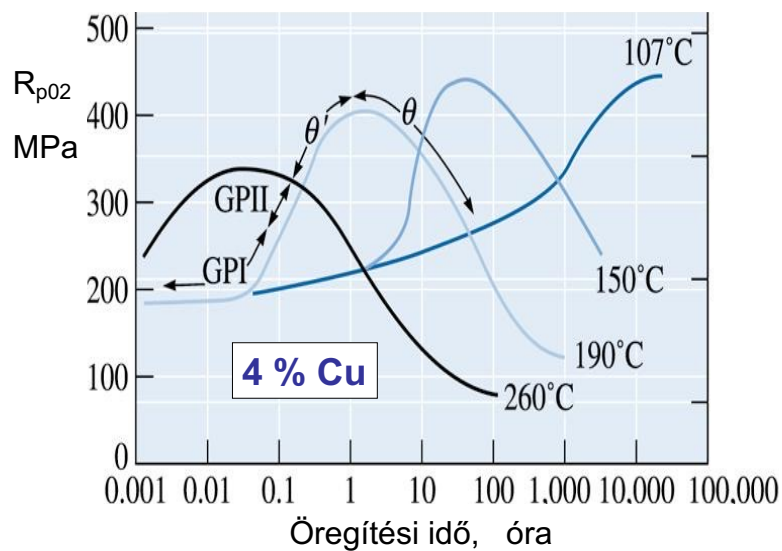


13



14

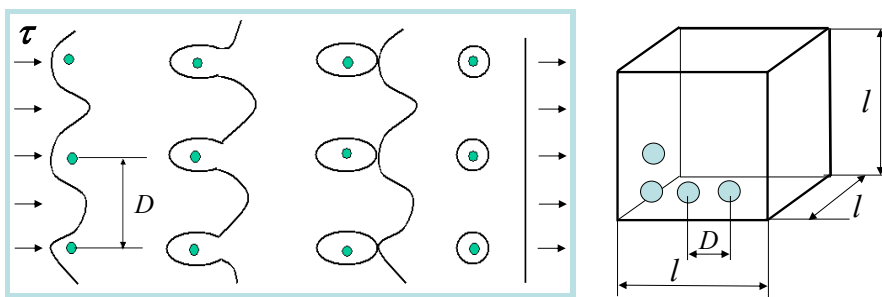
Al-Cu ötvözet kiválásos keményítése



15

15

Diszlokáció és inkoherens kiválások



A szilárdság növekedése:

$$\Delta\sigma = \frac{Gb}{D} \rightarrow \Delta\sigma = K \frac{Gb}{r} \sqrt[3]{C}$$

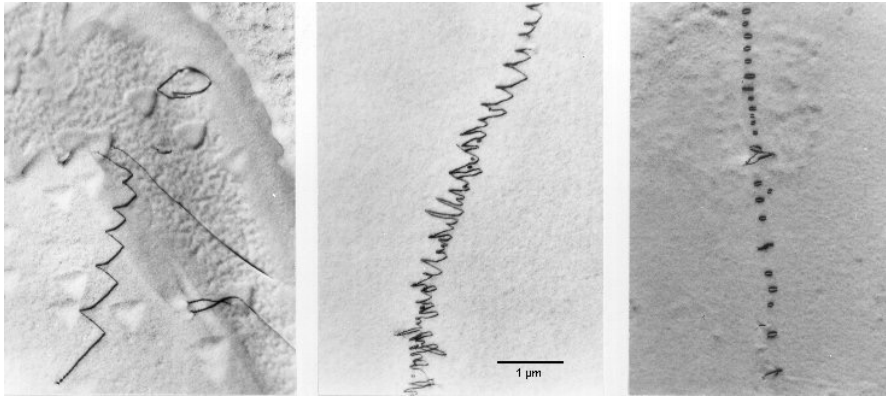
ahol

$$C = \frac{N v_k}{V} = \frac{N}{l^3} \frac{4}{3} r^3 \pi, \quad N = (l/D)^3, \quad D = \left(\frac{4\pi}{3C} \right)^{\frac{1}{3}} r$$

16

16

Orowan-mechanizmus



Diszlokáció-hurkok létrejötte

17

Diszperziós ötvözetek

Diszperziós ötvözetek:

- porkohászat (sajtol + izzít, HIP): Al + SiO₂, Cu + Al₂O₃
- belső oxidáció (O₂ atmoszférában izzít): Al - Si, Cu - Al
- Előny: fázisarányt (tulajdonságokat) a hőmérséklet nem változtatja meg ↔ kiválóan nemesített ötvözetek

18

18

Fogalmak

- A képlékenyalakítás szilárdságra gyakorolt hatása
- A szemcsehatár szerepe az anyag szilárdságára
- A szemcseméret hatása, a Hall–Petch-egyenlet
- Cottrell-atmoszféra
- Az ötvözők szilárdságra gyakorolt hatása
- A kiválásos keményedés feltételrendszere
- A kiválások szerkezete
- A keménységváltozás folyamata
- A kiválásos keményedés mechanizmusai
- Természetes és mesterséges öregítés
- Diszperziós keményedés

19