Szemcsehatárcsúszás és sebességérzékenységi tényező ultra-finomszemcsés Al-30Zn ötvözet plasztikus deformációjában

Visegrád 2011

Al-Zn rendszer

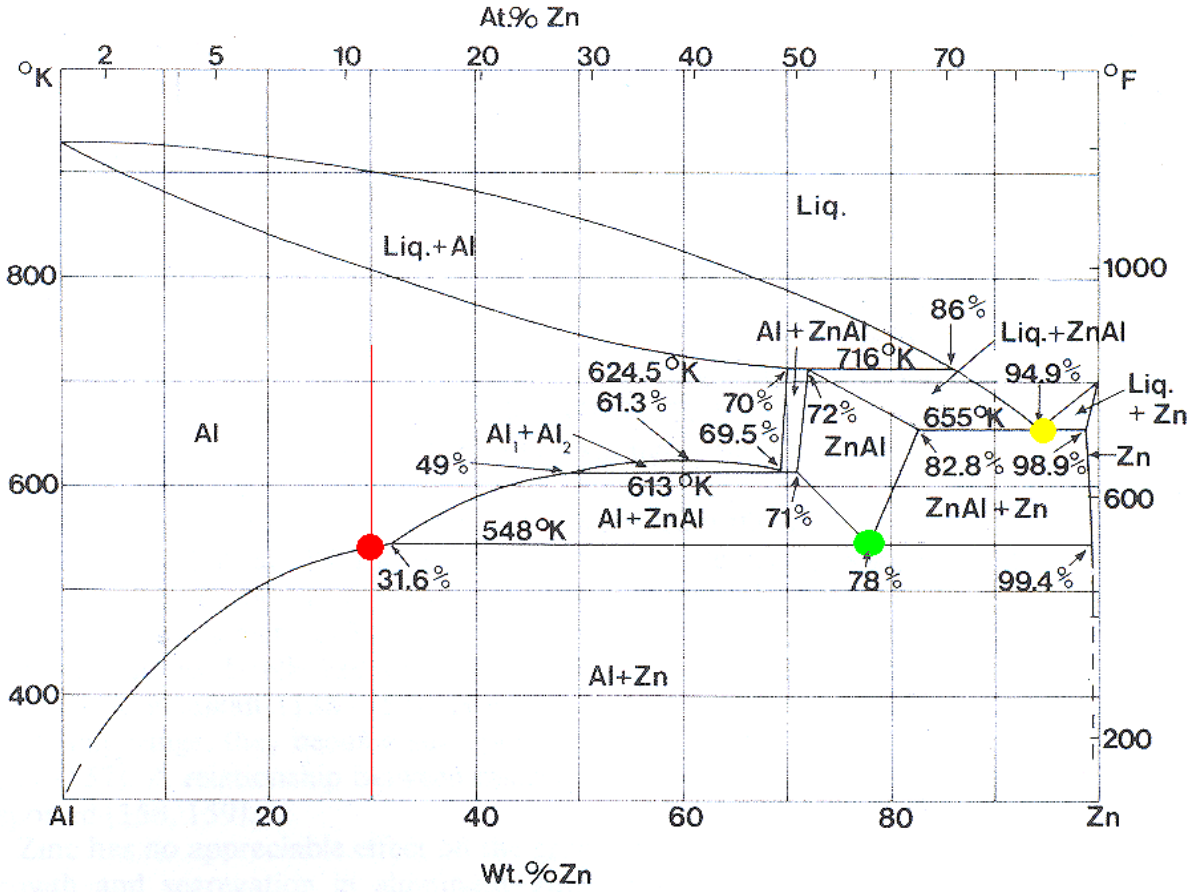
- Eutektikus Zn-5%Al
- Eutektoidos Zn-22%Al

……

- Al-Zn szilárdoldatok

  (Zn < 31.6%)

……..



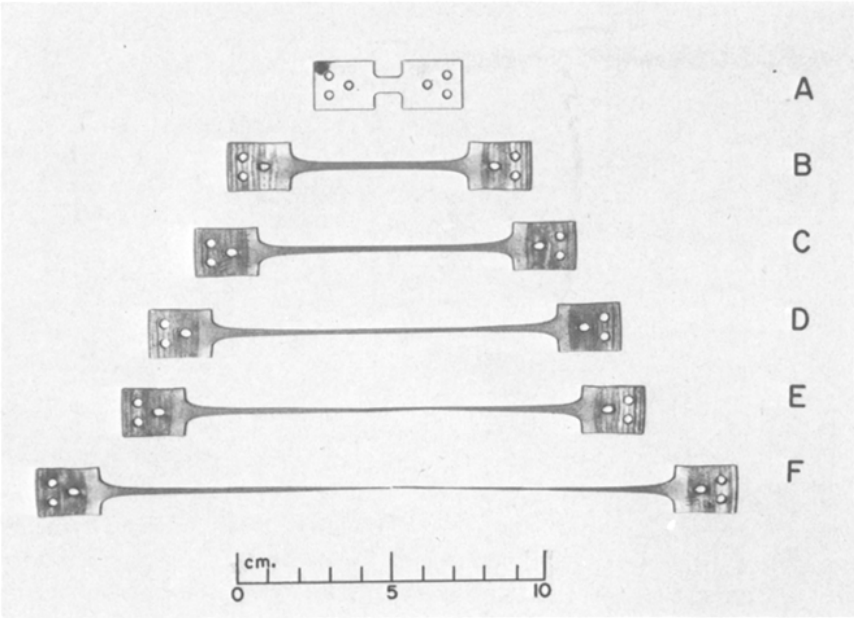
L. F. Mondolfo, Handbook

Eutektoidos összetételű Zn-22Al:

Modell szuperképlékeny ötvözet:

Több százszázalékos megnyúlás:

- Magas alakítási hőmérséklet ($T > 0.7\,T_{olv}$)
- Finomszemcse szerkezet ($d < 10\ \mu m$)



Zn-22%Al minták 500 K-en,
különböző sebességekkel deformálva
(Farghalli A. M. et. al.: Metall. Trans. A 8A, 1977)
$d \approx 3\ \mu m$

Szuperképlékeny ötvözetek:

Több százszázalékos megnyúlás:

- Magas alakítási hőmérséklet ($T > 0.5\,T_{olv}$)
- Finomszemcse szerkezet ($d < 10\ \mu m$)

Alapmechanizmus:

- Szemcshatárcsúszás

$$\dot{\varepsilon} = const \cdot \sigma^{n} \cdot D, \qquad D = D_0 \exp(-Q/RT)$$

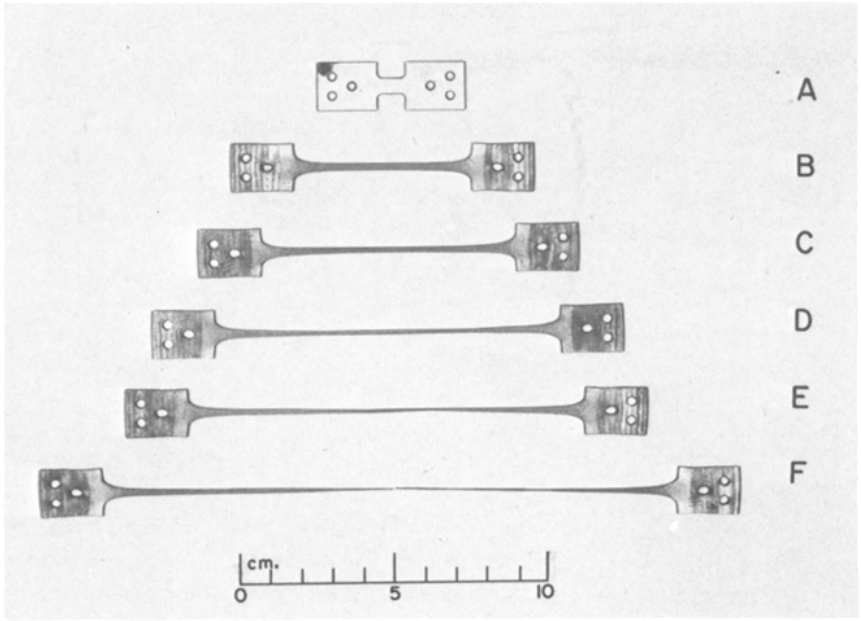
$$Q \approx Q_{gb}$$

Nagy sebességérzékenységi tényező (*m*)

$$\dot{\varepsilon} = K_1 \cdot \sigma^{n}$$

$$\sigma = K_2 \cdot \dot{\varepsilon}^{m}$$

$$m = \frac{\partial \ln \sigma}{\partial \ln \dot{\varepsilon}}\Bigg)_{\varepsilon, T}$$



Zn-22%Al minták 500 K-en,
különböző sebességekkel deformálva
(Farghalli A. M. et. al.: Metall. Trans. A 8A, 1977)

$d \approx 3\ \mu m$

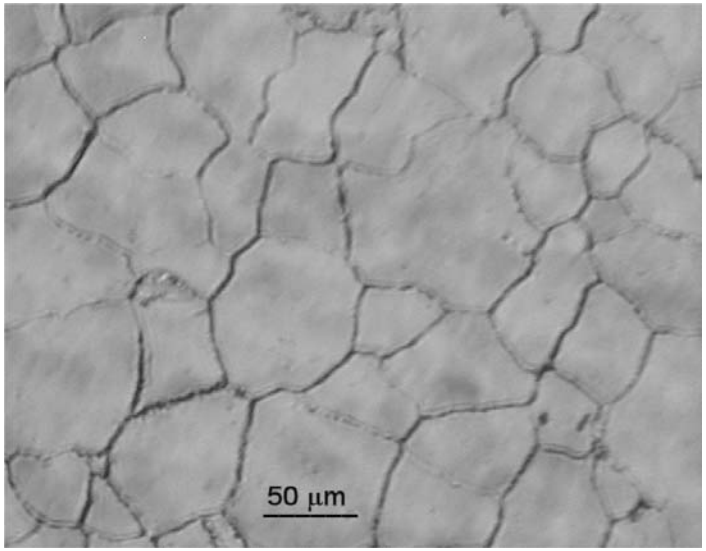
$Q \approx 78\ kJ/mol$

$m \approx 0.4 - 0.5$

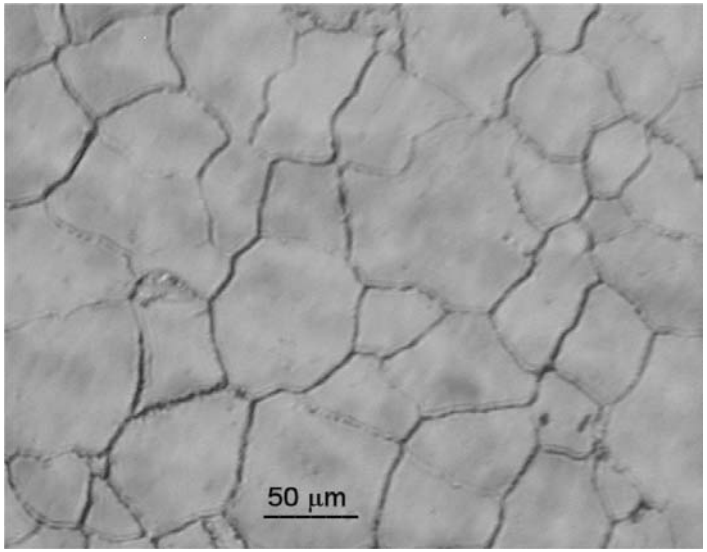
Jelen munka: Al-30%Zn ötvözet vizsgálata

- **Szilárdoldat,**
- **Durvaszemcsés,**
- **Szobahőmérsékleten nem jól alakítható**

  (max. megnyúlás < 20-30%)
- **Kis sebességérzékenység (*m* < 0.03)**



Jelen munka: Al-30%Zn ötvözet vizsgálata

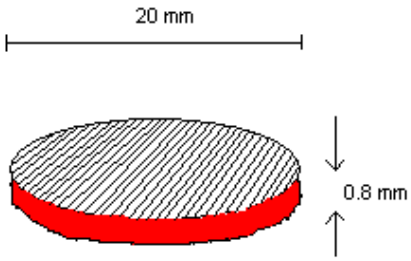


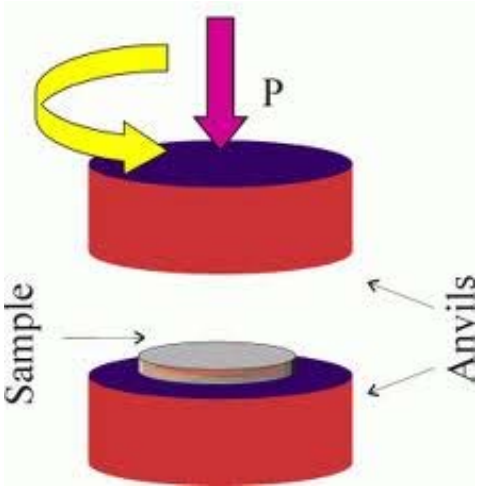
- **Szilárdoldat,**
- **Durvaszemcsés,**
- **Szobahőmérsékleten nem jól alakítható**

  (max. megnyúlás < 20-30%)
- **Kis sebességérzékenység (*m* < 0.03)**

Szemcsefinomítás nagy nyomású csavarással (High Pressure Torsion, HPT)

Ufa, Oroszországban

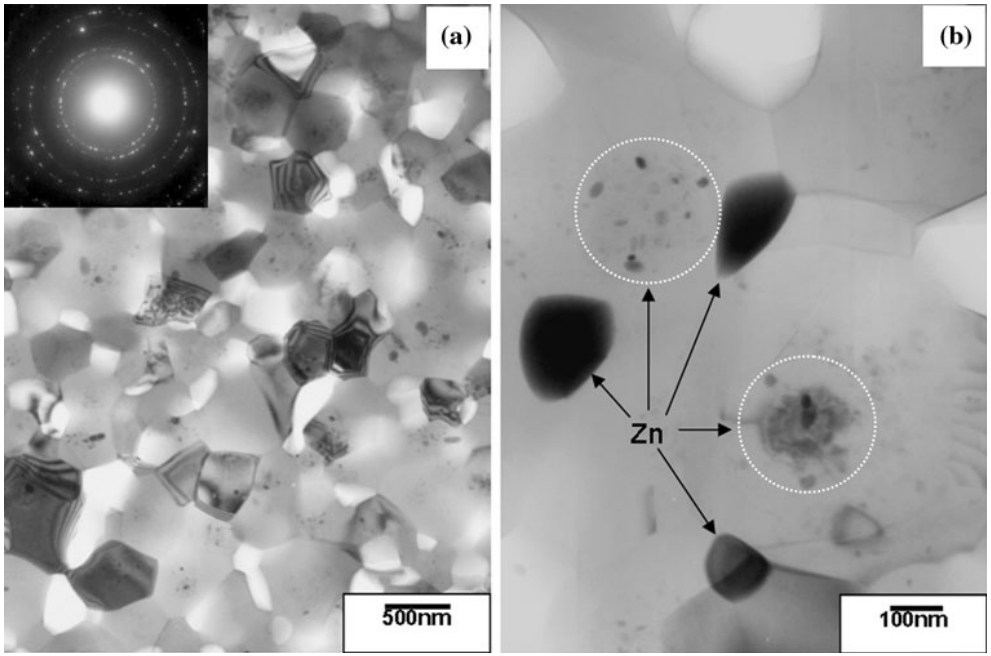




A HPT-deformált Al-30Zn ötvözet mikroszerkezete

- **Ultra-finomszemcsés**
- **Szemcseméret kb. 300-350 nm**
- **Két-fázisú rendszer:**

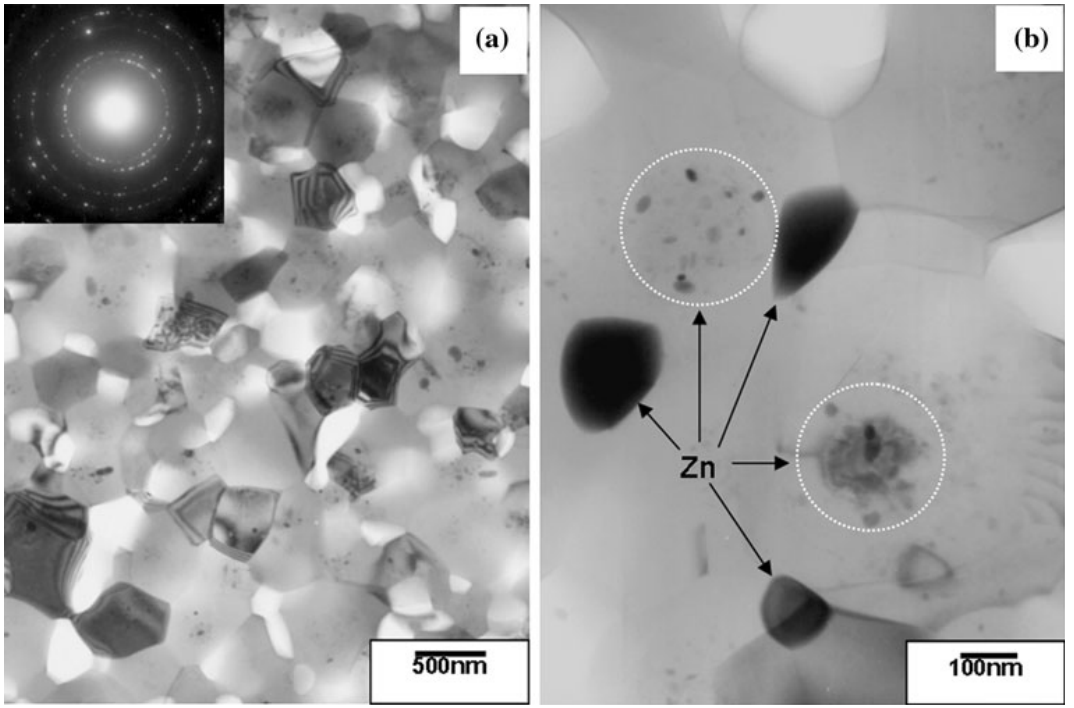
  -Al szemcsék és Zn részecskék

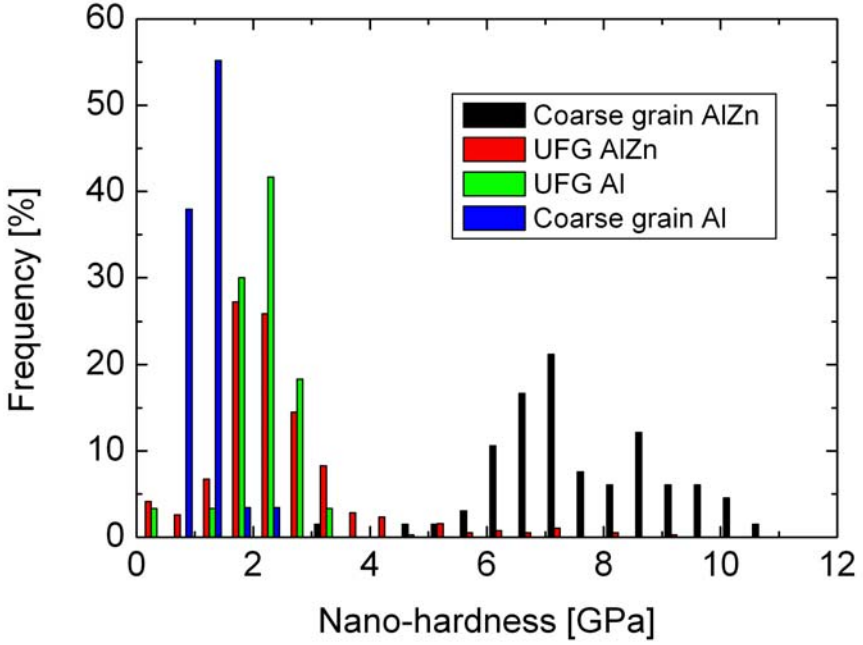


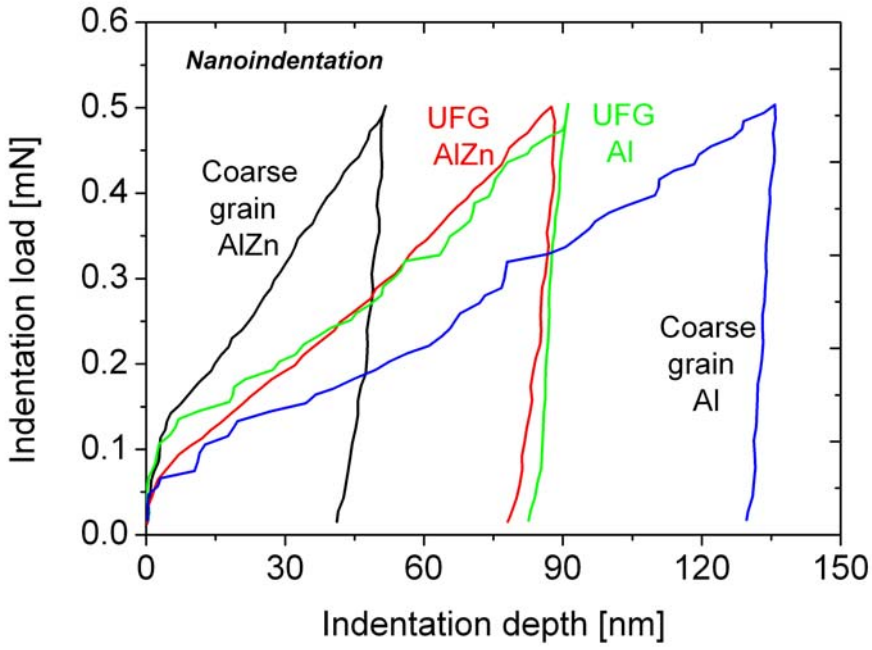
A HPT-deformált Al-30Zn ötvözet mikroszerkezete

- **Ultra-finomszemcsés**
- **Szemcseméret kb. 300-350 nm**
- **Két-fázisú rendszer:**

  -Al szemcsék és Zn részecskék





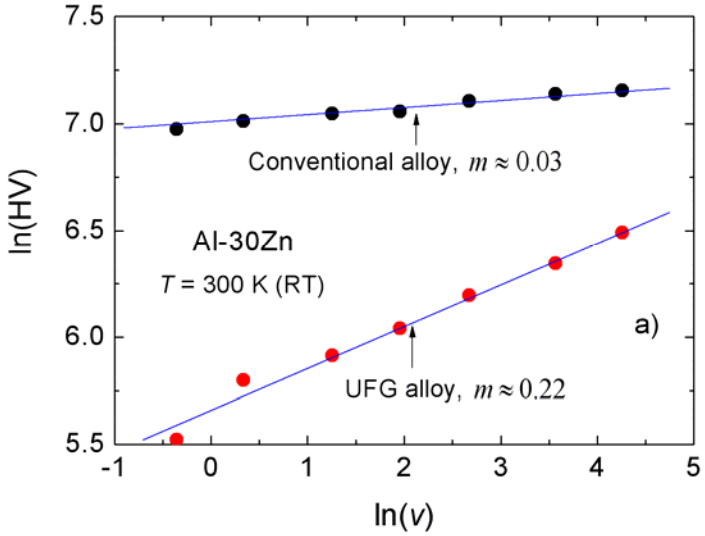


Az ultra-finomszemcsés Al-30Zn ötvözet mechanikai tulajdonságai:

- **Megnőtt sebességérzékenység:**

  -Szobahőmérsékleten: $m \approx 0.22$

(Kezdeti, durvaszemcsés anyag esetében $m \approx 0.03$ **)**

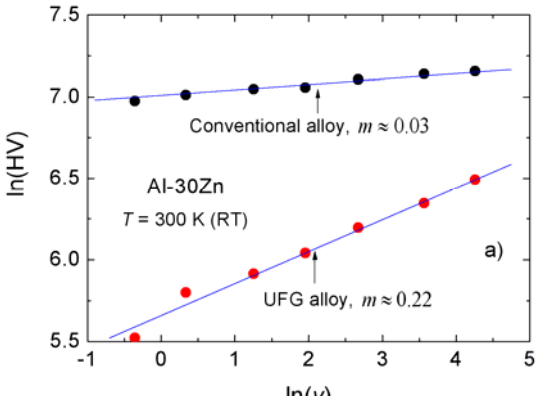


Az ultra-finomszemcsés Al-30Zn ötvözet mechanikai tulajdonságai:

- **Megnőtt sebességérzékenység:**

  -Szobahőmérsékleten: $m \approx 0.22$

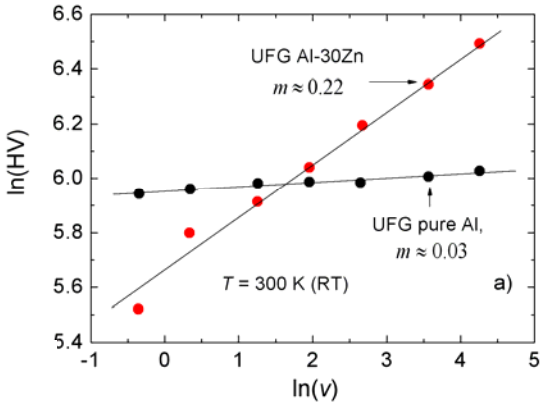
(Kezdeti, durvaszemcsés anyag esetében $m \approx 0.03$ **)**

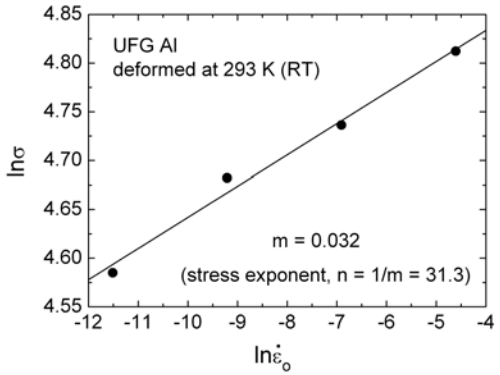


- **Nem feltétlenül a finomszemcse szerkezet miatt javul a sebességérzékenység**

  -Ultra-finomszemcsés Al, Cu, Ni esetében kicsi marad a sebességérzékenység

  $m \approx 0.02 \div 0.03$



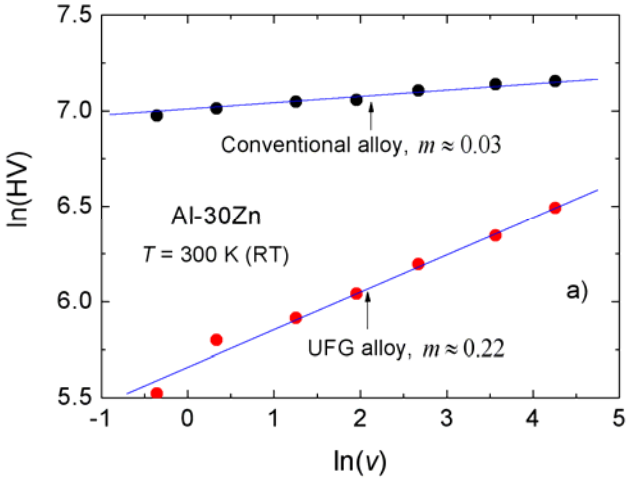


Az ultra-finomszemcsés Al-30Zn ötvözet mechanikai tulajdonságai:

- **Megnőtt sebességérzékenység:**

  -Szobahőmérsékleten: $m \approx 0.22$

  (Kezdeti, durvaszemcsés anyag esetében $m \approx 0.03$)



- **Szuper-alakíthatóság szobahőmérsékleten:**

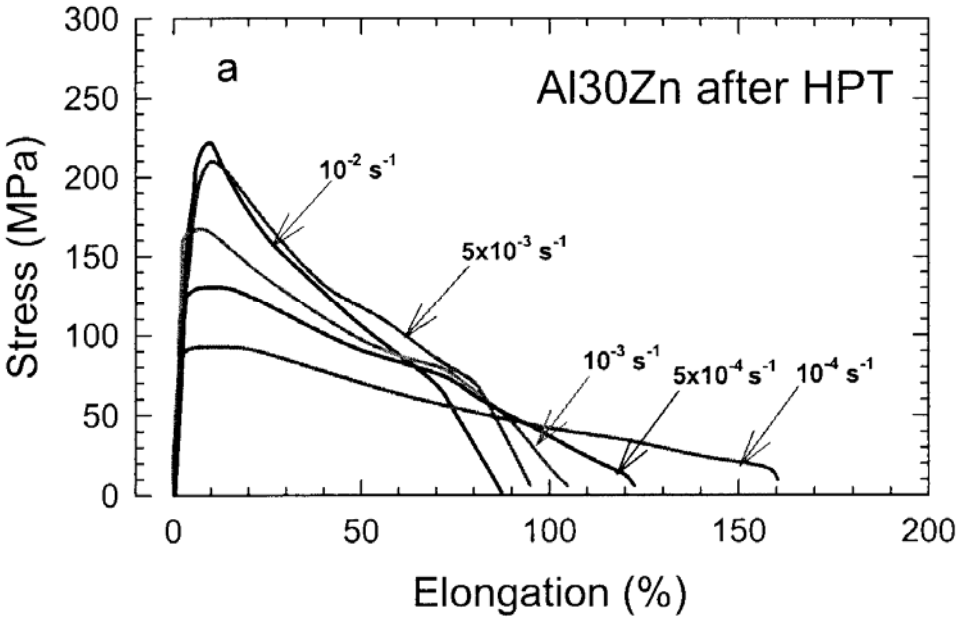
  - Maximális megnyúlás kb. 150-160%

  (szobahőmérsékleten az Al ötvözetekre:

  a max. megnyúlás < 30-40%,

  A finomszemcsés anyagokra:

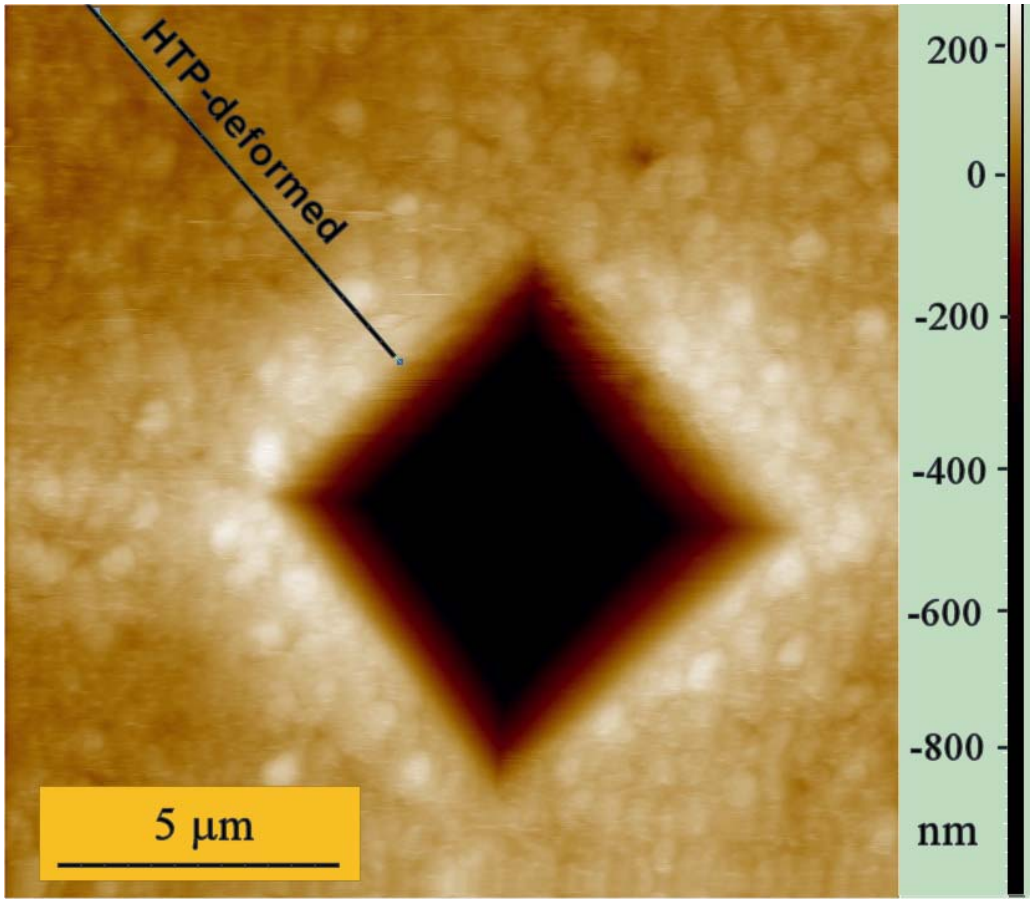
  a max. megnyúlás < 10-20%)



Ultra-finomszemcsés anyagok deformációjának a mechanizmusa:

- **Atomi erő mikroszkópos (AFM) vizsgálatok:**

  - jelentős a szemcsehatárcsúszás mechanizmus szerepe:

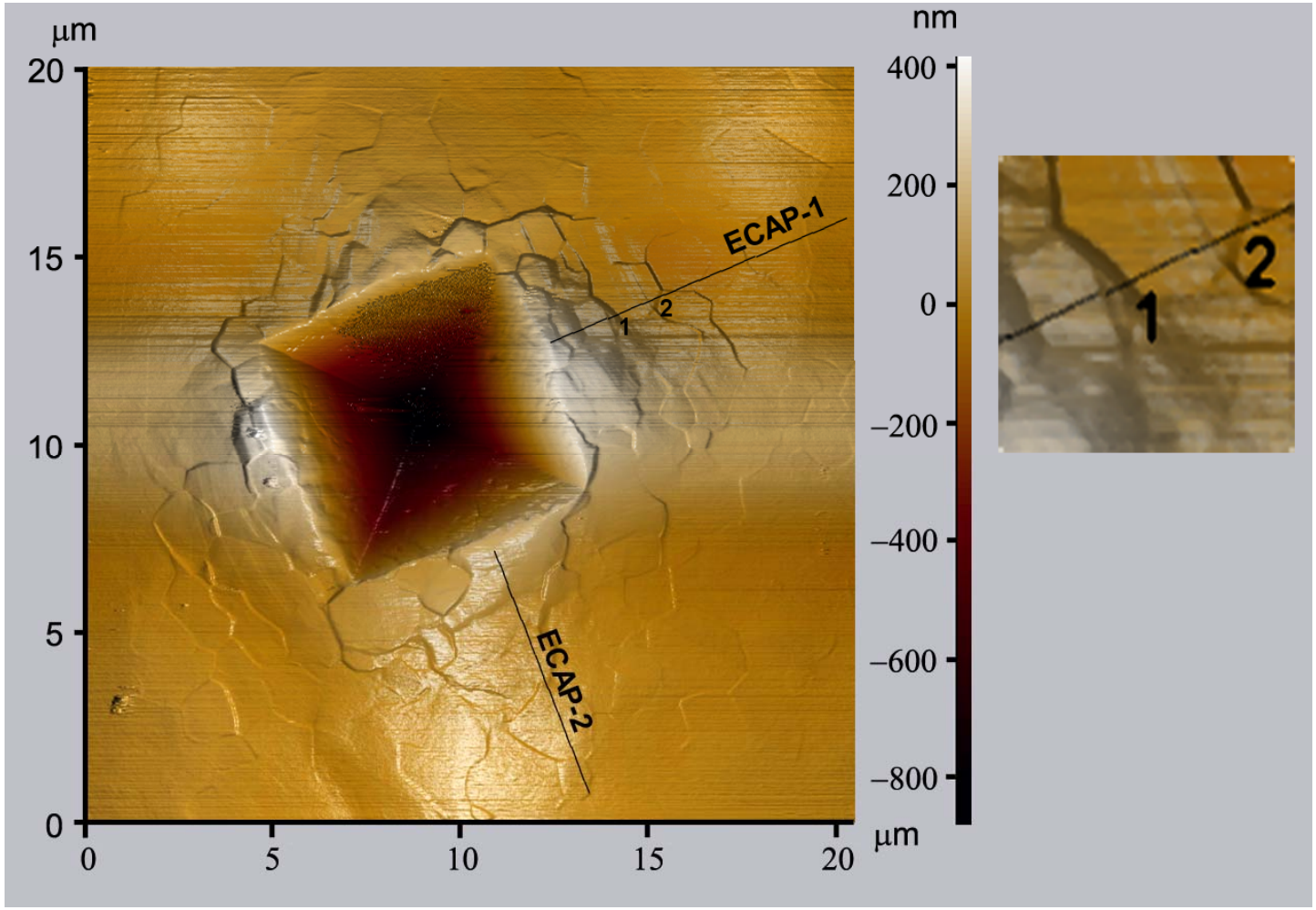


Finomszemcsés Al-30Zn ötvözet

Ultra-finomszemcsés anyagok deformációjának a mechanizmusa:

- **Atomi erő mikroszkópos (AFM) vizsgálatok:**

  - jelentős a szemcsehatárcsúszás mechanizmus szerepe



Finomszemcsés Al

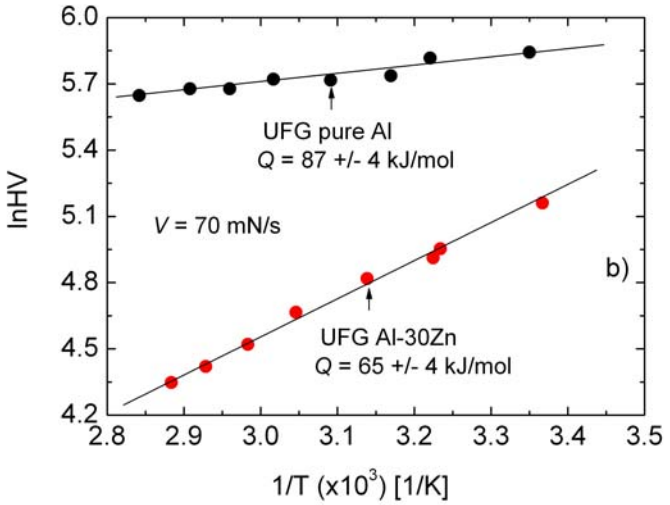
Ultra-finomszemcsés anyagok deformációjának a mechanizmusa:

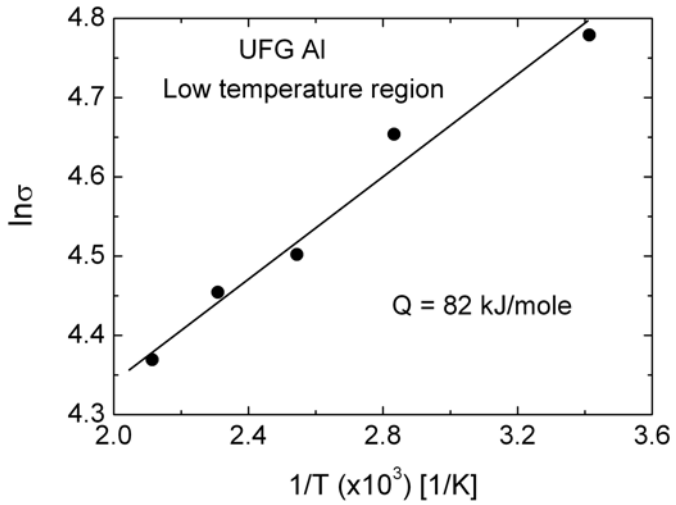
Aktiválási energia:

- **Finomszemcsés Al**:

$$Q \approx Q_{gb} \quad (84\ kJ/mol)$$

$\Rightarrow$ szemcsehatárcsúszás mechanizmusa





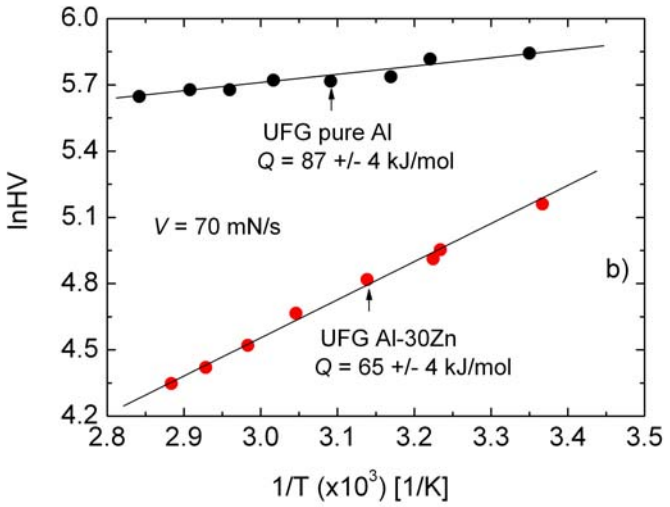
Ultra-finomszemcsés anyagok deformációjának a mechanizmusa:

Aktiválási energia:

- **Finomszemcsés Al**:

$$Q \approx Q_{gb} \quad (84 \text{ kJ/mol})$$

$\Rightarrow$ szemcsehatárcsúszás mechanizmusa



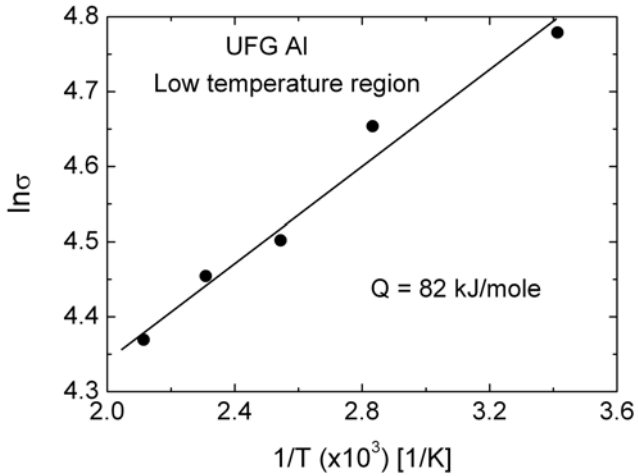
- **Finomszemcsés Al-30Zn ötvözet:**

Viszonylag kis érték: $Q \approx 65\, kJ/mol$

($Q_{öndiff,Al} \approx 142\, kJ/mol$, $Q_{öndiff,Zn} \approx 92\, kJ/mol$)

(H.J. Frost, M..F Ashby: *Deformation-Mechanism Maps: The Plasticity and Creep of Metals and Ceramics*. Pergamon Press, Oxford, UK (1982))

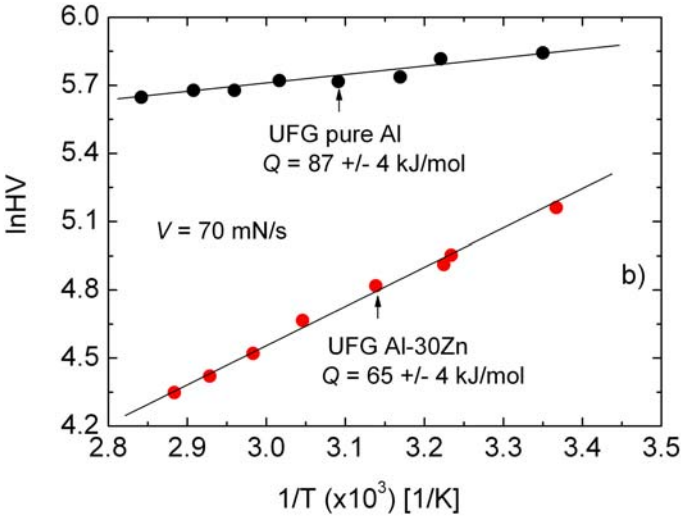
$\Rightarrow$ **Feltehetően nem az Al diffúziója vagy Zn öndiffúziója szabályozza a plasztikus folyamatot**



Ultra-finomszemcsés Al-30Zn ötvözet deformációjának a mechanizmusa:

Aktiválási energia: viszonylag kis érték: $Q \approx 65\,kJ/mol$

($Q_{öndiff,Al} \approx 142\,kJ/mol$, $Q_{öndiff,Zn} \approx 92\,kJ/mol$)



Szobahőmérsékleti diffúziós együttható becslése:

$$D = D_0 \cdot \exp(-Q/RT)$$

(Al öndiffúzióra: $D_0 = 1.3 \cdot 10^{-5}\ m^2/s$,

Al szemcsehatár menti diffúzióra: $D_0 = 5 \cdot 10^{-5}\ m^2/s$, $D \approx 10^{-19}\ m^2/s$

Zn öndiffúzióra: $D_0 = 1.7 \cdot 10^{-4}\ m^2/s$)

(H.J. Frost, M..F Ashby: *Deformation-Mechanism Maps: The Plasticity and Creep of Metals and Ceramics*. Pergamon Press, Oxford, UK (1982))

Ha $D_0 = 1.3 \cdot 10^{-5} \div 1.7 \cdot 10^{-4}\ m^2/s$, $Q \approx 65\,kJ/mol$, $T = 300\ K$, *akkor*

$$D = D_0 \cdot \exp(-Q/RT) = 1.2 \cdot 10^{-17} \div 1.6 \cdot 10^{-16}\ m^2/s$$

Irodalmi adat: Zn diffúziója az Al/Al szemcsehatár mentén: $D \approx 10^{-15}\ m^2/s$

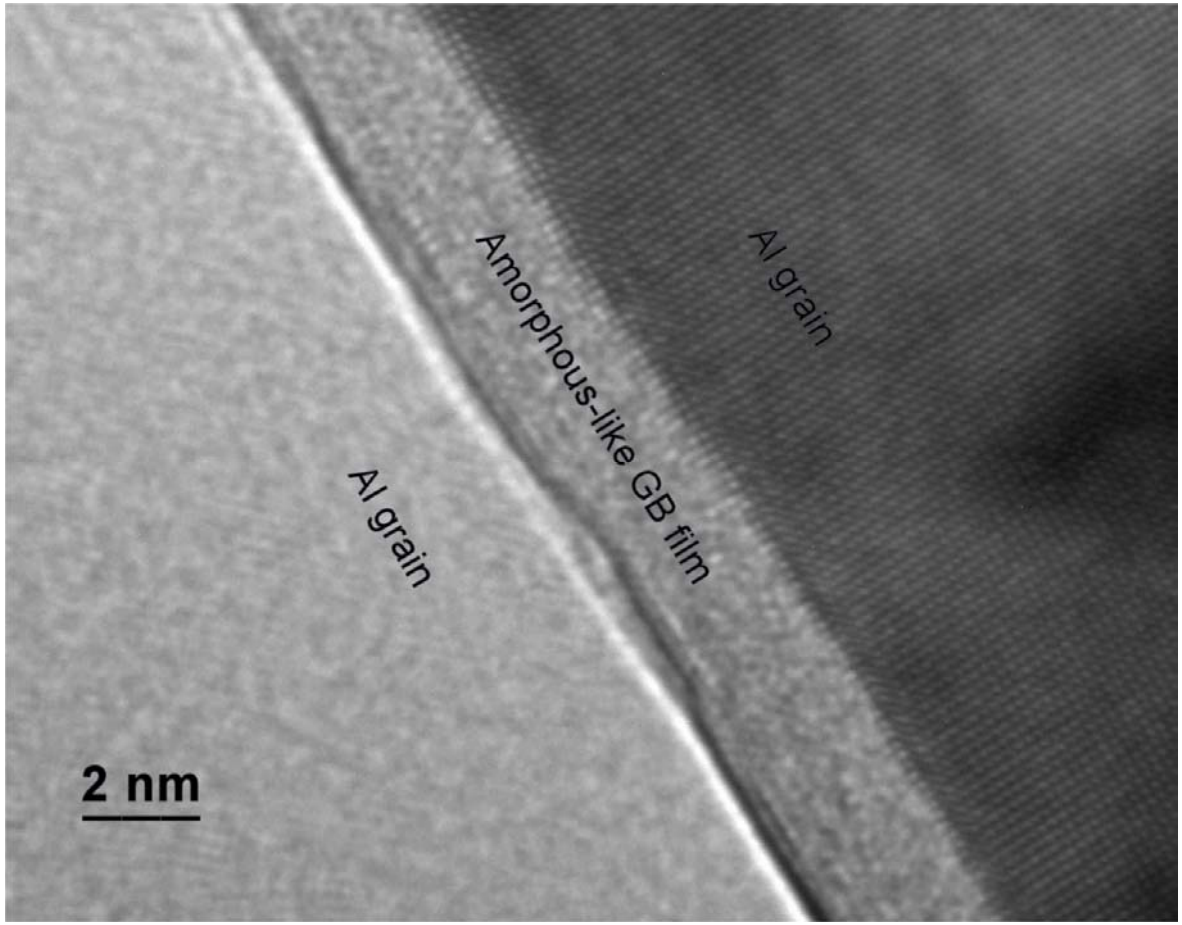
(I. Kaur, W. Gust, L. Kosma, *Handbook of Interphase and Grain Boundary Diffusion.* Ziegler Press, Stuttgart (1989)

$\Rightarrow$ ***feltehetően a finomszemcsés Al-30Zn ötvözetben a Zn-nek az Al/Al szemcsehatármenti diffúziója szabályozza a kúszási folyamatot***

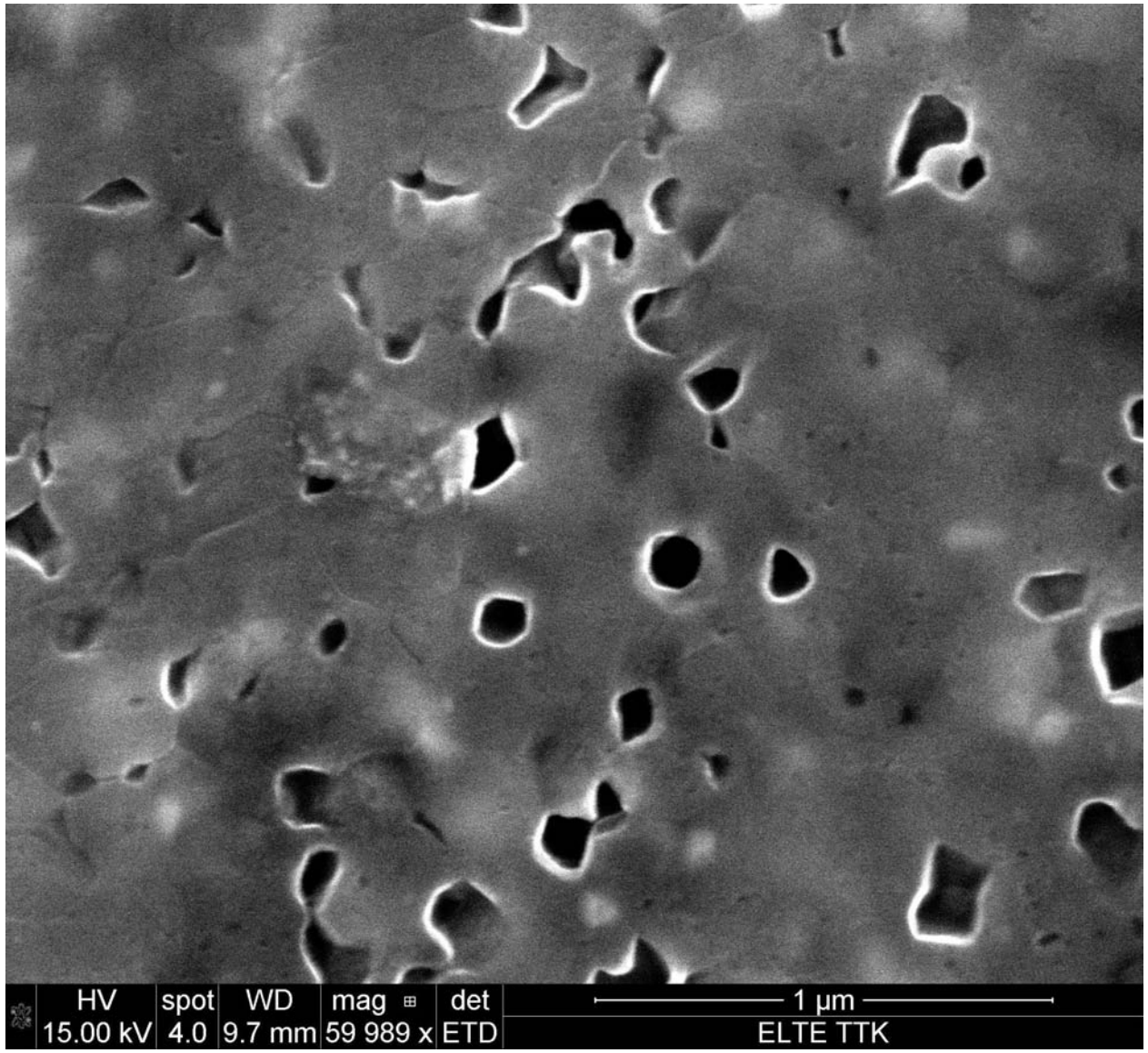
További teendők a szemcsehatárok elemzésében: új SEM/FIB eszköz segítségével

Szemcsehatárok összetétele?

Szemcsehatárok szerkezete?



További teendők a szemcsehatárok elemzésében: új SEM/FIB eszköz segítségével

Szemcsehatárok összetétele?

Szemcsehatárok szerkezete?