

# Korrózióálló acélban lezajló spinodális bomlási folyamat NDT vizsgálata

## Spinodális bomlás? NDT?

**RAKK 2023. Eger**

Dr. Mészáros István Attila, Dr. Berecz Tibor, Kemény Dávid

# Fázisátalakulások

T, P, C változása  $\Rightarrow$  új (egyensúlyi) állapot

Új fázis(ok): stabil, metastabil

## Fázisátalakulások

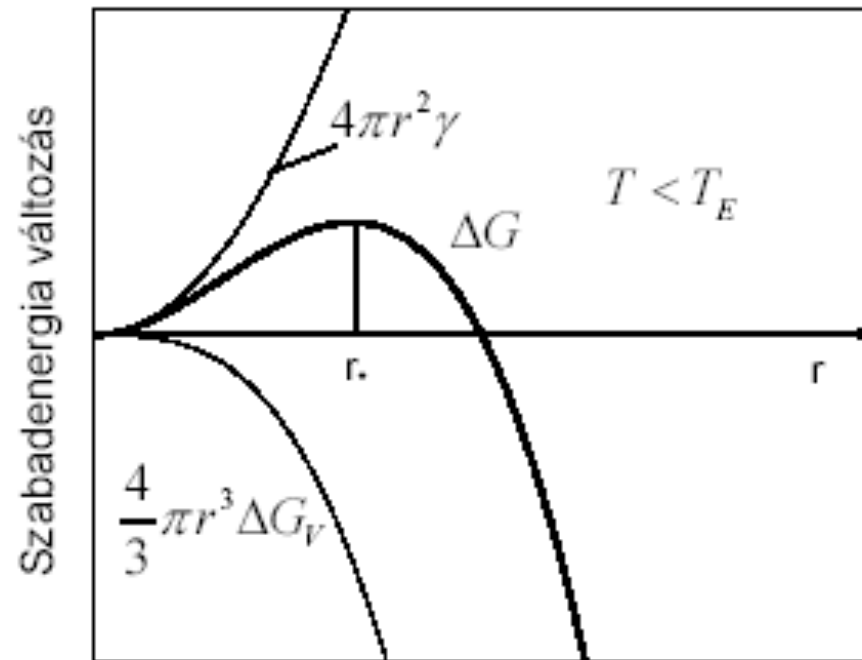
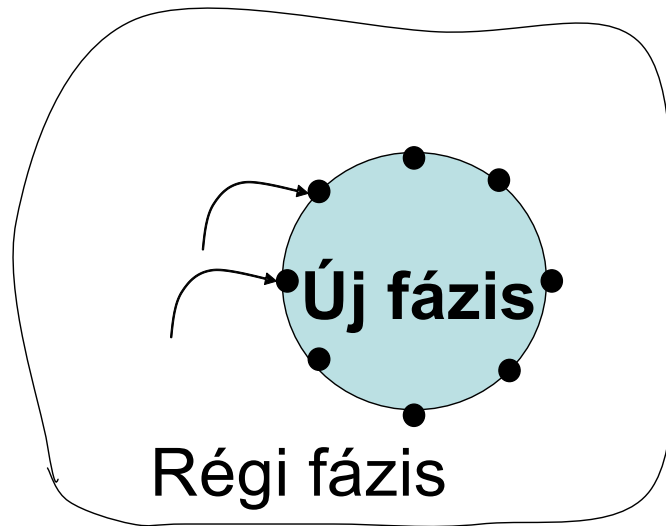
- Halmazállapot változás (kristályosodás, olvadás)
- Szilárd állapotban végbemenő fázisátalakulások (szegregáció, precipitáció, spinodális bomlás...)

## Fázisátalakulások típusai

- diffúziós (egyedi atomi mozgás)
- martenzites (kollektív atomi mozgás, diffúzió nélkül)

# Diffúziós fázisátalakulások kinetikája

1. Csíráképződés, nukleáció (koherens határok)
  2. Kristályok növekedése (inkoherens fázishatárok)
- Jelentős anyagtranszport (diffúzió)



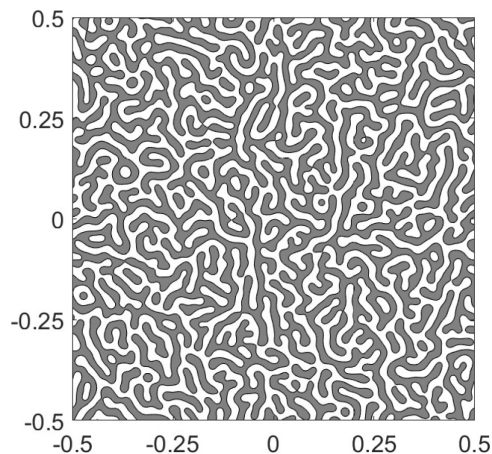
$$\delta F = -\frac{4\pi}{3} r^3 \Delta F_V + 4\pi r^2 \gamma$$

$$r^* = \frac{2\gamma T_E}{L\Delta T}$$

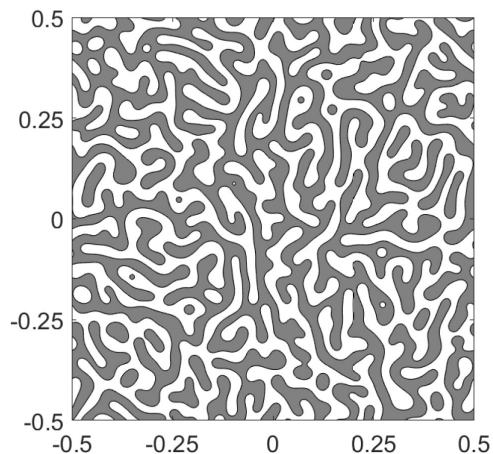
# Spinodális bomlás

Diffúziós átalakulás

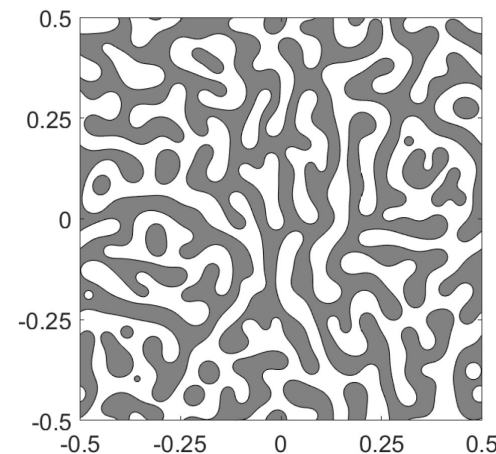
$$\alpha \rightarrow \alpha_1 + \alpha_2$$



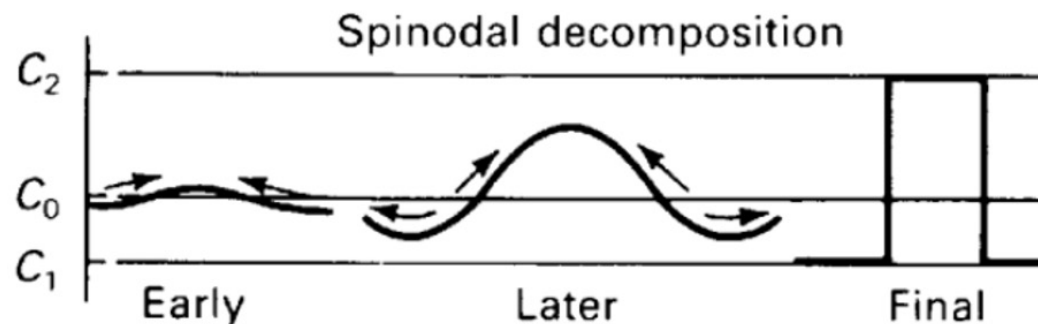
(a)



(b)



(c)



Up-hill diffúzió  $\rightarrow$  Koncentráció inhomogenitások

# Spinodális bomlás

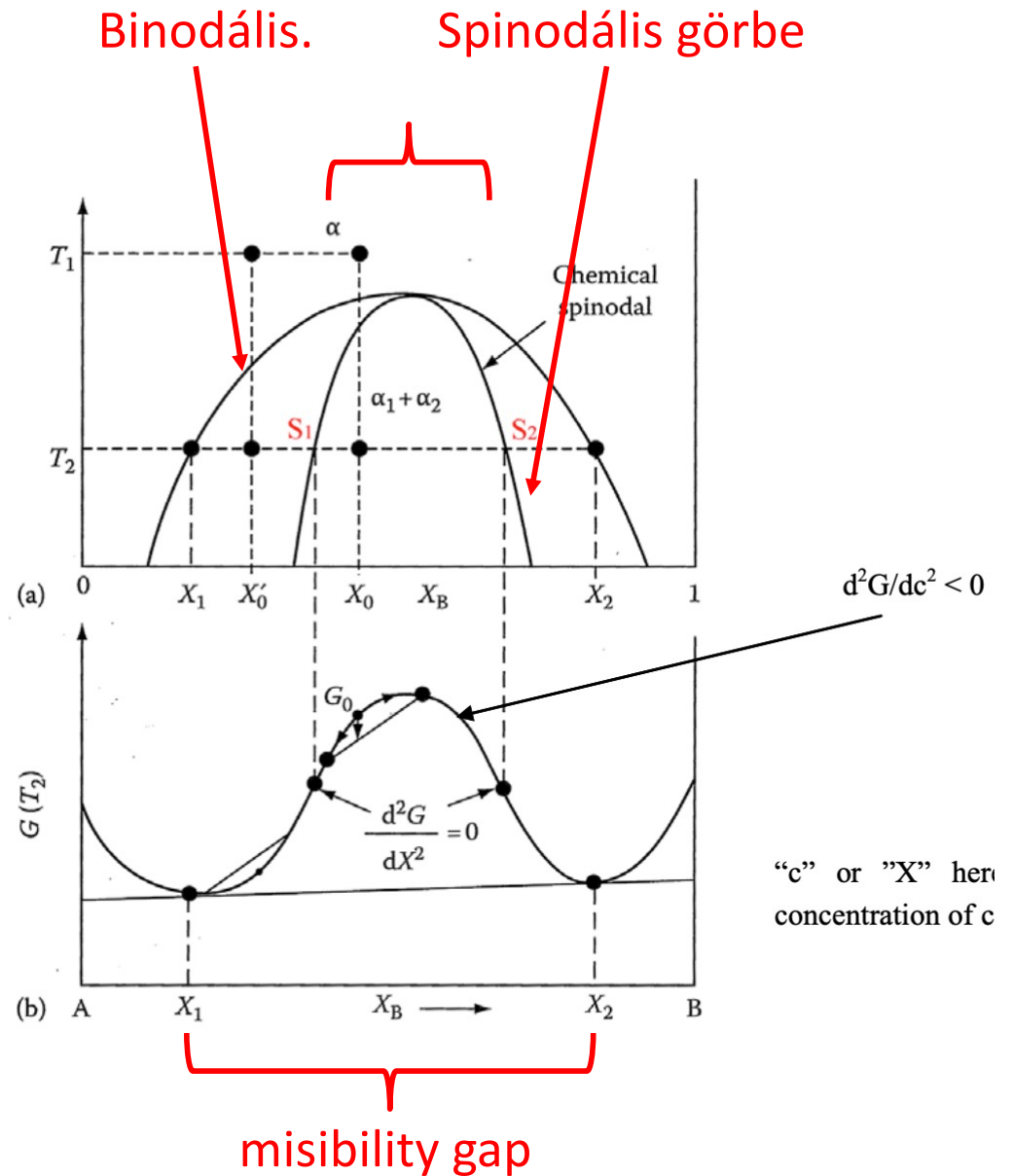
Nincs inkubációs idő, nincs csíráképződés

Tisztán diffúziós folyamat (Cahn-Hillard)

Koherens fázishatárok



Rendkívül finom szerkezet, atomi klaszterek (10-50 nm)  
"Modulált ötvözetek"

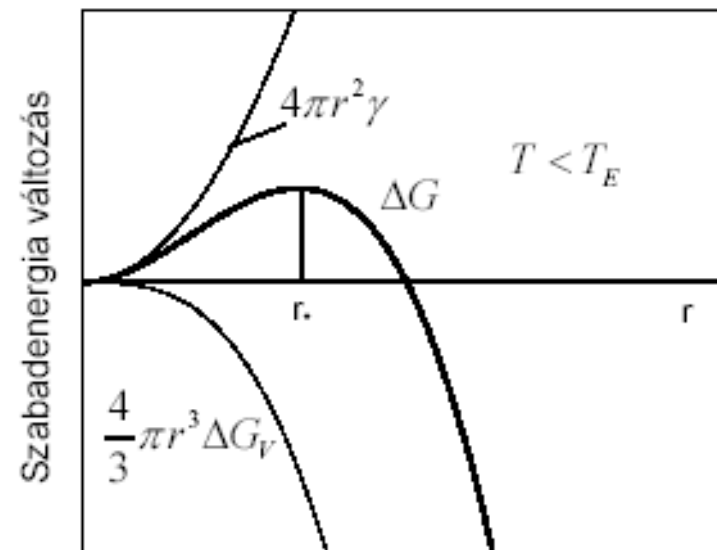
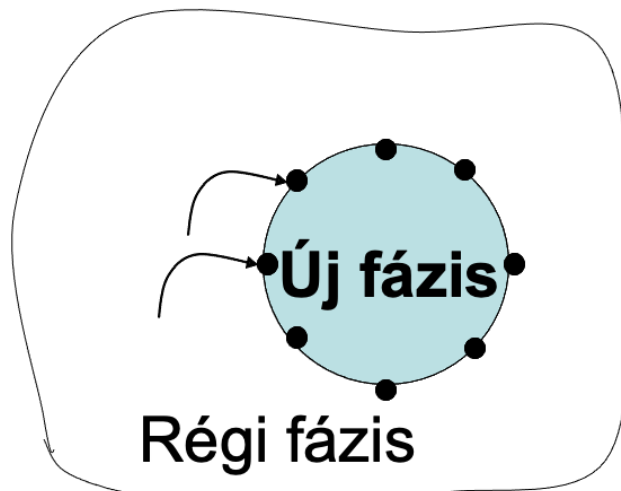


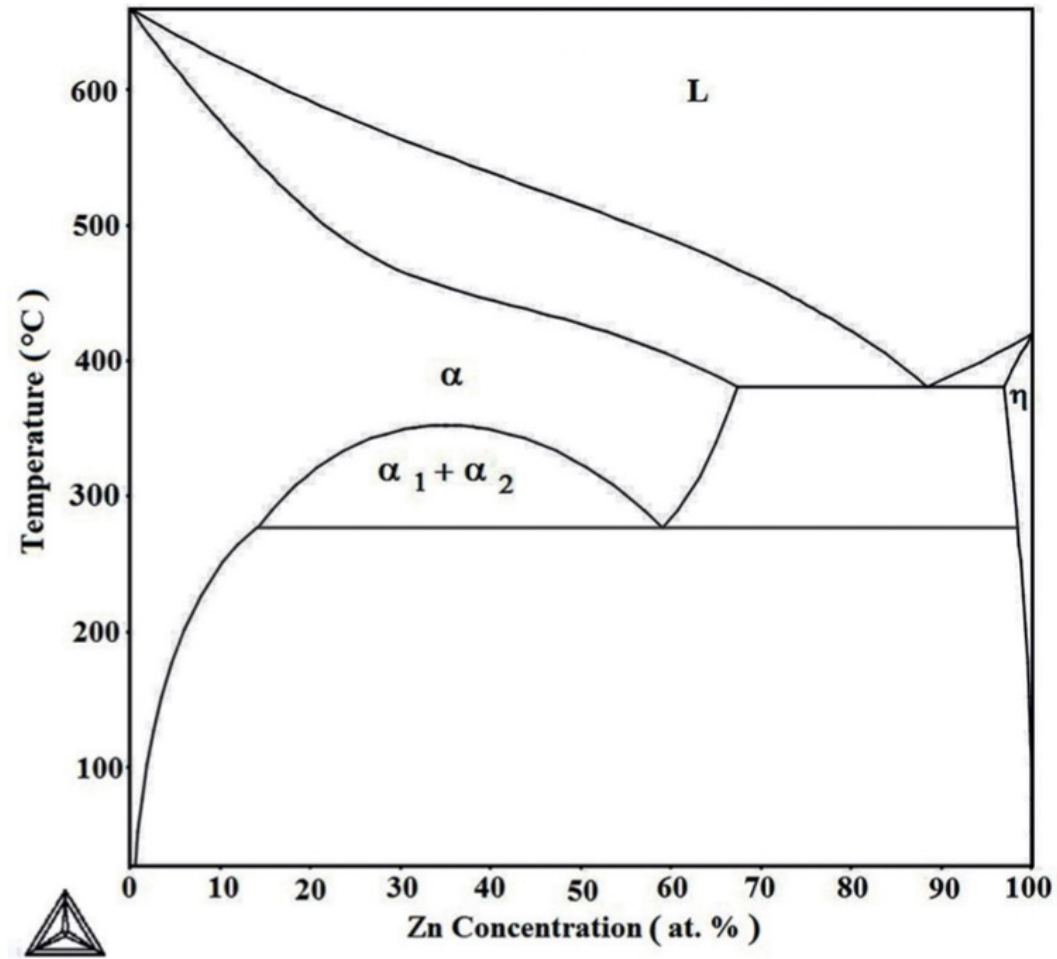
A spinodális bomlás azokban az ötvözetekben történik, ahol az új fázis képződésével járó szabadenergia csökkenés nem elegendő ahhoz, hogy a létrejövő koherens fázishatár felületi energia növekményét ellensúlyozza.

### Fázishatárok energiája

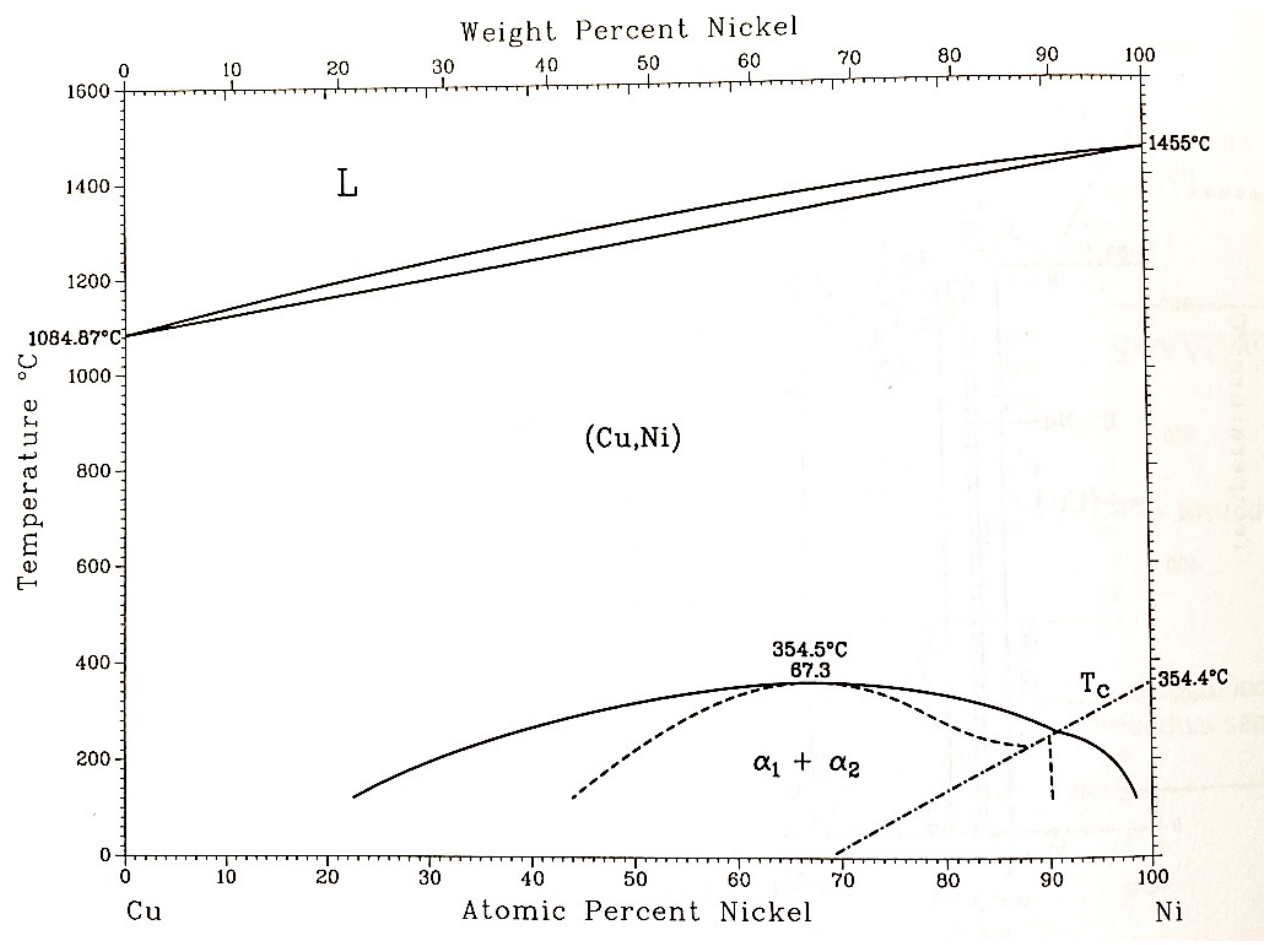
- koherens:  $1 - 5 \cdot 10^{-6}$  Joule/cm<sup>2</sup>
- inkohereus:  $5 - 15 \cdot 10^{-5}$  Joule/cm<sup>2</sup>

Spinodális bomlás  $\Rightarrow$  koherens fázishatárok  $\Rightarrow$  10-50 nm méretű atomi klaszterek



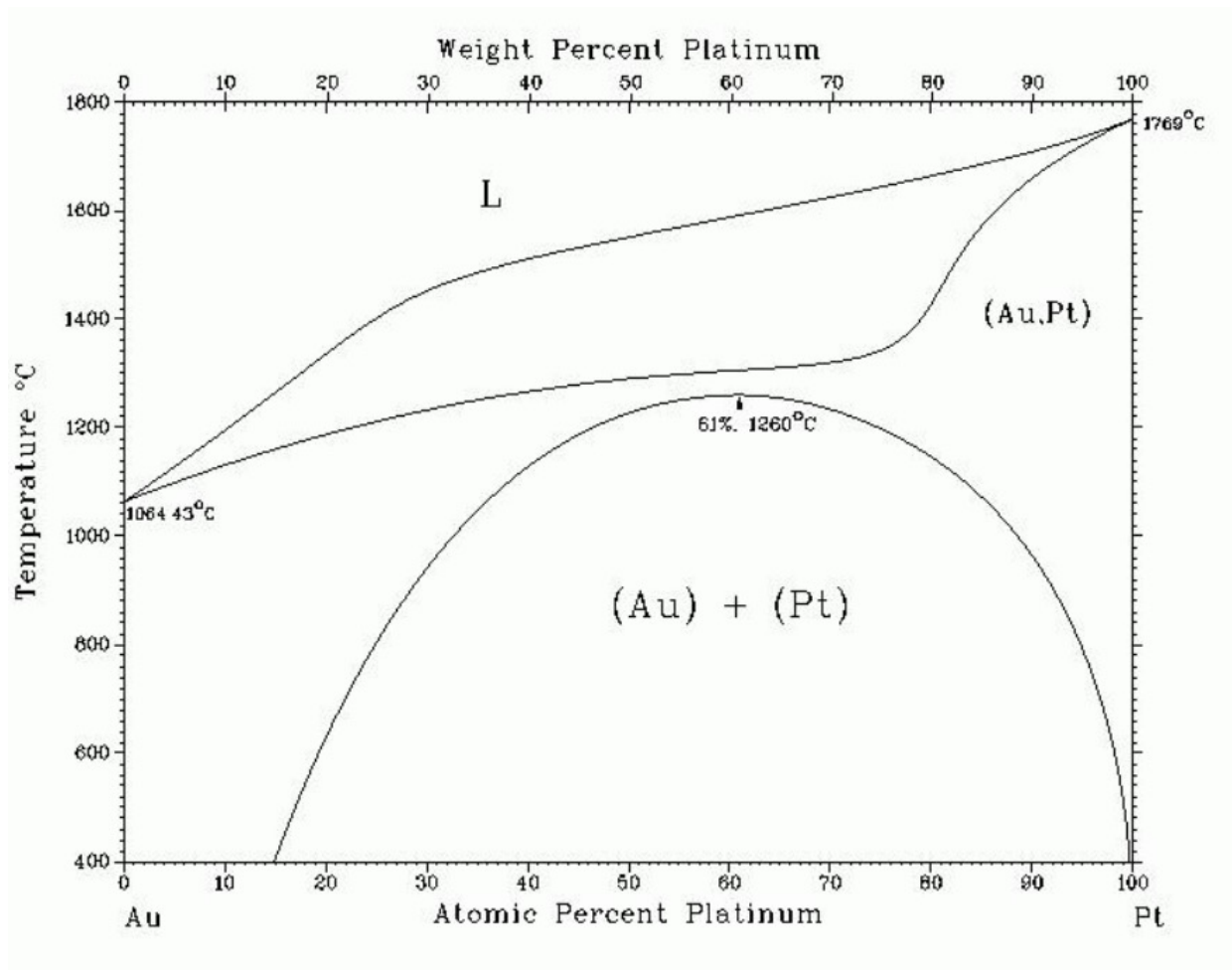


Al-Zn

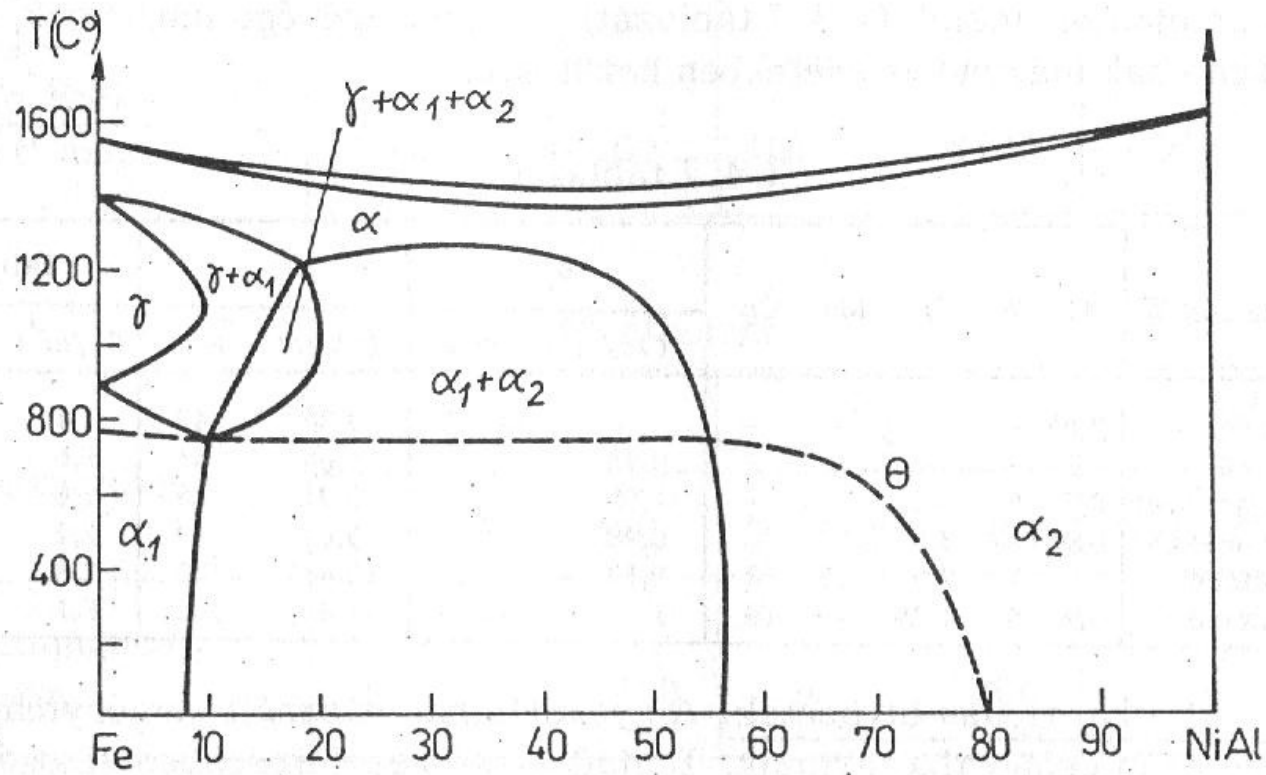


Cu-Ni





Au-Pt



Fe-NiAl

- AlCu, AlZn, AlMg, AlZnCu
- AuPt
- CuNi, CuNiSn, CuNiCr
- FeCr, FeNiMnAl, FeAlNiCo, FeCuNiCo
- számos korrózióálló és hőálló acél (Cr > 13, Ni kevés)

### **A spinodális bomlási folyamat jelentősége mérnöki szempontból:**

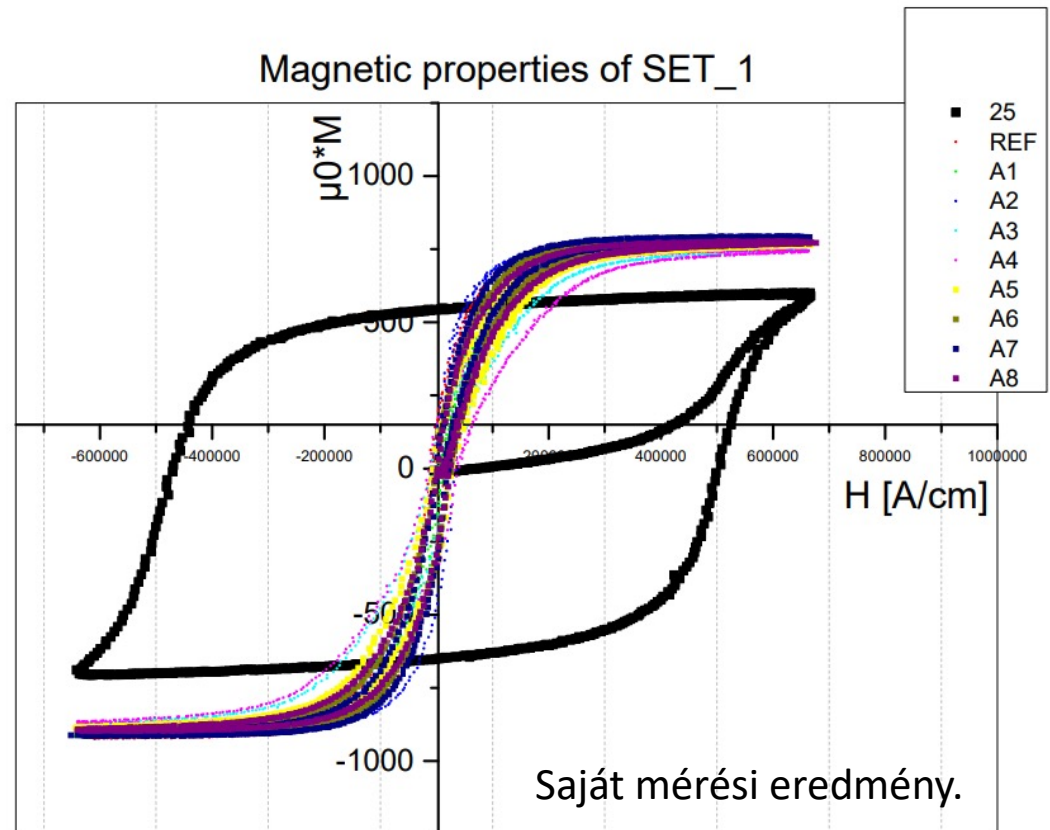
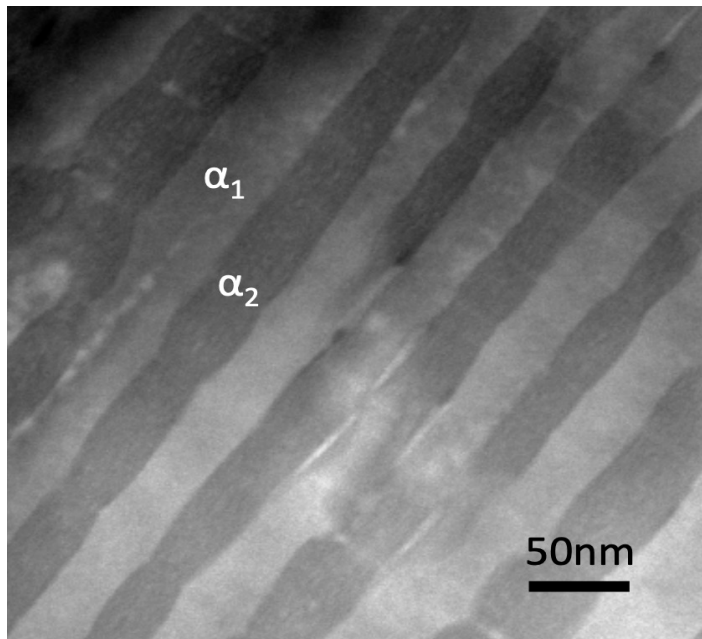
- Szilárdságnövelő eljárás (pl: CuNi9Sn6)
- A keménymágneses tulajdonságok megváltoztatásának eszköze (Alnico)
- **Leromlási folyamat**
- ...

# Alnico (FeNiCoAl) ötvözet

Spinodális bomlás:  $\alpha \rightarrow \alpha_1 + \alpha_2$  (koherens fázishatár)

$\alpha_1 \approx \text{FeCo}$  (tkk szilárd oldat) **ferromágneses,  $\approx$  doménméret**

$\alpha_2 \approx \text{Fe}_2\text{NiAl}$  (tkk szilárd oldat) **paramágneses, kvázi-doménfal**



## A spinodális bomlás, mint leromlási folyamat

13%-nál nagyobb króm tartalmú ferrites, duplex, illetve lean-duplex korrózióálló acélok és bizonyos hőálló acél típusok esetén

250-780 °C hőmérséklet tartományban történik

$\delta$ -ferrit vasban gazdag  $\alpha$  és krómban gazdag ( $\approx 20\%$  Cr)  $\alpha_1$  fázissá alakul

A folyamat a leggyorsabb közel 475 °C hőmérsékleten, ami megfelel az izotermikus átalakulási diagram (TTT) orrpontjának. ???

Az acél rideggé válik és korrózióállósága romlik.

„475 °C -os elridegedés”

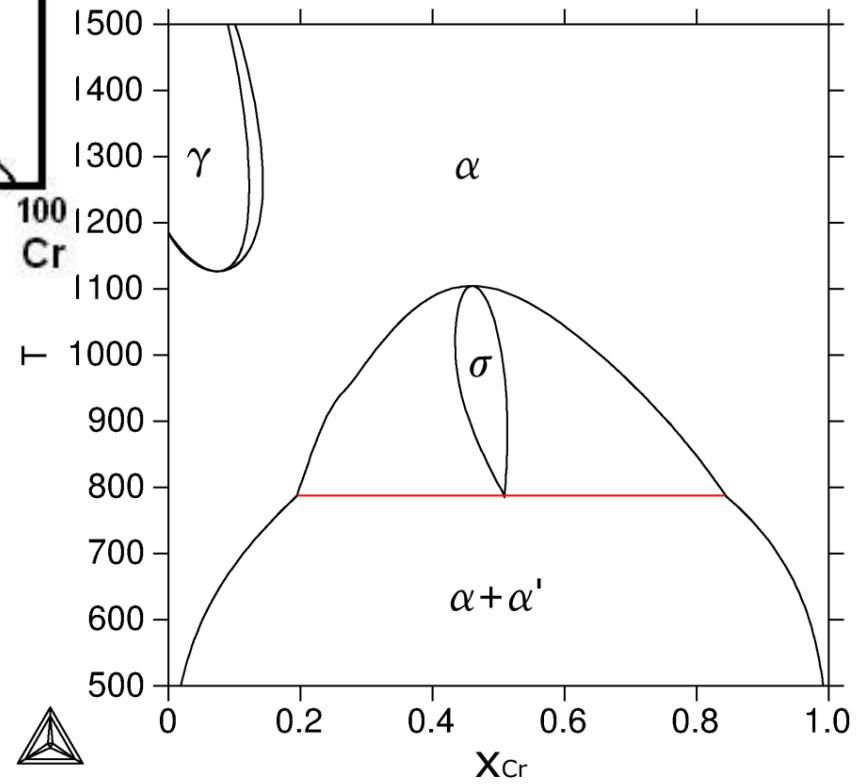
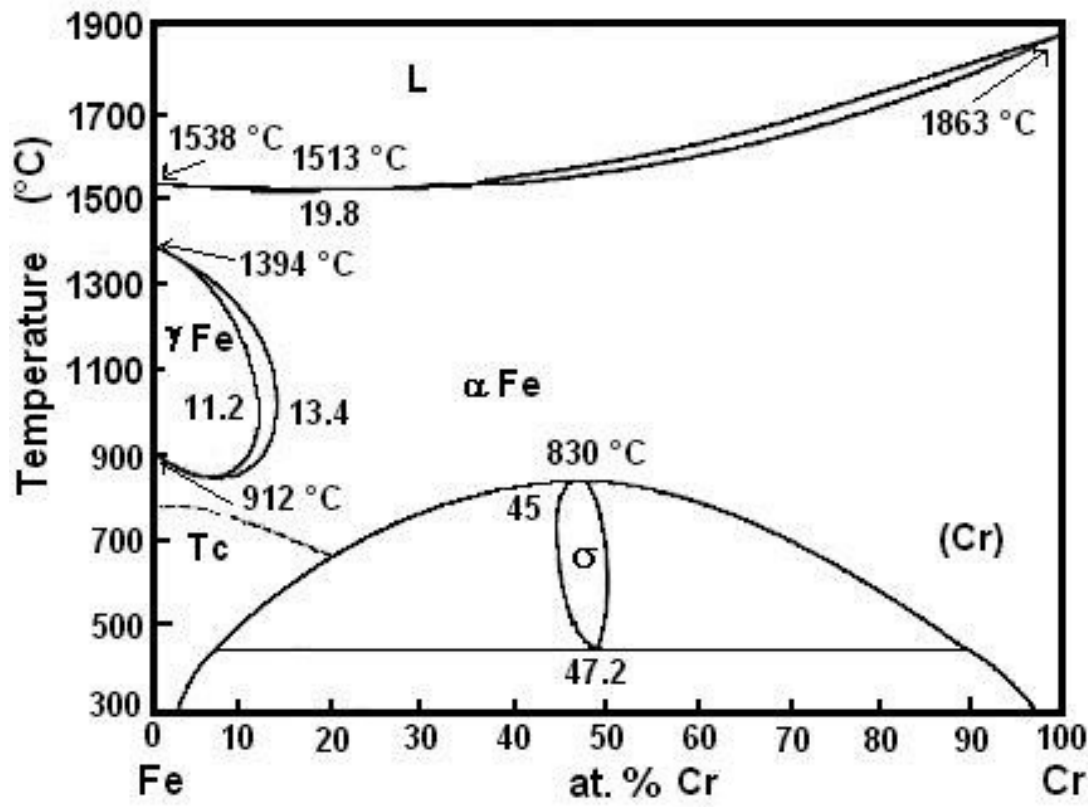
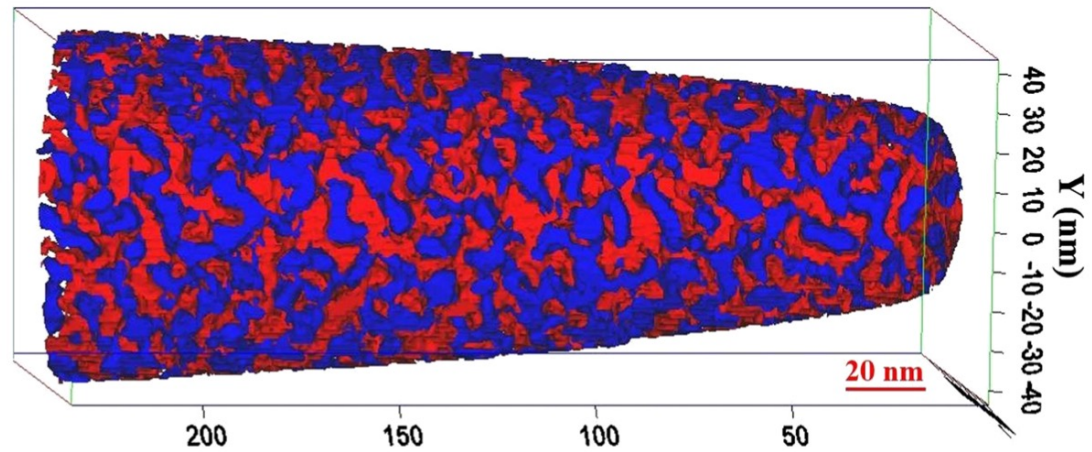
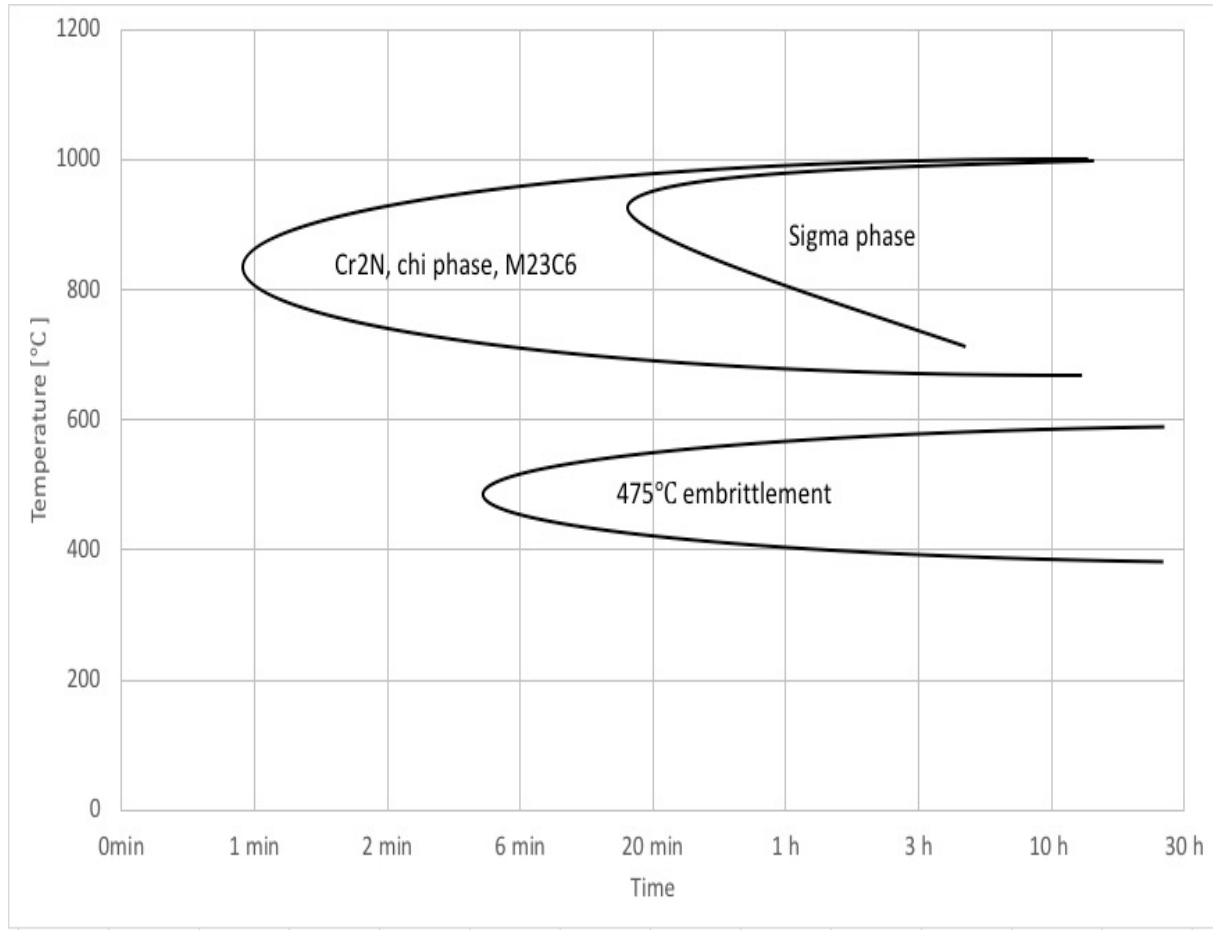


Figure 2.2: The Fe-Cr phase diagram calculated with the TCFE7 database. [20]



**$\delta$ -ferrit vasban gazdag  $\alpha$  és krómban gazdag  $\alpha_1$  fázis**

**Atom Probe Tomography (APT)**



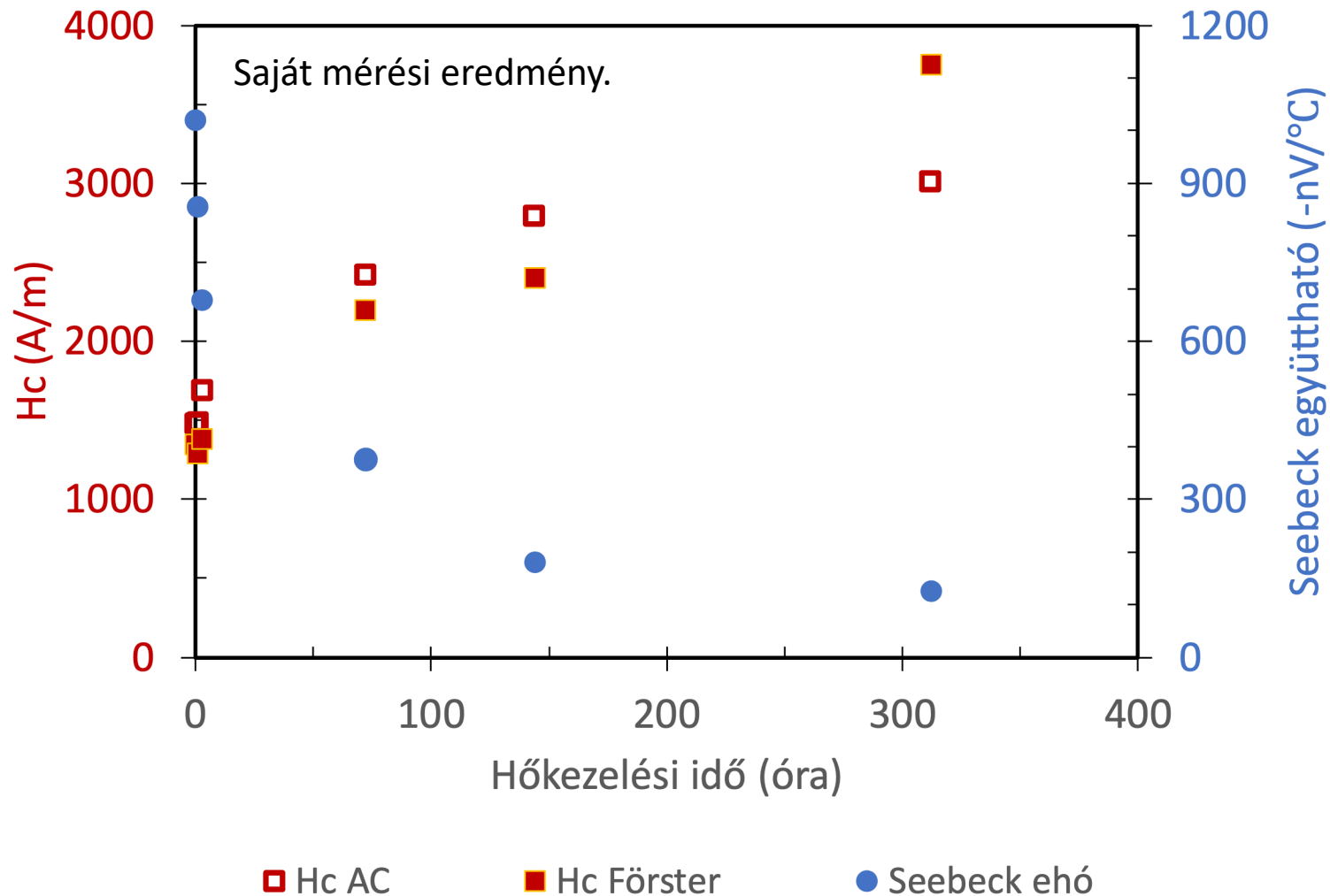
## SAF 2507 SDSS



# Előzetes kísérletek néhány eredménye

Duplex korrózióálló acél 2209

T = 475 °C, t = 0, 1, 3, 72, 144, 312 óra (13 nap)



## Folyamatban lévő vizsgálataink és fejlesztéseink

- FeCr ötvözetsor vizsgálata 22-85% Cr (5% lépések)  
T = 350, 475, 500 °C
- 2209 SDSS mintasorozat vizsgálata
- Vizsgálati metodika és mérőberendezés fejlesztése a spinodális bomlási folyamat által okozott károsodás roncsolásmentes monitorozására.