



BME
ANYAGTUDOMÁNY ÉS TECHNOLOGIA TANSZÉK

Anyagtudomány 2004/05 I.félév

Fémek fázisátalakulása

Dr. Krállics György
krallics@eik.bme.hu

1

A tananyag tanulmányozása során megismerjük:

- az egyensúlyi és a nem egyensúlyi átalakulások fogalmát ;
- A diffúzió alapvető mechanizmusait;
- a γ - α nemegyensúlyi átalakulások fajtáit (perlites, bénites, martenzites) és jellemzőit;
- az acélok alapvető hőkezeléseit.

2

Fázisátalakulások csoportosítása

Diffúzió függo átalakulás, a fázisok száma vagy összetétele nem változik

(tiszta fém olvadása vagy szilárdulása, újrakristályosodás, allotróp átalakulás)

Diffúzió függo átalakulás , a fázisok összetétele és/vagy száma változik

(eutektoidos átalakulás)

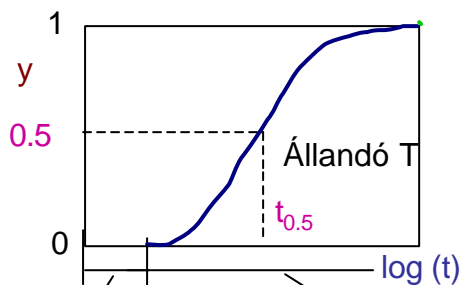
Diffúzió nélküli átalakulás, metastabil fázis jön létre az atomok kooperatív kismértéku mozgásával

(martenzites átalakulás)

3

A fázisátalakulás idobeli lefolyása

Az Avrami egyenlet a fázisátalakulást írja le:



$$y = 1 - \exp(-kt^n)$$

$$r = \frac{1}{t_{0.5}} - \text{az átalakulás sebessége}$$

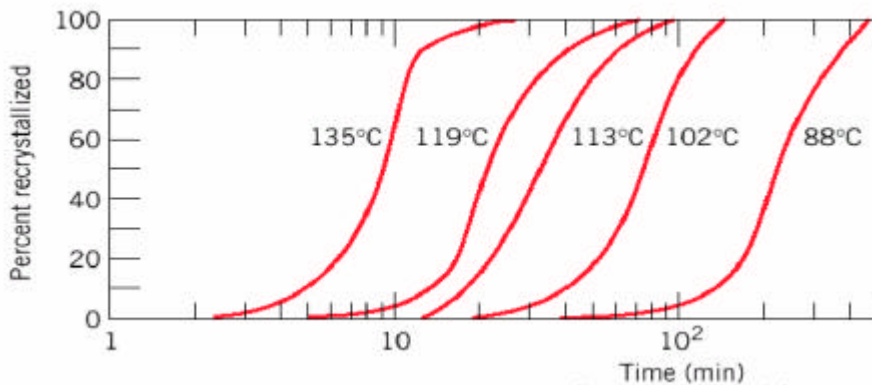
$$r = A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

Inkubáció
Új fázis csirájának
keletkezése

Növekedés
Az új fázis idobeli növekedése

4

Réz újrakristályosodása az idő és a hőmérséklet függvényében



5

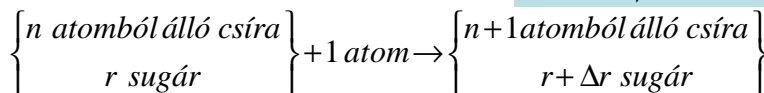
Kristályosodás elméleti folyamatai

Magképződés: egy kritikus térfogatban a megfelelő fajtájú atomok úgy rendeződnek el, ami jellemző az új fázisra (szerkezet, koncentráció, méret). Ezt megelőzi egy átmeneti állapot, ami nagyobb szabadenergiával jellemezhető, mint az új vagy a kezdeti állapot.

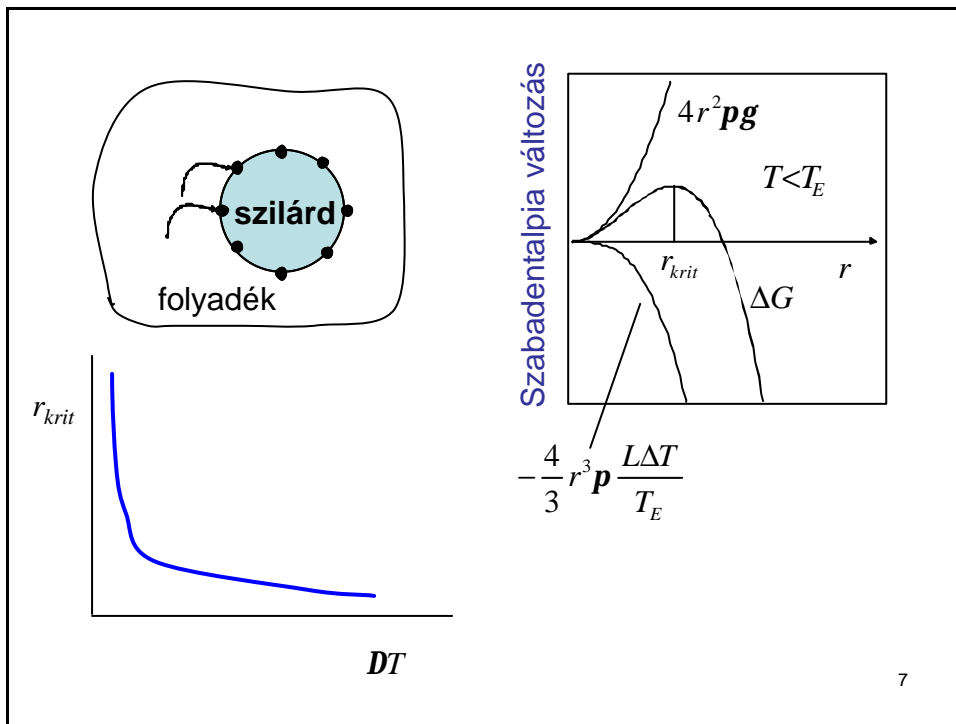
Homogén magképződés: ha az új fázis a rendszer bármely pontján azonos valószínűséggel alakulhat ki.

$$\Delta G(r) = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_V + 4\pi r^2 g$$

$$\frac{d}{dr}(\Delta G) = 8\pi r g - 4\pi r^2 \Delta G_V = 0 \rightarrow r_{krit} = \frac{2g}{\Delta G_V} = \frac{2g T_E}{L \Delta T}$$



6



7

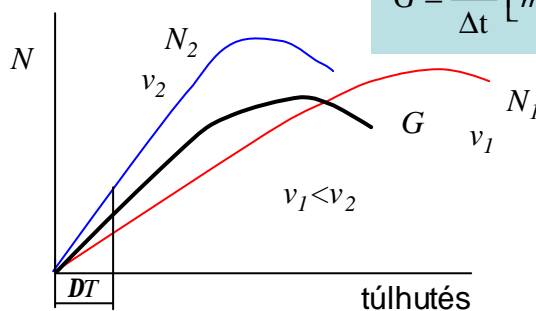
Csíráképződés jellemzői

Mag keletkezési gyakoriság (kristályosodási képesség)

$$N = \frac{\text{keletkezettmagokszáma}}{\text{térfogat} \cdot \text{ido}} \left[mm^{-3}s^{-1} \right]$$

Mag növekedési sebessége:

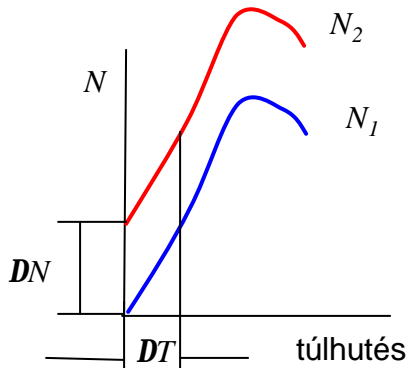
$$G = \frac{\Delta D}{\Delta t} \left[mm s^{-1} \right]$$



8

Heterogén magképződés

Kristálycsíráként idegen atomok szolgálnak. Ezek meggyorsítják a kristályosodás folyamatát.



Szemcseméret jelentősége
Hall-Petch egyenlet

$$R_{p0,2} = R_0 + kd^{-\frac{1}{2}}$$

szemcseátméno

9

Túlhűtés, túlhevítés

A fázisdiagramok (állapotábrák) fázishatárain való véges sebességgel való áthaladáskor az új fázisok létrejötte eltolódik.

Hűtéskor, az átalakulás az egyensúlyihoz képest alacsonyabb hőmérsékleten jön létre, ez a jelenség a **túlhűtés**.

Hevítéskor az átalakulás az egyensúlyihoz képest magasabb hőmérsékleten jön létre, ez a jelenség a **túlhevítés**.

A túlhűtés/túlhevítés mértéke alapvetően a hűtés/hevítés sebességétől függ

Metastabil állapot a gyors hőmérsékletváltozás hatására alakul ki.

10

A diffúzió fogalma

Különbéle anyagi részecskék (szilárd, folyékony, gáznemu) anyagon belüli helyváltozása.

Szilárd állapotban történo diffúzió

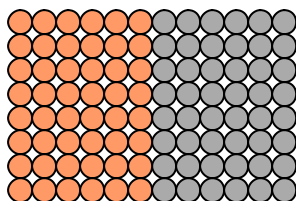
- **Koncentrációs diffúzió:** a koncentráció különbség hatására bekövetkezo atomi mozgás.
- **Öndiffúzió:** a rácsot felépítő atomok energiaszint különbség hatására bekövetkezo mozgása.

11

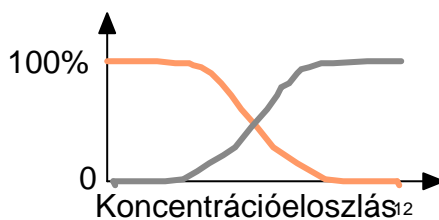
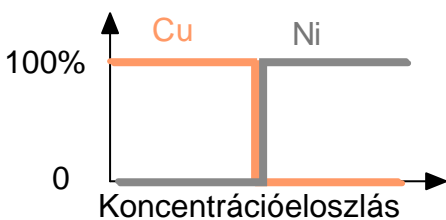
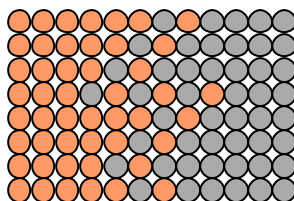
Koncentrációs diffúzió

A nagyobb koncentrációjú helyrol mozog el az atom

Kezdeti állapot

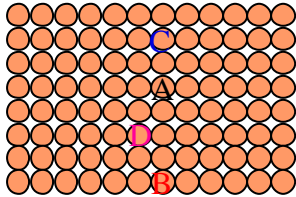


Késobbi állapot

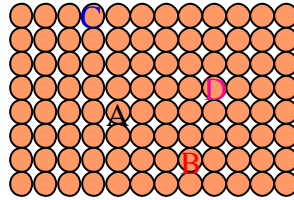


Öndiffúzió

Kezdeti állapot



Későbbi állapot



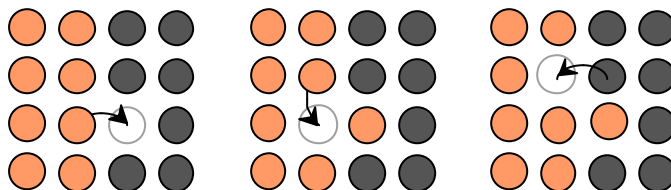
Az atomok megjelölése
radioaktív izotóppal

13

Diffúziós mechanizmusok

Szubsztitúciós/üres rácshelyes diffúzió:

- szubsztitúciós idegen atomok
- atomok cseréje üres rácshelyek segítségével
- a folyamat sebessége függ:
 - az üres rácshelyek számától
 - az atomcsere aktiválási energiájától.



4

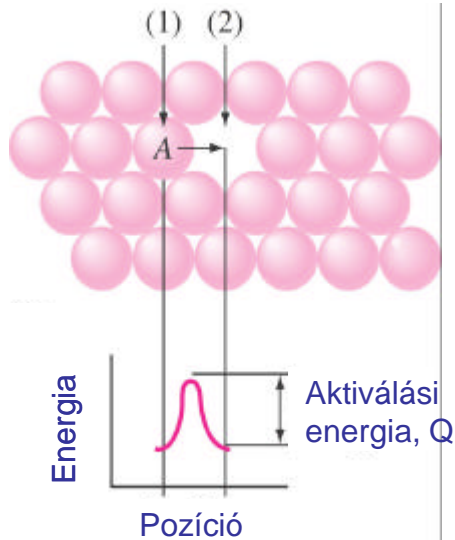
A diffúzió aktiválási energiája

$$Q = Q_m + Q_{\ddot{u}}$$

Q_m - mozgási energia

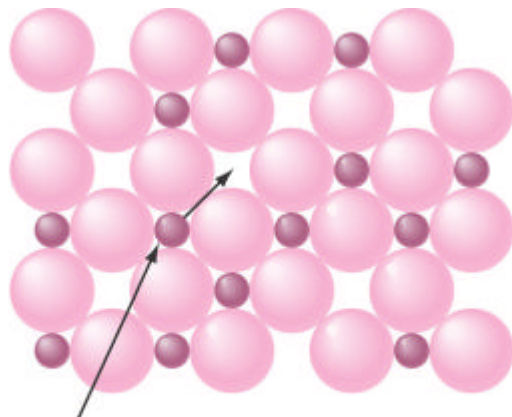
$Q_{\ddot{u}}$ - üres rácshely
képződésének
energiája

Adott diffúziós
rendszeren belül az
öndiffúzió aktiválási
energiája a
legnagyobb.



15

Intersztíciós diffúzió



Az intersztíciós atom
a rácspontok közti intersztíciós
helyeken keresztül mozog.

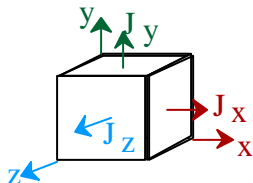
16

Diffúziós egyenletek

Anyagáramlás sebessége (fluxus):

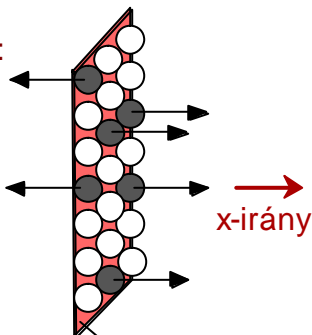
$$J = -\frac{1}{A} \frac{dm}{dt} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \right] \cdot v \left[\frac{\text{atomok}}{\text{m}^2 \text{s}} \right]$$

A fluxus vektor mennyiség.



A fluxus mérhető:

- az üres rácshelyekben
- az alapfém atomjaiban (A)
- szennyező atomokban (B)



Felület (A),
amelyen keresztül
az atomok mozognak

17

Fick egyenletek

I. Fick-egyenlet

$$J_x = -D \frac{dC}{dx}$$

Diffúziós tényező

Koncentráció gradiens

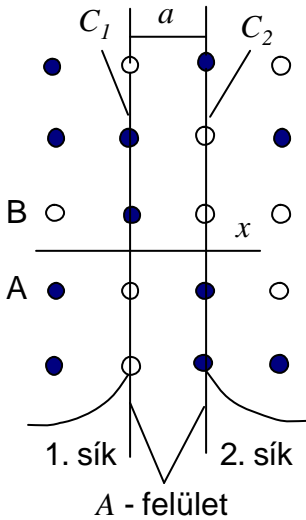
$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} D \frac{\partial C}{\partial z}$$

II. Fick-egyenlet ha $\frac{\partial D}{\partial C} = 0$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)$$

18

A diffúzió elemi lépései



B atomok tömege: $m_1 = C_1 a A$, $m_2 = C_2 a A$

$$m_{1-2} = C_1 \frac{aA}{Kt}, \quad m_{2-1} = C_2 \frac{aA}{Kt} \quad [\text{tömeg/idő}]$$

t – atomok átlagos egyhelyben tartózkodásának ideje

$$C_2 = C_1 + (dC/dx)a$$

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = m_{1-2} - m_{2-1} = C_1 \frac{aA}{Kt} - \frac{aA}{Kt} \left(C_1 + \frac{dC}{dx} a \right)$$

$$J = -\frac{a^2}{Kt} \frac{dC}{dx} = -D \frac{dC}{dx}$$

$$G = \frac{1}{t} = \frac{1}{t_0} \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad \text{– ugrási gyakoriság}$$

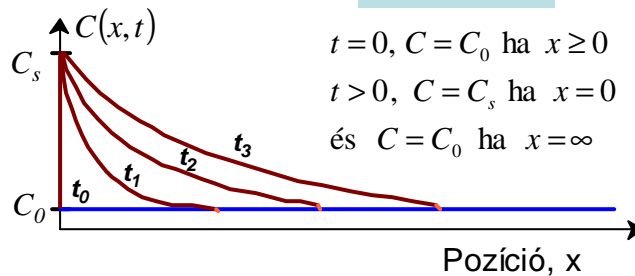
$$D = \frac{a^2}{Kt_0} \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

19

Idoben nem állandósult diffúzió

Egydimenziós eset:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$



$$t = 0, C = C_0 \text{ ha } x \geq 0$$

$$t > 0, C = C_s \text{ ha } x = 0$$

$$\text{és } C = C_0 \text{ ha } x = \infty$$

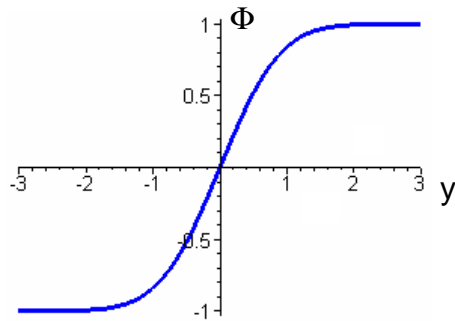
Megoldás:

$$\frac{C(x, t) - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

20

Gauss-féle hibaintegrál

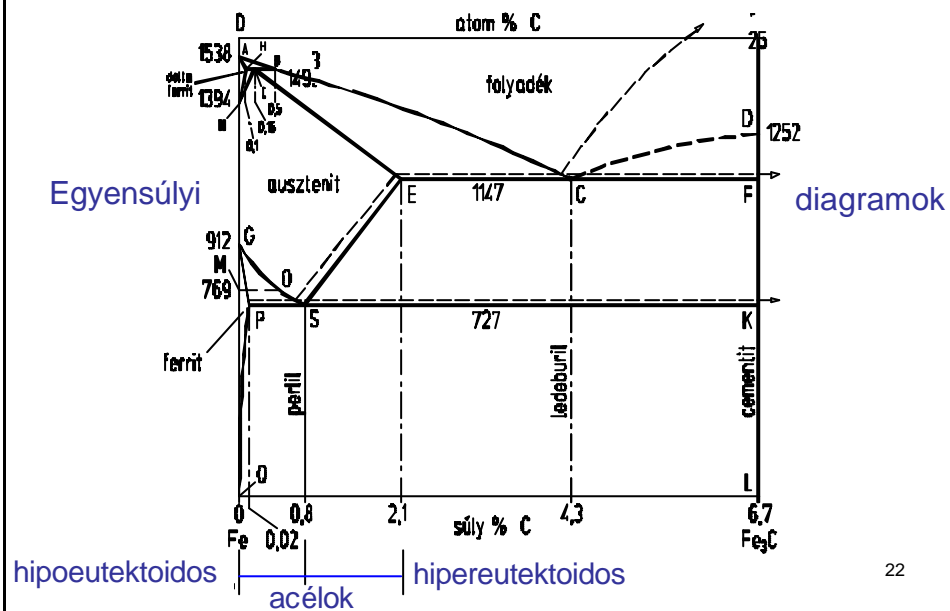
$$F\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) = \frac{2}{\sqrt{p}} \int_0^y \exp(-y^2) dy, \quad y^2 = \frac{x^2}{4Dt}$$



Az értékek táblázatokban megtalálhatók.

21

Fe-C ikerdiagram



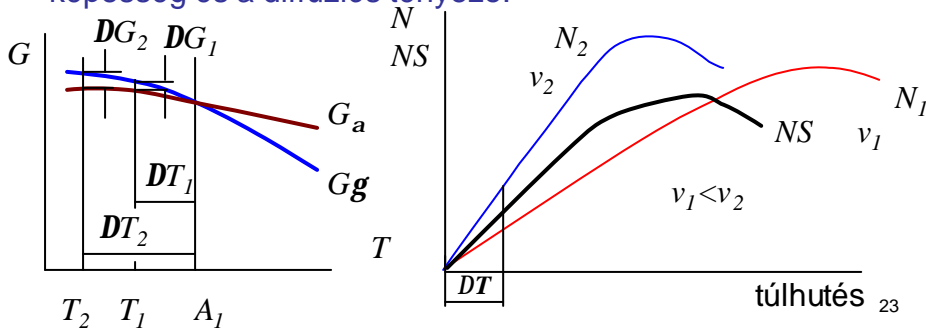
22

A vas (acél) allotróp átalakulásai

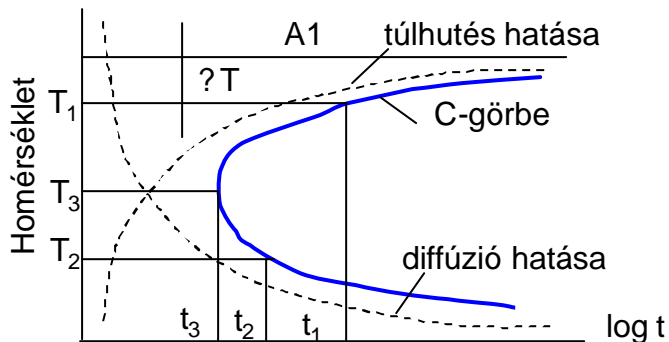
A vas allotróp módosulata: α -Fe, γ -Fe és δ -Fe.

A vasötvözetek hokezelésénél alapveto az $\alpha \rightarrow \gamma$ és a $\gamma \rightarrow \alpha$ átalakulás. Az elsonél fajtérfogat csökkenés, a másodiknál növekedés történik.

$\gamma \rightarrow \alpha$ fázisátalakulás . A folyamat 3 fontos paramétere a szabadentalpia változás, a szilárd állapotbeli kristályosodási képesség és a diffúziós tényező.

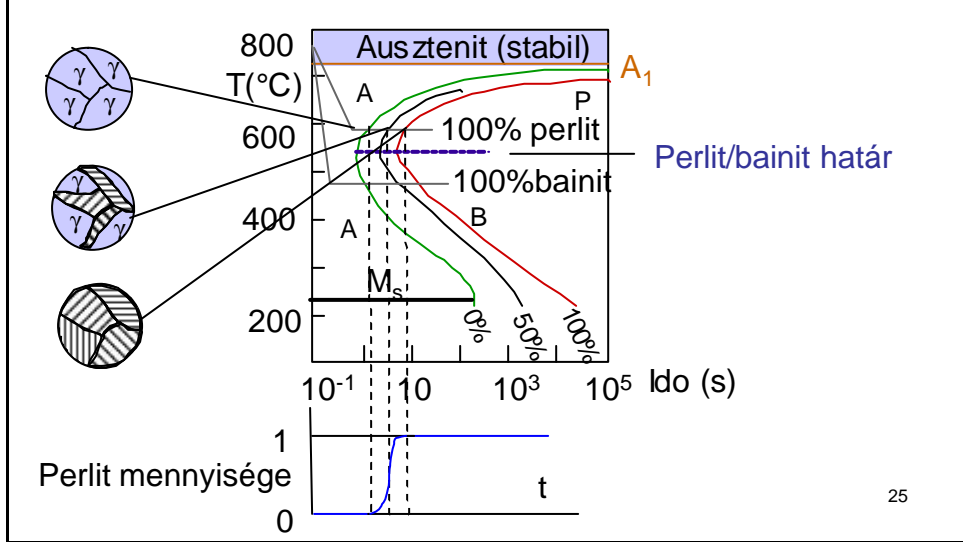


A g-a átalakulás idoszüksége (C görbe)



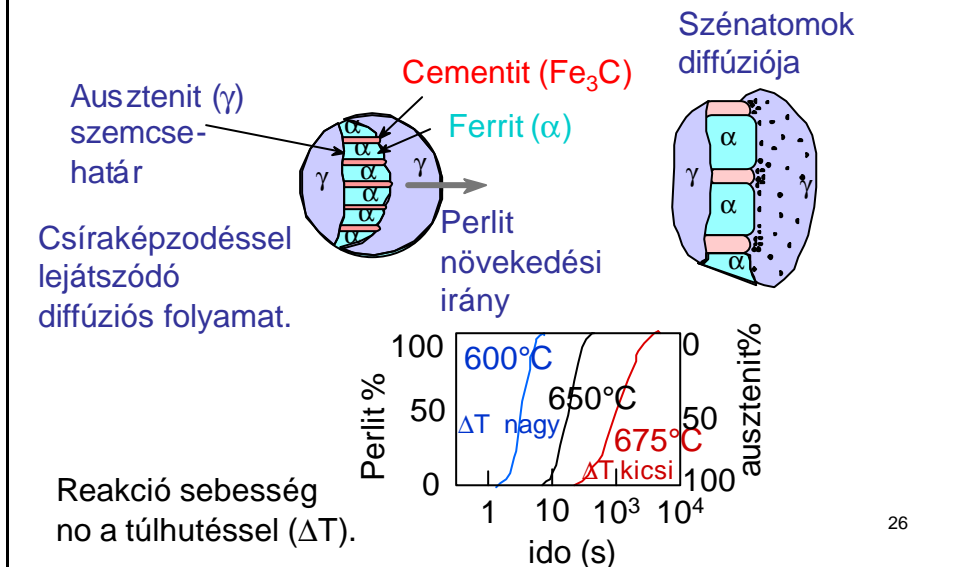
A túlhútés azonos módon befolyásolja a kristályosodási képesség és a szabadentalpia változást, csökkenti az átalakulás kezdetének idopontját. A diffúziós tényezőre a homérséklet ellentétes módon hat. Minél alacsonyabb a homérséklet, annál hosszabb az átalakulás ideje.

Eutektoidos acél izotermikus átalakulási diagramja (TTT)



25

Perlites átalakulás



26

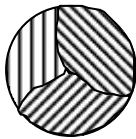
Perlit szerkezete

T_{transf} közvetlenül az A_1 hőmérséklet alatt
Nagyobb T gyorsabb diffúzió.

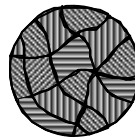
T_{transf} jóval az A_1 hőmérséklet alatt
Kisebb T , lassabb diffúzió.



10 μ m

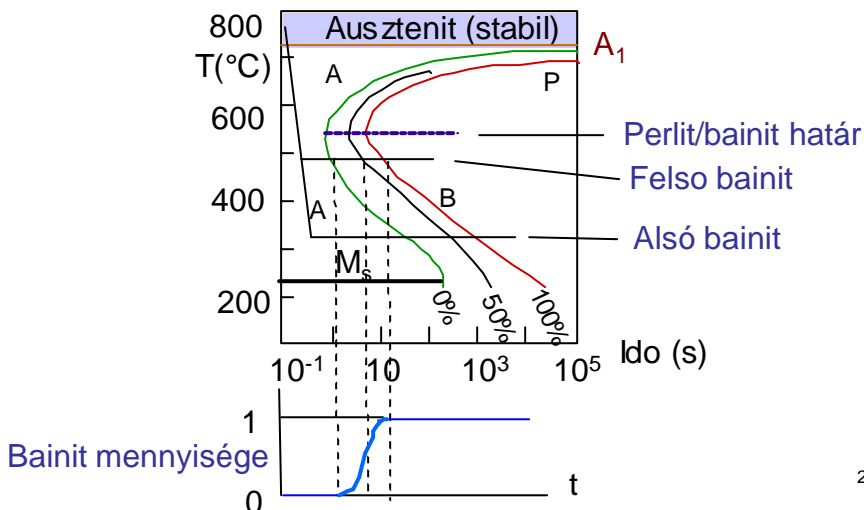


Kisebb ΔT ,
durvább lemezek

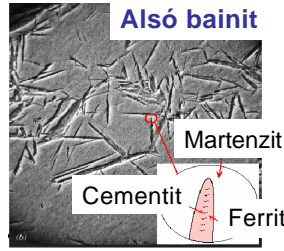
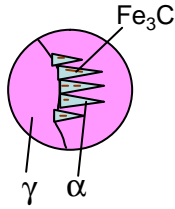
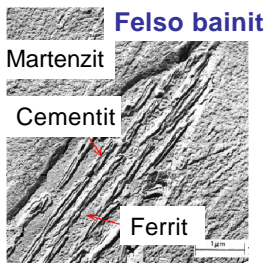


Nagyobb ΔT ,
finomabb lemezek

Bainites átalakulás



Bainit szerkezete



Egy hasonló ábra kellene !!!

350-550 °C

200-350 °C

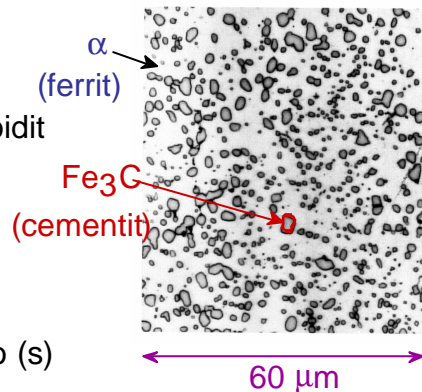
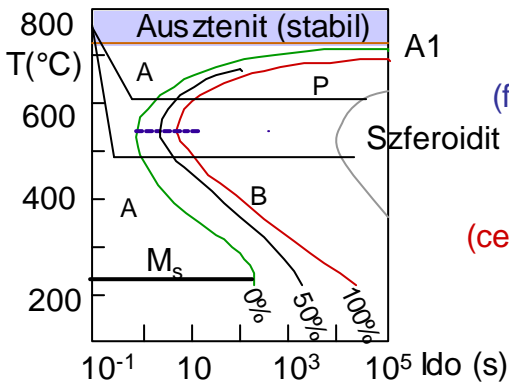
Ferrit tuk és hosszú cementit részecskék elege

Vékony ferrit lemezek és nyújtott cementit részecskék elege

Az átalakulás sebességét alapvetően a diffúzió (kevésbé a csiraképződés) befolyásolja. A relativ alacsony hőmérséklet miatt nagyon finom struktúra jön létre.

29

Szferoidit keletkezése

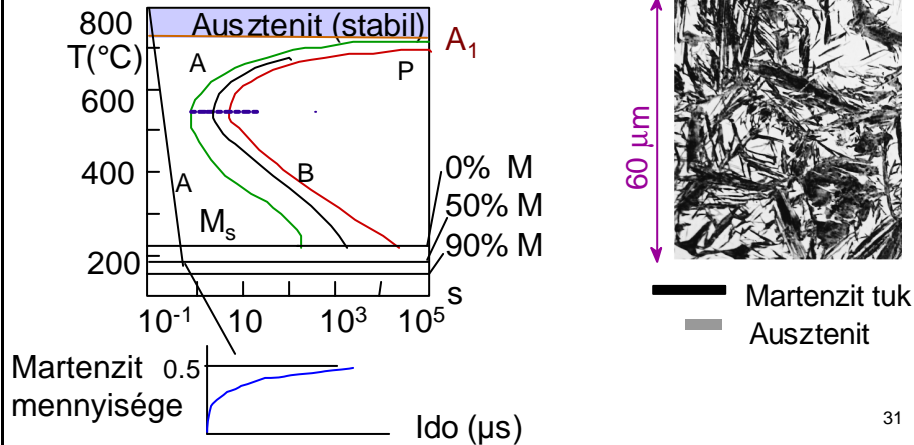


Hosszú idő alatt a perlit/bainit szerkezete átalakul (diffúzió) és Fe_3C apró gömbök jönnek létre a ferrit mátrixban.

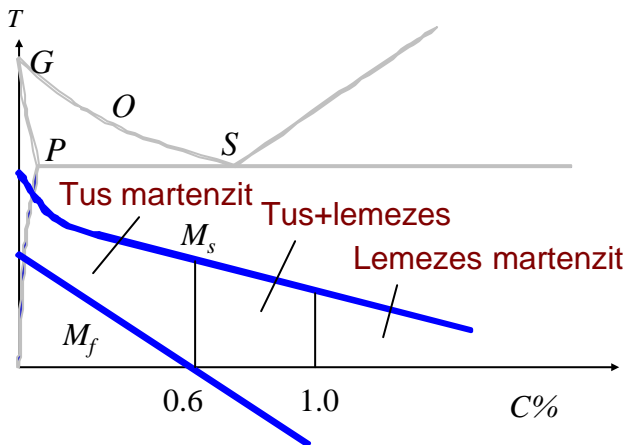
30

Martenzites átalakulás

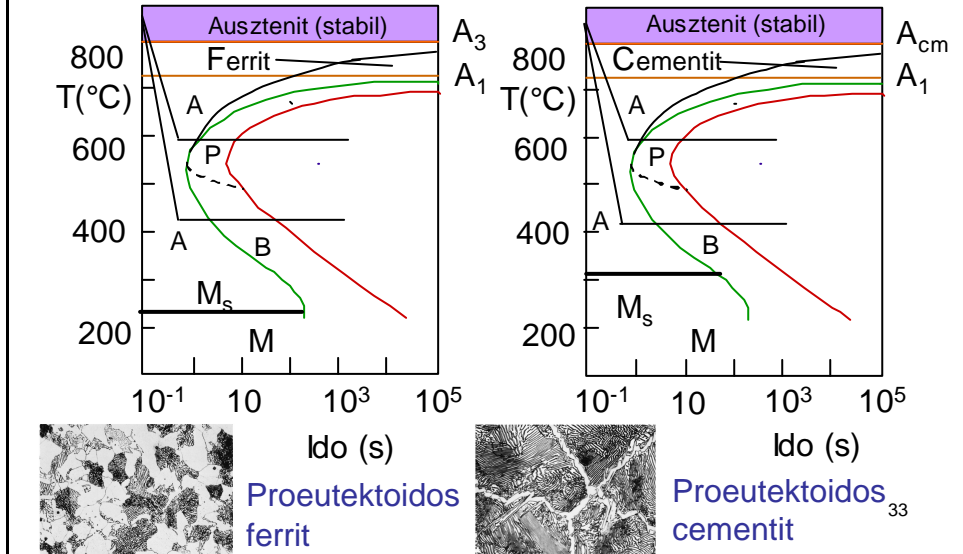
Kezdeti homogén fázisból (γ) az átalakulás során homogén fázis (m) keletkezik, csiraképződés nélkül. Nagy lehülési sebesség esetén jön létre. Diffúzió nélküli átalakulás, a másodperc törtrésze alatt megy végbe.



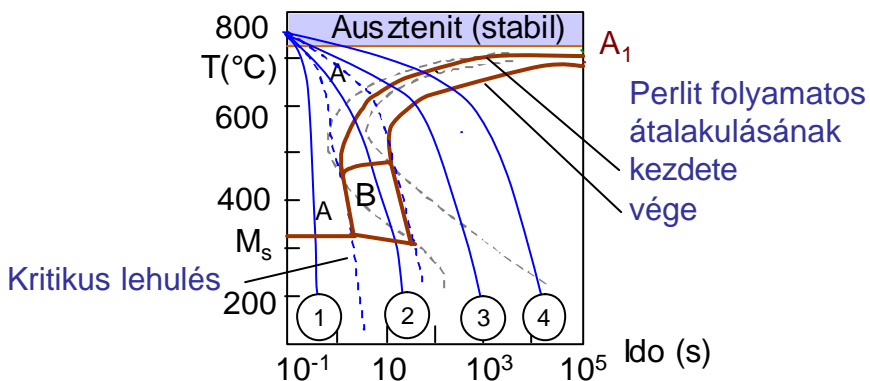
M_s és M_f homérséklet széntartalom függése



Hipo- és hipereutektoidos acél izotermikus átalakulása



Eutektoidos acél folyamatos átalakulása



1. Edzés (víz) : Martenzit 2. Edzés(olaj): Perlit+bénit+martenzit
 3. Normalizálás: finom perlit 4. Lágyítás : durva lemezes perlit

Acél alapvető hőkezelési eljárásai

- Edzés
- Megeresztés
- Nemesítés (Edzés+ megeresztés)
- Normalizálás
- Lágyítás

35

- **Edzés**

Auszténites hontartás + gyors hutés. Martenzites szövetszerkezet eloállítása.

- **Megeresztés**

Martenzites szövetszerkezet A1-nél kisebb homérsékleten hontartása és lehutése. Finom szerkezetu perlit eloállítása.

- **Lágyítás**

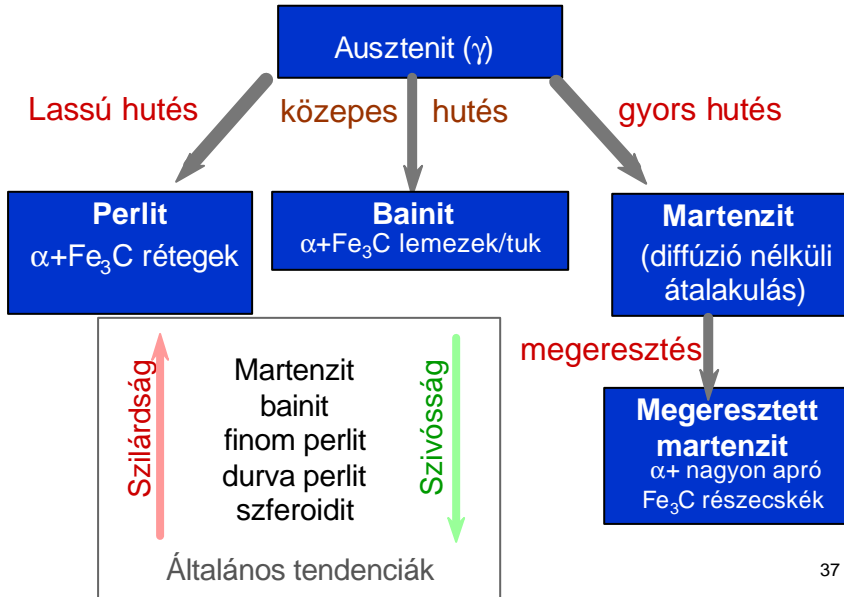
Auszténites hontartás + nagyon lassú hutés (kemencével). Lágy, szívós szerkezetu anyag eloállítása

- **Normalizálás**

Auszténites hontartás + levegón való lehutés. Finom, egyenletes mikroszerkezet eloállítása.

36

Hokezelési folyamatok öszegzése



37

Fogalmak

- Egyensúlyi és nemegyensúlyi átalakulás
- A nemegyensúlyi átalakulás befolyásoló tényezói
- A fázisátalakulás Avrami-egyenlete
- A csíráképződés termodinamikai feltételei
- Izotermikus átalakulási diagram
- Folyamatos átalakulási diagram
- Perlites átalakulás
- Finom- és durvalemezes perlit
- Bainites átalakulás
- Alsó és felső bainit
- Martenzites átalakulás
- Öndiffúzió
- Koncentrációs diffúzió
- Intersztíciós diffúzió
- Szubsztitúciós diffúzió
- I. Fick-egyenlet
- II. Fick-egyenlet

38