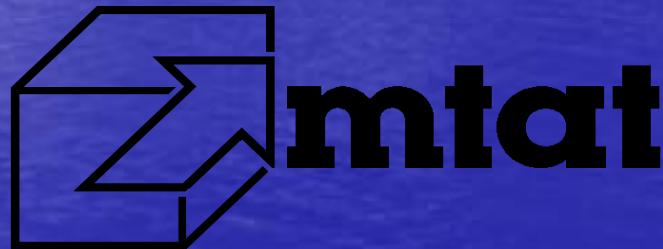


# HEGESZTÉSI HŐFOLYAMATOK



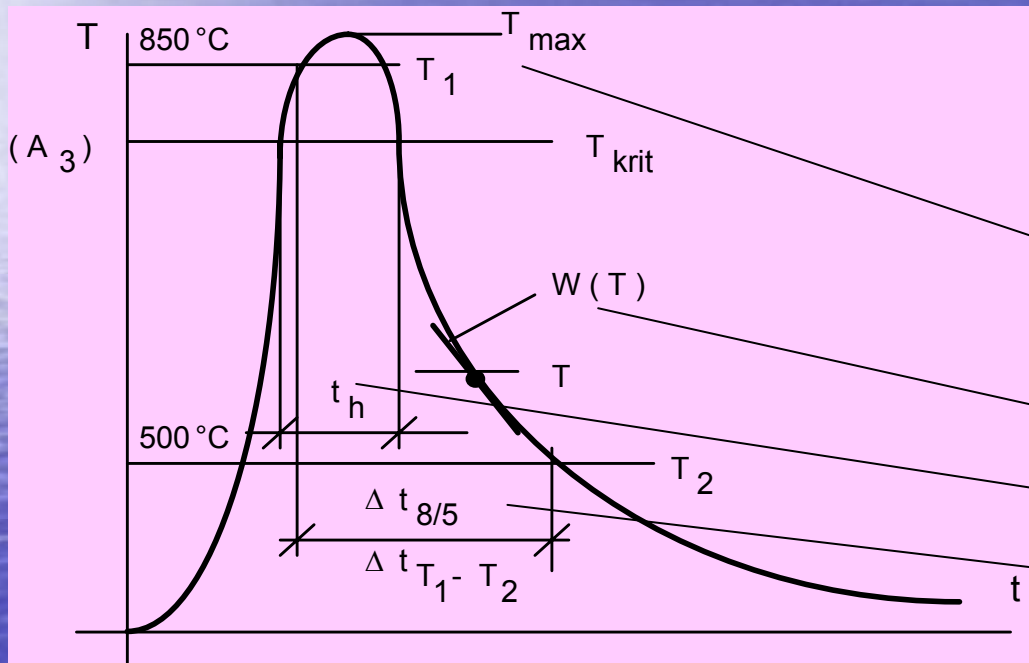
**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**



**Mechanikai Technológia és Anyagszerkezetani Tanszék**

**Dr. Palotás Béla**

# Hegesztési hő-folyamatok



- **Modellezési lehetőségek**
  - **Hőmérséklet eloszlás**
  - **Maximális hőmérséklet**
  - **Lehűlési sebesség**
  - **Túlhevítési idő**
  - **Kritikus lehűlési idő**

# Modellezési alapesetek

- Kis sebességű hőforrás
  - Félig végtelen test (vastag lemez, 3 dimenziós hővezetés) vagy pontszerű hőforrás
  - Véges vastagságú lemez (vékony lemez, 2 dimenziós hővezetés) vagy lineáris hőforrás
- Nagy sebességű hőforrás
  - Pontszerű hőforrás
  - Lineáris hőforrás

# Elhanyagolások

- - Az alapanyag homogén és izotróp
- - Hőfizikai jellemzők a hőmérséklettől függetlenek
- - A hevítés hőmérséklete végtelen
- - Határállapot van, a bevezetett hő és elvezetett hő megegyezik
- - Látens hő (fázisátalakulásoknál) és olvadási hő elhanyagolható
- - A vizsgálatokat a hőforrással együtt mozgó koordináta rendszerben végezzük (itt a hőmérséklet mező állandó).



# Kis sebességű hőforrás, félig végtelen testen (alapeset)

- A modell megoldása:

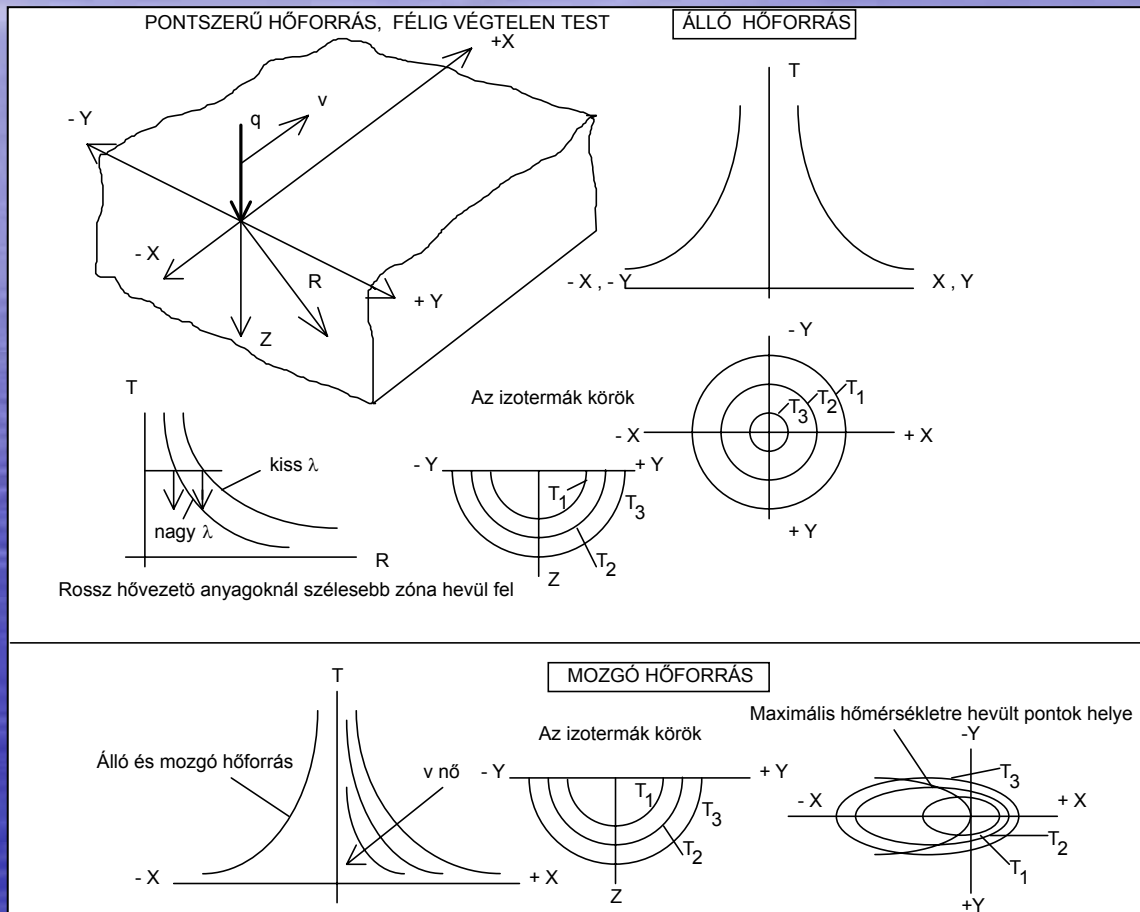
$$T = \frac{q}{2\pi\lambda R} e^{\left(-\frac{vx}{2a} - \frac{vR}{2a}\right)}$$

- Ahol:

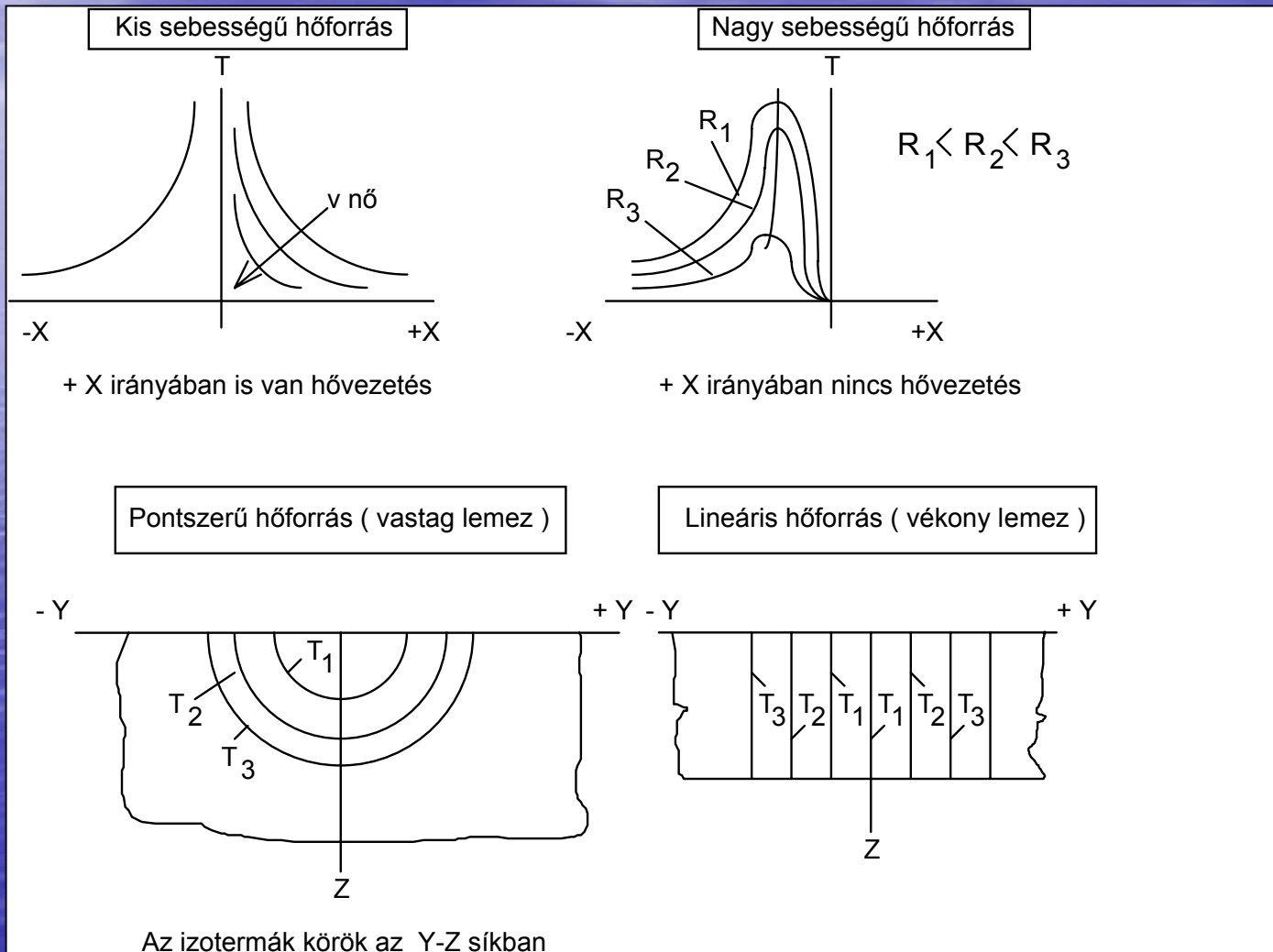
- $q$  A hőbevitel (értéke, pl. a villamos paraméterekből számítható  $q = U I \eta$  [J/s])
- $v$  A hegesztési sebesség ([m/s])
- $x$  A vizsgált pont  $x$  koordinátája ([m])
- $R$  A vizsgált pontba mutató helyvektor abszolút értéke ([m])
- $a$  Hőmérséklet vezetési szám ( $a = (7...9) 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s értéke itt  $c.p$  a térfogati fajhő  $c.p = (5...5,2) 10^6$  J/m<sup>3</sup>°C)
- $\lambda$  Hővezetési tényező ( $\lambda = 37...42$  W/m°C)

# Hőmérséklet eloszlás

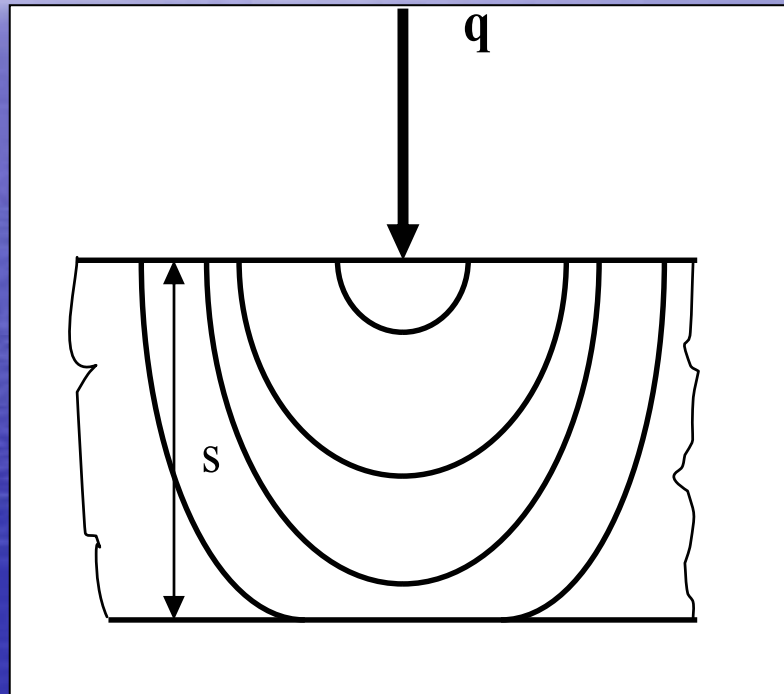
## Kis sebességű hőforrás esetében amely félig végtelen testen hevít



# További esetek



# "Kettő és fél dimenziós eset" (2,5 D)



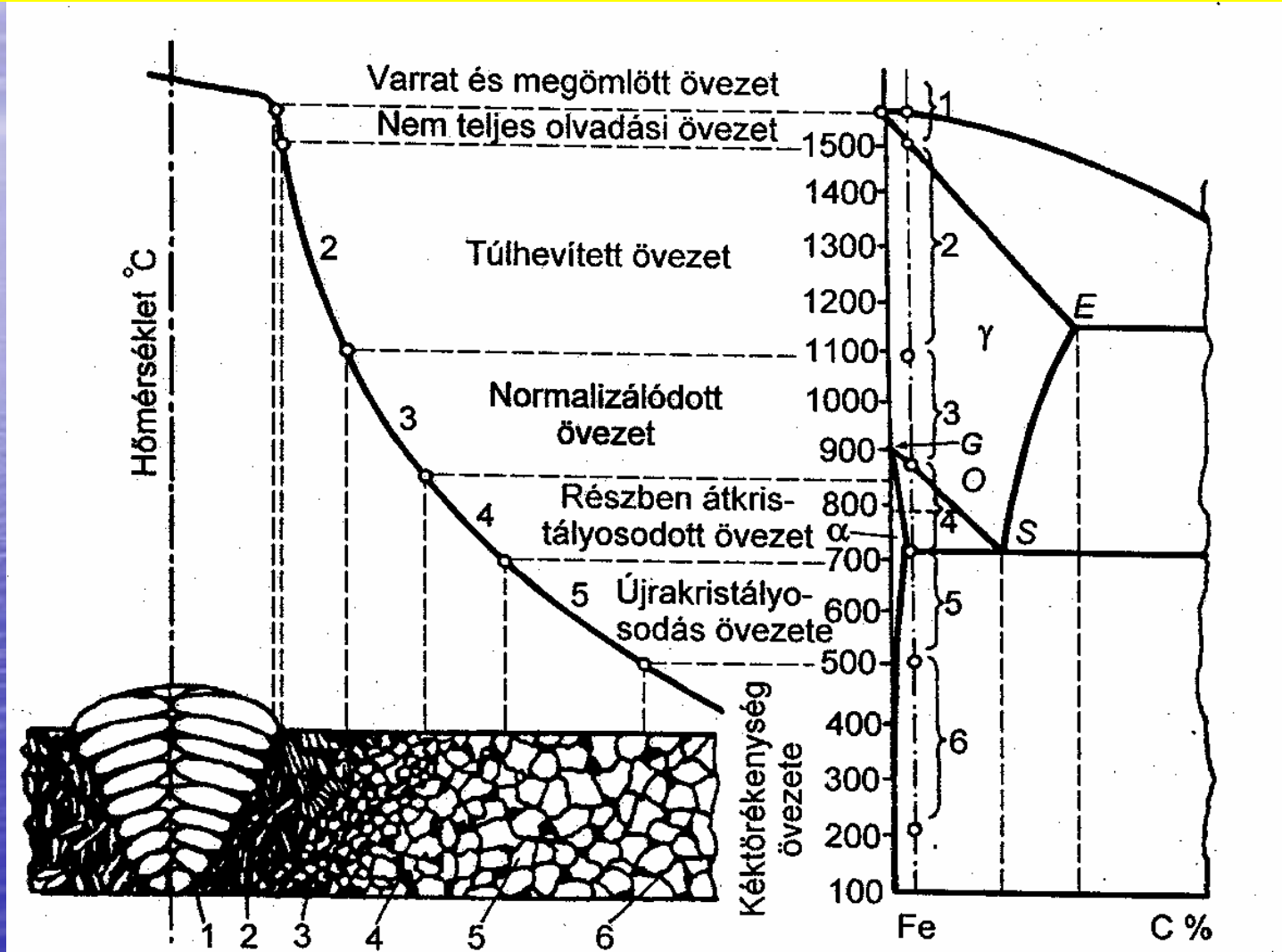
A gyakorlatban ez a helyzet a leggyakoribb, amikor is a hőforrás közelében 3 dimenziós a hővezetés, míg a hőforrástól távolabb 2 dimenziós eset van.



# A modellek alkalmazási lehetőségei

- A hőhatás övezet különböző zónáinak helye meghatározható, adott pontban a hőciklus felrajzolható, így ismert a maximális hőmérséklet, a kritikus hőmérséklet fölött eltöltött idő (ez például információ az ausztenitesítés mértékéről acéloknál) és adott hőmérsékleten a lehűlési sebesség. A zónák helyére jó példa az acélok példája:

# Vas-karbon ötvözetek esetében



# A hőhatás övezet zónái (Fe – C)

- **Varratfém övezete**

Jellemző rá a közös ömledék-fürdőből kristályosodott dendrites szerkezet.

- **Részleges olvadás övezete**

Az alapanyag részben megolvadt kristallitjaihoz kapcsolódnak az ionok, itt kezd kialakulni a fémes kötés.

- **Szemcsedurvulás övezete**

Ez a hőhatás övezet egyik kritikus zónája, az ausztenitre jellemző, hogy kb. 1100 °C és a szolidusz közötti hőközben irreverzibilisen eldurvul.

# További zónák (Fe – C ötvözetek)

- **Hőkezelés övezete**

Az A3 hőmérséklet és 1100 °C között ausztenitesedett zóna levegőn hűtve hőkezelődik, egy normalizálás játszódik le. Ez a zóna nem szenved káros változást.

- **Részleges hőkezelés övezete**

Csak részben ausztenitesedik a zónában az anyag, így a normalizálás is csak részben tud lejátszódni.



# További zónák (Fe – C ötvözetek)

- **Újrakristályosodás övezete**

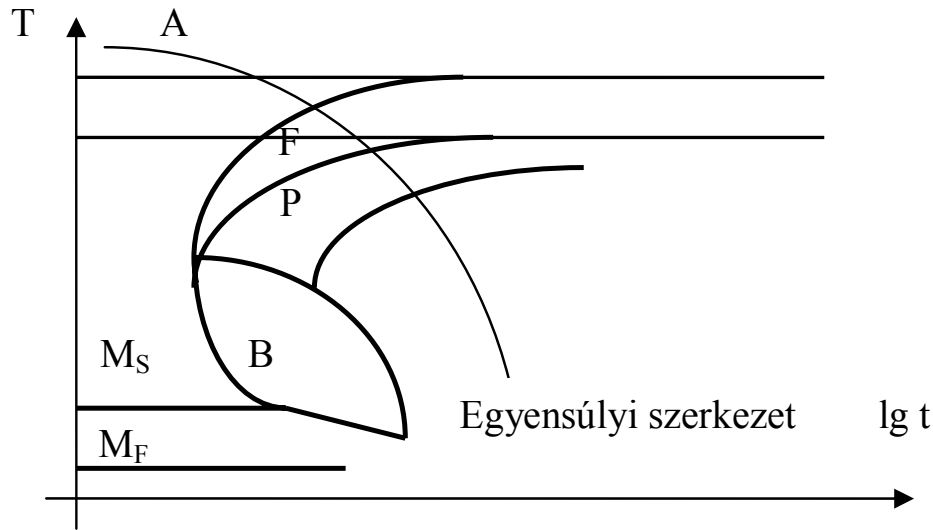
Az újrakristályosodás 500 °C és A1 között játszódik le. Kritikus hidegalakítás esetén lehet itt is szemcsedurvulás és ez a zóna is lehet kritikus.

- **Öregedés övezete**

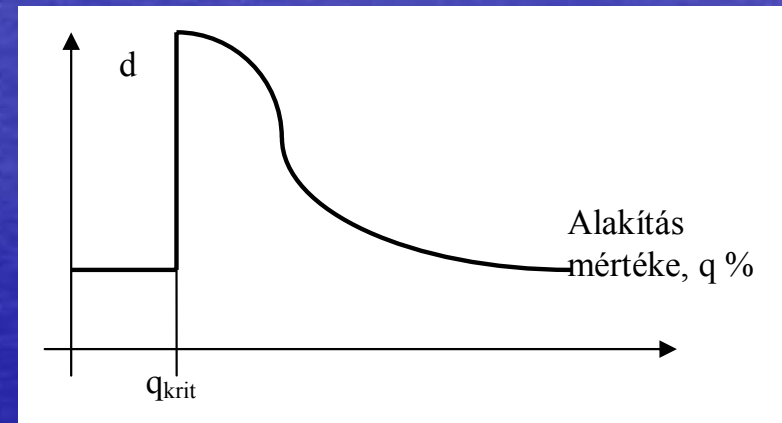
Az öregedést nitrid vegyületfázisok kiválása hozza létre, a kivált nitrid fázisok akadályozzák a diszlokációk mozgását ezáltal ridegítik a hőhatás övezetet. Az ütőmunka csökken, az átmeneti hőmérséklet nő.

# Hőkezelt zónák

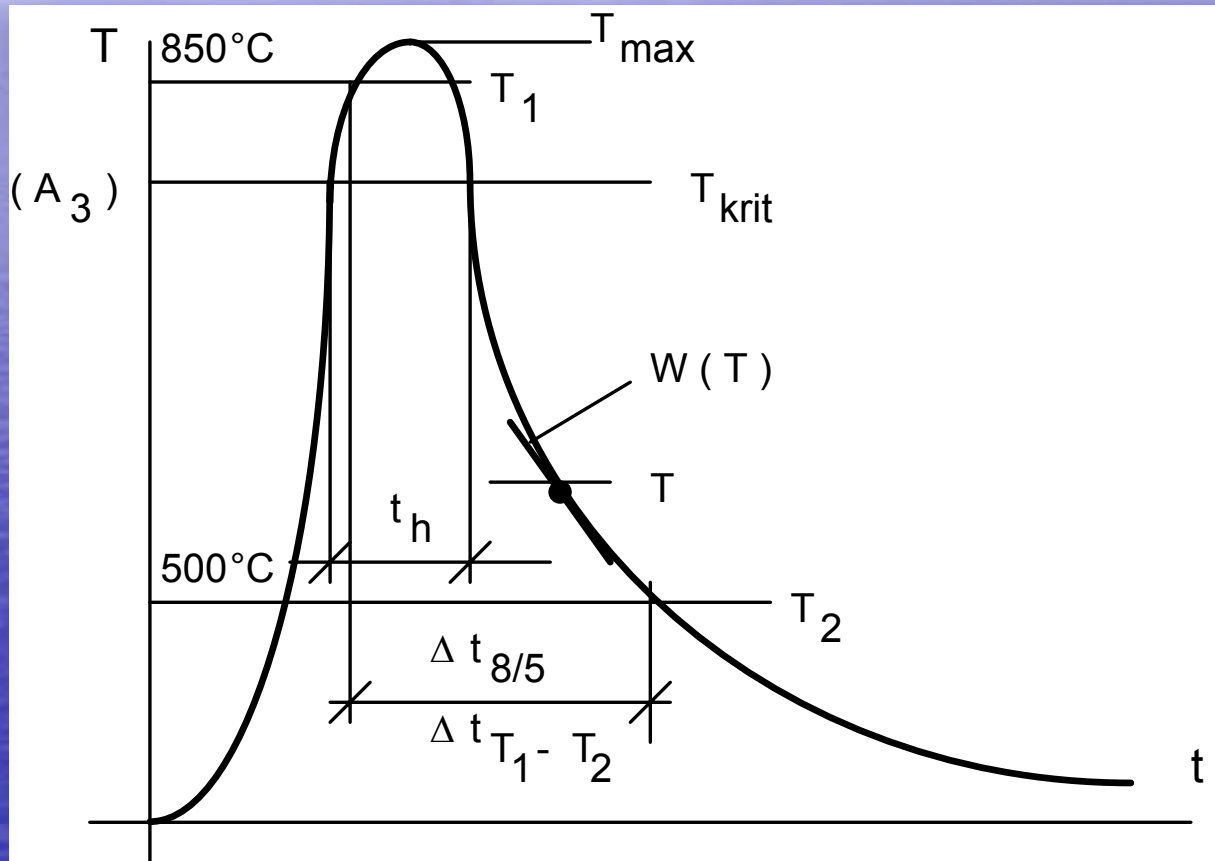
## NORMALIZÁLÁS



## ÚJRAKRISTÁLYOSODÁS



# Kritikus lehűlési idő



# Kritikus lehűlési idő

- *Háromdimenziós hőelvezetés (3D):*

$$\Delta t_{T_1-T_2} = \frac{(q/v)_{\text{eff}}}{2\pi\lambda} \left( \frac{1}{T_2 - T_0} - \frac{1}{T_1 - T_0} \right)$$

- *Kétdimenziós hőelvezetés (2D):*

$$\Delta t_{T_1-T_2} = \frac{(q/v)_{\text{eff}}^2}{4\pi\lambda\rho c s^2} \left( \frac{1}{(T_2 - T_0)^2} - \frac{1}{(T_1 - T_0)^2} \right)$$

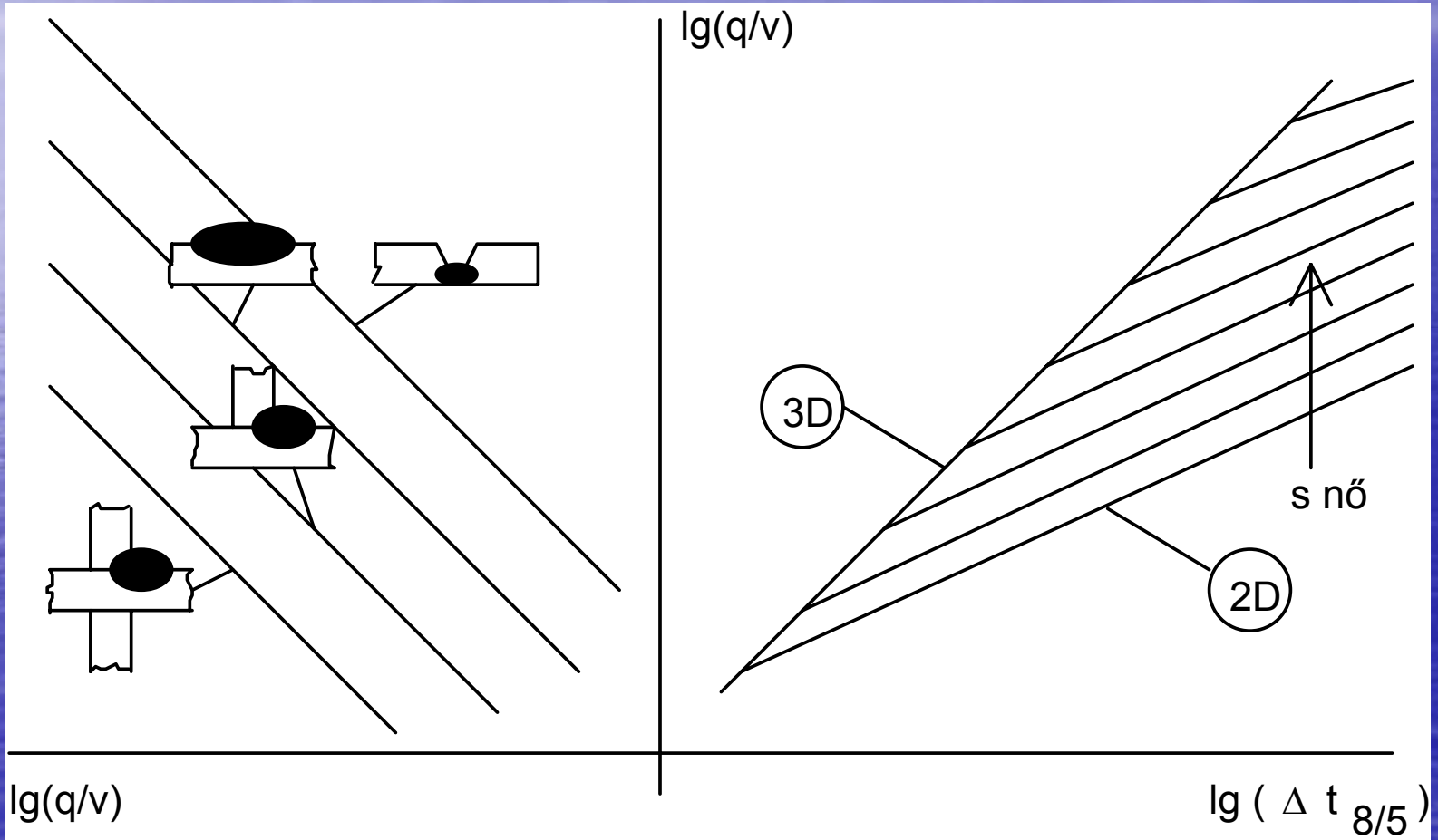
- **Kritikus lemezvastagság**      **Effektív hőbevitel**

$$s_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{(q/v)_{\text{eff}}}{2c\rho} \left( \frac{1}{T_1 - T_0} + \frac{1}{T_2 - T_0} \right)}$$

$$(q/v)_{\text{eff}} = \frac{U\eta_{\text{eff}}}{v_{\text{heg}}}$$



# Grafikus ábrázolás



# A hőtorlódás figyelembe vétele

- Az összefüggések hernyóvarratra vannak felírva, de használhatók más esetben is, egy egyszerű eltolással. Az eltolás a hőtorlódás figyelembe vételével történhet:

$\beta = 1,5$  aszimmetrikus varrat gyökére

$\beta = 2/3$  merőleges kötésekre

$\beta = 0,5$  kettős T-kötésekre

$$q/v = \frac{(q/v)_{hernyó}}{\beta}$$

# A lehűlési idő gyakorlati használata

- A „hidegrepedés-mentes” munkarend meghatározására alkalmazható a nomogram is és az összefüggések is.

