

Lézeres anyagmegmunkálás

2009. november 4.

Termodinamika - kinetika

- A **termodinamika** azt mondja meg, hogy egy termikusan indukált folyamat ***milyen valószínűséggel*** játszódik le.
- Azt, hogy a termodinamikai lehetőségek szabta kereteken belül a folyamat ***milyen mértékben*** zajlik le a **kinetika** határozza meg.

Az átalakulás mértékét az ún. **kinetikai hatással** (kinetic effect) szokás mérni.

Kinetikai hatás 1.

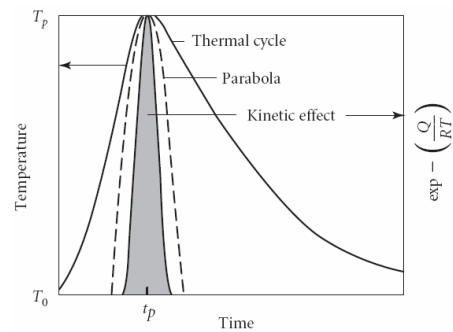
Általános esetben:

$$I = \int_0^{\infty} e^{-\frac{Q}{RT(t)}} dt$$

ahol Q : a folyamat aktivációs energiája
 R : az egyetemes gázállandó

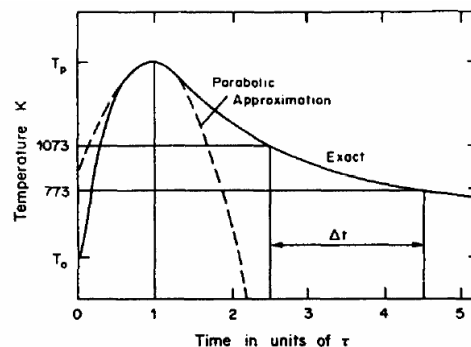
mivel a diffúzió a csúcshőmérséklet közelében a legjelentősebb így praktikus a kinetikai hatást ennek függvényében kifejezni:

$$I = \alpha t_p e^{-\frac{Q}{RT_p}}$$



Kinetikai hatás 2.

A csúcshőmérséklet közelében a $T(t)$ függvény jól közelíthető parabolával.



Ezzel a közelítéssel az α és t_p zárt analitikus formában kifejezhető:

pontszerű felszíni forrás $\alpha = \sqrt{\frac{2\pi RT_p}{Q}}$ $t_p = \frac{Aq}{v} \frac{1}{2\pi\lambda e} \frac{1}{T_p - T_0}$ e: a term. logaritmus alapszáma

vonalszerű mélységi forrás $\alpha = 2\sqrt{\frac{\pi RT_p}{Q}}$ $t_p = \left(\frac{Aq}{vd}\right)^2 \frac{1}{4\pi\lambda\rho c e} \frac{1}{(T_p - T_0)^2}$ d: a lemez vastagság

Kinetikai hatás 3.

Leggyakrabban azt szeretnénk, ha a változás leggyorsabban, vagy legnagyobb mértékben lejátszódna, ami ekvivalens azzal, hogy

$$T_p \approx T_m$$

Avagy

pontszerű
felszíni forrás

$$I = \sqrt{\frac{2\pi RT_m}{Q}} \frac{Aq}{v} \frac{1}{2\pi\lambda e} \frac{1}{T_m - T_0} e^{-\frac{Q}{RT_m}}$$

vonalszerű
mélységi forrás

$$I = 2 \sqrt{\frac{\pi RT_m}{Q}} \left(\frac{Aq}{vd}\right)^2 \frac{1}{4\pi\lambda\rho c e} \frac{1}{(T_m - T_0)^2} e^{-\frac{Q}{RT_m}}$$

pl. diffúzióra Q/RT_m az egyes anyagcsaládokra kb. állandó,
fémek: 15-20, kerámiák 22-27, gyémánt 31-36

J.C. Ion, K.E. Easterling and M.F. Ashby, Acta Metallurgica **32** (1984) 1949-1962

Egy konkrét probléma

Az előzőekben bemutatott általános grafikon testre szabható azáltal, hogy a konkrét rendszerre vonatkozó r_B , A , l , T_m , T_0 , T_p és a , valamint λ mennyiségek ismeretében transzformáljuk a grafikonunkat.

Ez esetben nyilván már q , v és l formájában kapjuk majd meg a megmunkálási paramétereiket.

Egy ilyen anyagspecifikus grafikon azonban legtöbbször csak a változások irányának és mértékének meghatározására elegendő, az anyagi jellemzők és azok hőmérsékletfüggése ismeretének hiánya nem teszi lehetővé pontos értékek számolását.

Ezt a problémát legegyszerűbben egy **kalibrációs pont** felvételével küszöbölhetjük ki. Ehhez pontosan ismert kísérleti körülmények között kísérletileg kell meghatároznunk a kiszemelt struktúrális változáshoz tartozó izotermát.

Kalibráció 1.

Tegyük fel, hogy ismert kísérleti körülmények között (\oplus) ismerjük a kinetikai hatást.

$$I^{\oplus} = \alpha^{\oplus} t_p^{\oplus} e^{-\frac{Q}{RT_p^{\oplus}}}$$

Ha egy másik kísérlet során vagyunk kíváncsiak a kinetikai hatásra:

$$I = \alpha t_p e^{-\frac{Q}{RT_p}}$$

$$\frac{I}{I^{\oplus}} = \frac{\alpha t_p}{\alpha^{\oplus} t_p^{\oplus}} e^{-\frac{Q}{R} \left(\frac{1}{T_p} - \frac{1}{T_p^{\oplus}} \right)}$$

Ez egy általános esetben érvényes összefüggés, mellyel I számítható.

Kalibráció 2.

Ha most még azt is feltételezzük, hogy mind a kalibráló, mind pedig az ismeretlen pontban közel vagyunk a megmunkált anyag olvadáspontjához:

$$T_p = T_p^{\oplus} \approx T_m$$

akkor

$$\frac{I}{I^{\oplus}} = \frac{\alpha t_p}{\alpha^{\oplus} t_p^{\oplus}}$$

Az α és t_p értékeit beírva pedig

pontforrásra
$$\frac{I}{I^{\oplus}} = \frac{qv^{\oplus}}{q^{\oplus}v}$$

vonalforrásra
$$\frac{I}{I^{\oplus}} = \left(\frac{qv^{\oplus}d^{\oplus}}{q^{\oplus}vd} \right)^2$$

Termikusan indukált folyamatok

- Diffúzió
- Szemcseméret növekedés (grain growth)
- Szinterelés (sintering)
- *Feldurvulás (particle coarsening)*

Diffúzió 1.

A cél: az anyag felszínébe szeretnénk diffundáltatni egy másik komponenst.
pl. szenezés (carburization), félvezetők adalékolása (doping)

$$l \approx \sqrt{Dt}$$
$$D = ke^{-\frac{Q}{RT}} \rightarrow l^2 = kte^{-\frac{Q}{RT}}$$

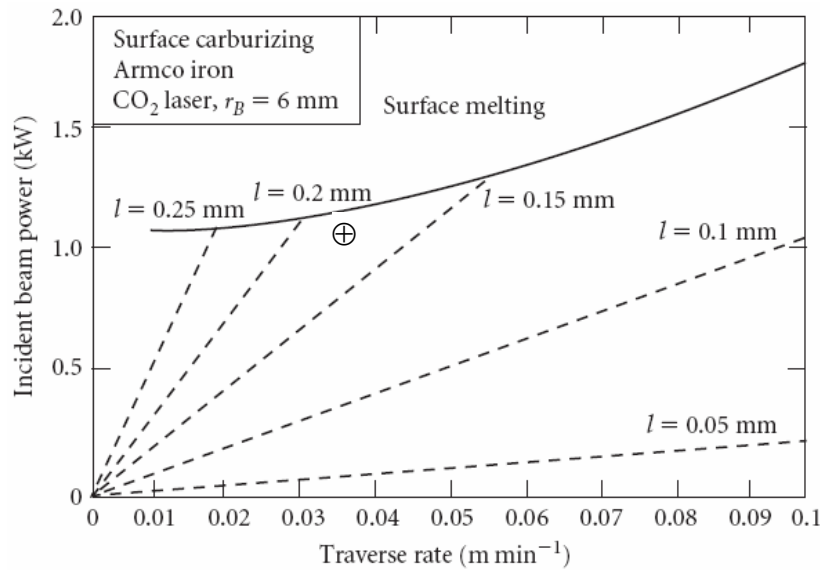
parabolikus közelítésben

$$l^2 = k\alpha t_p e^{-\frac{Q}{RT_p}}$$

Kalibrációs pont (\oplus) használatával pontforrásra:

$$\frac{l^2}{(l^\oplus)^2} = \frac{qv^\oplus}{q^\oplus v}$$

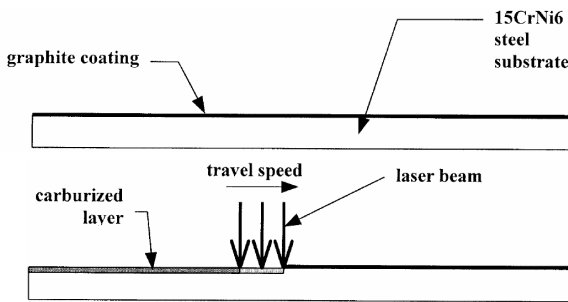
Diffúzió 2.



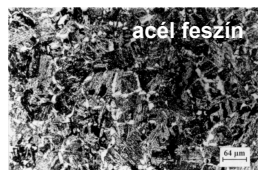
grafit diffúziója Armco acélba
 CO₂ lézer, 1,098kW, 0,036m·min⁻¹, $l^{\oplus}=0,17$ mm, $r_B=6$ mm

P. Canova and E. Ramous, Journal of Materials Science **21** (1986) 2143-2146

Szenítés (carburisation)

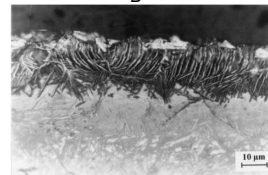


amikor szén diffundáltatunk az anyagba



15CrNi6 acél CO₂ lézer ($\lambda=10.6\mu\text{m}$)

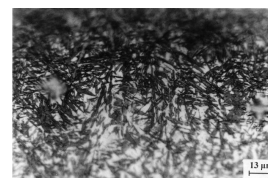
750W, $r_B=3.5$ mm



750W, $r_B=3.5$ mm



2800W, $r_B=3$ mm



szilárd fázisú diffúzió

olvasztás

Szemcseméret növekedés 1.

$$\frac{dg}{dt} = \frac{k}{g} e^{-\frac{Q}{RT}} \quad g: \text{szemcseméret}$$

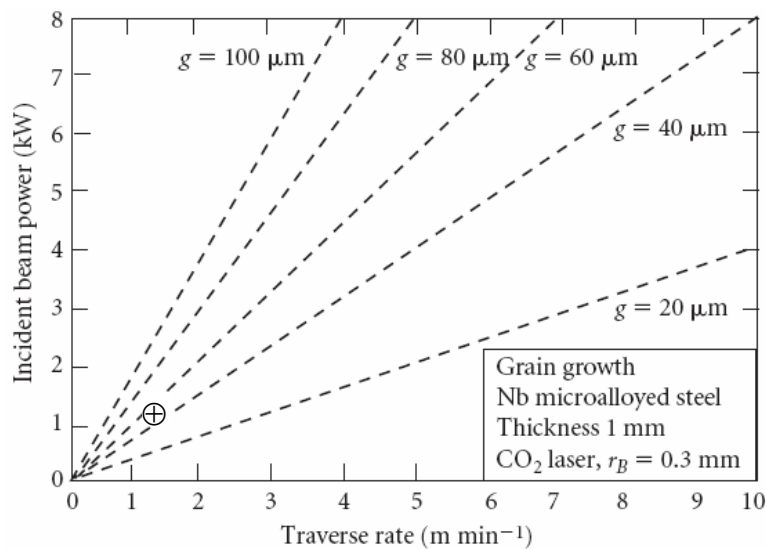
$$g dg = k e^{-\frac{Q}{RT}} dt$$

$$g^2 - g_0^2 = k'te^{-\frac{Q}{RT}} \quad g_0: \text{kezdeti szemcseméret}$$

vonalforrásra

$$\frac{g^2 - g_0^2}{(g^\oplus)^2 - (g_0^\oplus)^2} = \left(\frac{qv^\oplus d^\oplus}{q^\oplus vd} \right)^2$$

Szemcseméret növekedés 2.



ausztenit szemcsék növekedése Nb-mal ötvözött acélban,
CO₂ lézer, 1kW, 1,2m·min⁻¹, d=1mm, r_B=0,3mm, g[⊕]=41μm

Szinterelés (sintering)

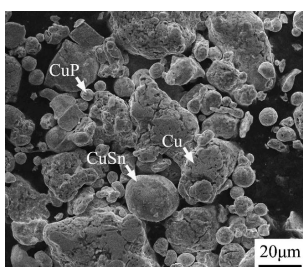
A szinterelés hajtóereje a finom porszemcsék nagy felületi energiája. Amikor egy port a szemcséket alkotó anyag olvadáspontjának kb. 2/3-ra melegítik, akkor a megnövekedett diffúziósebesség révén a szemcsék „összeolvadnak” (necking), melynek során a rendszer összfelülete csökken, s egyszersmind tömörödik is az anyag.

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{k}{p^n} e^{-\frac{Q}{RT}}$$

ρ : a sűrűség
 p : szemcseméret
 n : konstans (ált. 3 körüli érték)
 Q : a szinterelés (~ szemcsehatár diffúzió) aktivációs energiája

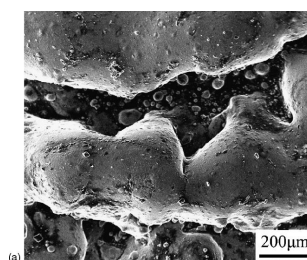
Szinterelés

előtte

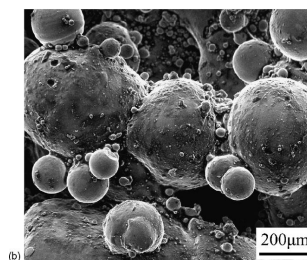


több komponensű
Cu-ötvözet por lézeres
szinterelése

utána

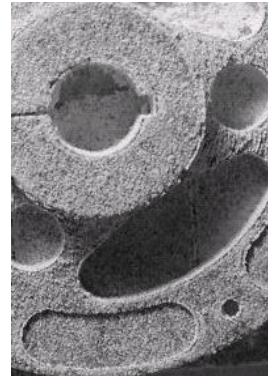
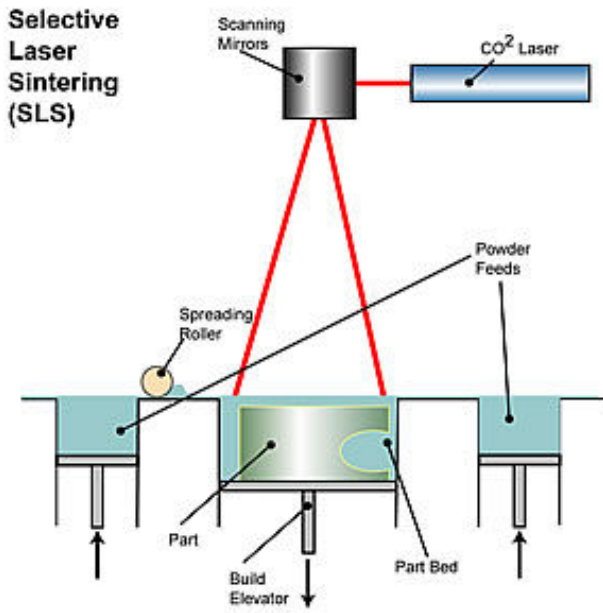


40mm/s

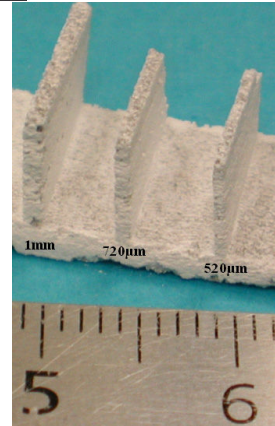


60mm/s

Szelektív lézeres szinterelés (SLS)

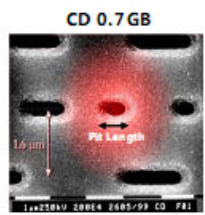


zirconia, ZrO₂



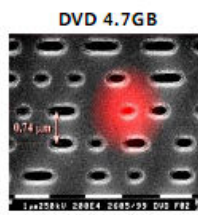
http://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering
<http://www.3dsystems.com/products/sls/index.asp>

Optikai adattárolás



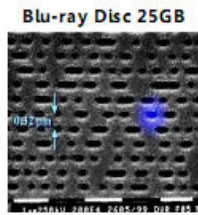
CD 0.7GB
 Track Pitch: 1,6 µm
 Minimum Pit Length: 0,8 µm
 Storage Density: 0,41Gb/in²

780nm



DVD 4.7GB
 Track Pitch: 0,74 µm
 Minimum Pit Length: 0,4 µm
 Storage Density: 2,77Gb/in²

650nm

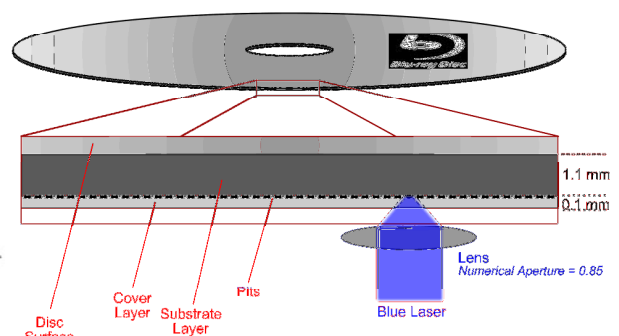
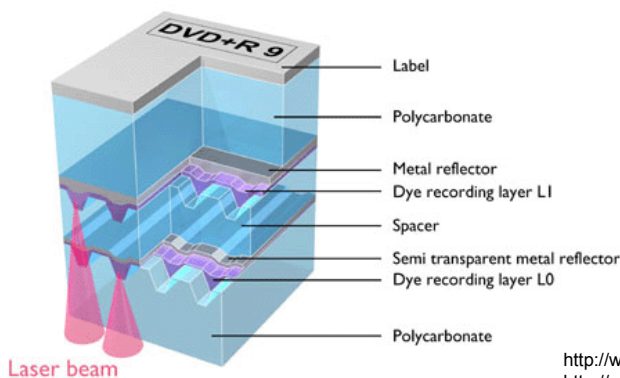


Blu-ray Disc 25GB
 Track Pitch: 0,32 µm
 Minimum Pit Length: 0,15 µm
 Storage Density: 14,73Gb/in²

450nm

DVD-Recordable Disc Structure

- PRINTABLE SURFACE
- DUMMY SUBSTRATE
- ADHESIVE LAYER
- PROTECTIVE LAYER
- SILVER REFLECTIVE LAYER
- METAL AZO RECORDING LAYER
- POLYCARBONATE SUBSTRATE

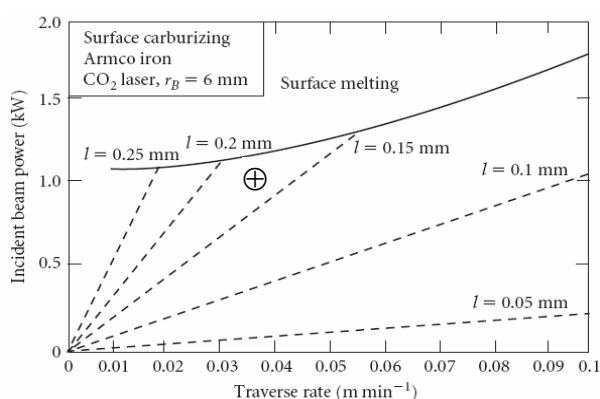


<http://www.people.cornell.edu/pages/h1336/blu-ray.htm>
<http://www.computeroutlook.com/forums/index.php?showtopic=358&mode=threaded>

Feladatok

- 1) Mérésekkel azt találták, hogy egy ARMCO® vas felszínébe a szén 0,17mm mélységben diffundáltható be, ha a mintán lévő grafit bevonatot egy CO₂ lézer 6mm sugarú, 1098 W-os nyalábjával világítjuk meg, miközben a mintát 0,036m·min⁻¹ sebességgel mozgatjuk a nyugvó lézernyalábjához viszonyítva. Számolja ki, hogy milyen karakterisztikus mélységig diffundál a szén a vasba, ha a nyalábteljesítményt 528 W-re csökkentjük, a mozgatás sebességét pedig 0,050m·min⁻¹-ra növeljük!

1. feladat



P. Canova and E. Ramous, Journal of Materials Science 21 (1986) 2143-2146

Kalibrációs pont (⊕) használatával:

$$\frac{l^2}{(l^\oplus)^2} = \frac{qv^\oplus}{q^\oplus v}$$

$$l = \sqrt{\frac{qv^\oplus}{q^\oplus v} (l^\oplus)^2} = \sqrt{\frac{528W \cdot 0.036m \cdot \text{min}^{-1}}{1098W \cdot 0.050m \cdot \text{min}^{-1}} (0.17mm)^2} = \underline{\underline{0.100mm}}$$

$$\lambda = 32.5Wm^{-1}$$

$$a = 7.5 \times 10^{-6} m^2 s^{-1}$$

$$T_m = 1810K$$

$$T_0 = 298K$$

A feladat szövege szerint:

$$l^\oplus = 0.17mm \quad l = ?$$

$$q^\oplus = 1098W \quad q = 528W$$

$$v^\oplus = 0.036m \cdot \text{min}^{-1} \quad v = 0.050m \cdot \text{min}^{-1}$$