

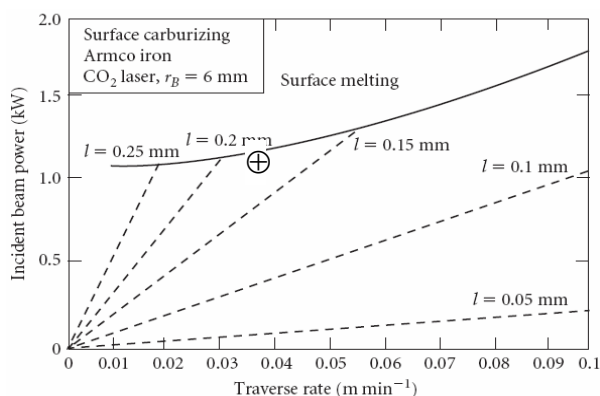
# Lézeres anyagmegmunkálás

2009. december 9.

## 0. feladat

- 0) Mérésekkel azt találták, hogy egy ARMCO® vas felszínébe a szén  $0,17\text{mm}$  mélységben diffundáltatható be, ha a mintán lévő grafit bevonatot egy  $\text{CO}_2$  lézer  $6\text{mm}$  sugarú,  $1098\text{ W}$ -os nyalábjával világítjuk meg, miközben a mintát  $0,036\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  sebességgel mozgatjuk a nyugvó lézernyalábhoz viszonyítva. Számolja ki, hogy milyen karakterisztikus mélységig diffundál a szén a vasba, ha a nyalábteljesítményt  $528\text{ W}$ -re csökkentjük, a mozgatás sebességét pedig  $0,050\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ -ra növeljük!

# 0. feladat, folyt.



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

$$\lambda = 32.5 \text{ W m}^{-1}$$

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

$$T_m = 1810 \text{ K}$$

$$T_0 = 298 \text{ K}$$

A feladat szövege szerint:

$$l^\oplus = 0.17 \text{ mm} \quad l = ?$$

$$q^\oplus = 1098 \text{ W} \quad q = 528 \text{ W}$$

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

Kalibrációs pont ( $\oplus$ ) használatával:

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

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

# 1. feladat

1) Egy folytonos üzemű lézer, homogén intenzitáseloszlású kör alakú nyalábjával világítjuk meg C tartalmú acél, egy műanyag és beton felszínét. Feltételezve, hogy a különböző minták abszorpciója megegyezik és a mintákat nem olvasztjuk melyik mintában lesz megmagasabb a kezelés eredményeként kialakuló egyensúlyi felületi hőmérséklet?

Az E2 táblázat szerint:

Stationary	Circular	Uniform	$T_{(0,0,0,t)} - T_0 = \frac{2Aq}{\pi^{3/2}\lambda r_B^2} (at)^{1/2}$	E2.3	(Bass, 1983a)
			$T_{(0,0,0,\infty)} - T_0 = \frac{Aq}{\pi\lambda r_B}$	E2.4	(Bass, 1983b)

azaz  $T_{\max}$  fordítottan arányos a hővezetőképességgel

# 1. feladat, folyt.

Material	Grade	Mechanical properties					Thermal properties					
		$\rho$ (kg m <sup>-3</sup> )	$E$ (GN m <sup>-2</sup> )	$\sigma_y$ (MN m <sup>-2</sup> )	$\sigma_{TS}$ (MN m <sup>-2</sup> )	$\varepsilon_f$ (%)	$\lambda$ (J s <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	$c_p$ (J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	$a$ (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> × 10 <sup>-6</sup> )	$T_g$ (K)	$T_m$ (K)	$\alpha$ (K <sup>-1</sup> × 10 <sup>-6</sup> )
Acrylic	Moulded	1150	3.1	74	69	6	0.20	1500	0.12	373	403	73
Epoxy	Cast	1120	3	80	90	3	0.17	1400	0.11	380	420	5
Melamine	Phenolic	1630	10.7	94	70	80	0.56	1700	0.20	–	360	4
Nylon	6	1130	3	79	100	70	0.23	700	0.29	340	480	94
Polyamide	Kevlar®	1450	110	120	3200	6.6	0.37	1100	0.23	553	1273	28
Polycarbonate		1200	2.38	62	66	80	0.19	1300	0.12	573	783	75
Polyetheretherketone		1330	4.5	99	110	37	0.25	2000	0.01	413	613	39
Polyethylene	Low density	920	0.18	20	13	600	0.25	2300	0.12	270	360	200
Polyethylene	High density	930	0.43	25	30	200	0.52	2300	0.24	300	383	200
Polymethylmethacrylate	Atactic	1190	3.18	80	76	5	0.20	1500	0.11	378	400	250
Polypropylene	Atactic	900	1	25	35	220	0.16	2100	0.01	253	310	62
Polystyrene	Amorphous	1050	3.1	40	50	2	0.13	1300	0.01	373	373	70
Polyurethane		1100	0.44	25	27	250	0.19	1500	0.12	–	358	280
Polyvinylchloride		1352	0.01	28	37	300	0.13	1800	0.05	350	370	150
Rubber	Polyisoprene	916	0.02	–	17	500	0.13	1905	0.07	220	350	660

Concrete		2400	30 <sup>+</sup>	400	40 <sup>+</sup>	0.10		3350	0.01	1600	12	
----------	--	------	-----------------	-----	-----------------	------	--	------	------	------	----	--

Material	Grade	Mechanical properties					Thermal properties							
		$\rho$ (kg m <sup>-3</sup> )	$E$ (GN m <sup>-2</sup> )	$\sigma_y$ (MN m <sup>-2</sup> )	$\sigma_{TS}$ (MN m <sup>-2</sup> )	$\varepsilon_f$ (%)	$\lambda$ (J s <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	$c_p$ (J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	$a$ (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> × 10 <sup>-6</sup> )	$T_m$ (K)	$T_v$ (K)	$L_m$ (kJ kg <sup>-1</sup> )	$L_v$ (MJ kg <sup>-1</sup> )	$\alpha$ (K <sup>-1</sup> × 10 <sup>-6</sup> )
Aluminium	CP	2704	71	50	200	43	238	1000	88	932	2740	388	10.79	23
Copper	CP	8930	117	75	400	45	375	471	112	1356	2868	205	4.79	17
Copper	Brass	8500	115	450	550	8	110	370	35	1300	1180	150	3.75	18
Copper	Bronze	8800	110	140	260	10	180	360	57	1300	2540	105	3.50	17
Gold	CP	19300	71	40	220	40	296	132	116	1340	3239	65	1.28	14
Iron	CP	7790	206	165	300	45	32.5	560	7.5	1810	3300	272	6.10	12
Iron	C-Mn	7764	210	300	460	35	30	420	9.2	1800	3100	270	6.05	15

A betonban alakul ki a legmagasabb felszíni hőmérséklet.

## 2. feladat

- 2) A szerkezeti változások termodinamikai folyamatai bizonyos esetekben olvadással, és/vagy elpárolgással járnak. Megfigyelték, hogy az  $L_o/T_{op}$ , illetve az  $L_p/T_{fp}$  hányadosok a legtöbb fémre és ötvözetre jó közelítéssel állandóak, s az utóbbi hányados az előbbinek kb. tízszerese. Mivel magyarázza a hányadosok állandóságát? Miből származhat a tízes szorzófaktor? Várhatóan fennáll-e hasonló összefüggés ezen mennyiségek között nemfémek esetében is? Válaszait indokolja!  
( $L_o$ : olvadáshő,  $T_{op}$ : olvadáspont,  $L_p$ : párolgáshő,  $T_{fp}$ : forráspont)

Néhány fém, illetve ötvözet esetén a releváns termikus adatok a következők:

	$T_{op}$ [K]	$T_{fp}$ [K]	$L_o$ [kJ kg <sup>-1</sup> ]	$L_f$ [MJ kg <sup>-1</sup> ]	$M$ [kg mol <sup>-1</sup> ]	$L_o \cdot M / T_{op}$	$L_f \cdot M / T_{fp}$
FCC	<b>Al</b>	932	2740	388	10.79	0.026982	11.23285
FCC	<b>Cu</b>	1356	2868	205	4.79	0.063546	9.606881
BCC	<b>Fe</b>	1810	3300	272	6.1	0.055847	8.392477
BCC	<b>304 acél</b>	1773	3300	280	6.2	0.055847	8.819605
FCC	<b>Ni</b>	1726	3005	302	6.38	0.058693	10.26957

$$\frac{L_o M}{T_{op}} \equiv \frac{\Delta H_{olvadas}}{T_{op}} \leftarrow \text{halmazállapotváltozást kísérő moláris entalpia-változások} \rightarrow \frac{\Delta H_{forras}}{T_{fp}} \equiv \frac{L_f M}{T_{fp}}$$

## 2. feladat, folyt.

Kvalitatív értelemben mindenképp igaz, hogy minél erősebb a kötés az anyag részecskéi között, annál magasabb az anyag fp-ja (op-ja) és párolgáshője (olvadáshője). Párolgás során a kondenzált fázisban kötött részecskéket szabaddá kell tennünk -> a koordinációs számtól függő mennyiségű kötést kell felszakítanunk. Ez a fémrácsok esetén 8 (BCC) vagy 12 (FCC, HCP), azaz kb. átlagosan 10 kötés.

Ezt fejezi ki az empirikus Trouton-féle szabály is:

$$\Delta S_{\text{forras}} = 10.5R \approx 87 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1} = \frac{\Delta H_{\text{forras}}}{T_{\text{fp}}} \quad \text{eredeti megfogalmazás}$$

$$\Delta S_{\text{forras}} = 4.5R + R \ln T_{\text{fp}} \approx 104 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad \text{fémekre alkalmasabb, pontosított alak}$$

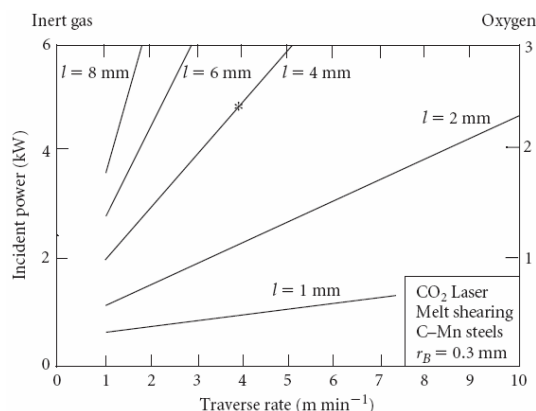
A Richard-féle szabály értelmében:

$$\Delta H_{\text{olvadas}} \approx RT_{\text{op}} = 8.3 \text{ Jmol}^{-1} \quad \text{pontossága kb. 30\%}$$

Szoros illeszkedésű rácsban kristályosodó, nem irányított kötésekkel jellemezhető anyagfajták (> ionrácsos szigetelők) várhatóan hasonlóan viselkednek, de a kevésbé kompakt (van der Waals), vagy irányított kötésű (kovalens) anyagok várhatóan eltérhetnek a fenti viselkedéstől.

## 3. feladat

3) C-Mn acélt vágunk lézerrel. Milyen hatással lesz a vágás sebességére, illetve a vágat minőségére, a) a nyálábteljesítmény növelése, b) ha oxigént használunk nitrogén segédgáz helyett, c) CO<sub>2</sub> lézer helyett Nd:YAG lézerrel dolgozunk?



- A nyálábteljesítmény növelése a maximális vágási sebesség arányos növelését eredményezi. Nagyobb sebességeken a vágatminőség jobb.
- Az oxigén gáz exoterm reakcióban hőt termel, ami kb. 2x nagyobb vágási sebességet tesz lehetővé. Ugyanakkor a vágatminőség romlik.
- A hullámhossz csökkentése szorosabb fókuszálást és a lézerfény jobb hasznosulását teszi lehetővé. Ezek révén a vágási sebesség – a vágatminőség romlása nélkül – növelhető.

## 4. feladat

4) Milyen lézert javasolna a következő anyagok lézeres vágásához (tétélezze fel, hogy a fő cél a minél gyorsabb megmunkálás): a) C-Mn acél, b) polietilén, c) alumínium-oxid, d) kvarc, e) szilícium-karbiddal erősített titán ötvözet. Választását indokolja és röviden jellemezze a vágási mechanizmust!

- a) CO<sub>2</sub> lézer + oxigén (melt shearing)
- b) CO<sub>2</sub> lézer + levegő (melt shearing)
- c) Nd:YAG lézer (scribing + bending)
- d) CO<sub>2</sub> lézer (inert gas melt shearing)
- e) CO<sub>2</sub> lézer + levegő (O<sub>2</sub> vagy inert gáz kedvezőtlen lenne)

## 5. feladat

5) Milyen lézertípust választana citrusfélék alfanumerikus kódokkal történő jelölésére, ha garantálni szeretné hogy a gyümölcs húsát a kezelés során ne érje károsodás?

a héj vízben gazdag -> az abszorpció a távoli IR-ban nagy -> CO<sub>2</sub> lézer

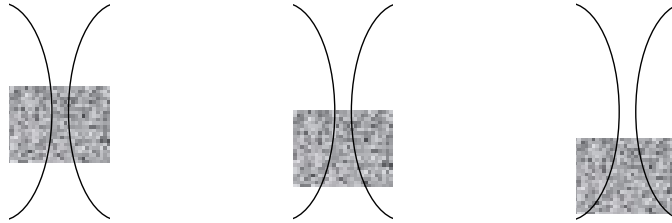
(a szöveg írására a flexibilisebb raszterelés tűnik praktikusnak)



„edible labelling”, light labelling

## 6. feladat

6) Megfigyelt tény, hogy lézeres hegesztés során a behatolási mélység növekszik/csökken, ha a lézer nyalábot kevésbé a minta síkja alá (azaz a mintába), illetve a fölé fókuszálják. Mivel magyarázza ezen jelenségeket?



Minta felszíne	alá	felszínre	fölé
Reflexió a keyhole-ban	+	0	-
Behatolási mélység	nő	0	csökken

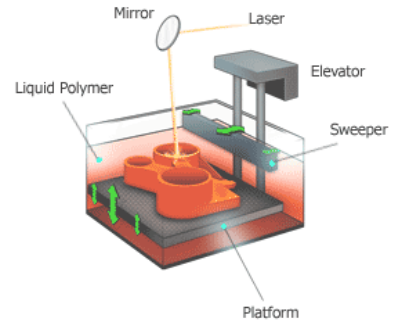
## 7. feladat

7) Egy autó karosszériáját, illetve erőátviteli elemeit lézerral szeretnék hegeszteni. A lézer tekintetében CO<sub>2</sub>, illetve Nd:YAG lézer jöhet szóba, míg az optikai rendszer alapulhatna tükrös nyalábterelésen, vagy robotkarra szerelhető száloptikás rendszeren. Melyik feladatra, melyik lézert illetve optikát javasolná és miért?

	Karosszéria	Erőátvitel
<b>Lézer</b>	Nd:YAG	CO <sub>2</sub>
<b>Optika</b>	száloptika	tükrös

# 8. feladat

8) A lézerek mely fajtája lehet leginkább alkalmas szterolitografiás alkalmazásoknál? Miért?



cw lézer kell, melynek sugárzási hullámhossza minél közelebb esik az UV-hoz.

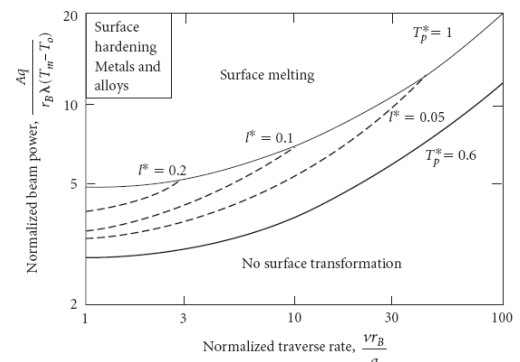
ilyen pl. a He-Cd lézer, vagy a Ar<sup>+</sup> lézer

	He-Cd	Ar <sup>+</sup>
$\lambda$ [nm]	325 és 442	488 és 515
$P_{\max}$ [W]	0,035	30

## További feladatok

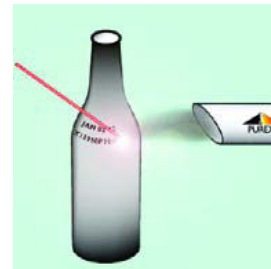
A) 2mm vastag titán lemezt vágunk egy 1kW-os lézer 0,3mm sugarú lézerfoktra gyűjtött nyalábjával. A vágási sebesség inert segédgáz alkalmazása esetén 2 m/perc. Becsülje meg, hogy mekkora teljesítményre lesz szükségünk, ha identikus körülmények között 1mm vastag Ni lemezt szeretnénk elvágni 5 m/perc sebességgel? Tételezze fel, hogy a vágási mechanizmus a két fém esetén megegyezik.

B) Egy közepes széntartalmú acél felületét szeretnénk felkeményíteni annak megolvastása nélkül. A Gauss intenzitáseloszlású nyalábunk átmérője 5 mm, teljesítménye 1kW. Milyen sebességtartományban kell végeznünk a megmunkálást? Tételezze fel, hogy a releváns anyagi paraméterek a következők:  $A=0.75$ ,  $T_0=298K$ ,  $T_{op}=1800K$ , hővezetőképesség  $30 W m^{-1} K^{-1}$ , hődiffúziós tényező  $9,2 \times 10^{-6} m^2 s^{-1}$

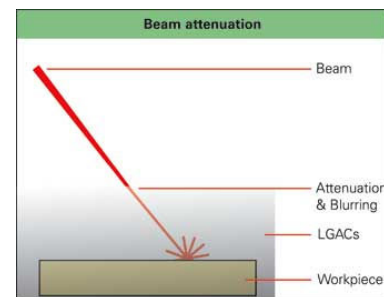
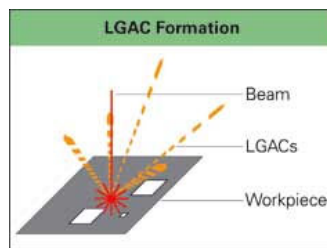


# Nem csak lézerből és optikából áll egy lézeres megmunkáló rendszer!

Hanem pl.

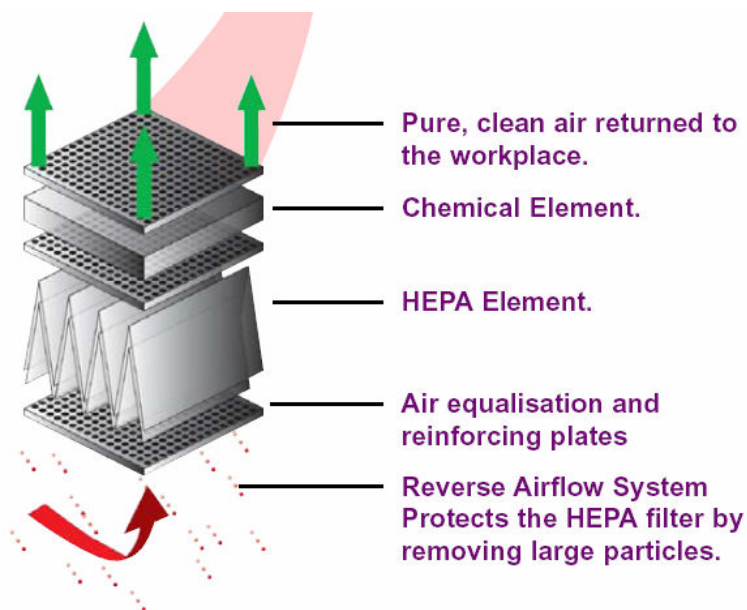
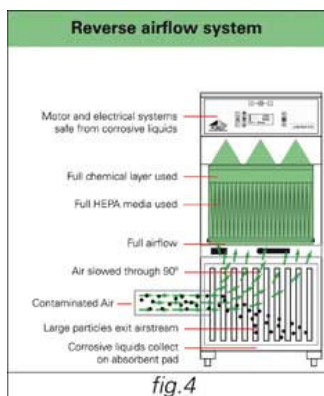


... hatékony elszívásból is!



LGCA = Laser Generated Airbourne Contamination

## A szűrőrendszer



HEPA = High-Efficiency Particulate Air



***Jó tanulást!***