

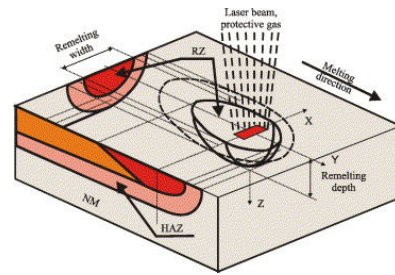
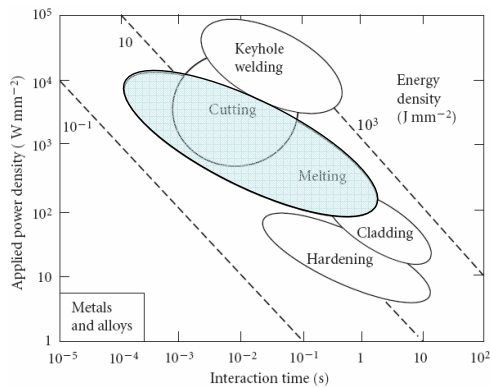
A lézeres anyagmegmunkálás

2009. november 18.

A lézeres anyagmegmunkálás fajtái

- Szerkezeti változás (*structural change*)
- Felületkeményítés (*hardening*)
- Deformáció és törés (*deformation and fracture*)
- Felszíni olvasztás (*surface melting*)
- Bevonatolás (*cladding*)
- Keveréses kötés (*conduction joining*)
- Vágás (*cutting*)
- Jelölés (*marking*)
- Hegesztés (*keyhole welding*)
- Termikus megmunkálás (*thermal machining*)
- Atermális megmunkálás (*athermal processing*)

Felszíni olvasztás



NM: native material; HAZ: heat-affected zone; RZ: remelted zone

Jellemzők:

mm nagyságrendjébe eső olvasztási mélység esetén

- nyaláb kölcsönhatási idő (10^{-4} -1s)
- teljesítménysűrűség néhányszor 10 - 10^4 Wmm^{-2}
- cw kW CO_2 , Nd:YAG és dióda lézerek (10^5 $K s^{-1}$)

szub- μm -es mélységek és kis kezelt felületek esetén

- impulzusüzemű rubin, Nd:YAG és excimer lézerek (10^9 $K s^{-1}$)

Kevésbé elterjedt (kevésbé ismert; sok hagyományos vetélytárs)

Módozatok

Felszíni olvasztás, újraolvasztás (*melting, remelting*)

Felszíni ötvözés (*surface alloying*) \longrightarrow homogén ötvözet

Részecskebelövés (*particle injection*) \longrightarrow részecskeerősített kompozit

Mindig a minta felszíni rétegének JELENTŐS megolvadásával jár!

A folyamat főbb lépései:

- fűtés

kis energia input

nagy fűtési sebesség: 10^5 Ks^{-1} (mm) 10^9 Ks^{-1} (μm)

- olvadék zóna (*melt pool*)

100 - 10^4 K/mm gradiens \rightarrow Marangoni-effektus

ez a domináns konvekciós mechanizmus

az olvadék ált. a szélek felé áramlik $\leftarrow \frac{d\alpha}{dT} < 0$

+ Prandtl-, Reynolds-, Péklet-, Marangoni- és Froude-számok

- hűlés és megszilárdulás

nagy hűlési sebesség: 10^3 Ks^{-1} (mm) 10^{11} Ks^{-1} (μm)

hőmérséklet gradiens: 10^4 - 10^6 $K m^{-1}$

a dermedési front nagy, $0,01$ - $0,1$ ms^{-1} sebességgel mozog

nemegyensúlyi folyamatok:

amorf üvegesedés, elsődleges kristályosodás,
polimorf kristályosodás, eutektikus kristályosodás

Dimenziómentes számok

Segítségükkel megbecsülhető, hogy a lézeres olvasztás során bizonyos folyamatok jelentősek-e, vagy elhanyagolhatóak.

hővezetés
hőáramlás Prandtl-szám: $Pr = \frac{\eta}{a}$ nagy Pr (pl. kerámiák, polimerek) ► ablációnál csekély termikus hat.
kis Pr (pl. fémek, 0.01-0.1) ► olvadékmaradványok

tehetetlenség
viszkozitás Reynolds-szám: $Re = \frac{lv\rho}{\eta}$ nagy v ► turbulens ► gázfelvétel ► felszín feldurvulhat

konvekció
hővezetés Péklet-szám: $Pe = \frac{vl}{a}$ ($= Pr \cdot Re$) nagy Pe ► kis olvadék mélység

Marangoni-szám: $Ma = \frac{\text{konvekció}}{\text{kondukcio}}$ nagy Ma ► homogénebb olvadék
szélesebb tartományon, de sekélyebb mélységben

tehetetlenség
gravitáció Froude-szám: $Fr = \frac{v^2}{gl}$ nagy Fr ► dominánsabb olvadék áramlás
► hullámosabb felszín

Előnyök:

- a felület integritása nagy (tömör, kis porozitású, összefüggő)
- jól tapad a hordozóhoz
- kis energiaigény → kevesebb torzulás, csökkent igény utókezelésre
- homogenizált felszíni réteg ami egyszersmind (ált.) keményebb is
- nemegyensúlyi folyamatok → finom mikroszerkezet, új fázisok
- a geometria és az összetétel pontosan szabályozható (pl. korrozióvédelem esetén kritikus)
- flexibilis
- könnyebb automatizáció

Hátrány:

- kb. egy nagyságrenddel nagyobb beruházást igényel
- limitált fedettség (többszörös pásztázás)

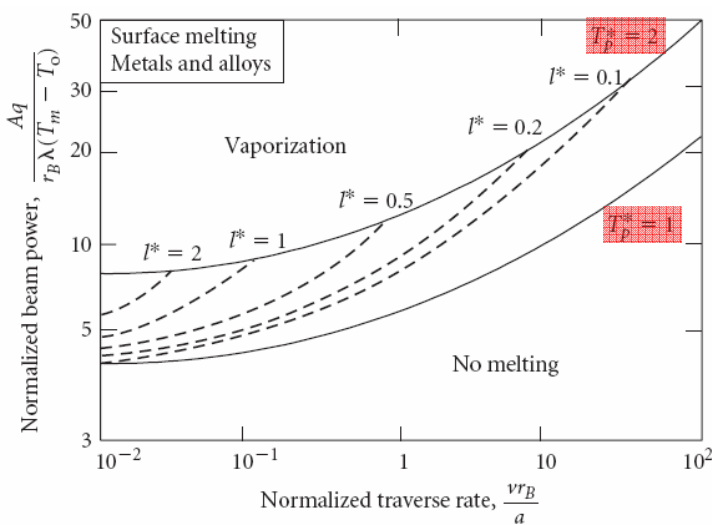
Alkalmas anyagok köre:

fémek és ötvözetek (amorfizálás, ötvözés, részecskebelövés)
kerámiák (pórusok lezárása)

Megmunkálási paraméterek:

inert gáz (oxidáció, szennyeződés elkerülésére)
növeli a hűlési sebességet, de repedések kialakulásához vezethet előfűtés (csökkenti a repedések kialakulását, növeli az abszorpciót)

Felszíni olvasztási grafikon 1.



$$(Aq)_{net} = Aq - 2r_B l_m v L_m$$

L_m : térfogatra vonatkoztatott olvadáshő
 l_m : olvadék mélység

dimenziómentés változókkal

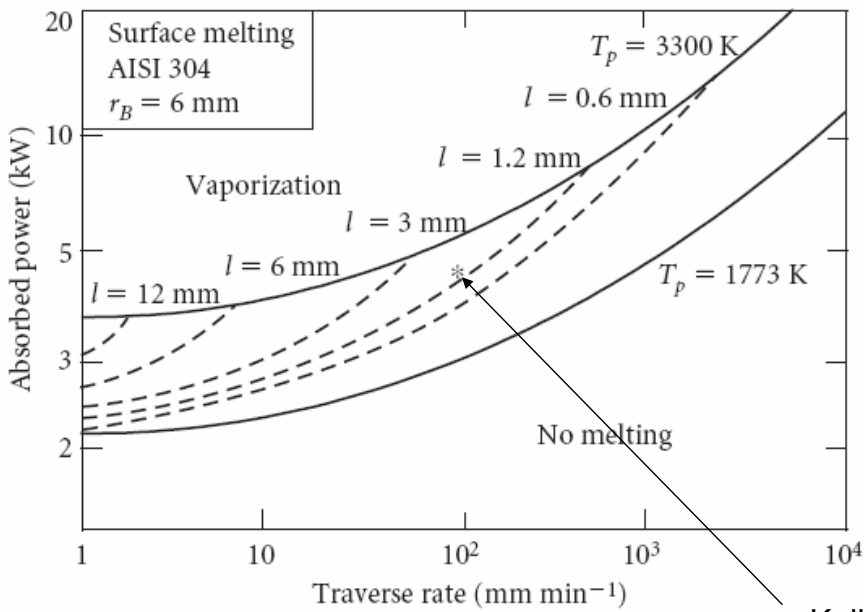
$$q_{net}^* = q^* - 2l_m^* v^* L_m^*$$

ahol

$$l_m^* = \frac{l_m}{r_B} \quad L_m^* = \frac{L_m}{\rho c (T_m - T_0)}$$

mutassák meg, hogy fémekre és ötvözetekre $L_m^* \approx 0.4$

Felszíni olvasztási grafikon 2.



$$\lambda = 25.5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$a = 7.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$T_v = 3300 \text{ K}$$

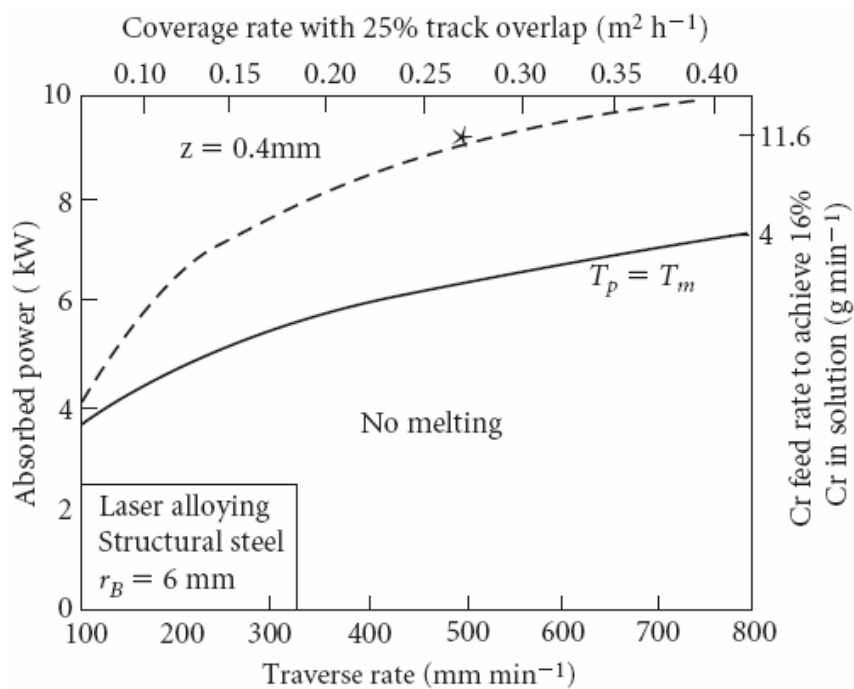
$$T_m = 1773 \text{ K}$$

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

Kalibrációs pont:

1,5mm mélység
100mm/perc
10kW lézerteljesítmény ($\rightarrow A=0,45$)

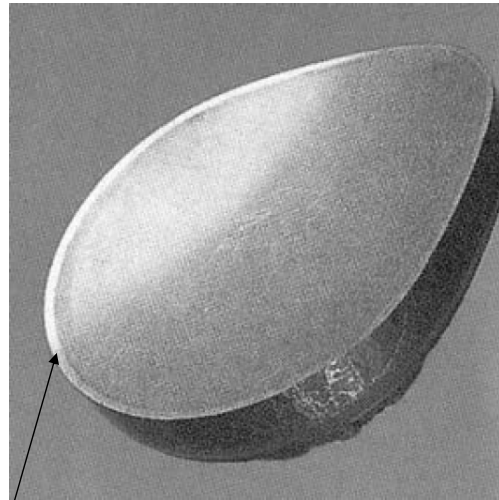
Felszíni ötvözési grafikon 1.



Ipari alkalmazás



vezérműtengelyek



vezérműtengely bütykeinek
lézeres kezelése

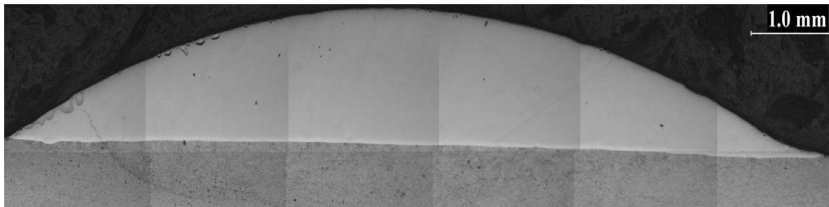
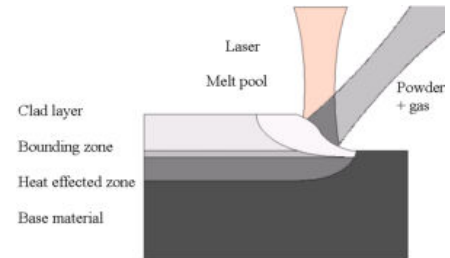
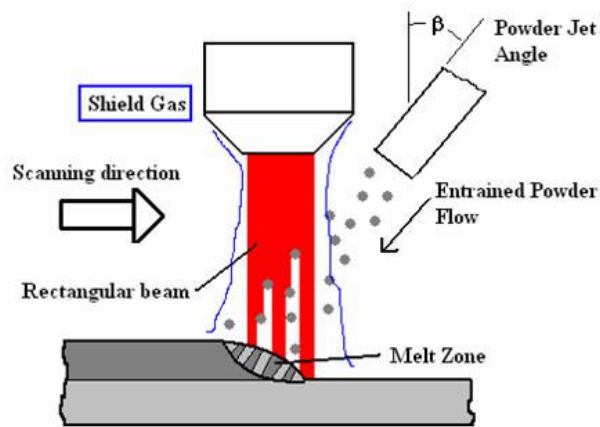
Lézerrel újraolvasztott terület (kb. 1mm)

A lézeres anyagmegmunkálás fajtái

- Szerkezeti változás (*structural change*)
- Felületkeményítés (*hardening*)
- Deformáció és törés (*deformation and fracture*)
- Felszíni olvasztás (*surface melting*)
- **Bevonatolás** (*cladding*)
- Keveréses kötés (*conduction joining*)
- Vágás (*cutting*)
- Jelölés (*marking*)
- Hegesztés (*keyhole welding*)
- Termikus megmunkálás (*thermal machining*)
- Atermális megmunkálás (*athermal processing*)

Bevonatolás

A cél egy felszíni bevonat előállításása mely során a minta felszínét csak csekély mértékben (kis mélységben) olvasztjuk meg!

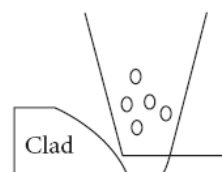
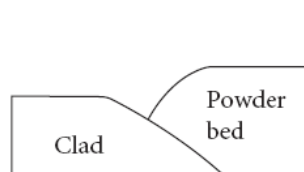
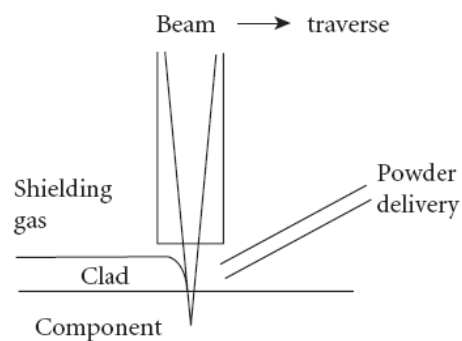
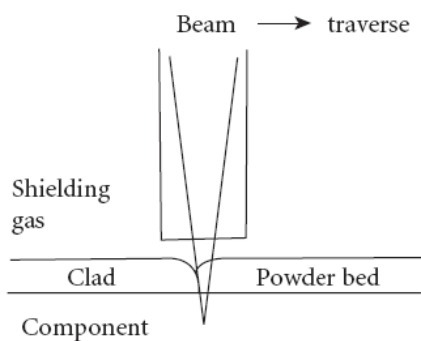


clad = védőbevonat

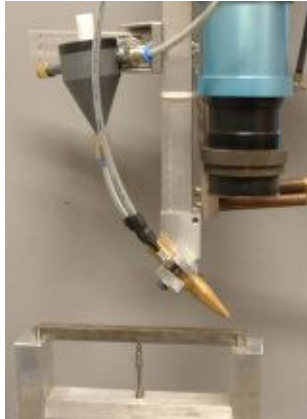
Egy lézerbevonatolt minta keresztmetszeti képe.

<http://meweb.ecn.purdue.edu/~clm/>

Főbb módok



Bevonatoló eszközök

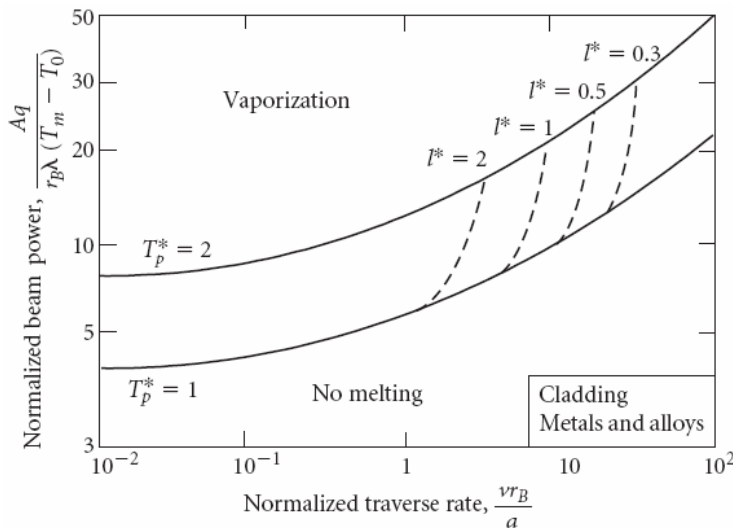


<http://www.wa.ctw.utwente.nl/research/laser/hofman.doc/index.html>



http://www.industrial-lasers.com/display_article/254873/39/ARCHI/none/Feat/Repairing-aero-engine-parts

Bevonatolási grafikon 1.



$$Aq = 2r_B l v [\rho c (T_m - T_0) + L_m]$$

L_m : térfogatra vonatkoztatott olvadáshő
 l : olvadék mélység

dimenziómentés változókkal

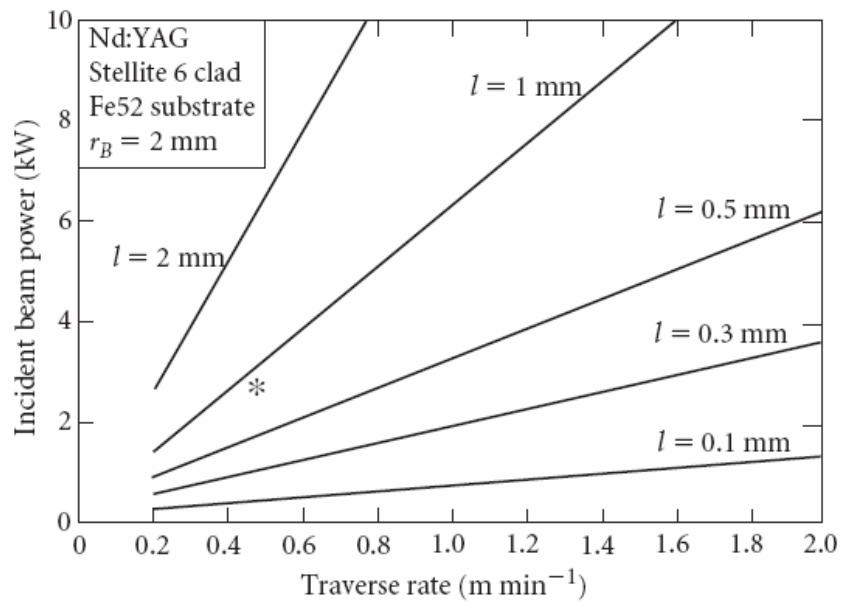
$$q^* = 2l^* v^* (1 + L_m^*)$$

ahol

$$q^* = \frac{Aq}{r_B \lambda (T_m - T_0)} \quad l^* = \frac{l}{r_B} \quad L_m^* = \frac{L_m}{\rho c (T_m - T_0)}$$

$$L_m^* \approx 0.4$$

Bevonatolási grafikon 2.



Bevonatolás



http://www.le-photonag.com/Coating_Cladding.296.0.html?&backUId=277&L=1

http://www.alutranscanada.com/techno_e.htm

http://www.laser-zentrum-hannover.de/de/kompetenzen/prozesstechnologie/rapid_prototyping.php

Ipari alkalmazások



Nagy nyomású turbinalapát, melynek élét lézeres bevonatolással készítették.

www.irishscientist.ie/p91.htm

manuálisan javított

lézerrel javított



www.moldmakingtechnology.com/articles/040506.html

http://www.ccl.fraunhofer.org/working_areas/technologies/technology_03/cladding/e_cladding.php