

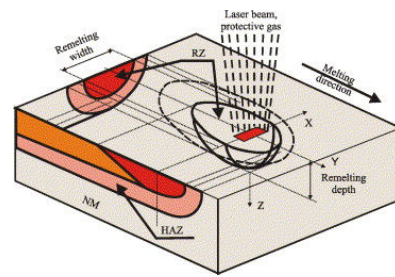
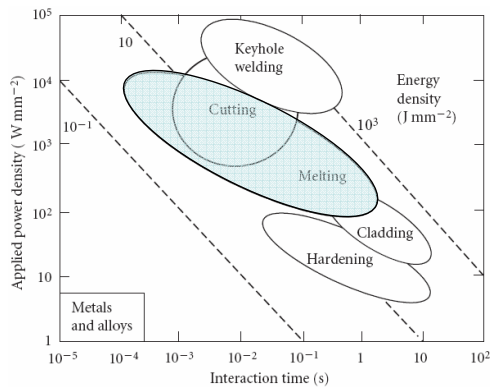
# A lézeres anyagmegmunkálás

2010. november 24.

## 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  $10$ - $10^4$   $\text{Wmm}^{-2}$
- cw kW  $\text{CO}_2$ , Nd:YAG és dióda lézerek ( $10^5$   $\text{K s}^{-1}$ )

szub- $\mu\text{m}$ -es mélységek és kis kezelt felületek esetén

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

**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:  $10^5$   $\text{Ks}^{-1}$  (mm)  $10^9$   $\text{Ks}^{-1}$  ( $\mu\text{m}$ )
- olvadék zóna (*melt pool*)
  - $100$ - $10^4$   $\text{K/mm}$  gradiens  $\rightarrow$  Marangoni-effektus
  - ez a domináns konvekciós mechanizmus
  - az olvadék ált. a szélek felé áramlik  $\leftarrow \frac{d\alpha}{dT} < 0$
- hűlés és megszilárdulás
  - nagy hűlési sebesség:  $10^3$   $\text{Ks}^{-1}$  (mm)  $10^{11}$   $\text{Ks}^{-1}$  ( $\mu\text{m}$ )
  - hőmérséklet gradiens:  $10^4$ - $10^6$   $\text{K m}^{-1}$
  - a dermedési front nagy,  $0,01$ - $0,1$   $\text{ms}^{-1}$  sebességgel mozog
  - nemegyensúlyi folyamatok:
    - amorf üvegesedés, elsődleges kristályosodás,
    - polimorf kristályosodás, eutektikus kristályosodás

**Alkalmas anyagok köre:**

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

**Megmunkálási paraméterek:**

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

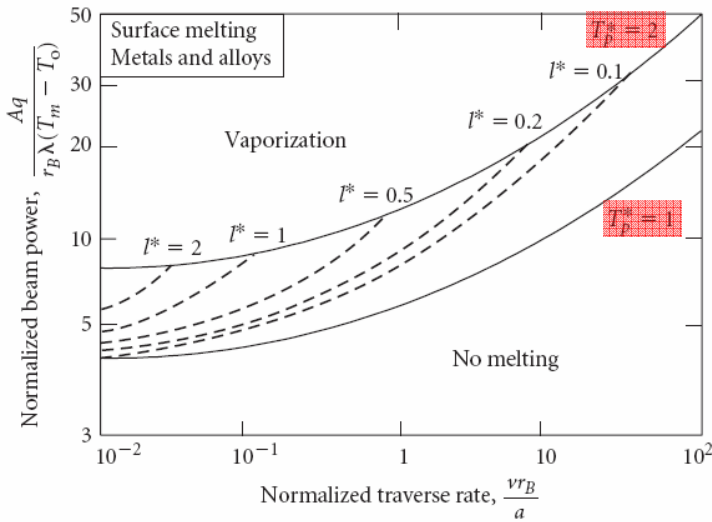
**Előnyök:**

- a felület integritása nagy (tömör, kis porozitású, összefüggő)
- jól tapad a hordozóhoz
- kis energiaigény → kevesebb torzulás, csökkent igény utókezelésre
- homogenizált felszíni réteg, ami (ált.) egyszersmind 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 mint a hagyományos eljárás.
- limitált fedettség (többszörös pásztázás)

# Felszíni olvasztási grafikon 1.



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

$L_m$ : térfogatra vonatkoztatott olvadáshő  
 $l_m$ : olvadék mélység

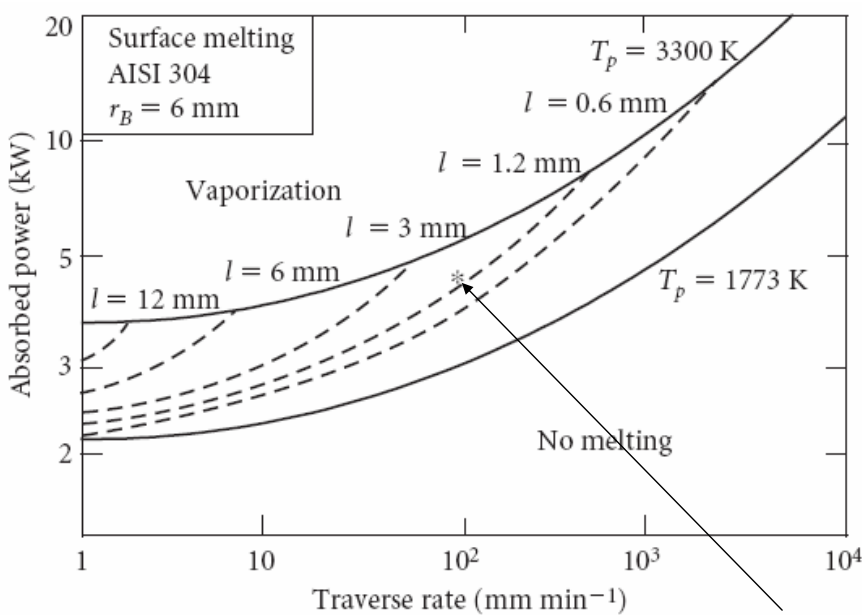
dimenziómentés változókkal

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

ahol

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

# Felszíni olvasztási grafikon 2.

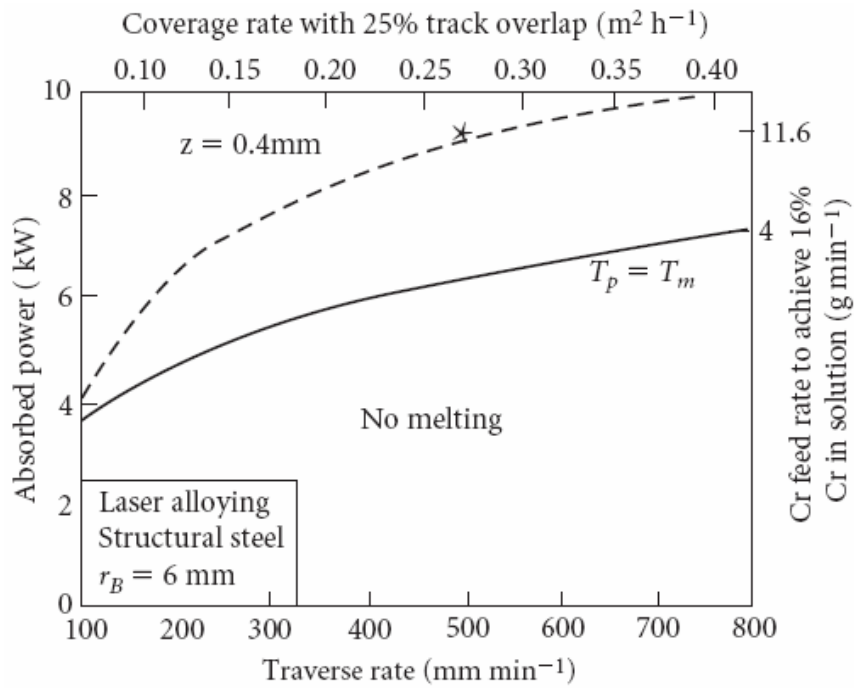


$\lambda = 25.5 W m^{-1} K^{-1}$   
 $a = 7.2 \times 10^{-6} m^2 s^{-1}$   
 $T_v = 3300 K$   
 $T_m = 1773 K$   
 $T_0 = 298 K$

Kalibrációs pont:

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

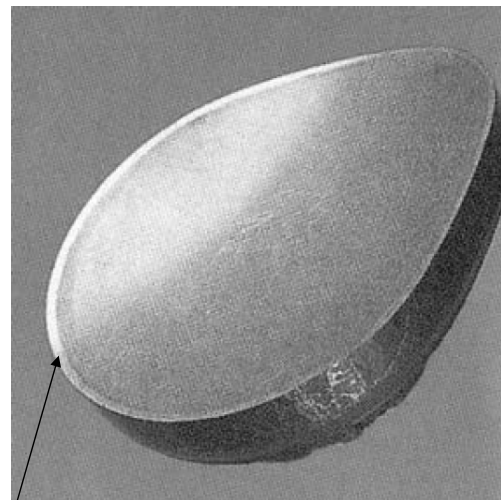
# Felszíni ötvözési grafikon 1.



## Ipari alkalmazás



vezérműtengelyek



vezérműtengely bütykeinek  
lézeres kezelése

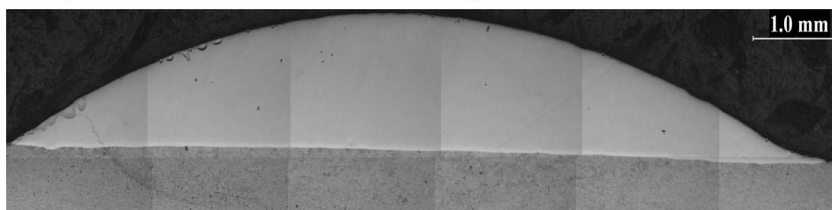
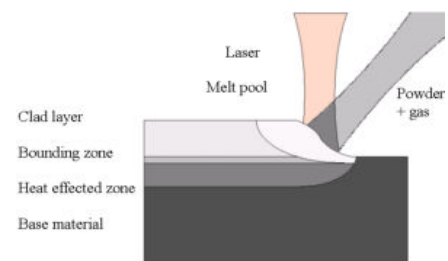
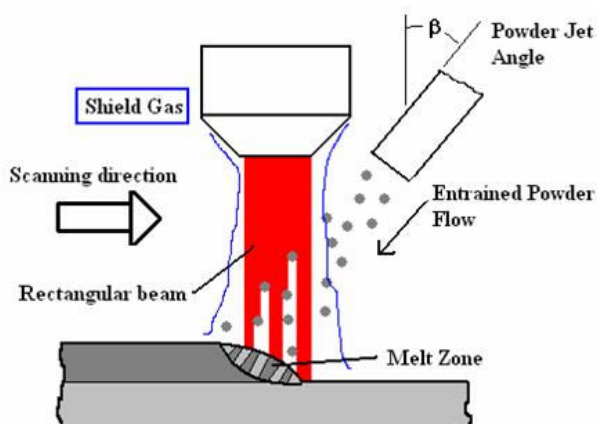
Lézerrel újraolvasztott terület (kb. 1mm)

# 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

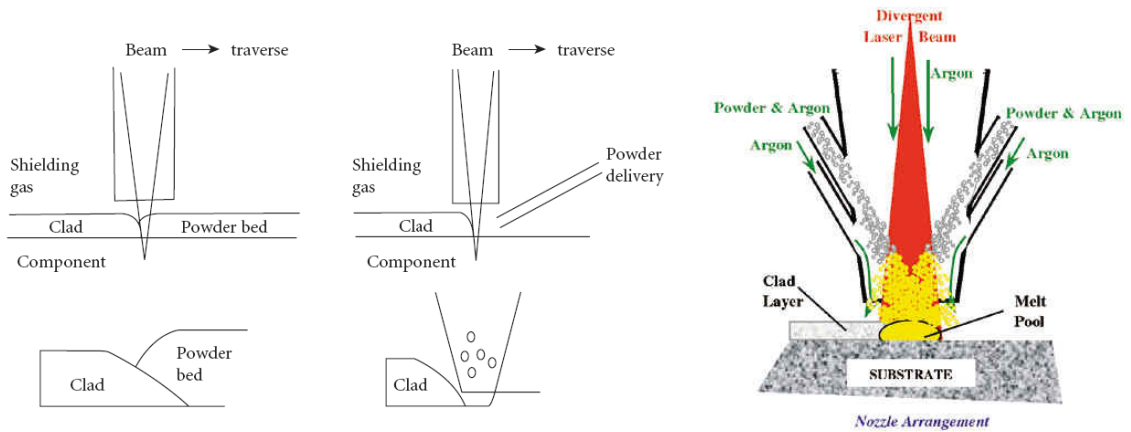
A cél egy felszíni bevonat előállítása mely során a minta felszínét csak csekély mértékben (kis mélységben) olvasztjuk meg!



Egy lézerbevonatolt minta keresztmetszeti képe.

clad = védőbevonat

# Főbb módok



# Bevonatoló eszközök

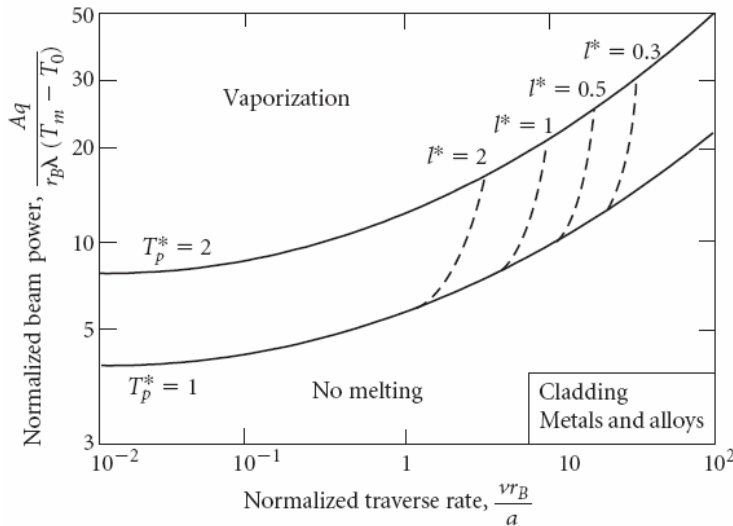


<http://www.wa.ctw.utwente.nl/research/laser/hofman.doc/index.html>



[http://www.industrial-lasers.com/display\\_article/254873/39/ARCHI/none/Feat/Repairing-aero-engine-parts](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

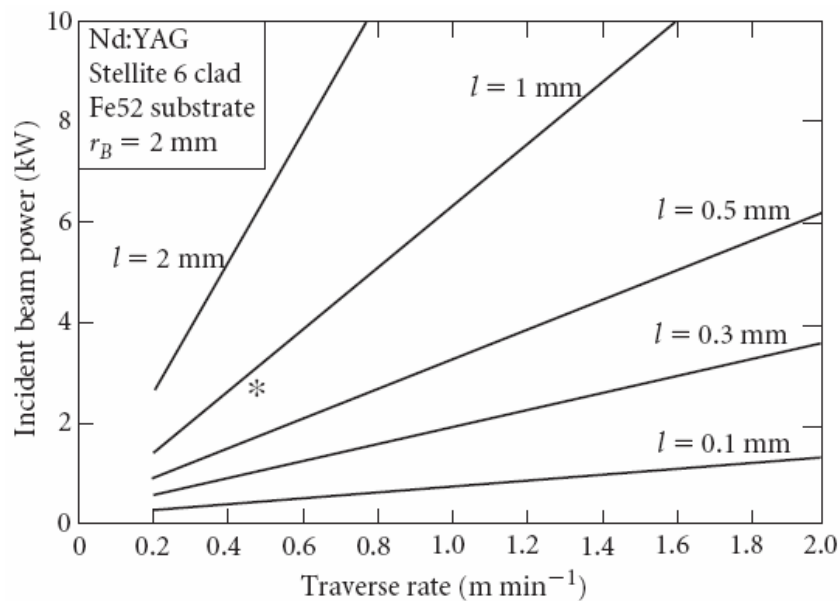
dimenziómentes változókkal

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

ahol

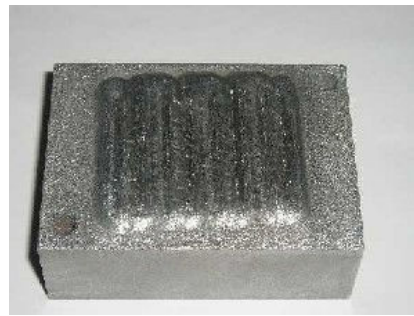
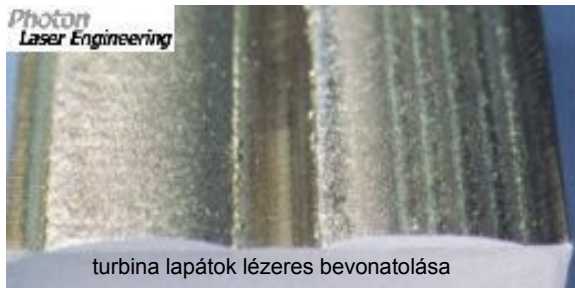
$$q^* = \frac{Aq}{r_B \lambda (T_m - T_0)} \quad l^* = \frac{l}{r_B} \quad L_m^* = \frac{L_m}{\rho c (T_m - T_0)}$$

# Bevonatolási grafikon 2.





# Bevonatolás



[http://www.le-photonag.com/Coating\\_Cladding.296.0.html?&backUid=277&L=1](http://www.le-photonag.com/Coating_Cladding.296.0.html?&backUid=277&L=1)

[http://www.alustranscanada.com/techno\\_e.htm](http://www.alustranscanada.com/techno_e.htm)

[http://www.laser-zentrum-hannover.de/de/kompetenzen/prozesstechnologie/rapid\\_prototyping.php](http://www.laser-zentrum-hannover.de/de/kompetenzen/prozesstechnologie/rapid_prototyping.php)

## Ipari alkalmazások



[www.irishscientist.ie/p91.htm](http://www.irishscientist.ie/p91.htm)

manuálisan javított

lézerrel javított



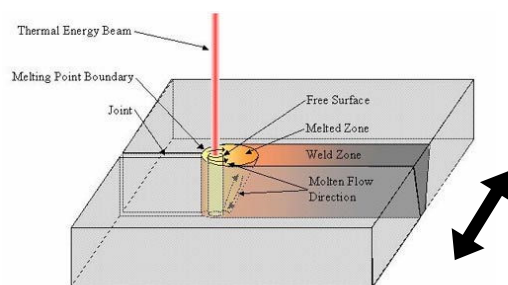
[http://www.ccl.fraunhofer.org/working\\_areas/technologies/technology\\_03/cladding/e\\_cladding.php](http://www.ccl.fraunhofer.org/working_areas/technologies/technology_03/cladding/e_cladding.php)

# 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*)

## Keveréses kötés

Alapja az összekötendő anyagok, vagy a kötőanyag megömlesztése (olvasztása) azok jelentősebb elpárolgatása nélkül.



### Jellemzők:

teljesítménysűrűség néhányszor  $10^3 \text{ Wmm}^{-2}$   
néhányzor 10W-os  $\text{CO}_2$ , Nd:YAG és dióda lézerek  
felszíni olvasztás és hegesztés KÖZÉ esik

# Típusai

## **Keveréses hegesztés** (*conduction welding*)

*direkt fűtés* (jó hővezető anyagoknál)

*közvetett fűtés* (átlátszó műanyagoknál)

ponthegesztés (impulzus üzemű lézerekkel)

folytonos hegesztés (átfedő imp., vagy folytonos lézerrel)

## **Forrasztás** (*soldering*)

filler (töltőanyag) op.-ja < 450°C (-Pb, Sn-Ag)

**nedvesítés!** (a folyasztószer (flux, vagy reflux) szerepe a nedvesítés elősegítése és az olvadt filler védelme)

direct reflux soldering (pretinned surface)

fluxless soldering (tisztább)

## **Kemény forrasztás** (*brazing*)

filler op.-ja > 450°C

erősebb kötés, mint a forrasztás

Al, Cu és Ag tartalmú filler

a keveréses hegesztés és a forrasztás tulajdonságait

egyaránt mutatja

a forrasztandó anyag solidus görbéje  
a filler liquidus görbéje felett fut, és a  
kettő között forrasztunk

## **Előnyök:**

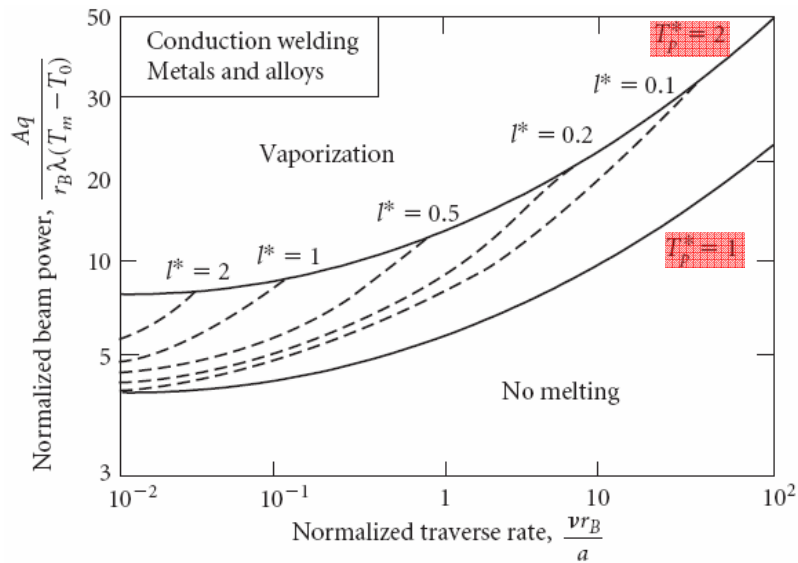
- gyors termikus ciklus → finom mikroszerkezetű kötés
- hegesztési varrat, ill. visszasilárdult filler tömör, kompakt → tömítő kötés
- kis energiaigény ► kevesebb torzulás, csökkent igény utókezelésre
- a kötés az összekötendő anyagok minőségétől függetlenül megvalósítható
- új (komplex) geometriák megvalósítására ad lehetőséget
- kis méret (mm alatti kötés) nem jelent problémát
- hőérzékeny komponensek közelében is alkalmazható (pl. forrasztás)
- könnyen automatizálható
- nem igényel különösebben jó minőségű lézernyalábot

## **Hátrány:**

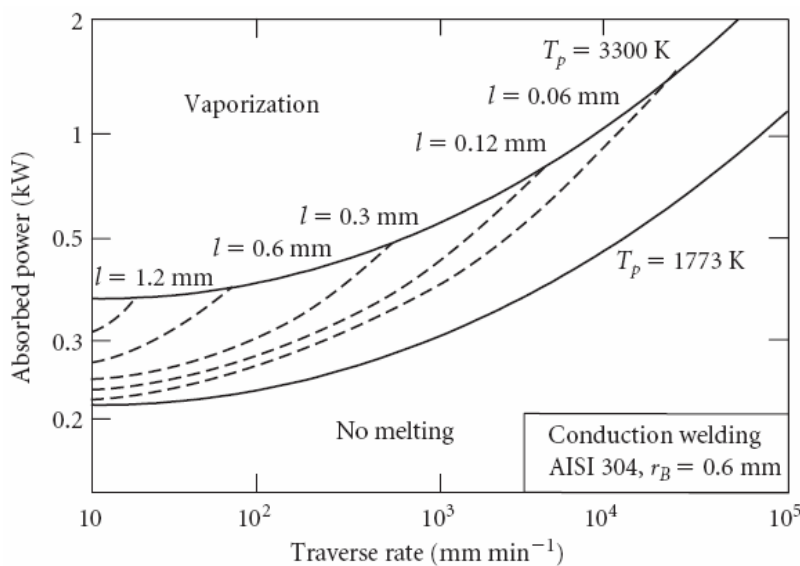
- vastagabb lemezek kötésére kevésbé alkalmas
- nagyobb beruházást igényel mint a hagyományos versenytársak

# Keveréses hegesztési grafikon 1.

A felszíni olvasztás kapcsán megismert grafikonnal ekvivalens grafikonnal írható le.



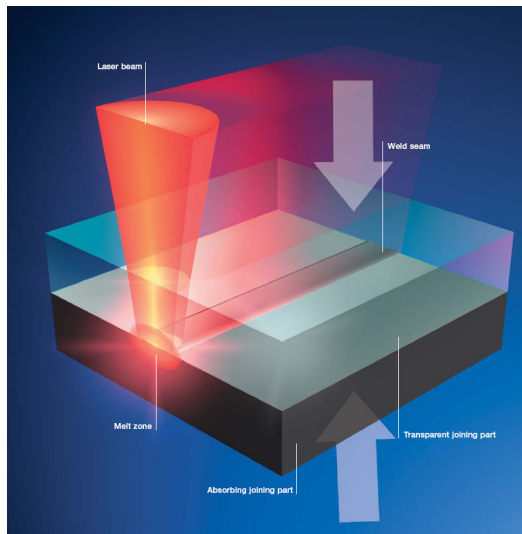
# Keveréses hegesztési grafikon 2.



$\lambda = 25.5 W m^{-1} K^{-1}$   
 $a = 7.2 \times 10^{-6} m^2 s^{-1}$   
 $T_v = 3300 K$   
 $T_m = 1773 K$   
 $T_0 = 298 K$

# Műanyagok transzmissziós hegesztése

a legtöbb műanyag átlátszó a 0,4-1,5 $\mu$ m hullámhossztartományban



termoplasztok kötése

<http://www.leisterlaser.com/>



gyantával/pigmenttel segített

<http://www.clearweld.com/>

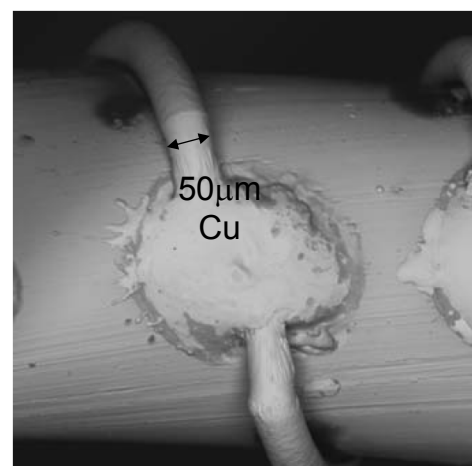
Rofin\_transmission\_laser\_welding.flv

## Ipari alkalmazások 1.



Lézeres ponthegesztés

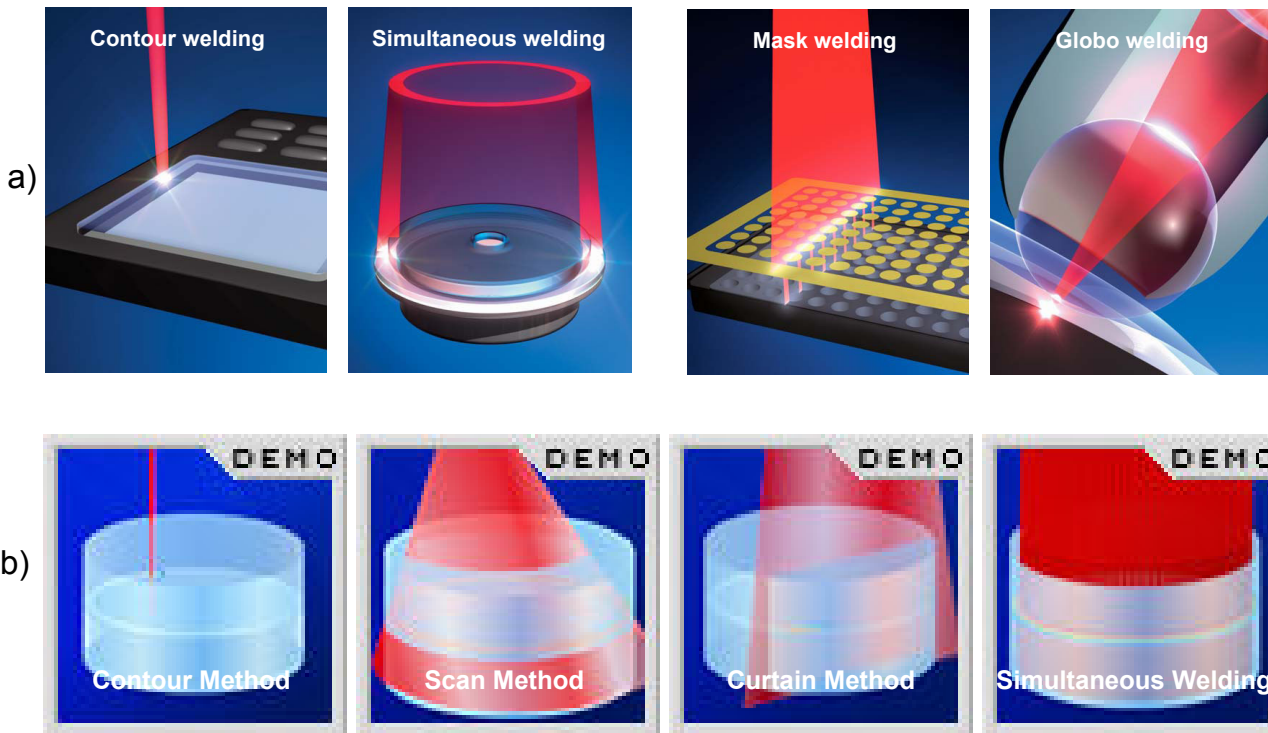
350 $\mu$ m  
PI



Lézeres ponthegesztés

# Ipari alkalmazások 2.

Transzmissziós hegesztés



# Ipari alkalmazások 3.

Transzmissziós hegesztés



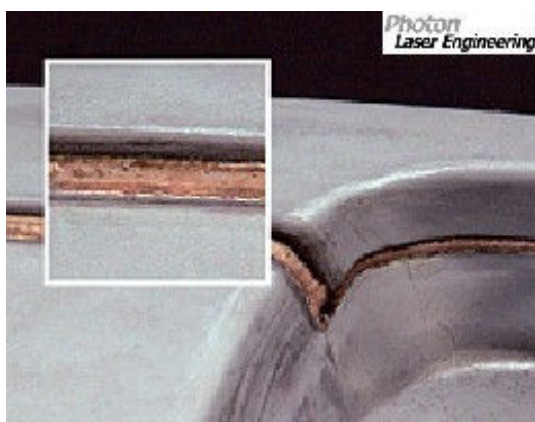
# Ipari alkalmazások 4.

Forrasztás

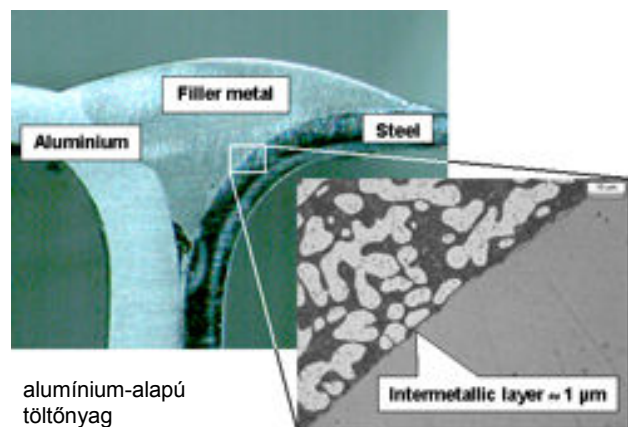


# Ipari alkalmazások 5.

Kemény forrasztás



acél/acél kötés  
autóipar

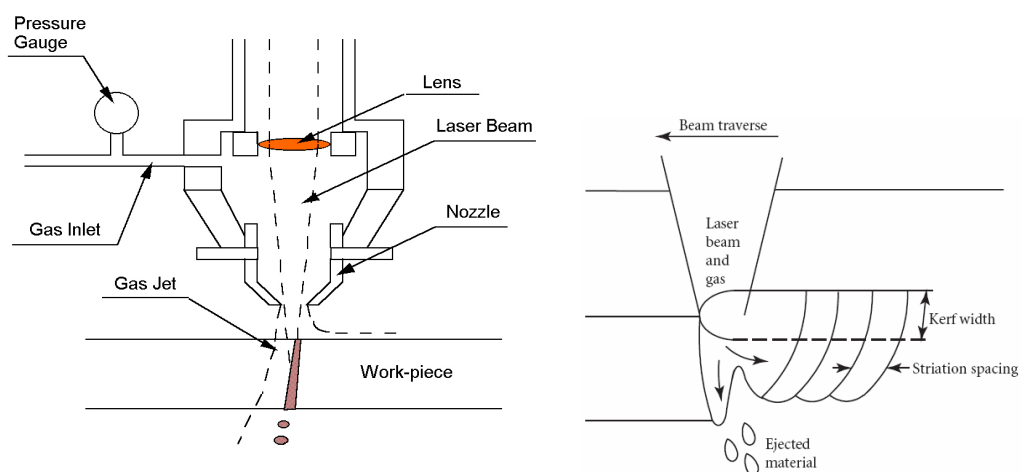


aluminium-alapú  
töltőanyag

# 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*)

## Vágás



<http://www.mrl.columbia.edu/ntm/level1/ch03/html/l1c03s05.html>

Megolvasztható anyagok esetén (fémek, ötvözetek, termoplasztok)  $10^4 \text{ Wmm}^{-2}$   
Nem olvadó anyagok esetén (üvegek, kerámiák, kompozitok)  $10^6 \text{ Wmm}^{-2}$



# Típusai

## Inert gázzal segített vágás (*inert gas melt shearing*)

fémek, ötvözetek, PE, PP, nylon, ABS, kompozitok  
levegő, N<sub>2</sub>, Ar, He (10 bar)  
max. 8mm vastagság

## Aktív gázzal segített vágás (*activ gas melt shearing*)

O<sub>2</sub> vagy levegő  
exoterm reakció -> akár 50mm, de rosszabb vágatminőség

## Elpárologtatás (*vaporization*)

impulzuslézeres  
viszonylag lassú

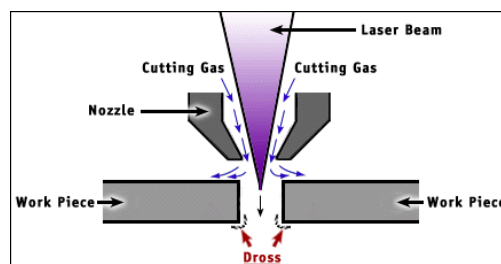
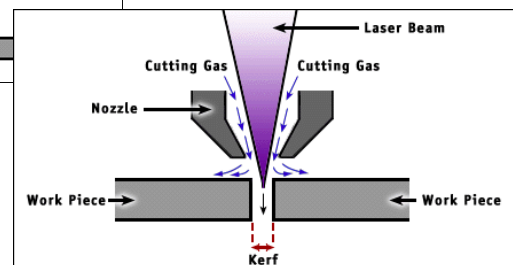
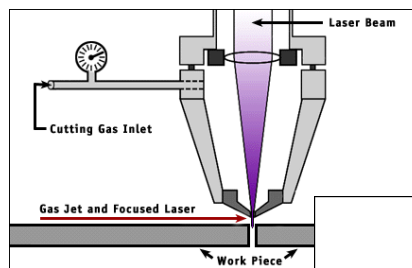
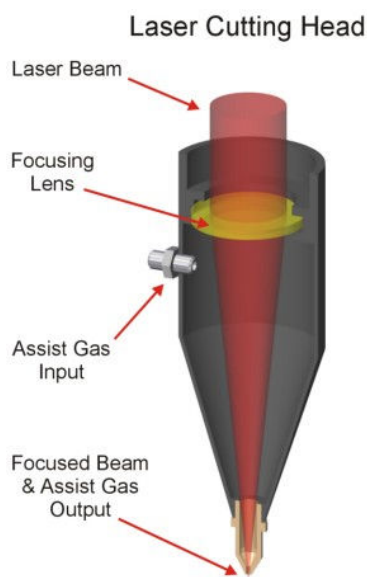
## Kémiai bontás (*chemical degradation*)

termoszet, fa, elasztomer  
az UV-ban (jellemzően excimer lézerral)

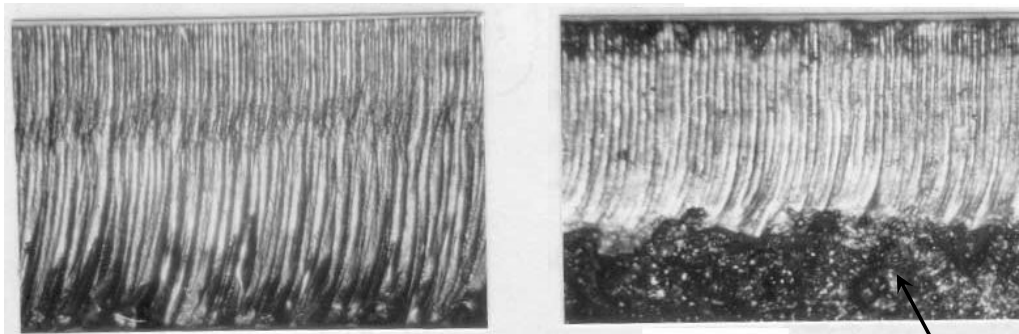
## Karcolás (*scribing*)

kerámiák, üvegek, kompozitok  
repszítés

# Vágófejek



# Ipari alkalmazások



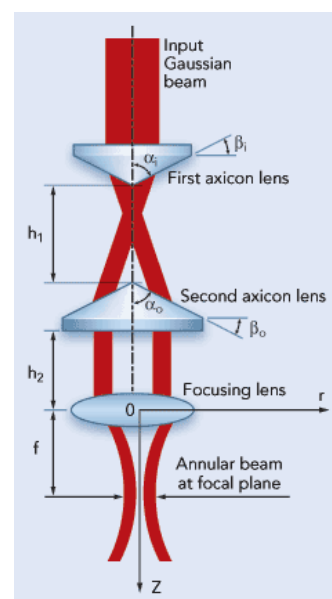
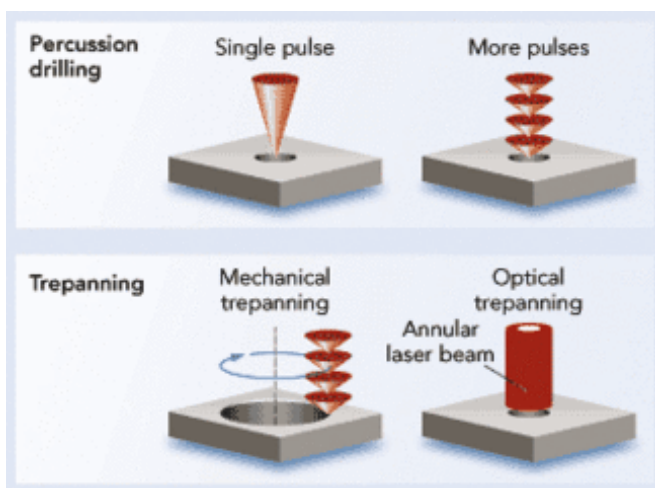
1.5 bar

3 bar

rossz minőségű

[http://www.ccl.fraunhofer.org/working\\_areas/technologies/technology\\_03/cladding/e\\_cladding.php](http://www.ccl.fraunhofer.org/working_areas/technologies/technology_03/cladding/e_cladding.php)

## Trepanning



<http://www.industrial-lasers.com/>