

Dobránszky János előadásai 2024-ben

Hegesztés



7. előadás
Az 52-es és a 84-es eljárások
A lézeres hegesztés és a lézeres vágás

A Hegesztés tantárgy előadási témakörei

1. A hegesztés általános alapfogalmai, a hegesztési eljárások rendszerezése
2. A hegesztés munkabiztonsági és egészségvédelmi vonatkozásai
3. A 13-as eljáráscsoport alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
4. A 12-es, 72-es, 73-as eljárások alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
5. A 14-es eljáráscsoport alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
6. A 15-ös eljáráscsoport alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
7. A 111-es, a 112-es és a 114-es eljárás alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
8. A lánghegesztés (3) alkalmazásai, működése, felszerelései, anyagai
9. Az elektronnyalábos (51) hegesztés alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
10. **A lézeres hegesztés (52) alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai**
11. **A termikus vágási eljárások (8) alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai**
12. Az ellenállás- (2) és az indukciós (74) hegesztés alkalmazásai, működése, berendezései
13. A termithegesztés (71) alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
14. Az ultrahangos hegesztés (41) alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
15. A dörzshegesztés (42, 43 + a 44) alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
16. A csaphegesztés (78) alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
17. A forrasztás (9) alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
18. A termikus szórás alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
19. A műanyagok hegesztésének (6) alkalmazásai, működése, berendezései, anyagai
20. Az építkező (additív) gyártás hegesztési vonatkozásainak alapismeretei
21. A hegesztett kötések roncsolásmentes anyagvizsgálata
22. A hegesztéstechnológiai tervezés alapismeretei
23. Az anyagok hegesztés során jellemző viselkedésének (hegeszthetőségüknek) az alapjai

A hegesztési eljárások rendszerezése

Ömlesztőhegesztés

Erőhatás nélküli, hegesztőanyaggal vagy a nélkül végzett, helyi megömléssel járó hegesztési folyamat, amelynek során a beolvadási felületnek meg kell olvadni.

Sajtolóhegesztés

Olyan hegesztési eljárás, amelynek során megfelelő mértékű külső erőhatást alkalmaznak annak érdekében, hogy az mindkét érintkező felületen több-kevésbé képlékeny alakváltozást okozzon, általában hegesztőanyag hozzáadása nélkül. Az illeszkedő felületeket hevíteni is lehet a kötéskialakítás megkönnyítése érdekében.

Illesztési felület

A munkadarabnak az a felülete, melyet a másik munkadarab felületével érintkezésbe kell hozni a kötés létrehozásáért.

1. Rendeltetés szerint

Kötőhegesztés
Felrakóhegesztés
Javítóhegesztés

2. A kötésképződés mechanizmusa szerint

Ömlesztőhegesztés
Sajtolóhegesztés

3. A kivitelezés módja szerint

Kézi hegesztés
Részben gépesített
Gépesített
Automatizált
Robotosított

4. A kötéshez szükséges energia forrása

I. Szilárd test
II. Folyadék
III. Gáz
IV. Villamos kisülés
V. Sugárzás
VI. Mozgó tömeg
VII. Villamos áram
VIII. Egyéb

Az I–IV. esetben az energia közvetlenül adódik át a meghegesztendő anyagnak, míg az V–VII. esetében a fizikai hatás magában az anyagban kelti a hőt, illetve a mechanikai energiát.

Az ömlesztőhegesztési eljárások rendszerezése

Az ömlesztőhegesztés olyan eljárások gyűjtő elnevezése, amelyek fő jellemzője az, hogy az összehegesztendő anyagoknak a kötési zónába eső jelentős része megolvad, egymással, és a szükség esetén adagolt hegesztőanyaggal összekeveredik, majd megszilárdulva létrehozza a varratfémét.

I. Szilárdtestes ömlesztőhegesztés (--)

II. Folyadékös ömlesztőhegesztés

Öntőhegesztés

Termithegesztés (71)

III. Gázos ömlesztőhegesztés

Lánghegesztés (3)

IV. Villamos ívhegesztések

Kézi ívhegesztés (111)

Porbeles elektródás, védőgáz nélküli ívhegesztés (112)

Fedett ívű hegesztések (12)

Huzalelektródás, védőgázos ívheg. (13)

Nemleolvadó elektródás, védőgázos ívhegesztések (14)

Plazmaívhegesztések (15)

Elektrogázhegesztés (73)

V. Sugárzásos ömlesztőheg.

Lézeres hegesztés (52)

Elektronnyalábos hegesztés (51)

VI. Mozgó tömeges

ömlesztőhegesztések

még nem ismert ilyen ...

VII. Villamos áramos

ömlesztőhegesztések

Salakhegesztés (72)

VIII. Egyéb ömlesztőhegesztések

Hibrid hegesztések

A sajtolóhegesztési eljárások rendszerezése

Sajtolóhegesztés minden olyan eljárás, amelyben kellő nagyságú külső erő okozta képlékeny alakváltozás hozza létre a kötést az összehegesztendő felületeken, általában

I. Szilárd testes sajtolóheg. hegesztőanyag hozzáadása nélkül.

Hevítőelemes hegesztés

Hevítőcsúcsos hegesztés

Hevítőfúvókás hegesztés

Hevítőfúvókás, szegfejes hegesztés

II. Folyadékös sajtolóheg.

Öntéses sajtolóhegesztés

III. Gázös sajtolóheg.

Sajtoló lánghegesztés (47)

IV. Villamos kisüléses sajtolóheg.

Mágnesesen mozgatott ívű sajtolóheg. (185) [forgóives sajtolóheg]

Ívkisüléses sajtolóhegesztés

[ütőhegesztés, (77)]

Ívhúzásos csaphegesztés (783)

Kondenzátorkisütéses, ívhúzásos csaphegesztés (785)

Kondenzátorkisütéses, gyújtócsúcsos csaphegesztés (786)

V. Sugárzásos sajtolóheg.

(még nem ismeretes ilyen eljárás)

VI. Mozgó tömeges sajtolóhegesztés

Ultrahangos heg. (41)

Dörzshegesztés (42)

Kavaró dörzsheg. (43)

Robbantásos heg. (441)

Mágneses impulzusos hegesztés (442)

Hidegsajtoló heg. (48)

Hidegzömítő hegesztés

Hátrafolyatásos heg.

Ütközéses hegesztés

VII. Villamos ellenállás-hegesztés (2)

Ellenállás-ponthegesztés (21)

Ellenállás-vonalhegesztés (22)

Ellenállás-dudorhegesztés (23)

Leolvasztó tompahegesztés (24)

Ellenállás-tompahegesztés (25)

Ellenállás-csaphegesztés (26)

Nagyfrekvenciás ellenállás-heg. (27)

Indukciós hegesztés (74)

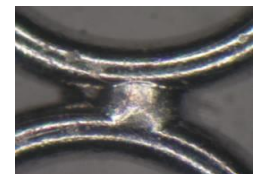
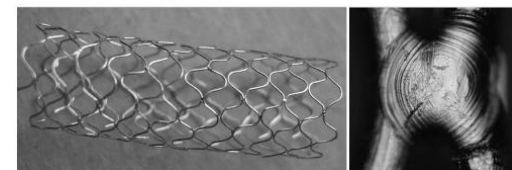
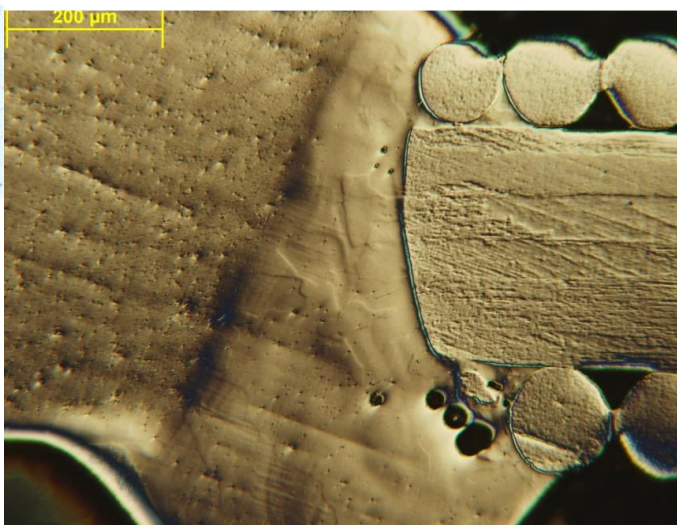
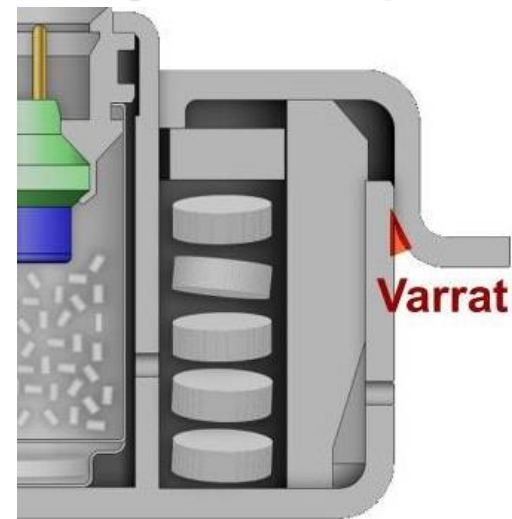
VIII. Egyéb energiafajtájú sajtolóheg.

Diffúziós hegesztés (45)

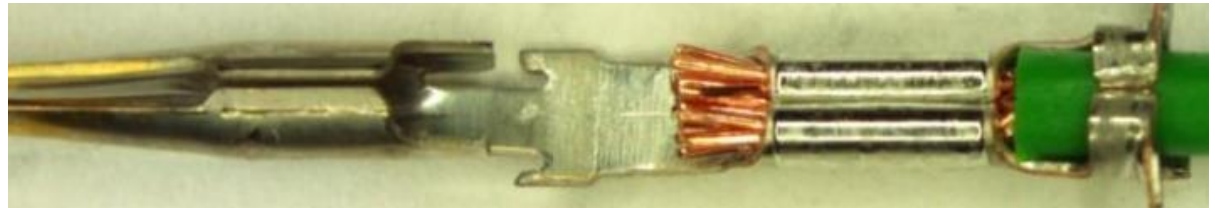
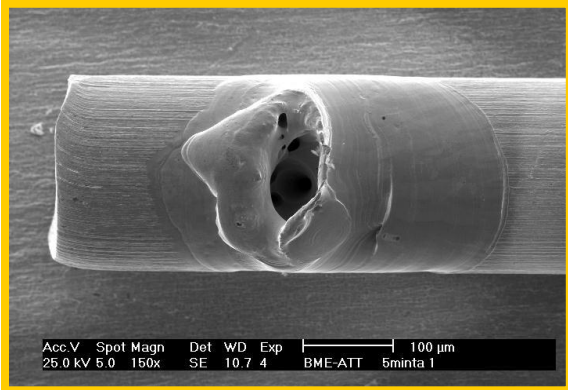
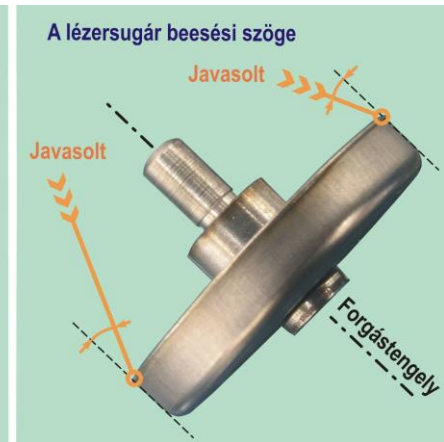
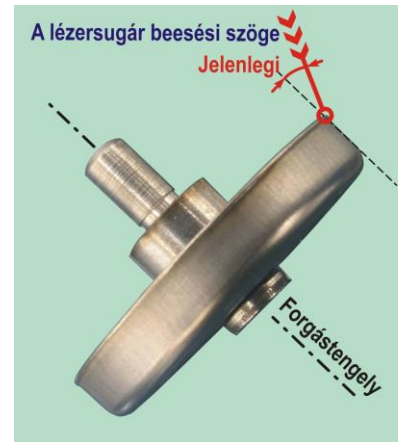
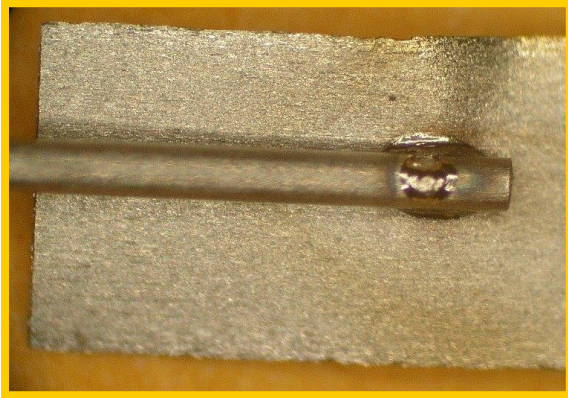
Melegsajtoló hegesztés (49)

Plattírozó hengerléses hegesztés

Lézeres hegesztés Alkalmazási példák → 52-es eljáráscsoport



Lézeres hegesztés Alkalmazási példák → 52-es eljáráscsoport



... mi is az a lézer?

Ez a kifejezés eléggé gumifogalommá vált. Értenek alatta sugárzást, berendezést, gyártóeszközt, műszert, alkatrészt, fegyvertípust, hajóosztályt stb. Az eredeti angol betűszó (LASER) alapvetően egy fizikai jelenséget és az azt meghatározó elvet jelenti: az indukált emissziós fényerősítést. A kifejezés az angolban is közhelyé vált (laser), és új értelmet nyert. A helyes magyar átírása: lézer.

Tehát a „lézer” kifejezés tartalma jelentősen bővült; ma már egy olyan berendezést jelöl, amely az elektromágneses sugárzást sugárzási nyaláb formában kibocsátva képes valamire; pl. anyagmegmunkálásra.

MSZ EN ISO 11145:2008 Optika és fotonika. Lézerek és lézerberendezések. Szakszótár és jelképek (ISO 11145:2006) **Ez magyar nyelvű, de az új (MSZ EN ISO 11145:2019) már nem ...**

3.19.1. lézer

Olyan eszköz, amely egy optikai rezonátoron belül energiával feltöltött erősítőközeget tartalmaz, mely 1 mm-ig terjedő hullámhosszúságú, koherens elektromágneses sugárzást bocsát ki felerősített stimulált emisszió révén.

→ **Az IEC 60825-1-ben:**

lézer: Bármely eszköz, amely elektromágneses sugárzás előállítására vagy erősítésére készíthető, főként a szabályzott, stimulált emisszió folyamatával, a 180 nm – 1 mm hullámhosszúság-tartományban.

Any device which can be made to produce or amplify EM radiation in the wavelength range from 180 nm to 1 mm primarily by the process of controlled stimulated emission

... mi is az a lézer és a lézeres hegesztés?

ISO/TR 25901-5 Welding and allied processes – Vocabulary – Part 5: Laser welding

Laser = device having an energized amplifying medium within an optical resonator that generates coherent electromagnetic radiation with wavelengths up to 1 mm by means of amplified stimulated emission.

Laser welding = welding using a coherent beam of monochromatic light

Laser welding = fusion welding using a coherent beam of monochromatic light

Tehát → Lézeres hegesztés = olyan ömlesztőhegesztés, amelynek során monokromatikus fény sugárzást használják hőforrásként

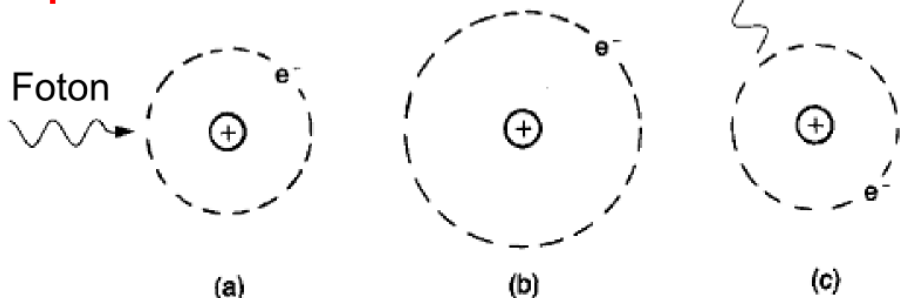
A megmunkálható anyagfajták

- Fémek
 - **Acél, rozsdamentes acél? Viszonylag jól**
 - **Pt, Ag, Au? Nehezen vagy nem megmunkálható**
 - **Al, Cu? Lehetséges, de rossz hatásokkal**
- Műanyagok: szinte mindegyik fajta, de erősen függ a színtől
- Kerámiák, összetett anyagok

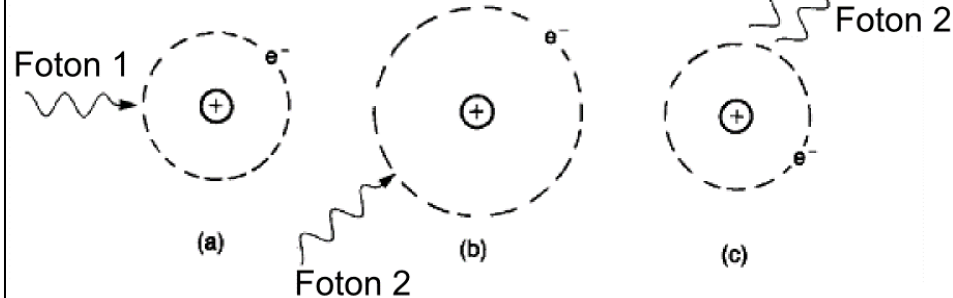
Mindenestre némi lézerfizikai és terminológiai alapozás talán nem árt

A lézerfény (lézersugárzás) létrehozásának fizikai alapelve

Spontán emisszió



Stimulált emisszió + erősítés



Emisszió, populációinverzió, rezonátor stb. → 75 db szakkifejezés
ISO 11145:2018

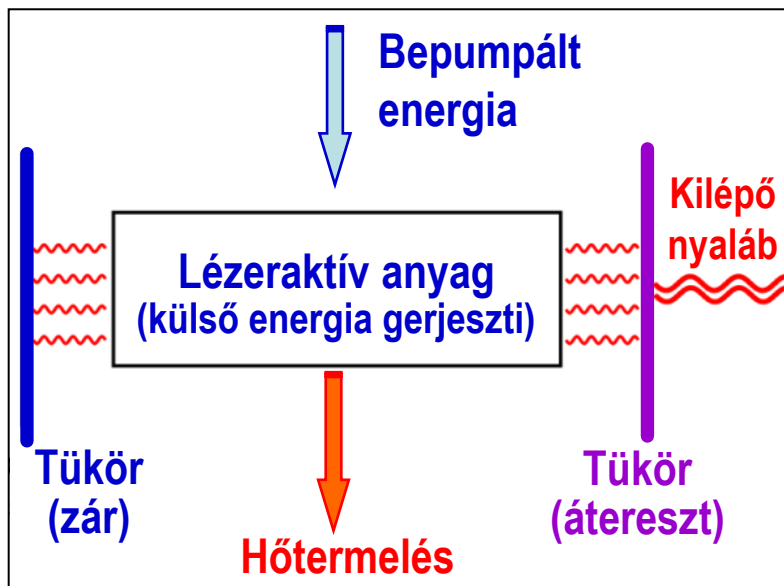
- 3 Terms and definitions
- 3.1 Beam position
- 3.2 Beam axis
- 3.3 Beam diameter
- 3.4 Beam radius
- 3.5 Beam width
- 3.6 Beam cross-sectional area
- 3.7 Beam waist
- 3.8 Divergence
- 3.9 Rayleigh length
- 3.10 Beam parameter product
- 3.11 Coherence
- 3.12 Polarization
- 3.13 Power and Energy
- 3.14 Pulse duration and repetition rate
- 3.15 Optical resonator
- 3.16 Mode
- 3.17 Spectral bandwidth
- 3.18 Relative intensity noise
- 3.19 Laser
- 3.20 Efficiency

A 2008-as, magyar nyelven is kiadott szabványban csak 58 van. Mára a **lézer** definíciója teljesen megváltozott!

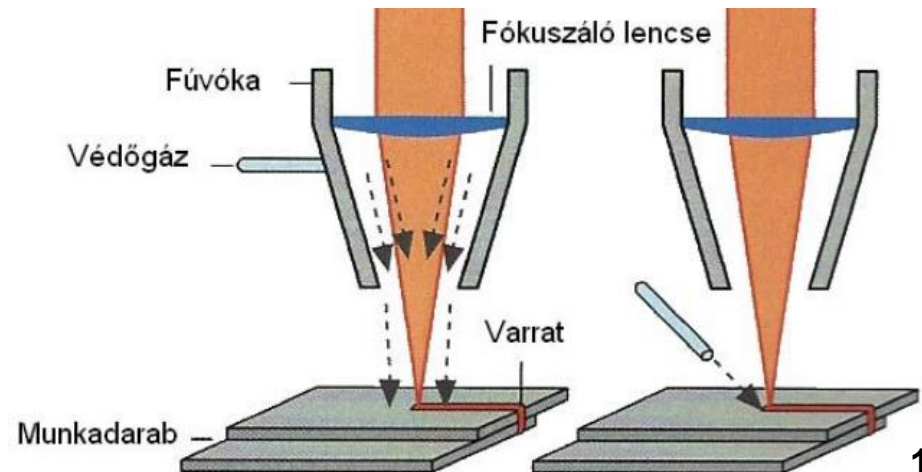
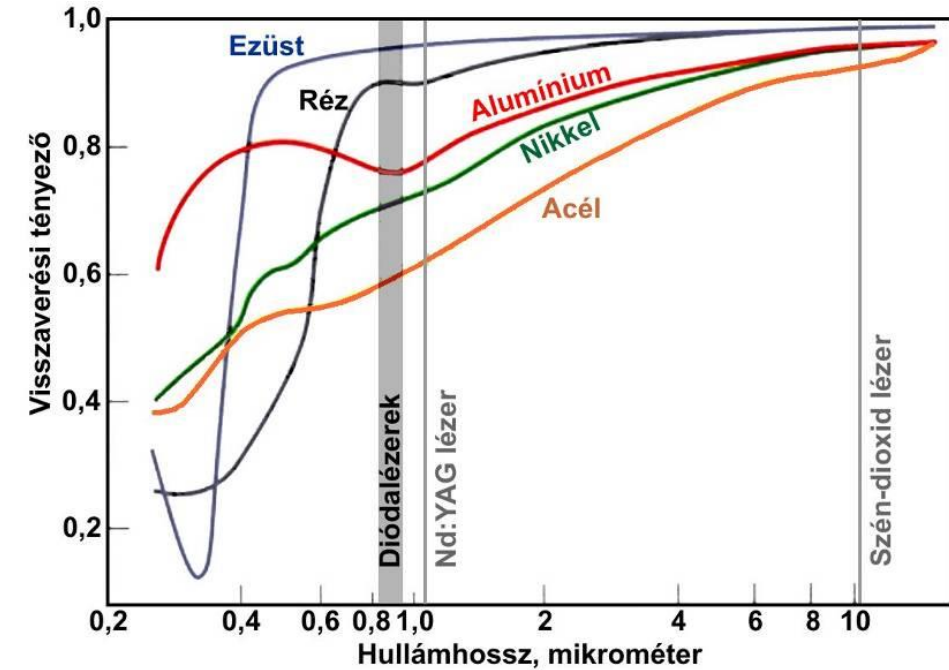
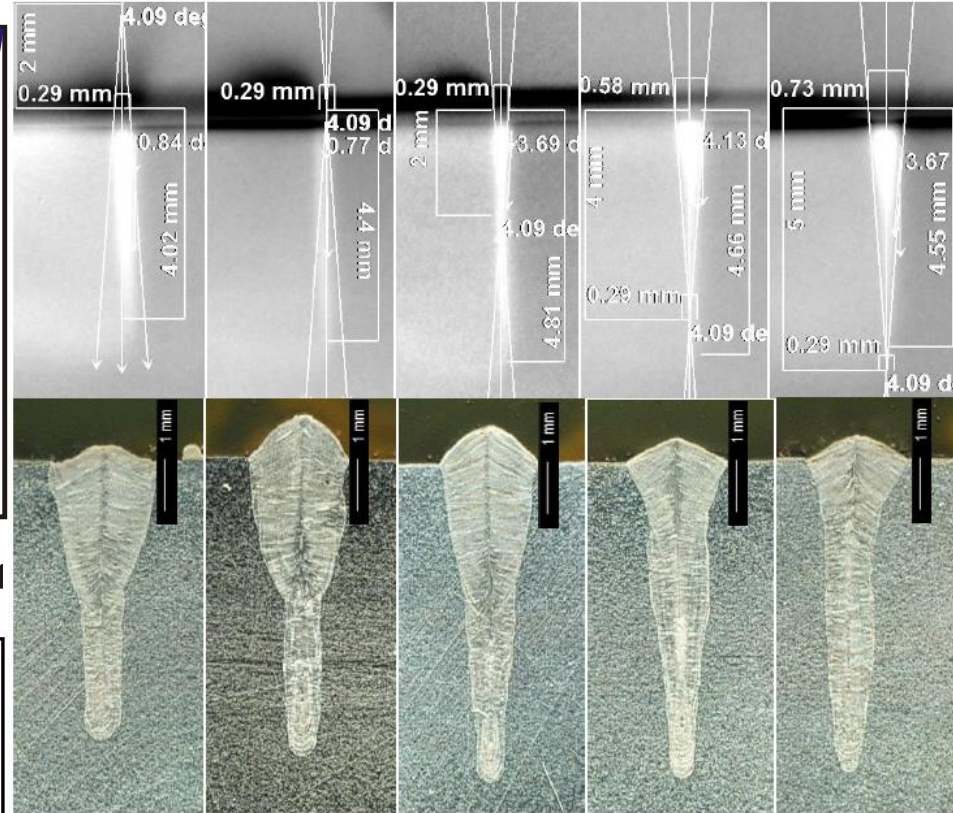
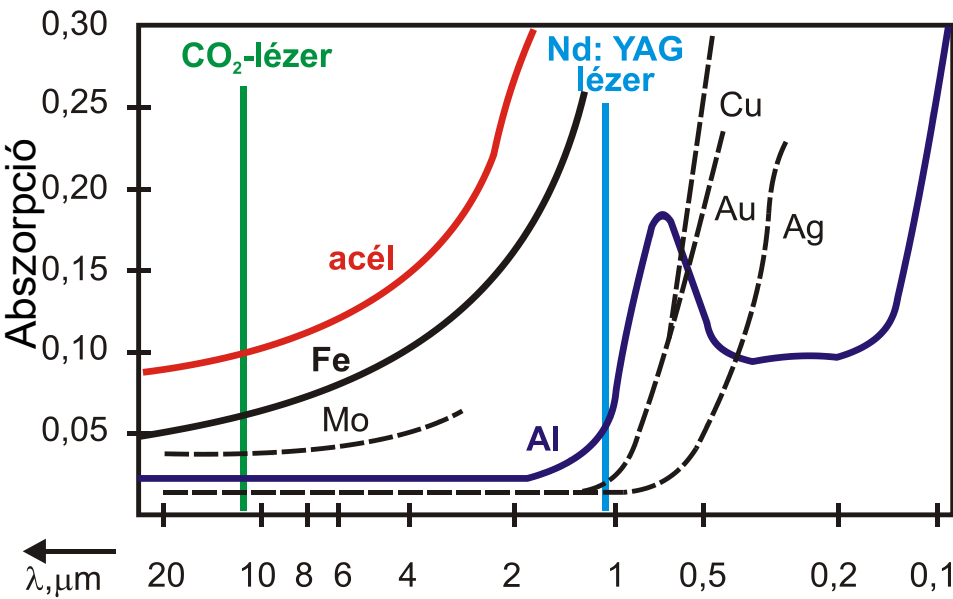
2006-ban: **laser** = amplifying medium capable of generating coherent radiation with wavelengths up to 1 mm by means of stimulated emission

lézer = 1 mm-nél kisebb hullámhosszúságú koherens sugárzás előállítására alkalmas, az indukált emisszió jelenségét felhasználó erősítő közeg ← ez a régmúlt!

2018-ban: **laser** = device having an energized amplifying medium within an optical resonator that generates coherent electromagnetic radiation with wavelengths up to 1 mm by means of amplified stimulated emission



A lézeres hegesztés fizikai (optikai) alapjai: abszorpció, reflexió



Lézeres hegesztés (→ értsd: lézerrel végzett hegesztés)

Az MSZ EN ISO 4063:2023 szabvány szerinti elnevezések

- 52 Lézeres hegesztés
- 521 Szilárdtest-lézeres hegesztés
- 522 Gázlézeres hegesztés
- 523 Diódalézeres hegesztés

Lézerfényforrások: lézeraktív anyag, gerjesztés, működésmód

- Szilárdtestlézerek
 - Rubinlézer (694,3 nm; holográfia)
 - Nd:YAG lézer (1064 nm; megmunkálás, sebészet),
rúd, szál, korong → rúdlézer, szállézer, koronglézer
- Gázlézer
 - Hélium-neon lézer (He-Ne → 632,8 nm; optikai kísérletek)
 - Szén-dioxid lézer (CO₂, 10600 nm; síkvágás, sebészet)
- Félvezető lézer (diódalézer)
 - 405 nm (blue-ray meghajtó)
 - 650 nm (DVD-meghajtó)
- Festéklézer, vegyi lézer, folyadéklézer

Működésmód-1 (időbeliség)

- Impulzusos üzemű
- Folytonos üzemű

Gerjesztés, pumpálás

- Villanólámpa
- Lézerdióda
- Villamos kisülés
- Radiofrekvenciás tér

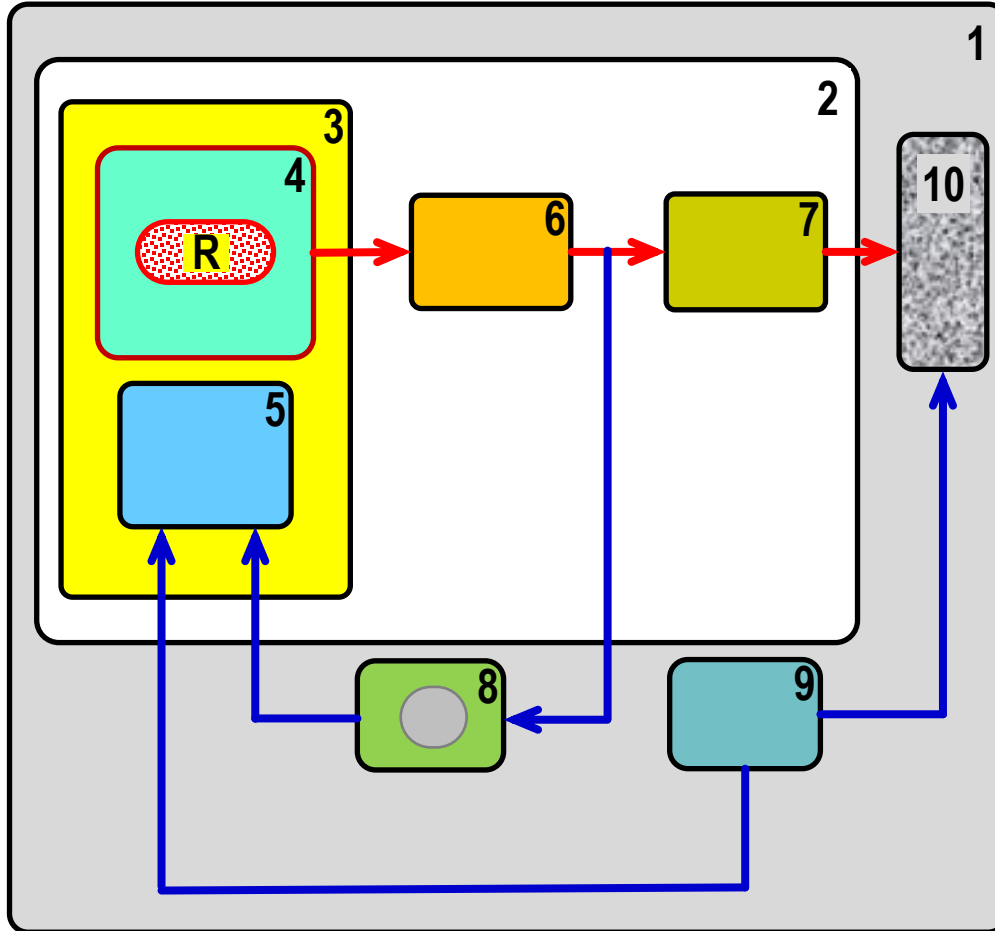
Működésmód-2: Mozgatás Lézerfej? Munkadarab? Tükör? PFO?

A lézeres megmunkálások szabványos terminológiája

A lézeres megmunkálások általános, fizikai kiépítési és terminológiai hierarchiája

ISO 11145:2018 Optics and photonics. Lasers and laser-related equipment. Vocabulary and symbols (ISO 11145:2018)

MSZ EN ISO 11145:2019 Optika és fotonika. Lézerek és lézerberendezések. Szakszótár és jelképek (ISO 11145:2018)



A biztonsági rendszerek nincsenek feltüntetve a diagramon, de alapvető fontosságú tartozékai egy lézeres gyártórendszernek

1.	Lézeres egység	laser unit
2.	Lézerberendezés	laser assembly
3.	Lézerkészülék	laser device
4.	Lézer	laser
5.	Tápegység (villamos áram, hűtés, gáz)	supply (power, cooling, gas)
6.	Nyalábvezető eszköz (tükör, szál, lencsék)	beam-guiding device (mirrors, fibres, lenses)
7.	Nyalábformáló eszköz (teleszkóp, fókuszáló)	beam-shaping device (telescope, focusing)
8.	Mérőrendszerek és vezérlőrendszerek	measurement systems and control systems
9.	Mozgatóeszközök (robot, munkadarab-mozgató, -forgató, -rögzítő)	handling units (robot, workpiece translation and location)
10.	Munkadarab	workpiece

Az ISO/TR 25901-5 jelentősen összetettebb lesz!

A lézeres megmunkálások szabványos terminológiája

VI-1338r1-2022

supersedes VI-1336-2022

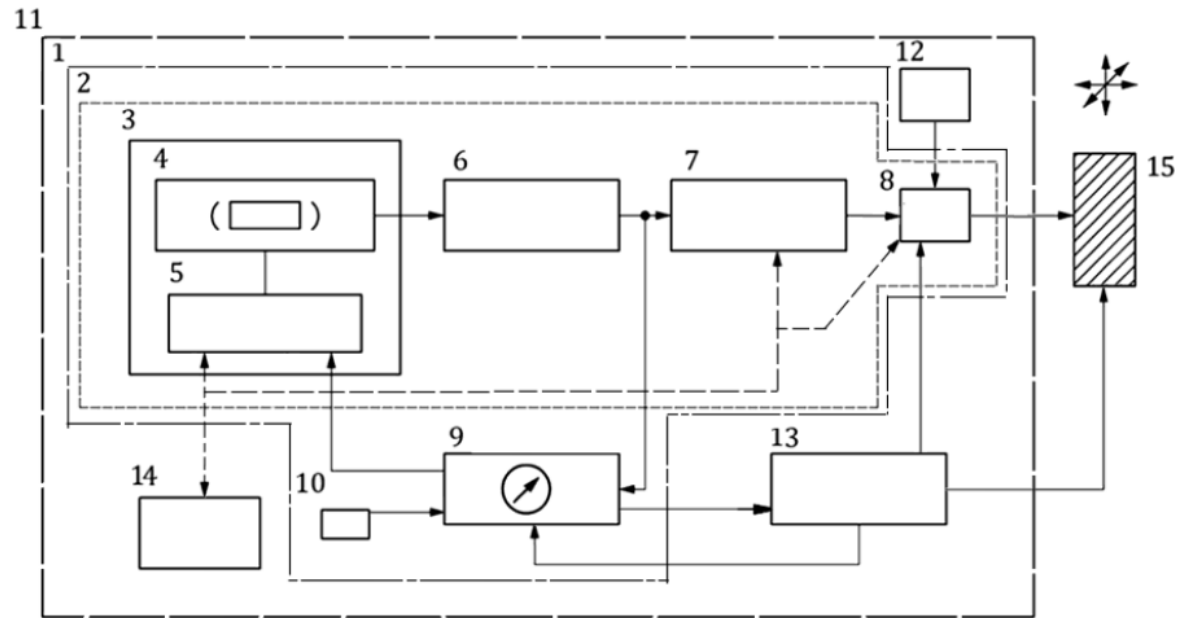
Az ISO/TR 25901-5 jelentősen összetettebb lesz!

Term

Definition

laser welding installation including auxiliary apparatus

Note 1 to entry: An example of a laser welding unit is illustrated in Figure X



Key

1 laser welding machine

2 laser assembly

3 laser device

4 laser oscillator

5 supply (power, cooling system)

6 beam guiding device (mirrors, fibres, lenses)

7 beam shaping device (focusing, scanner)

8 torch head

9 measurement and control system

10 control panel

11 laser welding unit

12 shielding gas system

13 handling unit (robot, manipulator)

14 chiller

15 workpiece

Figure Example of laser welding unit illustration

laser welding unit

A lézeres hegesztés alapvető jellemzői

- **Koncentrált energiabevitel**
- **Nagy sebesség**
- **Csekély vetemedés**

Előnyei más eljárásokhoz képest

- Érintésmentes, gyors, pontos, ismételhetőség
- Hozaganyag: nem szükséges (de lehetséges)
- Kedvező külső varratgeometria: szegély, dudor, gyök
- Kicsi karbantartásigény
- Kb. bármilyen anyaghoz

Kedvenc kötéstípus:

1. átlapolt kötés,
2. tompakötés,
3. ... más ...

Kedvenc rendeltetés:

1. kötőhegesztés → keskeny és mély varrat,
2. felrakás → vonalnyaláb, por, huzal, pálca, éleken is
3. javítás: precíziós öntvényeken

Követelmények: repedés, zárvány, porozitás, szövetszerkezet, mechanikai tulajdonságok, megmunkálhatóság, korrózióállóság

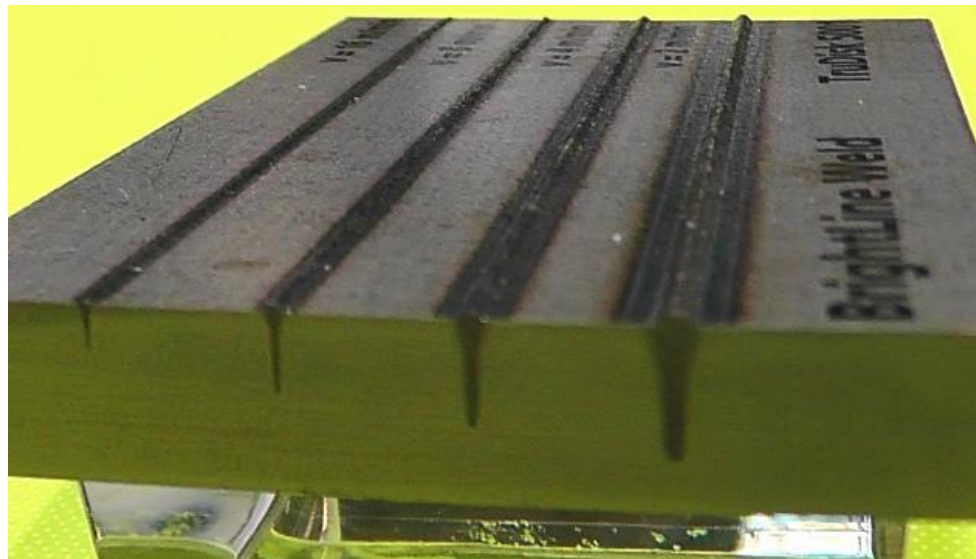
Hegesztés szén-dioxid lézerrel

Védőgáz: Ar, N₂, M, de főleg: hélium → csóva
Korlát: 5 kW-os lézer → max. 8–10 mm vastag anyag

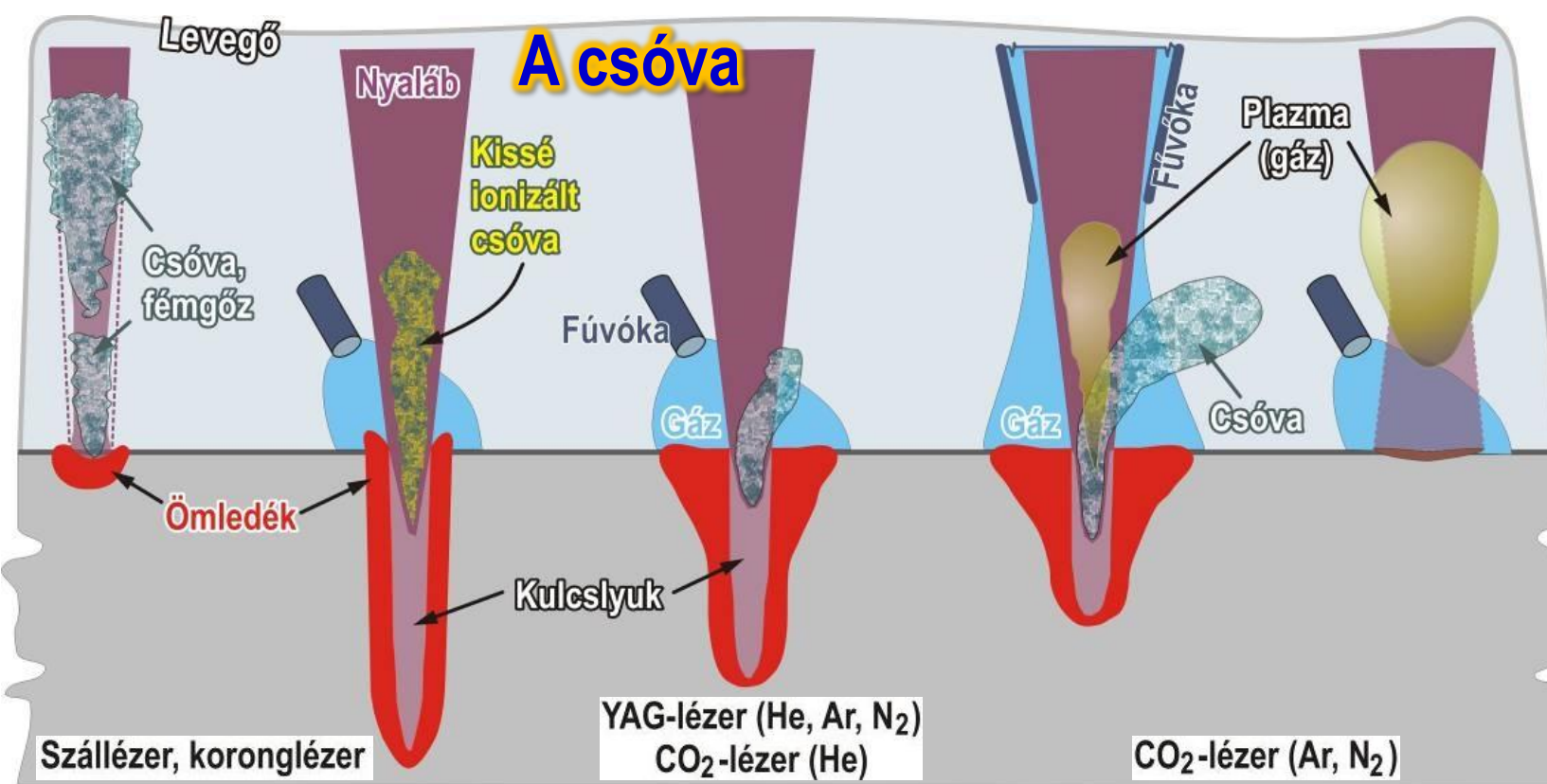
Hegesztés szilárdtestlézerrel (Nd:YAG)

Védőgáz: Ar
Teljesítmény: 1–4 kW
Automatizálás, nyalábmozgatás, szkennervej

Példa: a lézeres hegesztés technológiai változói



Változó / paraméter	Egység	Érték
Védőgáz: fajta, hozam	17 L/min	He 5.0
Gyökvédőgáz:	5 L/min	Ar 5.0
Fókusz távolság	mm	223
Fókuszeltolás	mm	0
Foltméret		
Lézerteljesítmény	W	2450
Impulzusfrekvencia	Hz	6000
Impulzus + teljesítmény, idő, alak		
Hozaganyag		
Haladási sebesség	m/min	4



YBCO

Oxid (LSMO)

TiN

plume, laser induced plume

bright metal vapor composed of spontaneously emitted high temperature atoms generated from a target plate by laser beam irradiation

Forrás: ISO/TR 25901-5;

JIS Z 3001-5:2013, 57004

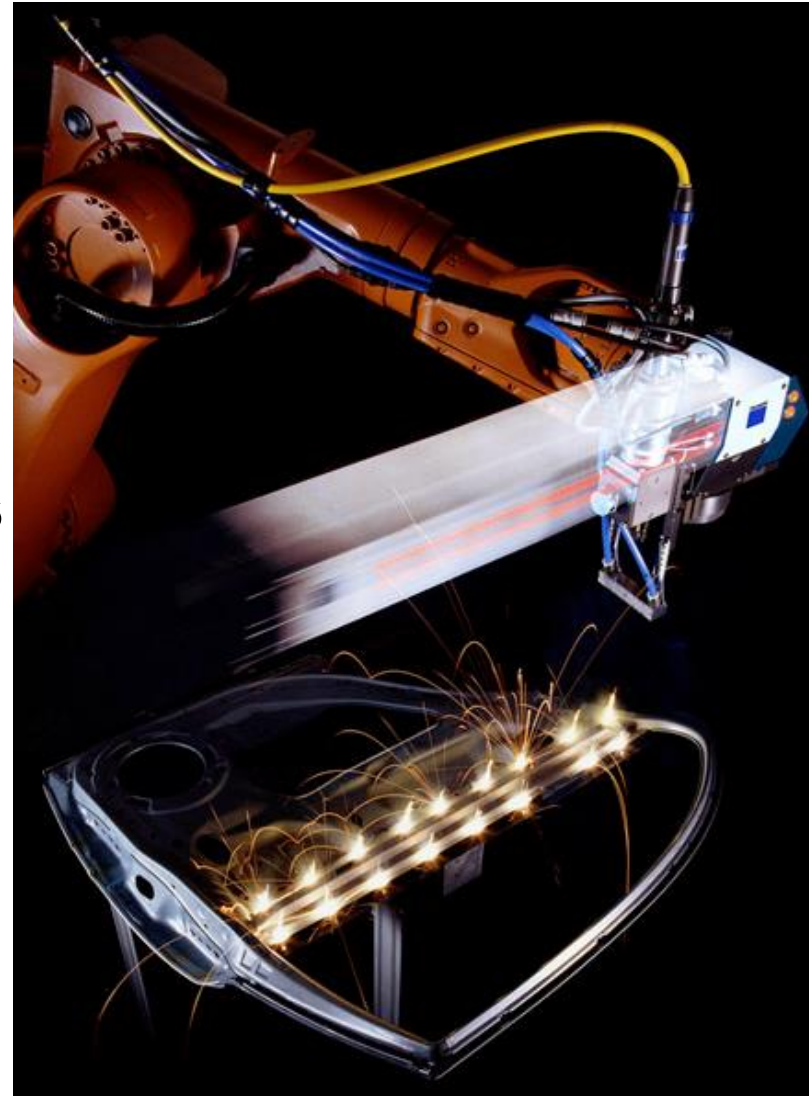
Szkennerfejes hegesztés

Hegesztés során a szkennelő optika egy robottal végigvezethető a munkadarabon.

Ez a „repülés” inspirálta a „**hegesztés repülés közben**” kifejezést: a robot és a szkenneroptika valós időben szinkronizálja mozgását.

A robot jelentősen megnöveli a munkaterületet, lehetővé téve az igazi 3D-s alkatrészgyártást.

A **PFO-t** egyszerű szerkesztővel lehet programozni: szerkeszthetők és elmenthetők a hegesztési varratok a munkadarabon. Nagy teljesítményű és kiváló sugárminőségű koronglézereket használnak. Egy vagy több optikai kábel vezeti a lézerfényt a lézerforrástól a munkahelyhez.



A lézeres vágás

Fémek vágása



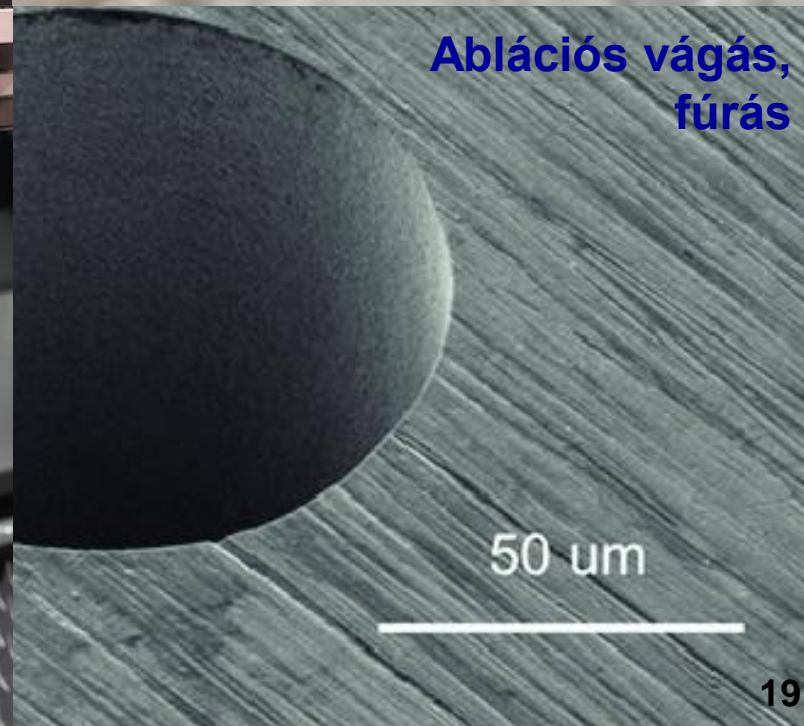
Tiszta vágási felület, nem/alig igényel utómunkát



3d-s vágás



Műanyagok vágása



Ablációs vágás,
fúrás

50 um

A lézeres vágás

-20X1000X2000MM/FINISH NO. -1/10/QU

Lézeres vágás

<i>Laser System:</i> Laser System:	LaserMat C6000i-C
<i>Material:</i> Material:	1.4301
<i>Dicke:</i> Thickness:	20 mm
<i>Fasenwinkel:</i> Bevel Angle:	0°
<i>Vorschub:</i> Cutting Speed:	320 mm/min
<i>Leistung:</i> Power:	6000 W
<i>Gasart:</i> Gas Type:	N₂
<i>Gasdruck:</i> Gas Pressure:	25 bar

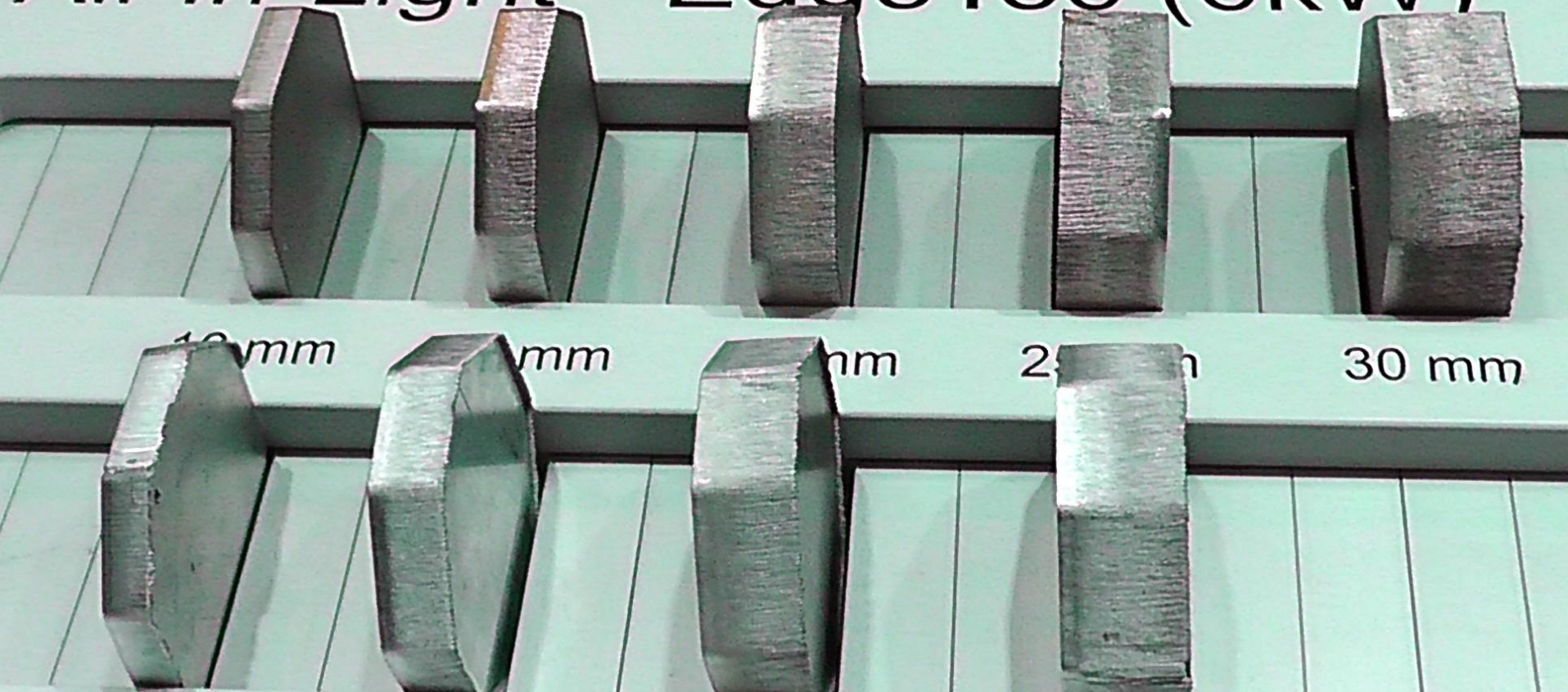
Lézeres vágás



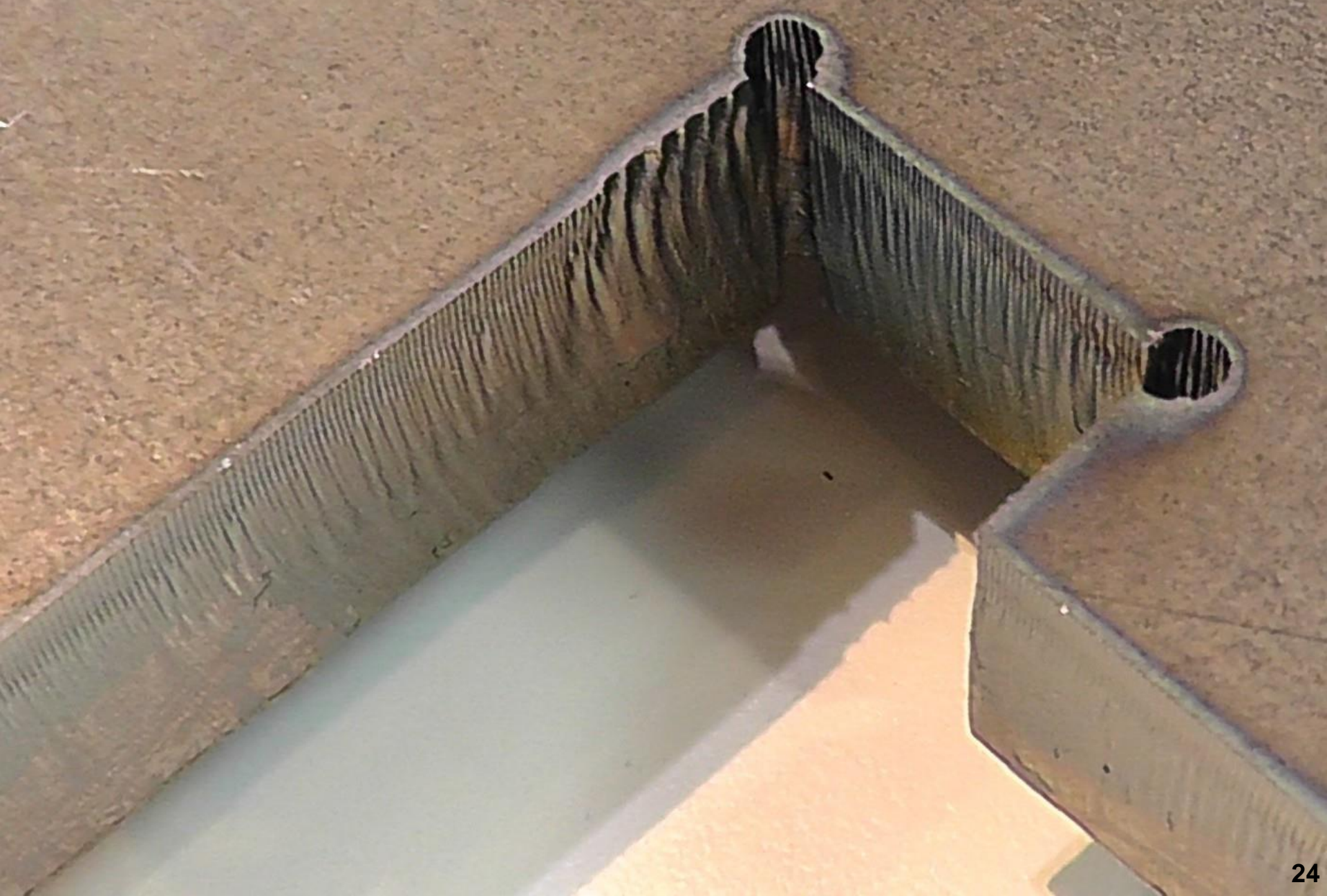
<i>Laser System:</i> <i>Laser System:</i>	PowerBlade YLR-4000	PowerBlade YLR-4000	PowerBlade YLR-4000
<i>Material:</i> <i>Material:</i>	Raex 250	Raex 250	Raex 250
<i>Dicke:</i> <i>Thickness:</i>	8 mm	8 mm	8 mm
<i>Fasenwinkel:</i> <i>Bevel Angle:</i>	0°	30°	45°
<i>Vorschub:</i> <i>Cutting Speed:</i>	2400 mm/min	2300 mm/min	1800 mm/min
<i>Leistung:</i> <i>Power:</i>	4000 W	4000 W	4000 W
<i>Gasart:</i> <i>Gas Type:</i>	O₂	O₂	O₂
<i>Gasdruck:</i> <i>Gas Pressure:</i>	0,7 bar	0,8 bar	0,8 bar

Lézeres vágás

All-In-Light EdgeTec (6kW)



A lézeres vágás során keletkezett vágási barázdák



Gyártás: lézeres vágás



2005.

Sanocor Stent

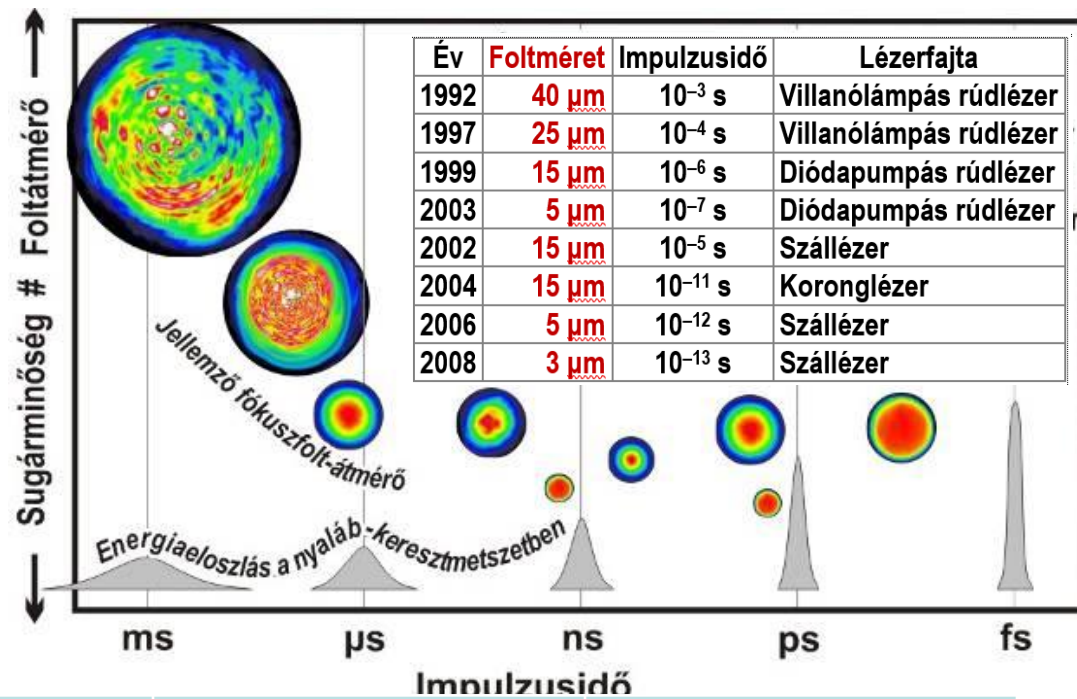
2007.

CE

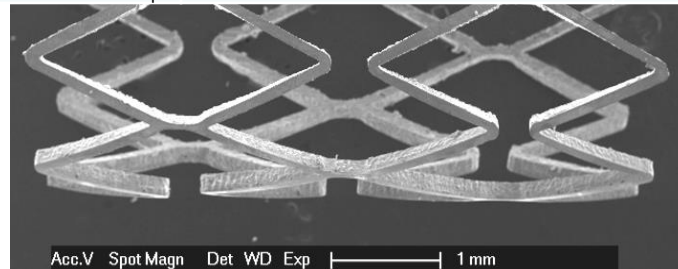
2008.



Gyártás: lézeres vágás



Év	Foltméret	Impulzusidő	Lézerfajta
1992	40 μm	10^{-3} s	Villanólámpás rúdlézer
1997	25 μm	10^{-4} s	Villanólámpás rúdlézer
1999	15 μm	10^{-6} s	Diódapumpás rúdlézer
2003	5 μm	10^{-7} s	Diódapumpás rúdlézer
2002	15 μm	10^{-5} s	Szállézer
2004	15 μm	10^{-11} s	Koronglézer
2006	5 μm	10^{-12} s	Szállézer
2008	3 μm	10^{-13} s	Szállézer

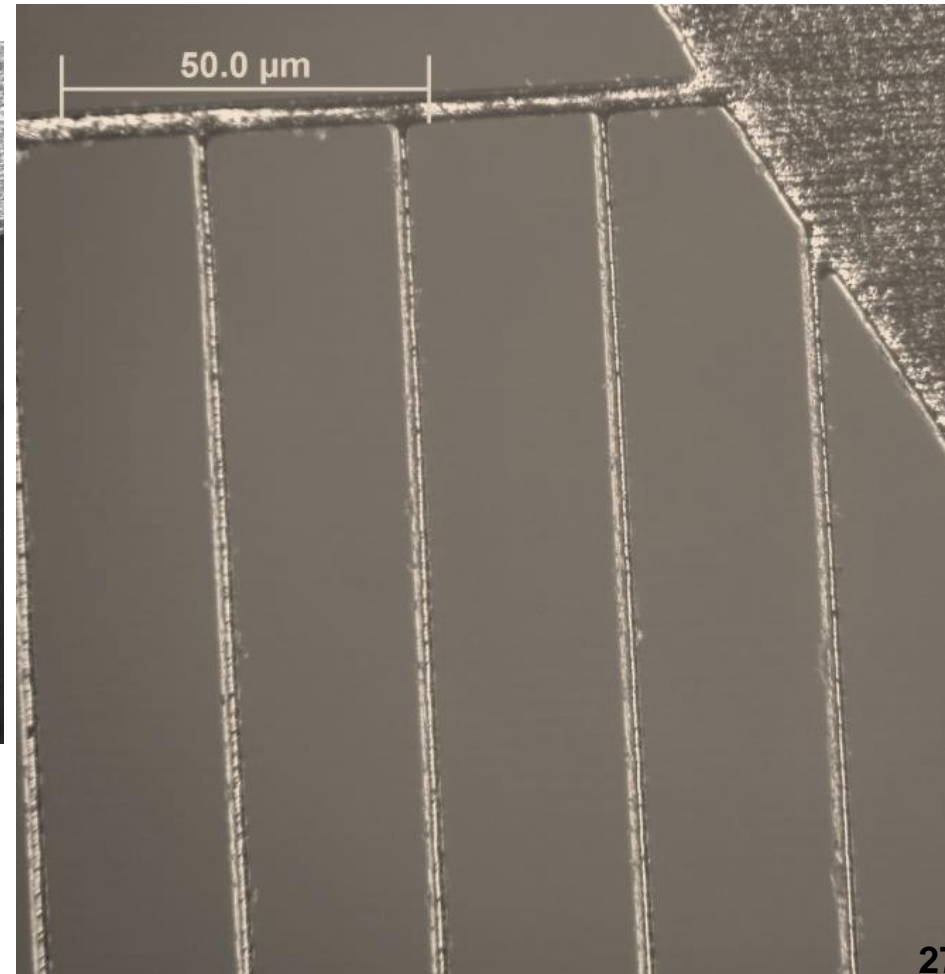
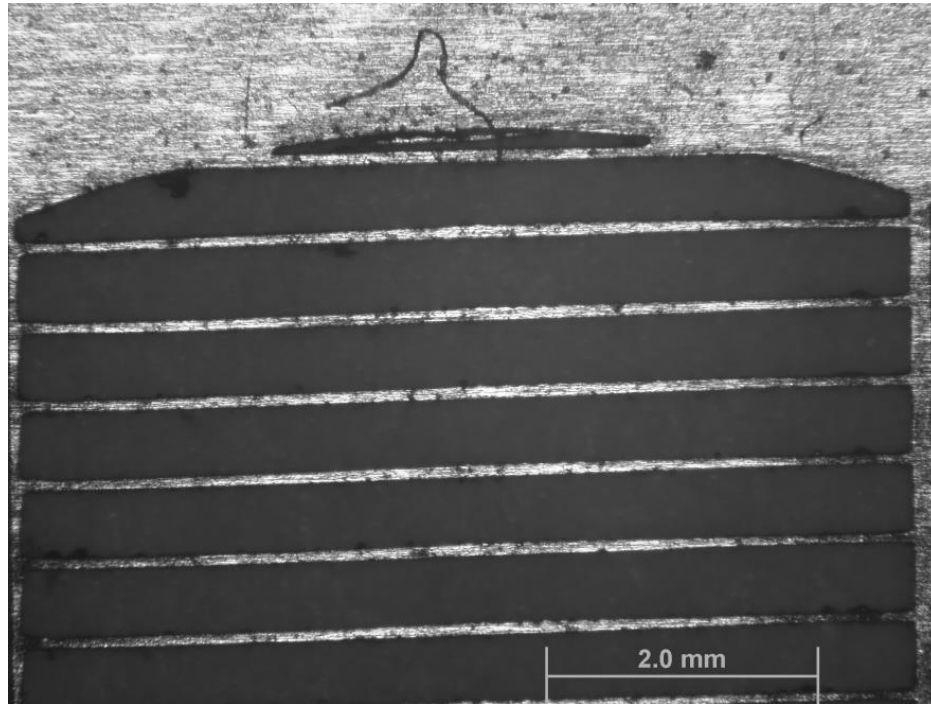


Nitinol és DES is

16-14. ábra – Lézeres-litográfias levilágítással és kémiai maratással készített sztent prototípusok; egy BME-s diplomázó magyar diák, Nyitrai Zsolt alkotása 2002-ben

Rozsdamentes acél mikromegmunkálása

- Nagy pontosságú vágásokhoz: 2000–4000 Hz, 10 mJ, 4–20 mm/s
- Közepes energiájú vágásokhoz: 1000–2000 Hz, 10–30 mJ, 4–20 mm/s
- Nagy energiájú vágások: 100–1000 Hz, 30–120 mJ, 0,5–4 mm/s



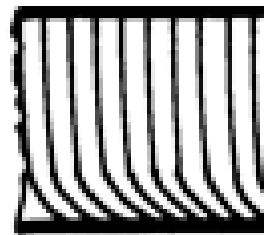
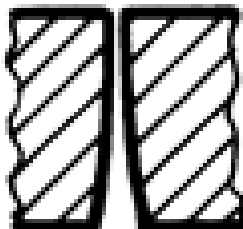
Forrás: Puskás Zsolt, EXASOL Kft.

A helytelenül beállított vágási paraméterek hatása

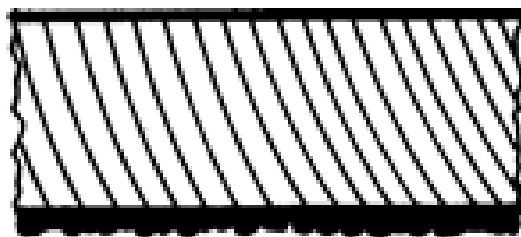
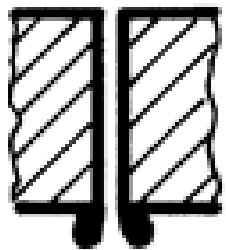
Ha nincs sorja / tapadósalak →

Teljesítmény jó, sebesség jó

A vágási felület alsó részén eltolódott a barázdák alja, a vágási rés alul szélesebb

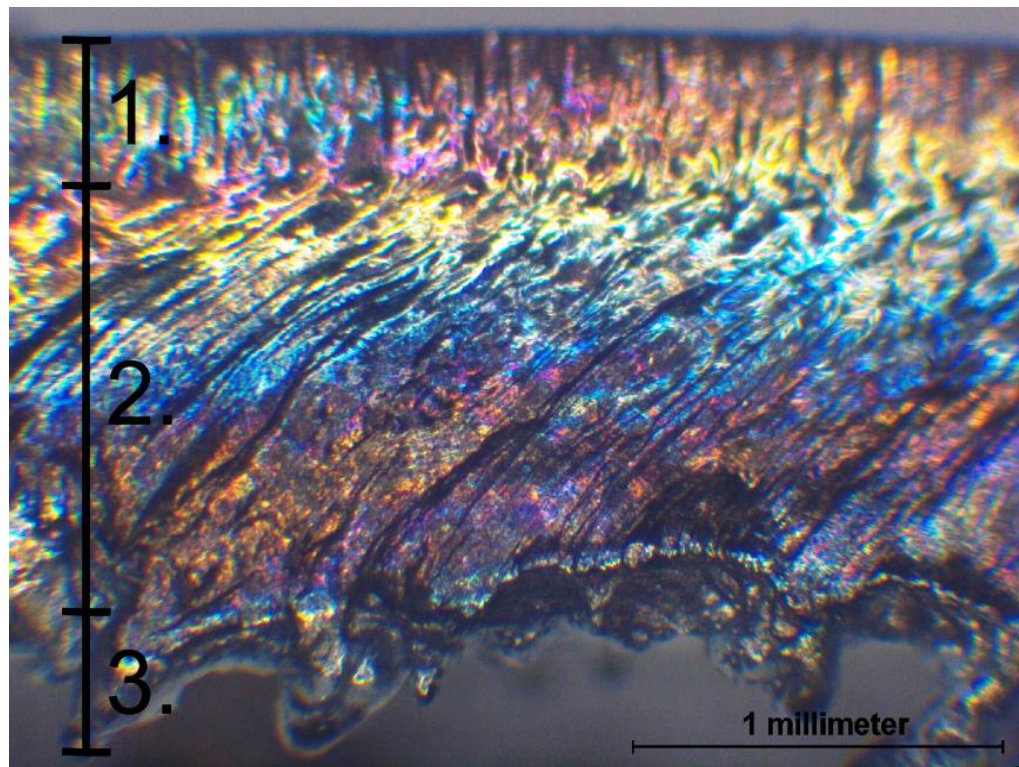


Sebesség nagy
Lézerteljesítmény kicsi
Gáznyomás nagy
Fókuszhelyzet túl fent

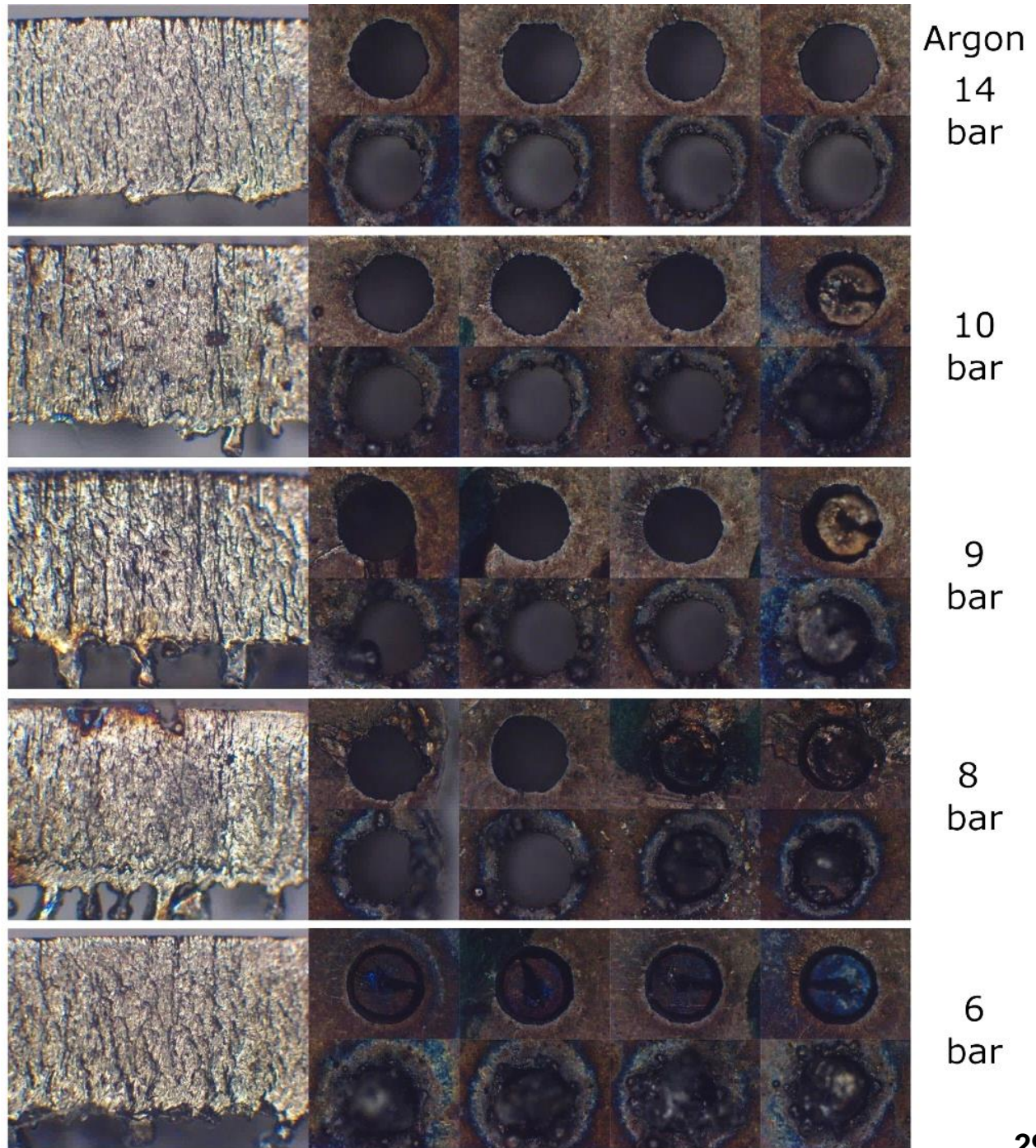


Tapadósalak alul, oldalt, cseppszerű is lehet, jól eltávolítható

Sebesség nagy
Gáznyomás kicsi
Fókuszhelyzet túl fent



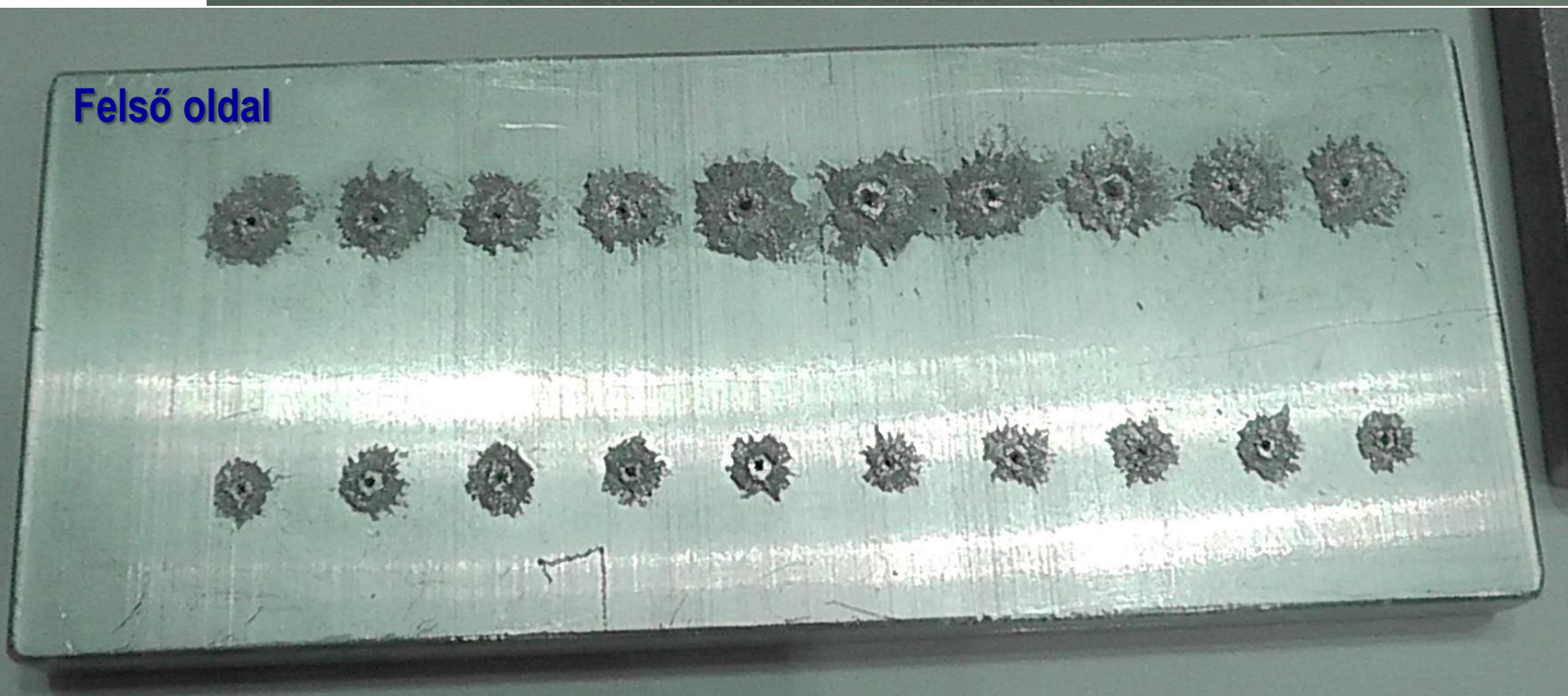
A vágógáz hatása



Lézeres vágás, fúrás

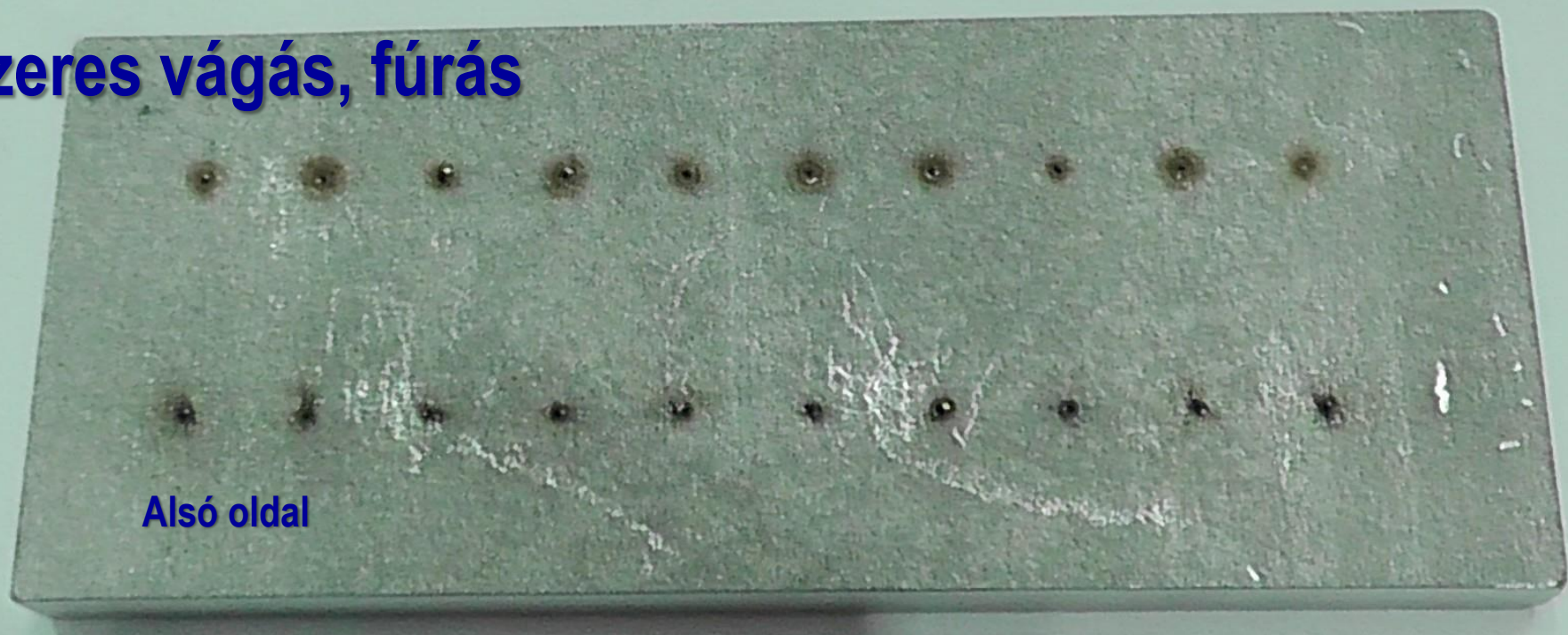


Alsó oldal



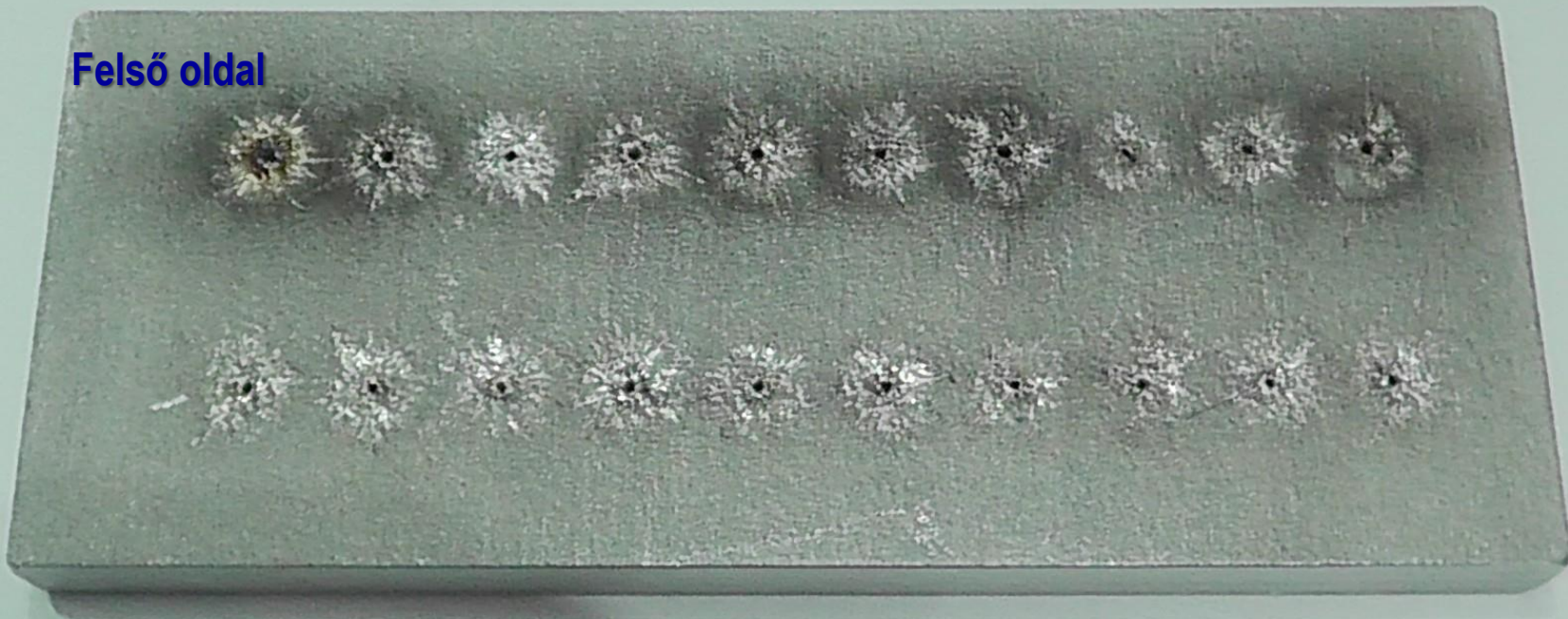
Felső oldal

Lézeres vágás, fúrás

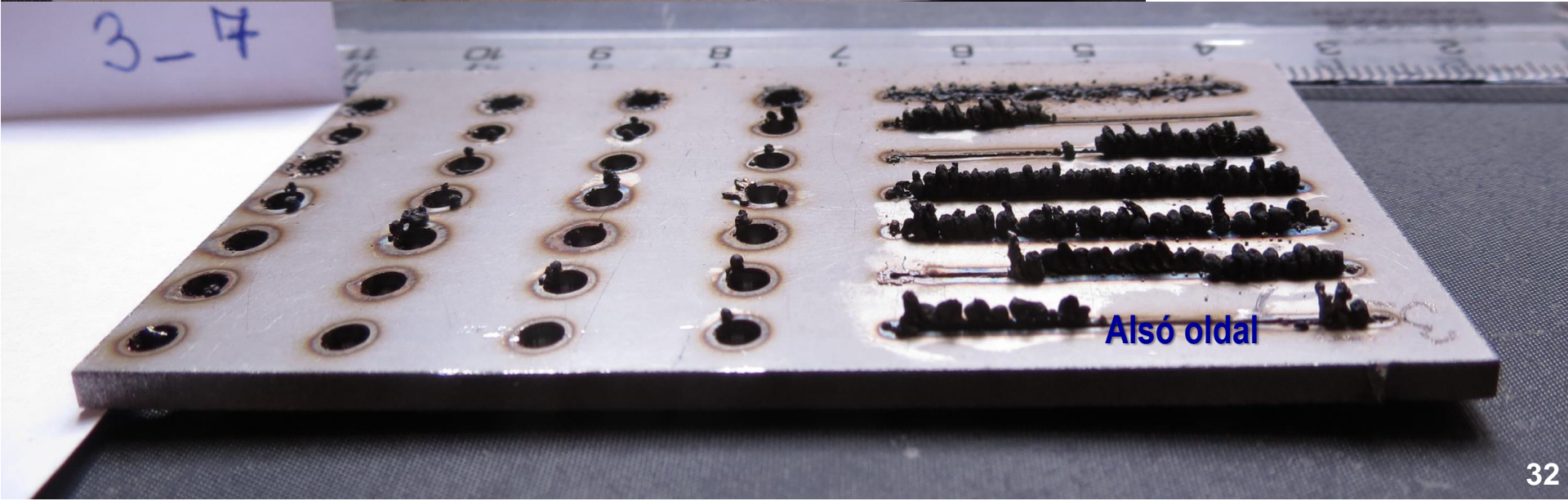
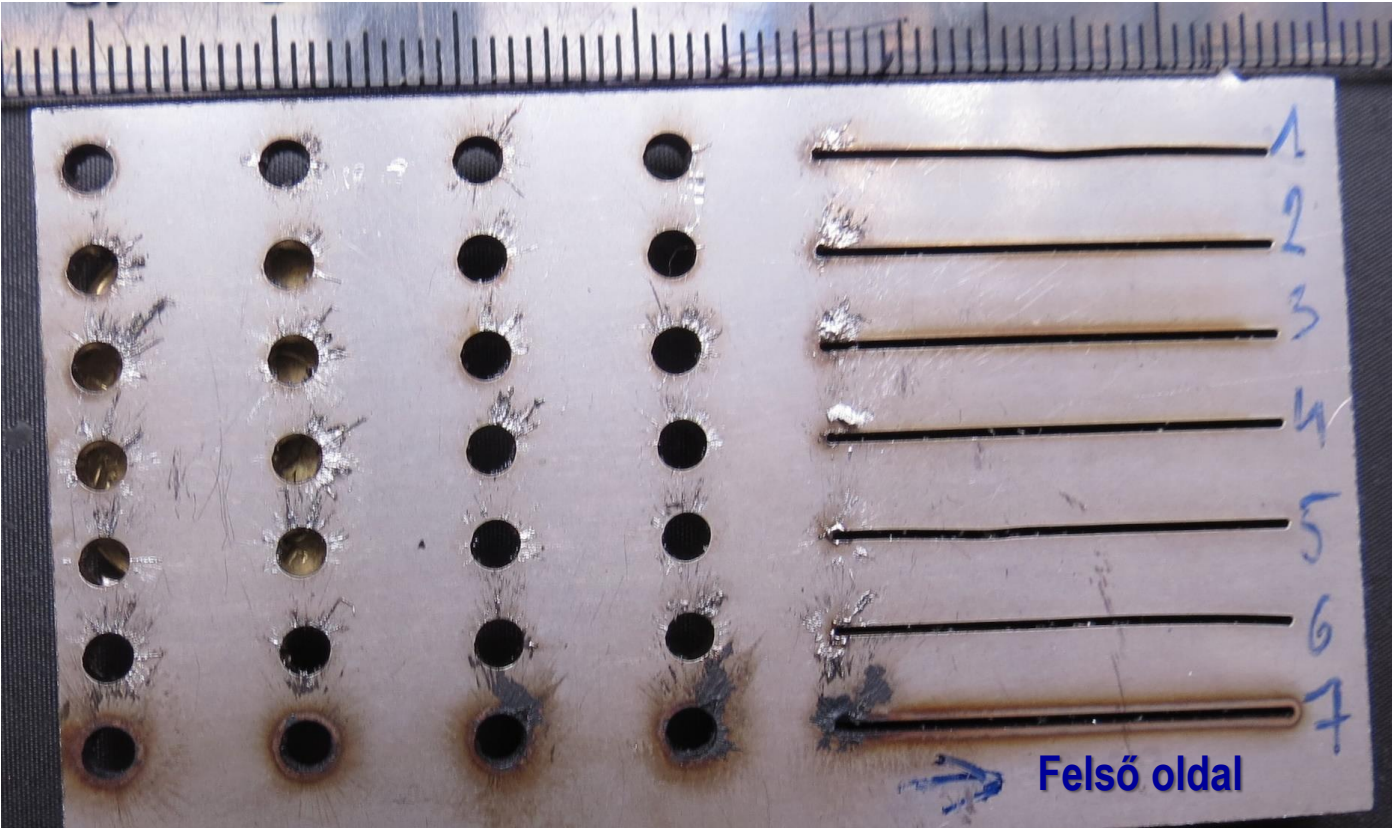


Alsó oldal

Felső oldal

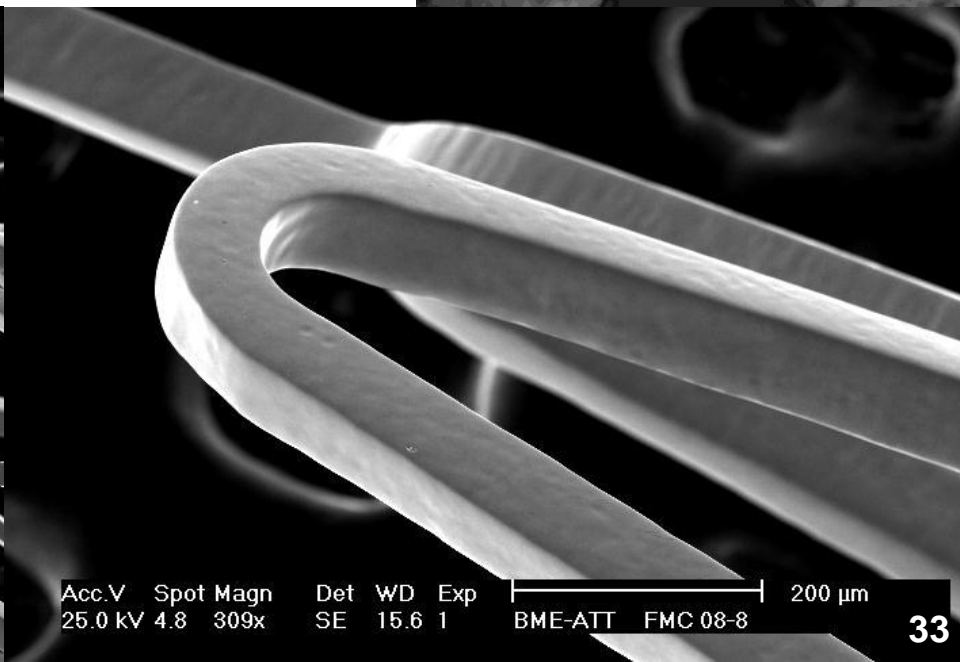
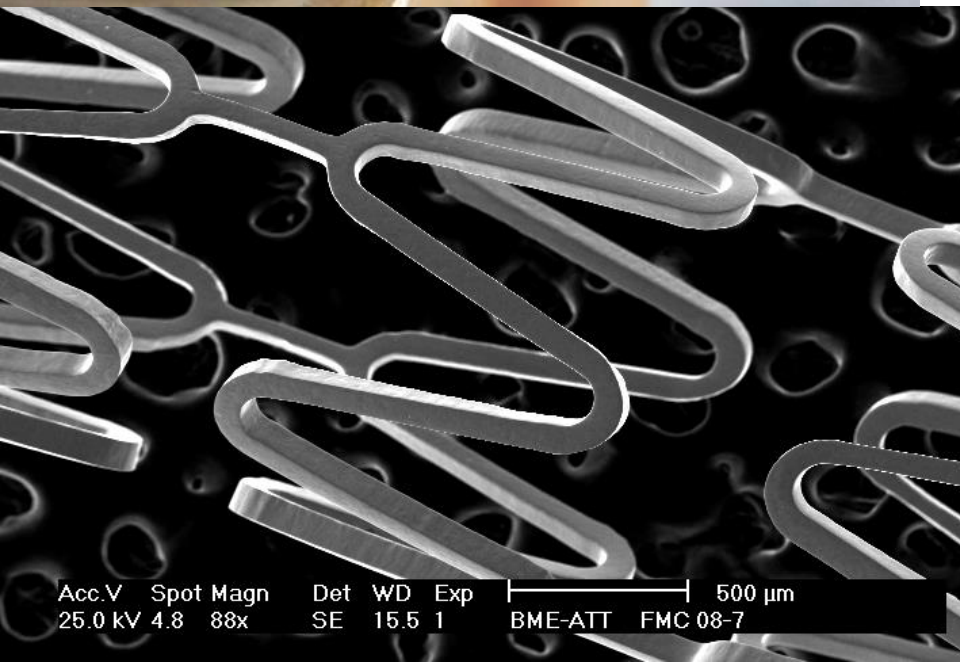
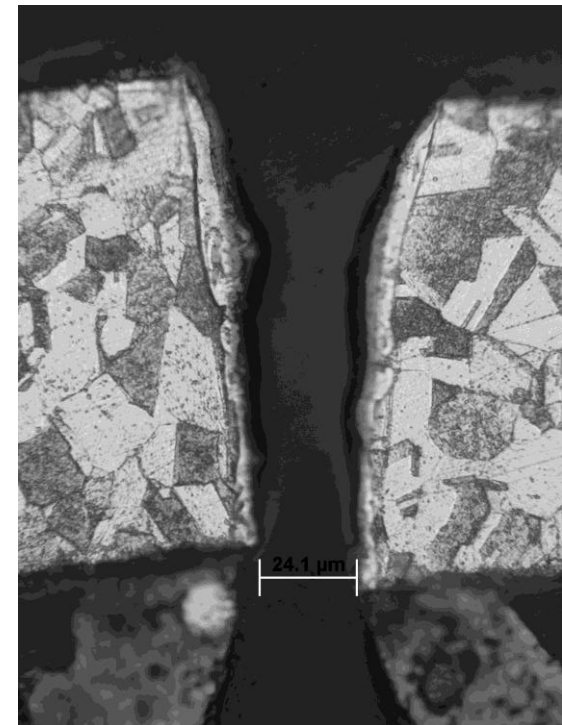
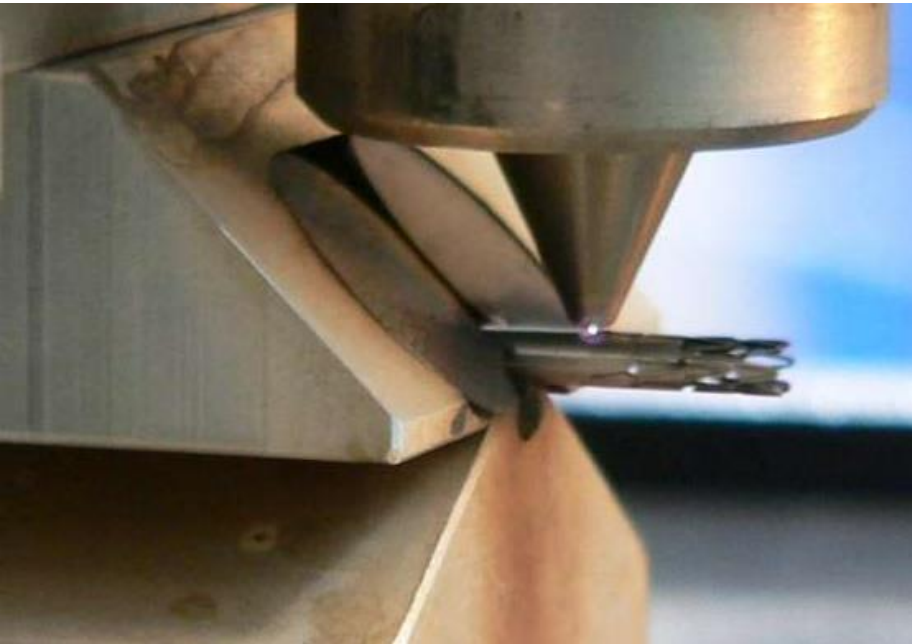


Lézeres vágás



Szentgyártás Magyarországon

1993–2012.



A változók beállított értékeinek egymásra gyakorolt hatása

LASAG KLS-246 típusú lézerberendezéshez

