

## Sárgaréz lemez lézeres vágása

### Laser Cutting of Brass Sheet

Fábián Enikő Réka,<sup>1</sup> Czigány Bence<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Anyag- és Gyártástudományi Intézet, Budapest, Magyarország, [fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu](mailto:fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu)

<sup>2</sup> Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. Budapest, Magyarország, [czbence997@gmail.com](mailto:czbence997@gmail.com)

#### Abstract

Laser cutting of copper-based alloy sheets is very difficult due to their high reflectivity, which can be modified with graphitization. The optimal parameters for a 2.5 mm thick brass sheet were determined by examining the laser beam parameter variations and the laser cut kerfs. The best characteristics of kerfs were obtained when the surface was graphitized, the laser frequency was 200 Hz, the applied laser speed was 1400 mm/min on 2500 W power and the focal point was under the surface by 0.8 mm. The applied working gas was nitrogen.

**Keywords:** *brass, laser cutting, kerf.*

#### Összefoglalás

A rézötvözetek lézeres vágása kihívást jelent ezen anyagokon a lézertérny jelentős visszaverődése miatt. A CO<sub>2</sub> lézeres vágás paramétereinek hatástanulmányát sárgaréz lemezekon végeztük. A technológiai beállítások változtatásainak eredményeül kapott vágási rések tanulmányozása alapján választottuk ki a legmegfelelőbb beállításokat. A 2,5 mm vastagságú sárgaréz lemezen a legszebb vágási felületet grafitral bevont felületnél kaptuk, amikor a fókuszfolt helyzete 0,8 mm-re volt a lemezfelület alatt, a lézerteljesítmény 2500 W, az impulzusfrekvencia 200 Hz és a haladási sebesség 1400 mm/min volt. Az alkalmazott munkagáz minden esetben nitrogén volt.

**Kulcsszavak:** *sárgaréz, lézeres vágás, vágási rés.*

#### 1. Bevezetés

A gépgyártó iparban jelenleg használt lézeres megmunkálások közül a fémek és nemfémek anyagok lézeres vágása széles körben elterjedt [1–5]. A lézer a precíz működés, a rövid megmunkálási idő és a kis megmunkálási költség miatt jelentős előnyöket kínál a hagyományos technikákkal szemben. A vastag szelvények lézeres vágásakor lejátszódó fizikai folyamatok bonyolultak, és jelentősen befolyásolják a végtermék minőségét. A lézeres vágáskor alkalmazott technológiai beállítások, különösen a lézerteljesítmény, a fókuszfólyó lencse beállítása, a haladási sebesség, a munkagáz és annak nyomása befolyásolják a vágási szakasz fizikai folyamatait [6, 7]. A technológiai beállítások szabályozásával a jobb vágási minőség elérése a cél. Következésképpen a lézeres vágási

folyamatot befolyásoló technológiai beállítások vizsgálata szükséges a végtermék minőségének javítása érdekében.

Az ötvözetlen és az erősen ötvözött, rozsdamentes acélok lézeres vágását sokan tanulmányozták [8, 9]. Uslan [9] úgy találta, hogy CO<sub>2</sub>-lézeres vágáskor a lézerteljesítmény változása a vágási folyamat során a vágási rés szélességi méretének jelentős változását eredményezi, amely kisebb lézerteljesítményeknél erőteljesebb. Az irodalmi adatok azt mutatják [10], hogy ausztenites acéloknál a munkadarab vastagságának növekedésével nő a vágási rés mérete, a hőhatásövezet mérete, azonban az impulzusfrekvenciának a növelésével a kialakuló vágási rés mérete nem lineárisan változik [10]. Vékony lemezeknél a kis frekvencia hozta a legnagyobb résszélességet [10].

A rézötvözetek csoportjába tartozó fémek vágása nehezebb, mint a korrózióálló acéloké, a matéria nagy hővezető képessége és nagy hőkapacitási együtthatója miatt. A folyamat előkészítésénél figyelembe kell venni, hogy a réz lézeres vágása annál nehezebb, minél vastagabb a lemez [11, 12]. A rézötvözetek nagy fényvisszaverő képessége bizonyos követelményeket támaszt a berendezésekkel szemben. Daurello és társai [12] szerint a rézlemezek lézeres hegesztése a lézeres besugárzás alatt növesztett oxid rétegeinek (CuO és Cu<sub>2</sub>O) átfedésével lehetséges. Ezek a kísérleti eredmények [12] (a lézersugárzás rézfelületi abszorpciójának növelése) a rézlemezek vágásánál is alkalmazhatók. A réz és más fényvisszaverő fémek fényvisszaverő képessége csökken, amikor a fém felmelegszik, és meredeken csökken, amint az anyag megolvad [13]. A fókusztávolság (a fókuszpont és a vágandó munkadarab felső felületének távolsága) szintén befolyásolja a vágás eredményét. A szakirodalom szerint a maximális vágási sebesség akkor érhető el, ha a lézersugár fókuszfoltja vékony lemezek esetén a lemez felületén, vastag lemezeknél a lemezvastagság körülbelül egyharmadával a felület alatt helyezkedik el [6]. A fókuszpontnak a munkadarab feletti helyzetét általában pozitív fókusztávolságnak, a fókuszpontnak a munkadarab alatti helyzetét általában negatív fókusztávolságnak nevezik. A vágási rés szélessége a fókuszpont helyzetétől függ [13, 14]. A fókuszpozíció megváltoztatása a foltméret változását jelenti a lemez felületén és annak belsejében. Ha a fókusztávolság nagyobb, a folt vastagabbá, a rés pedig egyre szélesebbé válik, ami viszont hatással van a hevített felületre, a rés méretére és a képződő olvadék távozási kapacitására. A rézlemez átlukasztásakor és vágásakor jellemzően nagy nyomású oxigént használnak vágógázként a folyamat megbízhatóságának növelése érdekében, mivel oxigén használata esetén a felületen a réz-oxid képződése csökkenti a sugárzás-visszaverő képességet. Sárgaréz esetében a nitrogén vágógáz jól működik [13]. Megközelítő útmutatásként a teljesítmény beállítása érdekében a szakirodalomban különböző rézlemezvastagságokra különböző, minimálisan szükséges csúcsteljesítményeket adnak meg [13].

## 2. Kísérleti adatok

A kísérletünk során sárgaréz lemezek vágását végeztük Trump TLF 5000 turbó CO<sub>2</sub>-lézerrel. A vágási sebesség, a frekvencia és a fókuszfolt helyzetek hatását tanulmányoztuk. Az első kísérlet

sérlet sorhoz a fókuszfolt helyzetét 0,8 mm-re a felület alá állítottuk be. A szakirodalmi adatok alapján [13] 2,5 mm-es lemezvastagsághoz 2500 W teljesítményt állítottunk be. Munkagázként nitrogént használtunk. Néhány vágási beállítást grafitozott felületen is kipróbáltunk, csökkentve a felület reflexióját.

Sikeresnek neveztük azokat a vágásokat, ahol a teljes átvágás megtörtént (egyenletes rés látható a lézerfej felületén ellentétes oldalon elhelyezkedő felületen). Amennyiben a bevitt energia kevésnek bizonyult, a megolvadt sárgaréz mennyisége visszaáramlott a lemezfelületre. Az alkalmazott technológiai adatokat az 1. táblázatban láthatjuk.

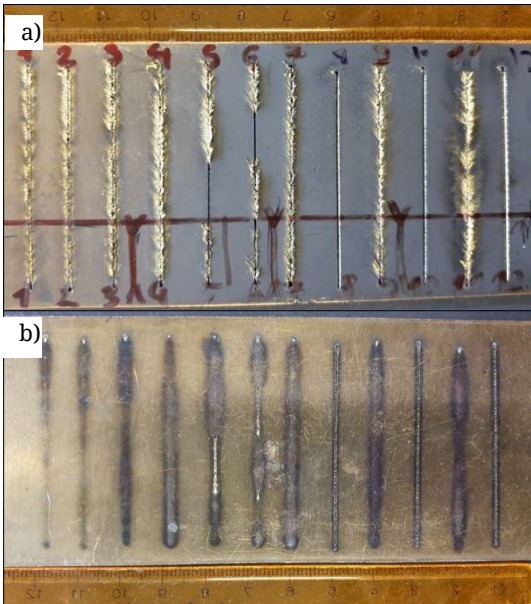
1. táblázat. Alkalmazott technológiai adatok

Sorszám	f (Hz)	v (mm/min)	Fókusz (mm)	Grafit	Sikeres
1	600	2250	-0,8	nem	nem
2	600	2000	-0,8	nem	nem
3	600	1800	-0,8	nem	nem
4	600	1600	-0,8	nem	nem
5	600	1400	-0,8	nem	részleges
6	200	1400	-0,8	nem	részleges
7	200	1400	-2	nem	nem
8	200	1400	-0,8	igen	igen
9	200	1600	-0,8	igen	nem
10	200	1200	-0,8	igen	igen
11	200	1500	-0,8	igen	nem
12	200	1000	-0,8	igen	igen

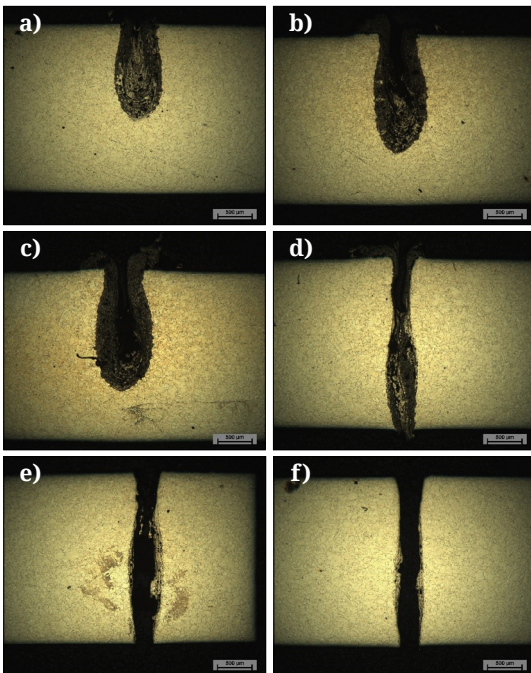
A vágási rések alakját, a vágási rés közelében látható szövetszerkezet jellegét a vágási végektől 25 mm-re vágott keresztirányú metszetekből készített metallográfiai csiszolatokon tanulmányoztuk polírozott és maratott állapotban, Neophot 2, illetve Olympus DSX fénymikroszkópokkal. Marószerként ammónium-peroxo-diszulfát 10%-os oldatát használtuk.

## 3. Kísérleti eredmények

Szemrevételezés során (1. ábra) megfigyelhető volt, hogy a 2,5 mm-es sárgaréz lemez 1400 mm/perc-nél nagyobb vágási sebesség esetén nem vágódott át a teljes lemezvastagság, az olvadt anyag megjelenik a lemez felületén. Az 1400 mm/perc vágási sebesség mellett a vágás sikeressége a többi technológiai adattól függ. Amennyiben a fókuszpontot a lemez alsó oldalára helyeztük (7. vágás), a 6. vágási vonalhoz hasonló paraméte-



**1. ábra.** A vágási beállítások hatása  $d = 2,5$  mm lemeznél,  $P = 2500$  W. a) felülnézet b) alulnézet

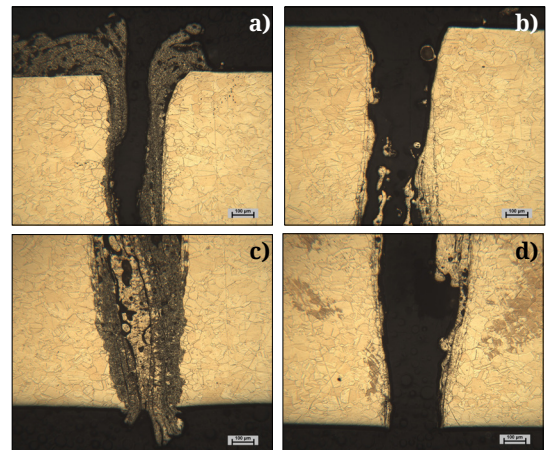


**2. ábra.** A vágási rés megjelenése a metallográfiai csiszolatokon  $f_p = -0,8$  mm  
 a)  $f = 600$  Hz,  $v = 2000$  mm/min,  
 b)  $f = 600$  Hz,  $v = 1800$  mm/min,  
 c)  $f = 600$  Hz,  $v = 1600$  mm/min,  
 d)  $f = 600$  Hz,  $v = 1400$  mm/min,  
 e)  $f = 200$  Hz,  $v = 1400$  mm/min,  
 f)  $f = 200$  Hz,  $v = 1400$  mm/min, grafitozott.

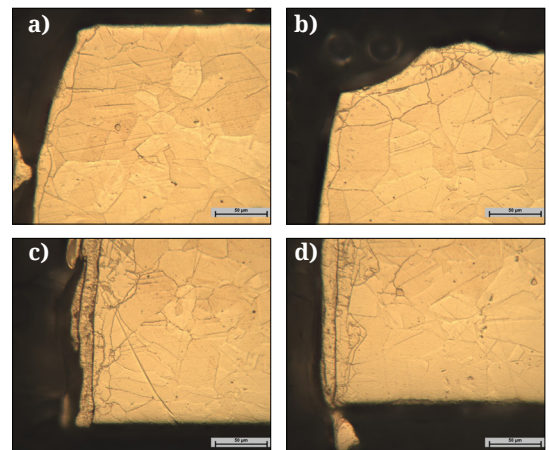
rekkel ( $f_p = -0,8$ ,  $f = 200$  Hz,  $v = 1400$  mm/min) sok olvadt anyag kerül vissza a felületre, a vágás nem volt sikeres. A teljes lemezvastagságon átmenő vágási rés  $1000$ – $1400$  mm/min vágási sebességgel volt lehetséges, amikor a fókuszpont a lemezvastagság  $1/3$  részénél volt (**1–2. ábra**), különösen, ha a fényreflexiót grafitos festékekkel csökkentettük.

A keresztmetszeten látható, hogy a vágási sebesség csökkenésével az olvadt zóna egyre mélyebb lett (**2. ábra**) akkor is, ha nem volt sikeres a vágás. A maradt mintákon látszik, hogy az olvadt anyag és a salak a résen belül marad, ha a frekvencia nagy volt (**2–3. ábra**).

A frekvenciacsökkentés kevesebb maradék anyagot eredményez a rés felületén (**3–4. ábra**).



**3. ábra.** A frekvencia hatása a vágási résben maradó anyagmennyiségre,  $v = 1400$  mm/min,  $f_p = -0,8$  mm, grafit nélkül  
 (a, c)  $f = 600$  Hz (b, d)  $f = 200$  Hz



**4. ábra.** Olvadt zóna megjelenése a vágási élen,  $v = 1400$  mm/min,  $f_p = -0,8$  mm  $f = 200$  Hz  
 (a, c) grafit nélkül, (b, d) grafittal

A grafitozott sárgaréz lemez vágásakor kisebb mennyiségű újraolvadt anyag figyelhető meg a vágási élen (4. ábra), és emiatt kisebb ezen a felületen az érdessége (4. ábra c, d). A grafitos festés amellett, hogy az erős fényvisszaverődés csökkentése révén védi a lézerberendezést, a vágási él felületi minőségét is javította.

A vágási sebesség csökkentése a vágási rést szélesíti, de egyenletesebb lesz a vágott felület (5. ábra), a vágási élen viszont több megolvadt anyag maradt (6. ábra).

#### 4. Következtetés

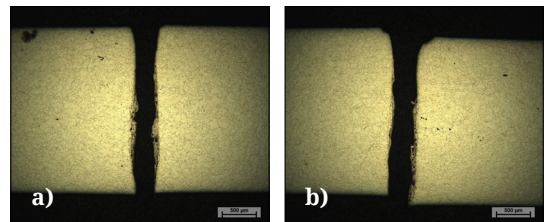
A 2,5 mm vastagságú sárgaréz lemezt átvágni CO<sub>2</sub>-lézerrel, 2500 W lézerteljesítményen, grafitos felületnél, 1000–1400 mm/min közé eső vágási sebességgel sikerült, amikor a frekvencia 200 Hz és a fókusz síkja –0,8 mm volt.

#### Köszönetnyilvánítás

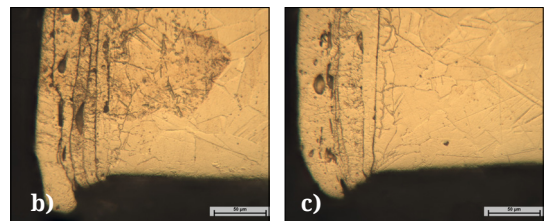
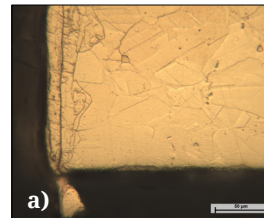
A szerzők köszönetet kívánnak mondani a Magyar Államnak, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak, valamint az Európai Uniónak a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00081. számú projekt támogatásáért.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Astashchenko V. I., Zapadnova N. N., Mukhamet-zianova G. F., Shafigullina A. N.: *Key concepts for production of high-quality parts*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 240. (2017), v No 012007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/240/1/012007>
- [2] Teregulov N. G., Sokolov B. K., Matveeva V. S.: *Quality of the processed surface during laser cutting and its control*. Kumertau Aviation Industrial Enterprise Institute, 2007.
- [3] Ronald D. Schaeffer: *Fundamentals of Laser Micromachining*. CRC Press. USA, 2012. 25.
- [4] John Powell: *CO<sub>2</sub> Laser Cutting*. Springer. USA, 1993.
- [5] Narendra B. Dahotre, Sandip P. Harimkar: *Laser Fabrication and Machining of Materials*. Springer. USA, 2008. 193–196.
- [6] Ion J.: *Laser Processing of Engineering Materials: Principles, Procedure and Industrial Application* eBook ISBN: 9780080492803. 2005. 347–369.
- [7] Bahman Zohuri: *Thermal Effects of High Power Laser Energy on Materials*. Springer. USA, 2016. 1.
- [8] Yilbas B. S.: *Laser cutting of thick sheet metals: Effects of cutting parameters on kerf size variations*. Journal of Materials Processing Technology (2008) 285–290. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.11.265>
- [9] Uslan I.: *CO<sub>2</sub> laser cutting: kerf width variation during cutting*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engi-



5. ábra. A vágási sebesség hatása a vágott részre,  $f_p = -0,8$  mm,  $f = 200$  Hz, a)  $v = 1400$  mm/min b)  $v = 1000$  mm/min



6. ábra. A vágási sebesség hatása a vágási résre  $f_p = -0,8$  mm  $f = 200$  Hz a)  $v = 1400$  mm/min b)  $v = 1200$  mm/min c)  $v = 1000$  mm/min

- neering Manufacture, 219. (2005) 571–577. <https://doi.org/10.1243/095440505X32508>
- [10] Keles O., Oner U.: *Laser Cutting Process: Influence of Workpiece Thickness and Laser Pulse Frequency on the Cut Quality*. Arabian Journal for Science and Engineering, 37. (2012) 2277–2286. <https://doi.org/10.1007/s13369-012-0306-2>
- [11] Daurelio G., M. Dell' Erba, Cento L.: *Cutting Copper Sheets by CO<sub>2</sub> laser*. Lasers & Applications, 5/3. (1986) 59–64.
- [12] Daurelio G., M. Giorelo G.: *Experimental techniques to cut and weld copper by laser. A review*. Materials and Manufacturing Processes, 6/4. (1991) 577–603. <https://doi.org/10.1080/10426919108934791>
- [13] Valentin P. Gapontsev: *How to Laser Cut Copper and Other Reflective Metals*. Ph.D thesis, EU, 2021. <https://lasersystems.ipgphotonics.com/resources/blog/how-to-laser-cut-copper-and-other-reflective-metal>
- [14] The focal point position effect on split. <https://www.xtlaser.com/optimal-laser-equipment-bunny>