

A folyamatparaméterek hatásának vizsgálata a lézersugárral hegesztett fúrókoronák törésére

Investigation of the effect of process parameters on the break of laser-welded drill bits

Kenéz Attila Zsolt,^{1,2} Bagyinszki Gyula³

¹ Hilti Szerszám Kft., Kecskemét, Magyarország, attila.kenez@hilti.com

² Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest, Magyarország, kenez.attila@phd.uni-obuda.hu

³ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

The geometry and microstructure of the weld can be influenced by changing technological parameters such as laser power, welding speed, focal distance and shielding gas. In this document we examine the effect of laser power and focal distance on the quality of the breakout value while the welding speed and the shielding gas is not changed. From the test results, we found that changing the defocus does not affect; a change in laser power affects ~15 %, while a change in welding position significantly affects the breaking torque.

Keywords: *laser welding, diamond segment, material testing, parameter study.*

Összefoglalás

A varrat geometriája és szövetszerkezete befolyásolható a lézerteljesítmény, a hegesztési sebesség, a fókusztávolság és a védőgáz technológiai paraméterek változtatásával. Jelen cikkben azt vizsgáljuk, hogy a lézerteljesítmény és a fókusztávolság milyen hatással van a minősítő törési nyomatók értékre, miközben a hegesztési sebességet és a védőgázt nem változtatjuk. A vizsgálati eredményekből megállapítottuk, hogy a defókusztávolság változtatása nem befolyásolja; a lézerteljesítmény változtatása ~15%-ban befolyásolja, míg a hegesztési pozíció változtatása jelentősen befolyásolja a törési nyomatókat.

Kulcsszavak: *lézersugaras hegesztés, gyémántszegmens, anyagvizsgálat, paraméter-vizsgálat.*

1. Bevezetés

A lézersugaras hegesztésnek számos előnye van, mint pl. koncentrált, így fajlagosan kis hőbevitel, keskeny hőhatásövezet, kismértékű torzulás, könnyű automatizálhatóság. A hagyományos hegesztési eljárásokhoz képest mélyebb a beolvasás, nagyobb a hegesztési sebesség, a pontosság, a megbízhatóság, a hatékonyság és nagyobb a termelékenység [1]. Lézerrel eltérő anyagminőségű fémek is hegeszthetők, ha a két fém képes egyidejűleg megömleni és közös ömledéket képezni [2]. A varrat geometriája és szövetszerkezete befolyásolható a technológiai paraméterek változtatásával.

Korábbi cikkünkben [3] már vizsgáltuk gyémántszegmenses fúrókoronák lézerhegesztett kötéseit, hegesztési hibákat, és esetleges átötvöződések kerestünk, ill. szövetszerkezeti és keménységvizsgálatokat végeztünk. Ebben a kutatásban is porkohászati úton gyártott szegmenseket hegesztettünk vékony falú acélsőre, a mintagyártásnál ugyanazokat a komponenseket használtuk, mint a szériagyártásban. Külön-külön vizsgáltuk a lézeres hegesztési folyamatparaméterek hatását az így kapott vegyes kötések törésvizsgálati értékeire. Ez az érték szerepel a jelenlegi rajzi előírásokon, ez alapján minősítik a szériagyártásban a lézerhegesztett kötéseket.

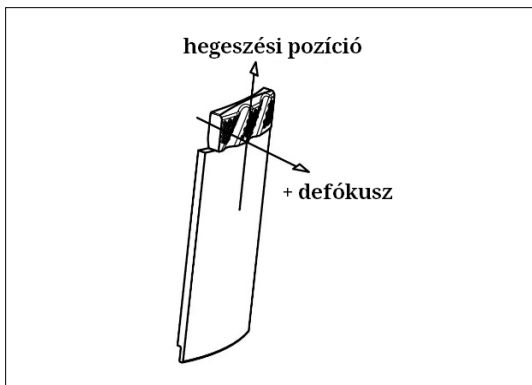
2. A kísérletek feltételei

A lézeres hegesztési folyamatparaméterek, mint pl. a lézerteljesítmény, a hegesztési sebesség, a fókusz távolság és a védőgáz befolyásolják a legnagyobb mértékben a hegesztett kötések minőségét [4]. Ebben a kísérletsorozatban a lézerteljesítmény mellett a fókusz távolság változásának hatását vizsgáltuk nemcsak a felületre merőleges irányban (defókusz), hanem tengelyirányban is (hegesztési pozíció) (1. ábra), mivel két komponens összehegesztésénél a lézergyár eltolódása egyik vagy másik komponens irányában befolyásolja a kötés szilárdságát.

A kísérleteket Trumpf TruDisk 4002 lézerforrással végeztük, mely max. 4 kW teljesítményű és a nyaláb hullámhossza 1,03 μm . A szegmenseket vékony falú hidegen húzott, 1,0308 anyagminőségű, EN 10305-1 szabvány szerinti [5], $2 \pm 0,15$ mm falvastagságú csőre hegesztettük. A szegmensek hegesztési zónájának (mely nem tartalmaz gyémántszemcsét) kémiai összetétele: Astaloy-Mopor = 99,8%, grafitpor = 0,2%, míg a cső kémiai összetétele: C \leq 0,17%, Si \leq 0,35%, Mn \leq 1,2%, P \leq 0,025%, S \leq 0,025%.

A kísérletek lehetséges stratégiái:

- A legjobb találgatás módszere: gyakran használják, de nem biztos, hogy az optimális választ találjuk meg. Ha találunk egy elfogadhatóan jó megoldást, nem biztos, hogy tovább találgatunk;
- Egyszerre egy faktor változtatása: könnyen reprodukálható eljárás, nagyon sok kísérleti lépés szükséges, az egyes faktorok kölcsönhatása nem derül ki a kísérletből, a vizsgálat során nem lehet figyelembe venni a zavaró hatásokat;
- Faktoros kísérletek: több faktort egyidejűleg változtatunk (kevesebb kísérleti lépés szüksé-



1. ábra. Fókuszfolt eltolásának irányai

ges), az egyes faktorok kölcsönhatása is kiderül a kísérletekből. Lehetővé válik a beállításokhoz kapcsolódó középértékek és az ún. hatások számítása.

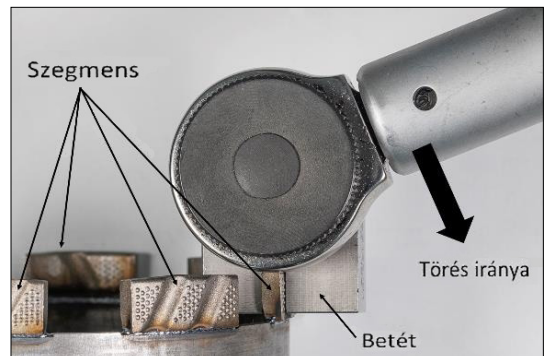
A kísérletek elvégzéséhez az „egyszerre egy faktor változtatása” módszert választottuk. A kapott eredményekből ki fogjuk tudni választani azt a tartományt, amelyen belül érdemes elvégezni a faktoros kísérleteket, hogy megismerjük a paraméterek egymásra hatásait is.

3. Elért eredmények

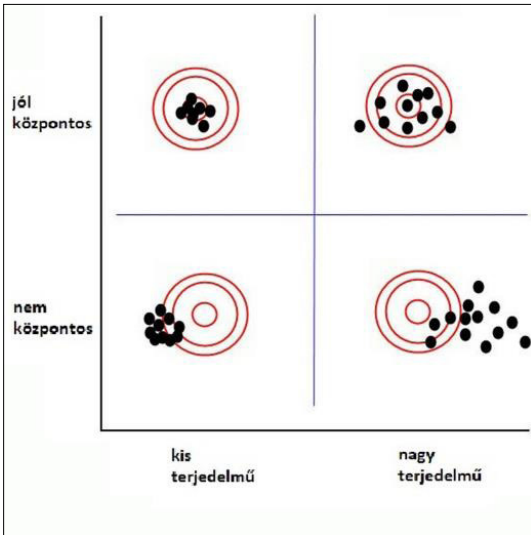
3.1. Az alkalmazott vizsgálati módszer

A vizsgálat célja volt meghatározni a szegmens letöréséhez szükséges nyomaték átlagos értékét, melynek nagyobbak kell lennie az előírt minimumnál, 9 Nm-nél. A törési nyomaték értékének meghatározásához a szegmensre a formájához illeszkedő betétet helyeztünk, amely digitális kijelzésű nyomatékkulcshoz csatlakozott (2. ábra). A nyomatékkulcs nullázása után a szegmenst kifelé irányuló mozdulattal letörtük, és leolvastuk a kijelzett értéket.

Minden mintánál 16 darab szegmenst törtünk le, és a kapott eredményeket a Minitab szoftver segítségével értékeltük ki. Átlagos törési nyomaték értékre (\bar{X}) vonatkozik az előírásunk, de számunkra fontos a legkisebb törési nyomaték érték (min) is azért, hogy minden kötés teljesítette-e az előírást. Emellett a szórást (σ) és a folyamatképességet (Cpk) határoztuk meg. Ez utóbbi értéket mutatja meg, hogy mennyire központosak az átlagértékhez képest és mekkora terjedelműek a tűréshez képest az egyes értékek (3. ábra). A folyamatképességnek két része van: felső (1) és alsó (2). A Cpk (3) a kettő közül a kisebbik érték [6].



2. ábra. A törési nyomaték értékének meghatározásához szükséges eszközök



3. ábra. A folyamat terjedelme és központossága közötti összefüggés (az ábra jelölései: a fekete pontok mutatják a mért értékeket; a piros körök mutatják a tűrésmezőket és a beavatkozási határt) [7]

Ha Cpk értéke

- > 1, akkor a folyamat kielégítő, az alatt nem elégti ki a minimális követelményeket sem;
- ≥ 2, akkor a folyamat az elvárásoknak megfelelő, a hibás darabok részaránya kb. 5 PPM;
- ≥ 5, akkor a folyamat felültervezett (nincs szükség ilyen jó minőségre, ill. nem indokolt az ezzel járó esetleges többletköltség).

$$C_{PL} = (\text{Átlag} - \text{Alsó tűrés}) / (3 \times \text{Szórás}) \quad (1)$$

$$C_{PU} = (\text{Felső tűrés} - \text{Átlag}) / (3 \times \text{Szórás}) \quad (2)$$

$$C_{PK} = \text{Min}(C_{PL}, C_{PU}) \quad (3)$$

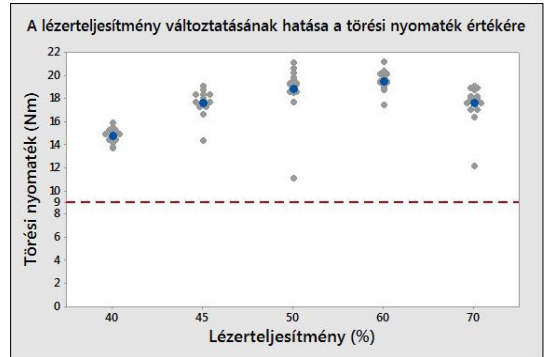
Kiinduló értéként 0,25 mm defókuszt és (-0,2) mm hegesztési pozíciót állítottunk be, a hegesztési sebességet a lézerberendezésen beállítható maximális értékre, 3 m/min-re állítottuk a kísérletek során.

3.2. Eredmények és kiértékelésük

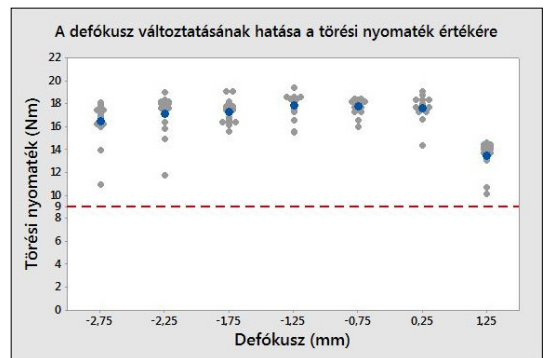
A lézerteljesítmény 10%-os lépcsőkben való csökkentését addig végeztük, amíg a cső még éppen átolvadt teljes keresztmetszetében, ezt az 5. mintánál értük el (45%-os teljesítménynél). Az adatok az 1. táblázatban találhatóak, a grafikus ábrázolás a 4. ábrán látható. A törési nyomatók értékek 2 Nm-en belül változnak a 70–45% teljesítménytartományban. A legkisebb szórás, a legnagyobb gépképességmutató és a legnagyobb törési nyomatók érték 60% teljesítménynél adódott.

1. táblázat. A lézerteljesítmény változtatásának hatása a törési nyomatók értékre

Minta jele	\bar{X} (Nm)	σ	Cpk	min (Nm)
1 (70%)	17,575	1,640	2,65	12,1
2 (60%)	19,506	0,589	3,68	17,4
3 (50%)	18,793	2,216	1,78	11,1
4 (40%)	14,773	0,611	2,84	13,7
5 (45%)	17,620	1,108	2,56	14,3



4. ábra. Törési nyomatók értékek változása a lézerteljesítmény függvényében



5. ábra. Törési nyomatók értékek változása a defókuszt függvényében

Ennek ellenére az átolvadási kritériumot teljesítő 45% teljesítményt vettük alapul a további kísérletekhez, mert ennél a paraméternél egyből látható, ha a fókuszolt eltolás miatt nem olvad át a cső teljes keresztmetszetében.

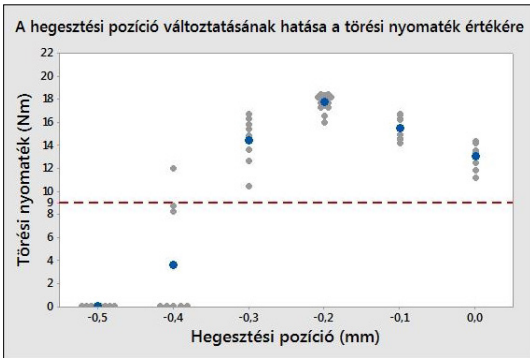
A defókuszt 1 mm-es lépésközzel változtattuk a felülettől távolodva (pozitív érték), majd 0,5 mm-es lépésekkel a felülethez közelítve (negatív érték). Az adatok a 2. táblázatban találhatóak, a grafikus ábrázolás az 5. ábrán látható.

2. táblázat. A defókusz változtatásának hatása a törési nyomaték értékre

Minta jele	\bar{X} (Nm)	σ	Cpk	min (Nm)
6 (1,25)	13,431	1,271	1,58	10,1
7 (-0,75)	17,731	0,690	4,69	16
8 (-1,25)	17,818	1,104	2,74	15,5
9 (-1,75)	17,275	1,025	2,39	15,6
10 (-2,25)	17,086	1,823	1,73	11,7
11 (-2,75)	16,433	1,848	1,35	10,9

3. táblázat. A hegesztési pozíció változtatásának hatása a törési nyomaték értékre

Minta jele	\bar{X} (Nm)	σ	Cpk	min (Nm)
13 (0)	13,025	1,105	2,05	11,2
14 (-0,1)	15,500	1,044	2,59	14,2
15 (-0,3)	14,450	2,134	0,89	10,4
16 (-0,4)	3,612	5,106	-0,39	0
17 (-0,5)	0			0



6. ábra. Törési nyomaték értékek változása a hegesztési pozíció függvényében

A pozitív defókuszból negatív hatással van a törési nyomaték értékre, viszont a negatív defókuszból hatására a törési nyomaték értékek 1,4 Nm-en belül változnak. A hegesztési pozíció vizsgálatához a legnagyobb gépképességmutatójú paraméteregyüttest választottuk (7. minta).

A hegesztési pozíciót 0,1 mm-es lépésközzel változtattuk a szegmens élétől indulva a cső irányába. Az adatok a 3. táblázatban találhatóak, a grafikus ábrázolás a 6. ábrán látható. A szegmens élétől távolodó hegesztési pozíció növeli a törési nyomaték értéket, majd a maximum elérése után

megnövekszik az értékek szórása, és ezzel párhuzamosan lecsökken a törési nyomaték érték az előírt min. 9 Nm alá (16. és 17. minta).

Az „egyszerre egy faktor változtatása” stratégiát követve eljutottunk egy jó megoldásig, aminek a paraméterei: 45% lézerteljesítmény, (-0,75) mm defókuszból, (-0,2) mm hegesztési pozíció.

4. Következtetések

A fókuszfeltoltások csak a 45% lézerteljesítményre mutatnak megfelelő értéket, más teljesítmény alkalmazása esetén más fókuszfeltoltások adják a legnagyobb gépképesség-mutatót. Ezt alátámasztandó elvégeztük azt a kísérletet, ahol 60% lézerteljesítménynél alkalmaztuk a fenti eltolásokat; eredményül 0,77 Cpk értéket kaptunk (szemben a 4,69 értékkel).

Ennek a stratégiának a hátránya, hogy nem ismerjük a faktorok kölcsönhatásait, viszont a kapott eredményekből kiválasztottuk azokat a tartományokat, amelyekben belül érdemes elvégezni a faktoros kísérleteket: 45–70% lézerteljesítmény, defókuszból: 0,75–(-1,25) mm, hegesztési pozíció: 0,00–(-0,3) mm. A sebesség hatását is szeretnénk megismerni, ezért 30-50 mm/s tartományban felvettük a vizsgálati paraméterek közé.

A törési nyomaték ábrákból mást is ki tudunk olvasni, nem csak az értékek változását. A lézerteljesítmény-törési nyomaték ábrán az is megfigyelhető, hogy az 1. minta és az 5. minta átlagos törési nyomaték értéke csak 0,1 Nm-rel tér el egymástól, és szintén 0,1 értékű eltérés van a gépképességmutatóban. Ebből arra lehet következtetni, hogy a két varrat azonos teherbírású, de ezt további részletes vizsgálatokkal lehet megállapítani, mivel a lézerteljesítményben jelentős eltérés volt, azaz a különböző hőbevitel miatt meg kell vizsgálni a varratszélességet, a keménységváltozást és a szövetszerkezetet.

Az optimális lézerteljesítmény 60%-ban állapítható meg, mivel itt a legnagyobb az átlagos törési nyomaték érték, legkisebb a szórás és legnagyobb a Cpk értéke, viszont a teljesítmény változásával nem romlik a kötés teherbírása. Ez látható az 5. ábrán is, a defókuszból nincs hatással a törési nyomaték értékre a cső falvastagságán belül [0–(-2) mm]. A hegesztési pozíció van a legnagyobb hatással a törési nyomaték értékre, ennek a paraméternek a változása meredeken elrontja a kötés minőségét, ha az elmozdulás nagyobb, mint ±0,1 mm.

Megfigyelhetünk még ún. „kieső értékeket” a 4. és 5. ábrán. Ezek az értékek messzebb esnek az

átlagos törési nyomaték értéktől, de az előírt érték felett vannak (pl. a 10. mintánál a 3. szegmens törési nyomaték értéke 11,7 Nm volt, a 4. szegmensé 17,3 Nm). A varratok hegesztés utáni szemrevételezésekor nem volt tapasztalható felületi sérülés, felületre kifutó zárvány, hegesztési eltérés rajtuk. Részletesebb mikroszkópos (pl. optikai fénymikroszkópos vagy pásztázó elektronmikroszkópos) vizsgálatokkal lehetne megállapítani a varratok közötti különbséget.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] M. Li, Z. Li, Y. Zhao, H. Li, Y. Wang, J. Huang: *Influence of Welding Parameters on Weld Formation and Microstructure of Dual-Laser Beams Welded T-Joint of Aluminum Alloy*. Advances in Materials Science and Engineering, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/767260>
- [2] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Nagy energiasűrűségű eljárások hegeszthetőségi szempontjai*. In: Fiatal műszakiak tudományos ülészaka XVII., Kolozsvár/Cluj, Románia, Műszaki Tudományos Füzetek, 2012. 13–18. <https://doi.org/10.36243/fmtu-2012.006>
- [3] Kenéz A. Zs., Bagyinszki Gy.: *Gyémánt fűrészhengemensek lézeres hegesztésének vizsgálata*. Acta Materialia Transylvanica, 1/2. (2018) 85–88. <https://doi.org/10.2478/amt-2018-0030>
- [4] M. P. Prabakaran, G. R. Kannan: *Optimization of CO2 Laser Beam Welding Process Parameters to Attain Maximum Weld Strength in Dissimilar Metals*. Materials Today: Proceedings, 5. (2018) 6607–6616. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.316>
- [5] EN 10305-1: Steel tubes for precision applications – Technical delivery conditions. Part 1: Seamless cold drawn tubes, 2002.
- [6] Hessing T.: *Process Capability (Cp & Cpk)*. On 6sstudyguide.com <https://sixsigmastudyguide.com/process-capability-cp-cpk/>
- [7] Hessing T.: *Process Capability & Performance (Pp, Ppk, Cp, Cpk)*. On 6sstudyguide.com <https://sixsigmastudyguide.com/process-capability-pp-ppk-cp-cpk/>