



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

**DOKTORI (PHD)
ÉRTEKEZÉS
TÉZISFÜZETE**

KENÉZ ATTILA ZSOLT

Kötéstechnológiák alkalmazhatósága fúrókoronák szegmenseinek rögzítésére

Témavezető:
Dr. Bagyinszki Gyula

**ANYAGTUDOMÁNYOK ÉS
TECHNOLÓGIÁK
DOKTORI ISKOLA**

Budapest,
2024.11.12

Tartalomjegyzék

1. A kutatás előzményei.....	3
2. Célkitűzések.....	4
2.1 A lézersugarasan hegesztett varrat vizsgálata	4
2.2 A törésteszt fejlesztése	4
2.3 Különböző kötőeljárások hatásának vizsgálata	4
2.4 A lézersugarasan hegesztett varrat tulajdonságait befolyásoló tényezők vizsgálata	5
2.5 Lézersugarasan hegesztett varratban kialakuló keménység vizsgálata	5
3. Vizsgálati módszerek.....	6
4. Új tudományos eredmények	7
5. Az eredmények hasznosítási lehetősége	8
6. Irodalmi hivatkozások listája	9
7. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények.....	11
8. További tudományos közlemények	11

1. A kutatás előzményei

Az építőipar részéről egyre nagyobb az igény olyan (a beton helyszínén történő tervezett vagy rögtönzött megmunkálásához szükséges) szerszámokra, melyek jellemző alkalmazási területei a vésés, fúrás, csatorna-készítés, felület érdesítés, faláttörés. Ilyen megmunkálásokat hatékonyan porkohászati úton gyártott gyémánt szemcsés szerszámokkal végeznek. A gyémánt szemcséket tartalmazó szegmenseket a költséghatékonyság érdekében cserélhető betétekre, vagy acél szerszámtestekre rögzítik. Az alkalmazott kötéstechológiának meg kell felelnie a fokozott műszaki követelményeknek, hiszen a kötési zónát használat közben nagy mechanikai és jelentős hőterhelések is érik. Hibás kötés esetén a szegmensek leválhatnak az alaptestről.

A gyémánt szegmensek rögzítésére a hegesztés vagy a forrasztás különböző eljárásait alkalmazzák. A szegmensek összetételének és geometriájának fejlődése megköveteli a kötéstechológiák fejlesztését is.

A kutatásom első részében a porkohászati szegmens és az acélcső lézersugarasan hegesztett kötését vizsgáltam meg részletesen, hogy információkat kapjak a kötés keménységéről, szövetszerkezetéről és az esetleges kötéshibákról. A vizsgálati eredményeket összehasonlítottam a tudományos publikációkban leírtakkal [1-6]. Emellett kidolgoztam a kézi törésteszt kiváltására egy anyagvizsgáló gépre épülő, készülékben végzett töréstesztet. A kapott eredményeket tekintetem alapállapotnak és a technológiai kísérletek során is ezeket a vizsgálatokat végeztem el az összehasonlíthatóság érdekében.

A kutatásom második részében megvizsgáltam, hogy különböző kötőeljárások hogyan hatnak a kötésre. A hegesztés és a forrasztás különböző eljárásai közül választottam ki a kondenzátorkisütéses hegesztést [7] és a láng keményforrasztást [8]. A kötéseken elvégzett vizsgálatok eredményeit a lézersugarasan hegesztett kötés eredményeivel hasonlítottam össze és a sorozatgyártási kritériumok alapján választottam kötőeljárást a további kísérletekhez.

A kutatásom harmadik részében megvizsgáltam a lézersugarasan hegesztett varrat tulajdonságait befolyásoló folyamatparaméterek hatásait [9] és különböző felület tisztítási módszerek hatásait [10-14] annak érdekében, hogy

milyen mértékben javítják a kötés szilárdságát. Az eredményeket az első rész vizsgálati eredményeivel hasonlítottam össze.

A kutatásom negyedik részében megvizsgáltam a varratban mért keménységeket és összehasonlítottam már ismert keménység előrejelző egyenletek által meghatározott értékekkel [15-18].

2. Célkitűzések

A porkohászati szegmens és az acélcső kötések szakirodalmi ismereteinek feldolgozása alapján a kutatás célkitűzéseit az alábbi tématerületeken határoztam meg.

2.1 A lézersugarasan hegesztett varrat vizsgálata

A hegesztés előtti kiinduló állapotot megismeréséhez a két komponens, a cső és a szegmens vizsgálata szükséges. A cső esetében geometriai és spektrométeres vizsgálatokat terveztem, míg a szegmens esetében sűrűség, zsugorodás és keménységmérést, majd keresztirányú hajlító próbát és szövetszerkezeti vizsgálatot terveztem elvégezni. Az eredményeket a hegeszhetőségi vizsgálathoz használok fel.

Lézersugaras hegesztést kivétően CT vizsgálatot terveztem, majd metszetvágás és beágyazást követően varrathibákat keresek, szövetszerkezeti, pásztázó elektronmikroszkópi, energia diszperzív vizsgálatokat végzek el, majd keménységméréssel zárom a vizsgálatokat. Ezeket az eredményeket fogom összehasonlítani a technológiai kísérletek során kapott eredményekkel.

2.2 A törésteszt fejlesztése

Az előző alfejezetben tervezett vizsgálatokat kiegészítendő, töréstesztet is terveztem. Célul tűztem ki a kézi, nyomatékulccsal végzett törésteszt nagy szórása miatt egy anyagvizsgáló géppel, készülékben végrehajtható törésteszt kidolgozását a szórás csökkentése érdekében. Ezt az új töréstesztet alkalmazom a technológiai kísérletek során is.

2.3 Különböző kötőeljárások hatásának vizsgálata

Feltérképeztem, hogy a fűrókorona gyártók milyen kötőeljárásokat alkalmaznak a termékeiknél, majd ezekkel az eljárásokkal technológiai

kísérleteket tervezek elvégezni. A kapott eredményeket összehasonlítom az előző alfejezetekben kapott vizsgálati eredményekkel. Céloom meghatározni a további vizsgálatoknál alkalmazott kötőtechnológiát.

2.4 A lézersugarasan hegesztett varrat tulajdonságait befolyásoló tényezők vizsgálata

Célul tűztem ki a hegesztési folyamatparaméterek hatásainak vizsgálatát, azaz milyen hatással van a lézerteljesítmény, a hegesztési sebesség, a defókusz és a varratpozíció a törésértékre. Kísérlettervezési módszerrel szeretném meghatározni az egyes folyamatparaméterek önálló hatását, majd a folyamatparaméterek egymásra gyakorolt hatását is.

Emellett céloom még összehasonlítani több, különböző lézerforrás hatását a törésértékre, majd azt megvizsgálni, hogy különböző kémiai, mechanikai és lézeres felülettisztítások hogyan hatnak a varratra és a törésértékre. A kapott eredményeket összehasonlítom az előző alfejezetekben kapott vizsgálati eredményekkel.

2.5 Lézersugarasan hegesztett varratban kialakuló keménység vizsgálata

Célul tűztem ki, hogy a lézersugarasan hegesztett varratban mért keménység értékekhez a szakirodalom alapján keresek keménység előrejelző egyenleteket és összehasonlítom a mért és a számított értékeket.

3. Vizsgálati módszerek

A technológiai kísérletek során legyártott mintadarabokat szemrevételezés után komputertomográfiai vizsgálatnak vettem alá, az elkészült felvételeken varrathibákat kerestem.

A törésteszt során (melyet az új módszer szerint készülékben végeztem el) rögzítésre került az erő-elmozdulás diagram, melyből az átlagos törőerő és átlagos lehajlás mellett a minimális törőerő és a törési munka is meghatározható volt. Ezeket az értékeket összehasonlítottam a széria termék vizsgálati eredményeivel és meghatároztam az eltérés mértékét százalékban. Szignifikáns hatás esetén (+20% vagy ennél nagyobb értéknél) érdemes még részletesebben vizsgálni a mintát.

Előre meghatározott pozíciókban metszetet vágtam és a beágyazást követően mikroszkópi vizsgálattal folytattam a varrathibák keresését. Ezeket a beágyazott mintákat használtam a további, még részletesebb képet adó pásztázó elektronmikroszkópos és energia diszperzív vizsgálatokhoz, melyből elemtérkép is készült.

A szövetszerkezeti vizsgálatokhoz, majd a keménységmérésekhez is a beágyazott mintákat használtam, így ugyanazt a területet vizsgáltam különböző módszerekkel.

A kapott eredményeket vizsgálati módszerenként és technológiai kísérletenként is összefoglaltam, így átfogó képet kaptam az adott mintáról.

4. Új tudományos eredmények

1. Az E235+C acélcső és a porkohászati szegmens vegyes kötésének vizsgálataiban esetében az általam a 100 mm-es külső átmérőjű csere modulra kidolgozott anyagvizsgáló géppel végrehajtott törésteszt a törőerő tekintetében 1,64-re csökkentette a törésértékek szórását a kézi törésteszt 2,24-es törésérték szórásához képest, miközben a minimum, az átlag és a maximum törésértékek nagyon hasonló értékeket mutattak a két törésteszt során. [S1]
2. Az E235+C acélcső és a porkohászati szegmens vegyes kötésének kialakítására a 100 mm-es külső átmérőjű csere modulon elvégzett összehasonlító technológiai kísérletek alapján megállapítottam, hogy a kondenzátorkisütéses hegesztéssel és a lángforrasztással szemben a lézersugaras hegesztés a legalkalmasabb a szériagyártásra. [S2], [S3], [S4]
3. Az E235+C acélcső és a porkohászati szegmens lézersugaras hegesztési folyamatparaméter-kísérletei során a 100 mm-es külső átmérőjű csere modul esetében igazoltam, hogy a lézerteljesítmény 2800 W-ról 2400 W-ra történő csökkentése a törőerőt növeli, a további lézerteljesítmény csökkentés a törőerőt is csökkenti. Emellett a varratpozíció változása a 0...-0,3 mm tartományban megfelelő törésértéket ad, ennél kisebb pozícióértéknél a törésérték a minimum 9 Nm törési nyomaték alá esik. Továbbá azt is igazoltam, hogy a defókusz a +0,25... -1,25 mm tartományban nincs hatással a törésértékre, ha a lézer teljesítmény és a varrat pozíció értéke nem változik. [S1], [S5]
4. Az E235+C acélcső és a porkohászati szegmens lézersugarasan hegesztett kötéseinek szövetszerkezeti vizsgálataiban alapján megállapítottam, hogy a 100 mm-es külső átmérőjű csere modulnál a szegmens-varrat határán lévő gázzárványok száma jelentősen csökkenthető és az ezekből kiinduló mikrorepedések megszüntethetők a felülettisztítás hatására. Emellett a varratban lévő gázzárványok is megszüntethetők, továbbá javítják a kötés töréssel szembeni ellenállóképességét függetlenül az eljárás jellegétől. [S6], [S7]

5. Az eredmények hasznosítási lehetősége

A kutatási igény az ipar részéről merült fel, hogy a lézersugaras hegesztés mellett van-e más kötőtechnológia, amely alkalmas lenne azonos áteresztési kapacitással, de költséghatékonyabban gyártani a fűrókoronákat.

Emellett milyen módszerekkel lehetséges a lézersugarasan hegesztett varrat szilárdságát növelni, amennyiben a porkohászati szegmens összetétele változik a környezeti szabályozásoknak vagy a fejlesztési irányoknak megfelelően.

Továbbá indokolttá vált egy tesztelési módszer kifejlesztése, mely az emberi erő kizárásával stabilabban és pontosabban képes a törőerő meghatározására.

Mind a varrat szilárdságnövelési eljárások, mind az új tesztelési módszer a kapott eredmények alapján azonnal beintegrálhatóak a fűrókorona széria gyártásába.

A kutatás folytatható a felülettisztítási eljárások részletesebb vizsgálatával, mely a varrat összetételének lehetséges változására fókuszál, emellett vizsgálható még a védőgáz mennyiségének vagy összetételének hatása a varratra.

6. Irodalmi hivatkozások listája

- [1] M.T. Yu, T.H. Topper, Effect of carbon content and microstructure on near threshold crack propagation, International Journal of Fatigue, Vol 11, No 5, 1989, pp 335-340, DOI: [https://doi.org/10.1016/0142-1123\(89\)90059-5](https://doi.org/10.1016/0142-1123(89)90059-5)
- [2] R. Narayanasamy, V. Anandkrishnan, K.S. Pandey, Effect of molybdenum addition on workability of powder metallurgy steels during cold upsetting, Materials Science and Engineering A 517, 2009, pp 30–36, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.03.036>
- [3] M. Dlapka, H. Danninger, C. Gierl, B. Lindqvist, Defining the pores in PM components, Metal Powder Report, Volume 65, Issue 2, 2010, pp. 30-33, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0026-0657\(10\)70093-X](https://doi.org/10.1016/S0026-0657(10)70093-X)
- [4] C. Köse, C. Topal, Effect of heat input and post-weld heat treatment on surface, texture, microstructure, and mechanical properties of dissimilar laser beam welded AISI 2507 super duplex to AISI 904L super austenitic stainless steels. Journal of Manufacturing Processes 2022, Volume 73, pp. 861-894, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.11.040>
- [5] J. Zhou, H.L. Tsai, Effects of electromagnetic force on melt flow and porosity prevention in pulsed laser keyhole welding, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 50, Issues 11–12, 2007, pp. 2217–2235, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.10.040>
- [6] J. W. Elmer, J. Vaja, H. D. Carlton, R. Pong, The Effect of Ar and N2 Shielding Gas on Laser Weld Porosity in Steel, Stainless Steels, and Nickel, 2015, Welding Journal, Vol 94, pp. 313–325, https://app.aws.org/wj/supplement/WJ_2015_10_s313.pdf
- [7] Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő, Hegesztéstechnika I., Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010, ISSN 2068 – 3081
- [8] Egyetemi tananyag: Anyagtechnológiák (BME, ÓE, SZIE) 2012, ISBN: 978-963-279-531-7
- [9] Dr.Bognár László: Kísérletek tervezése és elemzése, 2014, drbognar@gmail.com (oktatási anyag, 2018.06.08)
- [10] A. Rudawska, I. Danczak, M. Müller, P. Valasek, The effect of sandblasting on surface properties for adhesion (2016), DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.06.010>
- [11] G. Spur, E. Uhlmann, F. Elbing: Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application (1999), DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(99\)00204-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(99)00204-5)
- [12] P. Gaspara, C. Hubbard, D. McPhail, A. Cummings: A topographical assessment and comparison of conservation cleaning treatments (2003), DOI: [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01211-6](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01211-6)

-
- [13] D. Ahn, D. Jang, T. Park, D. Kim: Laser removal of lubricating oils from metal surfaces (2012), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.03.028>
- [14] N. Maharjan, W. Zhou, Y. Zhou, Y. Guan. Femtosecond laser cleaning for aerospace manufacturing and remanufacturing. Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR), Singapore, 31 July 2017 - 04 August 2017, DOI: 10.1109/CLEOPR.2017.8119087
- [15] M. Beckert, R. Holz, Use of the carbon equivalent and prediction of the weld heat-affected zone hardness, *Schweiss Technik*, Vol. 23 (8), pp. 344-350, 1973
- [16] K. Lorenz, C. Düren, Evaluation of large diameter pipe steel weldability by means of the carbon equivalent, *Proceedings of an international conference "Steels for line pipe and pipeline fittings"*, pp. 322-332, 1981.10. 21
- [17] J.M. Nicholas, D.J. Abson, The Prediction of Maximum HAZ Hardness in C-Mn and Low Alloy Steel Arc Welds, 17th International Conference 'Computer Technology in Welding and Engineering', 2008.06.18-19, [Maximum HAZ Hardness in C-Mn and Low Alloy Steel Arc Welds - TWI \(twi-global.com\)](http://www.twi-global.com)
- [18] C.F. Düren – K.A. Niderhoff: Hardness in the Heat-affected Zone of Pipeline Girth Welds, Third International Conference on Welding and Performance of Pipelines, The Welding Institute, London, 1986

7. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [S1] A. Zs. Kenéz, Gy. Bagyinszki: Inspection of The Effect of Process Parameters on The Break Out Values of Laser Welded Drill Bits, *Acta Materialia Transylvanica* (2020) 76-80 oldalak
- [S2] Kenéz A. Zs., Bagyinszki Gy.: Gyémánt fúrószegmensek lézeres hegesztésének vizsgálata, *Acta Materialia Transylvanica* (2018) 85-88 oldalak
- [S3] Kenéz A. Zs., Bagyinszki Gy.: Gyémántszemcsés fúrószegmensek rögzítéstechnológiáinak vizsgálata, 29. Nemzetközi Hegesztési Konferencia (2018) 199-209 oldalak
- [S4] A. Zs. Kenéz, Gy. Bagyinszki: Applicability Investigation of Joining Technologies for Diamond Core Bits, *Műszaki Tudományos Közlemények* (2019) 31-40 oldalak
- [S5] Kenéz A. Zs., Bagyinszki Gy.: Hegesztési paraméterek hatásának vizsgálata a lézerhegesztett gyémántszegmenses fúrókoronák töréserőtelkeinek viselkedésére, *Bánki közlemények* (2019) 10-15 oldalak
- [S6] A. Zs. Kenez, T. Foldes, E. Lubloy: Effect of surface cleaning on seam quality of laser beam welded mixed joints, *Case Studies in Construction Materials* (2023), 18, IF: 4,934
- [S7] A. Zs. Kenez, E. Lubloy, Gy. Bagyinszki, T. Foldes: Femtosecond laser surface cleaning for diamond segmented drill bit manufacturing, *Crystals* (2023), 13, 672-683 oldalak, IF: 2,67

8. További tudományos közlemények

- [S8] Kenéz A. Zs., Bagyinszki Gy.: Gyémántszegmenses fúrókoronák gyártása és tesztelése, *Hegesztéstechnika* 29 (2) (2018) 63-67 oldalak
- [S9] A. Zs. Kenéz, Gy. Bagyinszki: Pressure Welding Processes of Tubular Parts and Pipe Segments, *Műszaki Tudományos Közlemények* (2019) 109-112 oldalak