

Az impulzusfrekvencia hatása kézi lézeres hegesztés esetén

The effects of the pulse frequency in case of manual laser welding

SIMON Virág¹, Dr. VARBAI Balázs², PUSKÁS Zsolt³

1: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3, 20/4224046, simon.virag240@gmail.com

2: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3, 463-1955, varbai.balazs@gpk.bme.hu

3: Exasol Kft., 2651 Rétság, Pusztaszántói u. 10, 70/3369755, puskas@exasol.hu

Abstract

The aim of our research was to study the effect of pulse frequency on the weld geometry in modulation mode manual laser welding. Increasing the pulse frequency led to a decrease in weld width and weld area. For example, the weld width decreased from 1.6 mm to less than 1.1 mm by increasing the pulse frequency from 10 Hz to 400 Hz. The weld depth did not change with the change in pulse frequency, as a full penetration weld was obtained at the set parameters for a wall thickness of 1.4 mm. When pulse frequency values of 50 Hz and below were set, huge porosities were formed in the welds, none of these welds being acceptable at any of the quality levels.

Keywords: manual laser welding, pulse frequency, austenitic steel, weld geometry, porosity

Kivonat

Kutatómunkánk során az impulzusfrekvencia varratgeometriára gyakorolt hatásának vizsgálata volt a célunk modulált üzemmódú kézi lézeres hegesztés esetén. Az impulzusfrekvencia növelése a varratszélesség és a varratteület csökkenéséhez vezetett. A varratszélesség például 1,6 mm-ről 1,1 mm alá csökkent az impulzusfrekvencia 10 Hz-ről 400 Hz-re való növelésével. A varratmélység az impulzusfrekvencia változtatásával nem változott, hiszen a beállított paraméterek mellett teljes átolvadású varrat keletkezett 1,4 mm falvastagság esetén. Az 50 Hz-es és az alatti impulzusfrekvencia értékek beállítása esetén hatalmas porozitások alakultak ki a varratokban, ezen varratok egyike sem fogadható el egyik átvételi szinten sem.

Kulcsszavak: kézi lézeres hegesztés, impulzusfrekvencia, ausztenites acél, varratgeometria, porozitás

1. BEVEZETÉS

A lézeres hegesztés gépesített változatát számos előnye miatt elterjedten alkalmazzák az iparban. [1] Az erősen koncentrált, kis területre fókuszáló lézernyalábnak köszönhetően a kialakuló hőhatásövezet, valamint a hőbevitel is jóval kisebb lesz, mint a hagyományos ömlesztőhegesztési eljárások esetén, ez minimálisra csökkenti a munkadarabok deformációját. [2][3] A lézeres hegesztés ezen kívül nagy feldolgozási sebességet és ezáltal nagy termelékenységet tesz lehetővé. [4] Az elmúlt évek során piacra bocsátott kézi lézeres hegesztőberendezések is egyre elterjedtebbé válnak mind Magyarországon, mind a világ más országaiban, a könnyű hegesztőpisztoly és munkakábel, valamint kis méretű, könnyen mozgatható sugárforrás által biztosított egyszerű kezelhetőség egyre népszerűbbé teszi ezeket a hegesztőgépeket. Elmondható azonban, hogy a régebbi, hagyományos ömlesztőhegesztési eljárásokhoz képest viszonylag kevés tapasztalat és kutatási eredmény áll rendelkezésre ezzel az eljárásváltozattal kapcsolatban, hiszen jóval később került bevezetésre azokhoz képest. [5]

Jelen kutatásunkban az impulzusfrekvencia hatását vizsgáltuk ausztenites rozsdamentes acél kézi lézeres hegesztéssel készült hernyóvarratainak geometriájára.

2. HEGESZTÉS MENETE ÉS FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK

Kísérletsorozatunkat 7 db hernyóvarrat alkotta. 1,4 mm falvastagságú és 34 mm külső átmérőjű, 1.4301 anyagminőségű ausztenites rozsdamentes acél csőre készítettük el a kísérleti varratokat kézi lézeres hegesztéssel, hozaganyag hozzáadása nélkül. Az alapanyag EN 10088-1:2014 szabvány szerinti százalékos kémiai összetételét az 1. táblázat mutatja.

Az 1.4301 anyagminőségű ausztenites rozsdamentes acél százalékos kémiai összetétele [6]

1. táblázat

C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni	Fe
≤ 0,07	≤ 1,00	≤ 2,00	≤ 0,045	≤ 0,03	≤ 0,10	17,5-19,5	8,0-10,5	mar.

A kísérleteket az amerikai IPG Photonics Corporation nevű cég által gyártott LightWELD XC típusú optikai szálas kézi lézeres hegesztőgéppel végeztük, mely maximálisan 1500 W teljesítményű, 1080 nm hullámhosszú lézernyaláb előállítására képes. Modulált üzemmód esetén egy online, számítógépről elérhető kezelőfelületen van lehetőség a teljesítmény, a lézernyaláb lengetési szélesség és frekvencia, az impulzusfrekvencia, valamint a kitöltési tényező beállítására. A modulált üzemmód impulzus üzemmódot jelent, ahol az impulzusfrekvencia a sugárforrás által másodpercenként leadott impulzusok számát fejezi ki, a kitöltési tényező pedig megadja, hogy adott időintervallumon belül mennyi ideig van lézerműködés.

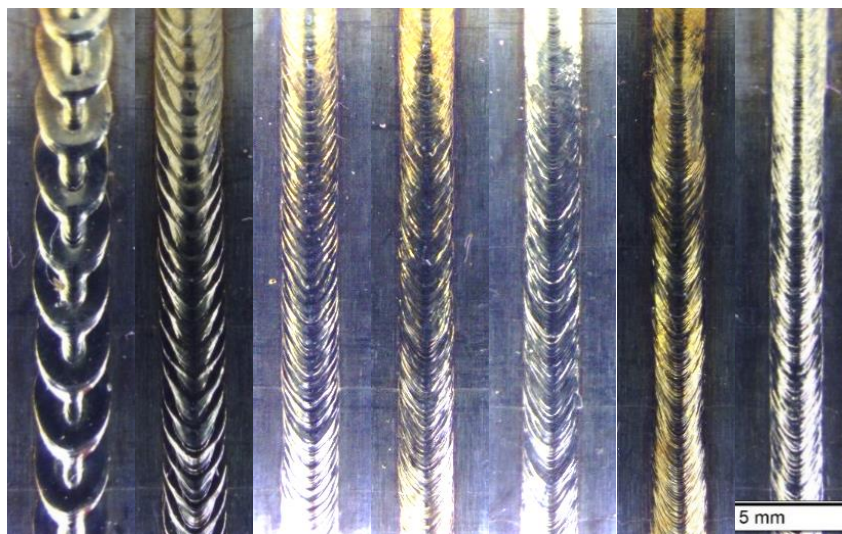
A haladási sebességet az előkísérleteink alapján határoztuk meg, ez 80 cm/min volt. Szintén az előzetes kísérleteink alapján 500 W teljesítményt állítottunk be és 4.5 tisztaságú nitrogént használtunk védőgázként 18 l/min térfogatárammal. A kísérletsorozatot a lézernyaláb lengetése nélkül készítettük el. A kitöltési tényezőt 70%-ra állítottuk be, és az impulzusfrekvenciát változtattuk. A vizsgált impulzusfrekvenciák: 10 Hz, 25 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, valamint 400 Hz.

A kísérletek elvégzése során a kézi lézeres hegesztőpisztolyt stabilitását és a varratok reprodukálhatóságát befogó készülékkel biztosítottuk, a cső alapanyagot pedig forgató berendezéssel forgattuk, így értük el az egyenletes haladási sebességet.

3. KIÉRTÉKELÉS MENETE ÉS EREDMÉNYEI

A varratokból hagyományos módszerrel metallográfiai csiszolatokat készítettünk, majd ezeket sztereomikroszkóp alatt vizsgáltuk. A sztereomikroszkóphoz tartozó program segítségével fényképeket készítettünk a keletkezett varratgeometriákról, melyeken lemértük a kiértékeléshez szükséges varratszélesség, varratmélység és varratterület értékeit.

Az 1. ábrán láthatóak a varratok felszínéről a sztereomikroszkóphoz tartozó Stream Essentials nevű programmal készített fényképek.

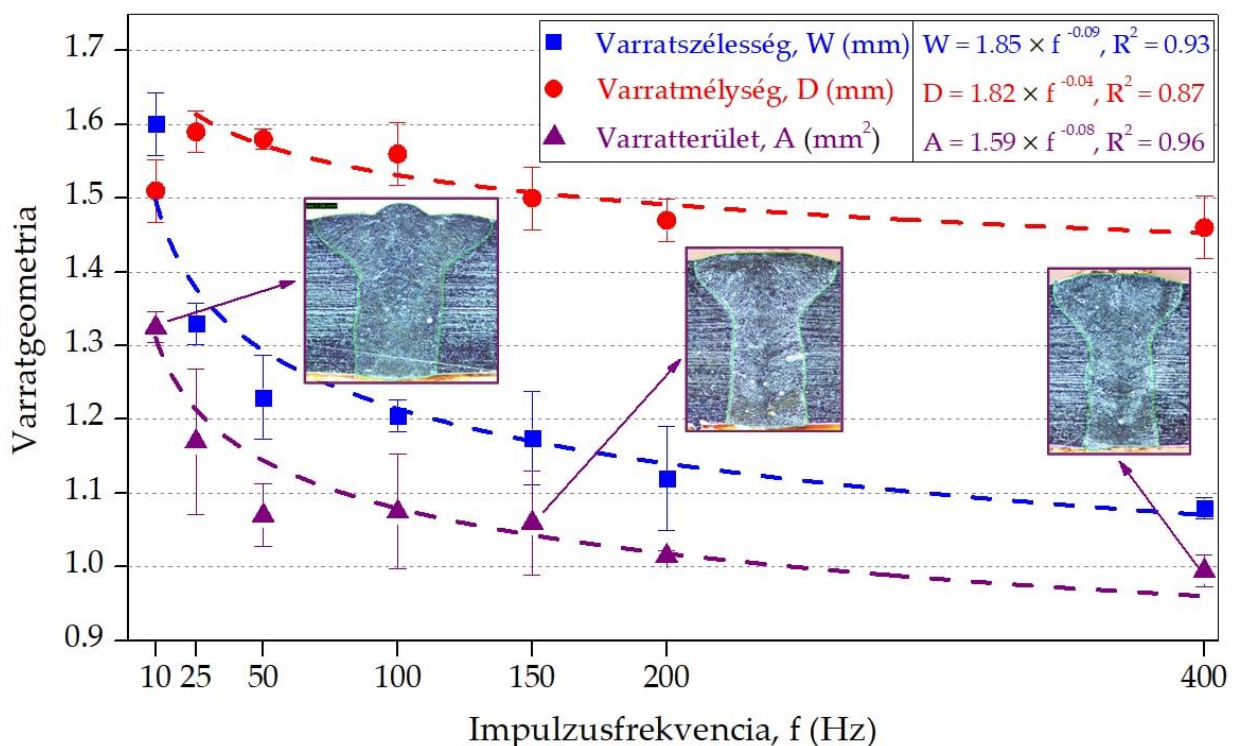


1. ábra: Az impulzusfrekvencia változtatása mellett készített varratok fényképe, a beállított impulzusfrekvencia balról jobbra 10 Hz, 25 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, valamint 400 Hz

A hernyóvarratokat megfigyelve megállapítható, hogy az 50 Hz-es és annál nagyobb impulzusfrekvencia értékek esetén szép küllemű varratok alakultak ki. A 10 Hz-es és a 25 Hz-es esetben a pikkelyek nagyon távol találhatók egymástól, 10 Hz-es esetben pedig az egyes pikkelyek között a varrat többi részénél jóval keskenyebb megolvasztott részek láthatóak. Kimondható, hogy az impulzusfrekvencia növelésével a hernyóvarratok pikkelyezettsége egyre sűrűbb lesz. A szemrevételezés alapján azt feltételezzük, hogy 50 Hz-es és ennél nagyobb impulzusfrekvencia beállítása esetén alakul ki jó minőségű varrat.

A mikroszkópi képeket megfigyelve azt láttuk, hogy a 10 Hz, 25 Hz és 50 Hz impulzusfrekvenciával hegesztett varratokban hatalmas porozitások keletkeztek, valamint egy igen nagy méretű zárvány található a 150 Hz-es impulzusfrekvenciával hegesztett hernyóvarratban is. A varratok megfelelőségére a porozitások szempontjából a dolgozat során később térünk ki. A varratok alakjukban nem térnek el jelentősen, mindegyik hernyóvarrat két – egy szélesebb és sekélyebb, valamint egy keskenyebb és mélyebb – részből áll. A varratszélességben és a varratterületben az impulzusfrekvencia növelésével csekély mértékű csökkenés látható. Az impulzusfrekvencia varratgeometriára gyakorolt hatását diagramok segítségével is értékeljük.

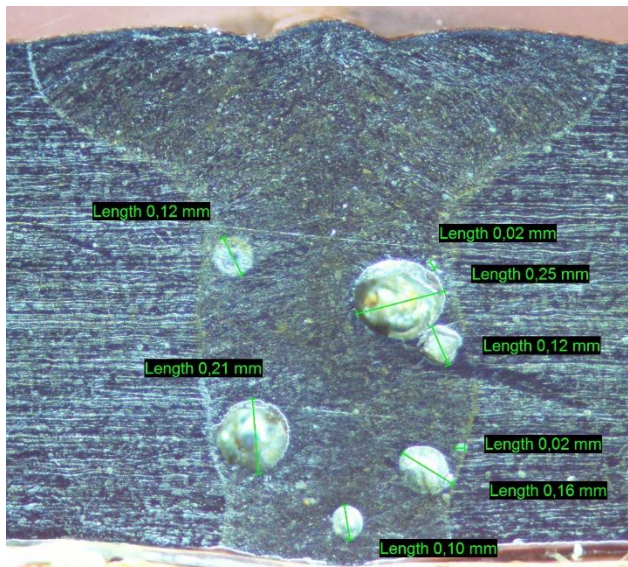
A 2. ábra a varratszélesség, a varratmélység és a varratterület értékek alakulását mutatja az impulzusfrekvencia függvényében. A diagram alapján levonható a következtetés, hogy az impulzusfrekvencia növelése a varratok szélességének és területének csökkenéséhez vezet, ezt jól mutatják a diagramra beillesztett mikroszkópi képek is. A diagramról leolvashatóak a számszerű értékek is, látható, hogy a varratszélesség 1,6 mm-ről 1,1 mm alá, a varratterület pedig 1,32 mm²-ről 1 mm²-re csökkent az impulzusfrekvencia 10 Hz-ről 400 Hz-re való növelésével. Megfigyelhető, hogy a varratmélység közel konstans értéket vesz fel. Ennek az az oka, hogy a kísérleti paraméterek mellett minden vizsgált impulzusfrekvencia értéknél teljes átolvadású varrat keletkezett 1,4 mm falvastagság esetén.



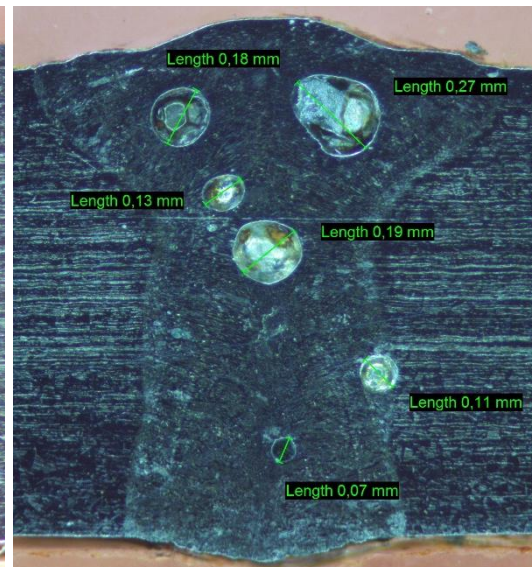
2. ábra. Varratszélesség, varratmélység és varratterület az impulzusfrekvencia függvényében

A sztereomikroszkóphoz tartozó Stream Essentials nevű programmal készített mikroszkópi képeken megfigyelhető, hogy a varratok jó részében gázzárványok, porozitások fedezhetőek fel. Emiatt úgy gondoltuk, hogy a varratok megfelelőségét a porozitások szempontjából vizsgálnunk kell.

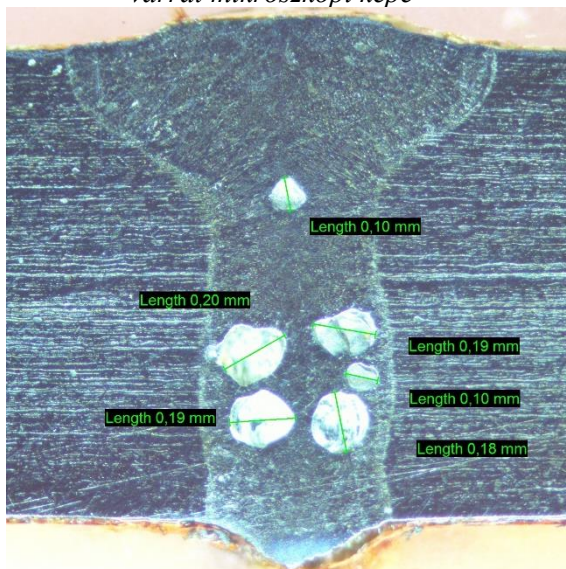
A varratok megfelelőségének vizsgálatát az MSZ EN ISO 13919-1:2019 [7] jelölésű „Elektron és lézersugaras eltérési szintek” című szabvány alapján végeztük el. Ehhez a varratokban keletkezett gázzárványokat lemértük, majd a szabvány alapján levontuk a következtetést, hogy milyen átvételi szinten fogadható el a varrat. A 3-6. ábrán azoknak a varratoknak látható a mikroszkópi képe, melyekben számottevő méretű zárványok keletkeztek, azaz a korábban írtaknak megfelelően a 10 Hz, 25 Hz, 50 Hz és 150 Hz impulzusfrekvencia beállításával hegesztett varratokat mutatják a képek. Ezek a fotók egyben a zárványok méretezésének módját is szemléltetik.



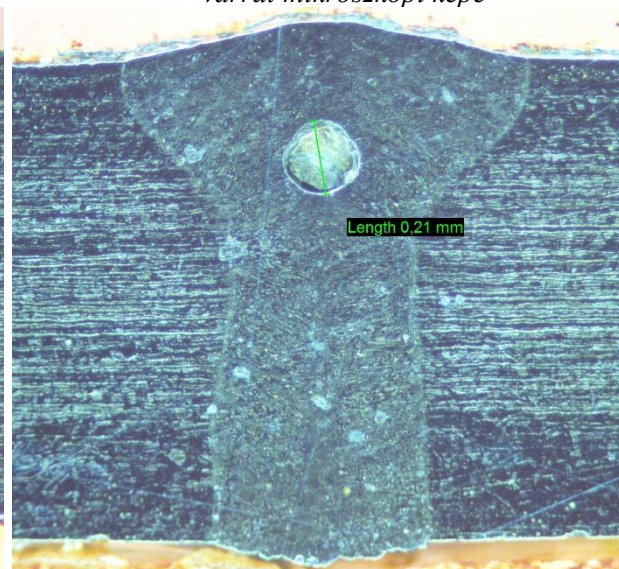
3. ábra. 10 Hz impulzusfrekvenciával hegesztett varrat mikroszkópi képe



4. ábra. 25 Hz impulzusfrekvenciával hegesztett varrat mikroszkópi képe



5. ábra. 50 Hz impulzusfrekvenciával hegesztett varrat mikroszkópi képe



6. ábra. 150 Hz impulzusfrekvenciával hegesztett varrat mikroszkópi képe

A vonatkozó MSZ EN ISO 13919-1:2019 jelölésű szabvány a következőket mondja ki: D átvételi szinten a varratban található porozitások legnagyobb mérete a varratmélység fele vagy 5 mm lehet (amelyik kisebb), C átvételi szinten a varratmélység 0,4 része vagy 3 mm (amelyik kisebb), B átvételi szinten pedig a varratmélység 0,3 része vagy 2 mm (amelyik kisebb). A legnagyobb gázzárványok méreteit megfigyelve levontuk a következtetést, hogy a porozitások méreteit tekintve mindegyik varrat B átvételi szinten elfogadható.

A szabvány előírásokat tesz arra vonatkozóan is, hogy adott varratterületnek legfeljebb hány százalékát teheti ki porozitás. A szabvány úgy rendelkezik, hogy D átvételi szinten a gázzárványok összegzett területe nem haladhatja meg a varratterület 6%-át, C átvételi szinten a 4%-át, B átvételi szinten pedig a 2%-át. Ennek alapján levonható a következtetés, hogy kísérletesorozatunk varratai közül a 10 Hz, a 25 Hz és az 50 Hz impulzusfrekvencia beállításával hegesztett varrat egyik átvételi szinten sem felel meg a gázzárványok szempontjából. A 150 Hz impulzusfrekvencia érték beállítása esetén C átvételi szinten elfogadható varrat alakult ki, míg a többi beállított impulzusfrekvencia érték esetén B átvételi szinten lett elfogadható a varrat.

A kísérleteink eredményei alapján az 1,4 mm falvastagságú, 1.4301 anyagminőségű ausztenites rozsdamentes acél csövek hegesztését 80 cm/min haladási sebesség, 500 W teljesítmény, 70% kitöltési tényező és 100 Hz impulzusfrekvencia beállítása mellett javasoljuk modulált üzemmódban az általunk használt IPG Photonics Corporation nevű cég által gyártott LightWELD XC típusú optikai szálás kézi lézeres

hegesztőgéppel, ha – gyakorlati szempontból is nézve a témát – egy termék gyártása során az alkatrészeket teljes átolvadású tompavarratokkal szükséges összekötni, melyekkel szemben követelmény, hogy koronaoldali szélességük elérje az 1 mm-t, és a porozítások szempontjából B átvételi szinten elfogadhatók legyenek. A varratok elkészítését a lézernyaláb lengetése nélkül javasoljuk, védőgázként 18 l/min térfogatáramú, 4,5 tisztaságú nitrogént alkalmazva.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Kutatómunkánk során kézi lézeres hegesztéssel készítettünk hernyóvarratokat ausztenites rozsdamentes acél csövekre. Az elvégzett kísérletsorozatok és azok kiértékelései alapján megállapíthatók a következők:

- A lézernyaláb lengetése nélkül két részből álló varratalak jött létre.
- Az 50 Hz-es és annál nagyobb impulzusfrekvencia értékek esetén szép küllemű varratok alakultak ki.
- Az impulzusfrekvencia növelése a varratok szélességének és területének csökkenését eredményezte.
- Az impulzusfrekvencia 10 Hz-ről 400 Hz-re való növelése a varratszélesség 1,6 mm-ről 1,1 mm alá, valamint a varrat terület 1,32 mm²-ről 1 mm²-re való csökkenéséhez vezetett.
- A varratmélység közel konstans értéket vett fel, ennek oka, hogy a kísérleti paraméterek mellett minden vizsgált impulzusfrekvencia értéknél teljes átolvadású varrat keletkezett 1,4 mm falvastagság esetén.
- A varratok jó részében gázzárványok, porozítások voltak felfedezhetők.
- A kísérletsorozat varratai közül a 10 Hz, a 25 Hz és az 50 Hz impulzusfrekvencia beállításával hegesztett varrat egyik átvételi szinten sem felel meg a gázzárványok szempontjából.
- A 150 Hz impulzusfrekvencia érték beállítása esetén C átvételi szinten elfogadható varrat alakult ki.
- A 100 Hz, 200 Hz és a 400 Hz impulzusfrekvencia értékek esetén B átvételi szinten lett elfogadható a varrat.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kísérletek elvégzéséhez szükséges alapanyagot, berendezéseket és eszközöket, valamint a kísérleti helyszínt az Exasol Kft. biztosította, melyet ezúton is köszönünk. A szerző részvételét a konferencián a BME Gépészmérnöki Kar támogatta.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Buza G. *Lézersugaras technológiák I.* Edutus Főiskola, Tatabánya, 2012.
- [2] Bitay E. *Hegesztési alapismeretek.* Erdélyi Múzeum Egyesület, Kolozsvár, 2021.
- [3] Landowski M., Świerczyńska A., Rogalski G., Fydrych D. *Autogenous Fiber Laser Welding of 316L Austenitic and 2304 Lean Duplex Stainless Steels.* Materials 2020. 13(13), 2930.
- [4] Anawa E. M., Olabi A. G. *Optimization of tensile strength of ferritic/austenitic laser-welded components.* Optics and Lasers in Engineering. 2008, 46(8), 571-577.
- [5] Borzoni G. *Technological readiness assessment of hand-held laser welding applied to AISI 301LN products with aesthetic requirements.* Archivio digitale delle tesi di laurea e di dottorato. 2020/2021.
- [6] EN 10088-1:2014: Stainless steels. List of stainless steels.
- [7] MSZ EN ISO 13919-1:2019 Elektron és lézersugaras eltérési szintek.