

A lézersugár mozgatási mód és a védőgáz hatása a varratgeometriára kézi lézeres hegesztés esetén

The effects of laser beam wobbling mode and shielding gas on the weld geometry in case of manual laser beam welding

SIMON Virág¹, Dr. VARBAI Balázs², ABAFFY Károly³, Dr. GYURA László⁴

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: Linde Gáz Magyarország Zrt., 1097 Budapest, Illatos út 17, 20/3644726, karoly.abaffy@linde.com

4: Linde Gáz Magyarország Zrt., 1097 Budapest, Illatos út 17, 20/9561050, laszlo.gyura@linde.com

Abstract

The aim of our research was to investigate the effect of laser beam wobbling modes and different shielding gases on the weld geometry in case of manual laser beam welding. As a result, we found that complete fusion can only be achieved with spot movement. The argon shielding gas produces the weld with the smallest geometry, while the helium shielding gas produces the deepest weld. Significant porosity is observed in the weld welded using helium shielding gas.

Keywords: manual laser beam welding, wobbling mode, shielding gas, weld geometry, porosity

Kivonat

Kutatómunkánk során az volt a célunk, hogy megvizsgáljuk a lézersugár mozgatási módok és a különböző védőgázok varratgeometriára gyakorolt hatását kézi lézeres hegesztés esetén. Eredményként azt kaptuk, hogy teljes beolvadás csak a pontszerű mozgatással érhető el. Az argon védőgáz használatával keletkezik a legkisebb geometriai jellemzőkkel rendelkező varrat, míg hélium védőgáz alkalmazásával érhető el a legmélyebb varrat. A hélium védőgáz használatával hegesztett varratban jelentős mértékű porozitás figyelhető meg.

Kulcsszavak: kézi lézeres hegesztés, lézersugár mozgatási mód, védőgáz, varratgeometria, porozitás

1. BEVEZETÉS

A lézeres hegesztés gépesített változata az iparban egy igen elterjedt, előszeretettel használt eljárás, hiszen alkalmazásának számos előnye van. Az erősen koncentrált lézersugár kis területre fókuszál, a fémnek csak egy kis felületét megolvasztva, ezáltal a hőhatásövezet kisebb lesz. [1] A lézeres hegesztés a hagyományos ömlesztőhegesztési eljárásokhoz képest kisebb hőbevitellel jár, ami minimálisra csökkenti a hő által kiváltott belső feszültséget és a munkadarab torzulását. [2] A kezdeti magas beruházási költség ellenére az eljárás költséghatékonyabbnak bizonyul, mint a hagyományos hegesztés, ugyanis a lézeres hegesztés gyorsabb feldolgozási sebességet kínál, ami nagyobb termelést és gyorsabb átfutást eredményez. [3] A piacon az elmúlt évek során megjelentek a kézi lézeres hegesztőberendezések is kis, kézzel mozgatható hegesztőpisztollyal, könnyű munkakábelrel és könnyen mozgatható, kompakt sugárforrással. Az ilyen berendezések rohamtempóban terjednek el, Magyarországon is több cég forgalmazza őket. Mégis jelenleg nagyon kevés tapasztalat áll rendelkezésre ezzel az eljárásváltozattal kapcsolatban, minden kézi lézeres berendezést használó cég a saját tapasztalataiból próbál következtetéseket levonni.

Jelen kutatásunkban a lézersugár mozgatási mód és a védőgáz hatását vizsgáltuk ausztenites rozsdamentes acél kézi lézeres hegesztéssel készült hernyóvarratainak geometriájára.

2. HEGESZTÉS MENETE ÉS FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK

A kézi lézeres hegesztéses kísérletsorozatok hernyóvarratait 2,7 mm falvastagságú, 42 mm külső átmérőjű, 80 mm hosszúságú, 1.4301 anyagminőségű ausztenites rozsdamentes acél csövekre készítettük el hozaganyag alkalmazása nélkül. Egy csőre 5 db hernyóvarratot készítettünk. Az alapanyag pontos összetételére vonatkozó műbizonylat sajnos nem állt rendelkezésünkre, de általánosságban a felhasznált acél kémiai összetétele az 1. táblázatban látható.

Az 1.4301 anyagminőségű ausztenites rozsdamentes acél kémiai összetétele [4]

1. táblázat

C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Cu	Mo	Ni	Ti
≤ 0,07	≤ 1,00	≤ 2,00	≤ 0,045	≤ 0,03	≤ 0,10	17,5-19,5	-	-	8,0-10,5	-

A kísérleteket a kínai Jinan Xintian Technology Co. nevű cég által gyártott XTW-1000 típusú optikai szálas kézi lézeres hegesztőgéppel végeztük, mely maximálisan 1000 W teljesítményű, 1080 nm hullámhosszú lézersugár előállítására képes. A hegesztőgép kezelőfelülete a leadott lézerteljesítmény százalékos formában történő beállítását, továbbá a lézersugár pisztolyon belüli mozgató módjának kiválasztását, illetve ezen mozgató frekvenciájának és amplitúdójának beállítását teszi lehetővé. A számos előkísérlet tapasztalatai alapján az alábbi összefoglalónkban – elsősorban a rendelkezésünkre álló mennyiségi korlátok miatt – vizsgálatainkból csak egy jelentősen szűkített eredménylistát mutatunk be. Ezen eredményekhez tartozó kísérleti varratok hegesztését a 2. táblázatban látható kísérleti paraméterek mellett végeztük el. A lézersugár mozgató frekvenciája mindegyik hernyóvarrat esetén 10 Hz volt, a mozgató amplitúdója 3 mm.

A hegesztési kísérletek paraméterei

2. táblázat

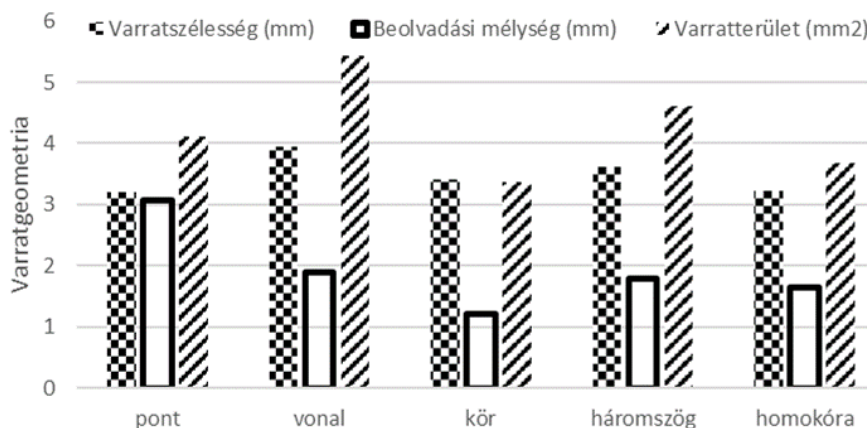
Varrat sorszáma	Hegesztési sebesség (cm/min)	Mozgató mód	Védőgáz típusa	Gáznyomás (bar)	Teljesítmény (%)
1	40	pont ●	N ₂	2,5	80
2	40	vonal –	N ₂	2,5	80
3	40	kör ○	N ₂	2,5	80
4	40	háromszög △	N ₂	2,5	80
5	40	homokóra ⌘	N ₂	2,5	80
6	40	pont ●	N ₂	2,5	80
7	40	pont ●	Ar	2,5	80
8	40	pont ●	He	2,5	80
9	40	pont ●	N ₂ +5%H ₂	2,5	80
10	40	pont ●	Ar+6,5%H ₂	2,5	80

A kísérletek elvégzése során a kézi lézeres hegesztőpisztolyt a stabilitását biztosító készülékbe fogtuk be annak érdekében, hogy az emberi kéz bizonytalanságából eredő hibákat kiküszöböljük és a varratok reprodukálhatóságát növeljük, továbbá a cső alapanyagot forgató berendezés segítségével forgattuk, hogy biztosítani tudjuk az egyenletes haladási sebességet.

3. KIÉRTÉKELÉS MENETE ÉS EREDMÉNYEI

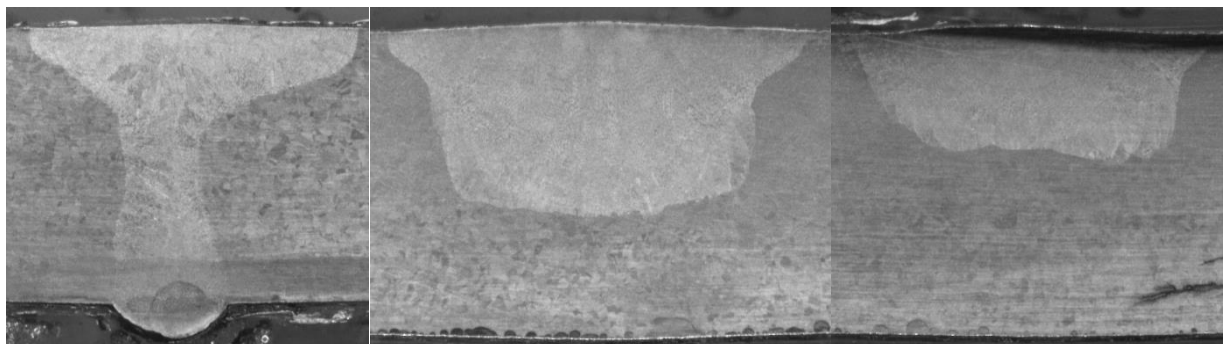
A varratokból hagyományos módszerrel metallográfiai csiszolatokat készítettünk, majd ezeket sztereomikroszkóp alatt vizsgáltuk. A sztereomikroszkóphoz tartozó program segítségével fényképeket készítettünk a keletkezett varratgeometriákról, melyeken lemértük a kiértékeléshez szükséges varratszélesség, beolvadási mélység és varratterület értékeit (1 és 4. ábra).

Az 1. ábra a varratszélesség, a beolvadási mélység és a varratterület értékeit ábrázolja a lézersugár mozgató mód függvényében nitrogén védőgáz és 80%-os teljesítményszint mellett (1-5 próbatestek eredményei alapján). A varratszélesség értékek között minimális különbség figyelhető meg, de elmondható, hogy pont alakú mozgató mód mellett, azaz a lézersugár mozgató mód nélküli esetben keletkezett a legkeskenyebb varrat, míg vonalszerű mozgató mód alkalmazása mellett a legszélesebb. A beolvadási mélységek alakulását megfigyelve látható, hogy a lézersugár mozgató mód nélkül elkészített varratok bírnak a legnagyobb beolvadási mélységgel, a legkisebb beolvadási mélységet pedig a kör alakú mozgató mód eredményezte. A vonalszerű, a háromszög alakú és a homokóra alakú mozgató mód alkalmazásával készített varratok beolvadási mélysége közel egyforma lett. A legnagyobb varratterületet, azaz a legtöbb átolvasztott anyagot a vonalszerű mozgató mód eredményezte. A varratterület értékek a következő sorrendben közel lineáris csökkenést mutatnak: vonalszerű, háromszög alakú, pontszerű, homokóra alakú, végül kör alakú mozgató mód. Az eredmények alapján összességében elmondható, hogy az általunk felhasznált 2,7 mm falvastagságú, 1.4301 anyagminőségű ausztenites rozsdamentes acél cső hegesztéséhez a pontszerű mozgató módot javasoljuk, hiszen kizárólag ezzel a mozgató móddal kaptunk teljes átolvasztást.

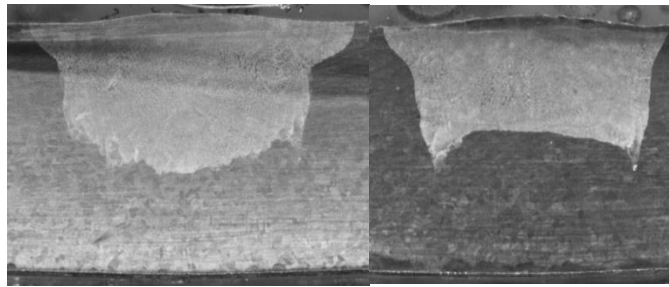


1. ábra. Varratszélesség, beolvadási mélység és varratterület a lézersugár mozgató mód függvényében, nitrogén védőgáz alkalmazása mellett

A 2. és a 3. ábrán láthatóak az egyes lézersugár mozgató módokkal készített varratok mikroszkópi képei. Megfigyelhető, hogy az egyes varratok geometriái rendkívüli változatosságot mutatnak.

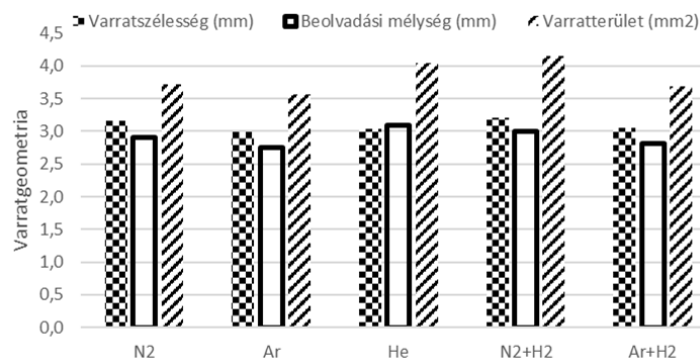


2. ábra. Az egyes lézersugár mozgató módok által létrehozott varratgeometriák, balról jobbra: pont, vonal, kör



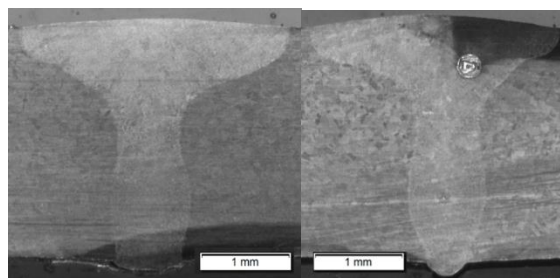
3. ábra. Az egyes lézersugár mozgatósi módok által létrehozott varratgeometriák, balról jobbra: háromszög, homokóra

A 4. ábra a varratszélesség, a beolvadási mélység és a varratterület értékeit ábrázolja a felhasznált védőgáz függvényében pontszerű lézersugár mozgatósi mód és 80%-os teljesítményszint mellett (6-10 próbatestek eredményei alapján). Megállapítható, hogy az argon védőgáz alkalmazása mellett készített hernyóvarrat mindhárom geometriai jellemzője a legkisebb a varratok közül. A beolvadási mélység értékek közül a legnagyobb egyértelműen a hélium védőgáz felhasználásával készített varrathoz tartozik, mely viszonylag kis varratszélesség értékkel párosul. A varratszélességet és a varratterületet illetően is a nitrogén-hidrogén védőgázkeverék alkalmazásával érhető el a legnagyobb érték. Az eredményeket megfigyelve látható, hogy az argon-hidrogén gázkeverék esetén az argon mindhárom értéket jelentősen csökkenti a nitrogén-hidrogén gázkeverék felhasználásával kapott eredményekhez képest. A bevett szokás szerint nitrogén védőgáz alkalmazásával készített hernyóvarrat mindhárom értéke a mezőny közepén található.



4. ábra. Varratszélesség, beolvadási mélység és varratterület a felhasznált védőgáz függvényében

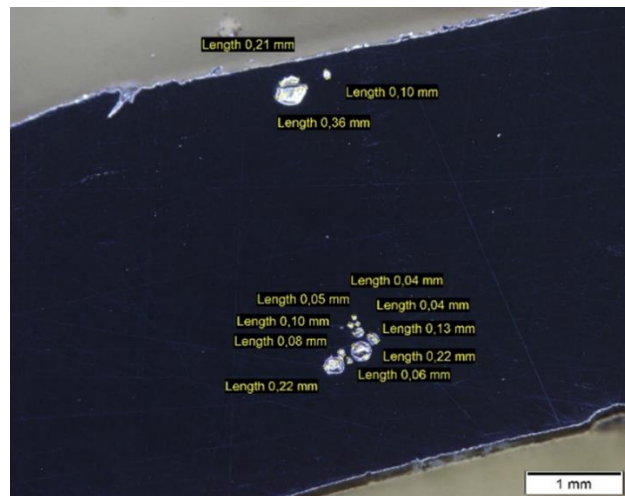
A mikroszkópi képeket tanulmányozva megfigyelhető, hogy azokban a varratokban, amelyek nem nitrogén védőgáz alkalmazásával készültek, porozitások képződtek, a hélium védőgáz használatával hegesztett varratban igen jelentős méretben. Az 5. ábrán a nitrogén és hélium védőgáz felhasználásával készült varratok mikroszkópi képe látható.



5. ábra. A nitrogén (balra) és hélium (jobbra) védőgáz használatával hegesztett varratok csiszolati képei

Mivel a mikroszkópi képek alapján úgy gondoltuk, hogy a varratokban jelentős mértékű porozitás lehet, további vizsgálatnak vetettük alá azokat. A varratokat középvonaluk mentén kettévágva hosszirányú csiszolatokat készítettünk. A 6. ábrán a 8-as jelölésű varrat hosszirányú csiszolati képének egy része látható, melyen valóban jelentős méretű gázzárványok vehetőek észre. Az eredmények alapján elmondható, hogy az általunk felhasznált 1.4301 anyagminőségű ausztenites rozsdamentes acél hegesztéséhez nitrogén használatát

javasoljuk védőgázként, hiszen ebben az esetben nem figyelhető meg porozitás a varratban a többi védőgáz varrataival ellentétben, továbbá az elérhető varratszélesség- és beolvadási mélység értékek is megfelelőek.



6. ábra. A hélium védőgáz alkalmazásával készített varrat hosszcsiszolati mikroszkópi képe

4. KÖVETKEZTETÉSEK

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

- Adott teljesítménnyel, hegesztési sebességgel és védőgázzal a pontszerű mozgatási móddal érhető el a legmélyebb beolvadás.
- A különböző lézersugár mozgatási módok változatos varratgeometriákat eredményeznek.
- Az argon védőgáz csökkenti a varrat szélességét, beolvadási mélységét és varratterületét.
- Hélium védőgáz használatával érhető el a legmélyebb beolvadású varrat.
- A nitrogén kivételével az összes, a kísérletekhez felhasznált védőgáz gázzárványokat eredményezett a varratokban, különös tekintettel a héliumra.

A bemutatott eredmények jelenleg is folyó széleskörű kutatómunkánk csak egy kis szeletét szemléltetik, további tapasztalatainkról a továbbiakban is beszámolunk.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kísérletek elvégzéséhez szükséges alapanyagot, a felhasznált eszközöket és a kísérleti helyszínt a Linde Gáz Magyarország Zrt. biztosította, melyet ezúton is köszönünk. A projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával – NKFIH, valósult meg (OTKA PD 138729). A szerző részvételét a konferencián a BME Gépészmérnöki Kar támogatta.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] BITAY ENIKŐ: *Hegesztési alapismeretek*. Erdélyi Múzeum Egyesület, Kolozsvár, 2021.
- [2] BUZA GÁBOR: *Lézersugaras technológiák I*. Eduvus Főiskola, Tatabánya, 2012.
- [3] ESAB Kft. honlapja (esab.com/hu/eur_hu): *Lézersugaras hegesztés*. (Utolsó megtekintés dátuma: 2024.02.18.)
- [4] AGST Draht & Biegetechnik GmbH honlapja (agst.de): *Rozsdamentes acél 1.4301 adatlap*. (Utolsó megtekintés dátuma: 2024.02.18.)