

Lézer-hibrid hegesztés

Aktualitások és fejlesztési irányok

Halász Gábor

Messer Hungarogáz Kft., 1044 Budapest, Váci út 117., E-mail: gabor.halasz@messer.hu

Absztrakt: Az elmúlt időszakban az új lézerforrások a diszk- és szállézer megjelenése nagy lendületet adott a lézer hibrid eljárások új változatainak kifejlesztéséhez. Az előadásban röviden bemutatjuk a lézer-hibrid technológiák főbb jellemzőit, alkalmazási lehetőségeit. Néhány konkrét példán keresztül áttekintjük a napjainkban használatos lézer-hibrid hegesztési eljárásokat, ezek alkalmazási területeit és fejlesztési irányait.

Abstract: The new laser solutions like the disc and fiber laser have given a great impetus for developing new laser-hybrid welding technologies. This presentation gives an overview of the main characteristics of laser-hybrid technologies, their fields of application. The latest laser-hybrid welding processes, their fields of application and development trends are presented through some specific examples.

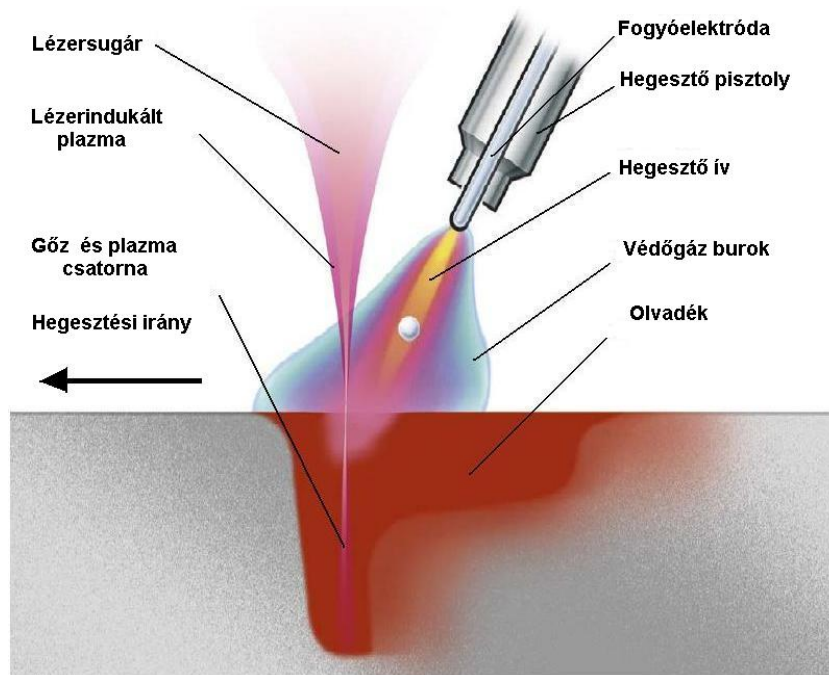
Kulcsszavak: Lézer-hibrid, diszklézer, szállézer, fiberlaser, disclaser

1. Bevezetés

Az ipari termelés minden területén nagy kihívást jelentenek az új anyagok alkalmazása mellett a termelékenység fokozása, a minőségi követelmények magas szintű kielégítése és a költségek alacsony tartása. A lézer-hibrid hegesztési eljárások egyre nagyobb szerepe kapnak ezen kihívásoknak megfelelni a jelen és a jövő gyártástechnológiájában. Az elmúlt időszakban az új lézerforrások a diszk- és szállézer megjelenése nagy lendületet adott a lézer hibrid eljárások új változatainak kifejlesztéséhez. Ezen a területen folyó kutatási és fejlesztési tevékenység eredményei egyre több ipari területen kerültek bevezetésre. Az előadásban röviden bemutatjuk a lézer-hibrid technológiák főbb jellemzőit, alkalmazási lehetőségeit és korlátait. Néhány konkrét példán keresztül áttekintjük a napjainkban használatos lézer-hibrid hegesztési eljárásokat, ezek alkalmazási területeit és fejlesztési irányait.

2. Lézer-hibrid eljárás elve

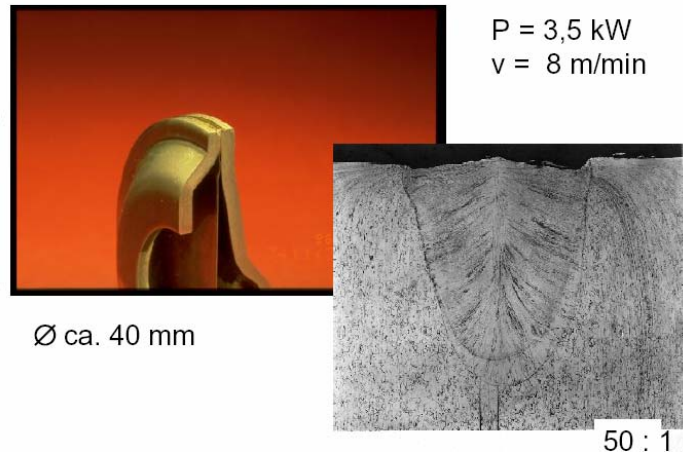
A lézer hibrid eljárások alatt a **lézeres mélyvarratos hegesztés**, ahol a lézersugár a felületre közel merőlegesen kialakuló plazmacsatornán keresztül, tükröződéssel jut az anyag belsejébe és a **fogyóelektródás védőgáz as ívhegesztő eljárás** „há-zasságából” létrejött kötéstechológiákat értjük. Ezeknél a hegesztési eljárásoknál a lézersugár és az elektromos ív egyszerre hatnak a hegesztési zónában, kölcsön-ösen kihasználva a két kötéstechológia előnyeit (1. ábra).



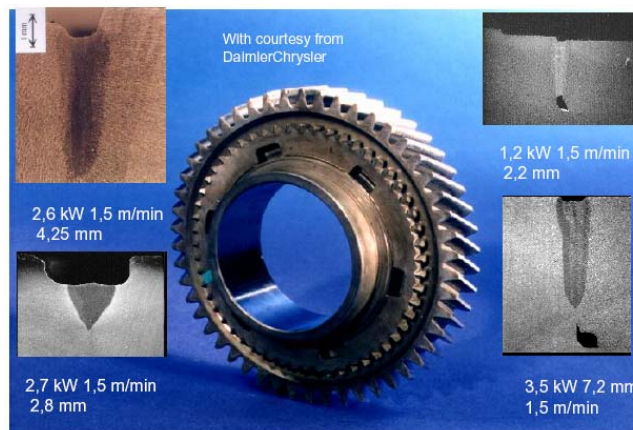
1. ábra Lézer-Hibrid hegesztés elve

A **fogyóelektródás védőgáz as ívhegesztések** számos eljárás változata a legel-terjedtebb a különböző ipari területeket a szerkezeti acél, saválló acél, alumínium ötvözetek hegesztésére vékony karosszéria elemektől, a hatalmas fémszerkezetek gyártásáig.

A **mélyvarratos lézeres hegesztések** kiemelt jelentőséggel bírnak a járműipar-ban, pl. karosszéria elemek, hajtóművek, sebességváltó- és motoralkatrészek gyártásánál. Példa: egy termosztát három különböző vastagságú és minőségű alkatrészének egy menetben történő hegesztése, 2. ábra. Hajtóműalkatrészek különböző lézeres hegesztéssel végrehajtott kötése 3. ábra. Sok esetben a lézeres hegesztést hozaganyag nélkül hajtják végre. Ebben az esetben az eljárás nagyon pontos alkatrészeket igényel, mivel a maximális hézag nem lehet nagyobb mint 0,1 mm. Hozaganyag hozzáadásával a résáthidaló képesség jobb lesz.

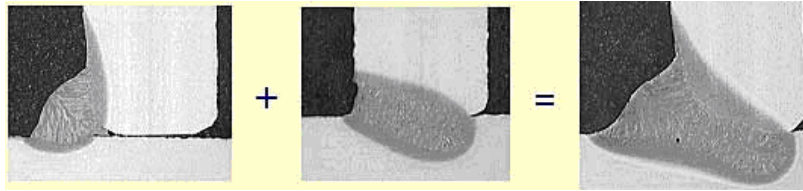


2. ábra Különböző vastagságú alkatrészek lézeres hegesztése



3. ábra Hajtómű alkatrészek mélyvarratos lézeres hegesztése

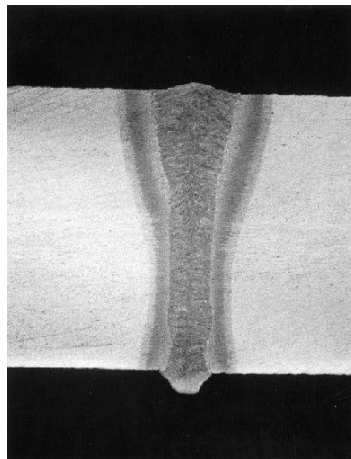
A két technológia együttes alkalmazása számos előnyt ötvöz. A lézere kisméretű foltátmérő, nagy energia sűrűség, nagy beolvadási mélység, kis hőhatásövezet és nagy hegesztési sebesség, finomszemcsés szövetszerkezetű varrat a jellemző. A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztésre a stabil ív, a jó résáthidaló képesség, szélesebb varrat a jellemző. E kettő együtteséből egy termelékeny egyenletes kontúrokkal, keskeny hőhatásövezettel, jó formatényezővel rendelkező hegesztett kötetet kapunk, ahol a lézer segítségével érik el a megfelelő varrat mélységet, míg a hagyományos technológiával a megfelelő varratkorona szélességet. (4. ábra)



4. ábra MAG hegesztés lézersugaras hegesztés lézer-hibrid hegesztés

A lézer-hibrid hegesztés technológia nagyon jó résáthidaló képességgel rendelkezik, ezért nem igényel olyan pontos gyártást és előkészítést mint a lézeres hegesztések, e mellett természetesen a nagy automatizáltság (robot hegesztés) és termelékenység is jellemzője.

A lézer-hibrid hegesztés esetében közel 90%-kal kevesebb hőbevitel, 50%-kal kisebb maradó feszültséget ébreszt az anyagban aminek következtében lényegesen kisebb a deformáció. A technológiára jellemző, hogy a varrat teljes keresztmetszetében finomszemcsés a szövetszerkezet. A megolvadt alapanyag hányada kicsi, ennek ellenére a hegesztett kötés szilárdsága nagy. (5. ábra) [4.]



5. ábra Lézer-hibrid hegesztett kötés szemcseszerkezete

3. Hegesztéshez használt lézerek

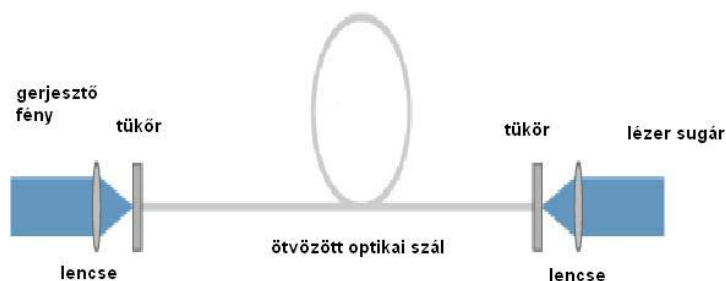
Hegesztéshez első sorban CO₂ vagy Nd:YAG lézereket, illetve újabban dióda lézereket, szállézereket (fiber laser) és diszklézereket használnak.

A CO₂ lézer hullámhossza 10,6 μm, és csak tükrök segítségével lehet eltéríteni. Az iparban hegesztésre használt CO₂ lézerek általában 4 - 20 kW-os teljesítménytartományban egyenlőre még domináns szerepet töltenek be az iparban, de már megjelentek és egyre elterjedőben vannak új diódagerjesztéses szilárdtest

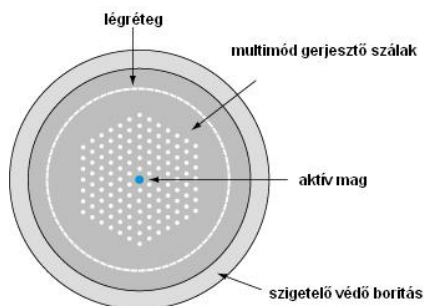
lézerfajták is, amelyeknek fontos szerepük lesz a jövő lézeralkalmazásaiban. A CO₂ lézerek sugárvezetése meglehetősen körülményes, rézből készült tükrök és optikai (ZnSe) lencsék meglehetősen robusztus kialakítást igényelnek.

A **szilárdtest lézerek** mint pl. a Nd: YAG lézersugár hullámhossza 1,064, 0,1-1 mm átmérőjű kvarc optikai szálban vezethető, és kvarcból készült lencsékkel fókuszálható. A hegesztéshez használt jellemző teljesítmény a 4 kW.

A **szállézer (fiber laser)** esetében az ytterbiummal ötvözött optikai szálal diódalézerrel gerjesztik. Ebben az esetben a hajszálnál is vékonyabb optikai szál tölti be a rezonátor szerepét. A sugárzás hullámhossza 1,062 μm. A szállézerekben kiváló sugárminőségű jó hatásfokkal létrehozott lézersugár teljesítménye elérheti akár a 20 kW-ot is.

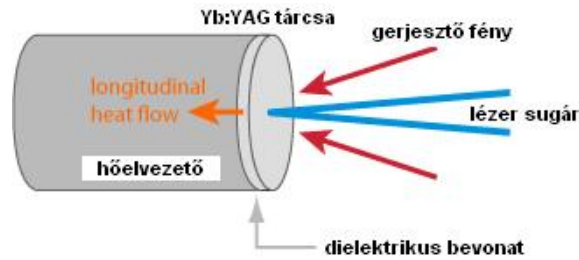


6. ábra A szállézer elvi felépítése



7. ábra Az optikai szál szerkezete

A **diszklézerek** egy zseniális kombinációja a szilárdtest és dióda lézereknek. A legújabb diszklézerek jelenleg akár 10 kW teljesítményre is képesek már. Nagy előnyük, hogy a sugárminőség a teljes teljesítmény tartományban állandó és nem érzékeny a reflexióra, továbbá, hogy a kiemelkedő sugárminőségű és nagy hatásfokú lézerteljesítmény optikai kábelen továbbítható.



8. ábra A diszklézer elvi felépítése és gyakorlati megvalósítása

1. táblázat Lézerforrások összehasonlítása

	Szállézer	Nd:YAG	CO ₂	Diszk
Hatásfok	~30 %	1,5 - 2 % (lámpa) 10-20% (dióda)	5 -15 %	15 - 25 %
Kimenő teljesítmény	50 kW-ig	25 kW	20 kW	10 kW
Sugárminőség (4/5kW)	2,5	25	6	8
Dióda élettartam (óra)	100.000	10.000	-	10.000
Hűtés	levegő/víz	deionizálás	víz	víz
Fellátási felület	~ 1m ²	6 m ²	3 m ²	4 m ²

A diszk- és szállézerek kifejlesztése újabb lendületet adott a további kísérleteknek, amelyek a vékonyabb anyagok esetében a teljesítmény növelését illetve egyre vastagabb anyagok hegesztésének lehetőségét célozzák meg. Másrészt a szilárdtest lézerek új generációi, a szál- és diszklézerek sokkal kisebb terjedelmükkel és a jobb kezelhetőségükkel újabb lehetőségeket kínálnak a felhasználóknak számára.

3.1. *A lézer-hibrid hegesztések előnyei a hagyományos fogyóelektródás eljárásokhoz képest:*

- Lényegesen nagyobb hegesztési sebesség
- Mélyebb beolvadás
- Alacsonyabb hő bevitel
- Kisebb deformációk
- Kevesebb él előkészítést igényel
- Keskenyebb varrat és hőhatásövezet
- Kevesebb hozaganyag igény
- A varrat fáradási tulajdonságai jobbak
- Alacsonyabb maradó feszültségek
- A hidrogén okozta repedésveszély kisebb

4. A lézer-hibrid hegesztések alkalmazási területei

Nagyszilárdságú sík elemek T kötése, szerkezeti T idomok nagysebességű hegesztése alacsony hő bevitellel és deformációval. Kisebb előkészítési igény, kevesebb utómunka gyorsabb gyártás jellemzi a lézer-hibrid technológiát. Teljesen új építési koncepció a panel szendvics szerkezetes építkezés kezd elterjedni, amely 20-50% súlycsökkentést is eredményezhet a hagyományos acélszerkezetes építkezéshez képest.



9. ábra Szendvics panel lézer-hibrid hegesztése

Az US Navy és az Európai hajó gyártók több kutatóintézetrel együttműködve számos lézer-hibrid hegesztett szendvics struktúrát fejlesztettek ki. Ez az új építési koncepció forradalmasítja a hidak és más nagy acélszerkezetek gyártását.

A járműipar, autógyártás, vasúti kocsik gyártásában számos területen egyre több helyen bevezetésre kerül a lézer-hibrid eljárás. A csővezetékek hegesztésénél szintén ígéretes kísérletek folynak.

5. Lézer-hibrid eljárással hegeszthető anyagok és technológiai paraméterek, példák

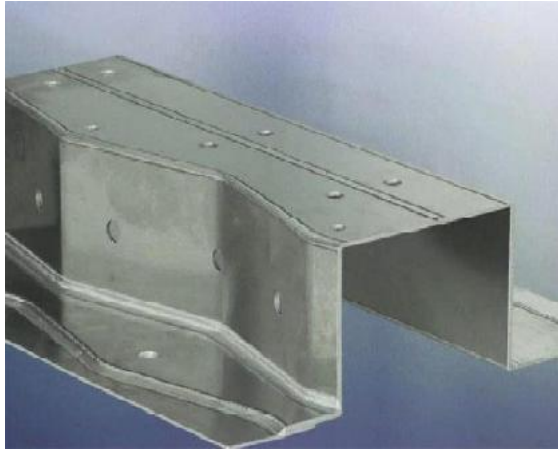
Az alapanyagok szempontjából főleg az acél és alumínium ötvözetek hegesztésére alkalmazzák előszeretettel a lézeres hibrid hegesztést. Ezen anyagokon végzett lézeres hibrid hegesztésre jellemző a nagy termelékenység, a beolvadási mélységtől függően 2-15 m/min-es hegesztési sebességek és keskeny hőhatásövezet, továbbá, hogy a gyors hegesztés következtében kisebb elhúzóerőkkel kell számolni.

A hegesztési sebesség egyrészt a sugárforrás teljesítményétől, a lézerforrás típusától, a lézersugár hullámhosszától, az alapanyag lézersugár abszorpciós tényezőjétől, másrészt a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztő eljárás paramétereitől függ. A hegesztés eredményét azonban még számos paraméter befolyásolja, mint a hegesztéshez használt védő- és segédgáz vegyi összetétele, áramlási sebessége, iránya és mennyisége, a lézersugár gerjesztésének frekvenciája és a lézer sugáron belüli energia eloszlás, a hegesztő pisztoly dőlésszöge, A hegesztő elektróda vége és a lézersugár becsatolási pontja helyzete és a közöttük lévő távolság, a fókuszpont elhelyezkedése, az áramimpulzusok frekvenciája stb.

A lézer-hibrid hegesztés tompa, sarok, átlapolt és T kötések kialakítására alkalmas. A melléklet 10-12. ábrákon ebből láthatunk néhány példát.



10. ábra Tompa és sarokkötések lézer – hibrid eljárással történt kivitelezésére



V heg= 4,2-8,1 m/min

t heg= 39 s

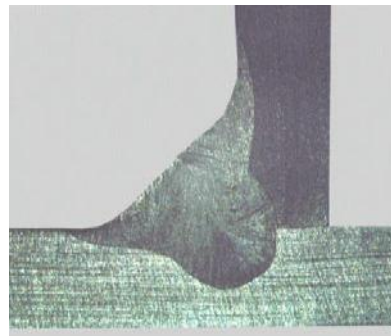
l heg= 3,4 m

Alapanyag: AW
6082 T6

Hegesztő huzal:
AW AISi5

Lemezvastagság:
2 és 1,5 mm

11. ábra Alumínium ötvözetből készült alkatrész lézer-hibrid hegesztése



V heg= 2,7 m/min

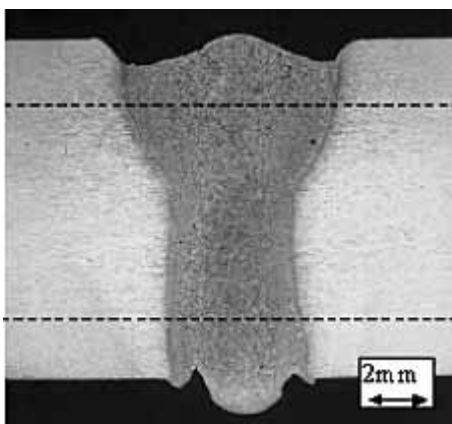
Alapanyag:
1.4301

Hegesztő huzal:
1.4316

Lemezvastagság:
2 mm

12. ábra Rozsdamentes acél lézer-hibrid hegesztett kötés

Az AIRBUS 318 és 380 típusoknál, 2-3 mm vastag 6xxx alumínium ötvözetből készült törzselemeinél alkalmazott lézersugaras hegesztések bizonyították létjogosultságukat a repülőgépipar számára is. A hegesztés bevezetésével súly megtakarítást és gyorsabb gyártási időt értek el. Ezen sikerek hatására kidolgozásra került egy stratégia, amely a szárnyelemek lézer-hibrid hegesztés technológiájának kifejlesztését tűzte célul. A fejlesztés eredménye ként sikerült 12,7 mm vastag különleges Al, Zn, Mg, Cu (7XXX) ötvözetből készült lemezeken olyan tompa kötést készíteni, amely kielégíti a BS EN ISO 13919-2:2001 szabvány B osztály és AWS D17.1 A osztály igen szigorú követelményeit.



13. ábra 12,7 mm vastag 7xxx ötvözetből készült lézer-hibrid hegesztett varrat

A 13. ábrán a szaggatott vonal jelzi a hegesztés utáni korona és gyökoldalon történő megmunkálás határát. A kísérletekhez IPG YLR -7000 típusú, 7kW szállézer, ESAB Aristo MIG 450 hegesztő áramforrást és standard puls synergic programot használtak. A hegesztési sebesség $V_{heg}=0,5$ m/min. Az első időszakban alkalmazott AlMg5 hozaganyagot speciálissal, a varrat szövetszerkezetének finomítását kiváltó adalékkal ötvözve további minőségjavulást értek el [8]

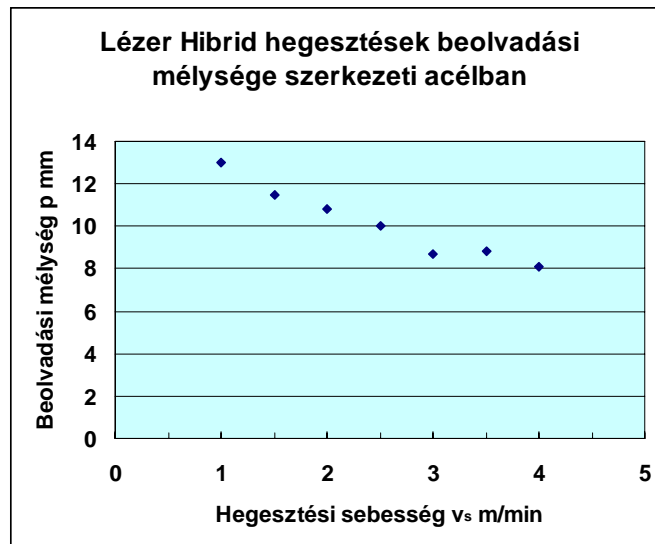
A lézer-hibrid hegesztések elsődlegesen vékonyabb anyagvastagságok esetében alkalmazták. Ez azonban napjainkban már megváltozott. A lézerek teljesítményének növelésével és ezzel párhuzamosan a berendezések nagyságának csökkenésével a vastagabb darabok hegesztése is lehetséges. Az elmúlt időszakban több kutatási projekt zárult le, amelynek keretén belül vizsgálták a lézer hibrid eljárások további alkalmazhatóságát.

A DOCKLASER projektben 3-35 mm vastag elsősorban hajóépítésben, tartály, vezetérendszer, emelőszervezetek és nagy acélszerkezetekhez használatos acélokön vizsgálták a lézer-hibrid eljárások alkalmazhatóságát. Különböző teljesítményű CO_2 , Nd-YAG és szállézereket házasítottak össze a hagyományos fogyóelektrodás védőgáz eljárással. A projekt keretén belül kialakítottak egy mobil, hordozható lézer állomást egy IPG YLR 10000, 10 kW szállézer sugárforrással. A rendszer részét képezte a lézer hűtőegysége is. (14. ábra)



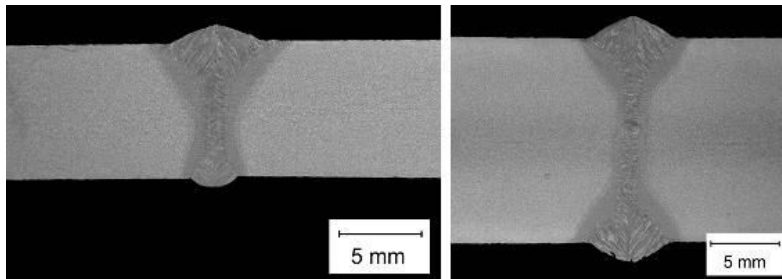
14. ábra 10kW szállézer mobil egység

Ezzel az egységgel végzett hegesztésekhez 1,2 mm G3Si1 huzalt használtak, 12 m/min előtolási sebességgel. A lézersugár 2,5 mm távol helyezkedett el a hegesztő pisztoly végétől. A lézer-hibrid hegesztésekhez 90/10 argon szén-dioxid védőgázt alkalmaztak. A beolvadási mélységeket alakulását a hegesztési sebességek függvényében az alábbi 15. ábrán találjuk.



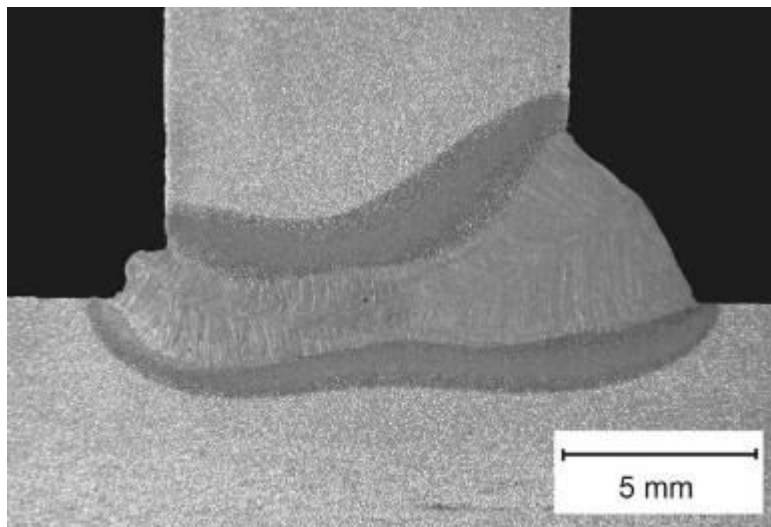
15. ábra

A projekt keretében vizsgálták a hajógyártásban alkalmazott HSLA65, illetve GL A és GL D36 acélok egy oldali, illetve a kétoldali tompa kötés kialakítási lehetőségeit. A mellékelt ábrán (13 ábra) 8 mm, illetve 16 mm HSLA65 acél hegesztett kötéseit látjuk. A hegesztési sebesség $v_s = 3,5$ m/min.



16. ábra Ez és kétoldali kötések

A hajógyártásban a tompa kötések mellett gyakran alkalmaznak sarok, illetve T kötéseket. A T kötések kialakításánál sok esetben csak egy oldalról biztosított a hegesztőfej megfelelő hozzáférése. A következő példában egy 10 mm lemezvastagságú, egyoldalról kivitelezett T kötést látunk. 10 kW lézerteljesítménnyel, $v_s = 1,6$ m/min hegesztési sebességet érek el. A hegesztő huzal sebesség 12,5 m/min és a bevitt vonalenergia 7 kJ/cm volt. (17. ábra)



17. ábra Egyoldali T kötés lézer-hibrid eljárással

A lézer-hibrid hegesztéssel ez a feladat megoldható teljes átolvadással. A 10 kW lézerteljesítményű szállézer sugárforrással max. 12 mm vastag lemezek egyoldali hegesztése lehetséges. CO₂ lézerekkel korábban, az ilyen jellegű felada-

tok elvégzése nem vagy csak nagyon körülményesen, bonyolult és drága berendezésekkel volt kivitelezhető. Az új diszk- és szállézeres optikai kábelben történő sugárvezetésnek köszönhetően ezek a feladatok ma sokkal könnyebben megoldhatók.

Miért versenyképes a lézer-hibrid hegesztés a hagyományos hegesztésekkel szemben?

Esősorban a nagy termelékenysége miatt, ami esetenként 300-1000%-os sebesség különbségben nyilvánul meg a lézer-hibrid hegesztések javára, mivel a hagyományos hegesztéssel kialakított többsoros varratok egysoros lézer-hibrid hegesztéssel kiválthatók. Kevesebb a hozaganyag és védőgáz igény. Kisebb varratkeresztmetszet ellenére a hegesztett kötés szilárdsága nagy, minősége nagyon jó. A lézer-hibrid hegesztések alkalmazásával lényegesen csökken a deformáció és a visszamaradó feszültség szintje. A magas beruházási költségek ellenére a nagy sorozatgyártásban rugalmasságának köszönhetően gazdaságos. Jól automatizálható, a teljes folyamat dokumentálható és a gyártó rendszerekbe integrálható.

Az első gazdaságosan működő kompakt lézer-hibrid rendszert a Fronius mutatta be 2001-ben az Esseni Schweissen & Schneiden szakkonferencián. Azóta a témában folyó nagyszámú kísérleti kutatás eredményeként a lézer-hibrid hegesztések számos változata jelent meg és nyert alkalmazást az iparban. Az új szál- és diszklézerek megjelenésével és elterjedésével a lézer-hibrid hegesztési technológiákban is ugrásszerű fejlődésnek lehetünk tanúi a közeljövőben.

Irodalomjegyzék

- [1] Gerd Trommer és Herbert Staufer – Előnyökkel szolgál a lézer – hibridhegesztés, Műszaki Magazin 2004/11, pp. 18-19
- [2] Introduction to Industrial Laser Materials Processing- Rofin Sinar 2004, pp. 68-72
- [3] Hatékonyság és technológia a fókuszban: Hibrid Lézeres Hegesztés HT 2008/2, p. 11
- [4] U. Jasnau, A. Sumpf - Laser Hybrid Welding with High Power Fiber Laser- New Chances for Use of Laser Technology – Nordic Welding Conference - 2006
- [5] Búza Zsuzsa - Ipari lézerek munka közben, űszaki Magazin 2009/4, pp. 10-12
- [6] CO₂ Laser MAG Hybrid Welding for Wall Thickness up to 30 mm – Fraunhofer ILT Annual Report 2006, p. 65
- [7] Moriako Ono, Yukio Shinbo, Akihide Joshitake, Masanori Omura – Development of Laser-arc Hybrid Welding –NKK Technical Review No. 86- 2002, pp. 8-12
- [8] C. M. Allen, G Verhaeghe, P. A. Hilton, c. P. Heason, P. B. Prangnel –Laser and Hybrid Laser –MIG Welding at 6,35 and 12,7 mm Thick Aluminium Aerospace Alloy- International Conference on Aluminium Alloys (CAA 10) 9-18 July 2006, Vancouver, Canada
- [9] G Verhaeghe – Low Porosity Laser Welding of 12,7 mm Thickness Aerospace Aluminium- INALCO Conference 2007, October 24-26, Tokyo, Japan