

Szakmai publikáció

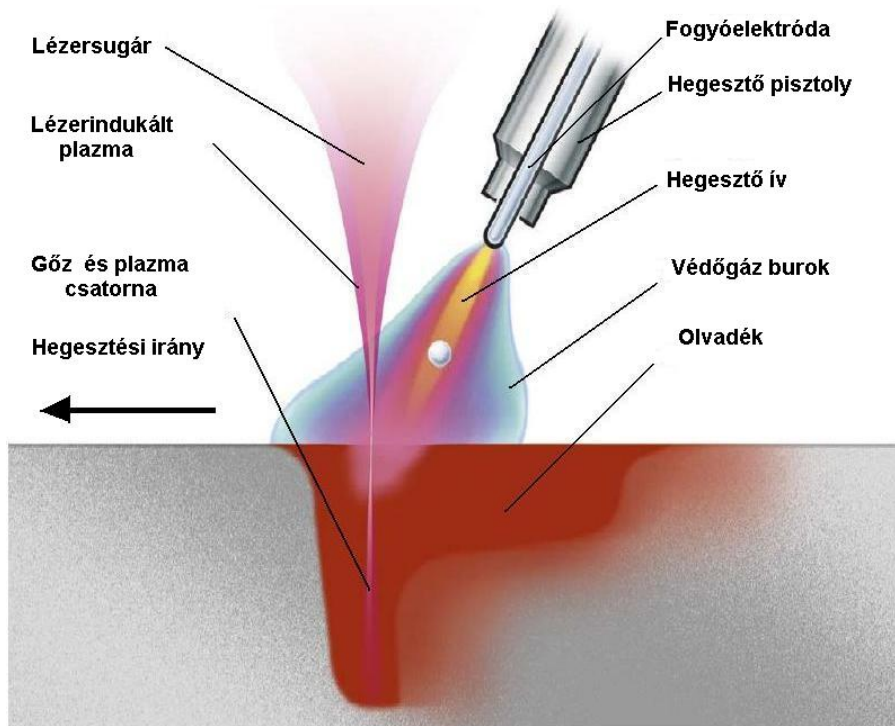
Budapest, 2009. május 29.
 Hegesztéstechnika 2009/2, 35-38. o.

Lézer- hibrid hegesztések

Aktualitások és trendek

Az ipar számos területén alkalmaznak lézereket. A lézer mikro és makro alkalmazásai elsősorban akkor kerülnek előtérbe, amikor pontos, gyors és jó minőségű megmunkálásra van szükség. A számtalan lézeralkalmazás közül a következőkben röviden, néhány konkrét példán keresztül, a tejjesség igénye nélkül tekintjük át a napjainkban használatos lézer-hibrid hegesztési eljárásokat.

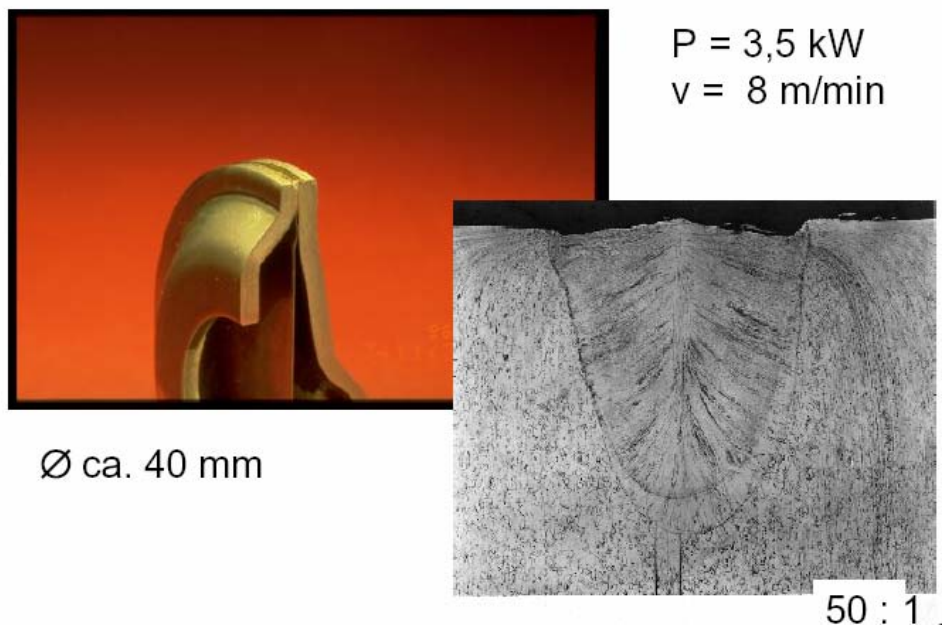
A lézer-hibrid eljárások alatt általában a **lézeres mélyvarratos hegesztés** - ahol a lézersugár a felületre közel merőlegesen kialakuló plazmacsatornán keresztül, tükröződéssel jut az anyag belsejébe - és a **fogyóelektródás védőgázos ívhegesztő eljárás** „házasságából” létrejött kötéstehnológiákat értjük. Ezeknél a hegesztési eljárásoknál a lézersugár és az elektromos ív egyszerre hatnak a hegesztési zónában, kölcsönösen kihasználva a két kötéstehnológia előnyeit (1. ábra).



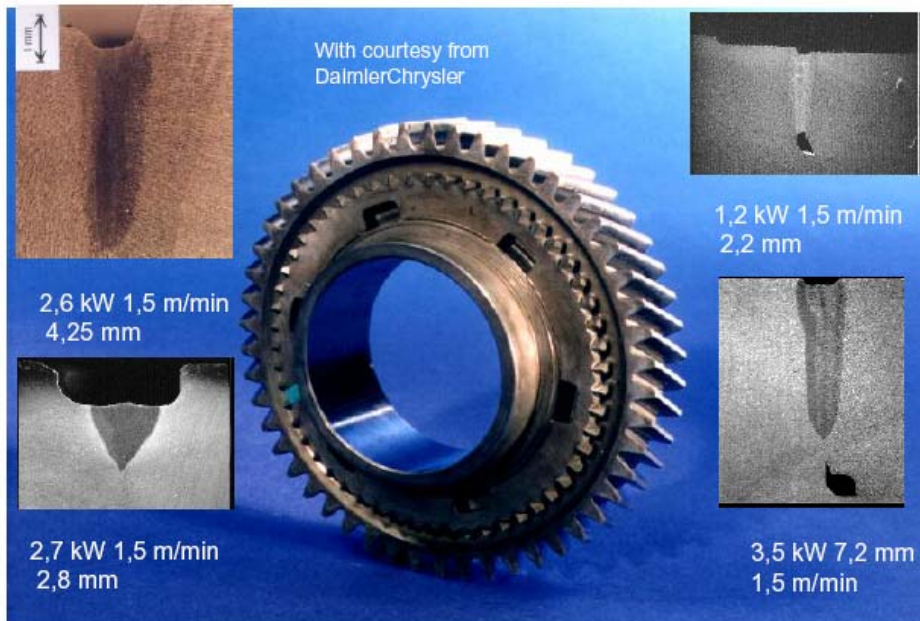
1. ábra Lézer-hibrid hegesztés elve

A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztések számos ipari területen elterjedtek a szerkezeti acél, saválló acél, alumínium ötvözetek hegesztésére, a vékony lemezekből készült karosszéria elemektől a vastag, nagyméretű elemekből álló fémszerkezetek gyártásáig.

A mélyvarratos lézeres hegesztések kiemelt jelentőséggel bírnak a járműiparban, pl. karosszéria elemek, hajtóművek, sebességváltó- és motoralkatrészek gyártásánál. Alkalmazási példaként bemutatjuk egy termosztát három különböző vastagságú és minőségű alkatrészének egy menetben történő hegesztését (2. ábra), és hajtóműalkatrészek különböző lézeres hegesztéssel végrehajtott kötéseit (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.

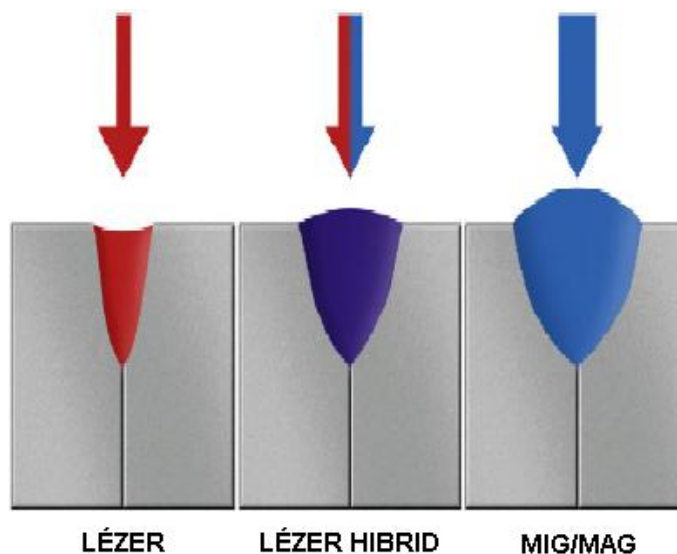


2. ábra Különböző vastagságú alkatrészek lézeres hegesztése.



3. ábra Hajtóműalkatrészek mélyvarratos lézeres hegesztése.

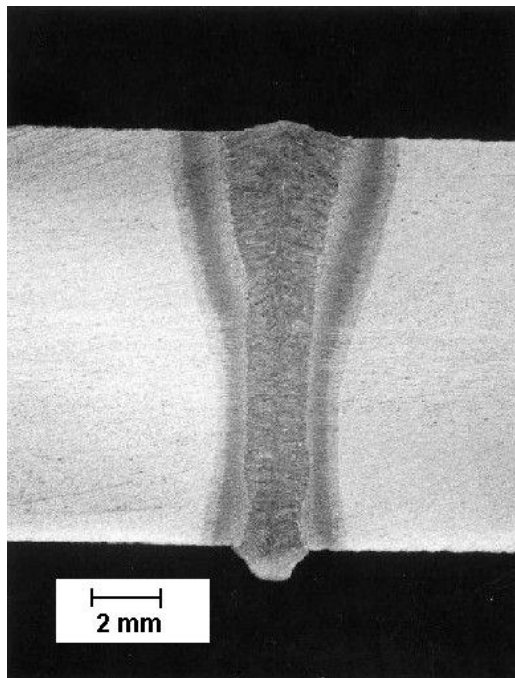
A lézer és fogyóelektrodás technológia együttes alkalmazása számos előnyt ötvöz. A lézere kisméretű foltátmérő, nagy energia sűrűség, nagy beolvadási mélység, kis hőhatásövezet és nagy hegesztési sebesség, finomszemcsés szövetszerkezetű varrat jellemző. A fogyóelektrodás védőgázos ívhegesztés előnye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



4. ábra Varrat geometria összehasonlítása.

A lézer-hibrid hegesztéstechnológia a lézeres hegesztéshez képest nagyon jó résáthidaló képességgel rendelkezik, ezért nem igényel olyan pontos gyártást és előkészítést. Emellett természetesen jellemző rá a nagyfokú automatizáltság (robothegeztés) és termelékenység.

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.

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 téríthető el. Az iparban hegesztésre használt CO₂ lézerek általában 4-20 kW-os teljesítménytartományban még domináns szerepet töltenek be az iparban, de már megjelentek és egyre inkább elterjedőben vannak az új diódagerjesztéses szilárdtest lézerefajták is, amelyeknek fontos szerepük lesz a jövő lézeralkalmazásaiban. A CO₂ lézerek sugárvezetése meglehetősen körülményes, a rézből készült tükrök és optikai (ZnSe) lencsék meglehetősen robusztus kialakítást igényelnek.

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

A **szállézer (fiber laser)** esetében az itterbiummal 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 a kiváló sugárminőségű, jó hatásfokkal létrehozott lézersugár teljesítménye elérheti akár a 20 kW-ot is.

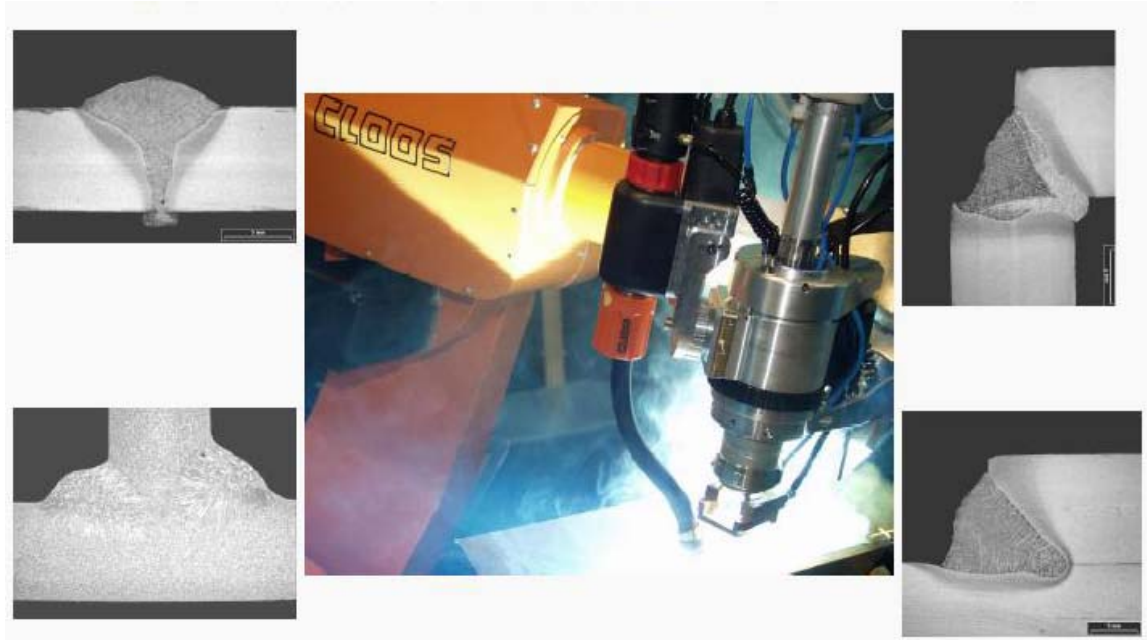
A **diszklézerek** zseniális kombinációi a szilárdtest és dióda lézereknek. A legújabb diszklézerek jelenleg akár 10 kW teljesítményre is képesek. Nagy előnyük, hogy a sugárminőség a teljes teljesítmény tartományban állandó és nem érzékeny a reflexióra, továbbá, hogy a kiemelkedő sugárminőségű és nagy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

A szilárdtest lézerek új generációi, a szál- és diszklézerek sokkal kisebb terjedelmükkel és jobb kezelhetőségükkel újabb lendületet adtak a további alkalmazásoknak, amelyek az új anyagok hegesztését, a vékonyabb anyagok esetében a teljesítmény növelését, illetve egyre vastagabb anyagok hegesztésének lehetőségét célozzák meg. Az új fejlesztésű lézerekre felfigyelt többek között a repülőgépipar is. Az új Airbus 380-as törzselemeinek gyártásánál már lézer-hibrid hegesztést használnak. Ezeknek a száma a jövőben várhatóan megsokszorozódik.

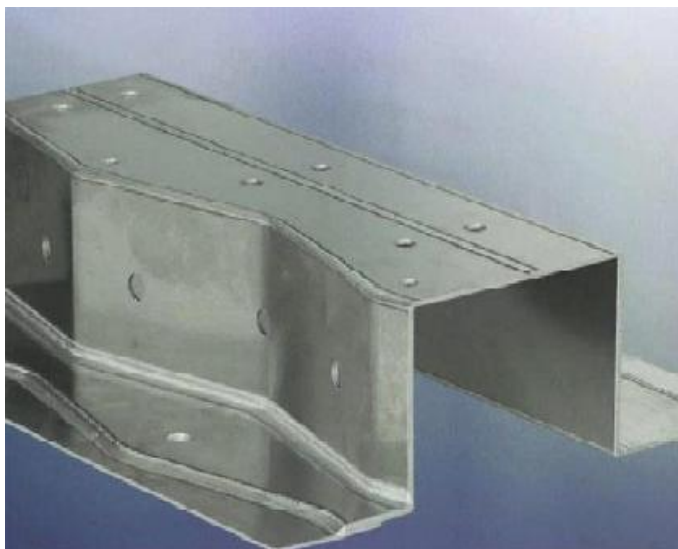
Az alapanyagok szempontjából főleg az acél és alumínium ötvözetek hegesztésére alkalmazzák előszeretettel a lézeres hibrid hegesztést. Ezen anyagokon végzett lézeres hibrid hegesztésre jellemző a nagy termelékenység, a beolvadási mélységtől függően 2 - 15 m/min-es hegesztési sebesség és a keskeny hőhatásövezet, továbbá 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, áramimpulzusok frekvenciája, stb.

A lézer-hibrid hegesztés tompa, sarok, átlapolts és T kötések kialakítására alkalmas. A 6., 7., 8. ábrákon ezekről láthatunk néhány példát.



6. ábra Tompa- és sarokkötések lézer-hibrid eljárással történt **kivitelezése**.



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

t heg= 39 s

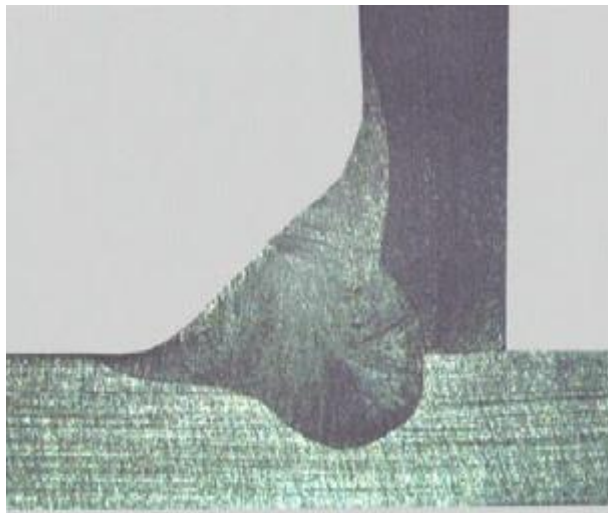
l heg= 3,4 m

Alapanyag: AW
6082 T6

Hegesztő huzal:
AW AISi5

Lemezvastagság:
2 és 1,5 mm

7. ábra Alumínium ötvözetből készült alkatrész lézer-hibrid hegesztése.



V heg= 2,7 m/min

Alapanyag:
1.4301

Hegesztő huzal:
1.4316

Lemezvastagság:
2 mm

8.ábra Rozsdamentes acél lézer-hibrid hegesztett kötés.

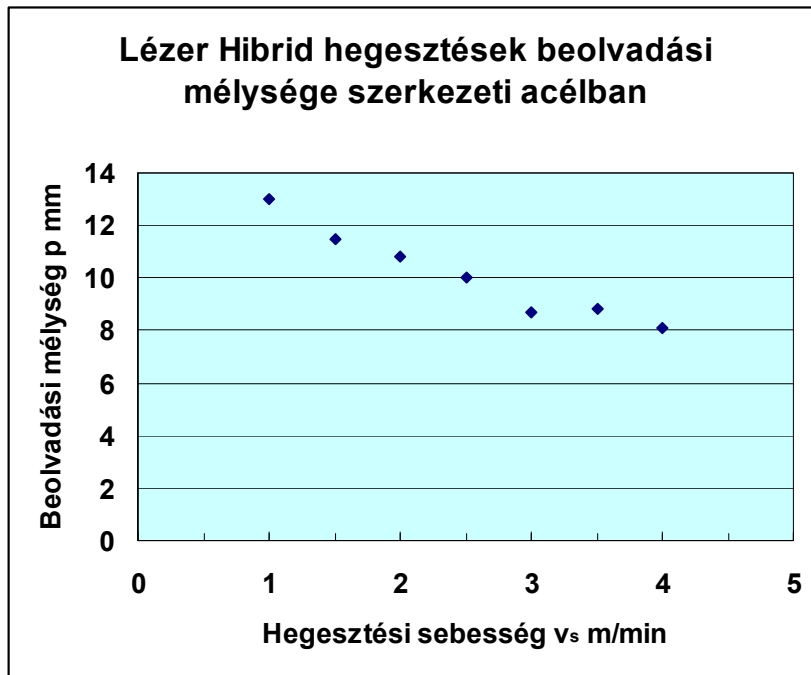
A lézer-hibrid hegesztéseket elsődlegesen vékonyabb anyagvastagságok esetében alkalmazták. Ez azonban napjainkban már megváltozott. A lézerek teljesítményének növelésével és ezzel párhuzamosan a berendezések nagyságának csökkenésével vastagabb darabok hegesztése is lehetséges. Az elmúlt időszakban több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

A DOCKLASER projektben 3-35 mm vastag, elsősorban hajóépítésben, tartály, vezetékrendszer, emelőszerkezetek és nagy acélszerkezetekhez használatos acélokon vizsgálták a lézer-hibrid eljárások alkalmazhatóságát. Különböző teljesítményű CO₂, Nd-YAG és szállézereket házasítottak össze a hagyományos fogyóelektrodás védőgázos eljárással. A projekt keretén belül kialakítottak egy mobil, hordozható lézer állomást egy IPGYLR 10000, 10 kW szállézer sugárforrással. A rendszer részét képezte a lézer hűtőegysége is (9. ábra).



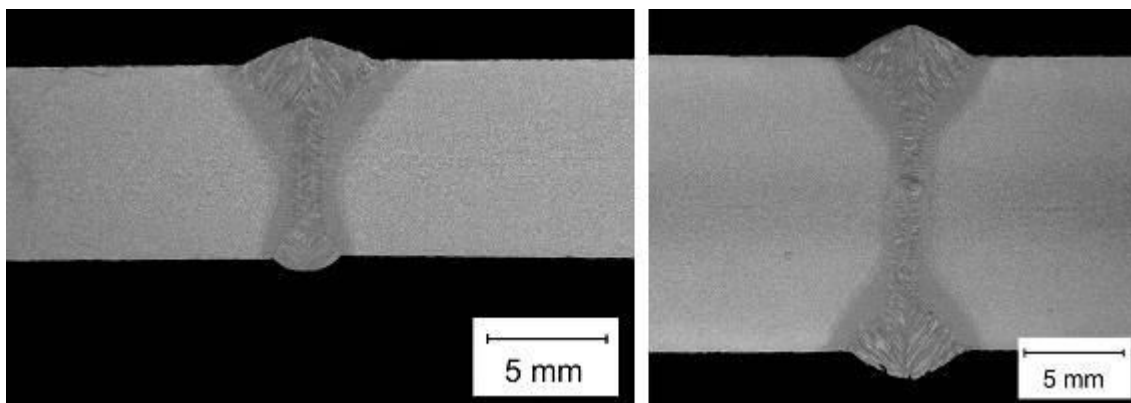
9.ábra 10kW szállézer mobil egység.

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 mélységek alakulását a hegesztési sebességek függvényében az alábbi 10. ábrán láthatjuk.



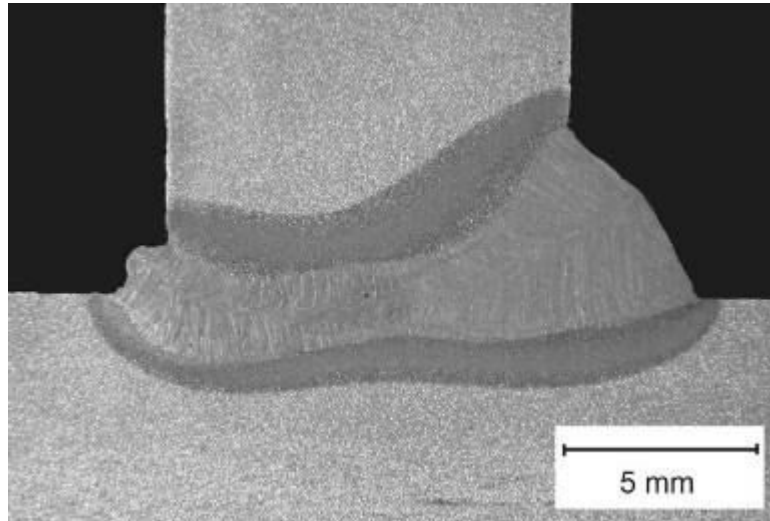
10. ábra Beolvadási mélységek alakulása a hegesztési sebességek függvényében.

A projekt keretében vizsgálták a hajógyártásban alkalmazott HSLA65 illetve GL A és GL D36 acélok egyoldali, illetve a kétoldali tompa kötés kialakítási lehetőségeit. A 11. ábrán 8 mm, illetve 16 mm HSLA65 acél hegesztett kötéseit látjuk. A hegesztési sebesség $v_s = 3,5$ m/min.



11. ábra Egy- és kétoldali kötések.

A hajógyártásban a tompa kötések mellett gyakran alkalmaznak sarok és T kötéseket. A T kötések kialakításánál sok esetben csak egy oldalról biztosított a hegesztőfej megfelelő hozzáférése. A következő példában egy 10 mm lemezvastagságú, egy oldalról kivitelezett T kötést látunk. 10kW lézerteljesítménnyel, $v_s = 1,6$ m/min hegesztési sebességet értek el. A hegesztő huzal sebesség 12,5 m/min, a bevitt vonalenergia 7kJ/cm volt. (13. ábra)



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

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

Esősorban nagy termelékenységéért, ami esetenként 300-1000 %-os sebességkülönbségben 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. A 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 Hegesztés- és vágástechnológiai Világkiállításon. 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.

Szerkesztette

Halász Gábor
Messer Hungarogáz Kft.
hegesztés-vágás szaktanácsadó

Felhasznált irodalom:

1. Gerd Trommer és Herbert Staufer – Előnyökkel szolgál a lézer-hibridhegesztés, *Műszaki Magazin*, 2004/11, 18-19. old.
2. *LaserHybrid / LaserBrazing Fronius prospektus 2003-02*
3. *Introduction to Industrial Laser Materials Processing- Rofin Sinar 2004, 68-72. old.*
4. *Hatékonyág és technológia a fókuszban: Hibrid Lézeres Hegesztés HT 2008/2 11-old.*
5. U. Jasnau, A. Sumpf - *Laser hybrid welding with high power fiber laser-new chances for use of laser technology -- Nordic Welding Conference -2006*
6. Buza Zsuzsa - *Ipari lézerek munka közben, Műszaki Magazin 2009/4, 10-12. old.*
7. *CO₂ laser MAG hybrid welding for wall thickness up to 30 mm – Fraunhofer ILT Anula Report 2006, 65. old.*