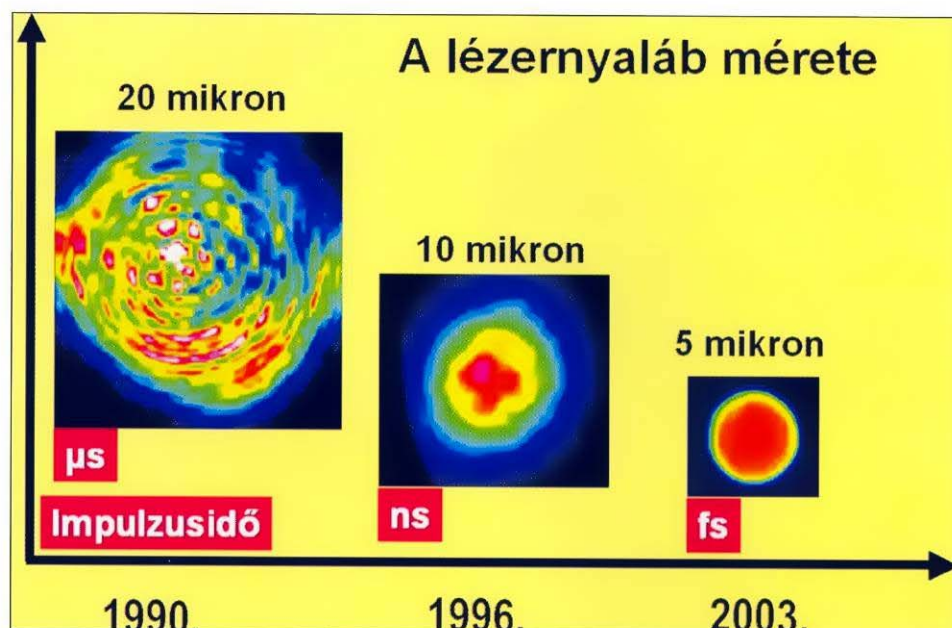


Mikrohegesztések

A címben szereplő kifejezés egyre gyakrabban bukkan fel a hegesztés témájú szakirodalomban. A ma már mindennapos munkaeszköznek számító internet valamelyik keresőprogramja sok ezer találatot jelez a „micro-welding” keresőszóra (pl. a Google 13500-at). A német nyelvű szóalak csak 157, a francia 142 s végül a magyar nyelvű szóalak csak 6 találatot jegyez. Ennek ellenére a mikrohegesztések „értelmezési tartománya” a magyar szaknyelvben is meglehetősen régóta jelen van: az 1985-ben megjelent, Baránszky-Jób Imre által szerkesztett Hegesztési kézikönyv is említi, mégpedig két eljárás – a mikroplazmahegesztés és az ellenállás-mikroponthegesztés – ismertetésekor.

A „mikrohegesztés” fogalom jelentése ugyanakkor meglehetősen definiálatlan, s ez nem csak a hazai szaknyelvre mondható el. Külön is indokolja a fogalmi rendezést az a körülmény, hogy számos hegesztési eljárás kapcsán lehet találkozni a kifejezéssel, s ez könnyen félreértésekhez vezethet. Ráadásul az utóbbi néhány évben berobbant a szakmai közéletbe egy másik idegen prefixum, a „nano-” – amelyre egyre kevésbé mondható igaznak, hogy nem él önálló szóként a magyar nyelvben –, s ezzel a mikrohegesztés fogalmat használók is új kérdések elé kerülhetnek. Lenne esetleg „makrohegesztés” és „nanohegesztés” is? Na ne! Most már elég a szomágiából! – mondhatják sokan, de ha kinyitjuk a már emlegetett munkaeszközt, az internetet, 194 esetben találkozhatunk a „nano-welding” témával.

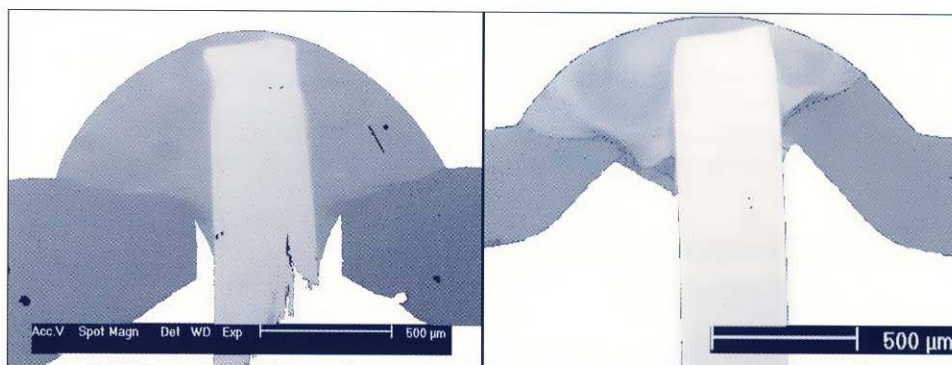
Mіндеzen körülmények alapján, talán nem időszerűtlen megpróbálkozni egy olyan definíciószerű értelmezés megfogalmazásával, amely nem túl merev, még kevésbé kirekesztő, de némileg megkönnyíti az eligazodást, és nem a nyelvi készségre és (az esetleg piszkos) fantáziára bízva az értelmezést. Túl kell lépni a mikrohegesztés olyan, az eredeti körülményeken nyugvó meghatározásán, amely szerint a mikrohegesztés voltaképpen egy mikroszkóppal mint segédberendezéssel kiegészített hagyományos, de minimális ömledéktérfogatra törekvő ömlesztőhegesztés. Már csak azért is, mert ez a meghatározás a lézersugaras mikrohegesztéssel szemben fogalmazódott meg, és nincs tekin-



1. ábra. A lézersugár jellemzőinek fejlődése



2. ábra. Az utóbbi néhány évben az autólámpa fejlesztés egyik eredménye a H4 lámpát (a) felváltó D2 gázkisülőlámpa (b), amelyben az izzószáll helyett plazma adja a fényt. A lámpában, típtüstől és gyártótól függően mintegy 15 hegesztési varrat található, amelyeket lézerrel, dudorhegesztéssel, W-elektrodás hegesztéssel alakítanak ki. A hegesztendő anyagok: W, Mo, Ni-ötvözet és ausztenites acél



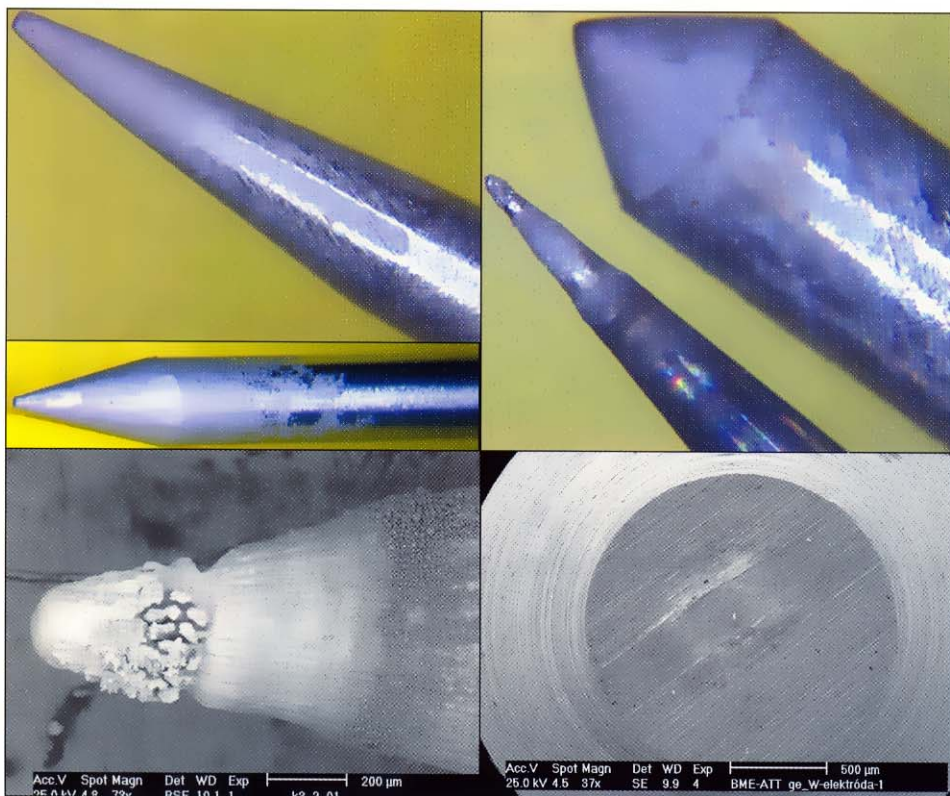
3. ábra. Mo-huzal és ausztenites acél ívpontvarratának metszete: W-elektrodás hegesztés (balra), lézersugaras hegesztés (jobbra)

tettel a sajtolóhegesztések közé tartozó számos eljárásra.

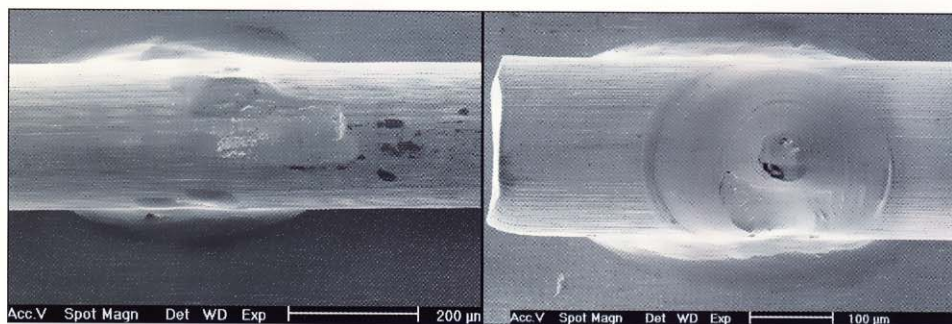
Javasolom, hogy a mikrohegesztés fogalmát terjesszük ki mindazon hegesztett kötések kialakítására, amelyek be-

illeszthetők az alábbi hegesztett kötéscsoportok valamelyikébe:

a) 1 mm-nél kisebb vastagságú lemezek kötőhegesztése 1 mm²-nél kisebb keresztmetszetű varrattal,



4. ábra. Mikrohegesztésekhez használt W-elektrodák kopási példái



5. ábra. 0,25 mm vastag W-huzal és 0,1 mm-es Mo-fólia ellenállás-mikrodudorhegesztése (balra) és lézersugaras mikroponthegesztése (jobbra)

- b) 1 mm-nél kisebb átmérőjű huzalok kötőhegesztése 1 mm²-nél kisebb keresztmetszetű varrattal,
 c) 1 mm²-nél kisebb keresztmetszetű varratok kialakítása felrakóhegesztéssel.

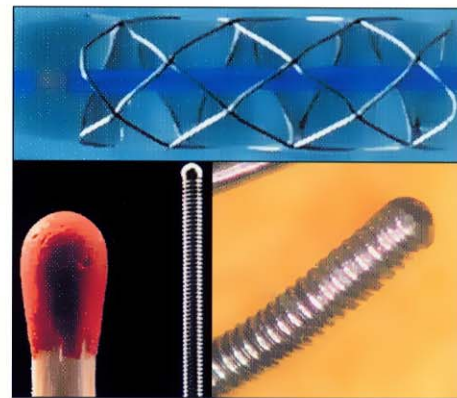
A mikrohegesztések eljárástípusai

Az előbb megfogalmazott meghatározás sajátossága az, hogy eljárásfüggetlen, s ezért megengedi (sőt inspirálja), hogy egy adott hegesztési feladatot – pl. egy huzalcsévéveléssel szűrőgyártásakor a 0,22 mm átmérőjű huzal végét az 1,0 mm falvastagságú cső palástjához kell rögzíteni – más-más hegesztés eljárással végezzünk el. A mikrohegesztések kivitelezésére nagy-

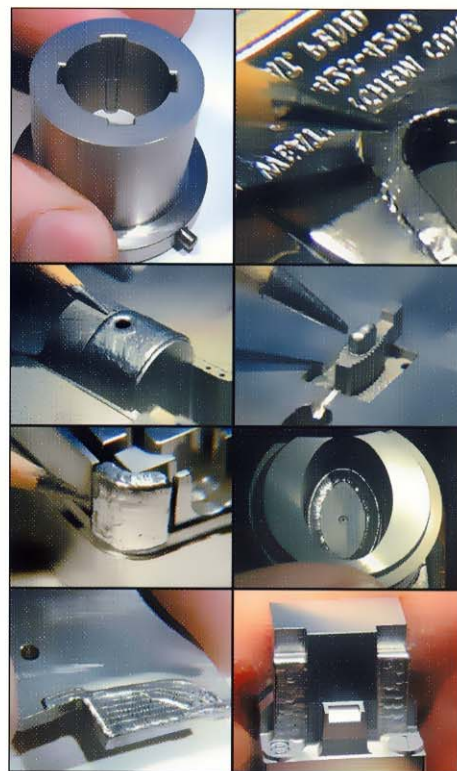
számú hegesztési eljárást alkalmazhatunk, de a leginkább a következők terjedtek el:

- ◆ ellenállás-mikroponthegesztés, mikrodudorhegesztés,
- ◆ mikroplazmahegesztés,
- ◆ védőgázos volfrámelektrodás mikrohegesztés (micro-TIG),
- ◆ lézersugaras mikrohegesztés,
- ◆ elektronsugaras mikrohegesztés,
- ◆ ultrahangos hegesztés.

A különféle eljárások az alkalmazási körüket tekintve jelentősen különböznek abban a tekintetben, hogy mennyire univerzálisak, ill. mennyire iparág-specifikusak. Az elektronsugaras mikrohegesztés és az ultrahangos hegesztés elsősorban a mikroelektronikai iparág kötéstechológiája. Az ellenállás-mikrohegesztések a legin-

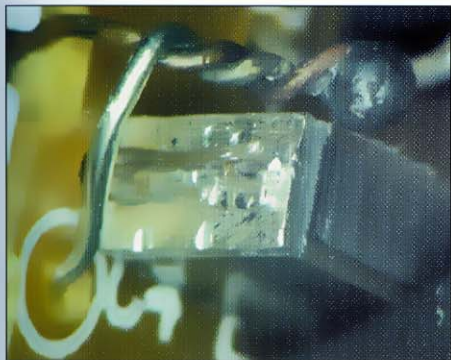


6. ábra. A 0,14 mm ausztenites acél huzalból készült Tentaur sztent (szívkoszorúér implantátum) 17 db dudorhegesztési varratot tartalmaz (fent). A koszorúerek angioplasztikájának fontos segédeszköze a „vezetődrót”, amelynek végén a W-spirált Ni-Ti ötvözetet hegesztik, illetve ragasztják (lent).

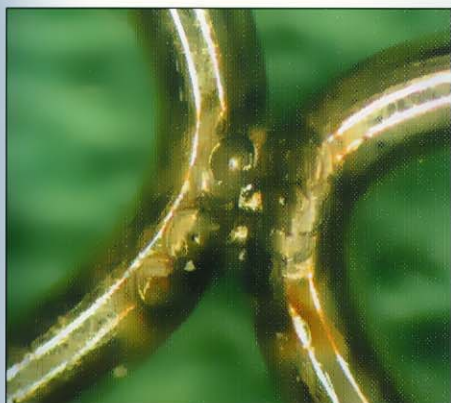


7. ábra. Precíziós fröccsöntőszerszámok lézersugaras kötő- és felrakóhegesztése

kább a fényforrásgyártásban terjedtek el, hiszen ezekben a termékekben igen nagy számú vékony huzal, lemez és fólia hegesztése szükséges. A mikroplazma és a W-elektrodás mikrohegesztés alkalmazási köre szélesebb: a már említettek mellett jelentős szerepet kapnak az orvostechnikai eszközök gyártásában. A favorit azonban kétségtelenül a lézersugaras mikrohegesztés, illetve általánosabban a mikromegmunkálás: az 1960-as évek elején még „örök ha-



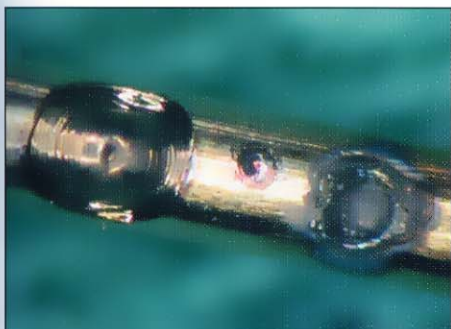
8. ábra. Kompakt fénycső vezetékének hegesztési varrata



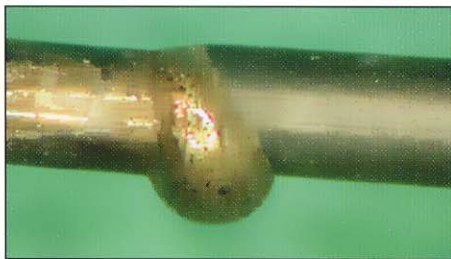
9. ábra. Nikkelhuzalok lézersugaras csomóponti varrata (sztentekhez)



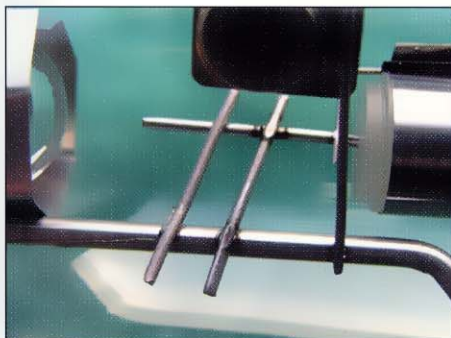
10. ábra. Nikkelhuzalok lézersugaras dudorhegesztett varrata (sztentekhez)



11. ábra. Nikkelhuzalok lézersugaras pontvarrata (sztentekhez)



12. ábra. 0,9 mm vastag dumethuzal és sárgaréz huzal tompavarrata



13. ábra. Nagyfrekvenciás kisülőlámpa dudorhegesztett varratai

szontalannak” hitt lézer az élet szinte minden területét meghódítja, s így a mikrohegesztések terén is lendületesen tör előre.

A precíziós mikroponthegesztések ipari alkalmazásainál meghatározóvá váltak az elektronikus vezérlésű áramgenerátoros egyenáramú berendezések. A villamos paraméterek mellett a hegesztési időt és az erőfeszítést is nagyon pontosan lehet szabályozni (100 ns, illetve 1 N), és a tényleges hegesztési paraméterek pontos regisztrálásával a gyártási folyamat minőségbiztosítási feltételei is javíthatók.

A mikroplazmahegesztés és a volfáramelektrodás mikrohegesztés szoros rokonságban álló eljárások, a jelentősebb berendezésgyártók kínálatában a kombinált gépek is jelen vannak, amelyekkel mindkét eljárás kivitelezhető. A mikrohegesztések pontosságát az áramforrás oldaláról a finom és pontos vezérlés biztosítja. Az áram, illetve az idő – különösen a mikroplazma eljárásnál – egészen kis értékekig (50-100 mA, illetve 5 ms és 1-10 kHz impulzusfrekvencia) leszabályozható. Ilyen finom szabályozási feltételeket lehetetlen biztosítani akkor, ha a W-elektroda csúcskialakítása nem felel meg a legszigorúbb feltételeknek. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a hegesztési folyamat zavarait az esetek döntő többségében a W-elektroda felület-előkészítési hibái, kopása, szennyeződése okozza. A mikroplazmahegesztés jóval kevésbé

érzékeny az ívhosszúság változására, és az energiasűrűsége mintegy 3-szor nagyobb.

A lézersugaras mikrohegesztések, illetve tágabb értelemben a mikromegmunkálások (vágás, felületkezelés, felszórás) robbanásszerű elterjedését az autóipar, az elektronikai ipar (különösen a mobiltávközlés) és az orvostechnikai iparág hajtotta előre. Ezekben az iparágakban jelentős mértékben bővült az olyan hegesztési feladatok köre, amelyeknél vékony lemezeket, huzalokat, fóliákat kell összehegesztetni, gyakran egymástól jelentősen eltérő minőségű anyagoknál. A lézersugaras nagy energiasűrűsége, fókuszálhatósága, a berendezések egyre olcsóbbá válása és nagyfokú automatizálhatósága szinte predesztinálta az eljárás gyors terjedését. Az 1. ábra azt illusztrálja, hogy miként fejlődött a ma már elterjedt, ún. „femtosekundumos” lézerekig a lézersugaras berendezések által előállított lézersugár legkisebb mérete, energiaeloszlása és impulzusideje.

Alkalmazási példák

A mikrohegesztésekről az eddigiekben vázolt általános megállapításokat követően olyan példák láthatók, amelyek konkrét ipari alkalmazásokhoz, illetve kutatás-fejlesztési megoldásokhoz kapcsolódnak. Az egyes példák jobb megértéséhez szükséges adatokat a képaláírások tartalmazzák.

Összegzés

A mikrohegesztések – mint a fentiekből talán kiderült – voltaképpen „csak” abban térnek el a szokásos dimenziókban végzett hegesztésektől, hogy sokkal nagyobb jelentőséget kapnak a finom részletek: a pontos beállítások, a megfogó- és mozgatóberendezések, valamint a finommechanika, a vezérlés- és mérés technika. Mivel azonban a mikrohegesztésekkel készült termékek – s így bennük a hegesztett kötések – fajlagos értéke jellemzően sokkal nagyobb, mint a nagy acélszerkezeteké (egy gázkisülő autólámpa 40-50 euróba, egy koszorúsztent 200-2000 euróba kerül), a mikrohegesztésekre irányítandó figyelem nem arányosítható, pl. a varratkeresztmetszetekkel: különösen nem a mérmökképzésben.

Dobránszky János
MTA-BME

Fémtechnológiai Kutatócsoport