

A LINEÁRIS DÖRZSHEGESZTÉS ALKALMAZÁSA ALUMÍNIUMÖTVÖZETEK HEGESZTÉSÉNÉL

THE APPLICATION OF FRICTION STIR WELDING OF ALUMINIUM ALLOYS

Meilinger Ákos*, Dr. Török Imre**

ABSTRACT

The technology of friction stir welding (FSW) was developed in 1991 by The Welding Institute (TWI) in England. It is similar to the original friction welding because it is a solid-phase welding process too and uses the friction heat as a heat source. However we mostly can join rotationally symmetrical workpieces with the original friction welding, while we can create butt joints with friction stir welding. In our days this technology is spreading rapidly especially at the welding of aluminium and its alloys.

1. BEVEZETÉS

A lineáris dörzshegesztés (FSW) technológiáját 1991-ben fejlesztette ki az angol hegesztés technológiai intézet (TWI). Rokonságot mutat az klasszikus dörzshegesztéssel, hiszen ez az eljárás is egy szilárd fázisú hegesztő eljárás, és itt is a súrlódás hője hasznosul, mint hőforrás. Viszont a klasszikus dörzshegesztés döntően forgásszimmetrikus munkadarabokat egyesít, míg a lineáris dörzshegesztés a tompán illesztett lemezek hegesztésére is alkalmas. Napjainkban ez a technológia terjedőben van, különösen az alumínium és ötvözetek hegesztésénél.

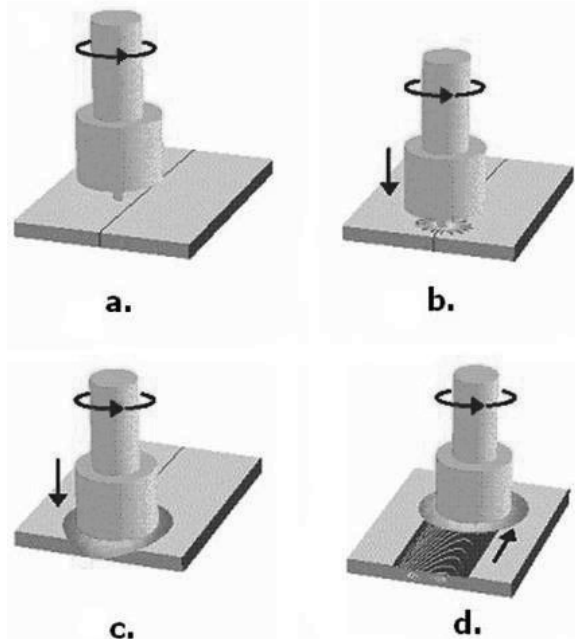
2. AZ ELJÁRÁS ELVE ÉS FOLYAMATA

Az alap elgondolás meglehetősen egyszerű: egy jó kopásállósággal, hőállósággal és speciális kialakítással rendelkező forgó szerszámot becsúsztatunk az egyesítendő anyagok illesztési vonalába, majd adott fordulatszámmal és előtolási sebességgel mozgatjuk az illesztés vonalában. A súrlódás által generált hő helyi felhevítéssel lágyítja az alapanyagot, így lehetővé teszi a szilárd fázisú hegesztést. Az eredmény egy minőségileg kifogástalan varrat, amit gyorsabban és egyszerűbben létre lehet hozni, mint ívhegesztéssel [1].

A szerszám speciálisan kialakított, 2 fő részét különböztetjük meg:

- tű (pin): ez hatol be, súrlódással hőt kelt és kavarja az alapanyagot,
- váll (shoulder): előállítja a megfelelő súrlódási hőt és kedvező feltételeket biztosít,

Az eljárás elvét az 1. ábra szemlélteti:



1. ábra. A lineáris dörzshegesztés elve
- a. az alapanyag rögzítése, a berendezés indítása,
 - b. a szerszám besúlylyesztése az illesztési vonalba,
 - c. az anyag helyi felhevítése,
 - d. az előtoló mozgás végzése.

A hegesztés három paramétere:

- fordulatszám (n , 1/min),
- előtolási sebesség (v_b , mm/min),
- szerszám pozíciója.

A felsorolt paraméterek kisebb változtatása is érzékenyen hat a varrat minőségére, így szükséges a pontos technológia kidolgozása.

* mérnöktanár, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

3. AZ ELJÁRÁS ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI

Az eljárás rendelkezik mindazon előnyökkel, amelyek a szilárd fázisú eljárásokra jellemzőek, ugyanakkor az alapanyag méretbeli és geometriai jellemzői kevésbé korlátozottak. A legfontosabb előnyök a következők [2]:

- viszonylag egyszerű hegesztő berendezés,
- jóval nagyobb hegesztési sebesség, mint az ömlesztő hegesztő eljárásoknál,
- nincs szükség hozaganyagra,
- külön hegfürdő védelmet nem igényel,
- nem szükséges élélőkészítés,
- gépesíthető, automatizálható,
- nincs szükség képzett hegesztőre,
- minden hegesztési pozícióban használható,
- olyan anyagok is egyesíthetők, amelyek ömlesztő hegesztéssel nem,
- nagy szilárdságú és jó minőségű a kötés,
- nincs porozitás, kevés a varrathiba,
- jó reprodukálhatóság,
- különböző anyagminőségek is hegeszthetők,
- kisebb hőbevitel, kisebb hőhatásövezet, mint ömlesztő hegesztésnél,
- kisebb maradó feszültség,
- nincs füst és gázképződés.

Az előnyök mellett természetesen vannak hátrányai is a lineáris dörzshegesztésnek:

- teljes szelvény méretben végzett hegesztés esetén alátétlemez szükséges,
- a hegesztés kezdeténél és befejezésénél nem megfelelő az összeolvadás, ezért kezdő- és kifutó lemezek használata javasolt,
- a berendezés helyhez kötött,
- a munkadarab megfogása szükséges a hegesztéskor fellépő jelentős erőhatások miatt.

4. AZ ALKALMAZÁS TERÜLETEI

A hegeszthető anyagok tekintetében a kezdeti időszakban csak az alacsony olvadáspontú anyagok hegesztésére alkalmazták, de mára egyre bővült a hegeszthető anyagok palettája. A teljesség igénye nélkül az alábbi anyagok jól hegeszthetőek az eljárással [2]:

- alumínium és ötvözetek,
- réz és ötvözetek,
- nikkel és ötvözetek,
- magnézium és ötvözetek,
- titán és ötvözetek,
- korrózió- és saválló acélok,
- ötvöztelen szerkezeti acélok,
- fémhabok,
- különböző fémmátrixú kompozitok.

Mivel egy szilárd fázisú hegesztő eljárásról van szó, így nem meglepő, hogy használható vegyes kötések készítéséhez is, például alumínium-réz, alumínium-

magnézium, vagy korrózióálló acél-szénacél vegyes kötéséhez is. Az iparban leginkább alumínium-ötvözetek hegesztéséhez terjedt el.

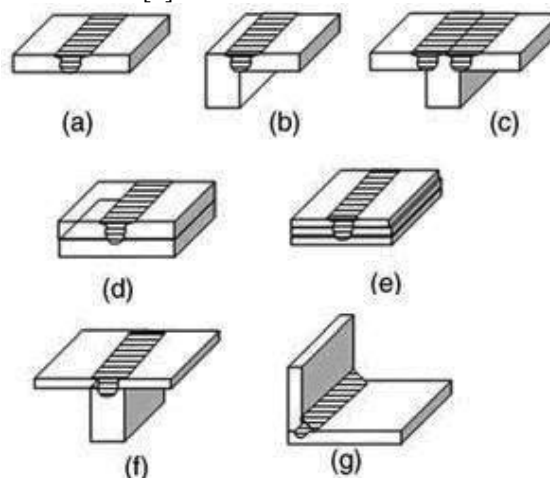
Az eljárás alkalmazhatóságának falvastagság tartománya a hegesztendő anyag minőségétől függ. Az 1. táblázat szemlélteti a gazdaságosan hegeszthető falvastagságokat anyagminőségek szerint [3]:

Alapanyag	Falvastagság (mm)
Alumínium és ötvözetek	3...50 mm (1 oldalról), 75 mm (2 oldalról)
Réz és ötvözetek	3...50 mm
Nikkel és ötvözetek	3...12 mm
Magnézium és ötvözetek	3...12 mm
Titán és ötvözetek	3...12 mm
Korrózióálló acél	3...12 mm
Ötvöztelen szerkezeti acél	3...12 mm

1. táblázat. Gazdaságosan hegeszthető falvastagságok

Az eljárást egyre szélesebb körben alkalmazzák az alábbi területeken: hajógyártás, repülőgép ipar, vasúti szerelvénygyártás, autóipar, építőipar.

A lineáris dörzshegesztéssel számos varratalak típus készíthető, attól függően, hogy milyen igénybevételnek van kitéve a varrat. A 2. ábra az elterjedt varrat típusokat szemlélteti [4]:



2. ábra. Az eljárásnál leggyakrabban használatos varrat- és kötéstípusok

5. A HEGESZTÉS SZERSZÁMA

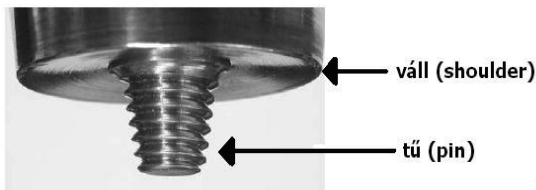
A lineáris dörzshegesztés sikerét leginkább az alkalmazott szerszám befolyásolja. A hegesztés során a szerszám, az anyag teljes falvastagságán áthatol és egy forgó, illetve egy hosszanti mozgást végez. Ebből adódóan meglehetősen nagy erőhatások érik. Másrészről a forgó mozgás következtében súrlódási hő keletkezik, ami elérheti akár az 1100 °C-ot is a hegesztendő anyagminőségétől függően. Emellett a súrlódás követ-

keztében nagy koptató igénybevételnek van kitéve a szerszám. Tehát a szerszám főbb igénybevételei a következők:

- dinamikus erőhatások,
- nagy hőterhelés,
- nagy koptató igénybevétel.

A megfelelő szerszám tehát szívós, melegszilárd és jó kopásállósággal rendelkezik. Természetesen minden attól függ, hogy milyen anyagot hegesztünk vele, például alumíniumötvözeteknél alacsonyabb, míg korrózióálló acél esetén már a nagyobb igénybevételű szerszám használata a javasolt.

A szerszám másik fontos tulajdonsága az anyagán kívül, a kialakítása [6]. Két lényeges része van a szerszámnak: a váll (shoulder) és a tű (pin). Mindkét rész kialakítása alapvetően befolyásolja az anyagáramot. A 3. ábra egy egyszerű kialakítású szerszámot mutat be:



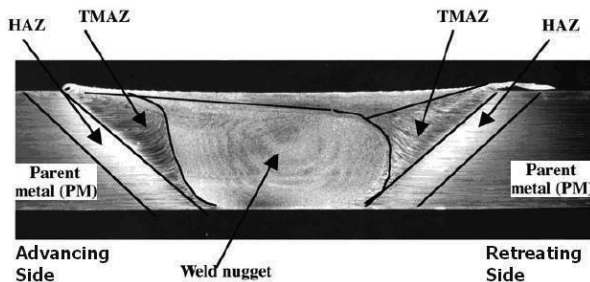
3. ábra. A szerszám 2 fő része

6. A KÖTÉS FELÉPÍTÉSE

A lineáris dörzshegesztéssel készült kötés felépítése alapvetően különbözik a villamos ívvel készült kötésétől. Több övezet különböztethető meg, az alapanyagtól a varrat felé haladva [5]:

- alapanyag (Parent metal, PM),
- hőhatásövezet (Heat affected zone, HAZ),
- termomechanikus hatásnak kitett övezet (Thermomechanically affected zone, TMAZ),
- varrat (Weld nugget, WN).

Ezen övezetek elhelyezkedését a 4. ábra szemlélteti:



4. ábra. A hegesztett kötés részei [5]

Az ábrán látható, hogy a szerszám forgásirányának megfelelően van egy „előre (advancing)” oldala és van egy „hátra (retreating)” oldala a kötésnek. A varrat szövetszerkezete finomszemcsés, feltéve, ha jól beállított paraméterekkel dolgozunk. A TMAZ részek általában durvaszemcsések, így mechanikai tulajdonságokban

elmaradnak a varrattól. Az ívhegesztéssel készült varratokhoz hasonlóan a kötés leggyengébb része a hőhatásövezet, azon belül is a „hátra” oldalon lévőben a legrosszabbak a mechanikai tulajdonságok. Mindemellett megjegyezhető, hogy így is hasonló mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik a kötés, mint az alapanyag.

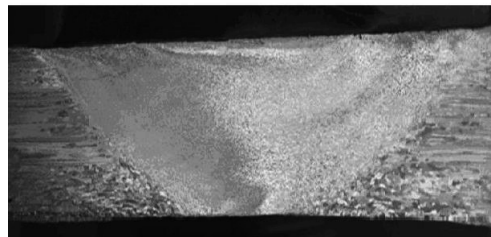
7. KÍSÉRLETI HEGESZTÉSEK

A Tanszékén kísérleti hegesztéseket folytatunk a lineáris dörzshegesztés jellemzőinek meghatározására 6 mm falvastagságú, 99,5 tisztaságú alumínium lemezen. A jelenleg is folyó kutatás célja a hegesztési paraméterek összehangolása a kiváló minőségű kötés elérése érdekében. A paraméterek kismértékű eltérése is nagyban befolyásolja a hegesztés sikerességét. Ebből a megfontolásból a kísérleteket különböző fordulatszámmal, előtolási sebességgel és szerszám dőlésszöggel végeztük. Az elkészült varratokon makroszkópos vizsgálatokat végeztünk, amelyből az összeolvadást, illetve a szemcsedurvulást tudtuk elemezni, vizsgálni.

Néhány, a kísérletek során nyert tapasztalatokról az alábbiakat mutatjuk be. Az 5. ábra a.) részén összeolvadási hiba látható, a kötés egyes részei nem olvadtak össze, a kis fordulatszámmal túlságosan kevés a hőbevitel. A nagy fordulatszám és a kis hegesztési sebesség viszont túl nagy hőbevitelt eredményez, így a gyökoldalán szemcsedurvulás látható az 5. ábra b.) részén:



a.



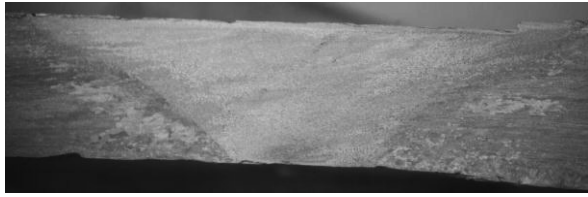
b.

5. ábra. A hegesztési paraméterek megváltoztatásának hatása:

- a. $n = 500 \text{ ford/min}$, $v_h = 125 \text{ mm/min}$,
- b. $n = 800 \text{ ford/min}$, $v_h = 63 \text{ mm/min}$.

További paraméter változtatási lehetőség a szerszám dőlésszöge. A 6. ábrán egy olyan varrat csiszolata látha-

tó, amelyik hegesztésénél 1° -os szerszám dőlésszöveget állítottunk be:



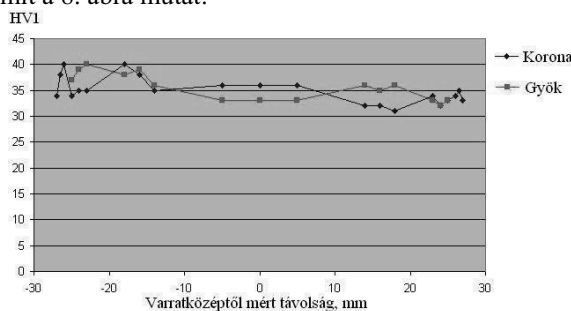
6. ábra. A szerszám dőlésszög hatása
($n = 1000 \text{ ford/min}$, $v_h = 250 \text{ mm/min}$, $\varphi = 1^\circ$)

A varrat gyökoldalán szemcsedurvulást láthatunk, amely abból adódik, hogy az 1° -os szerszám dőlésszög nagy sajtolóerőt eredményez, így nagyobb lesz a hőbevitel is. Emellett megfigyelhető, hogy a varrat szélessége jóval nagyobb, mint az előzőeké, ami szintén ennek köszönhető. Jól szemlélteti a dőlésszög fontosságát az, hogy ha nem döntjük meg a szerszámot, akkor a többi paraméter mellett nagyon jó minőségű varratot tudunk létrehozni. Ezt mutatja a 7. ábra:



7. ábra. Jó minőségű varrat
($n = 1000 \text{ ford/min}$, $v_h = 250 \text{ mm/min}$, $\varphi = 0^\circ$)

Ez utóbbi kötésből kimunkált próbatesteken szakítóvizsgálatot, hajlítóvizsgálatot és keménységmérést is végeztünk. Az alapanyag szakítószilárdsága 90 MPa, míg a hegesztett kötés szakítószilárdsága 87 MPa-ra adódott három-három próbatestnél. A hajlítóvizsgálat is pozitív eredményt adott, mind a három próbatest megfelelt. A keménységmérés szintén jó eredménnyel zárult, amit a 8. ábra mutat:



8. ábra. A keménységértékek változása a varrat keresztmetszete mentén

A keménységvizsgálatból is látszik, hogy a mért keménységértékek nagyon kis intervallumban mozognak, ívhegesztéssel jóval nagyobb eltérések figyelhetők meg.

ÖSSZEFOGLALÁS

A lineáris dörzshegesztés egy új és szokatlan hegesztő eljárás, mely egyre jobban elterjedőben van az ipar különböző területein. Jelen állapot szerint, igazán gazdaságosan az alumínium és ötvözetei illetve réz és ötvözetei hegesztésénél használható, bár a jelenlegi kutatások nagyon biztatóak az acélok területén is. A ritkábban előforduló, drága anyagok (Pl. titán, magnézium) hegesztésénél nagyobb biztonsággal használható, mint az ívhegesztések. Az utolsó pontban ismertetett kutatás arra mutat rá, hogy a technológiai paraméterek pontos beállításával jó minőségű varratot lehet létrehozni.

SUMMARY

The friction stir welding is a new and unusual welding process, which is spreading more and more in different fields of industry. It economically usable for welding of aluminium and its alloys, copper and its alloys, although current researches are very promising for steel as well. It can be used safely of welding of special and expensive materials (e. g. titanium, magnesium) than arc welding. In the last section the research points out high quality welds can be made by the correct selection of technological parameters.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

IRODALOM

- [1] J. H. Record: A Look at the Statistical Identification of Critical Process Parameters in Friction Stir Welding, *Welding Journal*, 2007. p.: 97-98.
- [2] Roy Woodward: Friction Stir Welding, TALAT Lecture 4410, 1999. p.: 7-12.
- [3] Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney: Friction stir welding and processing, 2007.p.: 8-11.
- [4] www.fswelding.com/Application of friction stir welding in aircraft structures
- [5] Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney: Friction stir welding and processing, 2007. p.: 40-43.
- [6] W. M. Thomas: Friction Stir Welding Developments, *Hegesztéstechnika*, 2003/3, p.: 5-8.