



Az ultrahangos hegesztés hatása az Al-Al varrat mechanikai tulajdonságaira

Mechanical properties of the ultrasonic welding effected Al-Al joint

¹Schramkó Márton, ²Dr. Kovács Tünde

¹Óbudai egyetem, Budapest, Magyarország, marcischramko@gmail.com

²Óbudai egyetem, Budapest, Magyarország, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A kutatásunkban az ultrahangos hegesztés paramétereinek optimalására törekedtünk. Kísérleteink során felismertük, hogy a paraméterek eltérő hatással vannak a hegesztés eredményeként létrejött varrat mechanikai tulajdonságaira. Igyekeztünk a szakirodalmi eredményeket alapul véve összefüggéseket találni a technológiai és fémtani viselkedés között. Az eredményeinkből kimutatható az ultrahang és a hegesztési idő paraméter hatása a hegesztett kötés és a hőhatásövezet keménységére. Kísérleteink eredményeként arra a megállapításra jutottunk, hogy az idő valamint a teljesítmény paraméterek a legmeghatározóbbak.

Kulcsszavak: ultrahangos hegesztés, keménység, diszlokáció, hőhatásövezet

Abstract

In our research, we aimed to optimize the ultrasonic welding parameters. We detected that mechanical properties of the welded joint depend on the welding parameters. On the base of the literature results we wanted to find a relationship between the technology and the metallurgical behaviour. On the base of the hardness results, we found that the ultrasound and the welding time effect demonstrable. It was concluded that in the case of the ultrasonic welding the most important parameters are the welding time and power.

Keywords: ultrasonic welding, hardness, dislocation, heat affected zone

1 Bevezetés

Az iparban széleskörben elterjedt az alumínium és különböző ötvözetek alkalmazása, a különböző alkatrészek esetében. Sok elektromos burkoló és árnyékoló doboz (Faraday kalitka) készül alumíniumból, rézből vagy a kettőből egyszerre, amennyiben az elvárt vezetőképesség szilárdság vagy rugalmasság indokolja. Az alkalmazott alkatrészek vékony lemezekből készülnek, és számos esetben nem oldható kötést kell létesíteni, saját vagy más alkatrészekkel is, melyekre a szokványos hegesztési, forrasztási vagy ragasztási technológiák nem alkalmazhatóak a nagy hőhatás vagy a kötés nem megfelelő fémes vezetőképessége miatt.

A fent említett ipari elvárások kapcsán merült fel bennünk, hogy az ultrahangos hegesztés lehet az egyik megoldási lehetősége az alumínium és más fémeket egyesítő technológiáknak és ez irányban kezdtünk el kutatni. Egy optimalizálási folyamatot folytattunk Al-Cu darabok között

miközben érdekes tapasztalatokkal gazdagodtunk. A kísérletek során tapasztaltuk, hogy az ultrahangos hegesztés hatására az alapanyag, a hőhatás övezet és a varrat mechanikai tulajdonságai az eddig megismert ömlesztő és sajtoló hegesztési eljárásoktól eltérően változtak a hegesztés hatására. Az irodalomkutatás során, több kutatási eredményt találtunk az ultrahang hatására létrejövő diszlokáció sűrűség változásáról, valamint ennek következtében létrejövő keményedési és lágyulási jelenségekről [1, 2]. Az ultrahangos hegesztés során több hatás éri együttesen a varratot és a hőhatás övezetet valamint az alapanyagot is. A hegesztés során az ultrahang hatása tehát nem önmagában érvényesül, hanem a többi hatással (súrlódási hő, összenyomó erő okozta képlékeny alakváltozás) együttesen.

Az alapkutatási elképzelések alapját a fémek anyagok ultrahangos hatásra létrejövő keményedési és lágyulási jelenségek vetették fel, melyeket több kutató is vizsgált már, ilyenről olvashatunk Blaha és Langernecker „The softening and the hardening of metals under ultrasound load”-ban vagy A. Rusinko „Studies of the plasticity and creep of metals” művében [3, 4]. Ezen kutatások számos információval szolgálnak az ultrahangos hatás kristályszerkezetre gyakorolt hatásairól. Az ultrahangos hegesztés pontos hatásai ismertetéséhez és megértéséhez a mikroszerkezeti tulajdonságok kapcsán rengeteg tényezőt kell ismernünk és nyomon követnünk [2]. A szilárdsági tulajdonságokat nagyban befolyásolja a darabok diszlokáció és szennyezőanyag tartalma [5] és ezek kölcsönhatása egymásra, melyeket különböző módszerekkel vizsgálhatunk.

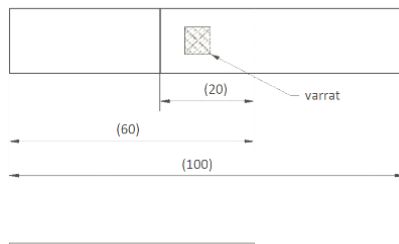
Fontos jól ismerni az újrakristályosodási jelenséget és az azt kiváltó hatásokat. Míg a hideg és meleg megmunkálás esetében az újrakristályosodás létrejött a színtémek esetében a hideg megmunkálás sebességétől, mértékétől az előzetes valamint az alakítást követő hőkezelés hőmérsékletétől és időtartamától függ [6, 7]. Ez az átkristályosodási jelenség a fémekben hőt fejleszt mely a darab szemcseméret változásához és sok esetben lágyuláshoz vezet. Az ultrahangos hegesztés során a súrlódás és az ultrahang energia hatására a két anyag közötti kapcsolódó felület hőmérséklete nagymértékben megemelkedik. A keletkező hőmérséklet és a maradék alakváltozás hatására a kötésben átkristályosodást, valamint keménység és szilárdság csökkenést eredményez [8]. Az alakváltozás, az ultrahangos rezgések és a magas hőmérséklet hatással van a diszlokációk mozgására és sűrűségére is. Az akusztikus alakváltozó képesség (acoustoplasticity) azt adja meg, hogy nagy frekvenciájú ultrahangos rezgés alatt hogyan változik az anyag alakváltozó képessége. Az ultrahangos rezgések fokozzák az anyag alakíthatóságát, energiáját és rugalmasságát.

2 Hegesztési eljárás és alkalmazott alapanyag

A hegesztési folyamatot egy BRANSON gyártmányú géppel végeztük (1. ábra). Ez egy Ultraweld L20 típusú Ultrahangos hegesztő gép. A gép üzemi frekvenciája 20 KHz, a darabok egymáshoz szorításához használt üzemi nyomás pedig 10-80 PSI, a gép maximális teljesítménye, amit károsodás nélkül elvisel 4 kW. Az ultrahangos hegesztési eljárás egy hidegsajtoló eljárás mely során a két darab összeheged, ezért a hegesztési eljárások közé soroljuk. A folyamat egy a kereskedelembe kapható 99,5% tisztaságú, lágyított 0,75 mm vastag DIN EN 573 Al szalagot használtunk melynek lágyítását 580 °C-on 6 órán keresztül végeztük majd a kemencéből kivéve a levegőn hagytuk lehűlni. A hegesztés idő-hőmérséklet diagramját a 2. ábra szemlélteti. A hegesztési folyamat során hőmérséklet növekedés léphet fel (200-800 °C) az alkalmazott paraméterektől és fém kémiai összetételeitől és hőtani tulajdonságaitól (pl. hővezető képesség, hőátadási tényező, olvadási hőmérséklet, stb.) függően.



1. ábra - Az alkalmazott ultrahangos hegesztő berendezés



2. ábra - A hegesztett kötés kialakítása

3 A kísérleti eredmények

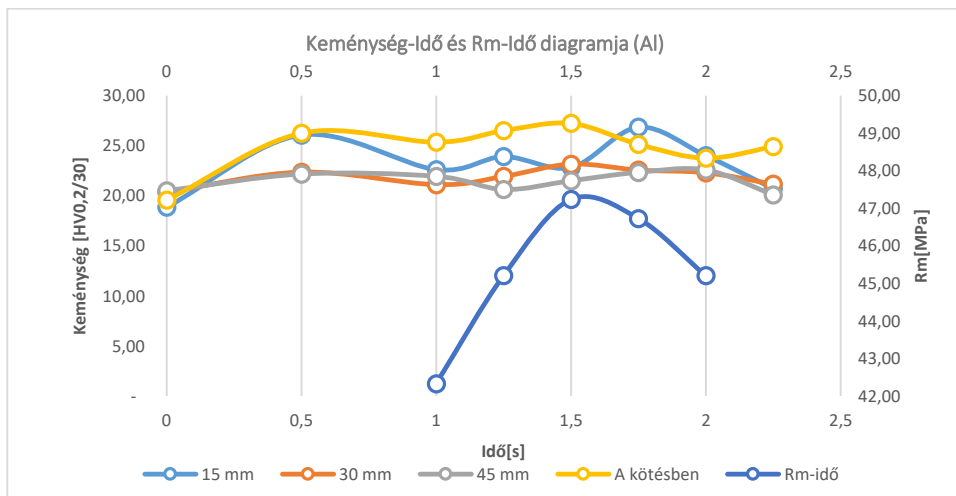
A kísérletek során először meghatároztunk egy közel optimális paraméter együttest Alumínium esetében, melyek az amplitúdó (A), idő (t), teljesítmény (P) és a hegesztés során használt terhelő erő (WP). Az amplitúdót 37 μm , az időt 1,5 s, terhelő erőt 40 PSI (0,275 MPa), illetve a teljesítményt 1150-1250 W közötti tartományban határoztuk meg. Ezen paraméterek meghatározása közben végeztünk több kísérletet tiszta réz (99,5%), 0,5 mm vastagságú lemezek ultrahangos hegesztésére. Ezen lemezekről szövetszerkezeti képet készítettünk, melyek állandó teljesítmény és terhelő erő illetve változó idő és amplitúdó paraméterekkel készültek. (P:1150 W; WP: 40PSI)



3. ábra - Cu-Cu kötés szövetszerkezete az idő és amplitúdó függvényében

A különböző paraméterekkel hegesztett kötésekről makró felvételeket készítettünk és keménységet mértünk (3. ábra). A keménység a varratban az alkalmazott paraméterek függvényében eltérést mutat. Megfigyelhető az alapanyag kiinduló keménységéhez viszonyítva a varrat keménység növekedése.

A rézlemezek hegesztése és kötéseinek keménység vizsgálati eredményei alapján elvégeztük Al-Al lemezek ultrahangos hegesztését különböző hegesztési idő mellett, majd a kötések keménység valamint szakító vizsgálatát. Az eredményeket a 3. ábrán foglaltuk össze. A keménység a hegesztési idő függvényében változik. A 4. ábrán a keménység mellett a hegesztett darabokon mért szakítószilárdságot is feltüntettük. A keménység és a szakítószilárdság között kapcsolat fedezhető fel, a szakadás ugyanis próbatesteken a keményedési helyeken következett be.

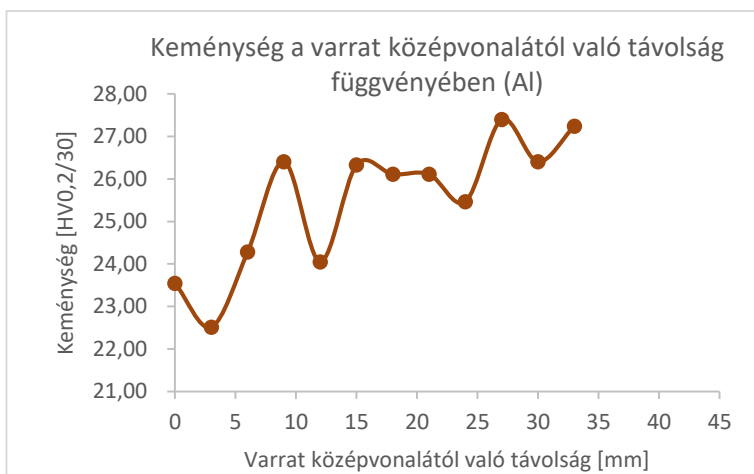


4. ábra - Keménység és szakító szilárdság a hegesztési idő függvényében

A kísérleti úton optimált paraméter beállításokkal több hegesztési kísérletet végeztünk, majd a kötések és a hőhatásövezet keménységét mértük, a paramétereket az 1. táblázat mutatja. A darabon végzett mérési eredményeket, a keménységtérképet az 5. ábra mutatja. A keménység a varrattól való távolság függvényében ingadozást mutat.

1. táblázat - Az Al-Al kötés hegesztési paraméterei, ahol TP előfeszítő nyomás, WP hegesztési nyomás, A amplitúdó, t hegesztési idő, P teljesítmény, Ws hegesztési energia

Paraméter	Beállított érték
TP	40 Psi
WP	40 Psi
A	37 μ m
t	1,5 s
P	3500 W
Ws	1067 J



5. ábra - A keménység a varrat középvonalától való távolság függvényében

4 Konklúzió

Az eredményeink alapján elmondhatjuk, hogy a technológia igen érzékeny a beállított paraméterekre. A kutatások során meghatároztunk egy adott paraméter-együttest, mely optimálisnak tekinthető mechanikai tulajdonságokat eredményez a kötésben és a hőhatás övezetben 99,5 % tisztaságú, 0,75 mm vastag Al-Al lemezek hegesztése során. Az optimált értékek: Amplitudó 37 μm , idő 1,5 s, hegesztési nyomás 40 Psi, valamint a teljesítmény 1150-1250 W között.

Továbbá meghatároztuk az idő paraméter fontosságát, illetve az ultrahang, deformáció valamint a hegesztési hő hatására bekövetkezett diszlokációmozgás és ezzel együttesen mérhető keménység ingadozást is. Az eredmények alapján elmondható hogy ideális kötés esetén, ha minden paraméter közel optimálisan van beállítva, a kötésben lágyulás következik be, a darabban pedig ehhez képest keményedés, ugyanakkor elmondható, hogy az egész darab egy keményedési folyamatot szenved el.

Mivel az ultrahangos hegesztés során komplex hatások együttesen érvényesülnek, még rengeteg kutatást kell végezni, hogy a paraméterek prioritását fel lehessen állítani. Véleményünk szerint, egy összefoglaló adatbázist kell készíteni, mely feltérképezi az összes paraméter beállítása során bekövetkező változásokat és ezek eredményeit. Ezzel együtt egy összefoglaló technológiai ajánlást adhatna az ipari alkalmazásokhoz.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton kívánnak köszönetet mondani munkánkhoz nyújtott anyagi támogatásért az EFOP-3.6.1-16-2016-00010 számú projekt keretében a Magyar Államnak és az Európai Uniónak.

The authors acknowledge the financial support of this work by the Hungarian State and the European Union under the EFOP-3.6.1-16-2016-00010 project.

5 Hivatkozások

- [1] F. Blaha, B. Langenecker: Dehnung von Zink-Kristallen unter Ultraschalleinwirkung. Naturwissenschaften, 42, 556. (1955)
- [2] Tisza Miklós. Kandidátusi értekezés (2017) Az ultrahangos hatás képlékeny alakváltozás

hatása a mechanikus és a mely húzás technológiai paramétereire (1), 20-29.

- [3] M. Tanibayasah IT: Theory of the Blaha Effect Phys. stat. sol. (a) 128, 83 (1991)
- [4] A. Rusynko: Mathematical description of ultrasonic softening of metals within the framework of the synthetic theory of plasticity, *Materials Science, Vol. 37, No. 4, 2001*
- [5] A. Rusynko, K. Rusynko: Plasticity and Creep of Metals, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011.
- [6] Y. Kohzuki, T. Ohgaku: I⁻ Ions as Obstacles to Dislocation Motion in NaCl:I⁻ Single Crystals, *Journal of Materials Science and Chemical Engineering, Vol.4 No.4, 2016.*
- [7] Nguyen Q. Chinh and Zsolt Kovács: Unique microstructural and mechanical properties of Al-Zn alloys processed by high-pressure torsion 2019 *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* **613** 012028
- [8] Jiri Buršík et al: Local mechanical properties of advanced skutterudites processed by various routes 2019 *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* **613** 012036
- [9] Jingwei Yang et al: The Effect of Welding Energy on the Microstructural and Mechanical Properties of Ultrasonic-Welded Copper Joints, *Materials* **2017**, 10, 193;
- [10] S A Aziz, M Lucas: Characterising the acoustoplastic effect in an ultrasonically assisted metal forming process, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* **42** (2012)
- [11] J.G. Kaufman: Properties of Aluminum Alloys: Tensile, Creep, and Fatigue Data at High and Low Temperatures, ASM International (1999)
- [12] Q. Mao et al: Investigating Ultrasound-Induced Acoustic Softening of Aluminum 6061, *Proceedings of the ASME* 2014
- [13] K.W. Siu, A.H.W. Ngan: Understanding Acoustoplasticity through Dislocation Dynamics Simulations,