

Mangánnal mikroötvözött ólommentes forrasztóvetetek fejlesztése az elektronikai ipar számára

Szurdán Szabolcs¹⁾, Medgyes Bálint²⁾, Mende Tamás³⁾

¹⁾ Metalloglobus Fémöntő és Kereskedelmi Kft., 1108 Budapest, Sírkert út 2-4.

²⁾ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikai Technológia Tanszék, 1111 Budapest, Egry József u. 18.

³⁾ Miskolci Egyetem

Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros, B. épület
E-mail: szurdan@mtgfemonto.hu

Tartalmi kivonat. Munkánk során mangánnal mikroötvözött alacsony ezüsttartalmú forrasztóveteket gyártottunk, (SAC0307Mn0,1, SAC0307Mn0,4, SAC0307Mn0,7) majd megbízhatósági vizsgálatokat végeztünk azokon. A tesztek során az elektronikai iparban elterjedten alkalmazott SnAg3Cu0.5 (SAC305) forrasztóvetetet választottuk referenciának. Első lépésként kikísérleteztük a gyártáshoz szükséges ötvözési paramétereket, majd az új forrasztóvetetek kristályosodási hőmérsékleteit határoztuk meg. Az ötvözeteken különböző mechanikai anyagvizsgálatokat végeztünk el; keménységmérés, szakítószilárdság és nyíróerő vizsgálatok. Az eredmények azt mutatták, hogy bizonyos mechanikai tulajdonságokon javíthat a SAC ötvözetekhez adott Mn mikroötvöző.

Kulcsszavak: forrasztóvetet; ólommentes; mangán; mikroötvöző; elektronika

1. BEVEZETÉS

A XXI. században a cél a minél kisebb méretű és tömegű elektronikai eszközök gyártása fokozódó jelterjedési sebesség és alacsonyabb ár elérése mellett. Az elektronikai eszközök többségét forrasztási technológiával állítják elő, ezért a forrasztáshoz használt ötvözetek fejlesztése is célja a gyártóknak. A forrasztóötvözetekkel szemben különböző követelményeket támasztanak a teljesség igénye nélkül: megfelelő elektromos vezetőképesség, mechanikai megbízhatóság, alacsony olvadáspont és költséghatékonyság. Korábban az ólom tartalmú forrasztók jó mechanikai és forrasztási tulajdonságokkal rendelkeztek, ezek használatát azonban az Európai Unió RoHS és a WEEE direktíváinak bevezetése után korlátozták és a forrasztó anyagok gyártóinak és felhasználóinak át kellett állniuk az ólommentes ötvözetekre. Ezen ötvözetek még napjainkban is fejlesztés alatt állnak [1–3].

Az ólommentes forrasztóvetetek alkalmazása során problémaként lépett fel például a magasabb olvadáspont, a rosszabb nedvesítési tulajdonság, valamint a relatív magas piaci ár. Továbbá a forrasztási vizsgálatok során különböző forrasztási hibák alakultak ki. A legáltalánosabban használt ólommentes ötvözetek közül az ón – ezüst – réz, az

úgynevezett SAC háromalkotós fémötvözetek típusai terjedtek el. A nagyon magas piaci ár miatt a fejlesztések egyik ága az ezüst tartalom csökkentésére irányul, amit az úgynevezett mikroötvözők hozzáadásával helyettesítenek. A cél olyan mikroötvözött, alacsony ezüst tartalmú forrasztóanyag kifejlesztése, amelynek a tulajdonságai hasonlóak, esetleg jobbak a magas ezüst tartalmú ötvözetekhez képest. Forrasztóvetetek esetében az egyik fő cél, hogy a kristályosodás befejező hőmérsékletét csökkentsük, ami által kiszélesedik a forrasztás technológiai ablaka [4]. Munkánk során eltérő Mn tartalmú SAC ötvözeteket gyártottunk, majd különböző megbízhatósági vizsgálatokat végeztünk el, mely során a SAC305-ös típus volt a referencia.

2. ÖTVÖZETEK ELŐÁLLÍTÁSA

Az ötvözeteket egy 300 kg-os grafit üstben állítottuk elő, ahol első lépésként az alacsony ezüsttartalmú SAC0307 előötvözetet készítettük el. Ezek után következett a mangán, mint mikroötvöző adagolása. Az ötvözők bevitelének nehézsége miatt az ötvözést egy grafit haranggal végeztük, amely segítségével az ötvöző fémeket az olvadék aljára helyeztük, ahol 800°C-on 3 órán át tartott az ötvözés. Ez idő alatt az előötvözet olvadáspontjánál magasabb olvadáspontú fém a mangán feloldódása

megtörtént, majd egy grafit keverő segítségével homogenizáltuk az ötvözeteket, melyek kémiai elemösszetételét az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Forraszötövözetek elemösszetétele (tömeg%)

Ötvözet	Ón	Ezüst	Réz	Mangán
SAC0307Mn0,1	R	0,35	0,77	0,08
SAC0307Mn0,4	R	0,36	0,8	0,49
SAC0307Mn0,7	R	0,4	0,82	0,69
SAC305	R	3,05	0,52	–

3. MEGBÍZHATÓSÁGI VIZSGÁLATOK

3.1. A lehülési görbe meghatározása

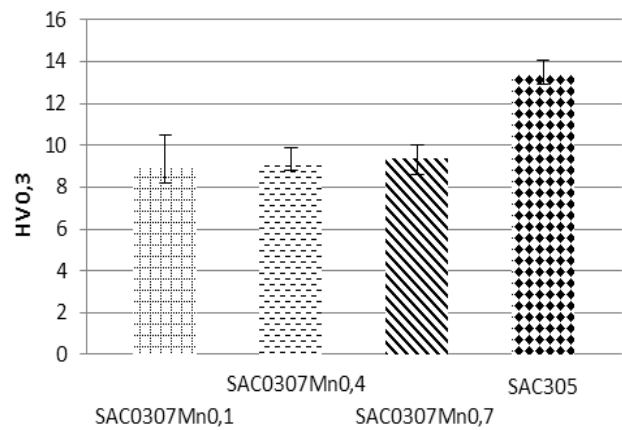
Annak érdekében, hogy megállapítsuk az ötvözetek kristályosodásának kezdő és befejező hőmérsékletét, az ötvözetek 400 °C-on történő megömlesztése után, az olvadékot 250 °C-ra előmelegített acél kokillába öntöttük, és az olvadék hőmérsékleti adatait a lehülés során számítógépes adatrögzítővel gyűjtöttük. A lehülési görbék kiértékelése után megállapítottuk, hogy a kristályosodás kezdő, valamint befejező hőmérséklete ilyen mértékű mangán tartalmú ötvöztől nem függ jelentősen.

4. MECHANIKAI VIZSGÁLATOK

Az előállított ötvözetek megbízhatósági vizsgálatait különböző mechanikai tesztek elvégzésével kezdtük. A vizsgálatokat a keménységméréssel kezdtük, amely során egy Instron Wilson Tukon 2100 B gyártmányú vickers keménységmérő berendezést alkalmaztunk 0,3 kg terhelőerővel és 10 másodperces terhelési idővel. A mintáinkon darabonként 5 mérést végeztünk el, majd ezeket az adatokat egy táblázatban összefoglaltuk és az 1. ábrán mutatjuk be.

4.1. Keménységmérés

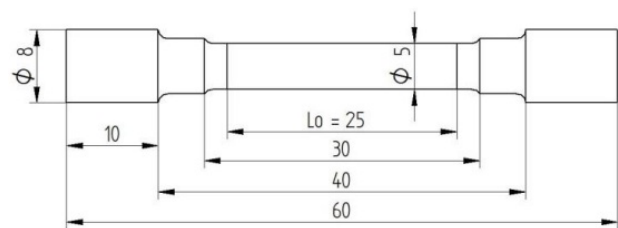
Az 1. ábrán megfigyelhető, hogy a keménységi értékek a mangán ötvöztől hatására nem növekednek számottevően. Az 1. ábrán látható, hogy az iparban leggyakrabban alkalmazott SAC305 ötvözet keménységi értékéhez képest a 0,7% mangán tartalmú ötvözet körülbelül 30%-kal marad el. Mivel a SAC305-ös ötvözet keménységét a viszonylag magas 3% ezüst tartalom adja. Megfigyelhető a mérési adatok alapján, hogy a mangán ilyen mértékű ötvözése nem növeli jelentősen a keménységet.



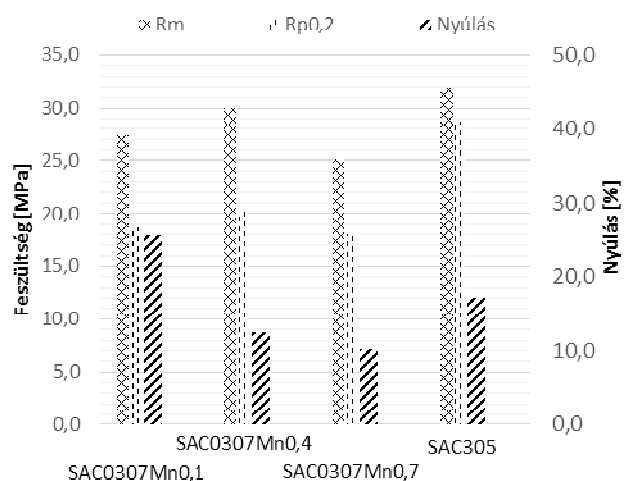
1. ábra. Kísérleti forraszanyagok keménységi értékei

4.2. Szakítóvizsgálat

Az ötvözetekből szabványos (DIN – EN – 50125) hengeres szakító próbatesteket készítettünk (2. ábra), majd egy Instron 5982 típusú, 10 tonnás univerzális anyagvizsgáló berendezéssel végeztük el a szakítóvizsgálatokat. A vizsgálatot állandó sebességgel, 3 mm/perc egytengelyű húzó igénybevétellel végeztük. A szakító próbatestek jellemző méreteit a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. Szakító próbatestek jellemző méretei [mm]



3. ábra. Szakítószilárdsági (Rm), egyezményes folyáshatár (Rp0,2) és a nyúlás értékek

Az eredmények alapján látható (3. ábra), hogy a Mn ötvöző hozzáadásával a szakítószilárdsági és az egyezményes folyáshatári értékek növekednek a 0,1% és a 0,4% mangán tartalmú ötvözet esetében,

majd a mangán 0,3% további hozzáadása után a kissé csökkennek. A nyúlás értékek a 0,1% mangán tartalom esetében a legmagasabb, majd a további ötvözés következtében csökkennek. A vizsgálat során ötvözetenként 2-2 db mintán végeztük el a szakító kísérletet. A diagramon látható, hogy a SAC0307Mn0,4 szakítószilárdsági eredménye hasonló eredményt mutat, mint a SAC305 ötvözet értéke.

5. FORRASZTOTT KÖTÉSEK VIZSGÁLATA

Célunk volt, hogy mindenképp készítsünk olyan valódi forrasztási igénybevétel szimuláló vizsgálatot is, melynek alapján össze tudjuk hasonlítani az általunk készített ötvözeteket a gyakorlatban alapötvözetnek számító SAC305 ötvözzel.

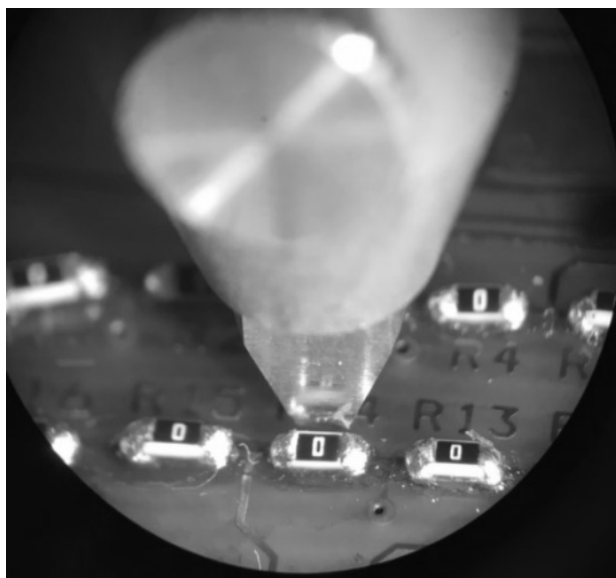
Már kezdetben probléma lépett fel, milyen formában állítsuk elő a forrasztanyagot és hogyan juttassuk a számunkra legyártott nyomtatott huzalozású lemez (NyHL) felületére. A legtökéletesebb és a legjobban szabályozható technológia a paszta formájában történő felvitel lett volna (stencilnyomatás), de sajnos nem tudunk ilyen kis mennyiségben forrasz pasztát készíteni ebből az ötvözetből. A NyHL 38x36 mm négyzet szelvényű lemezt, a forrasztási felületek (PAD-ek) méretét 1x1 mm-re, anyagát pedig immerziós ezüstnek (iAg) választottuk. A forrasztanyagot a Metalloglobus Fémöntő és Kereskedelmi Kft-nél 1 mm átmérőjű huzal formájában állítottuk elő, majd egy ötvös duó-hengerállvánnyal tovább alakítottuk 0,26 mm vastagságú szalag végtermékké. Ezek után következett a szalag feldarabolása kézi ollóval, amelyet végül a méret szerinti válogatás követett. A válogatás szabad szemmel történt, ezért a forrasztanyag NyHL-re történő felhordásának mennyisége körülbelül 10 %-os hibával vehető figyelembe. A forrasztóötvözetek felvitele a mérőlemezeire a következő lépésekben történt:

- a NyHL megtisztítása izo-propil-alkohollal (IPA)
- folyasztószer (X33-125 típusú) felvitele a mérőlemezeire
- mérőlemezek (NyHL) megtisztítása IPA-val
- flux adagolása a forrasztási felületekre

- a forrasztóötvözet lapok felvitele a forrasztási felületekre

Ezek után következett az ellenállások beültetése, ahol 0 ohmos felületszerelhető (SMD) 0603-as méretkódú ellenállásokat használtunk. Egy SMT Systems DIMA típusú pneumatikus beültető berendezéssel végeztük a beültetést.

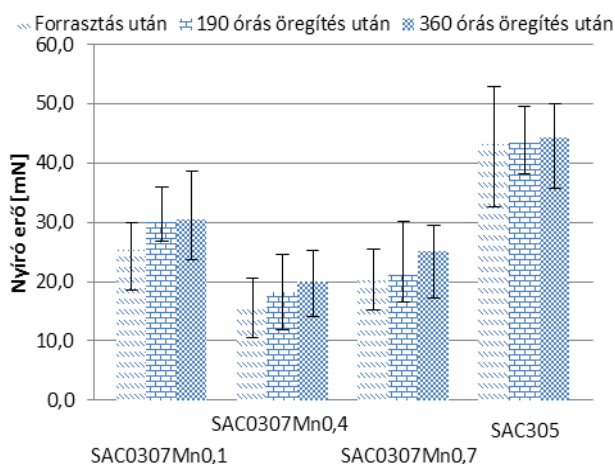
Ötvözetenként 4 db mérőlemezen végeztük el a forrasztási kísérleteket, lemezenként 16 db ellenállással, ami összesen 256 db mérési pontot jelentett. A forrasztást Euro Circuits gyártmányú elektromos infrásugaras újraömlésztéses (reflow) berendezéssel végeztük, miközben a hőmérsékleti értékeket számítógépen regisztráltuk, így megkaptuk a mérőlemez hőmérsékletének időbeni lefutását (hőprofil). Minden ötvözet esetében ugyanazt a hőprofilot használtuk. A forrasztott kötés minősítése érdekében minden egyes mérőlemez esetében megmértük az ellenállásokat Hewlett Packard 34401A típusú multiméter mérőkészülék segítségével (négy vezetékes mérés). A forrasztott kötések nyíró igénybevételű terheléssel szembeni ellenállását Dage 2400 típusú nyíróerő mérőberendezéssel vizsgáltuk meg (4. ábra). A vizsgálatokat először közvetlenül forrasztás utáni állapotban, majd 190 órás, végül 360 órás öregítés után is elvégeztük 80 °C-os terhelés mellett.



4. ábra. Nyíróerő mérése vizsgálat közben

A nyíróerő vizsgálat eredményeit az 5. ábrán foglaltuk össze. Észrevehető, hogy minden ötvözet esetében az öregítés hatására némileg növekednek a

nyíró erő értékek. A mangán tartalmú ötvözetek esetében az öregítési idővel nagyobb nyíróerő növekedést tapasztaltunk, mint a SAC305-nél. A SAC0307Mn0,1 típusú ötvözet esetében a kezdeti 25,4 N értékről 190 óras 80°C-on történő öregítés után közel 20%-ot emelkedett a nyíróerő és további 170 óras öregítés után további 1%-ot növekedett, szemben a SAC305 ötvözet növekedési tendenciájával.



5. ábra. Forrasztótvözetek nyíró erő mérési eredményei reflow után, valamint 190 óra, 80° C és 360 óra, 80°C-os terhelés után

A SAC0307Mn0,4 típusú ötvözet esetében a forrasztás után 16,3 N volt a mechanikai igénybevétellel szembeni ellenállás értéke, majd 190 óras öregítés után 12%-ot, a 360 óras öregítés után további 9%-ot növekedett. A SAC305 ötvözet értékei magasabbak, a forrasztás utáni állapotban végzett kísérlet eredményei alapján a nyíróerő 43,2 N volt, és ez az öregítés hatására kis mértékben változott, 190 óra után 0,5%-ot, míg 360 óras öregítés után is csak további 2%-ot emelkedett. Lee és munkatársai [5] is ezt a tulajdonságot vizsgálták és hasonló eredményre jutottak. Mások [5, 6] vizsgálati eredményeiből megállapítható, hogy a mangánnal ötvözött alacsony ezüsttartalmú ötvözet IMC rétegvastagsága megnő, azonban hosszabb öregítési ciklusok után a vastagság kisebb mértékben növekszik és a szövetszerkezet is finomabb marad, ennek köszönhetően a nyírószilárdság megnövekszik.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során SAC ólommentes forrasztótvözetek mangánnal történő ötvözésének

lehetőségeit kutattuk és különböző megbízhatósági vizsgálatokat is elvégeztünk. Célunk volt, hogy megvizsgáljuk a mangán tartalom hatását az alacsony ezüsttartalmú ólommentes SAC forrasztók esetében, mind a mechanikai tulajdonságok, illetve a gazdaságossági szempontok figyelembe vételével. A keménységvizsgálati eredményekből kiderült, hogy a forrasztótvözethez hozzáadott mangán csökkentheti a keménységet, valamint számottevően nincs hatással a kristályosodás hőmérsékletére. A szakítóvizsgálati eredmények alapján látható, hogy az ólommentes forrasztótvözethez hozzáadott Mn hatására a szakítószilárdsági értékek némileg csökkennek. A forrasztási vizsgálatok után kiderült, hogy az általunk készített ötvözetek nem érik el a SAC305-ös ötvözet mechanikai szilárdságát. Ugyanakkor a forrasztott kötések öregítés utáni állapotának vizsgálata megerősítette a korábbi szakirodalmi közléseket, miszerint a hosszabb öregítési időtartam során a mechanikai szilárdsága a Mn tartalmú forrasztott kötéseknek nagyobb mértékben növekszik, mint a SAC305 ötvözeteké. Jóllehet a mangánnal ötvözött SAC ötvözetek mechanikai paraméterei általában rosszabb értékek mutattak a SAC305-ös képest, de a forrasztáshoz szükséges minimum követelményt több esetben elérték illetve meghaladták. Összességében mind a gazdasági, mind a mechanikai tulajdonságokat is figyelembe véve a mangánnal mikroötvözött SAC0307-es forrasztótvözet ipari alkalmazását javasoljuk.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Büyök U., Marasli N., „The microstructure parameters and microhardness of directionally solidified Sn-Ag-Cu eutectic alloy”, *J. Alloy. Compd.*, 485. évfolyam, 264-269 o., 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.06.067>
- [2] Molnár A., Kardos I., Molnár I., Gácsi Z., „Az ezüsttartalom hatása ólommentes forrasztanyagok tulajdonságaira”, *Bányászati és Kohászati Lapok*, 147. évfolyam, 2. szám, 17-20 o., 2014.
- [3] Horváth B., „Az RoHS direktívái és a tiltott anyagok vizsgálata XRF berendezéssel”, Diplomamunka, *Budapesti Műszaki Egyetem*, Budapest, 2008.
- [4] Óbudai Egyetem, levelező tagozat Elektronikai technológia előadás, www.uni-obuda.hu/grollerg/Elektronikaitechnologia/Prezentacio/levelezo-tav-16/4-szeresles.pdf /megtekintés: 2017. 02.11.

- [5] Lin L.W., Song J.M., Lai Y.S., Chiu Y.T., Lee N.C., Uan J.Y., „Alloying modification of Sn–Ag–Cu solders by manganese and titanium”, *Microelectron. Reliab.*, 49. évfolyam, 235-241 o., 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.microrel.2008.10.001>
- [6] Song J.M., Liu Y.R., Lai Y.S., Chiu Y.T., Lee N.C., „Influence of trace alloying elements on the ball impact test reliability of SnAgCu solder joints”, *Microelectron. Reliab.*, 52. évfolyam, 180-189 o., 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.microrel.2011.09.003>