

Aki járt a Louvre-ban – talán a Petit Palais-ban – valószínűleg *Claude Monet*-nek a rouen-i székesegyházról a legkülönbözőbb fényviszonyok és éghajlati körülmények között alkotott pointillista festménysorozata sejjik fel. Különösen azok a képek, amelyekben a gótikus székesegyház kontúrja, struktúrája a ködös hajnali fényben a háttérből a szemléltőt lenyűgöző módon megérinti, ahogy az a 16. ábra szerinti festményen is észlelhető.

Ezek a képek a Heisenberg-féle visszaemlékezésben szereplő „tornyosuló struktúrákra” emlékeztetnek. Mindezek a gondolatok *Kodály Zoltán* bölcs meglátását igazolják: legyen „a zene mindenkié”.

#### Irodalom

- [1] Az emberi magatartás alapjai, [hozzáférés:] web, www.sulinet.hu, (2015.09.20)
- [2] *Balláné Zs.: Matematika a művészetekben*, [hozzáférés:] web, www.slideplayer.hu, (2015. 09. 15)
- [3] Szakrális geometria, spirál tudat [hozzáférés:] web, www.holdi
- [4] *Vitéz V.: Lábán Rudolf, a táncírás korszerűsítője és a Lábán-rendszer (utó)élete az információs társadalomban*, [hozzáférés:] web, www.slideplayer.hu, (2015. 08. 28)
- [5] *Straub Á.: Még ma is sokakat meglep a Rubik-kocka belseje*, [hozzáférés:] web, www.origo.hu, (2015. 09. 20)
- [6] *Iparművészeti Múzeum, Kerámia- és üveggyűjtemény, ltsz. 6558* [hozzáférés:] web, www.gyujtemeny.imm.hu, (2015. 09. 23)]
- [7] *Víctor Vasarely Op-Art*, [hozzáférés:] web, www.blog.graphis.com, (2015.09.26)
- [8] *Eukleidész a pszeudoszférán*, [hozzáférés:] web, www.termeszvilaga.hu, (2015. 09. 26)
- [9] *Einstein, a géniusz*, [hozzáférés:] web, www.cultura.hu, (2015. 09. 26)
- [10] *Grande Arche*, [hozzáférés:] web, www.bhmpics.com, (2015. 09. 30)
- [11] *A számítógép története*, [hozzáférés:] web, www.hu.wikipedia.org, (2015.10. 03)
- [12] *Kővári-Kacsmarek: Summer morning* [hozzáférés:] web, www.commons.wikimedia.org, (2015. 10. 03)
- [13] [hozzáférés:] web, www.dromfie.top, (2015. 08. 26)
- [14] „Nagy teljesítőképességű szerkezeti anyagok kutatása”, TAMOP-4.2.2./A-11/1/KONV-2012-0027
- [15] *William Thomson (matematikus)*, [hozzáférés:] web, www.hu.wikipedia.org, (2015. 09. 30)
- [16] [hozzáférés:] web, www.stolaf.edu, (2015. 09. 15)
- [17] *Septem-artes-liberales Herrad von Landsberg Hortus-delicioum 1180* [hozzáférés:] web, www.commons.wikimedia.org, (2015. 09.15)
- [18] *Peter Pesic: Euler's Musical Mathematics*. Springer Science+ Business Media New York, Volume 35, Number 2, p. 35–43, DOI 10.1007/s00283-013-9369-5, 2013
- [19] *Werner Heisenberg* [hozzáférés:] web, www.hu.wikipedia.org, (2015. 09. 16)
- [20] *Rouen Cathedral (Monet series)* [hozzáférés:] web, www.en.wikipedia.org, (2015. 09. 30)

HLINKA JÓZSEF – WELTSCH ZOLTÁN

## Többszöri újrahevítés hatása Sn-alapú ólommentes forrasztóanyag nedvesítési tulajdonságaira

**Az újraömlesztéses (reflow) forrasztás felületszerelt alkatrészek korszerű és nagy termelékenységet biztosító, tömeggyártására alkalmas forrasztási technológiája, melyet az elektronikai ipar kiterjedten alkalmaz. A forrasztási folyamat során, a nyomtatott áramköri lapot (NYÁK) több alkalommal érheti a forrasztási hőmérséklet, amely változásokat idézhet elő a bevonattal ellátott vagy bevonat nélküli NYÁK felületén. A felületi változások hatással vannak az alkalmazott ólommentes forrasztóanyag nedvesítési viszonyaira. A cikk ólommentes forrasztóanyag nedvesítésének változását mutatja be felületi ón bevonatú NYÁK és réz szubsztrátot ért újrahevítések száma, valamint különböző atmoszféra függvényében.**

**Hlinka József** okleveles járműmérnök. BSc-oklevelét 2012-ben, MSc-oklevelét 2014-ben járműgyártás és javítás szakirányon, a BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Karán szerezte meg. A *Kandó Kálmán Doktori Iskola PhD-hallgatója a BME Gépjárművek és Járműgyártás Tanszéken. Fő kutatási területe a határfelületi jelenségek vizsgálata fémolvadék/fém rendszerben, forrasztóanyagok vizsgálata, lézersugaras felületkezelések hatása a határfelületi jelenségekre.*

**Weltsch Zoltán** okleveles gépészmérnök. 2014-ben szerzett PhD-fokozatot a BME *Kandó Kálmán Doktori Iskolában. A Kecskeméti Főiskola Anyagtechnológia Tanszékének tanszékvezetője. Az akkreditált Anyagvizsgáló és Méréstechnikai Laboratórium laboratóriumvezetője. A BME Gépjárművek és Járműgyártás Tanszék adjunktusa félállásban. Fő kutatási területei a határfelületi jelenségek vizsgálata, kötéstechológiák.*

### 1. Bevezetés

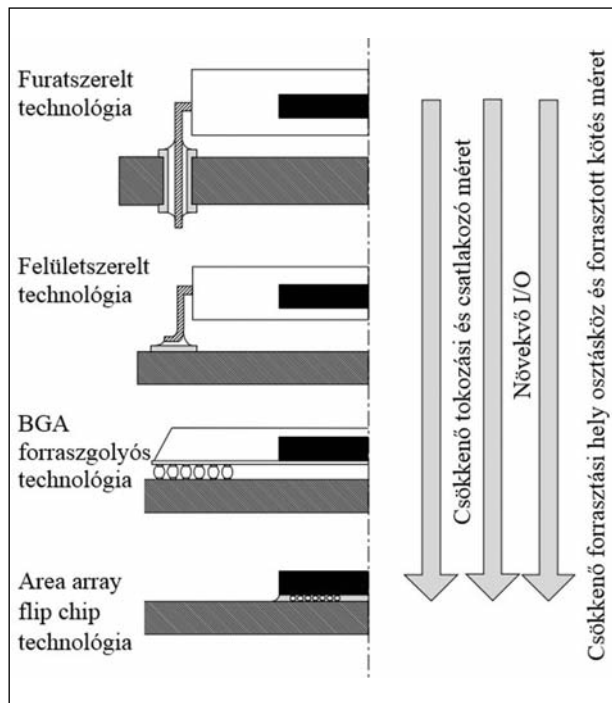
A forrasztás a diffúziós kötés egyik fajtája. Forrasztás alatt olyan technológiát értünk, amely során szilárd anyagokat kötünk össze a hegesztéshez hasonlóan oldhatatlan kötéssel. A forrasztott (adhéziós-diffúziós) kötés a felmelegítési ciklusban alakul ki. A forrasztó megömlik, nedvesíti az összekötendő fémek felületét, létrejön a for-

rasz olvadék állapotában a kötés, ami hűlés hatására megszilárdul [1].

Az elektronikai lágyforrasztások legnagyobb mennyiségben az úgynevezett reflow kemencés technológiával készülnek. A kemencékben különböző forrasztási körülmények állíthatók elő, például különböző atmoszférájú környezet a forrasztások körül. Egyes esetekben a nyomtatott áramköri lemezek többször áthaladnak a kemencén, ezáltal többször éri őket a forrasztási hőmérséklet. Újrahevítések száma alatt az értendő, hogy a nyomtatott áramköri lemezt (szubsztrátot) hány alkalommal éri a forrasztási hőmérséklet. Kérdés, hogy milyen hatással van a többszöri újrahevítési ciklus a nyomtatott áramköri szerelőlemez forraszthatóságára?

Az elektronikára jellemző a miniatürizálás (1. ábra), az elektronikai építőelemek tokozásának fejlődése a forrasztóanyagokkal szemben is követelményeket támaszt. Az adott területre eső forrasztások száma folyamatosan nő, ehhez megfelelően nedvesítő forrasztóanyagok szükségesek.

Napjainkban növekvő figyelem összpontosul az ólommentes forrasztóanyagokra, hiszen az Európai Unió több rendeletet is hozott annak érdekében, hogy a veszélyes anyagok használatát csökkentésük, illetve megszüntessék az iparban. Ilyen rendeletek az RoHS (Restriction of Hazardous Substances; az ismert veszélyes nyersanyagok korlátozása) és a WEEE (Waste Electrical & Electronic Equipment; az elektromos és elektronikus berendezések hulladékainak kezelése) direktívák. Az előbbi rendelet az elektronikai iparban előállított termékekben felhasznált veszélyes anyagok, mint a higany-, kadmium- és krómszármazékok és az ólom, valamint az elektronikai készülékekből származó hulladék mennyiségi korlátozásaira irányul. Az utóbbi rendelet az újrahaznosítással hozható kapcsolatba, melynek célkitűzése, hogy az elektromos és elektronikus eszközökből keletkező hulladék



■ 1. ábra. Félvezető tokozások fejlődése és a forrasztott kötések kapcsolata [2]

mennyiségét minimalizálják, és ezeket újra felhasználhatóvá teszik [3]. Tehát a jól bevált eutektikus Sn-Pb forrasztóanyag egészséget nem károsító ötvözettel történő helyettesítése szükséges [4].

Az ólommentes forrasztóanyagok fejlesztése viszont számos mérnöki és anyagtudományi kérdést vet fel, amelyekre a kutatásoknak választ kell adniuk, illetve bizonyos problémákra megoldást kell találni.

A termékek élettartama, funkcionálitása szempontjából elengedhetetlen a forrasztóanyagok mechanikai tulajdonságainak ismerete, amely tulajdonságokat nagyban meghatározza a forrasztóanyag és a forrasztandó fémek között ébredő tapadás (adhézió) mértéke. Ez utóbbi szoros kapcsolatban áll a határfelületi jelenségekkel, a nedvesítési tulajdonságokkal. Ha a fémolvadék a szilárd fém felületét nem nedvesíti jól, akkor gyenge kötés alakulhat ki, amely a forrasztott kötésért mechanikai terhelésnek, vibrációnak nem, vagy csak kis mértékben képes ellenállni.

A hagyományos, jól bevált, de a szabályozások miatt tiltott Sn-Pb ötvözetek bizonyos tulajdonságainak teljesítése az ólommentes forrasztóanyagcsaládoknak is szükséges. Az ólommentes forrasztóanyagok tulajdonságai

nak javítása ötvözéssel elérhető el. Az ónnak két allotróp módosulata létezik, melyek kristályszerkezetükben különböznek. A szobahőmérsékleten stabil fehér vagy  $\beta$ -ónnak térben középpontos kockarácsa van. A szürke vagy  $\alpha$ -ón köbös, gyémánt típusú módosulat,  $13\text{ }^\circ\text{C}$  alatt stabil. A  $\beta$ -ón- $\alpha$ -ón átalakulás, az úgynevezett ónpestis jelenség,  $13\text{ }^\circ\text{C}$  alatt következik be, és nagy fajtérfogat-növekedést idéz elő, amely repedéseket okozhat [5]. Ahhoz, hogy az ónalapú forrasztóötvözeteknél a gyártástechnológiában ne legyen szükség alapos változtatásra és a forrasztások minősége megfelelő legyen, az ötvözőknek az alábbi tulajdonságokat kell kielégíteniük [5, 6, 7]:

- csökkentsék a tiszta ón felületi feszültségét, javítsák a nedvesítési tulajdonságokat az elektronikában használt bevonati anyagokon;
- javítsák az ón képlékenységet;
- gátolják meg a  $\beta$ -ón- $\alpha$ -ón átalakulást;
- az ötvözet olvadáspontja közel legyen  $183\text{ }^\circ\text{C}$ -hoz, az Sn-Pb ötvözetéhez;
- javítsák a kötés mechanikai tulajdonságát;
- gátolják meg vagy szorítsák vissza a forrasztás során az óntüképződést;
- a forrasztóötvözet elérhető árú legyen.

A kísérletek és a gyakorlat bebizonyította, hogy valamennyi tulajdonság optimalizálása egyetlen ötvöző adagolásával nem oldható meg, így a mai korszerű ötvözetek esetében mindig többalkotós ötvözetekről beszélhetünk. A forgalomban lévő alternatív forrasztóötvözetek közül a ternér Sn-Ag-Cu (SAC) ötvözetek mutatkoznak legmegfelelőbbnek a lágyforrasztásban az ólomtartalmú forrasztóanyagok kiváltása szempontjából.

Ha Sn-Ag összetételű forrasztóanyaggal réz alkatrészeket forrasztunk, akkor a részleges beoldódás az alkatrész méretváltozását okozhatja. Az Sn-Ag ötvözethez megfelelő mennyiségű réz adagolva, ezt a káros jelenséget vissza lehet szorítani. A ternér Sn-Ag-Cu forrasztóanyag ese-

tében minimális réztartalom biztosítja, hogy a forrasztandó szilárd réz ne oldódjon a forrasztanyagban, azaz méretei a forrasztás során ne változzanak [8].

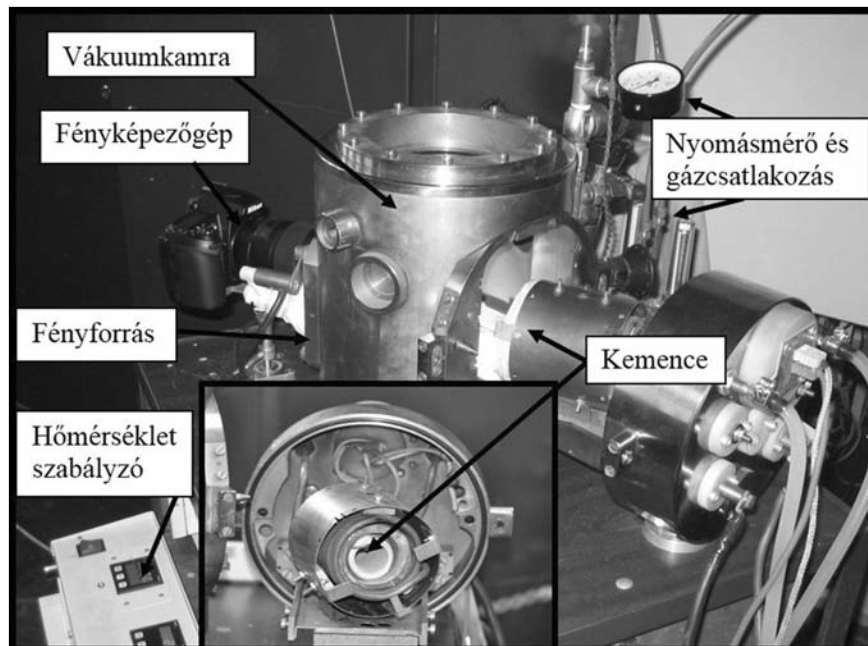
Az Sn-Ag ötvözetben az Ag-, míg az Sn-Cu ötvözetben a Cu-koncentráció növekedésével kb. 50 mol% koncentrációig az olvadék felületi feszültsége nem növekszik, majd e fölött növekszik [9, 10]. Ha az ezüst vagy a réz a szilárd/folyadék határfelületen felületaktív elem, akkor mindkét ötvöző csökkentheti a peremszöget, így alkalmazásukkal javulhatnak az ötvözet nedvesítési tulajdonságai [6].

A szilárd határfelület közelében az olvadék a szilárd fémből valamennyit beold, a szubsztráiban egy krátert hoz létre. Ez esetben nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a beoldott fém megváltoztatja a forrasztanyag összetételét, amely változás a nedvesítési és a mechanikai tulajdonságokat is megváltoztathatja mind pozitív, mind negatív irányba. Fémolvadék/szilárd fém rendszerek esetén a nedvesítés során oldódással és vegyületképződéssel is számolni kell [11].

A beoldott szubsztrát elemeinek pozitív hatására példa, az Ag-Cu(I)/Cu(s) rendszer, ahol a beoldódott többletréz mennyisége a csepp területét, azaz nedvesítést javította, megnövelte a csepp területi sebességét a minta felületén [6, 12].

A forrasztástechnológia szempontjából az egyik kritikus kérdés a nedvesítés, vagyis hogy a forrasztanyag milyen mértékben képes elterülni a forrasztandó fém felületén. A nedvesítés mértéke meghatározza az adhéziót a forrasztanyag és a szubsztrát (alkatrész) között. Az azonos kémiai kötéssel rendelkező anyagokról (fém forraszt-fém szubsztrát) általánosan elmondhatjuk, hogy jó nedvesítés figyelhető meg [12], míg különböző kémiai kötésű anyagok esetén, így például karbon-fémolvadék (kovalens-fémes kötés) között rossz nedvesítést tapasztalunk [13, 14]. Lágyforrasztók esetében a ritkaföldfémek (pl.: Ce, La) javítják a forrasztóötvözet nedvesítését [15, 16].

Az előzőekből látható, hogy a forrasztó ötvözet olvadéka és a forrasztandó



■ 2. ábra. Peremszögmérő berendezés

szilárd anyag között igen gyakran kémiai reakció zajlik le a forrasztás ideje alatt. Várható ezért, hogy ha a forrasztási hőmérséklet a szubsztrát felületét több alkalommal éri, akkor a nedvesítési tulajdonságok változhatnak. Indokolt ezért ennek a szisztematikus vizsgálata, amit jelen közlemény mutat be.

A cikk különböző atmoszférában, réz- és önbevonatos NYÁK szerelődemenzen mint szubsztráton SAC305 összetételű forrasztás nedvesítésvizsgálatának eredményeit mutatja be az újrahevítések függvényében.

## 2. Méréshez szükséges eszközök és alapanyagok

### 2.1. Peremszög vizsgáló berendezés

Számos cég kínál kész berendezéseket, melyekkel meghatározhatóak a nedvesítési viszonyok, de ezeket általában ipari célokra fejlesztették ki, nem

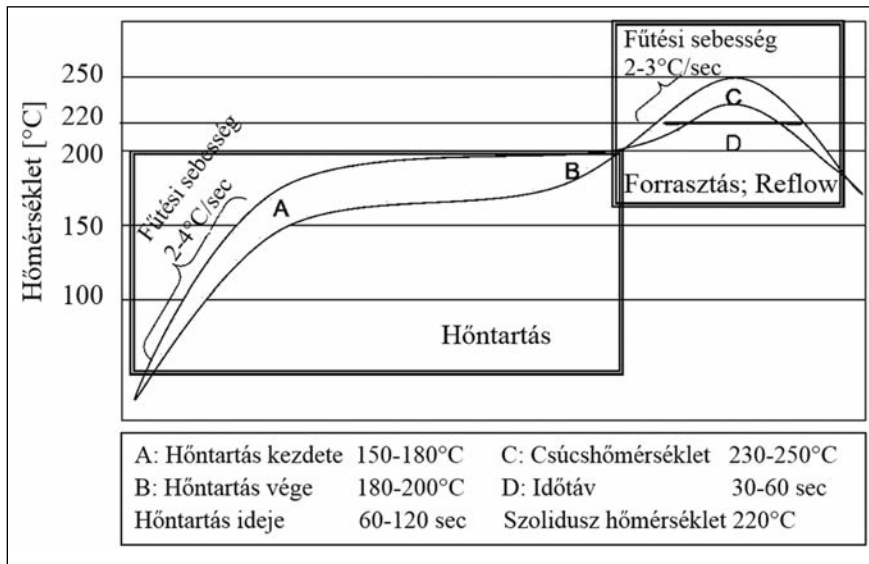
kutatási célokra. Így több paraméter változtatása, mely a kísérletek elvégzéséhez szükséges, nem megvalósítható. További hátrányuk a berendezéseknek, hogy rendkívül magas árak miatt nem hozzáférhetőek. Az irodalomban találhatóak egyedi, összetett berendezések [17], amelyek segítségével meghatározhatjuk a nedvesítési peremszöget.

Az említett berendezések megoldásából kiindulva fejlesztettünk ki a BME Gépjárművek és Járműgyártás Tanszéken nedvesítési peremszög mérésére alkalmas kutatóberendezést (2. ábra), amellyel lehetséges a nedvesítési viszonyok vizsgálata 1200 °C-ig [18].

A vákuumkamrát, a mérőgép főegységét, egy elektronmikroszkóp munkakamrájából alakítottuk ki. A peremszög mérések elvégzéséhez szükséges védőgáz-atmoszféra létrehozása miatt a kamrának vákuumozhatónak kell lennie. A kamra szigetelése megfelelőek, és belső tere jól megfigyelhető a hőálló vizsgálóüvegen keresztül. A vákuum a kamrára csatlakoztatott háromfázisú rotációs szivattyúval hozható létre, mellyel 2 mbar vákuum érhető el a kamrában. A vákuumozás után a minta környezete tetszőleges gázzal vagy gázkeverékkel tölthető fel rotaméter közbeiktatásával.



■ 3. ábra. A megolvadt forrasztás peremszög mérése



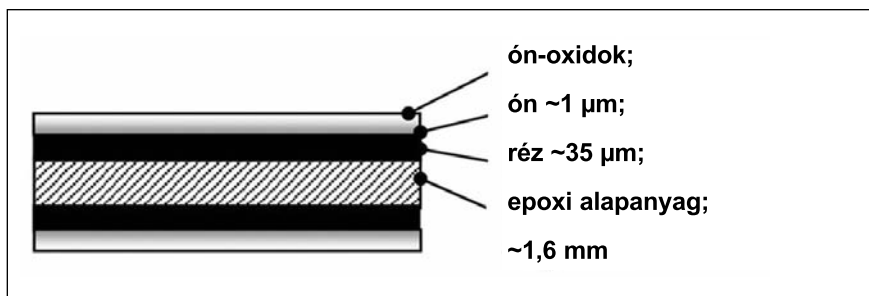
■ 4. ábra. A mérésekhez előírt hőprofil [19]

Az ellenállás-fűtésű kemencét HAGA KD48D2 típusú szabályzó vezérli, mely a kemence és a kamra hőmérsékletének kijelzésére is használható. A kemence hőmérsékletének mérésére teflon érszigetelésű, szilikon köpenyszigetelésű, külső árnyékoló fémharisnyával ellátott kompenzációs vezetékkel toldalékolt N típusú (NiCrSi-NiSi) köpenyhőelemet építettünk be. A szabályzóval kis hőmérséklet kilengéssel ( $\pm 1-2$  °C), rövid szabályozási idő alatt ( $\sim 4$  perc) eléri a kemence a kívánt hőmérsékletet. A szabályzóval állítható a fűtési teljesítmény, a hőmérséklet-kilengés minimalizálható. Az optimális felfűtés érdekében a szabályzó önszabályzó módon állítja be a megfelelő paramétereit. Egy másik hőmérséklet-érzékelő a fűtött kemencén kívül a kamra falánál helyezkedik el és méri a kamra környezeti hőmérsékletét. A kamra környezeti hőmérsékletének mérése a gumitömítések korlátozott hőállósága miatt szükséges. A minták hevítése elektromos ellenállás-fűtésű csökemencében történt. A kemence fűtőszála 2 mm átmé-

rőjú kantálból (FeCrAlCo) készült.

A vizsgált minták profilját a vizsgáló-üvegen keresztül a kemencébe belátó digitális fényképezőgéppel rögzítettük (3. ábra). A csepp alak elemzéséből meghatározhatóak a nedvesítési viszonyok. A kamrához csatlakozik egy fényforrás, amely segítségével a kamrában lévő mintáról jobb minőségű felvételeket lehet készíteni, amelyeket számítógép segítségével lehet kiértékelni. Az így elvégzett peremszögmérés hibahatára  $\pm 0,75^\circ$ .

A nedvesítésmérések során a gyártó által javasolt, a 4. ábrán látható hőprofilot alkalmaztuk. Az alkalmazott hőprofil négy fő szakaszra osztható, melyek: az előfűtés vagy melegítés, a hőntartás, az újraömlésztés (reflow) és a hűlés. A melegítés során a vizsgált szubsztrát és a felületére felvitt forraszpasztta gyorsan, 2-4 °C/s-os meredekséggel fűtött, szobahőmérsékletre 160 °C-ig. A hőntartási szakasz kis meredekségű (0,5-1 °C/s) fűtés, közel a forrasz olvadáspontjáig 160-200 °C tartományban. A gyártási folyamat során a hőntartás célja, hogy



■ 5. ábra. Nyomatott áramköri lapka keresztmetszeti rajza

minél kisebb legyen az áramkörben a hőmérsékleti gradiens. Az újraömlésztés egy meredek 1-3 °C/s-os fűtés 160-255 °C tartományban, a forrasz olvadáspontja fölé. A következő lépésben a hőmérséklet csökkenésekor a hűlés során az áramkör lehűtése következik 3-5 °C/s-os meredekséggel 130 °C-ig, majd szobahőmérsékletre.

## 2.2. Kísérleti anyagok

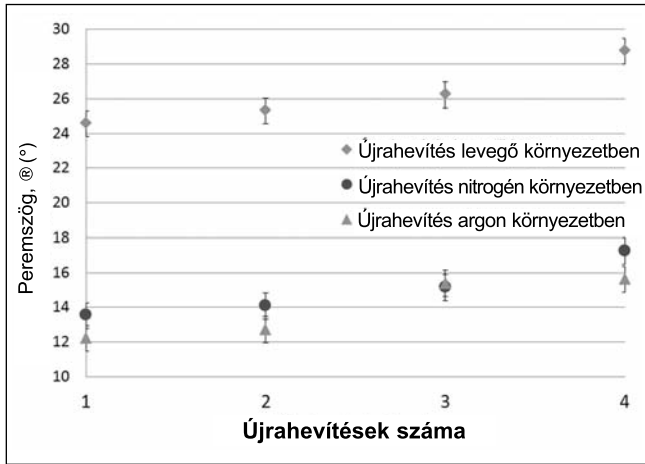
A forrasztási vizsgálatokhoz Senju M705-GRN360-KV (Sn96,5Ag3Cu0,5) ólommentes forraszpasztát alkalmaztunk nyomtatott áramköri szerelőlemezen és réz lemezen. A forraszpasztta tartalmazza az adott összetételű forraszfémötvözetet por formában, valamint a forrasztáshoz szükséges folyasztószert (flux).

A mérések során alkalmazott nyomtatott áramköri lapkák alapanyaga epoxi, melynek két oldalán rézbevonat van. A rézfelületeken a jobb nedvesítés elérése érdekében vékony ónréteg van. A rézréteg  $\sim 35$  µm vastagságú, az ónréteg  $\sim 1$  µm vastagságú (5. ábra).

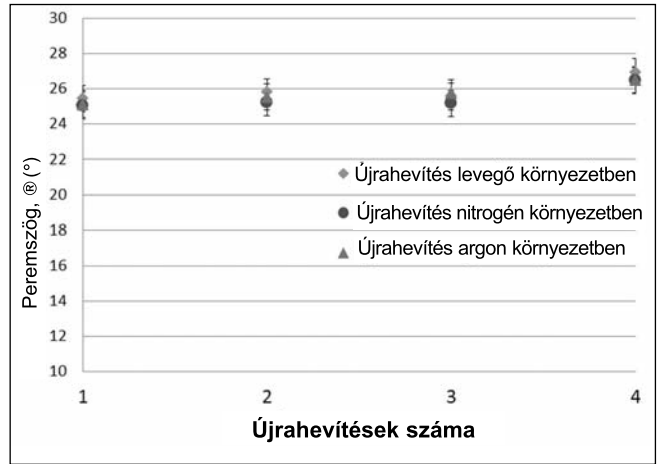
A nedvesítésmérés a forraszpasztta gyártója által javasolt 250 °C-os forrasztási hőmérsékleten történt.

## 3. Eredmények

A 6. ábrán a forraszpasztta és az ónbevonatos NYÁK-lemez közti peremszögértékek láthatóak a NYÁK-lemezre történő újrahevítések számának függvényében. A különböző mérési környezet hatása a peremszögmérési eredményekben megjelenik. A mért peremszögértékek nitrogén és argon környezet esetében 12-13° közötti értéket vesznek fel többszöri újrahevítés nélkül, mely értékek a nagyon kedvező forrasztási zónában vannak. A levegőn végzett kísérlet során a peremszög 24° volt, mely érték kétszerese az inert környezetben mért értéknek. Tehát kijelenthető, hogy a levegőn végzett forrasztás esetében a forrasztóanyag nedvesítési tulajdonságai romlanak az inert környezetben készített forrasztáshoz képest. Az újrahevítések számának növekedése ugyancsak hatással van a peremszögre mind levegő, mind a védőgáz atmoszférában végzett mérések esetében. A perem-



■ 6. ábra. Nedvesítési peremszögértékek Sn96,5Ag3Cu0,5 forraszpasztá és a bevonatos NYÁK-lemez között 250 °C hőmérsékleten



■ 7. ábra. Nedvesítési peremszögértékek Sn96,5Ag3Cu0,5 forraszpasztá és réz szubsztrát között 250 °C hőmérsékleten

szögértékek 12°-ról 16°-ra nőnek argon, 13°-ról 17°-ra nitrogén és 24°-ról 28°-ra levegő környezetben. A peremszögérték-növekmény 4° volt az 1 és 4 újrahevítésen átesett minták között. A peremszögértékek különbségének magyarázata az eltérő oxigénkoncentráció. Bizonyított tény, hogy fémolvadékok esetében az oxigén jelenléte jelentősen rontja a nedvesítési tulajdonságokat [18]. Ezt mutatja, hogy az inert környezetben végzett mérések esetében a peremszögértékek kisebbek. A peremszögértékek változásának iránya utal a felületen növekvő ön-oxid jelenlétére.

A peremszögméréseket a NYÁK-lemezhez hasonló módon rézlemez szubsztráton is elvégeztük. A 7. ábrán a forraszpasztá és rézlemez közti peremszögértékek láthatóak a rézlemezről újrahevítések függvényében. A mé-

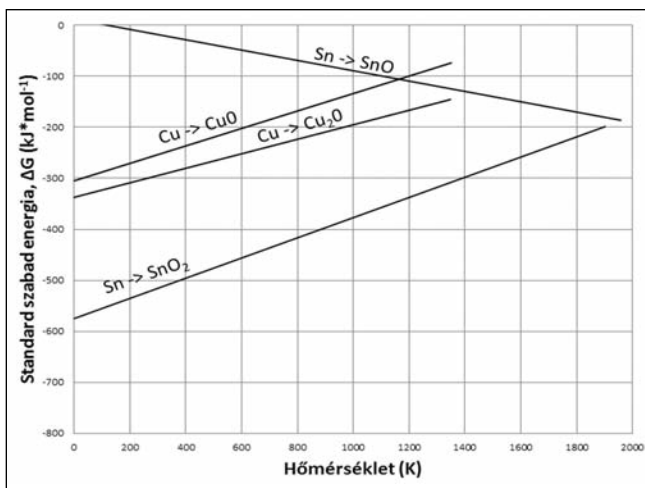
résí eredmények a NYÁK-lemez esetében mért értékekhez hasonló eredményeket mutatnak. A peremszögértékek növekednek az újrahevítések számának növekedésével együtt, de réz esetében kisebb változást mutatnak, mint az önbevonatos NYÁK-lemez esetében. Az eredmények alapján tiszta réz forrasztása esetében nincs hatása a forrasztáskor alkalmazott környezetnek a nedvesítésre.

Közismert, hogy a különböző fémek oxigénhez mutatott affinitása eltérő. Ez azért van, mert – bár a fémek elektronegativitása a nem fémes elemekhez képest kicsi – elektronegativitásuk egymáshoz képest is eltérő [20].

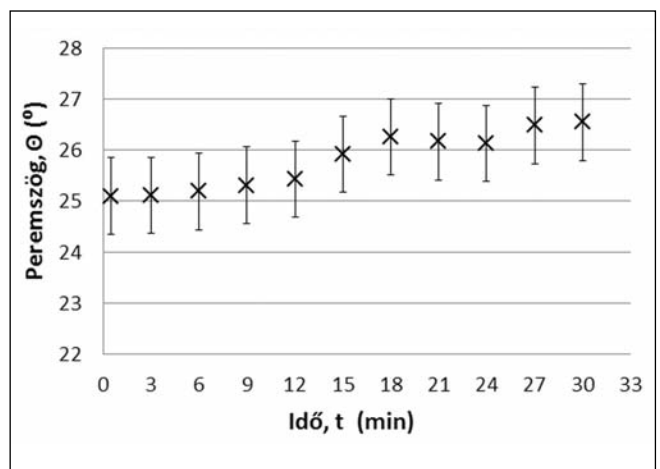
Az oxidképződés, mint adott hőmérsékleten, ill. nyomáson önként lezajló kémiai reakció, a reakcióval járó szabadenergia-változással jellemezhető. Minthogy minden sztöchiometri-

kus oxid önálló fázis, ha egy fém két-féle sztöchiometriájú oxidot képez, ezeknek a képződési szabadenergiája, illetve azoknak a hőmérsékletfüggése is különböző lesz.

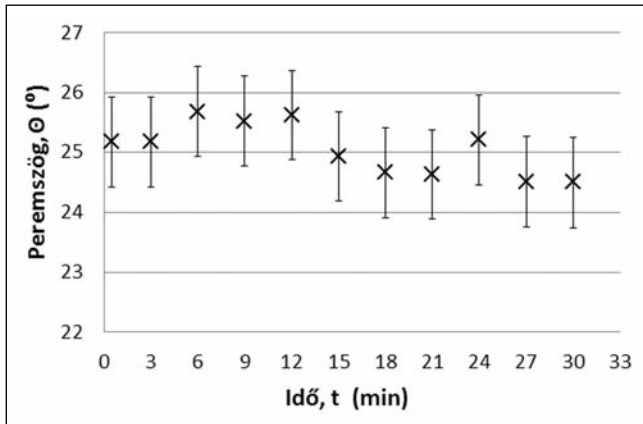
Ahhoz, hogy a fémoxidok kémiai stabilitását összehasonlíthassuk, az ún. standard képződési szabadenergiájukat ( $\Delta G = RT \ln p_{O_2}$ ) hasonlítják össze a hőmérséklet függvényében, és ez vezet az ún. Ellingham-diagramok megalkotásához. (Eredetileg a standard képződési szabadenergiák definíciójában a koncentráció szerepel, mivel azonban az oxigén mint reakciópartner gáz halmazállapotú, koncentrációja jó közelítéssel a parciális nyomásával helyettesíthető). A nevezett Ellingham-diagramok közül néhányat, (a forraszpasztá komponenseire vonatkozókat), a 8. ábra mutat. Egy fémes elem oxidjának képződésé-



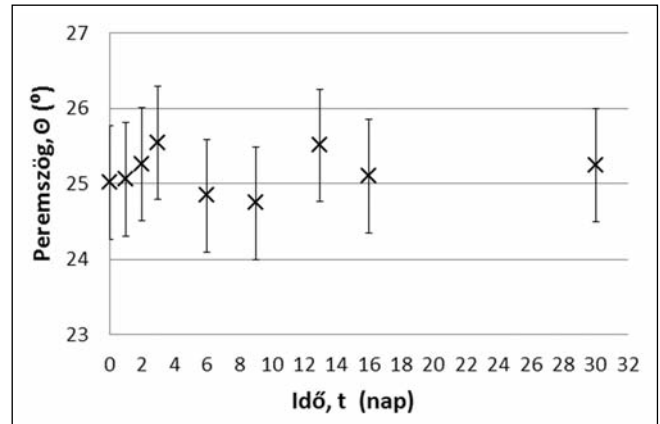
■ 8. ábra. Ellingham-diagram Sn és Cu oxidációjára vonatkozóan [22]



■ 9. ábra. Nedvesítési peremszögértékek réz szubsztráton, 30 perces hűntartás esetén levegő atmoszférában, 250 °C hőmérsékleten



■ 10. ábra. Nedvesítési peremszögértékek réz szubsztráton, 30 perces hőntartás esetén nitrogén atmoszférában, 250 °C hőmérsékleten



■ 11. ábra. Nedvesítési peremszögértékek levegőn tárolt rézlemezeken nitrogén atmoszférában, 250 °C hőmérsékleten

hez tartozó szabadenergia nagysága tehát a hőmérséklettől és az oxigén parciális nyomásától függ a fenti egyenlet alapján. A nagyobb negatív értékeket mutató egyenesek nagyobb stabilitású oxid képződését jelentik. Látható, hogy a réznek kétféle oxidja van: az oxid mint vegyület, egy határozott hőmérsékleten (rögzített  $p_{O_2}$  mellett) elbomlik, másrészt, egy kritikus  $p_{O_2}$  alatt nem képződik. A vegyületképző rendszereket ábrázoló egyenesekre az is jellemző, hogy pozitív iránytangensűek, annak megfelelően, hogy a vegyületek stabilitása (változatlan parciális nyomás esetén) a hőmérséklet növekedésével csökken (a  $\Delta G$  kisebb). Szemben az  $SnO_2$  vegyülettel, (amely kristallográfiailag is azonosítható fázis) az  $SnO$  képződését mutató  $\Delta G(T)$  egyenes iránytangense negatív, ami arra utal, hogy nem szigorúan sztöchiometrikus vegyület képződéséről, hanem – ebben az esetben – szilárd oldat képződéséről van szó. Ez annyit jelent, hogy változatlan, az ónra jellemző kristályszerkezet jelenlétéről beszélhetünk, melyben – a növekvő hőmérséklettel – egyre több oxigén oldódik. Ez a jelenség ismert az ún. endoterm illetve exoterm fém-hidrogén rendszerek képződésének mechanizmusában is [21].

Kis hőmérséklet-tartományban az  $SnO$  szilárd oldatban csekély mennyiségű oxigén oldódik, vagyis az  $Sn$ -oxid képződése nem indul el, védelmet nyújt a  $Cu$  oxidálódásával szemben (lásd 5. ábra). Érthető ezért, hogy nagyobb  $p_{O_2}$ -nél, amikor már  $SnO_2$  képződik, nagyobb a forrasztó ömledék  $O$ -tartalma, a nedvesítés romlik.

A forrasztások esetében a forrasz-

anyag olvadt állapotban csak másodperceket tölt a forrasztási folyamat során, azonban kérdés, hogy a hőntartási időnek van-e hatása a nedvesítési tulajdonságokra. A hőntartási idő hatásának vizsgálatánál a forraszpasztta rézlemez szubsztráton 3 percenként került kiértékelésre. A 9. ábrán látható, hogy a hőntartási idő növekedésével a forraszanyag nedvesítése folyamatosan romlik, a peremszögértékek növekednek.

A hőntartási vizsgálatok nitrogén környezetben történő vizsgálatának eredményei a 10. ábrán láthatóak. Ellentétben a levegő környezetben készült hőntartási vizsgálatokkal, nitrogén környezet esetében a peremszögértékek nem mutatnak határozott változást, a peremszögértékek hibahatáron belül vannak.

A méréshez használt rézlemezeket csiszolással és polírozással kell előkészíteni a nedvesítésvizsgálathoz, hogy a felületi minőség különbsége ne befolyásolja a nedvesítésmérés eredményeit. Az előkészítés nem minden esetben történt közvetlenül a nedvesítésmérés előtt. Kritikai vélemények alapján felmerült, hogy a minta-előkészítés és a peremszögmérés között eltelt időnek hatása lehet a nedvesítésre, a felületen kialakuló oxidréteg miatt. Vizsgálatunkban azonos időpontban előkészített mintákat, azonos körülmények között szobahőmérsékleten, levegőn tároltuk és meghatározott idő elteltével peremszögmérést végeztünk rajtuk. Mivel a méréseket nem nanotartományban határozzuk meg, ezért nem várunk különbséget az idő hatására. A 11. ábrán előkészített és 0-30 nap közötti ideig levegőn tárolt

rézminták esetében mért peremszögértékek átlagai láthatóak. Az egyes nedvesítésmérési időpontokban mért minták peremszögértékei 24,7-25,5° közé esnek, így a vizsgálat hibahatáron belül mozognak. Az eredményekből megállapítható, hogy a réz szubsztrát előkészítése és a peremszögmérés között eltelt idő nincs hatással a vizsgált nedvesítési tulajdonságra.

#### 4. Összefoglalás

A többszöri újrahevítés hatását vizsgáltuk, amelyet a forraszanyag és a szubsztrát közötti nedvesítés mértékének változásával, a peremszög mérésével követtünk nyomon. Az  $Sn96,5Ag3Cu0,5$  összetételű forraszpasztta és az  $Sn$  védőréteggel bevont NYÁK közötti nedvesítési szög folyamatosan növekszik ismételt újrahevítések során, annak megfelelően, hogy a szubsztrát felszínén az oxidok képződésének kedvező időtartam nagyobb az ismételt újrahevítéseknek megfelelően. A nedvesítési szög növekedése minden atmoszférában megfigyelhető. A levegőn vizsgált mintákhoz képest az inert,  $N_2$  és  $Ar$  védőgáz alatt végzett újrahevítések esetében a nedvesítési szög értékei kisebbek.

A forraszanyag-ömledék nagy  $Sn$ -tartalma miatt a nedvesítés változását jellemző peremszög  $Cu$ -szubsztrát esetében levegő környezetben csekély mértékű növekedést mutat, annak megfelelően, hogy az ömledék  $Sn$ -tartalmának protektív hatása érvényesül, még 30 perces hőntartás esetén is. A kísérleti eredményeket a forrasztóv-

zet komponenseinek oxigénnel mutatott affinitását kifejező Ellingham-diagramok segítségével értelmeztük.

## Irodalom

- [1] Szabó L.: Forgácsolás, hegesztés, Magyar Elektronikus Könyvtár, Miskolc, 2000.
- [2] J. W. Evans: A Guide to Lead-free solders, Springer Verlag, London, 2007.
- [3] Téglás N., Gyenes A., Nagy E., Gácsai Z.: Többalkotós Sn-Ag-Cu alapú ólommentes forrasztanyagok vizsgálata, BKL Kohászat, 2015. 3. szám, 148. évf. 14–18.
- [4] Rontó V., Tranta F., Svéda M., Baumli P., Czagány M.: Ólommentes forrasztanyagok vizsgálata: Sn-Bi ötvözetek, BKL Kohászat, 2014. 2. szám, 147. évf. 7–12.
- [5] M. Abtew, G. Selvaduray: Lead-free Solders in Microelectronics, Materials Science and Engineering R: Reports, Volume 27 (5-6), 2000. 95–141.
- [6] Baumli P.: Alacsony olvadáspontú ólommentes forrasztanyagok, Anyagok Világa (Materials World), 2015. 1. szám, XIII. évf. 24–34.
- [7] Baumli P., Vaskó G., Laczkó S., Sycheva A., Svéda M.: Ólommentes forrasztanyagok nedvesítésvizsgálata: Sn-Ag/Cu rendszer, BKL Kohászat, 2014. 2. szám, 147. évf. 21–25.
- [8] Dezső A., Kaptay Gy.: Rézforrasztásra használt ón-ezüst-réz rendszer egyensúlyi vizsgálata, BKL Kohászat, 2014. 2.szám, 147. évf. 2–6.
- [9] F. Przemyslaw: Surface tension and density of liquid Sn-Cu alloys, Applied Surface Science, 2010, 257, 468–471.
- [10] F. Przemyslaw: Surface tension and density of liquid Sn-Ag alloys, Applied Surface Science, 2011, 257, 3265–3268.
- [11] L. Yin, A. Chauhan, T. J. Singler: Reactive wetting in metal/metal systems: Dissolutive versus compound-forming systems, Materials Science and Engineering A, 2008, 495, 80–89.
- [12] O. Kozlova, R. Voytovych, P. Protsenko, N. Eastathopoulos: Non-reactive versus dissolutive wetting of Ag-Cu alloys on Cu substrates, Journal of Materials Science, 2010, 45, 2099–2105.
- [13] Z. Weltsch, J. Hlinka, A. Lovas: Wetting Properties Of Silver Based Alloys On Graphite And Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Substrates, In: S. Borkowski, D. Klimecka-Tatar, Quality Improvement of Construction Materials. Konferencia helye, ideje: Wawrzkowizna, Lengyelország, 2014. 05. 21-2014. 05. 23. Czestochowa: Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menedzerów Jakosci i Produkcji (SMJiP), 2014, 54-65, (ISBN: 978-83-63978-12-9)
- [14] Z. Weltsch, J. Hlinka, E. Kókai: Wetting Properties of Silver Based Alloys, World Academy of Science Engineering and Technology, 9(3), 2015, 342–345.
- [15] D. Q. Yu, J. Zhao, L. Wang: Journal of alloys and Compounds, 376, 2004, 170–175.
- [16] B. Noh, J. Choi, J. Yoon, S. Jung: Journal of Alloys and Compounds, 499, 2010, 154–159.
- [17] N. Sobczak, J. Sobczak, R. Asthana, R. Purgert: The mystery of molten metal, China Foundry, 7(4), 2010, 425–437.
- [18] J. Hlinka, Z. Weltsch, J. Berzy, A. Szmejkál: Improvements of Sessile Drop Method for the Wetting Angle Determination, Perner's Contact, Special Issue 2, Volume VI, Pardubice, 2011, 64-71. ISSN 1801-674X
- [19] Senju Technical Bulletin M705-GRN360 <http://www.senju.com/images/pdf/2011-M705-GRN360-K.pdf>
- [20] R. Boom, F. R. De Boer, A. R. Miedema: Ont he Heat of Mixing Liquid Alloys, Journal of the Less-Common Metals, 46, 1976, 271–284
- [21] Lovas A.: Klaszterjelenségek átmeneti fém alapú, nem egyensúlyi ötvözetek tulajdonságaiban és átalakulásaiban, akadémiai doktori értekezés, Budapest, 2014.
- [22] [http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/ellingham\\_diagrams/interactive.php](http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/ellingham_diagrams/interactive.php) (2016. 02. 01.)

## A fémek mechanikai vizsgálataira vonatkozó szabványok

A fémek mechanikai vizsgálatával foglalkozó MSZT/MB 409 műszaki bizottság 2015 során sem volt igazán aktív. Tevékenysége az európai szabványok jóváhagyó közleményes bevezetésekor a címek magyar fordításának ellenőrzésére korlátozódott. A 2015-ben ilyen módon bevezetett európai szabványok listáját az 1. táblázat tartalmazza. A magyar nyelvű szabványok egyszerűsíthetnék az akkreditált laborok és az akkreditáló szervezet számára az akkreditálási eljárást is.

A nemzetközi szabványosítás körében elég gyakori a mechanikai vizsgálati módszerekre vonatkozó szabványok átdolgozása. Figyelemre méltó, hogy az ISO 6508 Rockwell-keménységmérésre vonatkozó szabványsorozat új kiadása 2015-ben megjelent, de az ISO/DIS 6508-1 korszerűsítése már a bizottsági szinten tart. Az ISO/TC 164 munkaprogramját tartalmazza a 2. táblázat. A munkaprogramban a már jól ismert szabványok korszerűsítése mellett akadnak új témák is, pl. a ferasztó-

vizsgálatra vonatkozóan. Ezen a szakterületen az európai szabványosítás általában együttműködik az ISO/TC 164-gyel és átveszi a nemzetközi szabványokat, de van néhány módszer, amelyben a CEN vezeti a szabványosítást. Ilyen pl. a FprEN 10314 „Az acélok legkisebb, növelt hőmérsékletű folyáshatárértékének meghatározási módszere” szabvány, aminek már a második kiadása készül.

Olyan korszerű vizsgálati eljárásra is készül európai szabvány, amelyre