

Ipari forrasztószerszámok tönkremeneteli mechanizmusa

Sályi Zsolt^{1*}, Benke Márton²

^{1,2}Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc,
Magyarország

*Levelezési cím: femsalyi@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A tanulmány egy az ólommentes forraszolvadékok által jól nedvesíthető, iparban használt forrasztószerszám tönkremeneteli mechanizmusát mutatja be az ólommentes forrasztóanyagok károsító hatásának következtében. A forrasztószerszám alapanyagának szövetszerkezeti vizsgálatát optikai mikroszkóppal (OM) és pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) végeztük el. A fúvóka / forraszolvadék határfelületen lejátszódó fizikai-kémiai folyamatokat fázisdiagrammokon mutatjuk be, valamint azokat különböző mikroszerkezet vizsgálatokkal jellemezzük. Az ólommentes forrasztóanyaggal történő forrasztás után a határfelület vizsgálatát a szerszámok keresztcsiszolatán végeztük el szintén pásztázó elektronmikroszkóppal, a határfelületen keletkező vegyületek összetételének mérésére pedig energiadiszperz spektroszkópiai módszert (EDS) alkalmaztunk. A szerszám geometriájából adódóan annak belső felületén lejátszódó határfelületi reakciókat is ugyanezzel a módszerrel vizsgáltuk. A cikk az elhasználdott szerszám felújítása utáni alkalmazhatóságot is vizsgálja. Az elvégzett vizsgálatokból arra lehet következtetni, hogy az ólommentes forrasztóanyagok alkalmazásával a szerszám degradációja jelentősen felgyorsult, melynek oka a fúvóka alapanyagának károsodása, vagyis az alapanyag fématomjainak a forrasztóanyag Sn atomjaival alkotott intermetallikus vegyületfázisának folyamatos vastagodása.

Kulcsszavak: forrasztószerszám; ólommentes forrasztóanyag; FeSn; FeSn₂; nikkell

1. Bevezetés

Napjainkban a forrasztás jelentősége megkérdőjelezhetetlen. Az elektronika és a nyomtatott áramkörök folyamatos fejlődése és elterjedése megkövetelte a tömeges és pontos forrasztások létrehozását. A növekvő ipari és vásárlói igények, valamint az egyre szigorúbb minőségi előírások teljesítése kizárólag csak jól

működő forrasztószerszámokkal lehetséges. Az ólom alapú forrasztóanyagok alkalmazásának idejében (2006 előtt) a szerszám tönkremenetel nem okozott jelentős problémát a vállalatok számára, ugyanis a forrasztóanyagok akkoriban akár 85 vagy még annál is nagyobb %-ban ólomból álltak [1], az ólomról pedig ismert, hogy az adott forrasztóanyag hőmérsékletén (kb.

183-312 °C) nem lép reakcióba a szerszám vas alapanyagával, ráadásul kb. 400 °C-on az oldhatóság az Fe-Pb kétalkotós rendszerben a ppm tartományban található. [1-3]. Ez pedig nemcsak az ipari forrasztószerszámokra volt igaz, hanem a kézi pákával történő forrasztásra is. A forrasztóipar számára a legnagyobb változást az Európai Unió 2002-ben jóváhagyott irányelve jelentette, amely az elektromos és elektronikus berendezések hulladékairól (WEEE) és a veszélyes anyagok korlátozásáról (RoHS) szóló kötelezettségeket fogalmazta meg, ezzel pedig kijelentve, hogy 2006 júniusától az ólom használata környezetkárosító és karcinogén hatása miatt nem engedélyezett többek között a forrasztóanyagokban sem [4,5]. Ez a szigorú direktíva hozzájárult az ólommentes forrasztóanyagok elterjedéséhez, azonban az alkalmazásukkal a forrasztószerszámok tönkremenetele 4-5-szörösére gyorsult [6]. Elterjedtek az ón alapú forrasztóanyagok, melyek közül egyes gyakran alkalmazott ötvözetek nemcsak magasabb olvadásponttal rendelkeztek [7], hanem még károsították is a szerszám vas alapanyagát a határfelületen végbemenő Fe-Sn elemek között végbemenő reakciók következtében [8-13]. Több szakirodalom is foglalkozik a kézi forrasztópáka degradációjával az ólommentes forrasztóanyagokkal történő forrasztás következtében [14-17], azonban az ipari forrasztószerszámok eróziójáról csak nagyon kevés szakirodalom áll rendelkezésre.

Jelen tanulmány célja az ipari hullámforrasztószerszámok tönkremenetelének szakterületén jelentkező szakirodalmi hiányosságok pótlása a tönkremenetelhez vezető mechanizmus bemutatásával.

2. Elvégzett vizsgálatok

A mikroszerkezet vizsgálatok új, használt, valamint az elhasználdás után felújított ERSA típusú nedvesítő forrasztófúvókákon történtek meg. A szerszámokról készült felvételeket a mintavétel helyének jelölésével az 1. ábra mutatja be.



1. ábra: Új, használt és felújított fúvóka a mintavétel helyének jelölésével

A vizsgálatok elvégzése előtt a szerszámokból keresztcsiszolatok készültek, melyek először mintaelőkészítési eljárásen mentek keresztül (csiszolás: 150, 320, 500, 800 µm szemcsefinomságú csiszolópapírokkal, majd polírozás 1 µm-es szemcseméretű gyémánt polírozó pasztát alkalmazva). A szövetszerkezet vizsgálatához a mintadarabok Nital marószerral lettek maratva. A mikroszerkezet vizsgálatokhoz Zeiss Axio M1m típusú optikai mikroszkópot és Zeiss EVO MA10 pásztázó elektronmikroszkópot használtam, amely energiadiszperzív mikroszondával van felszerelve (EDS), így az alkalmas a fúvókák felületi rétegének vizsgálatára, illetve a szerszám / forrasztóanyag határfelületen az elemek arányából a kialakuló fázisok kikövetkeztethetőek.

3. Eredmények

3.1 A szerszám összetételének vizsgálata

Az 1. táblázat a szerszám alapanyagának EDS vizsgálat utáni összetételét mutatja.

1. táblázat: A forrasztószerszám összetétele

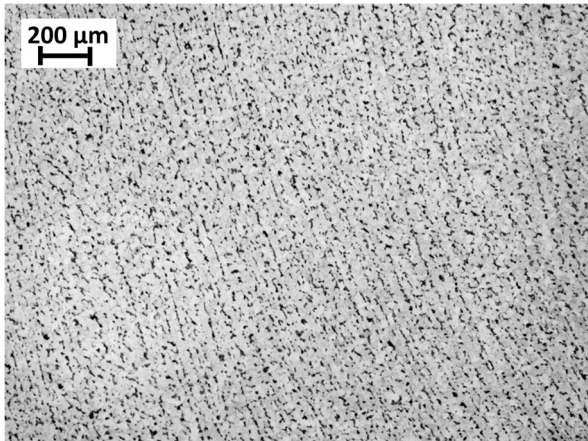
Elem	m/m%	atom%
Fe	99,09	98,76
Mn	0,57	0,58
Si	0,34	0,67

Az elemzésből megállapítható, hogy a szerszám alapanyaga ötvözetlen acél, amely az Mn és a Si elemeken kívül más ötvöző fémet nem

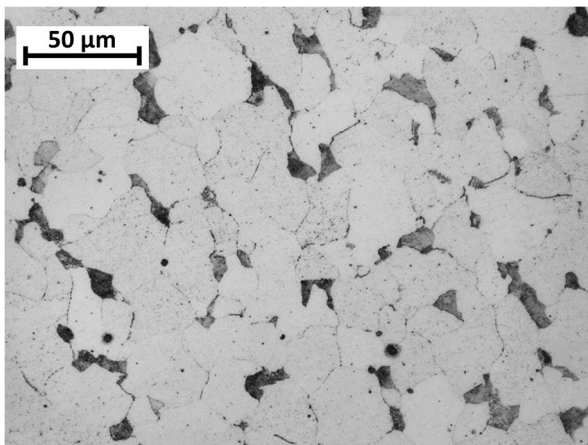
tartalmaz. Ez az acéltípus viszonylag olcsónak tekinthető, ezért azt előszeretettel alkalmazzák az állandó szerszámcserek miatti költségek minimalizálása érdekében.

3.2 A szerszám szövetszerkezetének vizsgálata

Az 2. ábra a vizsgált forrasztószerszám szövetszerkezetének optikai mikroszkópos felvételeit szemlélteti.



a)



b)

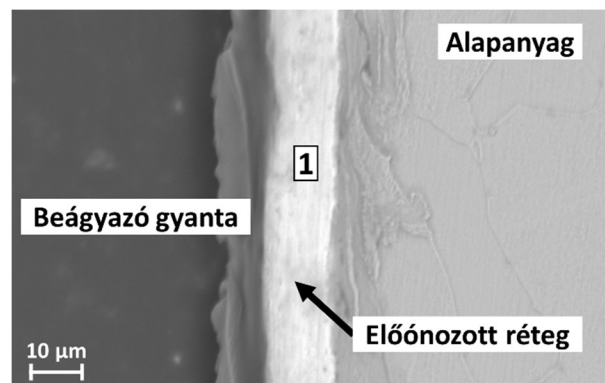
2. ábra: A fúvóka szövetszerkezete a) 50x nagyítás alatt b) 500x-os nagyítást alkalmazva

Az 2.a ábrán 50x-es nagyításban a soros szövet a szerszám alakadása következtében alakult ki. A szerszám külső és belső geometriáját is egyaránt valamilyen melegalakítási eljárással végezték el. A szövet az ötvözetlen acélok esetében a leggyakrabban tapasztalt ferrit-perlit szövetelemekből áll. A perlit mennyisége a szövetben kevés (2.b ábra), ezért a főleg ferrites szerkezet miatt az ilyen típusú acélok

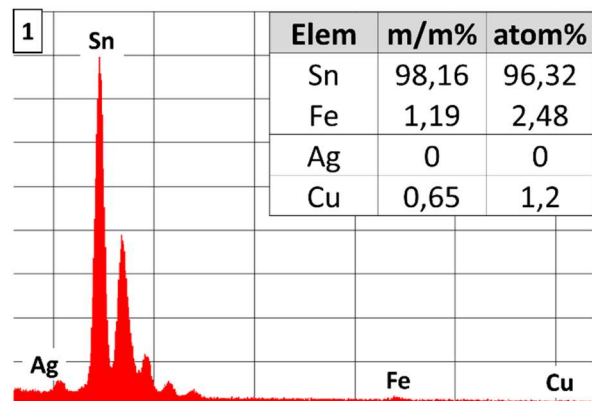
szakítószilárdsága alacsony, azonban ez a forrasztószerszámok esetében az alkalmazhatóságot nem befolyásolja.

3.3 Az új fúvóka mikroszerkezet vizsgálata

A nedvesítő forrasztószerszámok esetében fontos kritérium, hogy az ólommentes forrasztószerszám megfelelően nedvesítse a szerszám csúcsát és annak palástját, ezért a jobb nedvesítés elérése érdekében a szerszám külső és belső felületére egyaránt egy jól nedvesítő réteget visznek fel. A 3.a ábra ezt a réteget szemlélteti



a)



b)

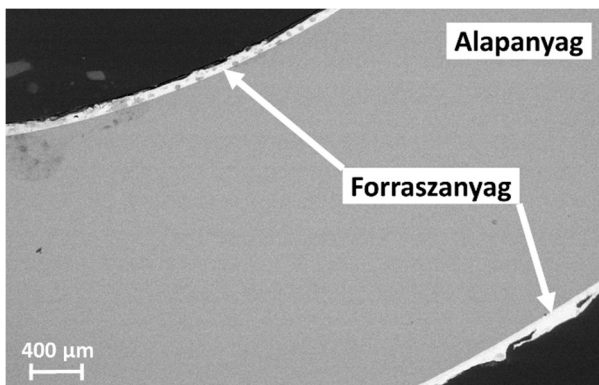
3. ábra: a) Az új fúvóka felületén kialakított előőnozott réteg b) Az előőnozott réteg EDS spektruma

A 3.a ábrán egy kompakt, 12-15 μm vastag réteg figyelhető meg az acélszerszám felületén, elvégezve a réteg EDS vizsgálatát pedig az is kiderül, hogy az nagy tisztaságú ónból áll (3.b ábra). A forrasztószerszámok felületét tehát az ón alapú ólommentes forrasztószerszámokkal való jó nedvesítés biztosítása érdekében nagy tisztaságú ónnal előőnozzák. Ez a réteg

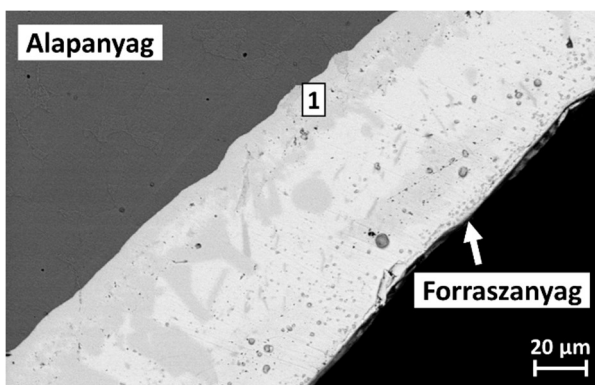
biztosítja az állandó stabil forraszhullámot a forrasztási eljárás során.

3.4 A használt fúvóka mikroszerkezet vizsgálata

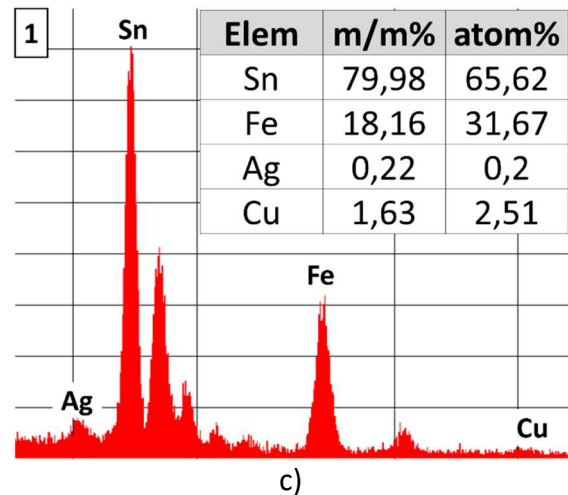
Az előőnozott réteg ugyan biztosítja a szerszám jó nedvesíthetőségét, azonban nem akadályozza meg annak gyors tönkremenetelét. Mivel a szerszám a forrasztási technológia miatt üreges, a forraszolvadék egyaránt érintkezik a külső és belső felületre felvitt előőnozott réteggel (4. a ábra), így a szerszám degradációja mindkét felületen megtörténik, ami gyorsítja a fúvóka tönkremenetelét. Mivel a forraszanyag folyamatosan áramlik, az állandó olvadék utánpótlás miatt a felület tönkremenetele tovább gyorsul.



a)



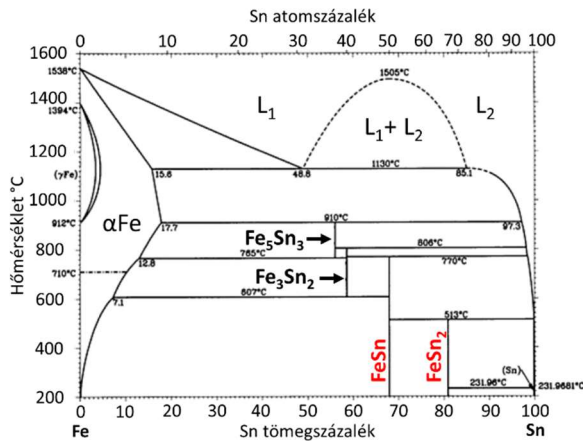
b)



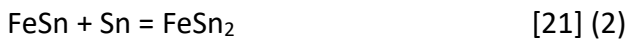
c)

4. ábra: A használt szerszám pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálata a) a szerszám külső és belső keresztmetszete, b) intermetallikus fázis a szerszám felületén c) az intermetallikus fázis EDS elemzése

Az előőnozott réteg olvadáspontja gyakorlatilag megegyezik a tiszta ón olvadáspontjával (231,9 °C [18]) ami csak minimálisan nagyobb az iparban gyakran alkalmazott SAC305-ös ón alapú forraszötvözet olvadáspontjához képest (220 °C [19]). Ráadásul az ipari alkalmazás során a folyamatos stabil forraszhullám biztosítása érdekében ezeket a forraszanyagokat jóval az ötvözet olvadáspontja fölé melegítik. Ez azt jelenti, hogy az előőnozott réteg rövid időn belül feloldódik a forraszolvadékban és a helyét a forraszanyag veszi át. Az acél / forraszanyag határfelületen egy intermetallikus vegyületfázis képződik (4.b ábra) ami az idő előrehaladtával folyamatosan vastagodik. A 4.c ábra az intermetallikus vegyületfázis összetételét mutatja a 4.b ábra 1-es számmal jelölt pontjában. Megfigyelhető, hogy vas atomok oldódnak ki a szerszám acél alapanyagából és a szerszám / forraszanyag határfelületen az Fe-Sn kétalkotós egyensúlyi fázisdiagram szerint (5. ábra) a koncentráció függvényében a forrasztási hőmérsékleten FeSn vagy FeSn₂ intermetallikus vegyületfázis fog keletkezni, ahogy azt az (1, 2) reakcióegyenletek is szemléltetik.



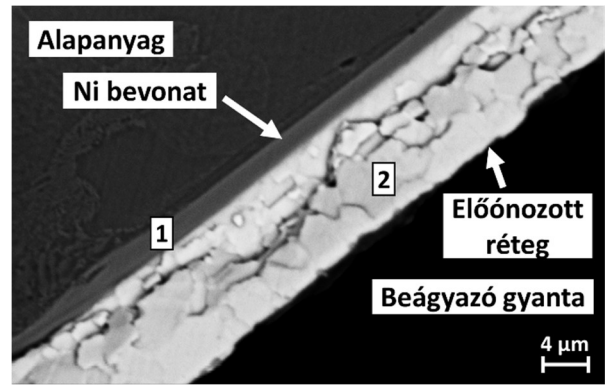
5. ábra: A Fe-Sn kétalkotós egyensúlyi fázisdiagram [20]



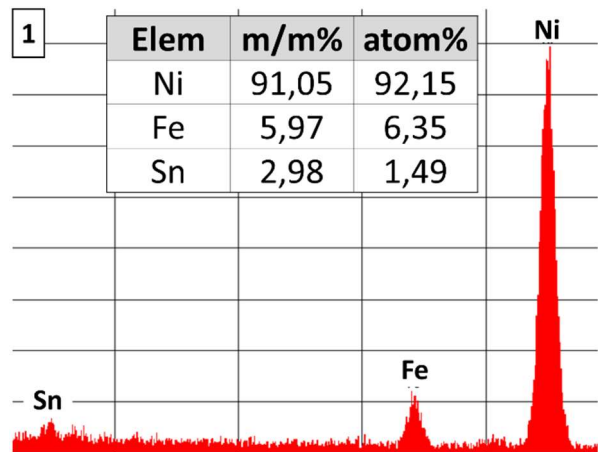
Ebben az esetben az elemek atomszázalékos arányát összehasonlítva FeSn_2 keletkezett (4.c ábra). Az Fe diffúziója az intermetallikus fázisba folyamatos, így ahol a diffúzió gyorsabb, ott a szerszám felületének folytonossága zavart szenved, így a forraszhullám stabilitása megszűnik, ami a szerszám cseréjét vonja maga után. Az acél és az intermetallikus fázis eltérő hőtágulási együtthatójának köszönhetően [22] a réteg lepattog a szerszám felületéről, így a forraszanyag ismét szabadon érintkezik az acéllal, az eróziós folyamat pedig újrakezdődik.

3.5 A felújított fúvóka mikroszerkezet vizsgálata

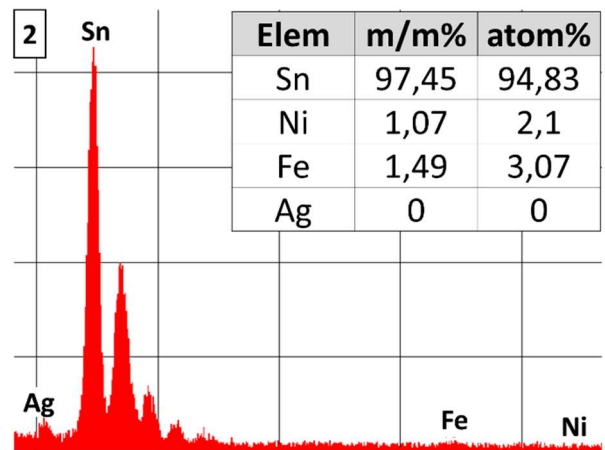
A fúvóka felújítása előtt a használt szerszám felületéről eltávolítják a megszilárdult forraszanyagot és az FeSn / FeSn_2 intermetallikus vegyületfázist, valamint lecsiszolják azt a felületi egyenetlenségek eltávolítása érdekében. Ezt követően a fúvóka felületére olyan bevonatot visznek fel, amely biztosítja a szerszámfelület jó nedvesíthetőségét a forraszolvadékkal szemben (6.a ábra).



a)



b)

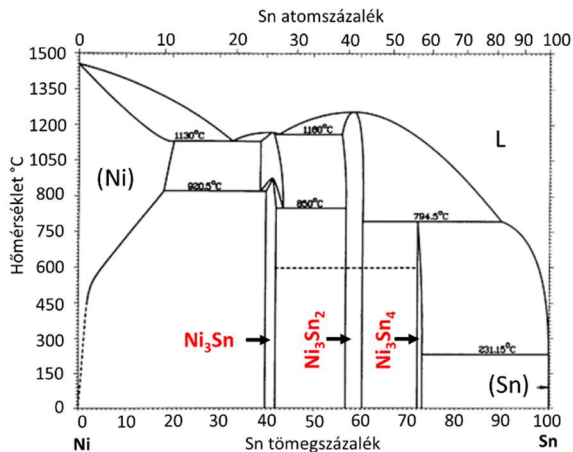


c)

6. ábra: A felújított fúvóka mikroszerkezet vizsgálata a) keresztmetszeti SEM felvétel, b, c) a különböző felületi rétegek összetételének elemzése

A mikroszerkezet vizsgálatok során kiderült, hogy a szerszám felújítása során két különböző réteget is leválasztanak az acélszerszám felületére. A rétegek összetételének elemzését a 6.b és c ábra szemlélteti. Először egy kb. 2 μm vastagságú Ni réteget hoznak létre a szerszám felületén, majd arra szintén egy előőnozott

réteg kerül. Az előőnozott rétegről már ismertem, hogy a legtöbb vállalat által alkalmazott Sn alapú ólommentes forrasanyagok jól nedvesítik, azonban a réteg idővel beoldódik és a forraszolvadék közvetlenül a Ni réteggel kerül érintkezésbe. A szakirodalomban ismert, hogy az Sn olvadék és az Sn alapú forraszolvadékok is jól nedvesítik a Ni szubsztrát felületét [23]. A Ni réteg azonban nem jelent végleges megoldást a forrasztószerszám acél alapanyag / forrasanyag határfelületen kialakuló FeSn, vagy FeSn₂ vegyületfázis kialakulásának megakadályozására. A Ni-Sn kétalkotós egyensúlyi fázisdiagram értelmében (7.ábra) a forrasztás hőmérsékletén az alkotók között Ni₃Sn, Ni₃Sn₂ és Ni₃Sn₄ intermetallikus vegyületfázisok is keletkezhetnek az alkotók koncentrációjának függvényében a (3-5) reakcióegyenletek szerint. A Ni és az Sn között kialakuló intermetallikus vegyületfázisok kialakulása a szakirodalom számára is ismert [24,25].



7. ábra: A Ni-Sn kétalkotós egyensúlyi fázisdiagram [20]



A vegyületfázis kialakulását több szakirodalomban is megerősítik. A szerszám acél alapanyagának károsodása tehát amint a Ni réteg is teljesen elvékonyodik, vagy átlukad, ismét be fog következni. A Ni réteg lassítja a degradációs folyamat kialakulását, azonban nem

jelent teljes megoldást az acél fúvóka károsodásának megakadályozására.

4. Következtetések

(1) Az ipari forrasztószerszámok tönkremenetele az ólommentes forrasanyagok bevezetésével jelentősen felgyorsult.

(2) A tönkremeneteli mechanizmus hasonlóan megy végbe, mint a kézi forrasztópáka degradációja során.

(3) Az előőnozott réteg csak a jó nedvesítés biztosítását szolgálja, a szerszám degradációját nem akadályozza meg.

(4) Az ipari forrasztószerszámok tönkremenetelét az acél / forraszolvadék határfelületen kialakuló FeSn és FeSn₂ intermetallikus vegyületfázis képződése, vastagodása és leválása okozza.

(5) A szerszám felújítása során a felületre felvitt Ni réteg csak lassítja a fúvóka tönkremenetelét, teljes megoldást azonban nem jelent az FeSn, FeSn₂ intermetallikus vegyületfázisok képződésével járó degradációs folyamatok megakadályozására.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Kovács Árpádnak a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokért, Márkus Zoltánnak és Boda Sándornak a mintakivágásokért, illetve Márkus Zoltánnak és Bodnárné Nyári Napsugárnak a mintaelőkészítésekért.

Támogatás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Felhasznált irodalom

- [1] Sandeep, M.; Elviz, G.; Michael, O.; Michael P. High lead solder (over 85 %) solder in the electronics industry: RoHS exemptions and alternatives, *J. Mater. Sci: Mater Electron.* **2015**, 26, 4021–4030.
- [2] Thaddeus, B. M. *Binary Alloy Phase Diagrams*; American Society for Metals; Metals Park, Ohio, 1986; pp. 1092.
- [3] Pavel, P.; Anne, T.; Vladimir, T.; Nicolas, E. The role of intermetallics in wetting in metallic systems, *Scripta Materialia* **2001**, 45, pp. 1439-1445
- [4] https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/restriction-of-hazardous-substances_en
- [5] Mel, S. *Soldering understanding the basics*; ASM International; Materials Park, Ohio, 2014; pp. 31-45.
- [6] https://www.elexp.com/media/wysiwyg/cms-pdfs/Weller_Coping_with_Lead_Free.pdf
- [7] Meng, Z.; Liang, Z.; Zhi-Quan, L.; Ming-Yue, X.; Lei, S. Structure and properties of Sn-Cu lead-free solders in electronics packaging, *Science and Technology of Advanced Materials*, **2019**, 20:1, pp. 421-444.
- [8] Hubertus, G.; Malcolm, N. Equations of state of several iron–tin intermetallic compounds, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **2006**, 67, pp. 2027-2032.
- [9] Hubertus, G.; Malcolm, N. High pressure X-ray diffraction study of all Fe–Sn intermetallic compounds and one Fe–Sn solid solution, *Journal of Alloys and Compounds*, **2006**, 422, pp. 132-144.
- [10] Huei-Sen, W.; Ken-Do, H.; Mei-Hui W.; Yan-Zong, S. A Comparison of Corrosion Behavior of a Super Duplex Stainless Steel and an Austenitic Stainless Steel in a Molten Sn-3.0Ag-0.5Cu Lead-Free Solder, *Materials Transactions*, **2012**, 53:6, pp. 1148-1153.
- [11] Tsuneo, I. The Reaction of Solid Iron with Molten Tin, *J. Japan Inst. Metals*, **1973**, 35, pp. 37-44.
- [12] Yu-chih, H.; Sinn-wen, C.; Wojciech G.; Chia-hua, C.; Jen-chin, W. Dissolution and interfacial reactions of Fe in molten Sn-Cu and Sn-Pb solders, *J. Mater. Res*, **2007**, 22:10, pp. 2924-2929.
- [13] Yu-Chih, H.; Wojciech, G.; Sinn-Wen, Chen. Sn–Bi–Fe thermodynamic modeling and Sn–Bi/Fe interfacial reactions, *Intermetallics*, **2010**, 18, pp. 984-991.
- [14] Kato, H.; Husain, N. A. B. A. H.; Senda, H.; Kondo, Y.; Ming, Z. Enhancement of interfacial reaction between solid iron and molten tin by mechanical actions, *Materials Science and Technology*, **2014**, 30, pp. 944-950.
- [15] Hiroshi, N.; Tadashi, T.; Kouichi, K.; Takashi U.; Norihisa, S. Effect of Iron Plating Conditions on Reaction in Molten Lead-Free Solder, *Materials Transactions*, **2004**, 45:3 pp. 741-746.
- [16] Tadashi, T.; Takashi, U.; Morio, Y. Dissolution rates of iron plating on soldering iron tips in molten lead-free solders, *Soldering & Surface Mount Technology*, **2004**, 16:3, pp. 9-15
- [17] Tadashi, T.; Masaharu, T. Dissolution of stainless steels in molten lead-free solders, *Soldering & Surface Mount Technology*, **2006**, 18:3, pp. 24-30.
- [18] Laxmikanta, K.; Debajyoti, D. Melting point of Sn as the optimal growth temperature in realizing the favored transparent conducting properties of In₂O₃: Sn films, *Journal of Alloys and Compounds*, **2018**, 767, pp. 642-650.
- [19] Elviz, G.; Diganta, D.; Michael, O.; Michael, P. Thermal Cycling Reliability of Lead-Free Solders (SAC305 and Sn3.5Ag) for High Temperature Applications, *IEEE Taransactions on Device and Materials Reliability*, **2011**, 11:2, pp. 328-338.
- [20] ASM International, The Materials Information Company, ASM Handbook, Alloy Phase Diagrams V3, **1992**.

- [21] Benke, M.; Salyi, Zs.; Kaptay, G. Investigation of dissolution resistance of blank and gas-nitrided carbon steels in stationary SAC305 solder alloy melt, *J. Min. Metall. Sect. B-Metall.* **2018**, 54:3 B, pp. 283-290.
- [22] Stromberg, F.; Keune, W.; Kuncser, V. E.; Westerholt, K. Fe-coverage-induced out-of-plane spin components of the antiferromagnetic spin structure in exchange-biased Fe/FeSn₂ bilayers, *Physical Review B*, **2005**, 72, pp. 1-11.
- [23] Yulong, L.; Zhiliang, W.; Weifeng, L.; Min L.; Xiaowu H. Wetting kinetics and spreading phenomena of Sn-35Bi-1Ag solder on different substrates, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **2018**, pp.1-11.
- [24] Adrian, L.; Christoph, K.; Christian, L. Characteristics of Reactive Ni₃Sn₄ Formation and Growth in Ni-Sn Interlayer Systems, *Metallurgical and Materials Transactions A*, **2016**, 47A, pp. 2596-2608.
- [25] Ayumu, O.; Takayuki, K.; Tatsuaki, Y. Characterization and catalytic properties of Ni-Sn intermetallic compounds in acetylene hydrogenation, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2000**, 2, pp. 2999-3005.
- [26] Anthony, P. G. S. *Thermitic Thermodynamics A Computational Survey and Comprehensive Interpretation of Over 800 Combinations of Metals, Metalloids, and Oxides*, CRC Press, Taylor & Francis Group, **2020**, pp. 1057-1058.