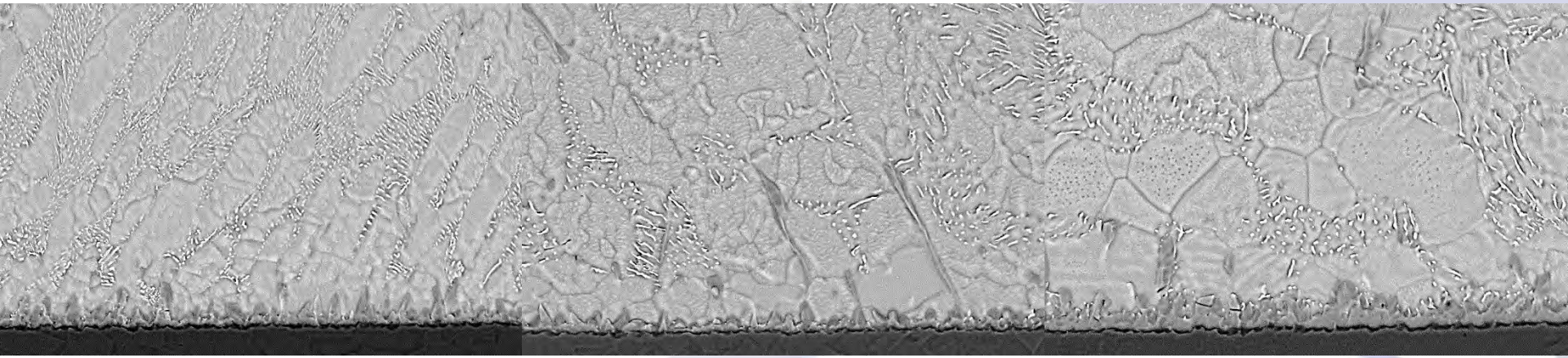


Ón alapú lágyforrasztott kötésekkel kapcsolatos alapismeretek



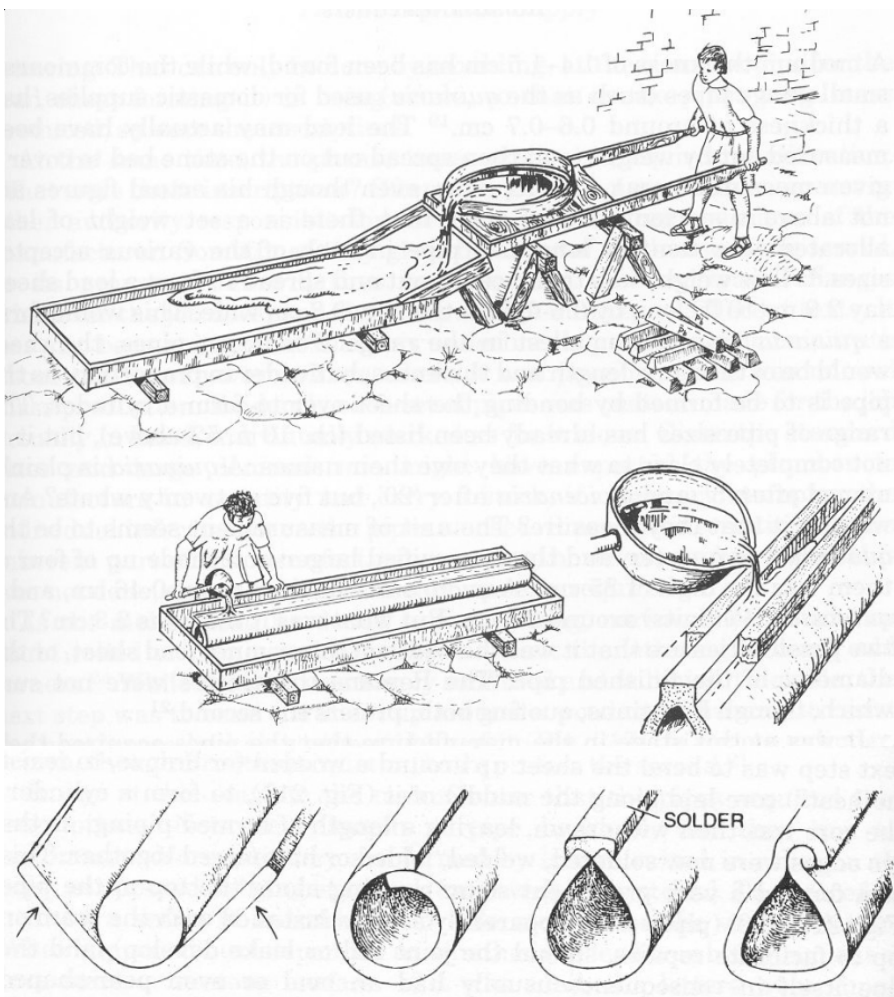
Az előadás témakörei:

- Néhány fontos dátum a forrasztás történetéből
- Forrasztási alapismeretek
- RoHS és WEEE irányelvek hatásai a lágyforrasztók alkotóira
- Ólommentes Sn alapú forrasztóanyag családok
- SAC forrasztók megszilárdulásakor lejátszódó folyamatok
- SAC305 forrasztóanyag szemcseszerkezete
- SAC forrasztóanyagok jellemzői
- Esettanulmányok:
 - Hőciklus- és hősokk tesztek

Néhány fontos dátum a forrasztás történetéből

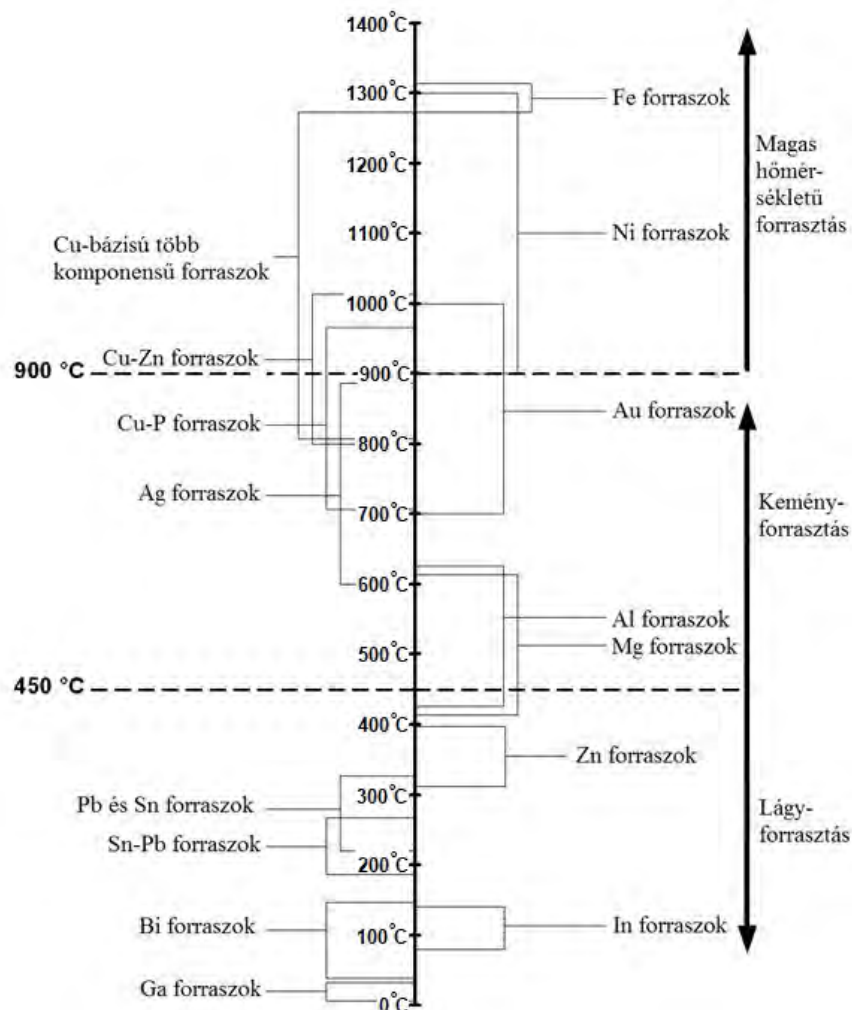
- **i.e. 3200** – Az ókori mezopotámia sumér királysírjaiban talált vázákon, csészéken, bronz kardokon keményforrasztási nyomok láthatóak.
- **i.e. 2500** – Az egyiptomi aranyművesek már a forrasztási munkák egész sorát ismerték. A forrasztóéggő egy agyagvéggel ellátott cső volt. Már használtak arany-ezüst forrasztótvözetet forraszként, ugyanis az „elektrum” elnevezésű, legalább 20%-os ezüstartalmú természetes arany ötvözet ásványként is megtalálható [26].
- **i.e. 2000** – ön alapú forrasztanyag alkalmazása, bronz tárgyak forrasztására Egyiptomban. Innentől kezdve a lágyforrasztás először a Földközi-tenger környékén terjedt el. A krétaiaktól először az etruszkok, majd a rómaiak, tunéziaiak, spanyolok és még sokan mások is megtanulták.
- **i.e. 2. század** – az ókori Ostia kikötőjéből származó talajrétegek elemzése ólomcsövek használatára utaló nyomokat tartalmazott. Ezek a legkorábbi leletek, melyek a rómaiak ólomcső használatának kezdeteiről árulkodnak.
- **i.e. 1. század** – Marcus Vitruvius Pollio római építész a „De Architectura” című munkájában figyelmeztet az ólommérgezés veszélyeire, ami az csövek előállítás és azok használata során jelentkezhet [2]. Az ókori rómaiak képesek voltak 400 méter hosszú, akár 18 bar túlnyomást is elviselő ólom vízcsöveket készíteni, ahol a cső gyártás során már alkalmaztak forrasztási technológiát is.
- **1760** – Klein, Johann Georg Friedrich: Ausführliche Beschreibung der Metalllothe und Löthungen című könyvében bádigosok által alkalmazható forraszként adta meg 3 ¼ font ön és 2 font ólom ötvözetét. Ez megegyezik az elektronikai ipar által használt eutektikus ön-ólom forrasszal!
- **2006 július 1** – a RoHS direktíva ettől a dátumtól tilalmat rendelt el az EU területén forgalomban lévő azon elektromos és elektronikus berendezésekre, amelyek adott határérték feletti mennyiségben tartalmaztak ólmot, kadmiumot, higanyt, hatértékű krómot, valamint polibrómozott bifenil (PBB) és polibrómozott difeniléter (PBDE) tartalmú égésgátlókat. A rendelet csak néhány „műszaki okok miatt elkerülhetetlen” kivételt tartalmazott.

Ólomcsövek gyártása: olvasztás, síklemez készítés, hajlítás, forrasztás



Az ókori rómaiak az ólom vízcsövek forrasztására használt ón-ólmot ötvözetre a „tertarium” megnevezést használták. Ez az ötvözet egy rész ónt és két rész ólmot tartalmazott (240-183°C).





Lágyforrasztás:

- 450°C olvadáspont alatti hőmérséklet
- Rendszerint Sn-Pb ötvözet (volt 2006-ig)
- Kis szilárdságú kötés 30-60 N/mm² (tehermentesítés)
- Elektronikai iparban: Sn63Pb37 (183°C)

Keményforrasztás:

- 450 °C olvadáspont feletti hőmérséklet (jellemzően 650°C felett)
- Réz-cink, ezüst-réz-cink
- Nagy szilárdságú, akár 500 N/mm²-t elérő szakítószilárdság (pl. Cu-P és Cu-Ag-P forraszoknál a kötés szilárdsága 350-450 MPa.)

Magas hőmérsékletű forrasztás:

- Olvadási hőmérséklet 900 °C felett (Cu bázisú több komponensű forraszók)

RoHS és WEEE irányelvek

2002. október 11-én az EU jóváhagyta a

- WEEE 2002/96/EC (The Waste From Electrical And Electronic Equipment) és az
- RoHS 2002/95/EC (Restriction of Hazardous Substances) direktívákat.
- Az RoHS rendelet magyar megfelelője a 16/2004. (X.8.) KvVM-rendelet az egyes veszélyes anyagok elektromos és elektronikai készülékekben való alkalmazását korlátozza.
- A rendelet megtiltja négy nehézfém (ólom, kadmium, higany, 6-vegyértékű króm), polibromid bifenil (PBB)- és difenil-éterek (PBDE) használatát **2006. július 1-jétől** az elektronikus készülékekben.
- A határértékek homogén anyagban még elfogadható maximális tömegszázalékos koncentrációra vonatkoztak!
- A rendelet alól ekkor még számos terület mentességet kapott.



2011/37/EU IRÁNYELV „End of Life Vehicles”

- (1) A 2000/53/EK irányelv a II. mellékletében felsorolt esetek kivételével és az abban rögzített feltételekkel tiltja az ólom, a higany, a kadmium és a hat vegyértékű króm felhasználását a 2003. július 1. után forgalomba hozott járművek anyagaiban és alkatrészeiben. A 2000/53/EK irányelv 4. cikke (2) bekezdésének b) pontja szerint a Bizottság rendszeres időközönként a műszaki és tudományos fejlődéshez igazítja az irányelv II. mellékletét.

Mentesség:

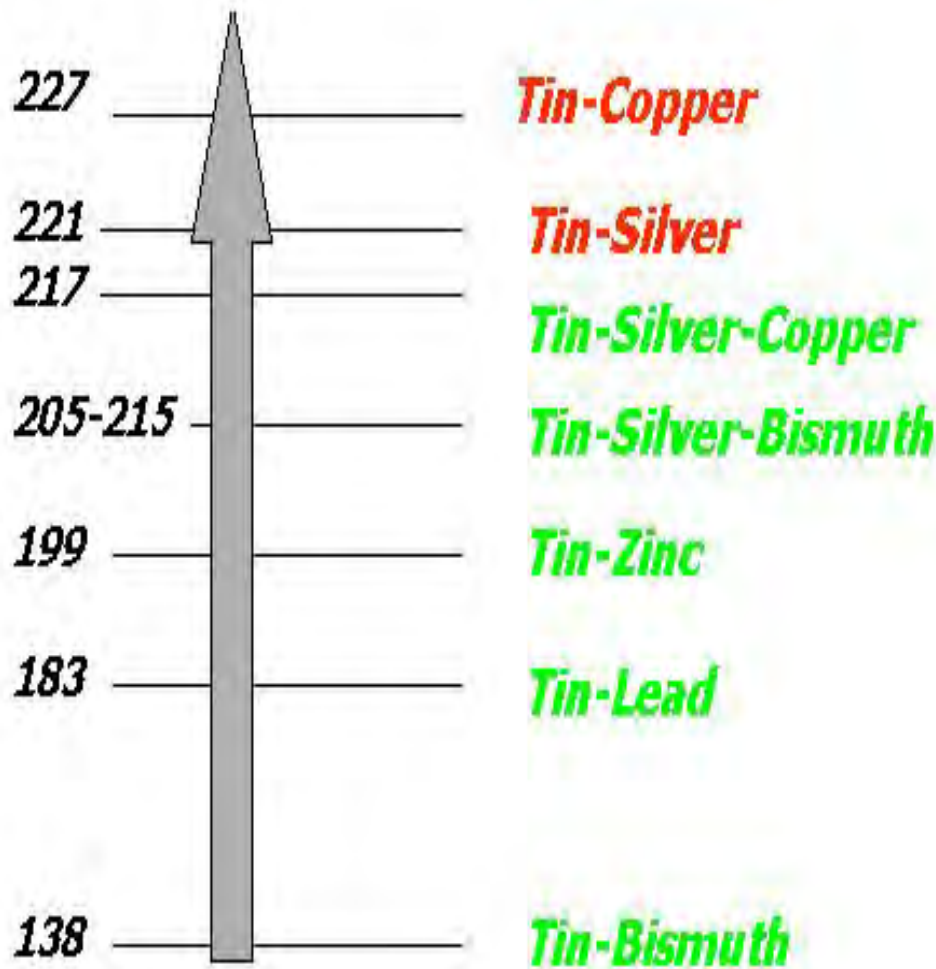
Mentesség hatályának vége

8. a) Elektromos és elektronikus alkatrészek áramköri kártyára való rögzítésére szolgáló ólomtartalmú forrasztanyagok, illetve az alumínium elektrolitkondenzátor kivételével a csatlakozótűkön vagy áramköri kártyán lévő egyéb alkatrészek érintkezőinek ólomtartalmú bevonata	A 2016. január 1. előtt típusjóváhagyást nyert járművek és az e járművekbe szánt pótalkatrészek
--	---

Határértékek:

— Az ólom, a hat vegyértékű króm és a higany esetében a homogén anyagban legfeljebb 0,1 tömegszázalékos maximális koncentráció, a kadmium esetében pedig a homogén anyagban legfeljebb 0,01 tömegszázalékos maximális koncentráció megengedett.

Ólommentes Sn alapú forraszanyag családok



Ólommentes Sn alapú forraszok főbb jellemzői (referencia: SnPb forrasz):

- Nagyobb nedvesítési szögek
- Hosszabb forrasztási idők
- Nagyobb forrasztási hőmérséklet
- Növekvő oxidáció
- Kifejezetten ólommentes forraszokhoz fejlesztett folyasztószerek alkalmazandók
- A forrasztandó felületek gyorsabb beoldódása

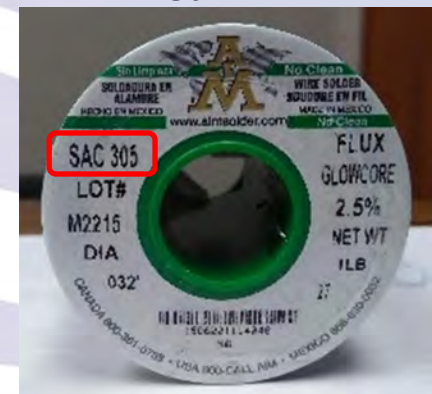
Jelölésre példa:

- SAC305

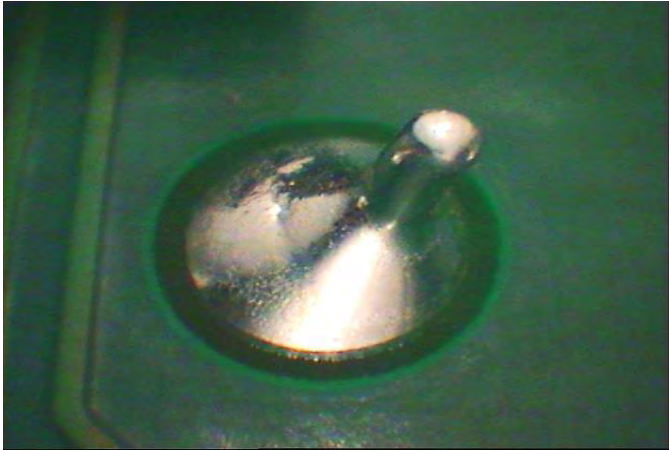
Sn96,5Ag3,0Cu0,5

- TSC0307

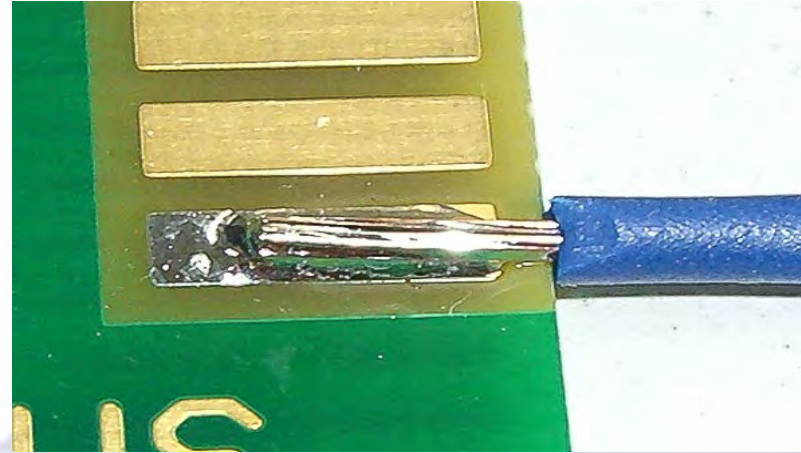
Sn99Ag0.3Cu0.7



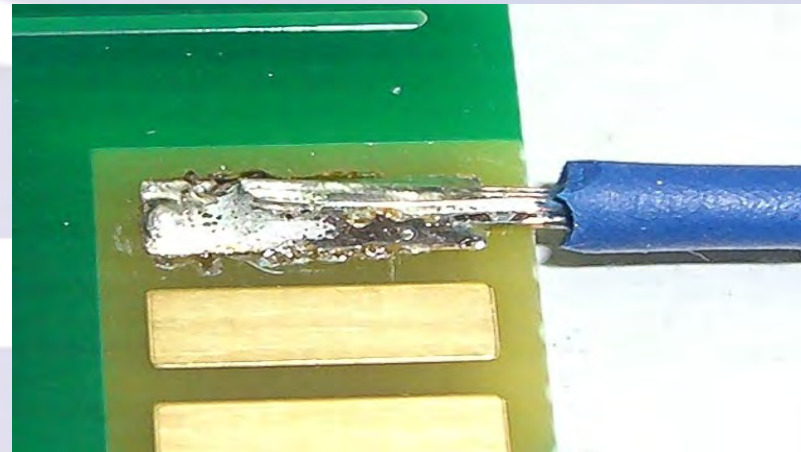
Ólmos és ólommentes forraszkötések vizuális megjelenése



SnPb

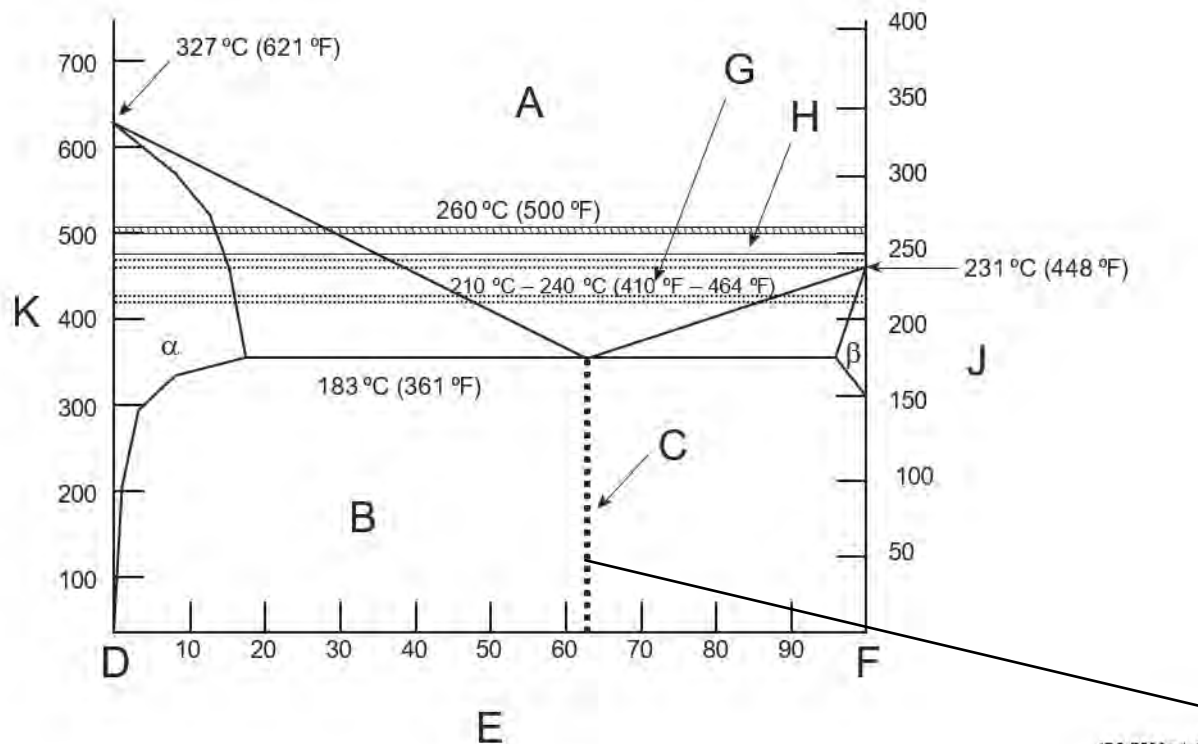


SnAgCu



Klasszikusokat csak pontosan!

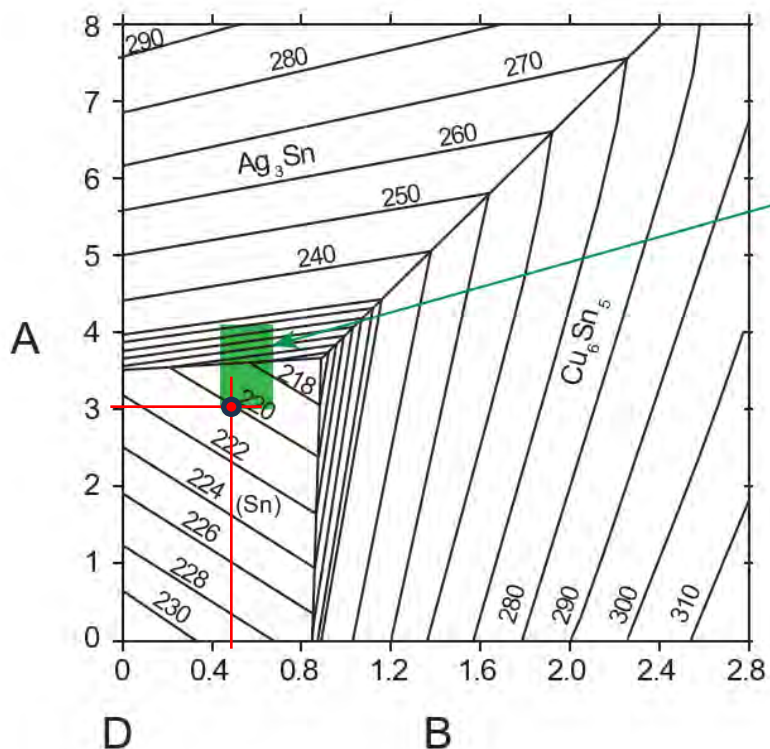
(A már jól ismert SnPb forrasztás fázisdiagramja)



- A – Olvadék
- B – Szilár forrasztás
- C – Eutektikus összetétel - Sn63Pb37
- D – Ólom
- E – Sn tartalom wt%
- F – Ón
- G – Reflow forrasztás hőmérséklet tartománya
- H – Hullám forrasztás hőmérséklet tartománya
- J – Hőmérséklet [°C]
- K – Hőmérséklet [°F]



SAC forraszanyag dermedésekor lejátszódó folyamatok



A – Ag tömegszázalékos értéke

B – Cu tömegszázalékos értéke

C – Ipari gyakorlatban széleskörűen használt forraszok - ezüst 3,5 % - 4 %, réz 0,5 % - 0,7 %, maradék: ón

D – Sn

SAC305 (hipoeutektikus) forrasz lehűlésekor az alábbi fázisok képződnek:

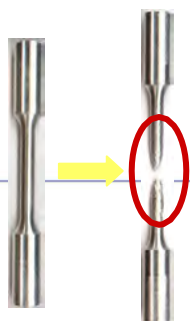
- **Elsődleges fázis:** $\beta\text{-Sn}$ (220-218°C)
- **Másodlagos (monovariáns) fázis:** $\text{Ag}_3\text{Sn} + \beta\text{-Sn}$ (218-217°C)
- **Eutektikum:** $\beta\text{-Sn} + \text{Ag}_3\text{Sn} + \text{Cu}_6\text{Sn}_5$ (217°C)

Megjegyzés:

- $\beta\text{-Sn}$ – ónban dús szilárd oldat
- Ag_3Sn ; Cu_6Sn_5 - intermetallikus vegyületek
- Vickers-keménység: SAC305 (13–18 HV); Ag_3Sn (210-230 HV); Cu_6Sn_5 (350 HV)

Anyagjellemzők összehasonlítása

		Sn-3.9Ag-0.6Cu	Sn-3,5Ag-0.7Cu	Sn-3.0Ag-0,5Cu	63Sn-37Pb
Likvidusz (°C)		218	218	220	183
Szolidusz (°C)		217	217	217	183
Szakítószilárdság (MPa)		43.7	44.0	41.1	34.7
Folyáshatár (MPa)		31.3	35.0	34.2	28.4
Szakadási megnyúlás (%)		40.6	43.4	41.0	91.2
Rugalmassági modulus (GPa)		52	51	50	40
Poisson-tényező		0.35	0.36	0.36	0.37
Fajsúly		7.4	7.4	7.4	8.4
Fajhő (J/g K)		0.22	0.22	0.23	0.18
Hőtágulási együttható (10 ⁻⁶ /K)	20-60 °C	21.4	21.5	---	21.6
	20-100°C	21.8	21.7	21.6	21.6



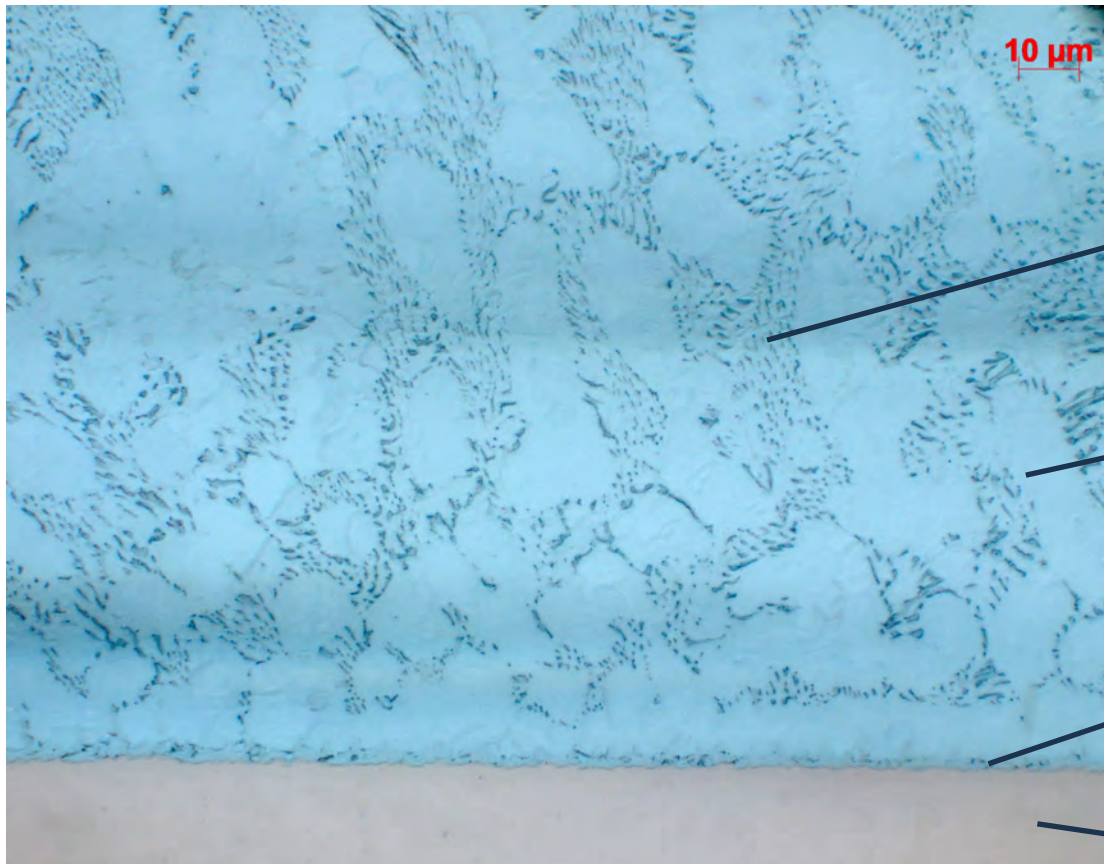
Pl: Próbatest átmérő: 10 mm; Hossza: 50 mm;
Húzási sebesség: 10 mm/min (25°C)

Réz beoldódási teszt (320°C-os SAC305 forraszanyag; 0,2 mm átmérőjű rézvezeték)



SAC305 forraszkötés szemcseszerkezete

260°C-os SAC305 forraszanyag
lehűlése 3 K/s hűtési rátával
(230-200°C között)



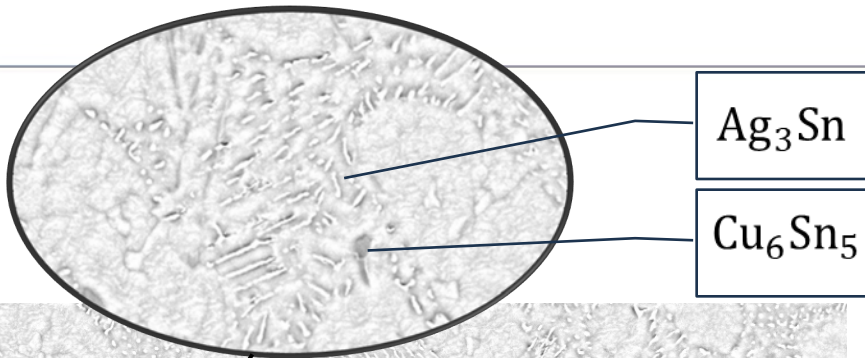
Eutektikum

B-Sn

IML

Cu

SAC305 forraszkötés szemcseszerkezete



Ag₃Sn

Cu₆Sn₅

260°C-os SAC305 forraszanyag
lehűlése 3 K/s hűtési rátával
(230-200°C között)

Eutektikum

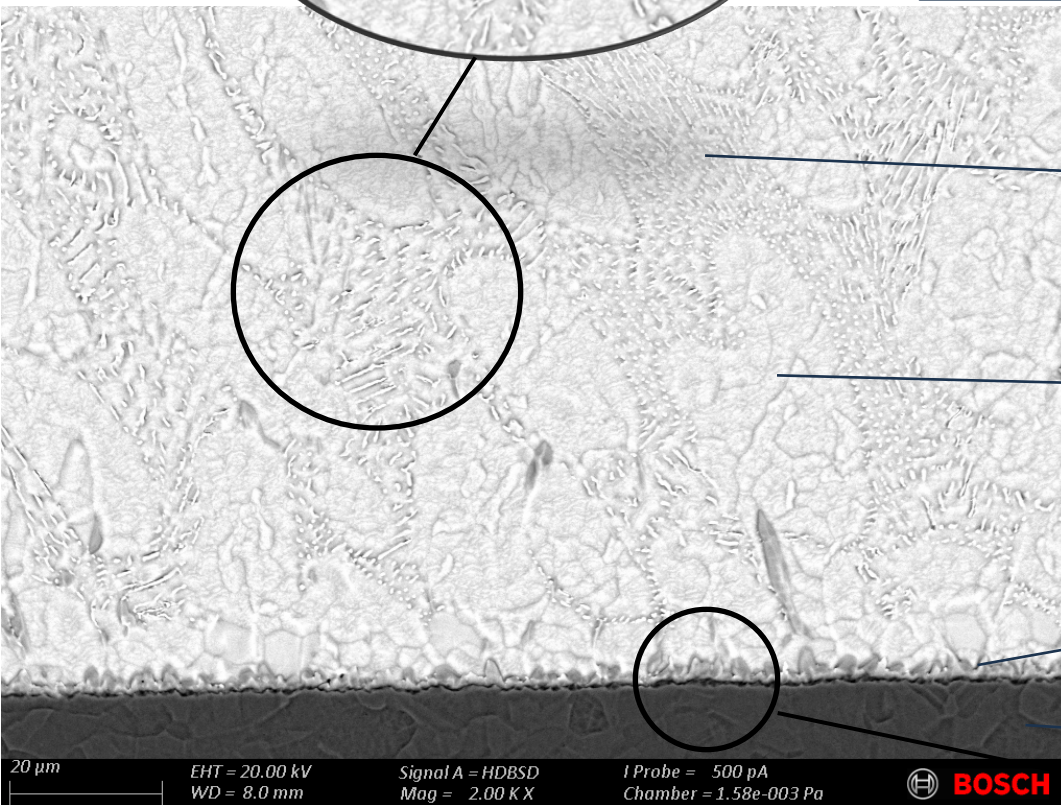
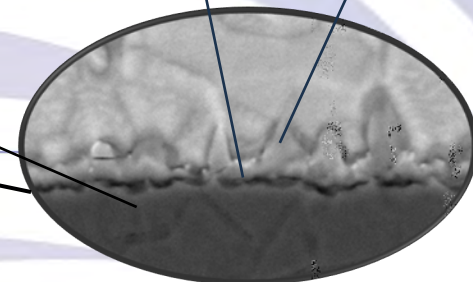
B-Sn

IML

Cu

Cu₃Sn

Cu₆Sn₅



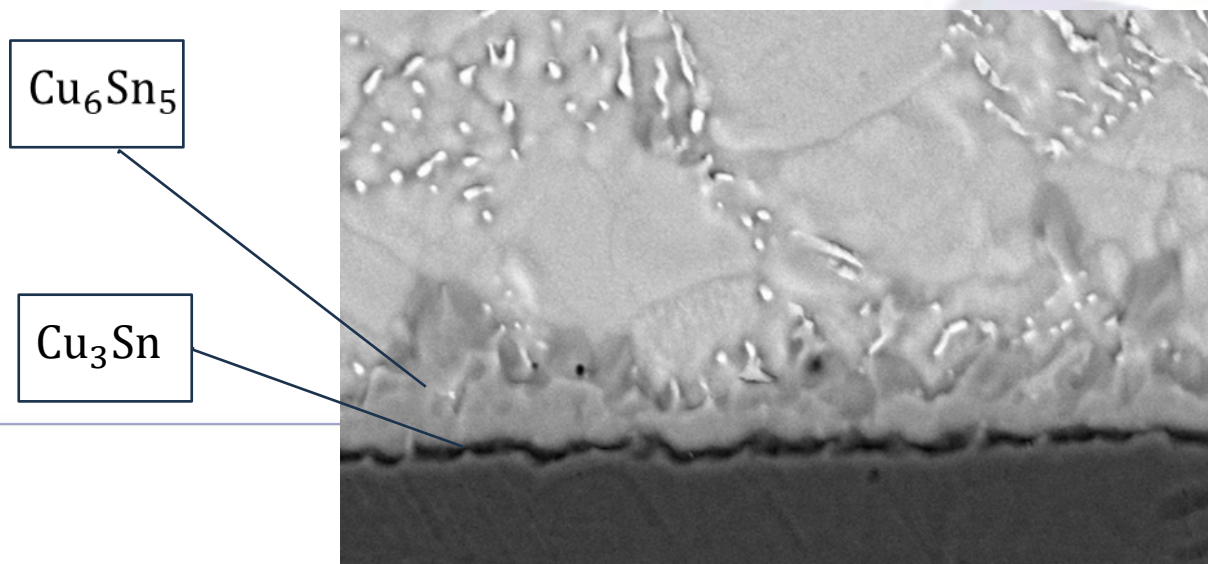
20 µm EHT = 20.00 kV Signal A = HDBSD I Probe = 500 pA
WD = 8.0 mm Mag = 2.00 K X Chamber = 1.58e-003 Pa



H-1034 Budapest, Bécsi út 96/b
maheg@maheg.hu; www.maheg.hu

- SAC forraszanyagok jellemzői:
 - Az intermetallikus vegyületek (Ag_3Sn , Cu_6Sn_5) miatt a kiválásos keményítés alapvetően meghatározza a forrasz mechanikai jellemzőit és azok változásait.
 - A forraszban található Ag_3Sn intermetallikus vegyület formája nagymértékben függ a hűtési rátától (szemcsés, tűs, lemezes).
 - A hőmérsékleti igénybevételek, hőciklusok miatt a $\beta\text{-Sn}$ és a vegyületek méretei nőnek, szerkezetei durvulnak.
 - A forraszanyag és a forraszfelület között létrejövő fémközi réteg (IML) az idő és hőmérséklet hatására vastagszik.
 - Hosszútávon a kötés ridegedik, mechanikai jellemzői romlanak.
 - A kiválásos keményítés korlátozott hőstabilitással rendelkezik.

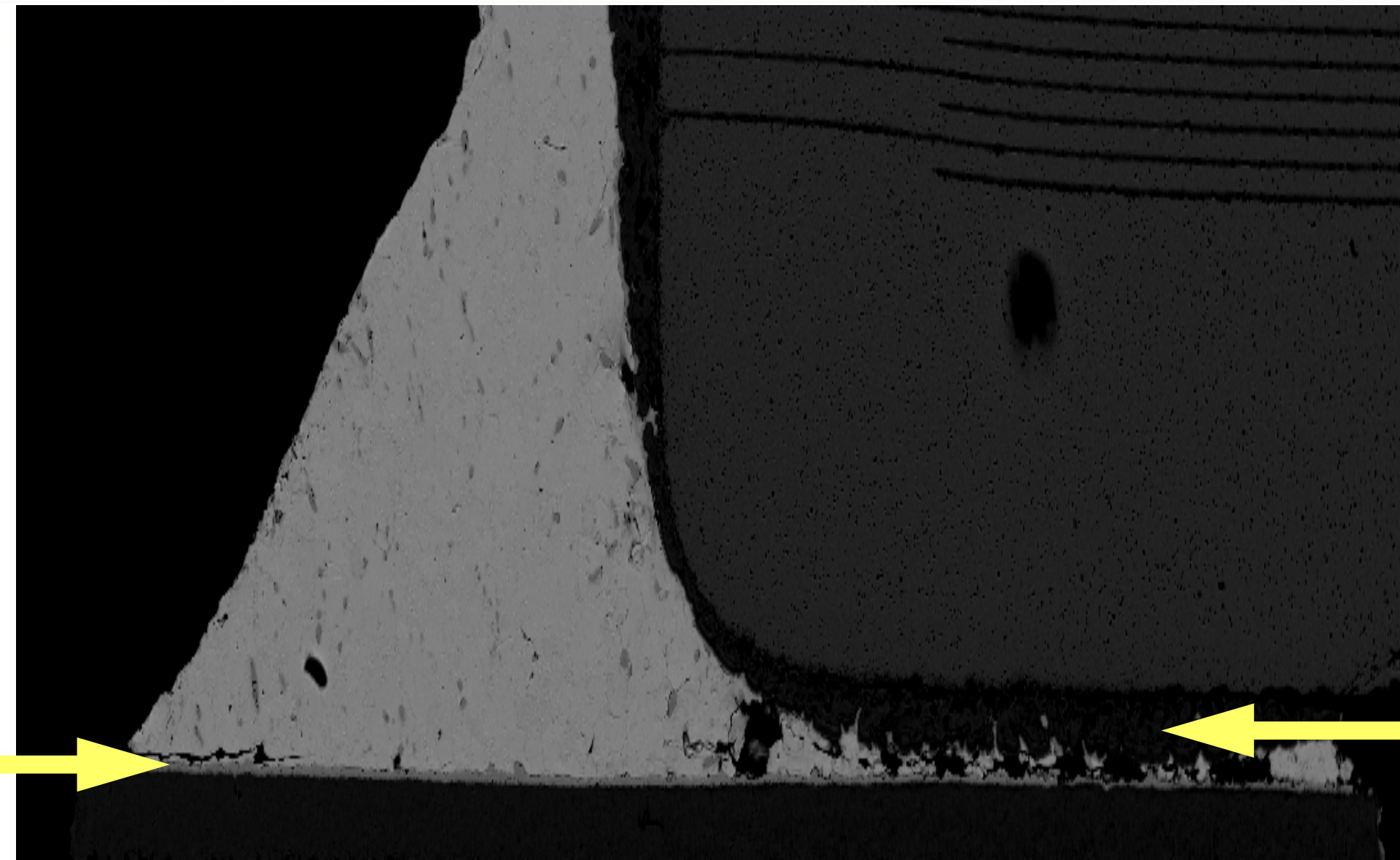
- SAC forraszanyagok és Cu forraszfelület között létrejövő IML:
 - A forrasztás után az IML optimális vastagsága 2-3 μm lenne.
 - Ha ennél vastagabb, akkor a kötés törékennyé válhat (IMC jóval ridegebb, mint a forrasz).
 - A forrasztás során kb. 200 nm vastagságban Cu_3Sn is létrejön az IML réz forrasztási felület felőli oldalán. A termék élettartama során ez nagyobb mértékben növekszik, mint a Cu_6Sn_5 .
 - A Cu_3Sn réteg növekedése felelős elsősorban a kötések előregedéséért!
(Cu_3Sn : 430 HV)



Hosszú távú átalakulási folyamatok:



Esettanulmány Hőciklus teszt



Esettanulmány

Hőciklus teszt

Sn-3,5Ag-0,5Cu

EPMA analízis
(Sn)

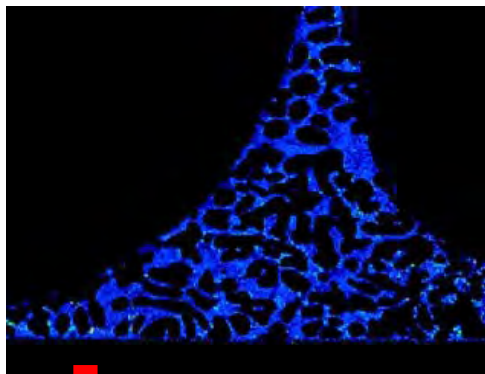
Hőmérséklet: -40 / +125°C

Transzfer idő: 20 perc

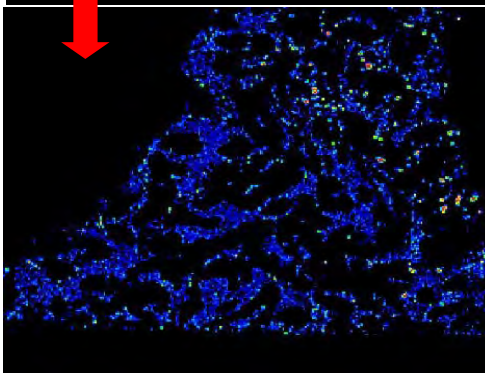
Hőntartási idő: 30 perc

Hőciklus szám: - 1000 ciklus
- 3000 ciklus

0



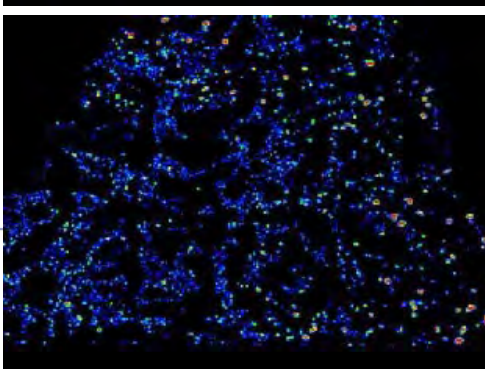
1000



1000 ciklusnál:

- Ag_3Sn kiválások szövetszerkezete torzul

3000



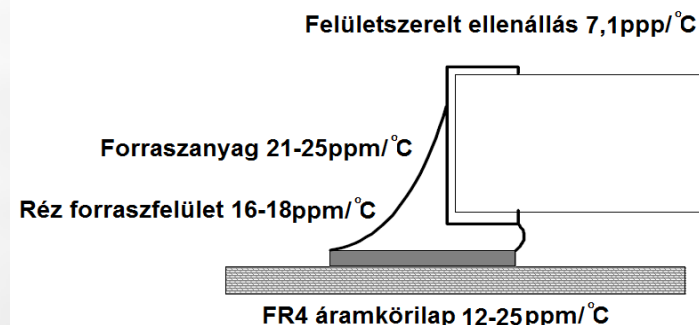
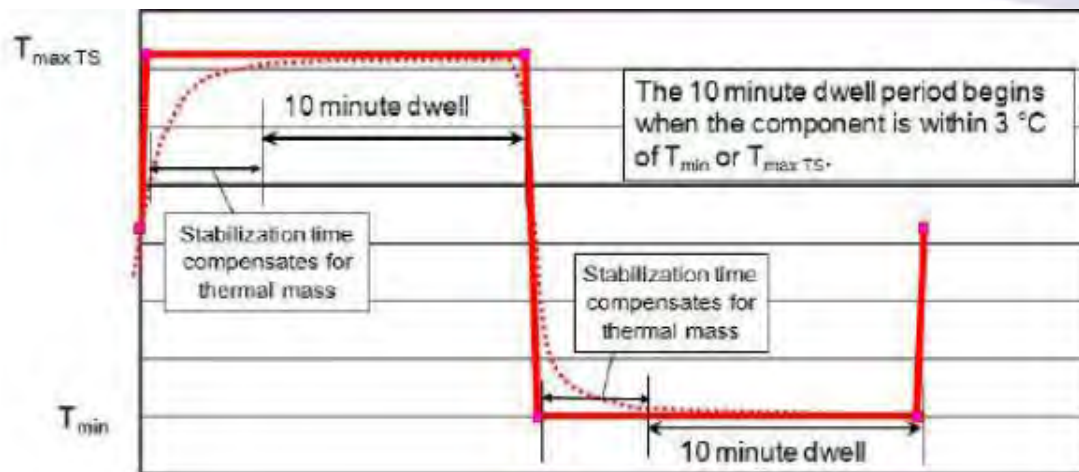
3000 ciklusnál:

- Ag_3Sn kiválások szövetszerkezetének további torzulása, lokális kiválások létrejötte

Esettanulmány

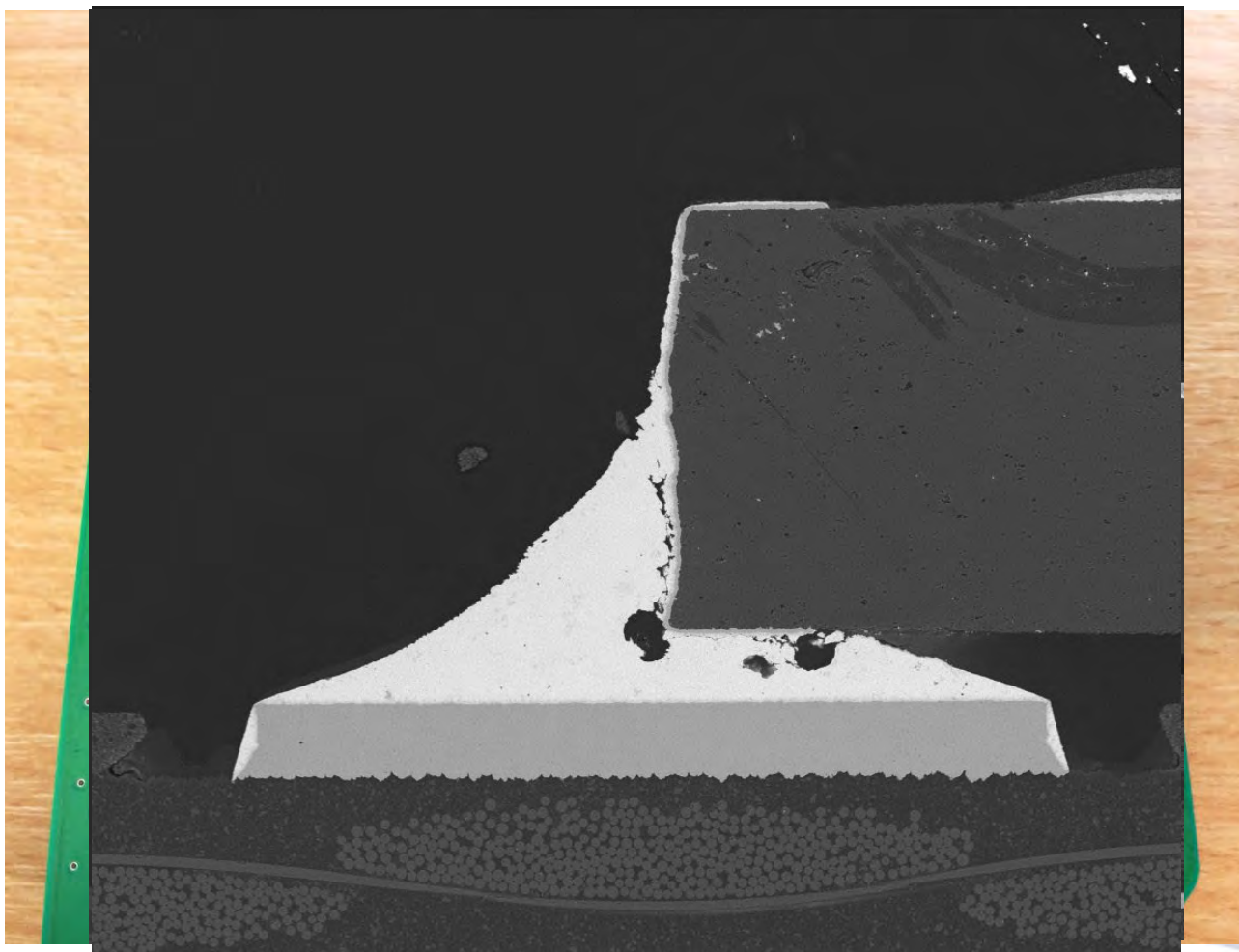
Hőszokk teszt

A hőszokk tesztet elektronikai termékek gyors hőmérséklet-változásokkal szembeni ellenállásának a mérésére használják. Normál esetben egy kétkamrás tesztberendezésben hajtják végre, amelyek pl. -40 és 125°C -osak. A két kamra közt a terméket kevesebb, mint 15 sec alatt mozgatják át egyik kamrából a másikba.



Chip alkatrész forraszkötése
(egyes elemeinek hőtágulási
együtthatója)

Esettanulmány Hőszokk teszt



Autóipari vezérlőegység (SAC305) +125/-40°C / 1000 ciklus / 10sec

Felhasznált irodalom:

- [1] Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment, vol. 037. 2003.
- [2] Commission Directive 2011/37/EU of 30 March 2011 amending Annex II to Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council on end-of-life vehicles Text with EEA relevance, vol. 085. 2011.
- [3] Balázs Illés, Oliver Krammer, Attila Geczy, “Reflow Soldering - Apparatus and Heat Transfer Processes.” Elsevier Science, pp. 41-45 and 196-197, 2020, ISBN: 9780128185056
- [4] K.-W. Moon and W. J. Boettinger, “Accurately determining eutectic compositions: The Sn-Ag-Cu ternary eutectic,” JOM, vol. 56, no. 4, pp. 22–27, Apr. 2004, doi: 10.1007/s11837-004-0068-8
- [5] H.T. Lee, Y.F. Chen, T.F. Hong, K.T. Shih, “Effect of cooling rate on Ag₃Sn formation in Sn-Ag based lead-free solder.” In: 11th Electronics Packaging Technology Conference EPTC, pp. 875–878, 2009, doi: 10.1007/s11664-008-0593-6
- [6] T. Sawamura, T. Igarashi, ”Difference Between Various Sn/Ag/Cu Solder Compositions”
<https://www.almit.com/dloads/Agents/SAC%20Alloy%20Comparison.pdf> Accessed: Jan. 29, 2025.
[Online]