

# Ólommentes forraszkötések gyártástechnológiai fejlesztése és megbízhatósági vizsgálatai

Bódi Béla

Témavezető: Dr. Gonda Viktor

Kutatási beszámoló

2. Félév

2024. 06. 19.

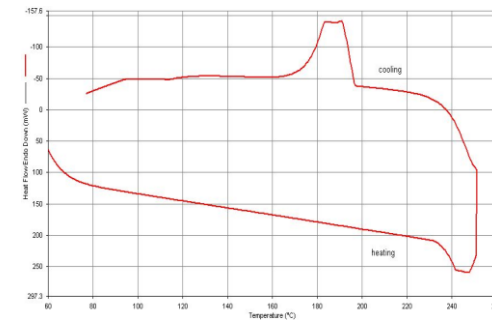
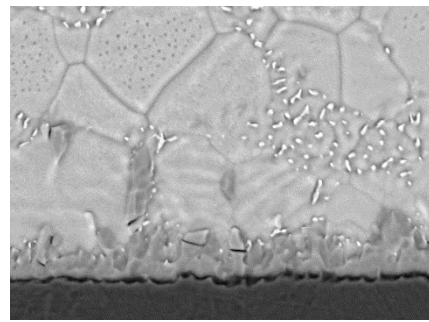
Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

## Ólommentes forraszkötések gyártástechnológiai fejlesztése és megbízhatósági vizsgálatai

- Az **RoHS1** magyar megfelelője a 2002/95/EK irányelv tilalmat rendelt el – néhány kivételtől eltekintve – a forraszanyagokban alkalmazott ólom használatára a **2006. július 1-jétől** forgalomba hozott elektromos és elektronikus berendezésekben. A mentességek időszakonként felülvizgálatra kerülnek.
- Az Európai Bizottság 2011/37/EU irányelve, II. melléklet – **2016. január 1-e** után típus jóváhagyást kapott gépjárművek áramköri szerelvényeinek forraszkötéseinél már nem engedélyezett az ólomtartalmú forraszanyagok használata.
- Az ólommentes forraszanyagok nagyobb olvadáspontja jelentős változásokat okozott mind a forrasztandó elemek (áramköri lapok, alkatrészek) kialakításában, mind a forrasztástechnológiában.
- Az egyre szélesebb körben gyártásba kerülő nagyteljesítményű autóelektronikák (hibrid- és elektromos gépjárművekben megtalálható inverterek / feszültség átalakítók) forraszkötéseivel szemben fokozott minőségi elvárások lépnek fel.

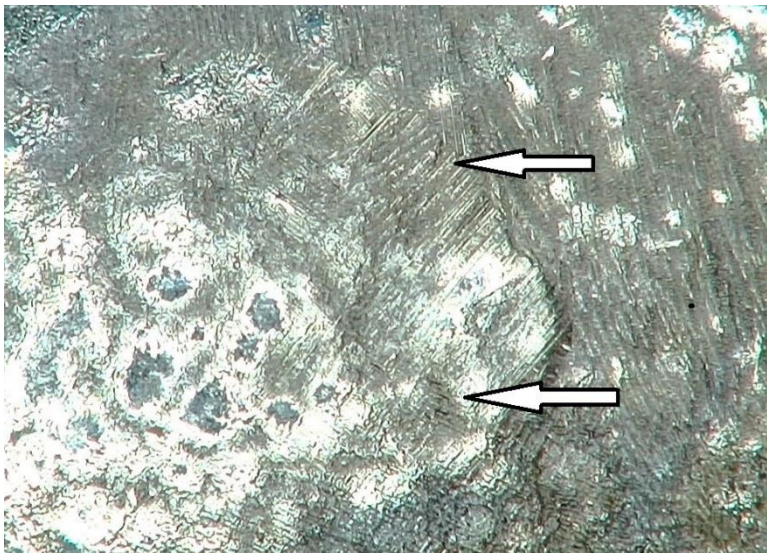
**Cél:** Az autóelektronikai iparban széles körben alkalmazott forrasztóanyag termikus- és szemcseszerkezeti jellemzőinek megismerése. (A később elkészítendő végelem modell elkészítéséhez a forrasztóanyag jellemzőinek megismerése.)

- SAC305 hipoeutektikus ólommentes forrasztóanyaggal, réz felületen forrasztási minták készítése, majd eltérő hűtési rátával lehűtés (hűtési ráták: 7-0,4 °C/s közöttiek).
- A mintákon elvégzett vizsgálatok:
  - Optikai mikroszkópos
  - CT röntgenvizsgálat, majd *VGSTUDIO MAX* szoftverrel a zsugorodási repedések számszerűsítése
- Csiszolatokon elvégzett vizsgálatok:
  - Optikai mikroszkópos (nagyítások: 200x, 500x, 1000x)
  - SEM vizsgálatok és EDS mérések (nagyítások: 500x, 1000x, 2000x, 3500x)
- DSC mérések (tömör forrasztó és forrasztópasztán)

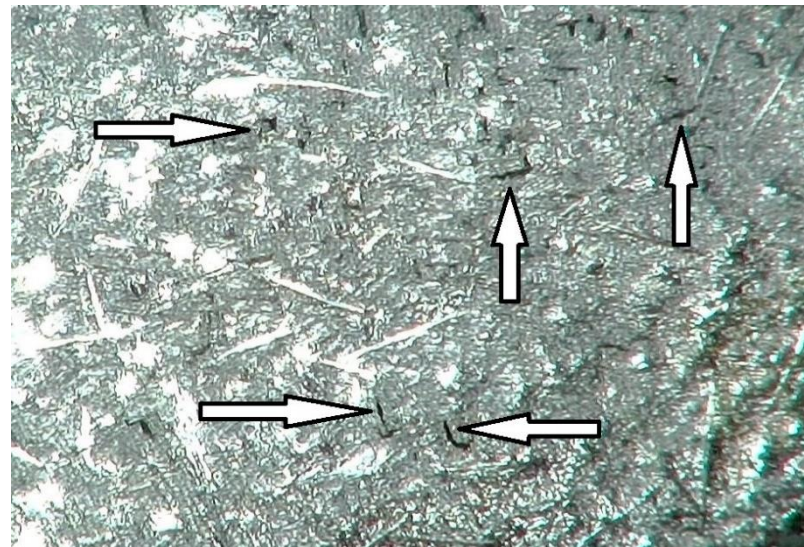


## A kísérletek eredményei, következtetések

- A forrasz felületén (az utoljára megszilárduló felületeken) zsugorodási repedések (hot-tears, shrinkage voids) jelentkeznek. Ennek mértéke a hűtési ráta csökkenésével nő!



3,0 °C/s hűtés ráta esetén

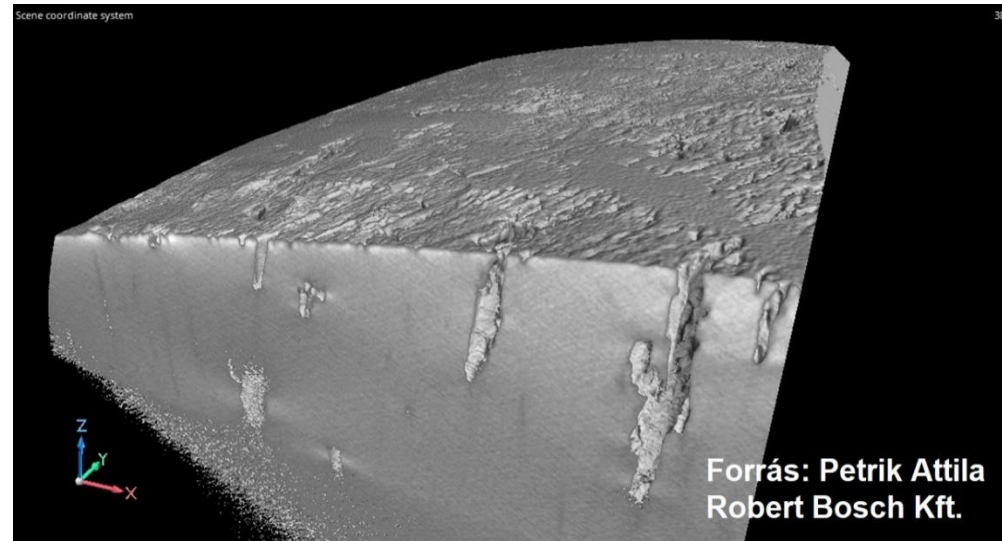
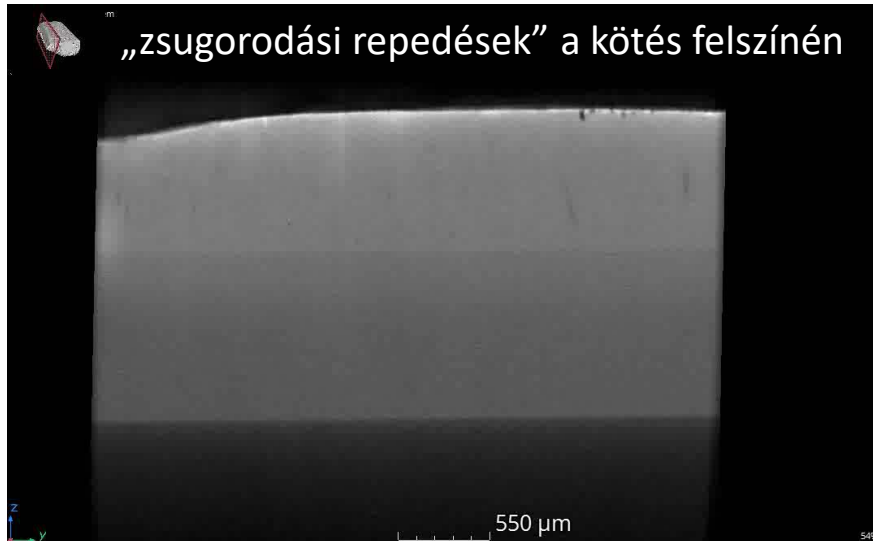


0,4 °C/s hűtés ráta esetén

- Szakirodalmi adatok alapján ennek oka az, hogy az  $Ag_3Sn$  intermetallikus vegyület gyors hűtésnél ( $>3$  °C/s) **szemcseszerűen** (particle type), majd a hűtési ráta csökkenésekor először **tűs** (needle type) majd **lemezes** (plate type) formában válik ki.

## A kísérletek eredményei, következtetések

- CT röntgenvizsgálat eredményei alapján gyors hűtésnél ( $6-7 \text{ }^\circ\text{C/s}$ ) repedések nem jelentkeztek, szabad levegős hűtésnél ( $3 \text{ }^\circ\text{C/s}$ ) néhány tized mm mélységűek, lassú hűtésnél ( $0,4 \text{ }^\circ\text{C/s}$ ) már mm-es nagyságrendet is elérték.

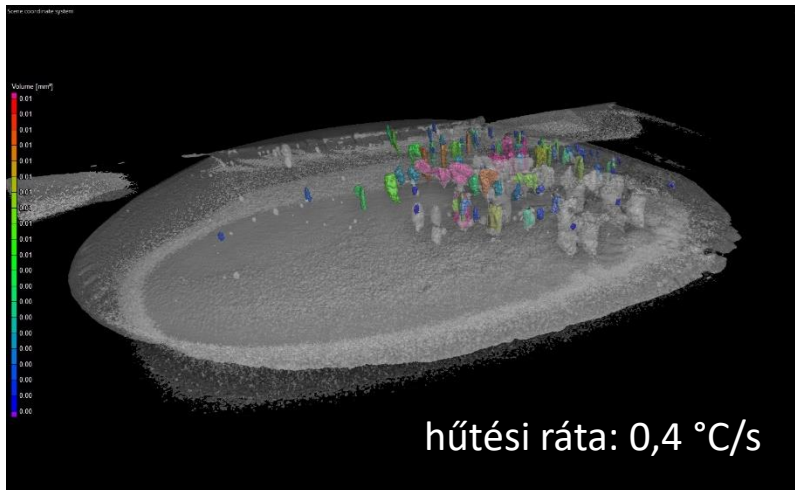


CT röntgen videó animáció  
(hűtési ráta:  $0,4 \text{ }^\circ\text{C/s}$ )

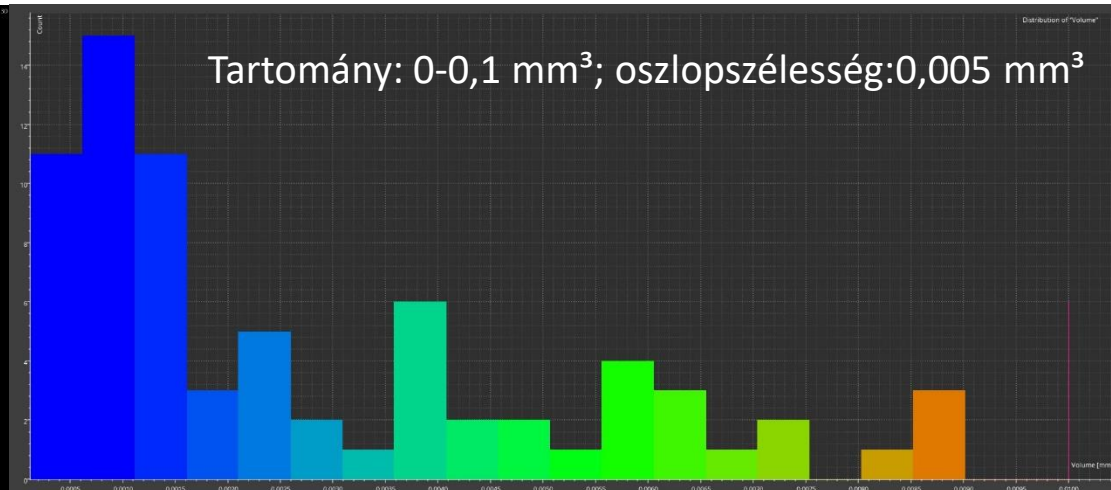
3D-s rekonstrukció a kötés felszínéről  
(hűtési ráta:  $0,4 \text{ }^\circ\text{C/s}$ )

# A kísérletek eredményei, következtetések

	TSC305 – hűtési ráta: 3.0 K/s	TSC305 – hűtési ráta: 0.4 K/s
Anyagtérfogat [ $mm^3$ ]	120,04	86,78
A forrasz felszínén mért anyagihiány [ $mm^3$ ]	0,03	0,33
Mért anyagihiány/Anyagtérfogat [%]	0,03	0,38
A leghosszabb repedés hossza [ $mm$ ]	0,47	1,18
A forraszfelszínén mért anyagihiányok száma	17	79



VGSTUDIO MAX – 3D-s vizualizáció



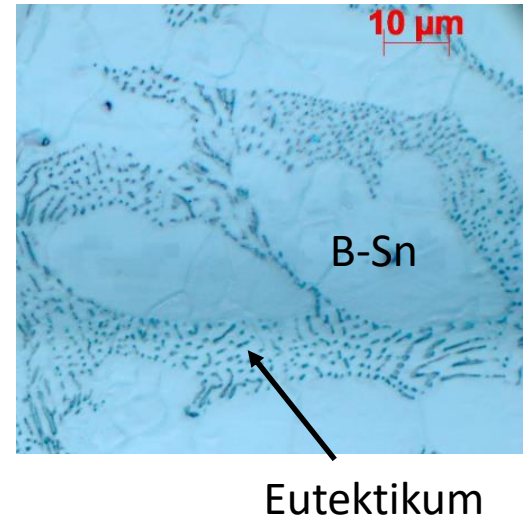
Hisztogram a forraszfelszínén található repedések darabszámáról/térfogatáról

- Több, mint 10-szeres különbség a „Mért anyagihiány/Anyagtérfogat” arányban.
- Kb. 2,5-szeres különbség a leghosszabb repedés hosszában.

## A kísérletek eredményei, következtetések

A csiszolatok optikai mikroszkópos vizsgálata alapján:

- SAC305 - tipikus hipoeutektikus ón-ezüst-réz ötvözet, primer fázis  $\beta$  – Sn szilárd oldat, körülötte eutektikum ( $\beta$  – Sn szilárd fázis és az  $Ag_3Sn + Cu_6Sn_5$  IMC-k).
- Intermetallikus réteg vastagsága : 1,5-2  $\mu m$ ; 2-3  $\mu m$ , 5-6  $\mu m$



Hűtési ráta balról jobbra csökkenő, nagyítás:1000x,

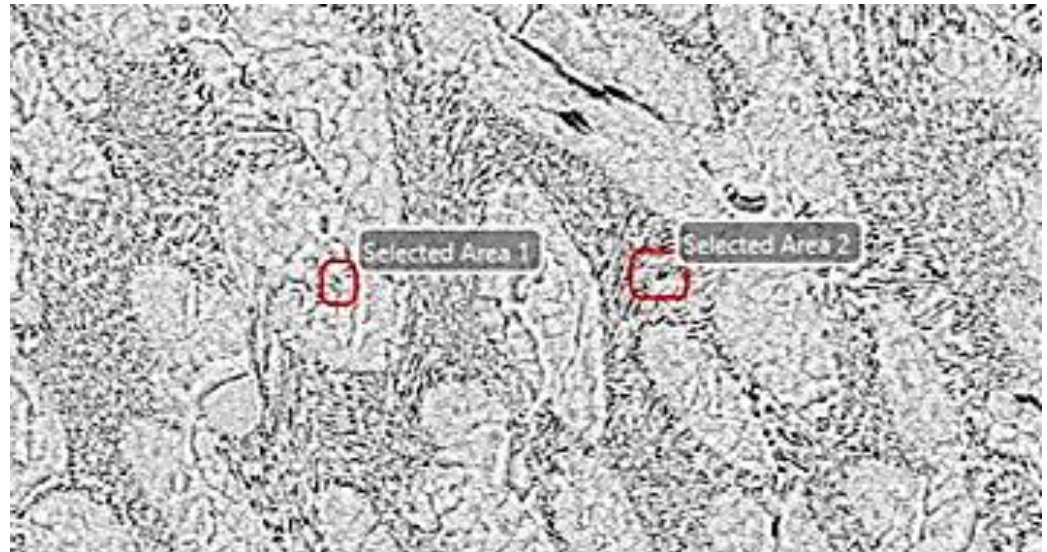


# A kísérletek eredményei, következtetések

- EDX mérés eredményei:

Alkotók	$\beta - Sn$	$\beta - Sn + Ag_3Sn + Cu_6Sn_5$
	1. Mérési pont	2. Mérési pont
Sn	99,4	95,2
Ag	0,2	3,8
Cu	0,4	1,0

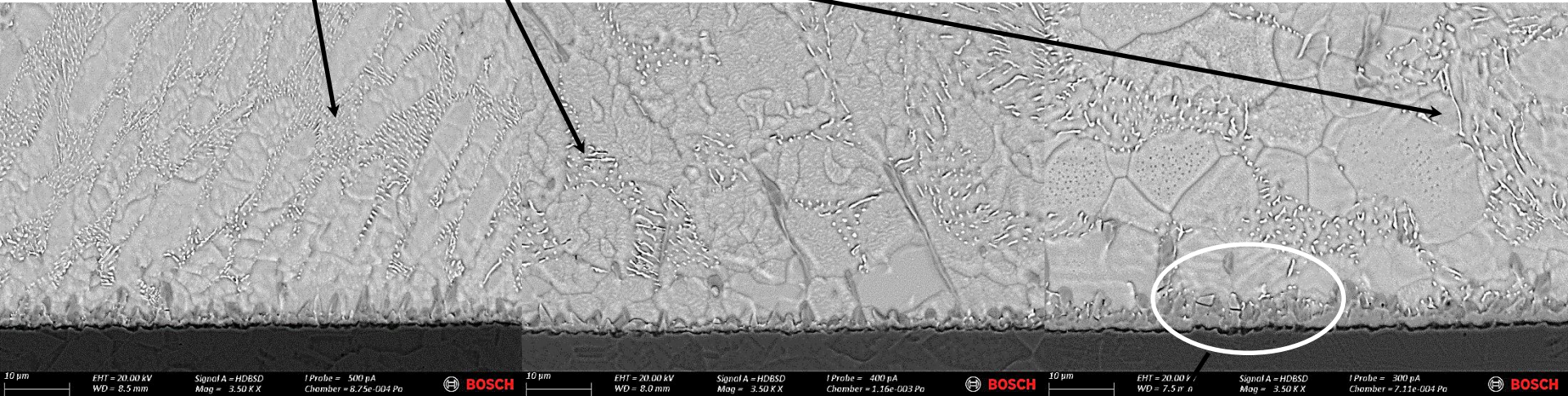
- primer fázis:  $\beta - Sn$  szilárd oldat,
- eutektikum:  $\beta - Sn$  szilárd fázis és  $Ag_3Sn + Cu_6Sn_5$  IMC





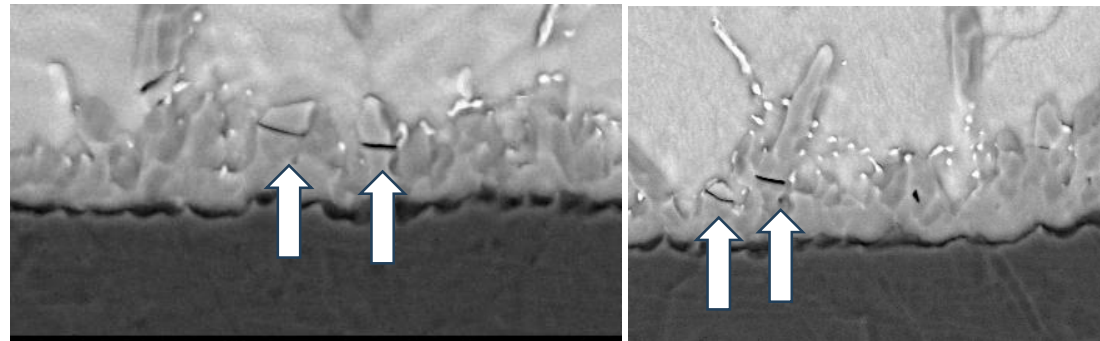
## A kísérletek eredményei, következtetések

- SEM vizsgálatok alapján jól kivehető a hűtési ráta csökkenésével az  $Ag_3Sn$  szemcsés, tűs és lemezes szerkezete



Hűtési ráta balról jobbra csökkenő, nagyítás:3500x,

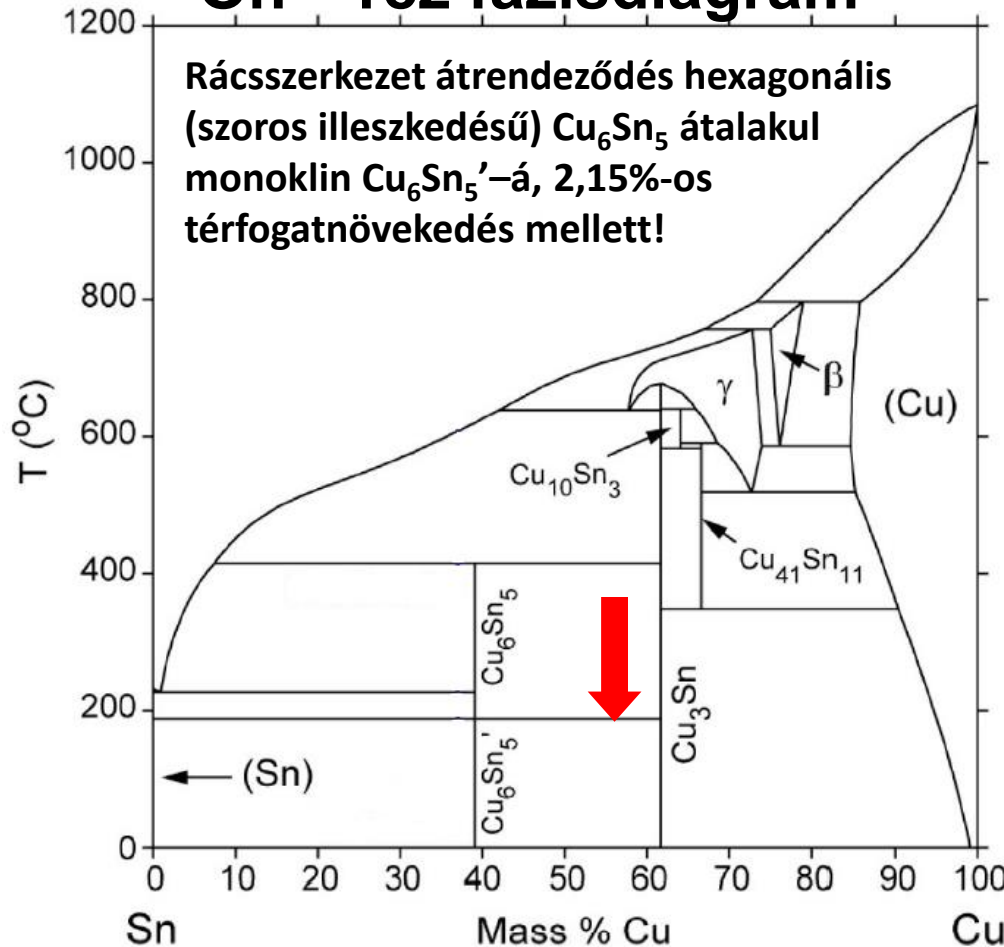
- Mikrorepedések az intermetallikus rétegben:



# A kísérletek eredményei, következtetések

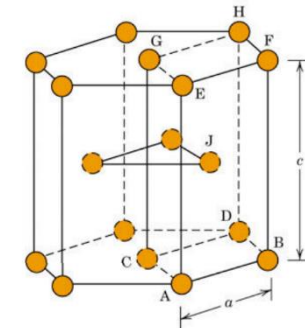
- A  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  átalakulás  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5'$ -é ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ \_Prime) a JMatPro program szerint  $185,85^\circ\text{C}$ -on történik

## Ón – réz fázisdiagram



A mikrorepedések a szakirodalmi adatok alapján csökkenthetők:

- Ni mikroötvözéssel (50ppm és 100ppm Ni  $65^\circ\text{C}$  és  $-5^\circ\text{C}$ -ra módosítja az átalakulás hőmérsékletét (JmatPro))
- Kb. 30 másodperces hőntartás  $140^\circ\text{C}$ -on



		$\text{Cu}_6\text{Sn}_5$
Rácsállandók	a	0,4125nm
	c	0,5198nm
Olvadáspont		415 °C

## A kísérletek eredményei, következtetések

### • DSC mérések:

- Kétféle SAC305-ös minta (tömör forrasz és forraszpaszta)
- 50°C/min hőmérsékleti ráta
- 260 °C-on 1 perc hőntartás, majd lehűlés

Forraszpasztánál mért értékek:

Lehűléskor  $T_{onset} = 202\text{ °C}$

Dermedési tartomány: kb. 23 °C

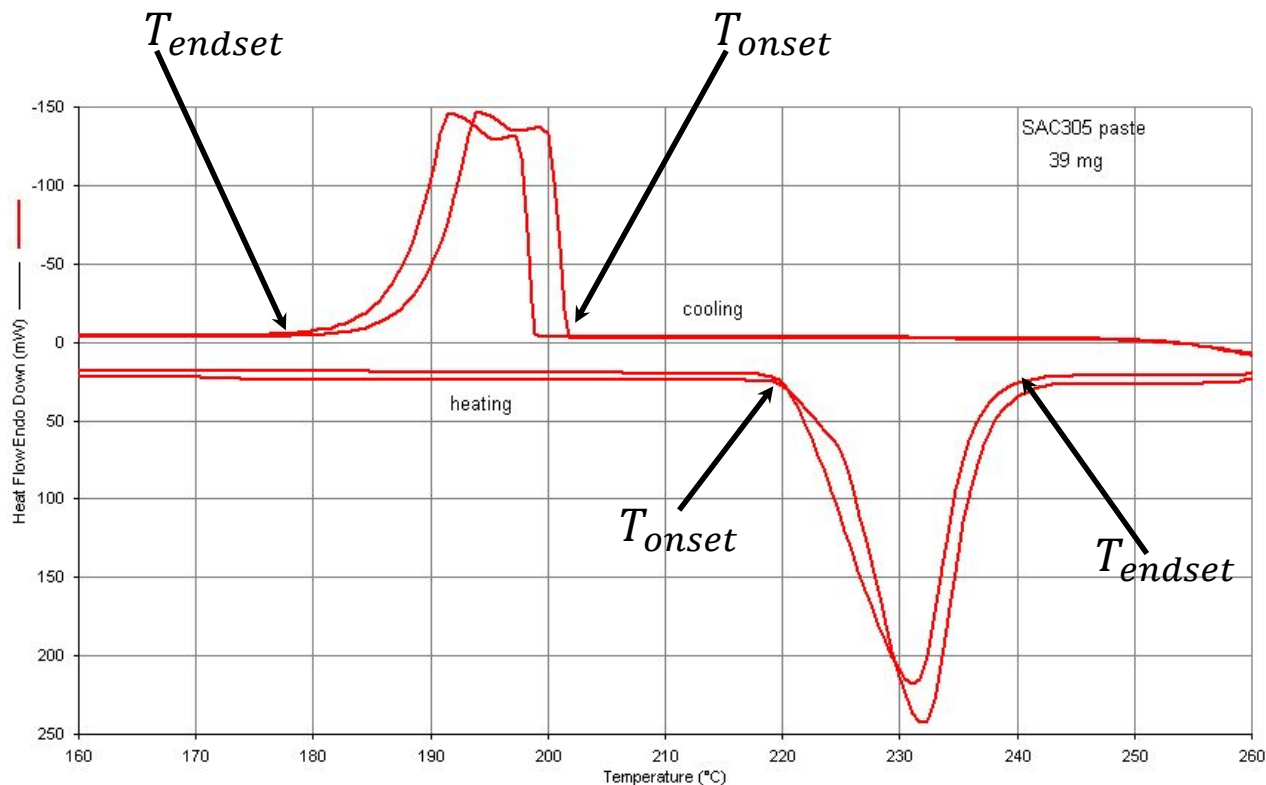
Melegítéskor  $T_{onset} = 220\text{ °C}$

Olvadási tartomány: kb. 25 °C

„Undercooling” érték: 18 °C

Megjegyzés: Hűléskor

- $\beta$ -Sn: 219,92 °C
- $\text{Ag}_3\text{Sn}$ : 217,41 °C
- Eutektikum: 216,06 °C-on képződne. (JMatPro alapján)



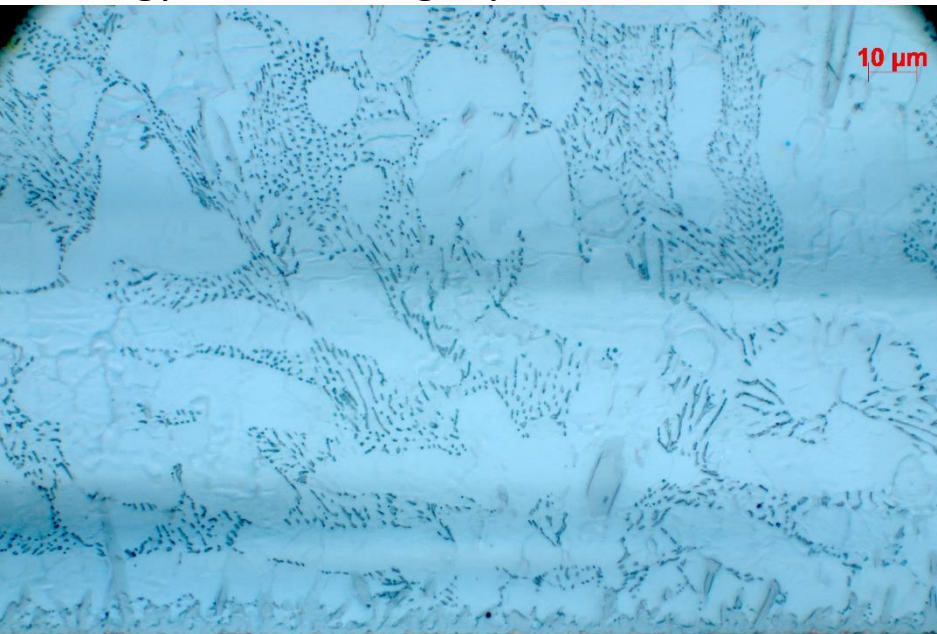
39 mg SAC305-ös forraszpaszta minta DSC mérési hisztogramja

## A vizsgálatok alapján levont következtetések

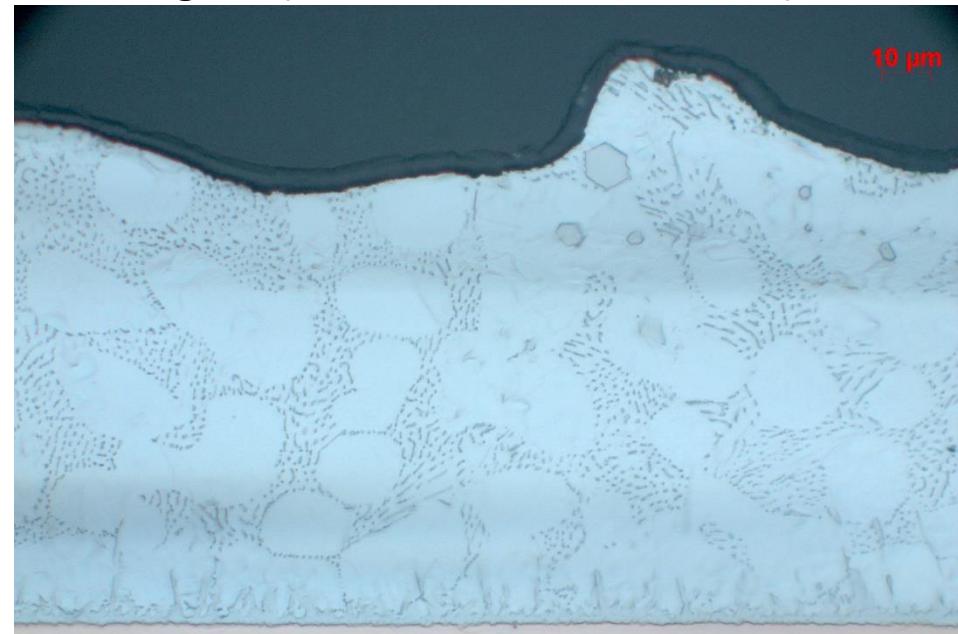
- A forrasz eltérő hűtési rátával történő hűtése alapvetően befolyásolja a képződő szövetszerkezetet és így annak mechanikai tulajdonságait is. (ld.  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  szemcsés, tűs vagy lemezes kiválása (hot-tear megjelenése);  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  rácsszerkezetének átalakulása)
- A forrasz pépes halmazállapotának hőmérséklettartománya és a melegítési-hűtési ciklusok  $T_{\text{onset}}$  hőmérsékletei közötti különbség, kritikus paraméterek a képződő szemcseszerkezet jellemzői (ld. a primer szilárd oldat szemcsenagysága, a képződő  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  vegyület jellege) szempontjából.
- Ennek tudatos, célzott befolyásolása akár mikroötvözéssel is lehetséges. A későbbekben Flowtin TSC305-ös mikroötvözött (Ni, Co és Ce < 500ppm) forrasszal tervezek kísérletet végezni (ezek egy része már elkezdődött), mivel erre az ötvözetre nem találtam szakirodalmi adatot.

## Előzetes vizsgálati eredmény – Flowtin TSC305 forraszanyagról

- A mikroötvözött Flowtin TSC305 forraszanyag szemcseszerkezete „egységesebb”.
- A kivált  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  intermetallikus vegyület szemcsésebb, ezáltal a kötés élettartama várhatóan hosszabb.
- Az intermetallikus réteg vastagsága vékonyabb (csökken a beoldódási effektus), várható, hogy hőciklusos igénybevételek során is kevésbé vastagszik (élettartam növelő hatású).



TSC305, hűtési ráta: 0,4 °C/s,  
nagyítás: 1000x

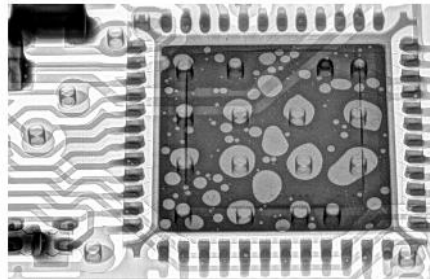


Flowtin TSC305, hűtési ráta: 0,4 °C/s,  
Nagyítás 1000x

## • Szakmai előadás:

- Az Innoelectro 2024 szakmai kiállításon (2024. 04. 23–25. Budapest – BOK Csarnok.)

„Megbízhatóság, minőségellenőrzés a gyártásban” szekcióban az elektronikai gyártásban alkalmazott forraszkötések minőségellenőrzéséről tartottam előadást „Amikor a hibák nem hibák!” címmel.



### AMIKOR A HIBÁK NEM HIBÁK!

ÁPRILIS 23.

**12.00**

2024

Helyszín

**Nagyszínpad**

Szekció

**Megbízhatóság, minőségellenőrzés a gyártásban**



## A következő időszakra tervezett feladatok:

- Konferencia előadások:
  - V. Országos Röntgentomográfiás Fórum (Veszprém, 2024. 06. 27-28.)
  - IEEE CANDO-EPE 2024 (Budapest, 2024. 10. 17-19)
- A vizsgálatok folytatása mikroötvözött (Flowtin TSC305) forraszanyaggal, melynek révén a Ni, Co, Ce mikroötvözők hatása az azonos összetételű, de ötvözetlen forraszhoz képest elemezhető.
- Későbbiekben meghatározott ólommentes forraszkötés végeelem modelljének elkészítése, majd szimuláció termomechanikus igénybevételre (pl. hőciklus teszt), melynek révén megbízhatóságra történő tervezésre (DFM) vonhatóak le következtetések.



ÓBUDAI EGYETEM

BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS  
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Köszönöm a figyelmet!