



ÓBUDAI EGYETEM

BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Ólommentes forraszkötések gyártástechnológiai fejlesztése és megbízhatósági vizsgálatai

Bódi Béla

Témavezető: Dr. Gonda Viktor

Kutatási beszámoló

3. Félév

2025. 01. 23.

Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola



ÓBUDAI EGYETEM

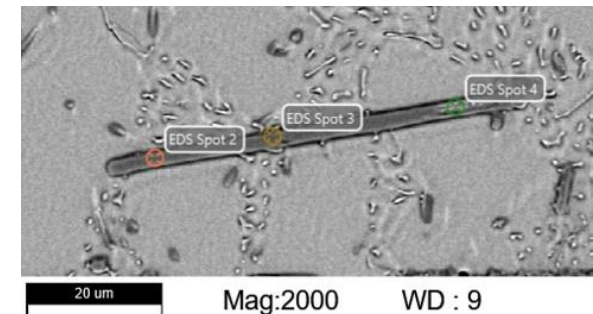
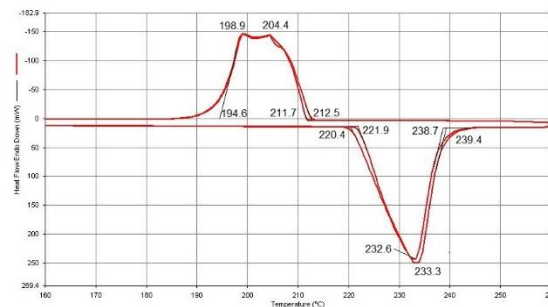
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Ólommentes forraszkötések gyártástechnológiai fejlesztése és megbízhatósági vizsgálatai

- Az Európai Bizottság 2011/37/EU irányelve (un. ELV – End of Life Vehicle), II. melléklete szerint – **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.
- Napjainkban az autóelektronikák gyártásánál is egyre erősödik a verseny, ami a költséghatékonyabb megoldások, forraszanyagok alkalmazása felé kényszeríti a gyártókat (pl. ezüst mentes ólommentes forraszanyagok).

Cél: Ólommentes, mikroötvözött forraszanyag termikus- és szemcseszerkezeti jellemzőinek megismerése. A kiválasztott forraszanyag a Flowtin TSC305 (szabadalmi bejegyzés száma: EP1647352A1) volt, melyről a gyártói adatlap is csak annyit ismertet, hogy az alapötvözet SAC305, melyben a Co, Ni és Ce mikroötvözők értéke $< 0,05\%$.

- Flowtin TSC305 forraszanyaggal, réz felületen forrasztási minták készítése, majd $0,4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ hűtési rátával ($230 - 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérséklet tartományban) lehűtés.
- A forraszanyagon elvégzett elemzés:
 - OES (Optical Emission Spectroscopy) mérés (Metalloglobus Fémöntöde Kft. segítségével)
 - DSC mérések (SAC305 és Flowtin TSC305 mintákon – Óbudai Egyetemen)
 - JMatPro szimulációs szoftverrel elemzések
- A mintákon elvégzett vizsgálatok (Elas Kft. segítségével):
 - Optikai mikroszkópos
 - CT röntgenvizsgálat, majd *VGSTUDIO MAX* szoftverrel a zsugorodási repedések számszerűsítése
- Csiszolatokon elvégzett vizsgálatok (Robert Bosch Kft segítségével):
 - Optikai mikroszkópos (nagyítások: 200x, 500x, 1000x)
 - SEM vizsgálatok és EDX mérések (nagyítások: 500x, 1000x, 2000x, 3500x)

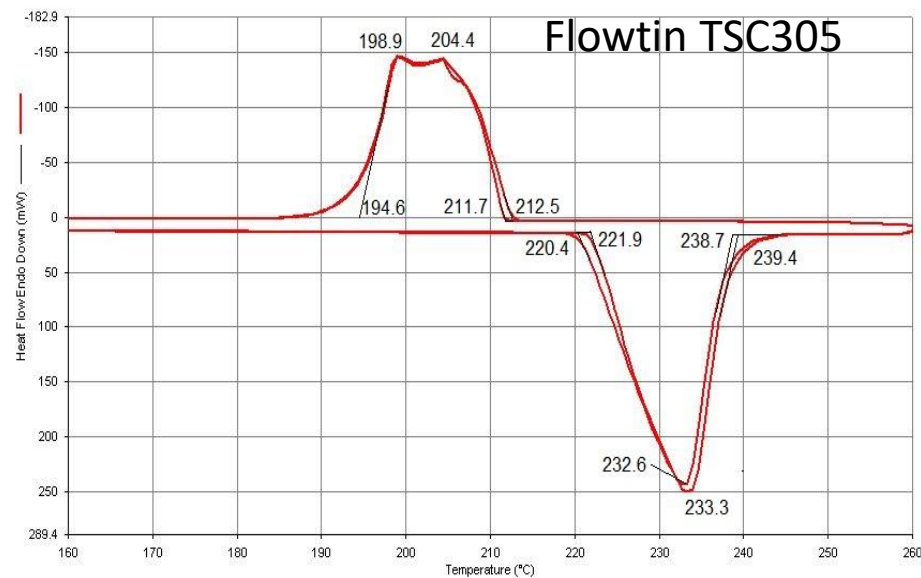
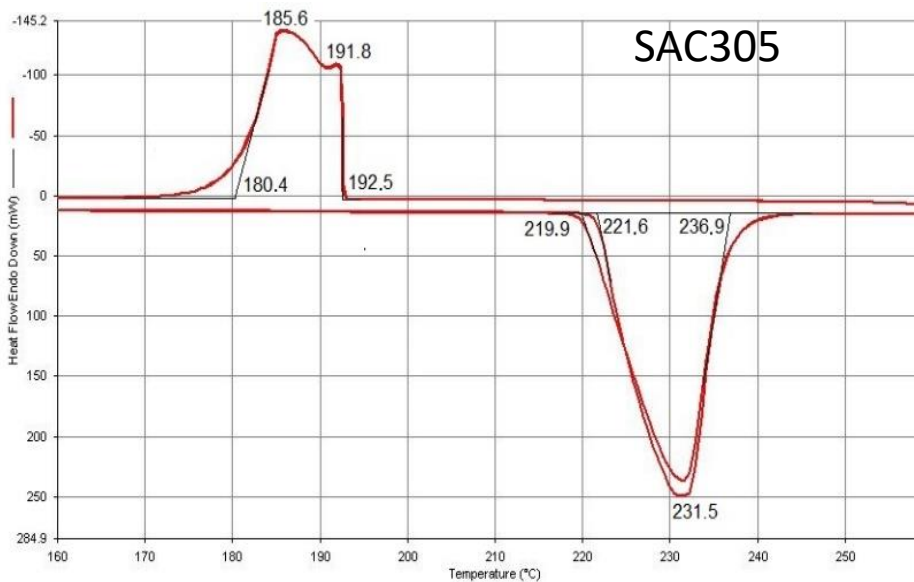


OES mérés eredménye

Forrasztótvözet	Összetétel (wt%)					
	Sn	Ag	Cu	Co	Ni	Ce
Flowtin TSC305	Maradék	2.98	0.564	0.0287	0.0169	0.0020

4 mérés átlagaként: SAC305 forrasz Co -289 ppm; Ni- 169 ppm

DSC mérés eredménye



2-2 mérés: SAC305 és Flowtin TSC305 forrasszal; 2 ciklus; 50 °C/min fűtési és hűtési rátával;



Jellemzők	Kásás állapot [°C] $ T_{offset} - T_{onset} $	ΔT - Túlhűtés [°C] $(T_{onset; heating} - T_{onset; cooling})$
SAC305 – fűtés	17 – 15,3	27,4 – 29,1
SAC305 – lehűlés	12,1	
SAC305+CoNiCe – fűtés	19 - 16,8	10,2 – 8,7
SAC305+CoNiCe - lehűlés	17,1 – 17,9	

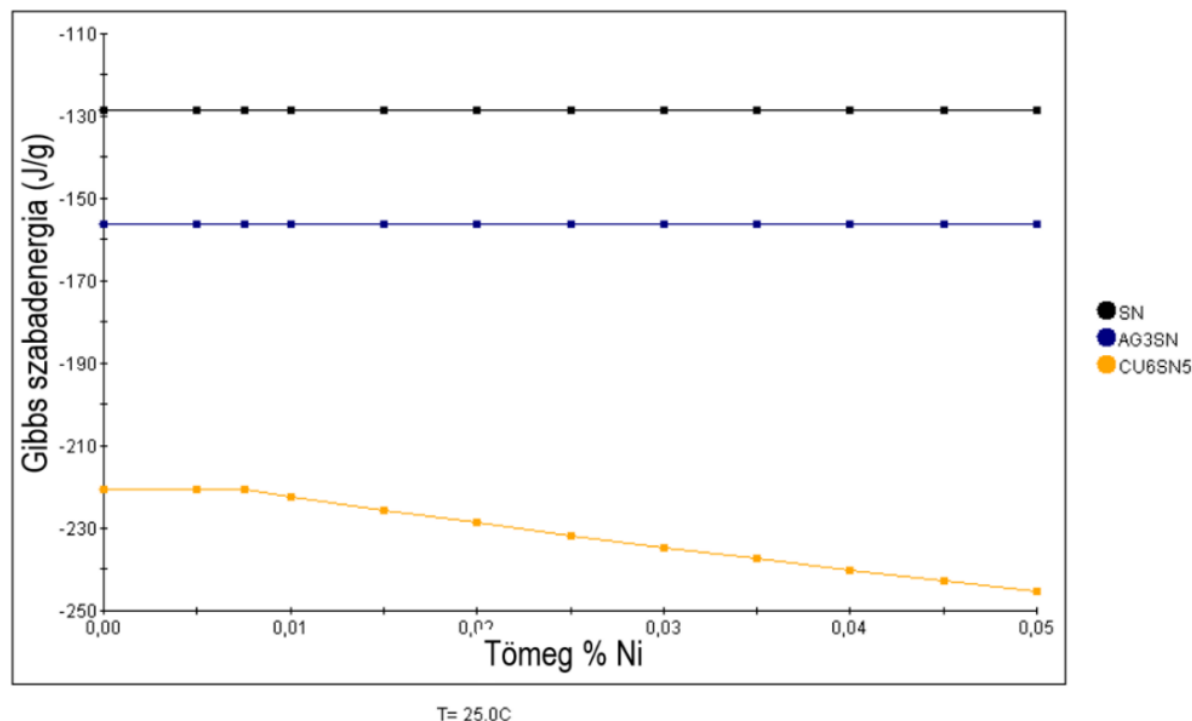
Szignifikáns különbség a túlhűtés ($19,6 \pm 0,4$ °C) és a kásás halmazállapot ($5,4 \pm 0,4$ °C) értékeknél!

JMatPro termikus szimulációs szoftver eredményei

	β -Sn [°C]	Ag ₃ Sn [°C]	Cu ₆ Sn ₅ [°C] (Hexagonális)	Cu ₆ Sn ₅ [°C] (Monoklin)	Olvadék megszilárdulása (szolidusz) [°C]	Kásás halmazállapot [°C]
SAC305	219,92	217,41	216,06	185,85	216,06	3,86
SAC305 +Ni (100 ppm)	219,82	217,39	217,81	-5,56	216,14	3,68
SAC305 +Ni (150 ppm)	219,78	217,47	218,78	-52,48	216,18	3,60
SAC305 +Ni (200 ppm)	219,73	217,55	219,48	—	216,22	3,51
SAC305 +Ni (250 ppm)	219,74	217,62	222,34	—	216,27	6,07
SAC305 +Ni (300 ppm)	219,77	217,68	226,30	—	216,31	9,99

JMatPro termikus szimulációs szoftver eredményei

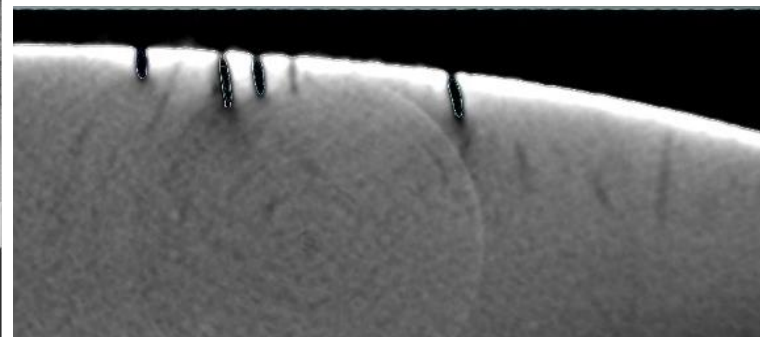
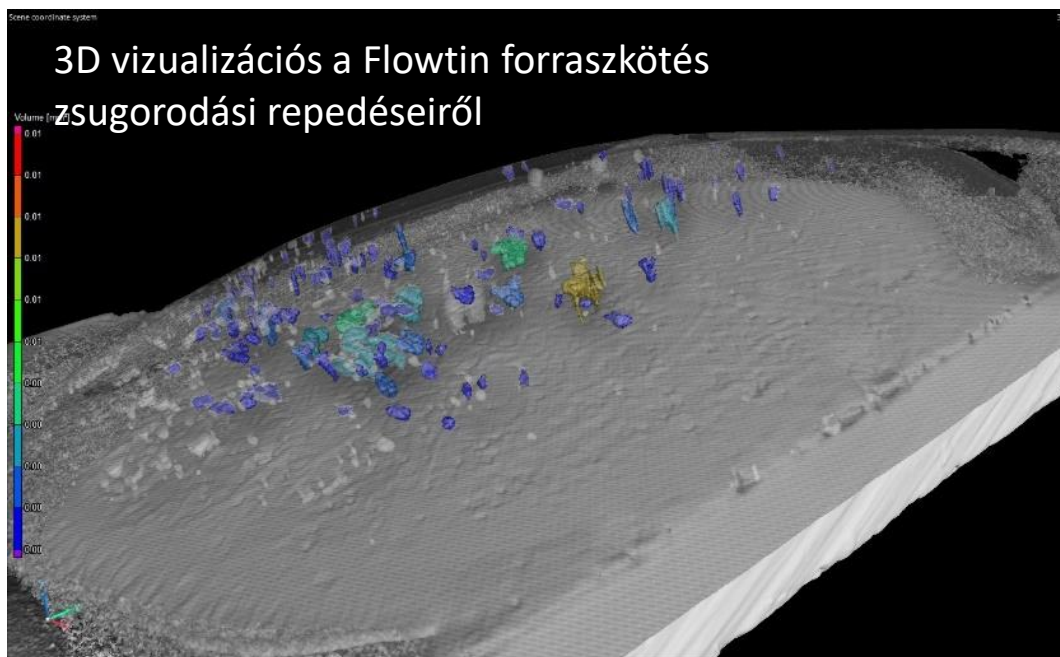
Sn-3.0Ag-0.5Cu-0.0Ni



- A β -Sn fázis és az Ag_3Sn intermetallikus vegyület Gibbs-szabad energiája 25 °C-on stabilan -128,54 J/g, illetve -156,2 J/g.
- A Cu_6Sn_5 intermetallikus vegyület Gibbs-szabad energiája -220,66 J/g-ról -245,32 J/g-ra csökken, amikor a Ni koncentrációja 0%-ról 0,05 tömeg%-ra nő.
- A Gibbs-féle szabad energia előre jelzett csökkenése összefüggésbe hozható azzal, hogy a Ni atomok képesek a Cu atomokat helyettesíteni a Cu_6Sn_5 atomrácsában!

XCT mérések eredményei

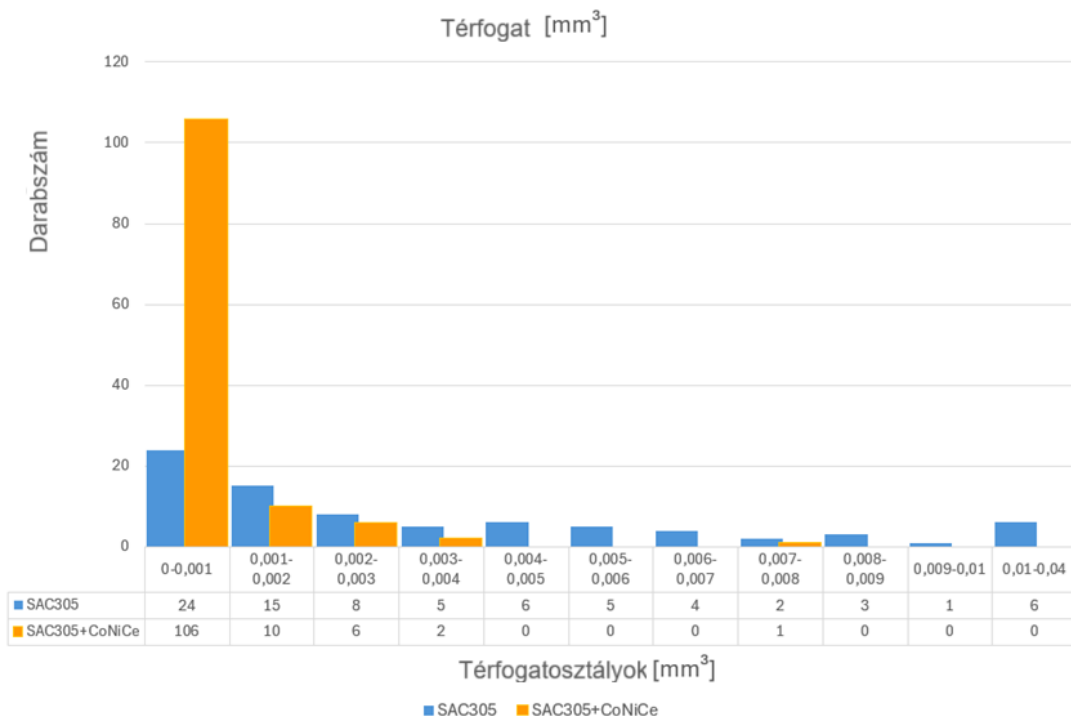
Jellemzők	SAC305	Flowtin TSC305
Vizsgált anyagterfogat [mm^3]	86,78	81,70
Detektált ösztérfogat [mm^3]	0,33	0,08
Detektált térfogat/Vizsgált térfogat arány [%]	0,38	0,1
A leghosszabb detektált repedés [mm]	0,82	0,57
A forrasz felületén detektált zsugorodási repedések száma	79	125



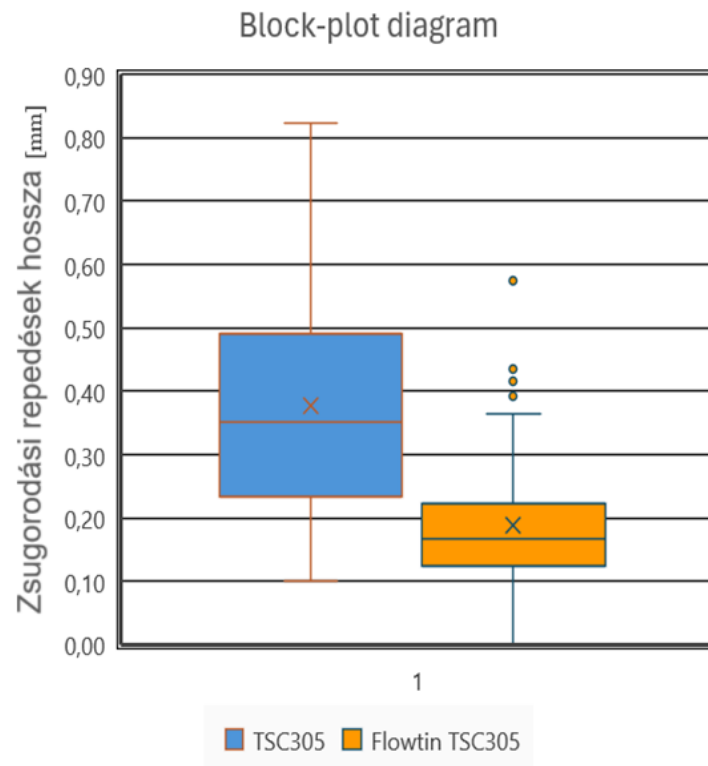
2D metszet a CT modellből

- Elemzés a Volume Graphics VGSTUDIO szoftver „porosity/inclusion analysis moduljával történt
- 4-szeres különbség a „Detektált térfogat/Vizsgált térfogat” arányban.
- 1,5-szeres különbség a leghosszabb repedés hosszában.

XCT mérések eredményei

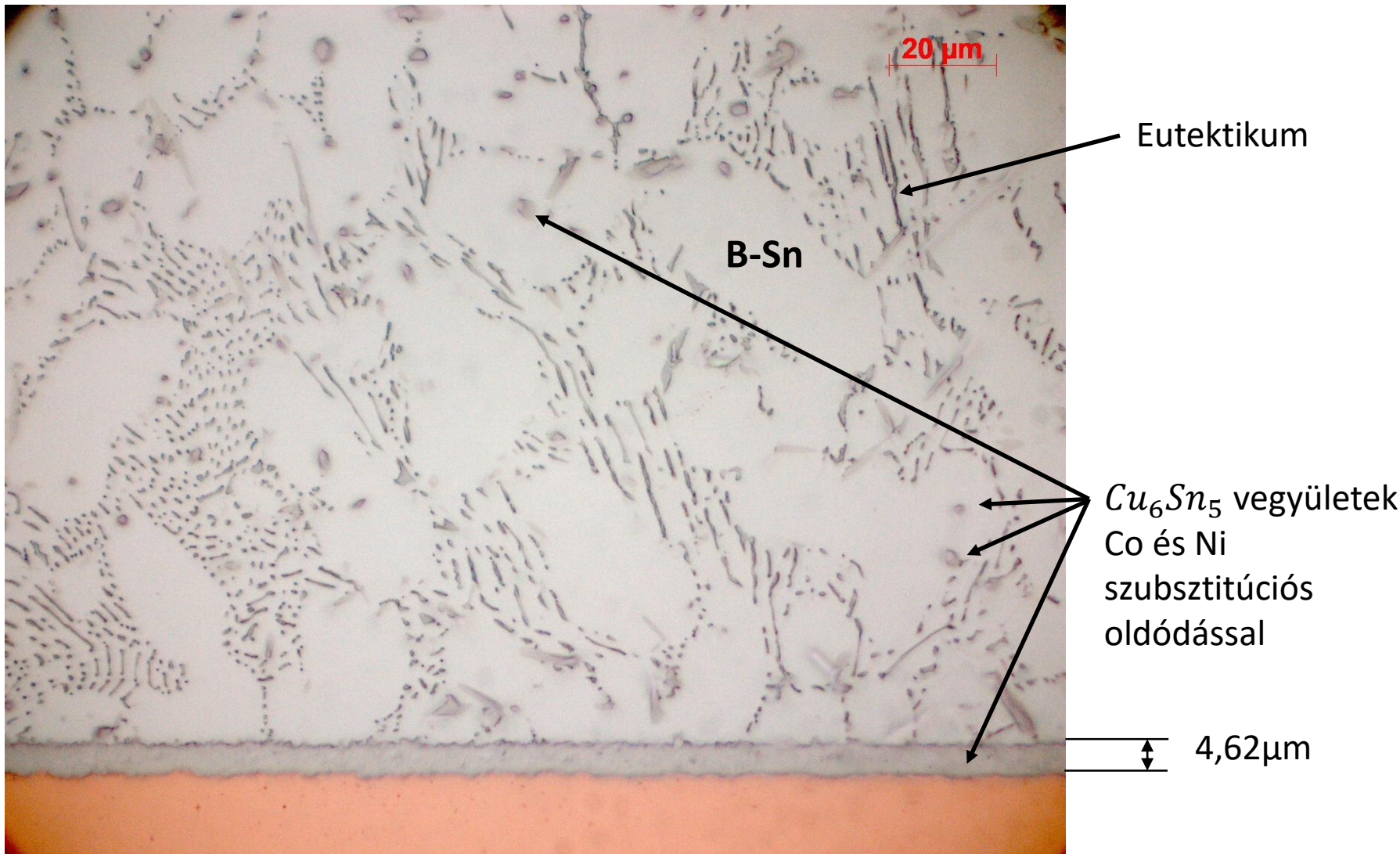


Zsugorodási repedések térfogatosztályai SAC305 és Flowtin TSC305 forraszanyag esetén

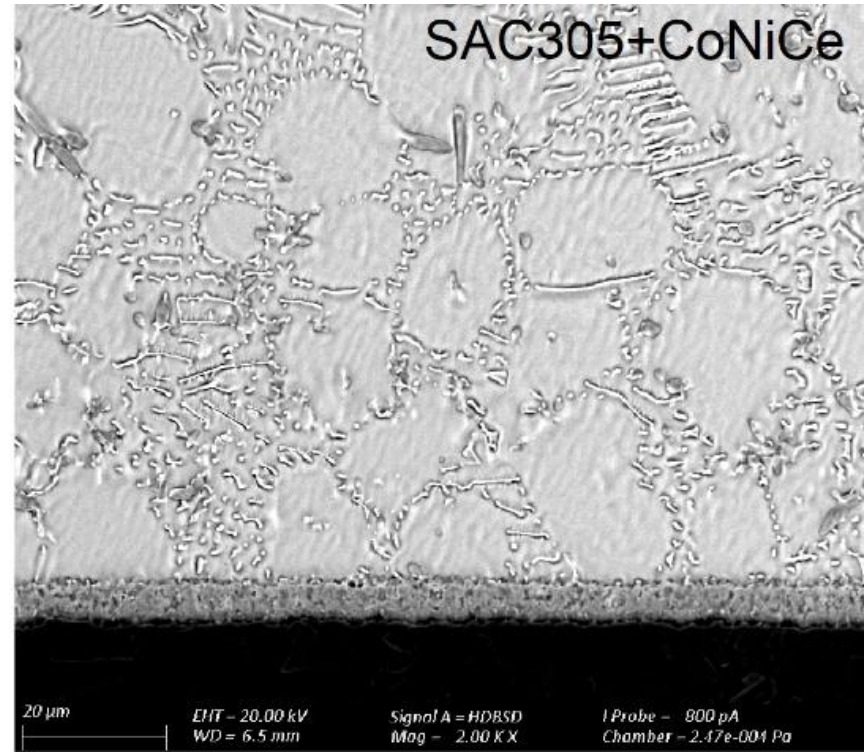
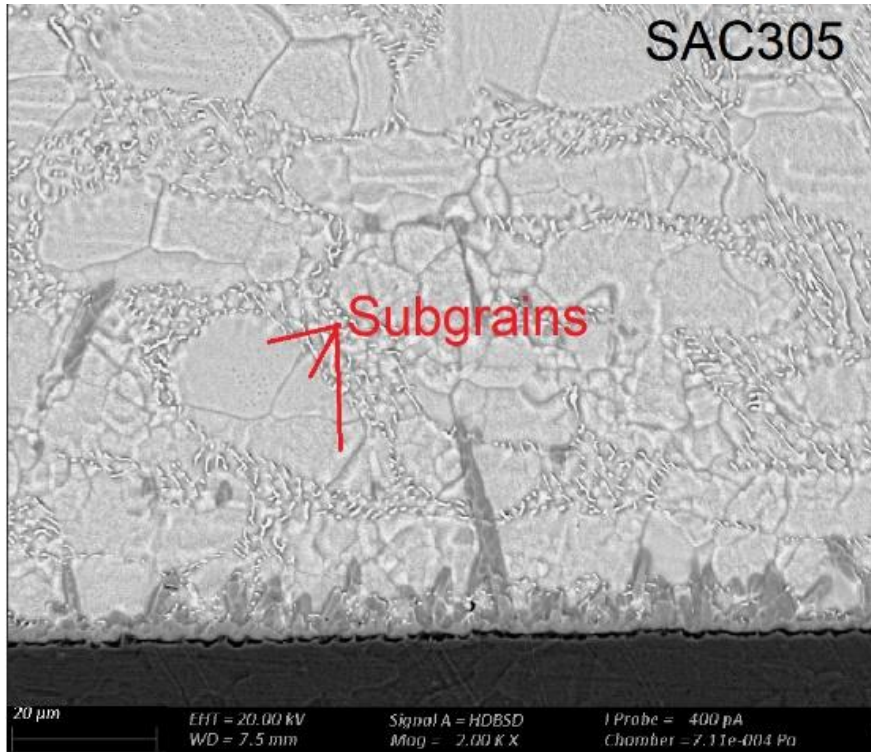


Zsugorodási repedések hossza SAC305 és Flowtin TSC305 forraszanyag felületén

A keresztmetszet csiszolatok optikai és SEM vizsgálatai



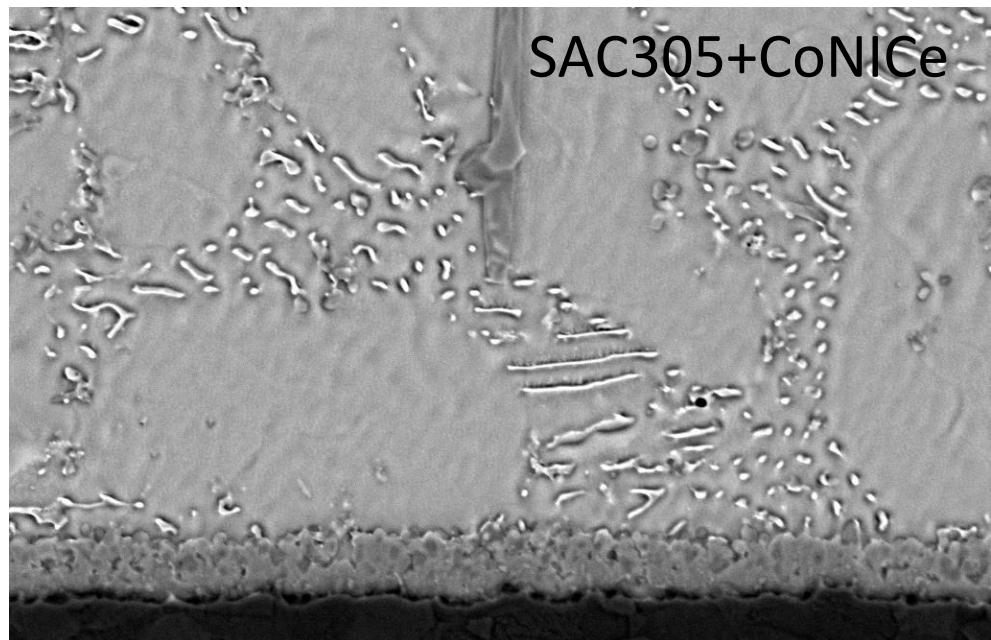
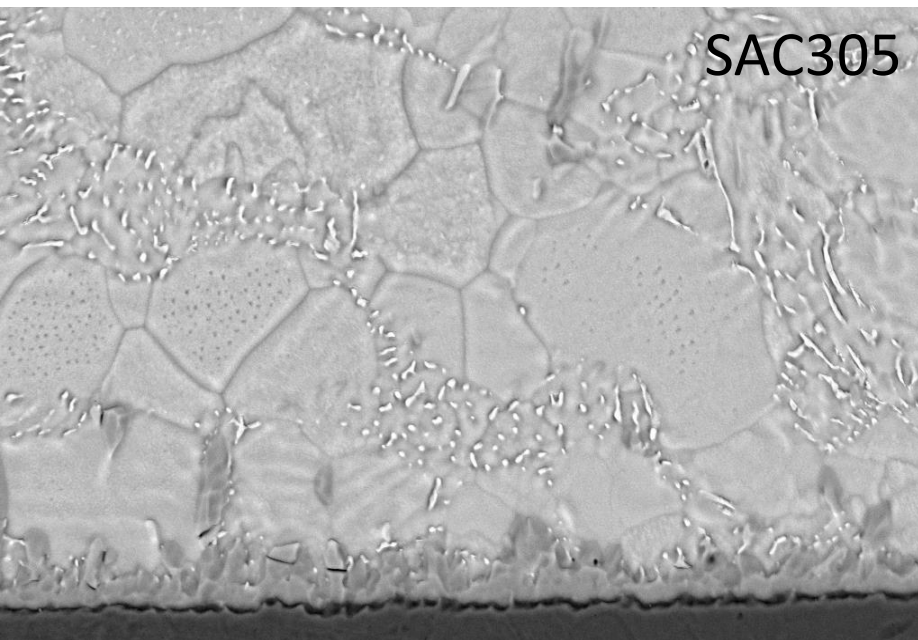
A keresztmetszet csiszolatok optikai és SEM vizsgálatai



A mikroötvözés hatása:

- Fiji képelemző szoftver segítségével 100-100 β -Sn szemcse területét megmérve az átlagos szemcse területe: 520,78 μm^2 (SAC305) és 325,01 μm^2 (Flowtin TSC305); átlagos szemcseméret **37,5%**-al csökkent.
- Az eutektikus szövetelemek aránya 32%-ról **38%-ra** nőtt a szövetszerkezetben (A mérési terület 30.000 μm^2 volt).
- Valószínűsíthető, hogy a kisebb túlhűtési érték miatt nem jelentkeztek subszemcsék a Flowtin forraszban.

A keresztmetszet csiszolatok optikai és SEM vizsgálatai

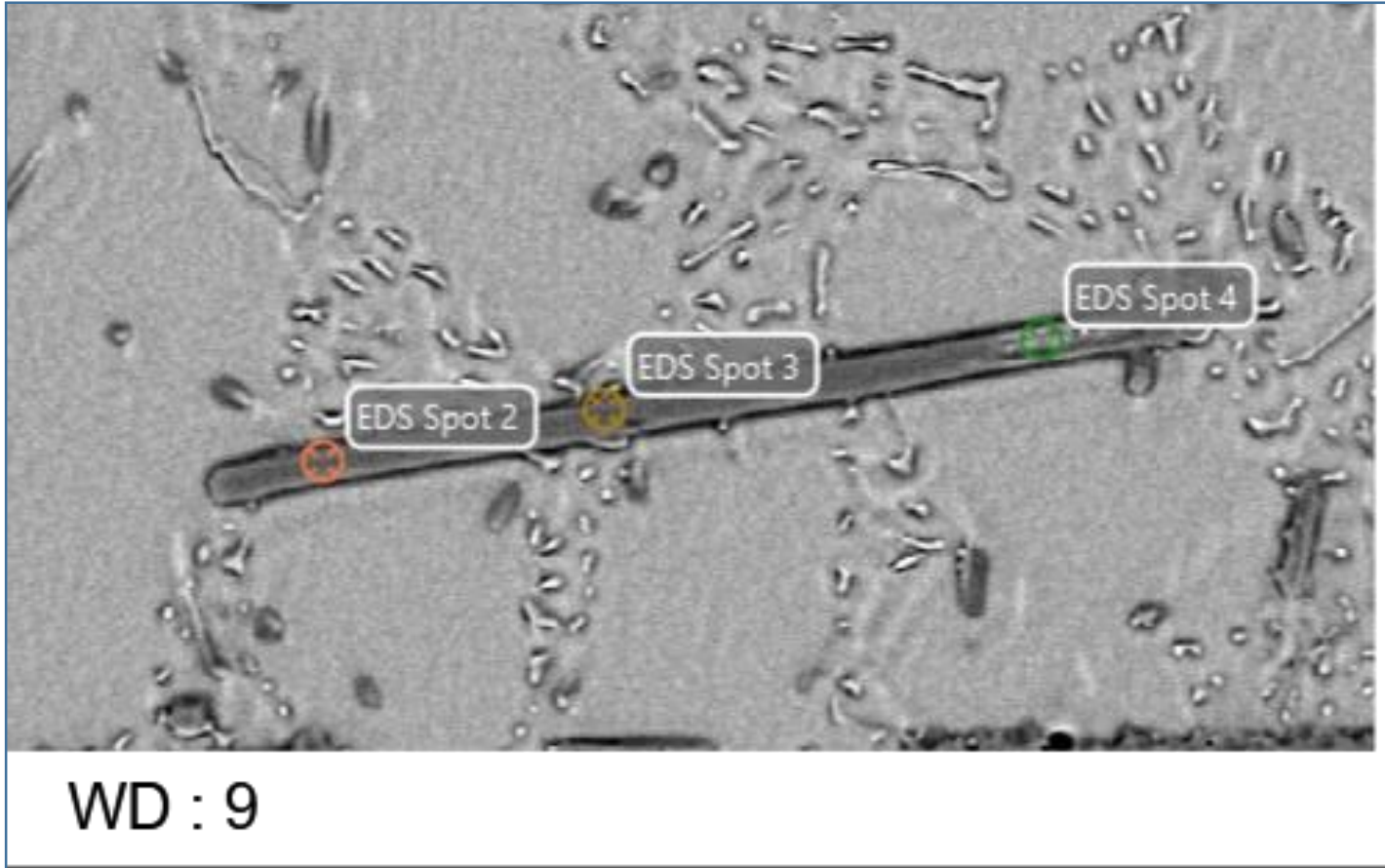


Jellemzők	SAC305	Flowtin TSC305
Átlagos rétegvastagság [μm]	4,72	4,62
Szórás [μm]	1,14	0,46
3. kvartilis [μm]	5,35	4,99
1. kvartilis [μm]	3,84	4,42
Max. rétegvastagság [μm]	7,21	5,38
Min. rétegvastagság [μm]	2,98	3,47

A mikroötvözés hatása:

- A SAC305 forrasz csipkézett (scalloped-type) intermetallikus rétege a mikroötvözés hatására planár (planar-type) jellegűvé válik. A Ni és a Co diffúziós gátat hoz létre a rétegben, lassítva annak növekedését!

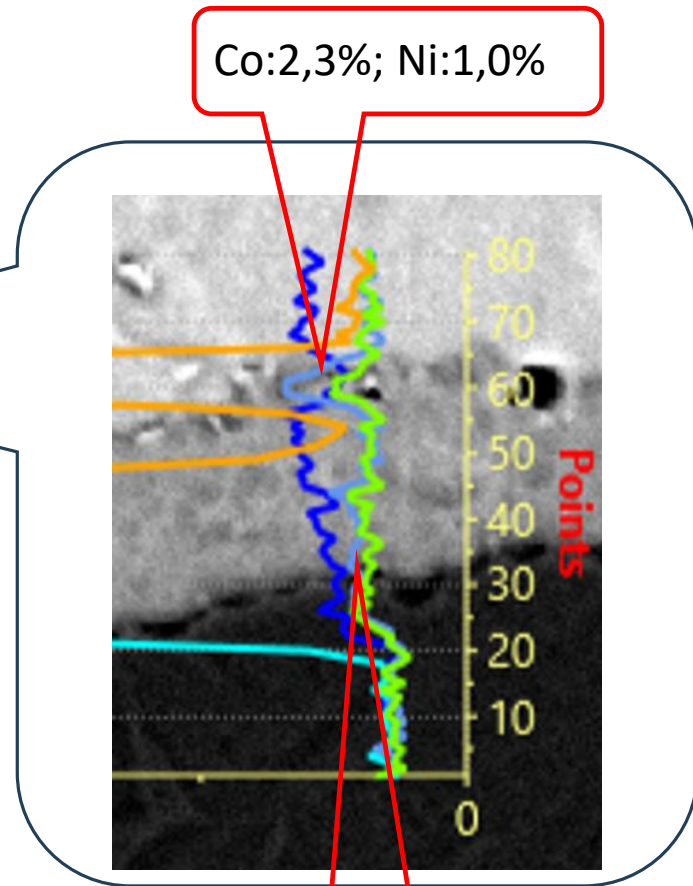
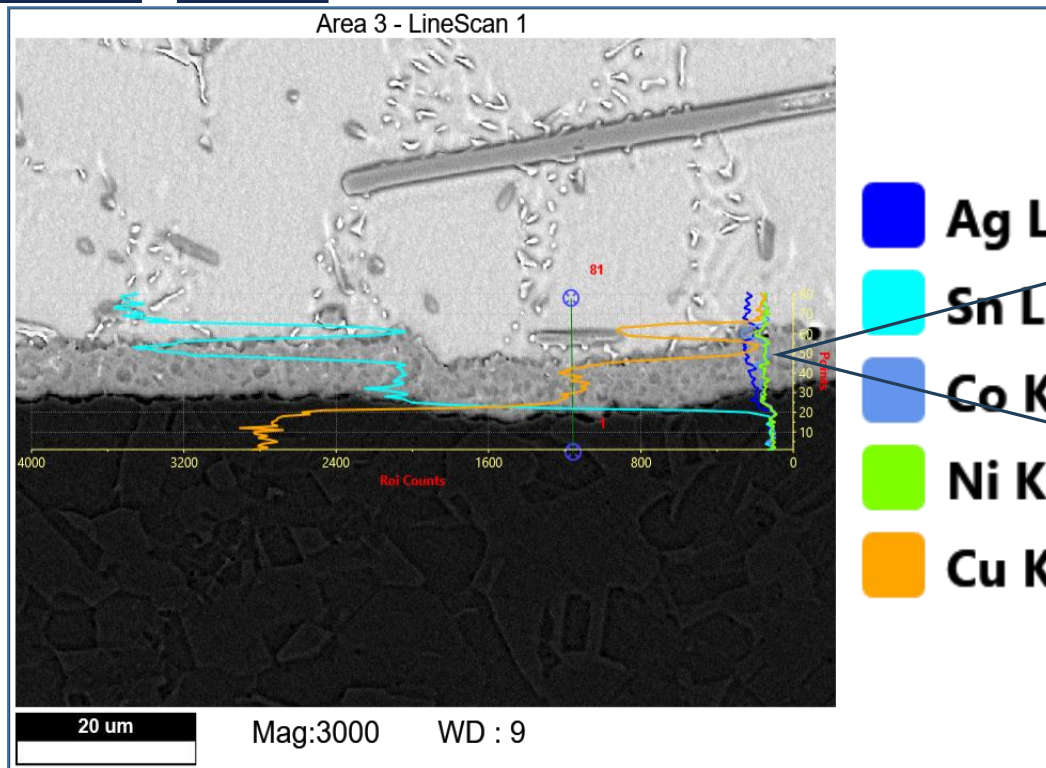
A EDX vizsgálat eredményei (forraszanyagban)



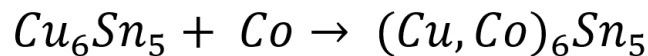
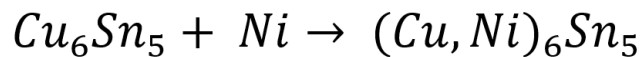
Mintavételi hely	Anyagösszetétel (at %)				
	Cu	Sn	Co	Ni	Ag
Intermetallikus vegyületben a forraszban (2. mintavételi hely)	48,1	46,3	3,5	2,1	-
Intermetallikus vegyületben a forraszban (3. mintavételi hely)	48,9	45,5	3,4	2,2	-
Intermetallikus vegyületben a forraszban (4. mintavételi hely)	34,1	73,2	2,5	1,7	1,9

Megjegyzés: A Cu_6Sn_5 vegyületet alkotó Cu és Sn atomok atomaránya 54,55% és 45,45% lenne.

A EDX vizsgálat eredményei (Intermetallikus rétegben)



Cu_6Sn_5 vegyületek rácsszerkezetében egyes Cu atomokat szubsztitúciós reakció révén Ni és Co atom vált ki, az alábbiak szerint:



A vizsgálatok alapján levont következtetések

- Vizsgálataim szerint a mikroötvözők (Co, Ni és Ce) kombinációja jelentős hatást gyakorol a primer β -Sn szemcsék nagyságára, a szövetszerkezet egy részét alkotó eutektikus szövetelemek arányára, a forraszfelület és a forraszanyag között kialakuló intermetallikus réteg alakjára, vastagságára, valamint a forraszkötés felületén létrejövő zsugorodási repedések térfogatára.
- Co és Ni (szubsztitúciós reakció révén) stabilizálja a Cu_6Sn_5 vegyületet és diffúziós gátat hoz létre az intermetallikus rétegben.
- A Ce – ritka földfémekre jellemzően – hajlamos az Sn-nal való reakcióra, ami az elemi Sn aktivitásának csökkenését eredményezi.



ÓBUDAI EGYETEM

BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

• Konferencia előadások a 3. félévben:

- V. Országos Röntgentomográfiás Fórum; előadás cím: SAC305 ólommentes forrasztóanyag termikus viselkedésének komputertomográfiás (CT) vizsgálata; 2024. 06. 27-28.
- IEEE CANDO-EPE 2024; előadás cím: „Characterization of Thermal Behavior of Lead-free SAC305 Solder for Optimal Manufacturing in Soldering Processes”; 2024. 10. 17-19

• Oktatási tevékenység a 3. félévben:

- Anyagtudomány tárgy (BAXAT11MNF) 7. előadás (4x45perc) Forrasztás és anyagai; 2024.10.24
- Debreceni Egyetem TTK, Elektronikai Technológiai kurzusban (2x45perc) – Furatszerelt alkatrészek gyártástervezési irányelvei; 2024.12.10



ÓBUDAI EGYETEM

BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

A következő időszakra tervezett feladatok:

- Konferencia előadás:
 - 2025 International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE) Budapest, konferenciára (2025 május 14-18) szócikk és előadásanyag elkészítése.
- A vizsgálatok folytatása mikroötvözött, ezüst mentes, bizmuttal ötvözött (Sn100CV) forrasztóanyaggal.
- Ólommentes forraszkötés végelemek modelljének elkészítése, majd a szimuláció kiértékelése.



ÓBUDAI EGYETEM

BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Köszönöm a figyelmet!