

FEGYVERNEKI GYÖRGY – TOKÁR MONIKA – MERTINGER VALÉRIA – DÚL JENŐ

Módosító elemek (Sr, Sb) hatásának vizsgálata Al–Si öntészeti ötvözetekben

A dinamikusan fejlődő öntvénygyártás területén a járműipari öntvényeknek az egyre szigorodó követelmények teljesítése érdekében több feltételnek is meg kell felelniük. Napjainkban az öntvénygyártásban egyre nagyobb arányban használnak fel szekunder ötvözeteket, amelyekben az előforduló szennyező elemek hatása nem kellően ismert. Fontos tudni, hogy az Al–Si öntészeti ötvözetekben előforduló szennyező elemek mennyisége jelentősen összefügg az alapanyag minőségével. Ezen ötvözetekben az eutektikum szilíciumának módosítására jellemzően stronciumot, vagy antimont használnak. A hulladék feldolgozását követően ezek az elemek együtt jelenhetnek meg az olvadéokban és intermetallikus vegyületek kialakulásához is vezethetnek. Munkánk során AISi8Cu3 ötvözetben az antimon és a stroncium együttes keresztthatását vizsgáltuk az eutektikum szilíciumának a módosíthatóságára és a mechanikai tulajdonságokra. Ezt három különböző módszerrel határoztuk meg: szövetszerkezeti etalonképekkel történő összehasonlítással, termikus elemzéssel és kvantitatív számítógépes képelemzéssel. A mechanikai tulajdonságokat különböző hűlési sebességek függvényében vizsgáltuk.

ötvözetek morfológiájának változását eredményezi, azaz a durva, lemezes szerkezet helyett finomított, szemcsés, gömbszerű alakban kristályosodik az eutektikum szilíciuma [3–5]. A szennyezők ronthatják a módosító hatást, így ez által a végső termék mechanikai tulajdonságait [6–7].

Munkánk során laboratóriumi körülmények között különböző antimon- és stronciumkoncentrációkban öntöttünk próbatest sorozatokat. A tervezett koncentrációtartományok 5–300 ppm stroncium és 40–340 ppm antimon között voltak. Megterveztünk és azt követően teszteltünk egy változó falvastagságú öntvénygeometriát. A szakítóvizsgálathoz az öntött próbatestekből munkáltuk ki a szakítópálcákat.

A módosíthatóság mértékének meghatározásához lehűlési görbéket vetünk fel és kvantitatív metallográfiát alkalmaztunk. A mechanikai tulajdonságok meghatározásához a vizsgált minták esetében Instron 5982 szakítógépet használtunk 0,004 mm/mm/s szakítási sebességgel. A szakítópálca töretfelületek és csiszolatok vizsgálatához EDAX rendszerrel felszerelt Zeiss EVOMA 10-es scanning elektronmikroszkópot (SEM) alkalmaztunk.

1. Bevezetés

Az Al–Si öntészeti ötvözetek esetében a szilárdsági tulajdonságokra jelentős minőségjavító hatással van az ún. „módosítás”. Az üzemi gyakorlatban jól ismert eljárás során a módosító előötvözetnek az olvadéba történő hozzáadásával az eutektikum szilíciumát finomítjuk, és ezáltal megakadályozzuk a durva szilíciumkristá-

lyok megjelenését, elősegítve ezzel a finomszemcsés eutektikum kialakulását a kristályosodás során [1–2]. Az Al–Si alapú ötvözetek eutektikumának módosítása közvetlen eljárás, amely a rideg szilíciumfázis finomodásának köszönhetően javítja a mechanikai tulajdonságokat, különösen az ötvözet nyúlását. Jól ismert, hogy a stroncium hozzáadása a hipoeutektikus alumínium–szilícium

Dr. Fegyverneki György 2001-ben szerzett kohómérnöki diplomát a Miskolci Egyetemen, 2007-ben védte meg PhD-értekezését. 2010 óta a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának címzetes egyetemi docense, a Fémöntészet tantárgy oktatója, 2015-től a Könnyűfémöntészeti Nemak Kihelyezett Tanszék vezetője. Kutatási területe: könnyűfémöntés technológiája, alumíniummetallurgia, hőkezelés, szerkezetvizsgálat, repedésanalitika.

Mende-Tokár Monika 2011-ben végzett okleveles kohómérnök-ként a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán öntésanyagvizsgálat szakirányon. 2014-ben PhD-abszolutóriumot szerzett, jelenleg a Miskolci Egyetem Öntészeti Intézet tanársegédje. Apáczai Csere János Doktoranduszi Ösztöndíjas (2013–2014) és Kiváló Fiatalként Öntész MÖSZ-díjas (2015). Kutatási területe az Al–Si öntészeti ötvözetek esetében alkalmazott módosító elemek hatásának vizsgálata.

Mertinger Valéria okleveles kohómérnök, mérnökfizikus, a Miskolci Egyetem FKNI-ben egyetemi tanár, intézetigazgató-helyettes, 2014-ben az OTDT Mestertanár Aranyéremmel tüntette ki. Az OTDT Műszaki Tudományi Szakmai Bizottságának titkára. Kutatási területe: fémek finomszerkezet vizsgálata, röntgendiffrakció.

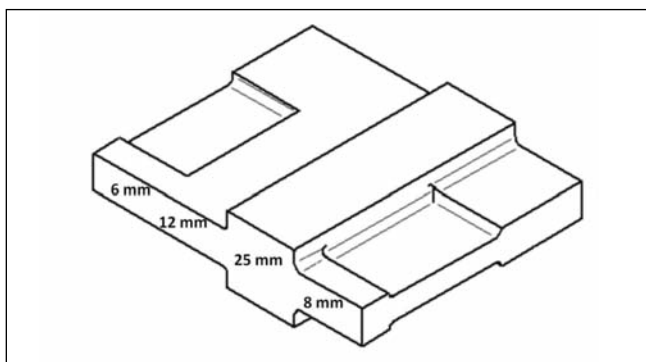
Dr. Dúl Jenő a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen 1971-ben szerzett kohómérnöki oklevelet, 1987 óta a műszaki tudomány kandidátusa. Az Öntészeti Tanszéken 1981-ig kutató, utána oktató beosztásban dolgozott. 2006–2009 között a Metallurgiai és Öntészeti Tanszék vezetője. 2011-től a Foundry-Solid Egyetemi Innovációs Közhasznú Nonprofit Kft. ügyvezetője, 2012-től címzetes egyetemi tanár. Kutatási területe: az öntészeti tulajdonságok vizsgálata, ritkaföldfémek hatása, öntészeti szimuláció, nyomásos öntés technológiája.

2. Kísérleti körülmények

Annak érdekében, hogy a kísérleti eredmények összehasonlíthatóak legyenek az ipari öntvényekkel, terveztünk egy változó (6, 8, 12 és 25 mm) falvastagságú öntvénygeometriát, ezáltal különböző hűlési sebességeket biztosítottunk a kristályosodás során. Az 1. ábrán látható az öntvénygeometria vázlatja a négy különböző falvastagsággal és a szakítópálcák helyzetével. Az öntvénygeometria tervezését Solid Edge tervezőprogrammal, a szimulációt NovaFlow&Solid programmal végeztük el. A szimulációt követően elkészítettük a kokillát az optimalizált paraméterekkel.

A kísérleti öntések során ipari tisztaságú AlSi8Cu3 (A226.10) ötvözetet alkalmaztunk, a kémiai összetétel az 1. táblázatban olvasható. A módosító elemek beviteléhez AlSr10, (Sr: 10 tömeg%), huzal-, ill. AlSb10 (Sb: 10 tömeg%), tömb alakú segédötvözeteket használtunk. A kísérletek során a kémiai összetételt induktív csatolású atomemissziós spektrometriával (ICP) határoztuk meg.

Összesen 100 kg AlSi8Cu3 tömböt olvasztottunk meg ellenállásfűtésű kemencében, az olvasztási és az ötvözési hőmérséklet 775 ± 5 °C volt. Az olvasztást követően 16 különböző kombinációjú ötvözetet öntöttünk négy kísérletsorozatban (4x25 kg). A 2. táblázatban látható a négy kísérletsorozat esetében a stroncium- és az antimontötvözés mátrixa. Az antimont az olvasztást követően a kísérletsorozat első lépéseként adagoltuk, a stronciumot különböző koncentrációra állítottuk be minden öntési folyamat előtt. A módosító elemek (Sr, Sb) ötvözését követően 15 perc pihentetési időt alkalmaztunk.



■ 1. ábra. Az öntvénygeometria vázlatja

1. táblázat. Az AlSi8Cu3 ötvözet kémiai összetétele

Elemek	Si	Cu	Mg	Ti	Sr	Sb	Fe	Mn	Pb	Sn
tömeg%	8,85	2,53	0,30	0,10	0,0005	0,0040	0,51	0,35	0,05	0,01

2. táblázat. A kísérleti mátrix tervezett stroncium- és antimontkoncentrációi

Öntési sorozatok	Stroncium (ppm)	Antimon (ppm)			
		40	140	240	340
1.	5 (kiinduló ötvözet)				
2.	100				
3.	200				
4.	300				

3. táblázat. Állandó kísérleti paraméterek

Olvasztási és ötvözési hőmérséklet	775 ± 5 °C
Öntési hőmérséklet	765 ± 5 °C
Kokilla-hőmérséklet	400 °C
Pihentetési idő az AlSr10 és AlSb10 beadagolását követően	15 perc

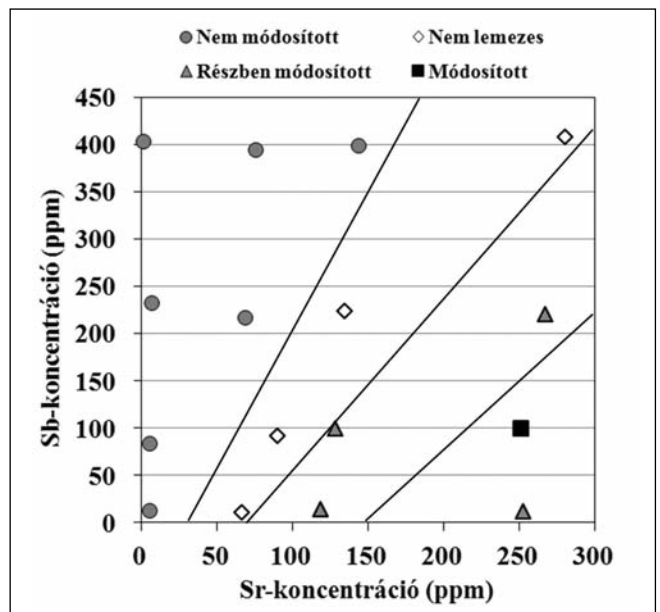
A termikus elemzés során a kísérleti olvadékokból előmelegített acéltégelybe (40 mm átmérőjű és 40 mm magas) öntöttünk próbatesteket. A termikus elemzőrendszer téglája 300 °C-ra volt előmelegítve, a próbatestek átlagos tömege 110 ± 10 g volt. A termikus elemzőrendszer MK típusú adagyűjtőből, a mérőműszerből és az adatok felvételéhez szükséges számítógépből állt. A 3. táblázatban olvashatók az állandó kísérleti paraméterek.

3. Eredmények

3.1. Az eutektikus szerkezet módosíthatóságának mérése AFS etalonképek alapján végzett kiértékeléssel

A módosíthatóság mértékét az ötvözést követő 15

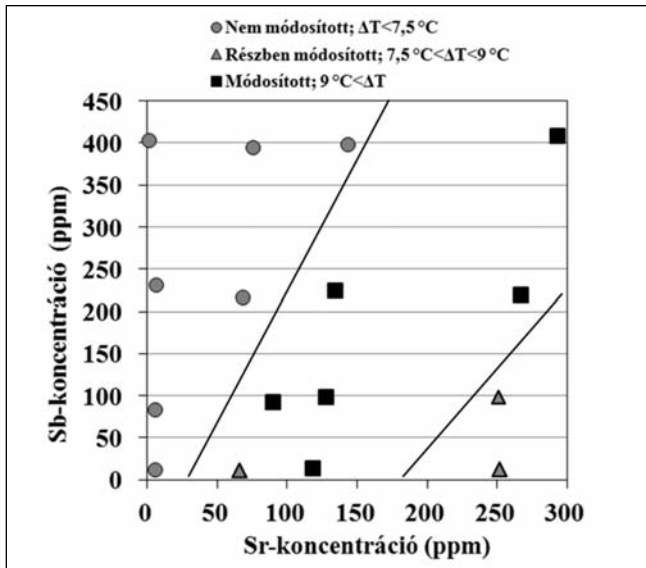
perc hűntartási idő után öntött próbatesteken határoztuk meg, és Cprob kvantitatív számítógépes képelemző programmal végeztük el [8]. A szövetszerkezeti kiértékelést etalonképekkel Djurdjevic és társai [1] módszere alapján, az Amerikai Öntészeti Szövetség (AFS) által kiadott etalonképek szabványát felhasználva, hat módosíthatósági szintet számszerűsítve végeztük el. Az objektumok kerülete alapján, minden képen a teljes mért kerületi adatbázisnak a mediánját határoztuk meg. A medián értéke alapján pedig a 4. táblázatot használva, minden képhez megállapítottuk a módosíthatósági szintet.



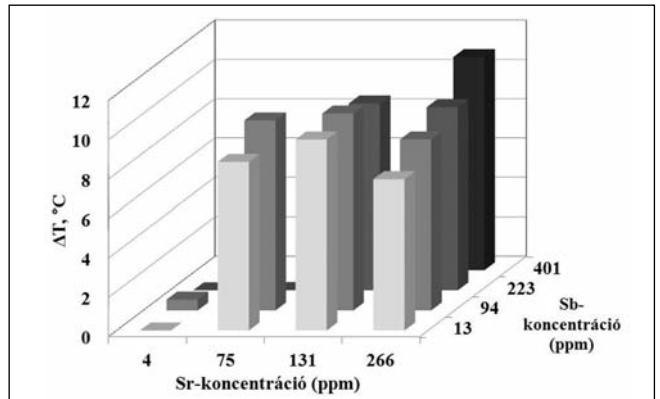
■ 2. ábra. Az etalonképekkel történő összehasonlítás alapján megállapított módosíthatósági szintek a mért Sr- és Sb-koncentrációk függvényében az olvadék 15 perces pihentetése után

4. táblázat. Az eutektikum módosítottsági mértéke és az irodalom szerint megállapított Si-részecskék területének medián értékei [2]

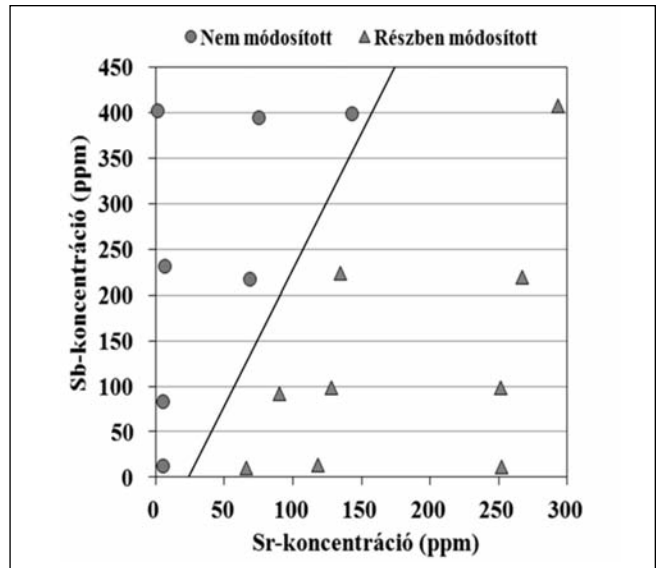
Módosítottság mértéke	Módosítottság mértéke számszerűsítve	Kerület (µm)
Nem módosított	1	96,5
Lemezes	2	31,2
Részen módosított	3	24,6
Nem lemezes	4	9,3
Módosított	5	8,1
Túlmódosított	6	3,2



4. ábra. A lehülési görbék alapján számított módosítottsági szintek a mért Sr- és Sb-koncentrációk függvényében az olvadék 15 perces pihentetése után



3. ábra. A ΔT túlhűlés mértéke a mért átlagos Sr- és Sb-koncentrációk függvényében



5. ábra. A számítógépes képelemzéssel meghatározott módosítottsági szintek a mért Sr- és Sb-koncentrációk függvényében, az olvadék 15 perces pihentetése után

ZEISS típusú optikai mikroszkóppal, a stronciummal, ill. antimonnal különböző mértékben mikroötvözött adagok szövetszerkezetéről 15-15 felvételt készítettünk (N:500x), és számítógépes képelemző program segítségével minden képen megmértük a szilíciumrészecskék kerületi értékeit. Végül a 15 kép 15 módosítottsági szintjét átlagolva megkaptuk az adott Sr-Sb koncentrációjú próbadarab módosítottsági szintjét.

A kísérleti próbatetek szövetképeit szubjektív összehasonlítással összevetve az AFS minősítő táblázatában szereplő szövetképeivel a 2. ábrán látható eredményeket kaptuk.

3.2. Az eutektikus szerkezet módosítottságának mértéke a termikus elemzés alapján

A módosítottság mértékét a lehülési

5. táblázat. A számítógépes képelemzéssel meghatározott módosítottsági szintek a mért Sr- és Sb-koncentrációk esetében

Sr- és Sb-koncentrációk (ppm)	Módosítottsági szintek átlagértékei			
	1,1 (Sb13;Sr5)	3,3 (Sb11;Sr66)	3,1 (Sb14;Sr118)	3,1 (Sb12;Sr252)
	1,0 (Sb84;Sr5)	2,9 (Sb92;Sr90)	3,1 (Sb99;Sr128)	3,3 (Sb99;Sr251)
	1,7 (Sb232;Sr6)	1,2 (Sb217;Sr68)	3,2 (Sb224;Sr134)	3,4 (Sb220;Sr267)
	1,5 (Sb403;Sr1)	1,1 (Sb395;Sr75)	1,4 (Sb399;Sr143)	3,7 (Sb408;Sr293)

görbék alapján és a következő egyenletet felhasználva határoztuk meg [1]:

$$\Delta T_{E,G}^{Al-Si} = T_{E,G,NEM\ MÓDOSÍTOTT}^{Al-Si} - T_{E,G,MÓDOSÍTOTT}^{Al-Si} \quad (1)$$

ahol:

$$\Delta T_{E,G}^{Al-Si} \text{ a túlhűlés mértéke;}$$

$$T_{E,G,NEM\ MÓDOSÍTOTT}^{Al-Si}$$

az eutektikum tényleges megszilárdulási hőmérséklete nem módosított esetben;

$$T_{E,G,MÓDOSÍTOTT}^{Al-Si}$$

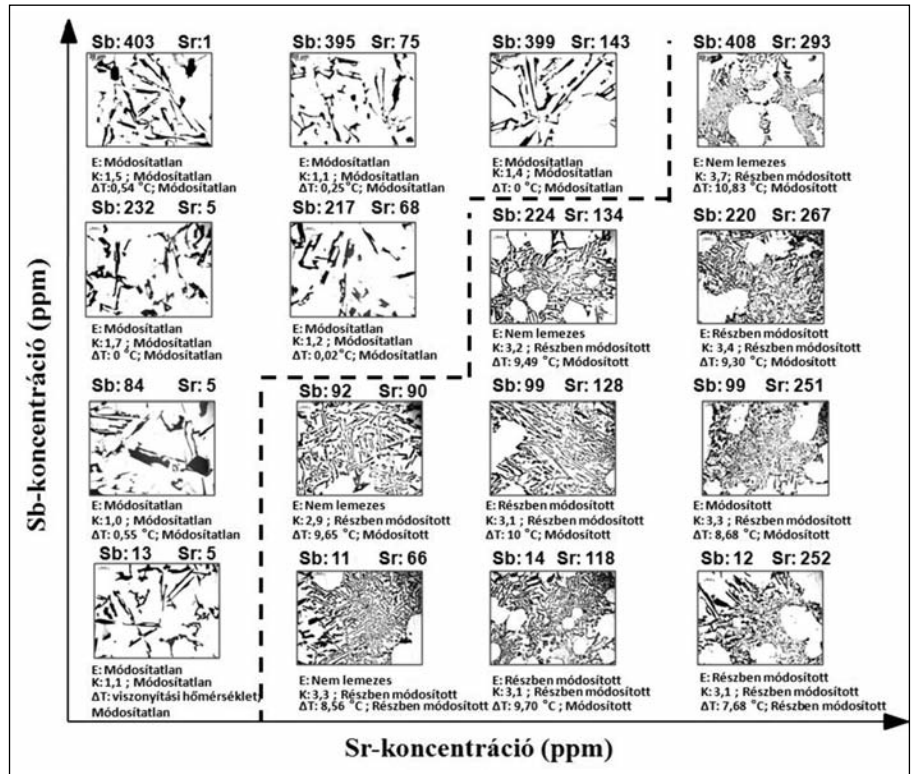
az eutektikum tényleges megszilárdulási hőmérséklete módosított esetben.

Az irodalomban ΔT értéke alapján kétféle csoportot különböztetnek meg: amennyiben $9\text{ }^\circ\text{C}$ -nál kisebb a különbség, akkor nem módosítottak, amennyiben nagyobb, akkor módosítottak állapíthatjuk meg az eutektikum szerkezetét. A lehülési görbékről leolvasott ΔT értékek és a próbadarabok szövetszerkezetei alapján azonban szükségesnek éreztük egy újabb osztály bevezetését: amennyiben ΔT értéke $7,5\text{ }^\circ\text{C}$ -nál nagyobb, de $9\text{ }^\circ\text{C}$ -nál kisebb, akkor részben módosítottnak nevezzük a szerkezetet. A 3. ábrán a ΔT túlhűlés, a 4. ábrán pedig a lehülési görbék alapján számított módosítottsági szintek láthatók a mért átlagos antimon- és stronciumkoncentrációk függvényében.

3.3. A kvantitatív számítógépes képelemzés alapján végzett kiértékelés

Az 5. táblázatban láthatóak a különböző stroncium- és antimonkoncentrációjú ötvözetek szakirodalmi adatok alapján meghatározott (l. 4. táblázat) módosítottsági értékei. Az 5. ábrán láthatóak a számítógépes képelemzéssel meghatározott módosítottsági szintek a mért stroncium- és antimonkoncentrációk esetében.

A 6. ábrán a próbatestek egy-egy jellemző szövetszerkezeti képe látható a mért stroncium- és antimonkoncentrációk függvényében. A szövetsképek alatt olvasható, hogy a termikus



6. ábra. A szövetszerkezet módosítottságának összehasonlítása valós stroncium- és antimonkoncentrációk függvényében meghatározott jellemző szövetszerkezetek, a hozzájuk tartozó ΔT túlhűlés és kvantitatív számítógépes képelemzés alapján meghatározott módosítottsági szintekkel (N=500x)

analízissel, illetve a számítógépes képelemzéssel milyen módosítottsági szinteket állapítottunk meg.

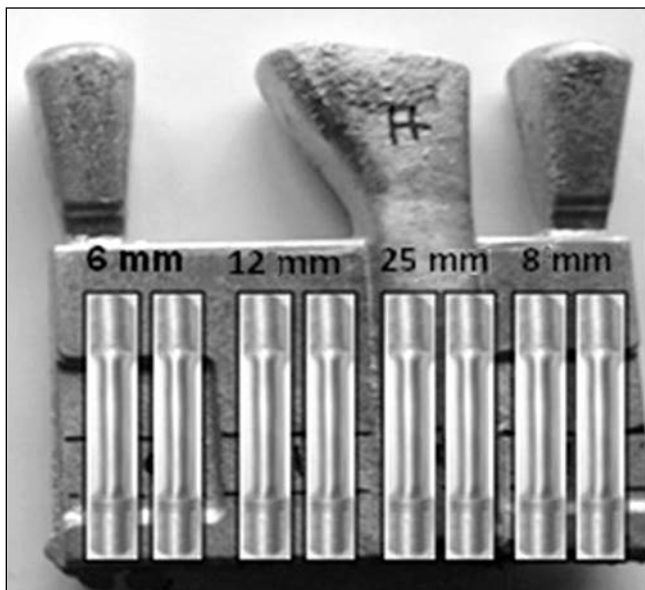
Az elemzések eredményei alapján megállapítható:

- ha az antimonkoncentráció nő, a módosítottsághoz szükséges stronciumkoncentráció növelése szükséges;
- adott stronciumtartalmú sorozatok legnagyobb antimonkoncentrációjú

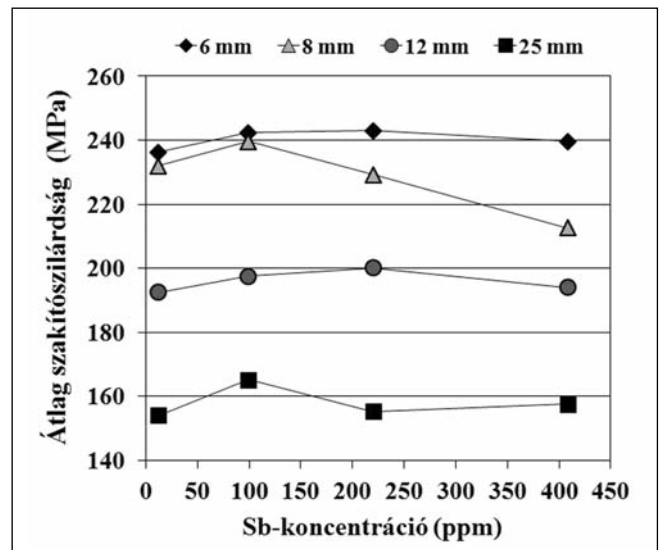
tagjai az eggyel kisebb koncentrációjú stronciumsorozatok kisebb antimon tartalmú tagjaival megegyező módosítottsági szinteket mutatnak.

4. Mechanikai tulajdonságok

A mechanikai tulajdonságok meghatározásához a saját ötvözesű szakítópálcákat előzetesen meghatározott he-



7. ábra. A kísérleti ötvény a szakítópálcák kimunkálási helyeivel



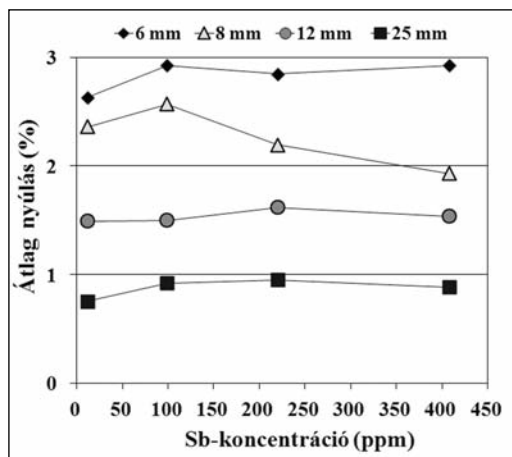
8. ábra. Átlagos szakítószilárdság értékek 266 ppm Sr-koncentráció esetén az Sb-koncentráció függvényében, 6, 8, 12 és 25 mm falvastagságok esetén

lyekről forgácsolták ki, amelyek a 7. ábrán láthatók.

Az antimon és a változó falvastagság hatását ábrázoltuk 226 ppm Sr-ötvözes esetén, amekkora stronciummennyiséget általában üzemi viszonyok között is alkalmaznak. A 8. ábrán látható, hogy amennyiben a falvastagság növekszik, a szakítószilárdsági értékek csökkennek. A 9. ábrán szintén látható, hogy a falvastagság növekedésével a nyúlási értékek csökkennek. Az antimon mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatása laboratóriumi körülmények között nem volt kimutatható a 266 ppm stroncium koncentrációjú ötvözet esetén.

4.1. A szakítópálcák töretének és szövetszerkezetének kiértékelése

További scanning elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálathoz a 25 mm-es falvastagságú ötvényrészről kimunkált próbapálcákból választottunk ki mintákat, melyeknek mechanikai tulaj-



9. ábra. Átlagos nyúlási értékek 266 ppm Sr-koncentráció esetén, az Sb-koncentráció függvényében, 6, 8, 12 és 25 mm falvastagságok esetén

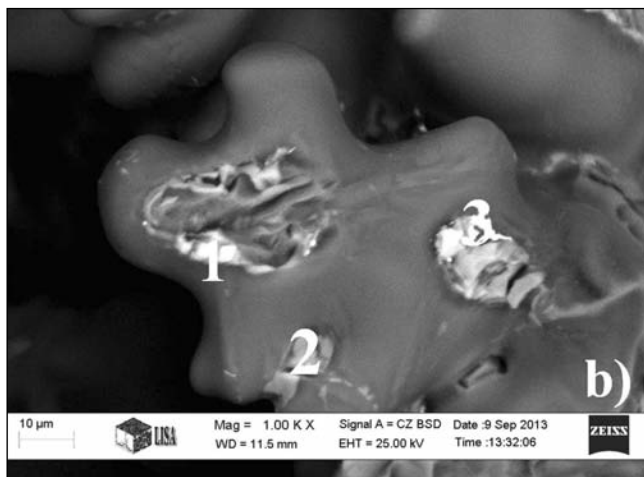
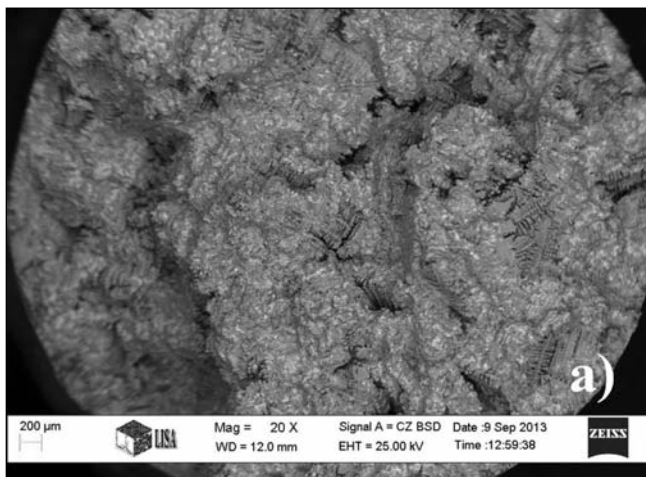
donságai a legrosszabbak voltak, illetve a 8 mm-es részekből, amelyek eredményei a legjobbak voltak. Jelen cikkünkben a 300 ppm stroncium- és 340 ppm antimon tartalmú mintákat mutatjuk be.

A 25 mm-es falvastagságú részből származó, kedvezőtlen mechanikai tulajdonságú minta töretfelületén kü-

lönöző fázisok láthatóak az Al-mátrixban (10a-b ábra). Az elektronsugaras mikroanalízis (EDS) eredmények a megkülönböztetett fázisokkal a 10b ábrán láthatóak. Az 1-gyel jelölt fázis stroncium- és antimon tartalmú vegyületet mutat, a 2-vel jelölt fázis rézben gazdag, míg a 3-mal jelölt ólom tartalmú részecske. A 10a ábra töretfelületén látható, hogy elég nagy a porozitás térfogathányada.

A 6. táblázatban láthatóak a 25 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálcák töretének EDS-elemzés eredményei. A 11. ábrán láthatóak a 25 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálcák töretének 1. vizsgálati pontjához tartozó EDS-elemzési eredmények.

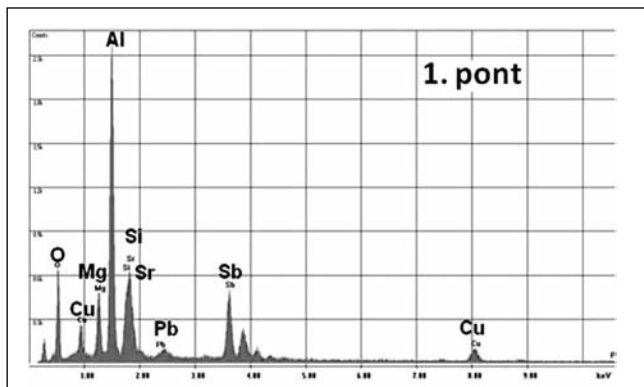
A 12a-b ábrákon láthatóak a 8 mm-es falvastagságú részből származó, kedvező mechanikai eredményeket adó minta töretfelvételei 340 ppm Sb- és 300 ppm Sr-koncentrációval. Összehasonlítva a 10a és 12a ábrákat látható, hogy a porozitás mértéke



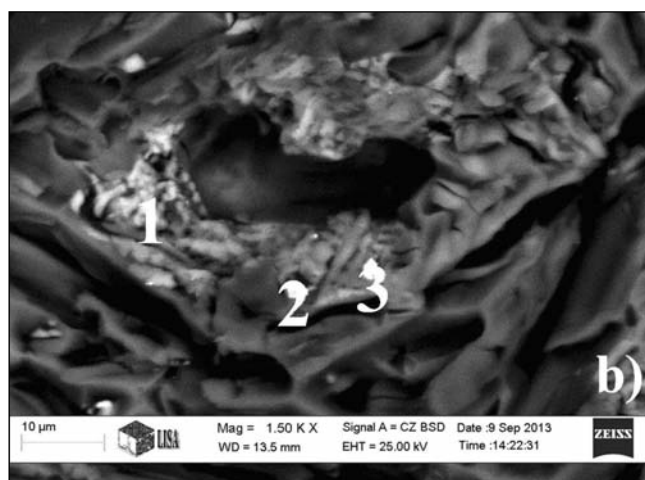
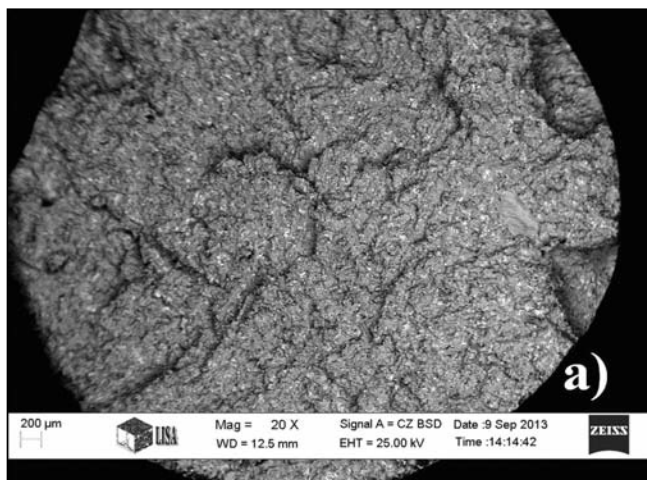
10a-b ábra. A 25 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálcák törete (a) és SEM-felvétel (b)

6. táblázat. EDS-elemzés eredményei (25 mm, 10b ábra)

Elemek (tömeg%)	1. pont	2. pont	3. pont
Si	5,61	2,52	2,93
Cu	5,11	26,13	2,33
Mg	5,82	1,14	0,64
O	15,97	–	–
Sr	17,38	–	–
Sb	19,43	–	–
Pb	2,42	–	54,89



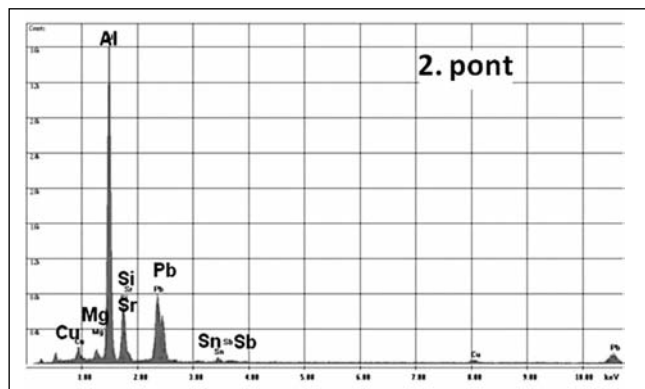
11. ábra. A 10b ábra 1. pontjához tartozó EDS-elemzés



■ 12a-b ábra. A 8 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálca törete (a) és SEM-felvétel (b)

7. táblázat. EDS-elemzés eredményei (8 mm, 12b ábra)

Elemek (tömeg%)	1. pont	2. pont	3. pont
Si	7,52	12,21	4,42
Cu	27,82	2,18	4,25
Mg	–	–	0,68
Fe	–	–	1,48
Sr	–	1,23	1,37 -
Sb	–	0,54	–
Pb	–	38,11	–
Sn	–	2,65	–



■ 13. ábra. A 12b ábra 2. pontjához tartozó EDS-elemzés

és az Sr-Sb-vegyületek mennyisége jóval kisebb a 8 mm falvastagságú részből kimunkált minta esetében.

A 7. táblázatban láthatóak a 8 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálca töretének EDS-elemzés eredményei. A 13. ábrán láthatóak a 8 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálca töretének 2. vizsgálati pontjához tartozó EDS-elemzési eredmények.

A töretvizsgálatok után a szakítópálcaikon szövetszerkezet-vizsgálatot is végeztünk. A scanning elektronmikroszkópos vizsgálattal a kísérleti adagokból öntött minden stroncium és antimon kombinációjú szakítópálca esetében azonosítottunk a szövetszerkezetben megjelenő, antimont és stronciumot együtt tartalmazó intermetallikus vegyületezfázisokat.

A 14 a-d ábrákon látható SEM-felvételek a 8 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálcaik esetében készültek.

A 8. táblázatban láthatóak a 8 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálca töretének EDS-elemzés ered-

ményei (14c ábra). A 15. ábrán láthatóak a 8 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálca töretének 14c ábrán szereplő 1. vizsgálati pontjához tartozó EDS-elemzési eredmények.

A 16 a-d ábrákon látható SEM-felvételek a 25 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálcaik esetében készültek.

A 9. táblázatban láthatóak a 25 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálca töretének EDS-elemzés eredményei (16d ábra). A 17. ábrán láthatóak a 25 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálca töretének 16d ábrán szereplő 1. vizsgálati pontjához tartozó EDS-elemzési eredmények.

5. Összefoglalás

Jelen munkánkban különböző koncentrációkban vizsgáltuk az antimon és stroncium együttes hatását a mechanikai tulajdonságokra, a szövetszerkezet módosíthatóságának mértékére és az intermetallikus vegyületek kialakulásának tendenciájára Al-Si-

ötvözet esetén. Az antimon koncentrációja 40 és 400 ppm, míg a stroncium koncentrációja 5 és 300 ppm között változott.

Bemutattuk a módosíthatósági szintek meghatározására alkalmazott három összehasonlító módszer eredményeit, úgymint AFS etalonképek, termikus analízis és kvantitatív számítógépes képelemzés alapján.

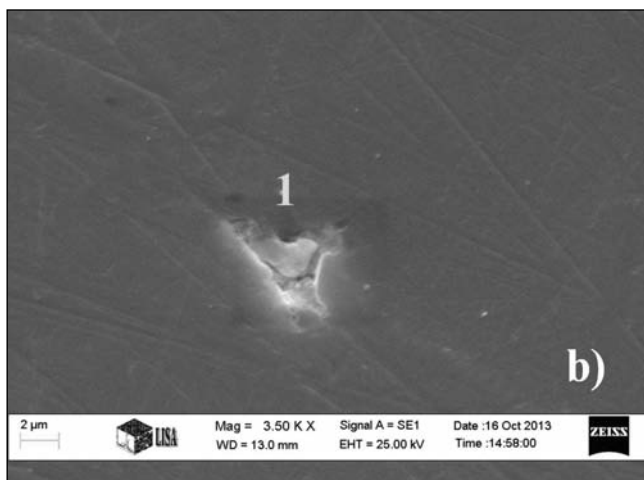
Az elemzések alapján megállapítható:

- ha az antimonkoncentráció nő, a megfelelő módosíthatósághoz szükséges stronciumkoncentrációt is növelni kell;
- adott stronciumtartalmú sorozatok legnagyobb antimonkoncentrációjú tagjai az eggyel kisebb koncentrációjú stronciumsorozatok kisebb antimon tartalmú tagjaival megegyező módosíthatósági szinteket mutatnak;
- a lehülési görbék eredményei alapján bevezettük a részben módosított szerkezet fogalmát, amennyiben a ΔT értéke kisebb 9 °C-nál, de nagyobb 7,5 °C-nál;
- a szakítószilárdsági és nyúlási értékek mérése alapján a falvastagság

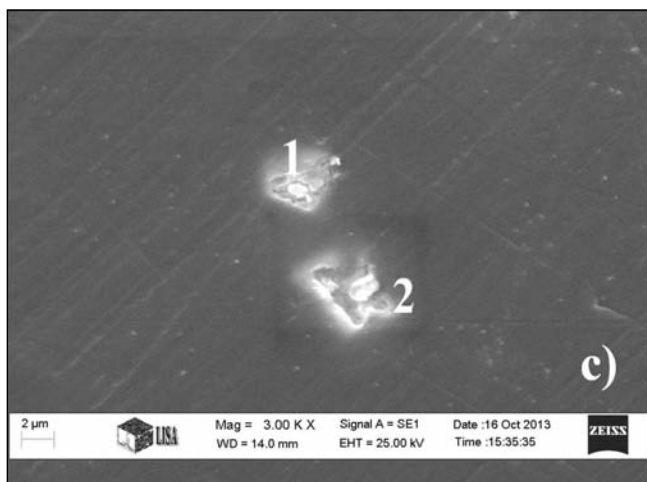
Sr: 75 ppm Sb: 94 ppm



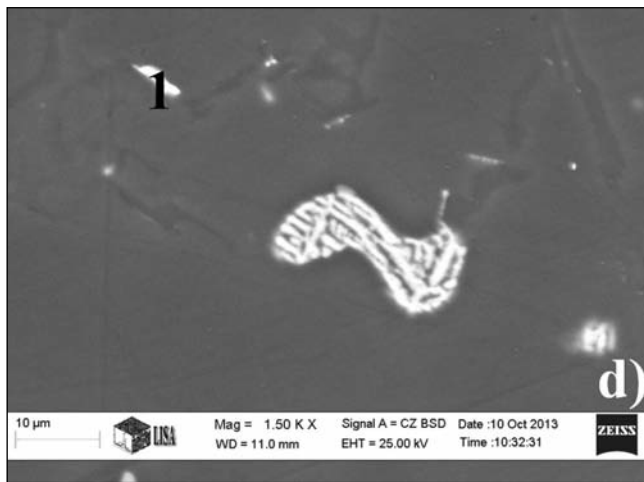
Sr: 131 ppm Sb: 223 ppm



Sr: 131 ppm Sb: 401 ppm



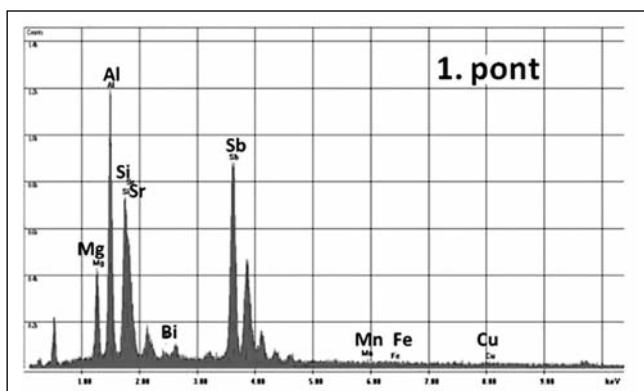
Sr: 266 ppm Sb: 401 ppm



■ **14a-d ábra.** A 8 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakítópálcák SEM-felvételei mért átlag stroncium- és antimonkoncentrációk esetén

8. táblázat. EDS-elemzés eredményei (8 mm, 14c ábra)

Elemek (tömeg%)	1. pont	2. pont
Si	11,18	7,77
Cu	1,08	2,07
Mg	7,01	7,24
Mn	0,36	0,38
Fe	0,47	0,60
Sr	14,56	14,44
Sb	44,61	45,25
Bi	1,46	1,25



■ **15. ábra.** A 14c ábra 1. pontjához tartozó EDS-elemzés

növelésével a mechanikai tulajdonságok romlottak. Az antimon mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatása nem volt kimutatható a 266 ppm stronciumkoncentrációjú ötvözet esetén laboratóriumi körülmények között;
 – a töretek elemzése során számos stroncium- és antimontartalmú in-

termetallikus vegyületet találtunk a szövetben. Ezek hatásának vizsgálatára további kutatásokra van szükség.

Köszönetnyilvánítás

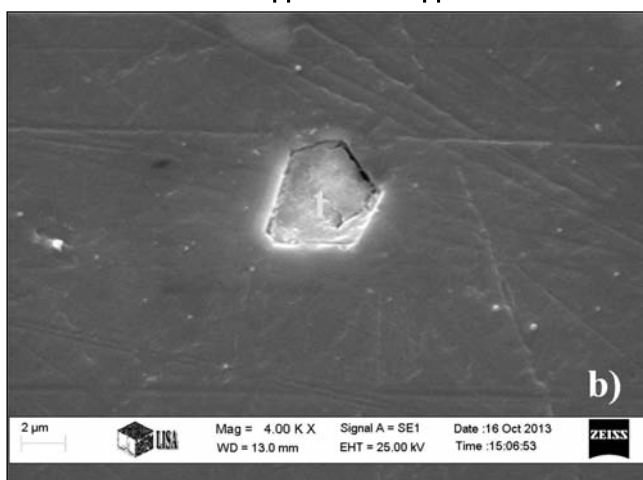
A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság Prog-

ram című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. Köszönetet mondunk Kovács Árpád mérnök-tanárnak, dr. Bánhidi Olivér egyetemi docensnek és Mikó Tamás tudományos segédmunkatársnak a vizsgálatoknál nyújtott segítségért.

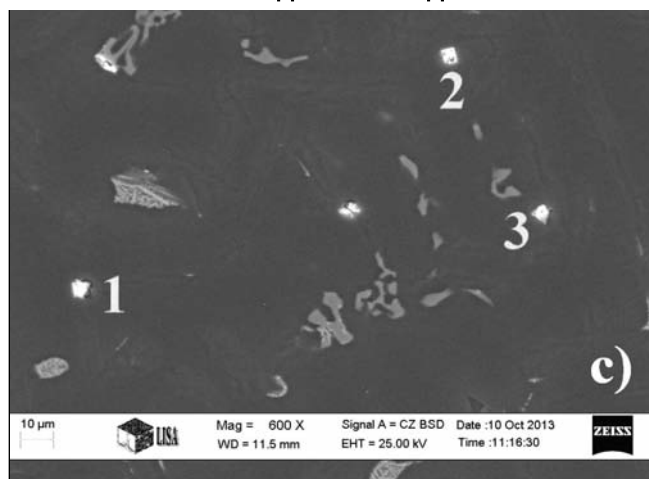
Sr: 75 ppm Sb: 94 ppm



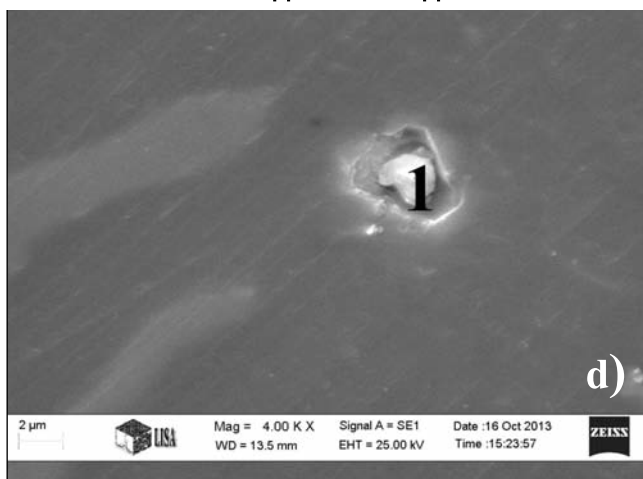
Sr: 131 ppm Sb: 223 ppm



Sr: 131 ppm Sb: 401 ppm



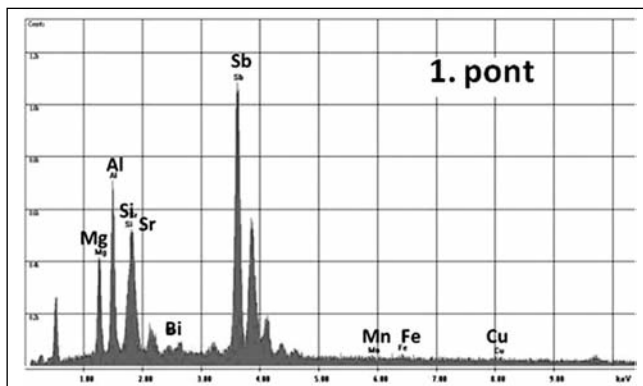
Sr: 266 ppm Sb: 401 ppm



■ **16a-d ábra.** A 25 mm-es falvastagságú részből kimunkált szakitópálcák SEM-felvételei mért átlag stroncium- és antimonkoncentrációk esetén

9. táblázat. EDS-elemzés eredményei (25 mm, 16d ábra)

Elemek (tömeg%)	1. pont
Si	3,78
Cu	0,83
Mg	8,20
Mn	0,43
Fe	0,67
Sr	17,75
Sb	54,12
Bi	1,19



■ **17. ábra.** A 16d ábra 1. pontjához tartozó EDS-elemzés

Irodalom

- [1] M. Djurdjevic, H. Jiang, J. Sokolowski: On-line prediction of aluminium-silicon eutectic modification level using thermal analysis, *Materials Characterization* - Elsevier, 46 (2001) 31–38.
- [2] Pacz A.: Alloy. US patent no. 1387900 (1921)
- [3] A. K. Dahle, K. Nogita, S. D. McDonald, C. Dinnis, L. Luc: Eutectic modification and microstructure development in Al–Si alloys, *Materials Science and Engineering*, A413–414 (2005) 243–248.
- [4] N. Fatahalla, M. Hazif, M. Abdulkhalek: Effect of microstructure on the mechanical properties and fracture of commercial hypoeutectic Al–Si alloy modified with Na, Sb and Sr, *Journal of Materials Science*, 34 (1999) 3555–3564.
- [5] J. G. Kaufman, E. L. Rooy: *Aluminium alloy castings properties, processes and applications*, ASM International, ISBN: 0-87170-803-5 (2005)
- [6] W. Wang, J. E. Gruzleski: Interactive effects during sodium or strontium treatment of antimony-containing A356 alloy, *AFS Transactions*, 227–234. (1990)
- [7] M. Garant, G. Laslaz, P. Meyer, P. H. Gurerin, R. Adam: State of the art use of Sb–Na and modified Al–Si casting alloy, *AFS Transactions*, 821–832. (1992)
- [8] Z. Gácsi: The application of digital image processing for materials science, *Materials Science Forum*, Vol. 414–415, 213–220. (2003)