

Miskolci Egyetem

Anyag- és Vegyészmérnöki Kar



Silafont36 nyomásos öntészeti ötvözet mechanikai tulajdonságainak vizsgálata

Study of the Silafont36 HPDC alloy mechanical properties

KIEGÉSZÍTŐ DOKUMENTUM



Konzulensek:

Terék Tamás, technológia vezető

Dr. Kulcsár Tibor egyetemi adjunktus

Készítette:

Orosz Adrienn, kohómérnök MSc hallgató

Miskolc, 2023

Tartalomjegyzék

1. Kiegészítő dokumentum.....	3
2. A technológiai folyamatokból kiemelt szövetszerkezeti képek SEM felvételei	4
2.1 Tömbösített alapanyag kiegészítő SEM felvétele	4
2.2. Kísérleti olvadékból öntött (F) állapotú termék szövetszerkezetének SEM felvétele.....	5
2.3 Kísérleti olvadékból öntött, (T5) állapotú öntvények szövetszerkezetének SEM felvétele	7
2.4 Kísérleti olvadékból öntött, (T6) állapotú öntvények szövetszerkezetének SEM felvételei	9
3. Az összes kísérleti eredménnyel kiegészített, kiértékelt és rendszerezett összesítő táblázat bemutatása	13
3.1 Kísérleti olvadékból öntött, T5 hőkezelési technológia kiegészítő táblázata.....	13
3.2 A T6 hőkezelési technológiával elért eredmények kiegészítő eredményei és értékelése ..	15
3.3 T6 hőkezelési technológia alkalmazhatóságának vizsgálata a széria darabok öntéstechnológiai folyamatában	17
4. A kiegészítő dokumentum összefoglalása.....	22

1. Kiegészítő dokumentum

A TDK-ban bemutatott eredmények a teljes kutatási eredményeim csak egy részét fedték le, ugyanis a dolgozat leadását követően tudtam bizonyos mintáim kiértékelését elvégezni, a teljes eredményhalmazt összefoglalni és rendszerezni. A kutatást SEM vizsgálattal egészítettem ki, a lehető legpontosabb kutatási eredmények eléréséhez és alátámasztásához.

A kiegészítő dokumentumon belül tárgyalt, számozott táblázatok a TDK dolgozatban azonos számmal ellátott táblázatok, a bővített eredményhalmazomból összesítve, kiértékelve. Emellett, kiegészítem a hőkezelési eljárásoknál vizsgált szövetképeimet is, ugyanezen szövetek SEM felvételeivel, melyek a szövetben jelen lévő vegyületfázisok beazonosítása végett volt fontos.

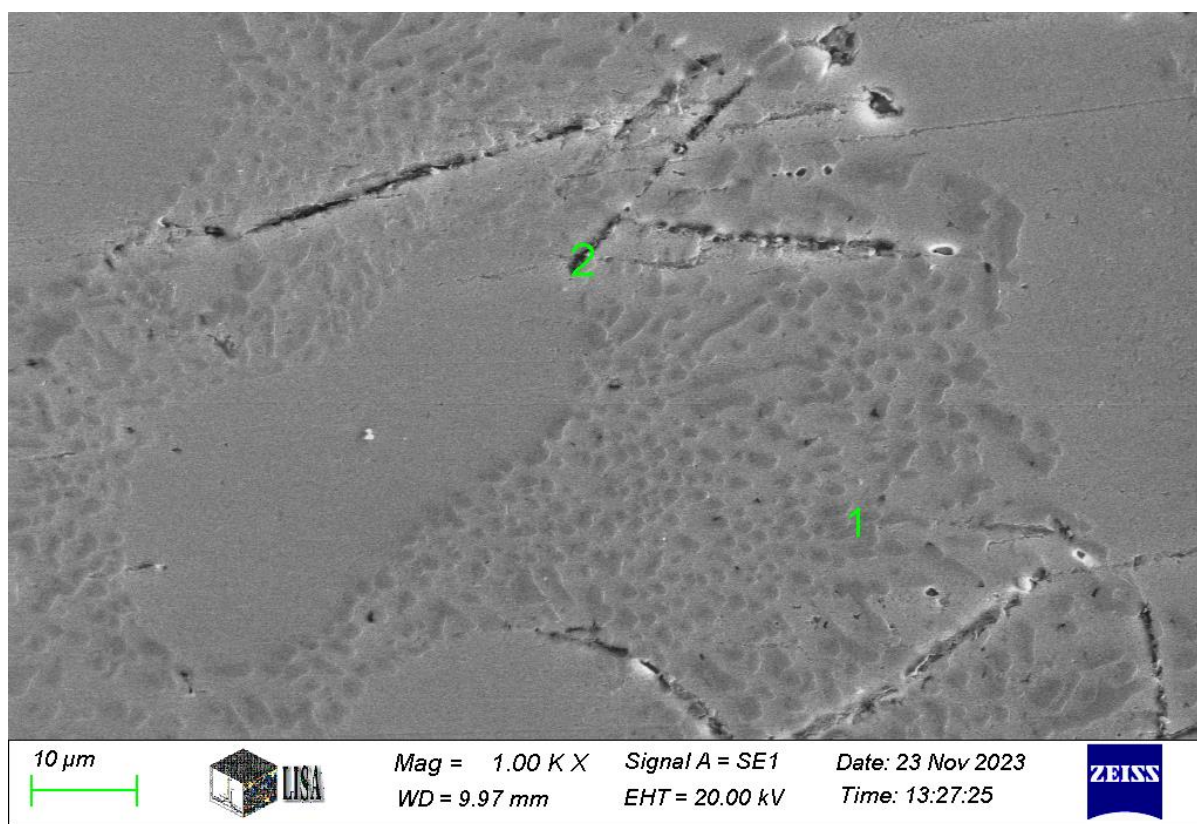
Megjegyzés: A TDK dolgozatban a hőkezelési eljárások tárgyalásakor homogenizációs és megeresztési eljárásokat a könnyűfémiparhoz, azon belül is az alumínium ötvözetekhez kapcsolódóan, korrigálok. A homogenizálás alatt oldó hőkezelést, megeresztés alatt pedig mesterséges öregítést ért a szerző.

2. A technológiai folyamatokból kiemelt szövetszerkezeti képek SEM felvételei

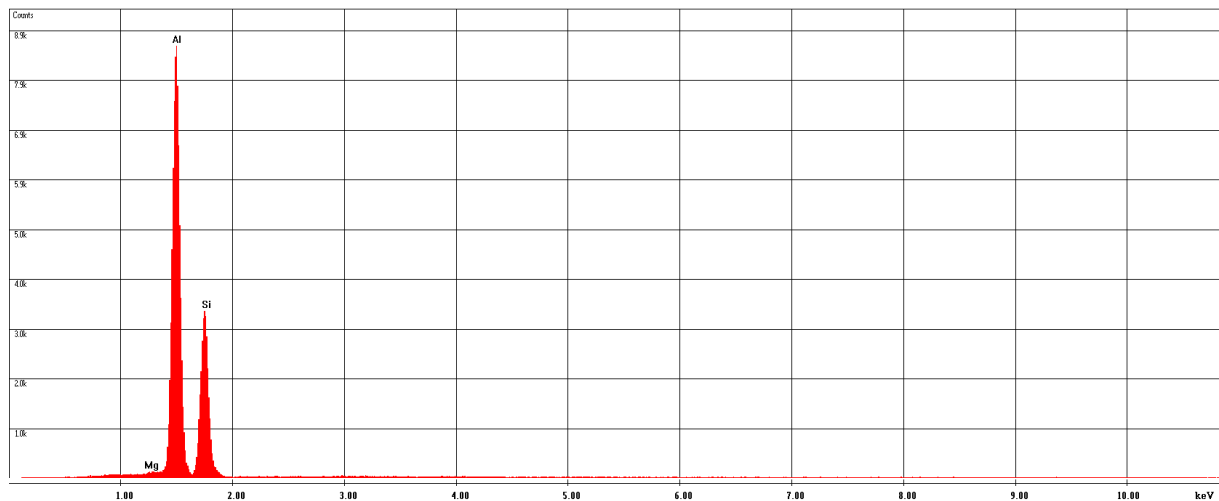
2.1 Tömbösített alapanyag kiegészítő SEM felvétele

A tús kiválások SEM vizsgálata (1. kiegészítő ábra) megerősítette a tömbösített alapanyag szövetszerkezetében megjelenő vegyületkiválások vas- és mangántartalmát (3. kiegészítő ábra), mely a tdk dolgozat 25. ábráján láthatóan, a teljes szövetszerkezetben megfigyelhető.

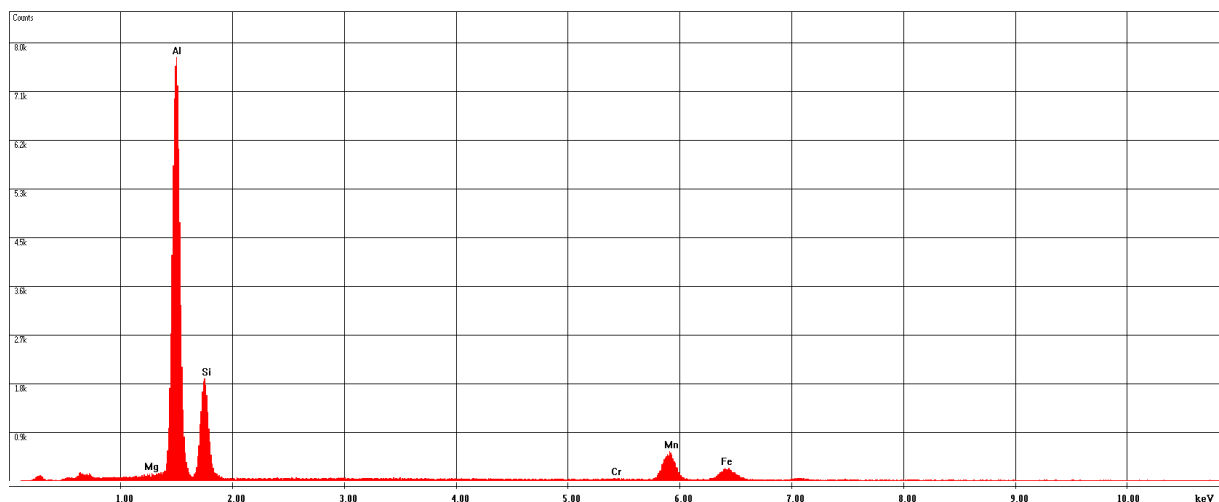
Ezek a vegyületkiválások ebben a morfológiai megjelenésben rendkívül ridegek, dinamikus igénybevételek és terheléses vizsgálatok során feszültséggyűjtő pontként funkcionálnak, ezáltal a repedések epicentrumaként szolgálnak. A mikrorepedések pedig terhelés hatására további repedéseket idéznek elő, így az alkatrész a tervezett élettartam előtti tönkremenetele várható.



1. kiegészítő ábra β -Al₅FeSi vegyületkiválások SEM felvétele 1000X nagyításban



2. kiegészítő ábra A tömbösített alapanyag SEM felvételén 1-essel jelölt terület (alpmátrix eutektikuma) röntgenspektruma

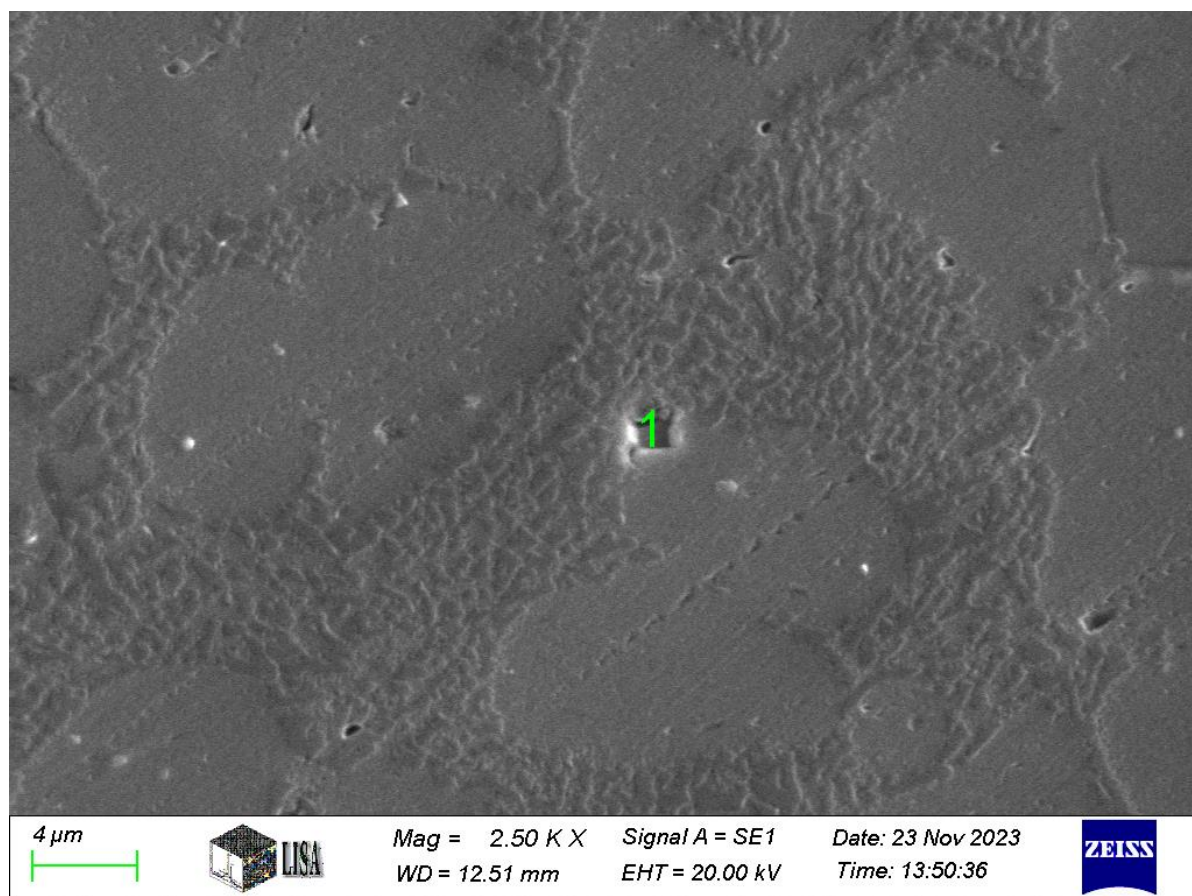


3. kiegészítő ábra A tömbösített alapanyag SEM felvételén 2-essel jelölt terület (primér Al határain megjelenő vegyületfázis) röntgenspektruma

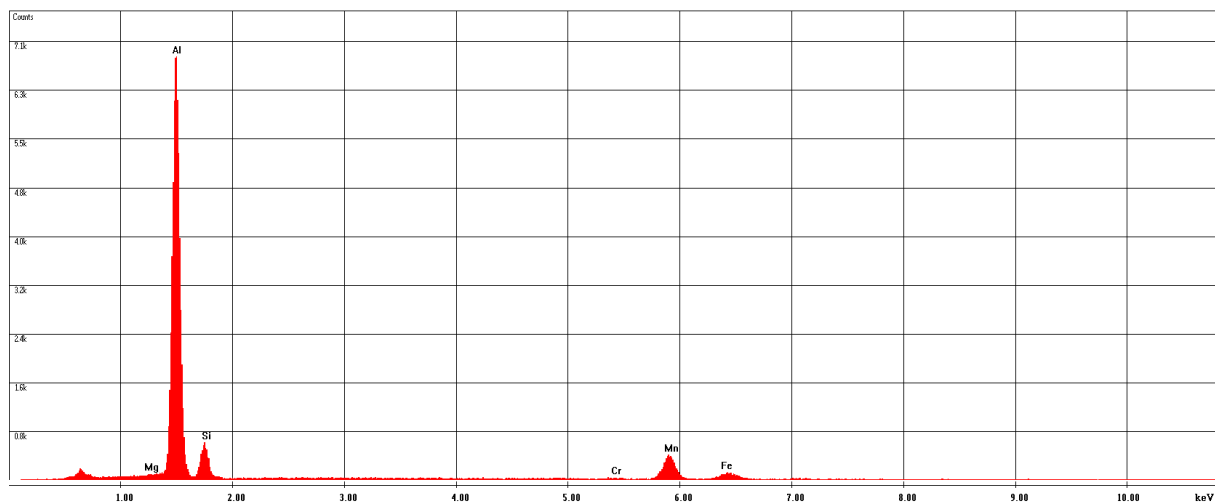
2.2. Kísérleti olvadékból öntött (F) állapotú termék szövetszerkezetének SEM felvétele

A kísérleti olvadékban az α -Al denritek határain egyértelműen felismerhetők a már α -típusú, sokszög/poligon morfológiával kristályosodott vas és mangán tartalmú intermetallikus vegyületfázisok (iszap) jelenléte, melyek a 4.; 8. és 13. kiegészítő ábrán láthatóak. A kedvező vegyületmorfológia kialakulásának feltételeit az olvadékhoz adagolt AlSr10 előötvözet hatása is segíti, emellett, az ötvözet mangántartalma, és a nyomásos öntészet során, a formaüregből történő eltávolítást követő gyors hűtés (víz).

A 4. kiegészítő ábrán 2500X nagyításban látható vegyületfázis mellett az α -Al fázis esetében megfigyelhetők az apró, tűszúrásokra emlékeztető pontok, melyek az olvadékban nagy mértékben oldódott, majd kristályosodás során kivált hidrogén jelenlétére utalnak. Az eutektikum finom eloszlású, szálás szerkezetű. A szövetben megjelenő intermetallikus fázis energiadiszperzív elemzését az 5. kiegészítő ábra mutatja be.



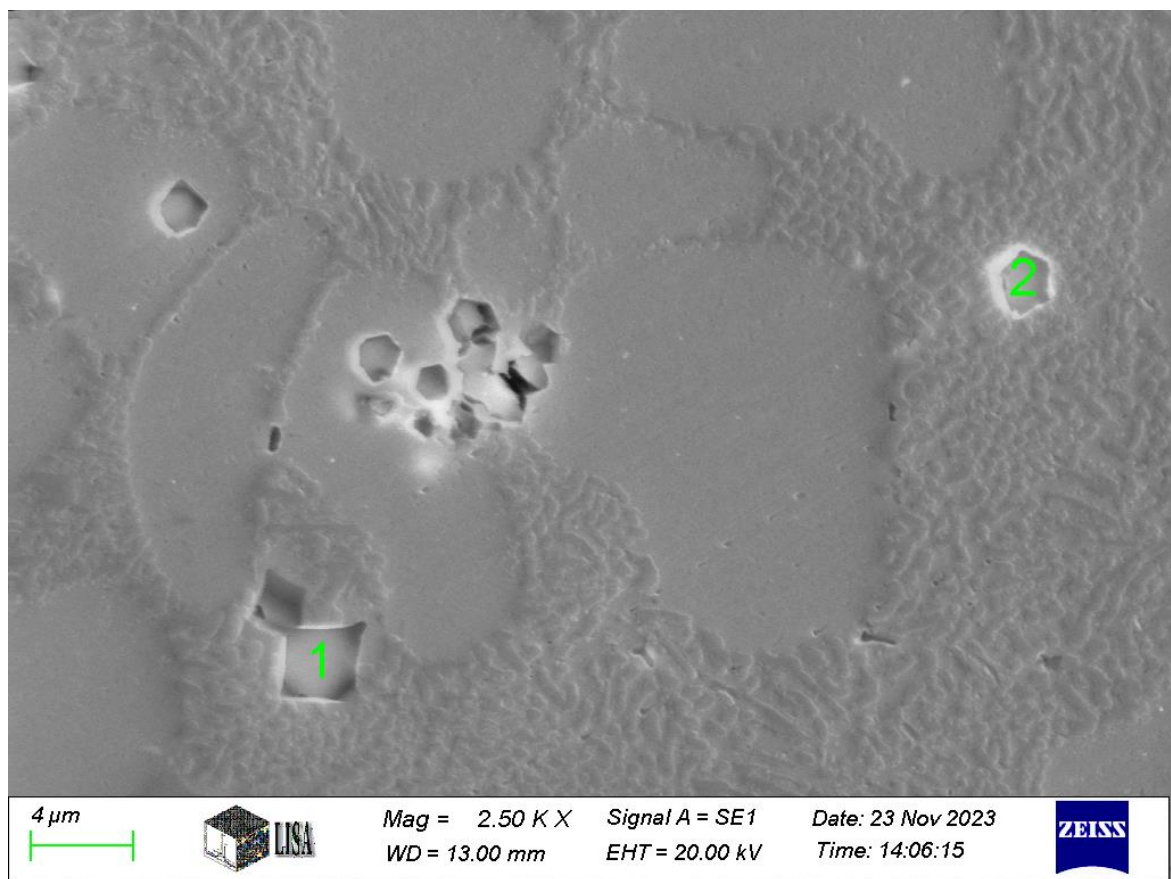
4. kiegészítő ábra Kísérleti olvadékból öntött termék szövetszerkezete SEM felvételen, 2500X nagyításban, intermetallikus vegyületfázissal az α -szilárdoldat határán



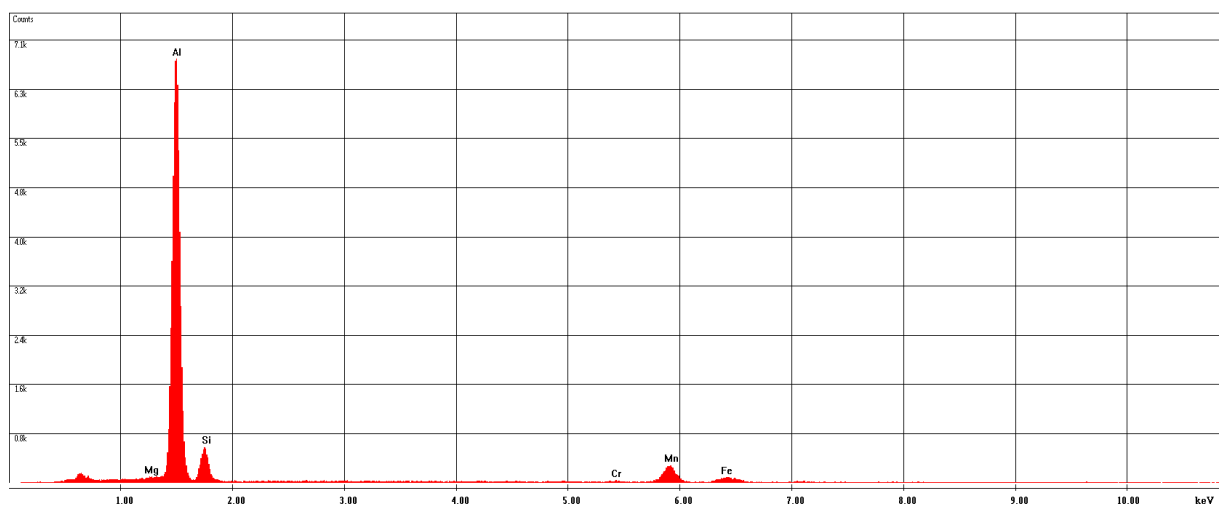
5. kiegészítő ábra Kísérleti olvadékból öntött termék SEM felvételén 1-essel jelölt vegyületfázisának röntgenspektruma

2.3 Kísérleti olvadékból öntött, (T5) állapotú öntvények szövetszerkezetének SEM felvétele

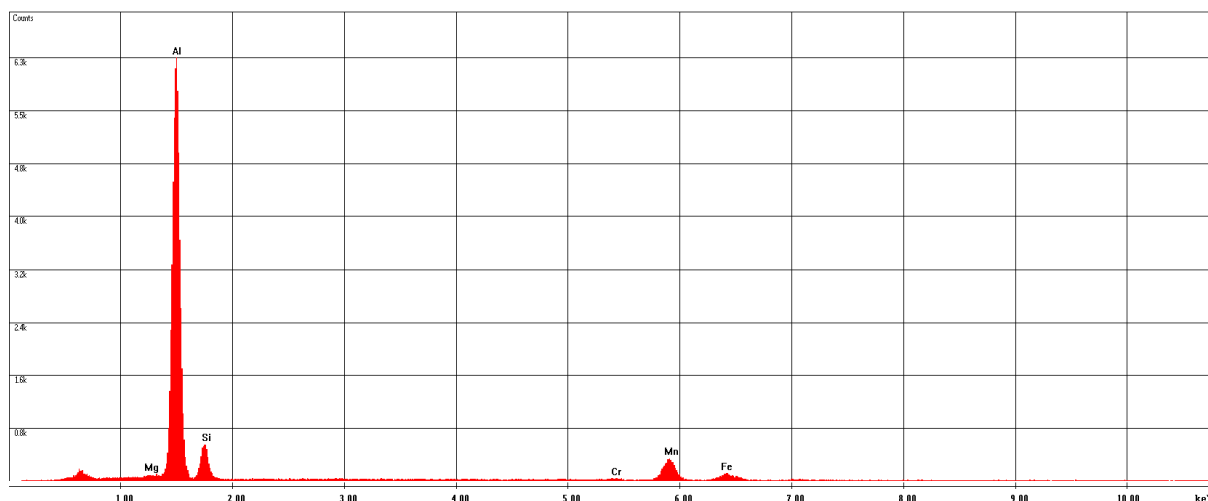
A vegyületfázisok jelenléte ez esetben is megfigyelhető a primér α -Al fázishatárokon, a korábbiakban látott eloszlásban és méretben (TDK 27. ábra). A T5 hőkezelési technológiában alkalmazott hőmérsékleten az eutektikum az öntött állapothoz hasonló, finom eloszlású, lemezes szerkezetet eredményezett, a vasas vegyületfázisok esetében pedig kis mértékű agglomerátumok (6. kiegészítő ábra) figyelhetők meg. A szövetről készült SEM felvételen különbséget tettem a négyszögletes, illetve a sokszögű vegyületfázisok vizsgálatára vonatkozóan, azonban 7-8. kiegészítő ábrák szerint ugyanazon kémiai összetételű vegyületfázisokról van szó, függetlenül azok morfológiai megjelenésétől.



6. kiegészítő ábra Kísérleti olvadékból öntött hőkezelt termék (T5) SEM felvétele, 250X nagyításban, intermetallikus vegyületfázisokkal az α -szilárdoldat határán



7. kiegészítő ábra Kísérleti olvadékból öntött, T5 hőkezelt termék SEM felvételén 1-essel jelölt vegyületfázis röntgenspektruma

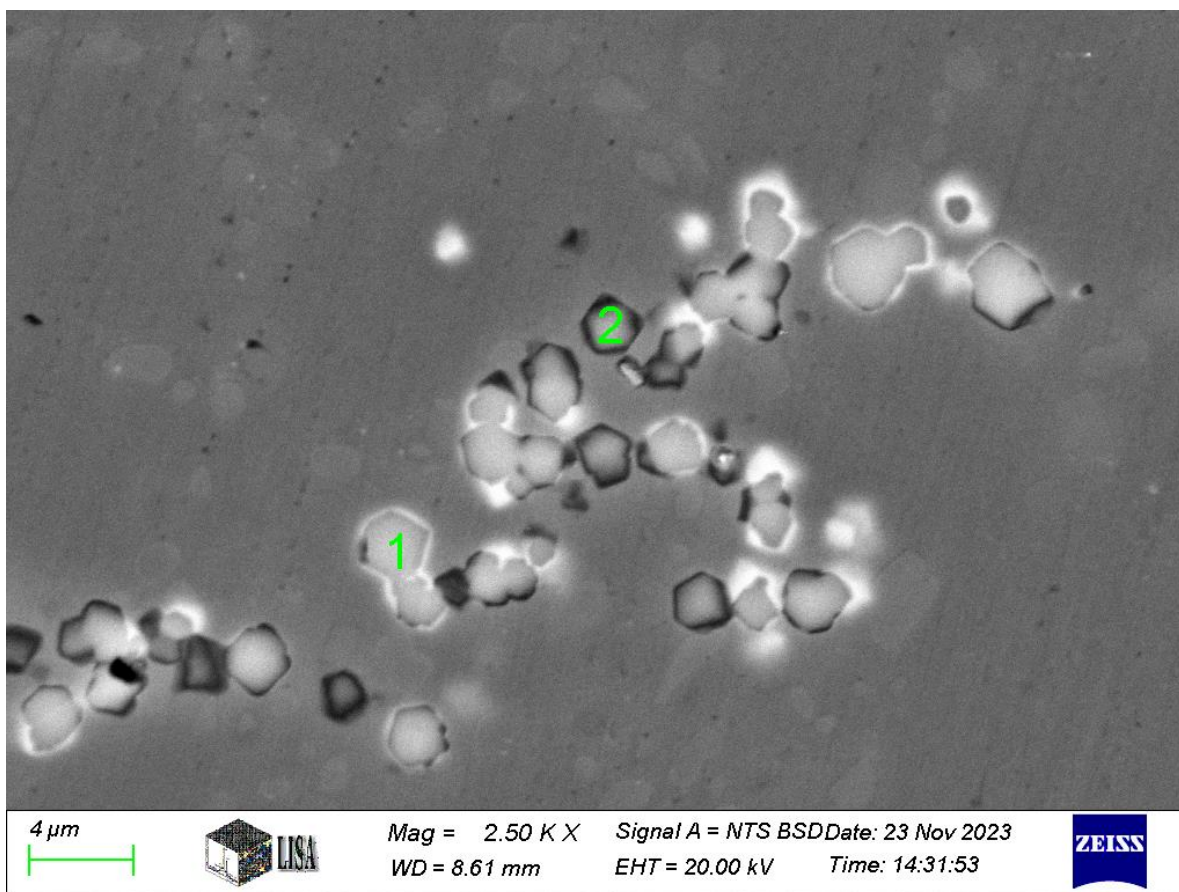


8. kiegészítő ábra Kísérleti olvadékból öntött, T5 hőkezelt termék SEM felvételén 2-essel jelölt vegyületfázis röntgenspektruma

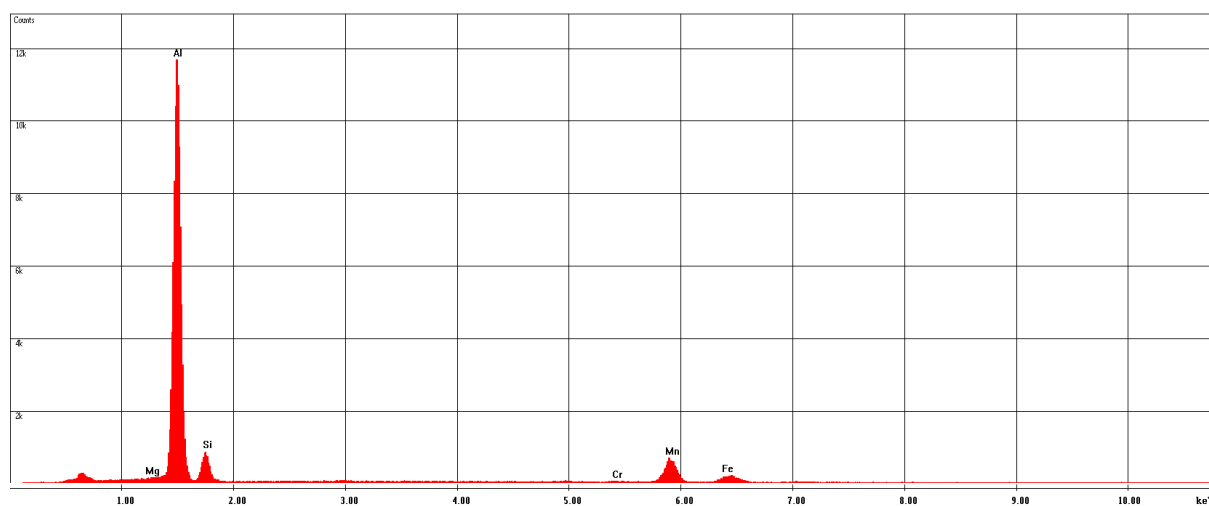
2.4 Kísérleti olvadékból öntött, (T6) állapotú öntvények szövetszerkezetének SEM felvételei

A poligon alakú, vas-mangános kiválások jelenléte a fizikai metallurgiai eljárások követően –korlátozott visszaoldhatóságuk lévén –várható volt a szövetszerkezetben. A T6 hőkezelési technológiával elért szövetszerkezeti SEM vizsgálatokat a 13. kiegészítő ábra mutatja be.

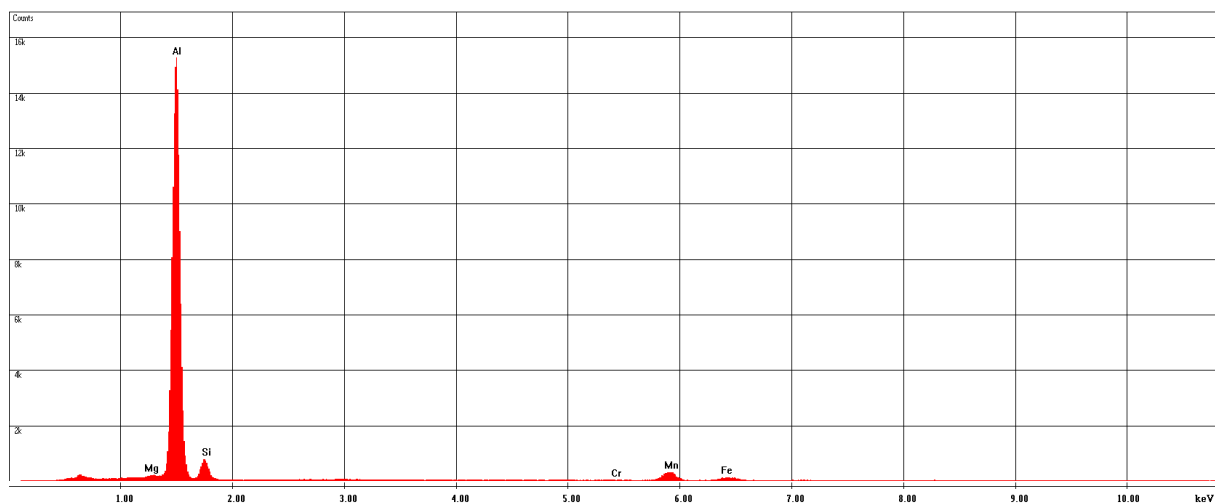
Az egyes technológiai folyamatokból származó termékek SEM felvételeinek összehasonlításakor (4; 6; 9. kiegészítő ábra) megfigyelhető a mesterséges öregítés hatása a vasas vegyületekre nézve, ugyanis hosszabb öregítési idő mellett nagyobb mértékű volt az intermetallikus vegyületfázisok agglomerációja. A 10. kiegészítő ábrán már a vegyületfázisok lényegesen nagyobb területhányadú jelenléte figyelhető meg, melynek oka a hosszabb öregítési idő mellett bekövetkező diffúziós kölcsönhatás.



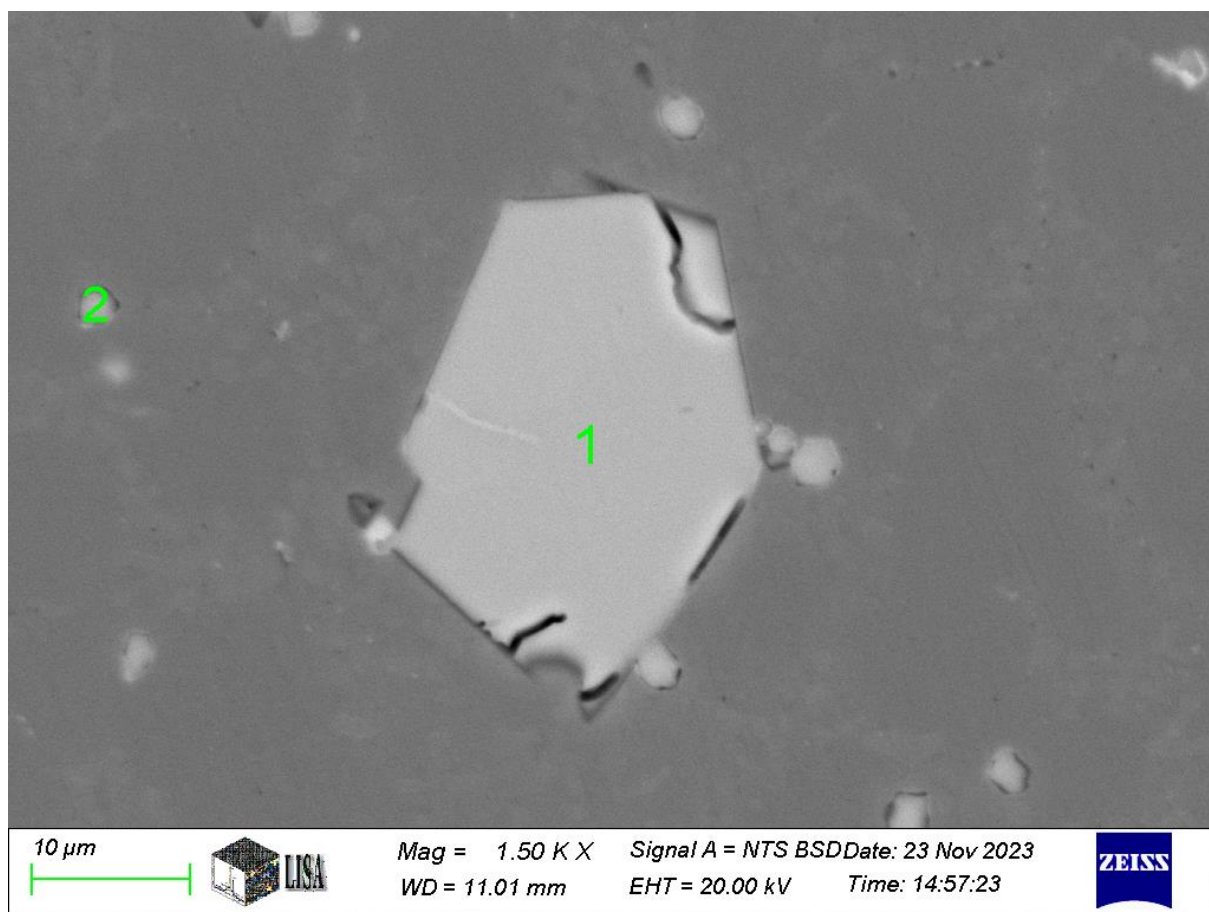
9. kiegészítő ábra Intermetallikus vegyületfázisok agglomerációja T6 után, SEM felvétel 2500X nagyításban



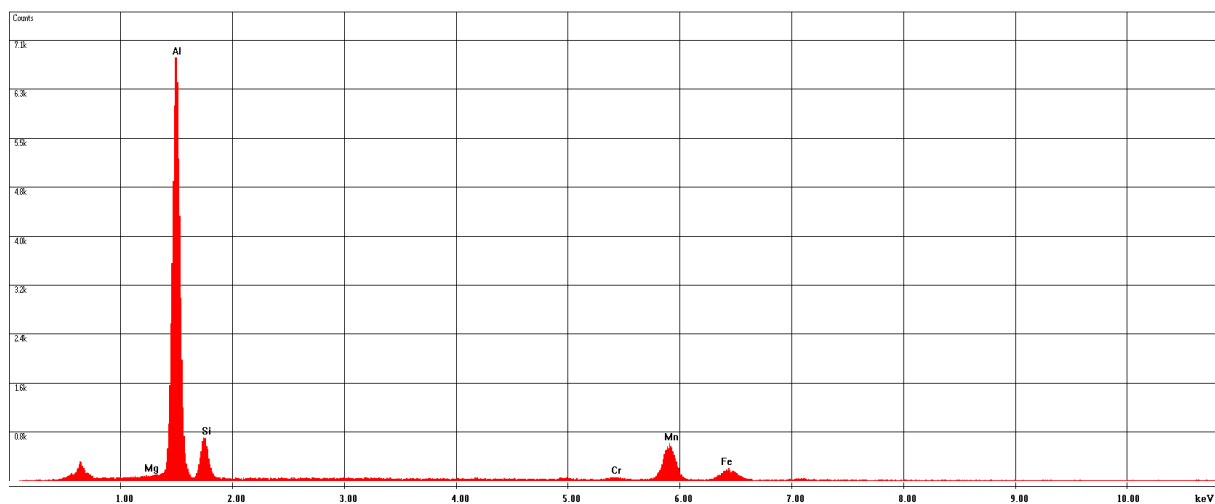
10. kiegészítő ábra A T6 eljárás után vizsgált öntvény SEM felvételén 1-essel jelölt vegyületfázis röntgenspektruma



11. kiegészítő ábra A T6 eljárás után vizsgált öntvény SEM felvételén 2-essel jelölt vegyületfázis röntgenspektruma



12. kiegészítő ábra Intermetallikus fázisok egyesülésének diffúziós mechanizmusa, SEM felvétel 1500X nagyításban



13. kiegészítő ábra Intermetallikus fázisok egyesülésének diffúziós mechanizmusának SEM felvételén 1-essel jelölt vegyületfázis röntgenspektruma



14. kiegészítő ábra Intermetallikus fázisok egyesülésének diffúziós mechanizmusának SEM felvételén 2-essel jelölt vegyületfázis röntgenspektruma

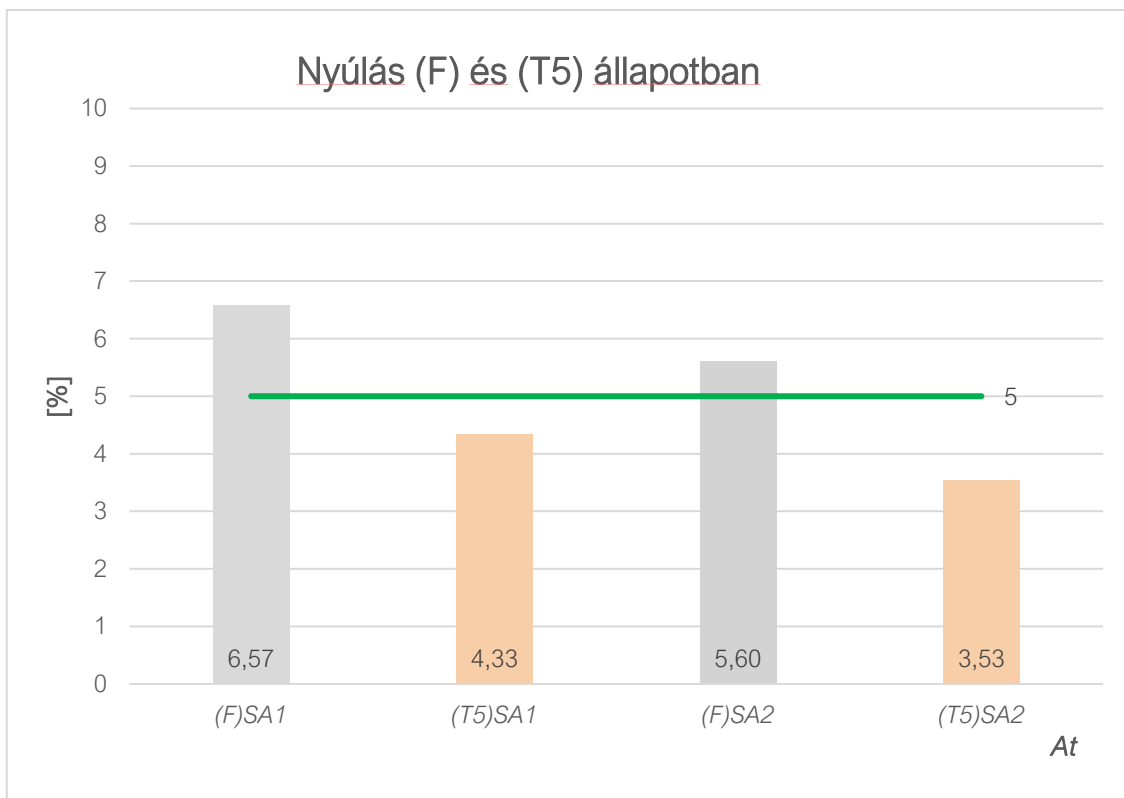
3. Az összes kísérleti eredménnyel kiegészített, kiértékelt és rendszerezett összesítő táblázat bemutatása

3.1 Kísérleti olvadékból öntött, T5 hőkezelési technológia kiegészítő táblázata

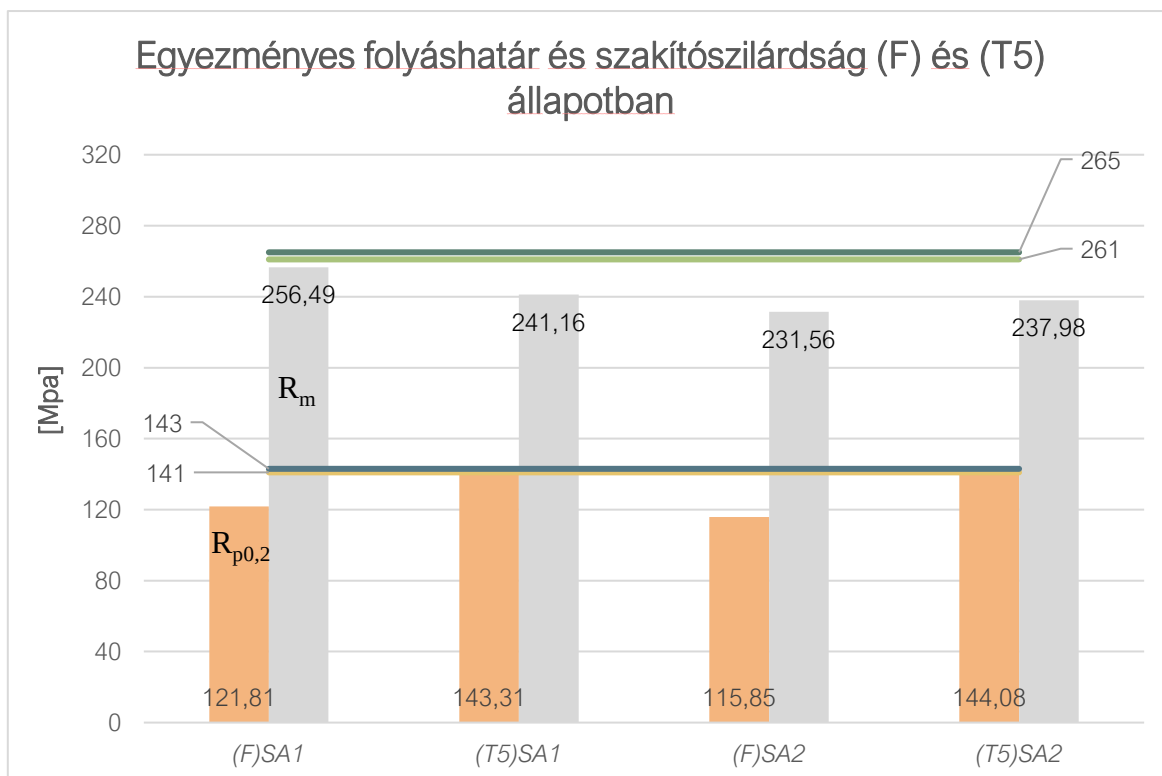
28. táblázat A szériagyártásban lévő alkatrész öntött (F) és T5 hőkezelési technológiával kezelt minták mechanikai tulajdonságai

Mintavételi hely	Állapot	Folyáshatár [MPa]	Szakítószilárdság [MPa]	Nyúlás [%]
SA1	F	170,26±3,95	259,51±5,80	4,56±0,79
SA1	T5	172,61±6,32	266,79±8,04	4,66±0,84
SA2	F	140,27±3,20	240,66±3,75	4,59±0,72
SA2	T5	145,08±3,76	242,27±6,85	3,98±0,75

A kísérleti olvadékból öntött darabok mechanikai tulajdonságait nyers, illetve a szériaöntés során alkalmazott T5 hőkezelési technológiával gyártott állapotukban is megvizsgáltam, melyek eredményét a 28. táblázat szemlélteti. A nyúlás öntött állapotban teljesíti az elvárt 5%-ot a 15. kiegészítő ábrán láthatóan, ám a folyáshatár és szakítószilárdság továbbra is az elvárt határérték alatt marad. (16. kiegészítő ábra). Az alkalmazott T5 hőkezelési technológia után minimális emelkedés tapasztalható a folyáshatár esetében, azonban nyúlás és a szakítószilárdság csökkenő tendenciát eredményezett.



15. kiegészítő ábra Kísérleti olvadékból öntött, T5 hőkezelt termékek nyúlásai



16. kiegészítő ábra Kísérleti olvadékból öntött, T5 hőkezelt termékek folyáshatár és szakító szilárdság eredményei

3.2 A T6 hőkezelési technológiával elért eredmények kiegészítő eredményei és értékelése

1. táblázat Alkalmazott különböző T6 hőkezelési technológia eredményeinek összefoglalása

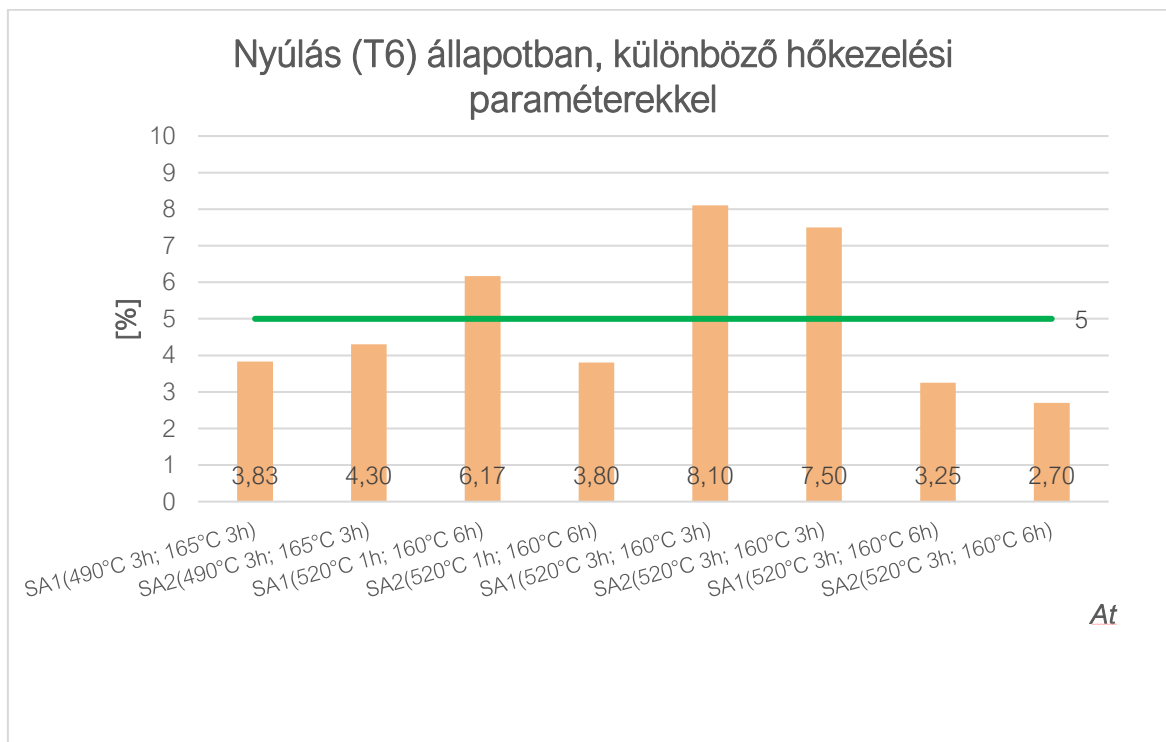
Mintavételi hely	Homogenizálás	Megeresztés	Folyáshatár [%]	Szakítószilárdság [%]	Nyúlás [%]
SA1	490°C; 3h	165°C; 3h	212,37±0,36	266,90±3,73	3,83±0,15
SA1	520°C; 1h	160°C; 6h	233,77±2,28	303,31±6,13	6,17±0,90
SA1	520°C; 3h	160°C; 3h	147,00±1,29	243,34±1,11	8,10±4,03
SA1	520°C; 3h	160°C; 6h	240,69±4,79	259,98±0,76	3,25±0,07
SA2	490°C; 3h	165°C; 3h	205,15±0,32	266,34±1,22	4,30±0,62
SA2	520°C; 1h	160°C; 6h	209,16±1,28	277,95±8,01	3,80±1,11
SA2	520°C; 3h	160°C; 3h	138,31±0,04	232,39±1,25	7,50±4,10
SA2	520°C; 3h	160°C; 6h	236,76±1,53	279,85±3,13	2,70±0,28

Az egyezményes folyáshatárok jelentős javulása tapasztalható az egyes eljárások esetében, illetve a korábbi (T5) eredményekhez képest növekedett a szakító szilárdság. A nyúlás az előírt értékhez a legközelebb azokban az esetekben állt, amikor az oldó hőkezelési folyamat viszonylag rövid hőntartási idő (1h) és a megeresztési folyamat pedig a hosszabb időtartamú volt (6h).

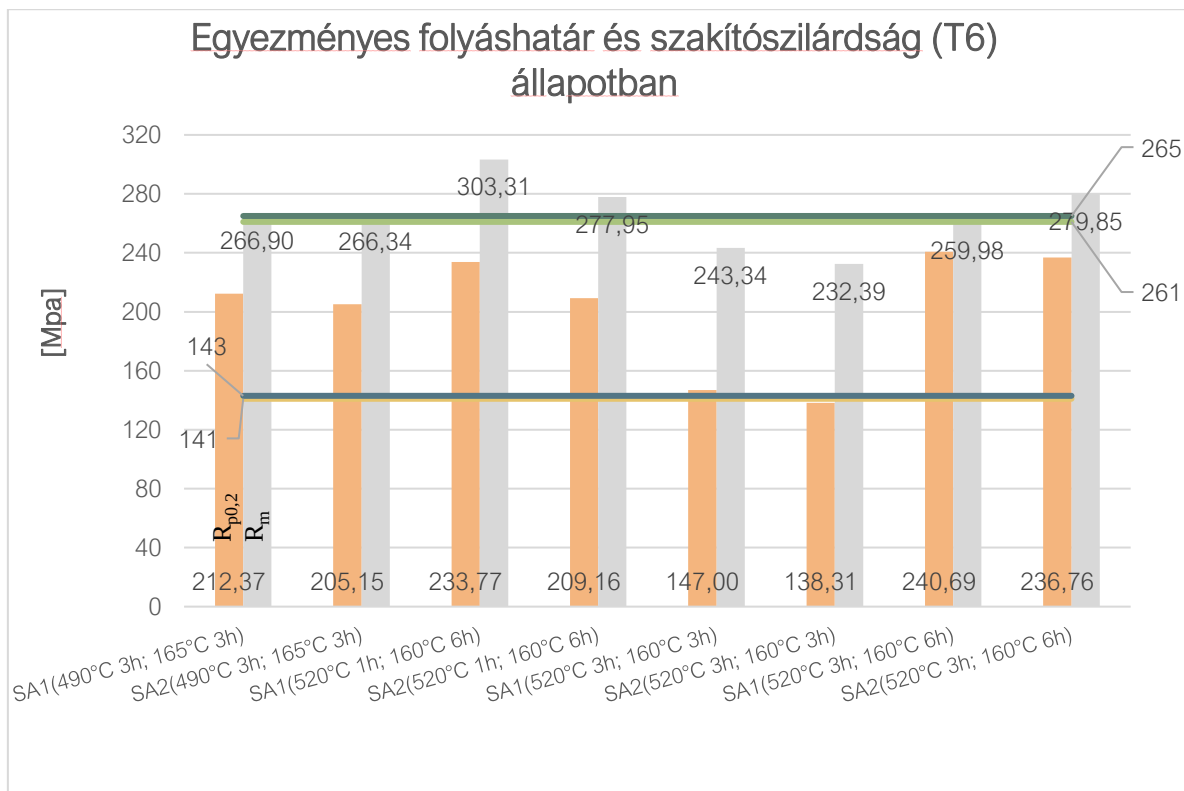
A T6 eljárással elért eredményeket összehasonlítottam a T5-ös technológiával elért eredményekkel, melyek egymáshoz képesti eltérését százalékosan kifejezve a 30. táblázat mutat be. Az összes elvégzett kísérleti eredményt pedig az 1. kiegészítő táblázat foglalja össze. A nyúlások eredményeit figyelembe véve megállapítható, hogy többségében növekedtek az általános, T5-ös hőkezelési eljárásokkal szemben, ám egymáshoz képest az értékek szórását mutatnak.

Az eredmények vizuális kiértékelésekor és töretfelület szórás értékeinek megértése céljából a Keyence VHX-5000 típusú digitális mikroszkóppal megvizsgáltam a szakító próbatestek töretfelületeit. Az eddigi ismeretek és kísérleti körülmények alapján az olvadékokban jelen lévő inhomogenitások (pl. oxidzárványok) és az oldott gáztartalom, amely anyagfolytonossági hibaként jelentkezve gátolja a szövetelemek nyúlási tulajdonságait, továbbá terhelően hat a mátrixra a hőkezelési eljárások során kitáguló bezárt levegő és kivált gázporozítások lévén, mivel az emelkedett hőmérséklet hatására az alumíniumötvözetek melegsziárdsága csökken és

a homogenizálási hőmérsékleten ezek az összenyomott gázbuborékok képesek tágulni és ezzel növelni az anyagfolytonossági hibákat a szövetben.



17. kiegészítő ábra T6 hőkezelésekkel elért nyúlás értékek



18. kiegészítő ábra T6 hőkezelésekkel elért szakítószilárdsági és folyáshatár értékek

2. táblázat A T6-os hőkezelési technológia eredményei T5-höz viszonyítva, (eltérések százalékban számolva)

Mintavételi hely	Homogenizálás	Megeresztés	Folyáshatár változása [%]	Szakítószilárdság változása [%]	Nyúlás változása [%]
SA1	490°C; 3h	165°C; 3h	+48,19	+10,67	-11,54
SA1	520°C; 1h	160°C; 6h	+63,12	+25,77	+42,31
SA1	520°C; 3h	160°C; 3h	+2,57	+0,90	+86,92
SA1	520°C; 3h	160°C; 6h	+67,96	+7,80	-25,00
SA2	490°C; 3h	165°C; 3h	+42,39	+11,92	+21,66
SA2	520°C; 1h	160°C; 6h	+45,17	+16,80	+7,52
SA2	520°C; 3h	160°C; 3h	-4,00	-2,35	+112,20
SA2	520°C; 3h	160°C; 6h	+64,33	+17,59	-23,61

3. kiegészítő táblázat A kísérleti olvadékból öntött termékek szilárdsági paramétereinek eredményei

Mintavételi hely	Állapot	Homogenizálás	Megeresztés	Folyáshatár [MPa]	Szakítószilárdság [MPa]	Nyúlás [%]
SA1	F	-	-	121,81±0,21	256,46±3,99	6,57±0,57
SA1	T5	-	195°C; 0,5h	143,31±2,79	241,16±3,76	4,33±0,89
SA1	T6	490°C; 3h	165°C; 3h	212,37±0,36	266,90±3,73	3,83±0,15
SA1	T6	520°C; 1h	160°C; 6h	233,77±2,28	303,31±6,13	6,17±0,90
SA1	T6	520°C; 3h	160°C; 3h	147,00±1,29	243,34±1,11	8,10±4,03
SA1	T6	520°C; 3h	160°C; 6h	240,69±4,79	259,98±0,76	3,25±0,07
SA2	F	-	-	115,85±1,01	231,56±2,74	5,60±0,33
SA2	T5	-	195°C; 0,5h	144,08±3,04	237,98±3,95	3,53±0,49
SA2	T6	490°C; 3h	165°C; 3h	205,15±0,32	266,34±1,22	4,30±0,62
SA2	T6	520°C; 1h	160°C; 6h	209,16±1,28	277,95±8,01	3,80±1,11
SA2	T6	520°C; 3h	160°C; 3h	138,31±0,04	232,39±1,25	7,50±4,10
SA2	T6	520°C; 3h	160°C; 6h	236,76±1,53	279,85±3,13	2,70±0,28

3.3 T6 hőkezelési technológia alkalmazhatóságának vizsgálata a széria darabok öntéstechnológiai folyamatában

A T6 hőkezelési technológia alkalmazhatóságának vizsgálata érdekében a szériaöntésből kivett termékek mechanikai tulajdonságait és szövetszerkezetét is megvizsgáltam, ahol a

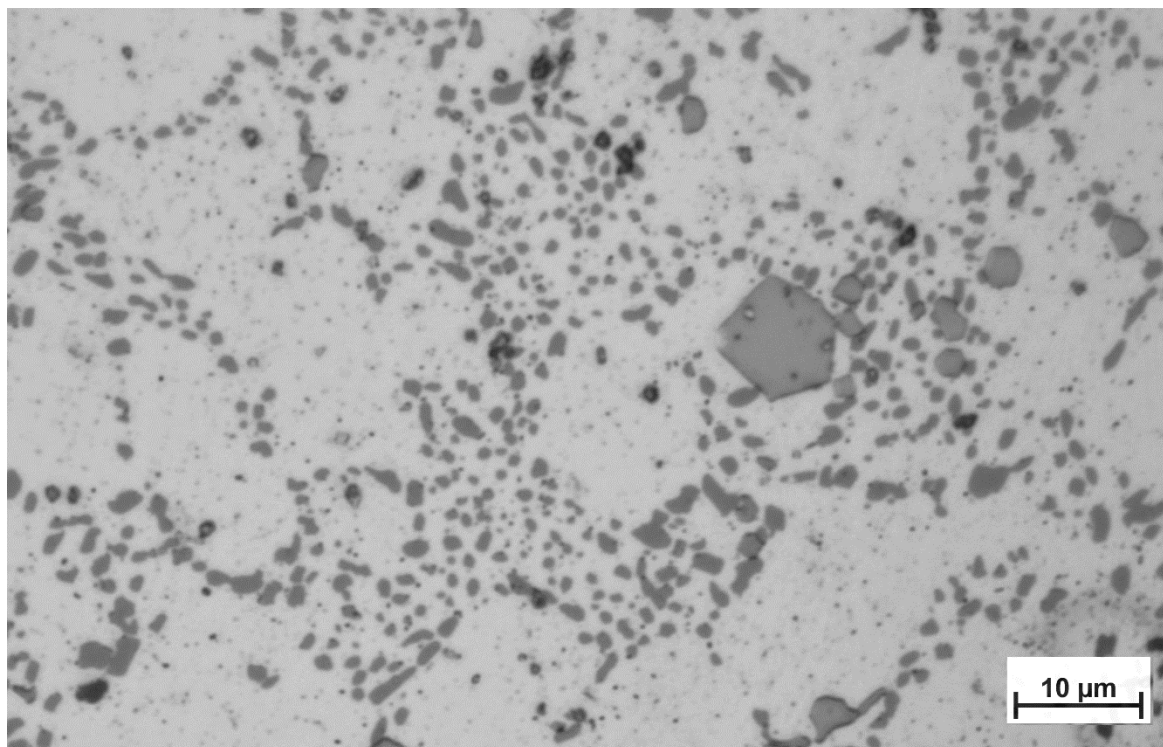
hőkezelési technológián kívül más technológiai paraméteren (olvasztás- és olvadéktisztítási eljárás) nem változtattam.

A szériagyártás során az ötvözet olvasztása és hőntartása 750°C-on történik, 60% visszatérő „hulladék” (beömlőrendszer, selejt öntvény) és 40% eredeti tömbi alapanyag felhasználásával.

Az olvadék szállítása és gáztalanítása előmelegítő állomás hiányában a 230D olvadékkal előmelegített fémhordó üstben kerülnek kihordásra. Ezen folyamat kedveztőlen hatását korábbi méréseim eredményeivel alátámasztottam, miszerint az öröklődő hatás miatt a Silafont36 vastartalma megemelkedik, és a hőntartó kemencében jóval nagyobb mennyiségű és méretű vas-mangán vegyületek megjelenésére lehet számítani a szövetszerkezet vizsgálatakor, melyet a 19. kiegészítő ábra is alátámaszt.

Jelen vizsgálat során azonban az olvadék oldott gáztartalma várhatóan nem befolyásolja a mechanikai tulajdonságokat számottevő mértékben, hiszen a tégely falazata már használt, kiégetett állapotú volt, a szériaöntés során alkalmazott olvadékminősítő eljárásai (sűrűség index, kémiai összetétel) pedig megfelelőek voltak.

A korábbi kísérletek alapján a szériatermékek hőkezelésére az 520°C-on, 1 h oldó kezelést, vizes edzést, majd 160°C-on történő, 6 h hosszig tartó mesterséges öregítést alkalmaztam, majd összehasonlítottam a kísérleti és szériagyártás során alkalmazott olvadékból, de ugyanazon T6 hőkezelési technológiával kezelt termékek mechanikai tulajdonságait, melyeket a 2. kiegészítő táblázat szemléltet.

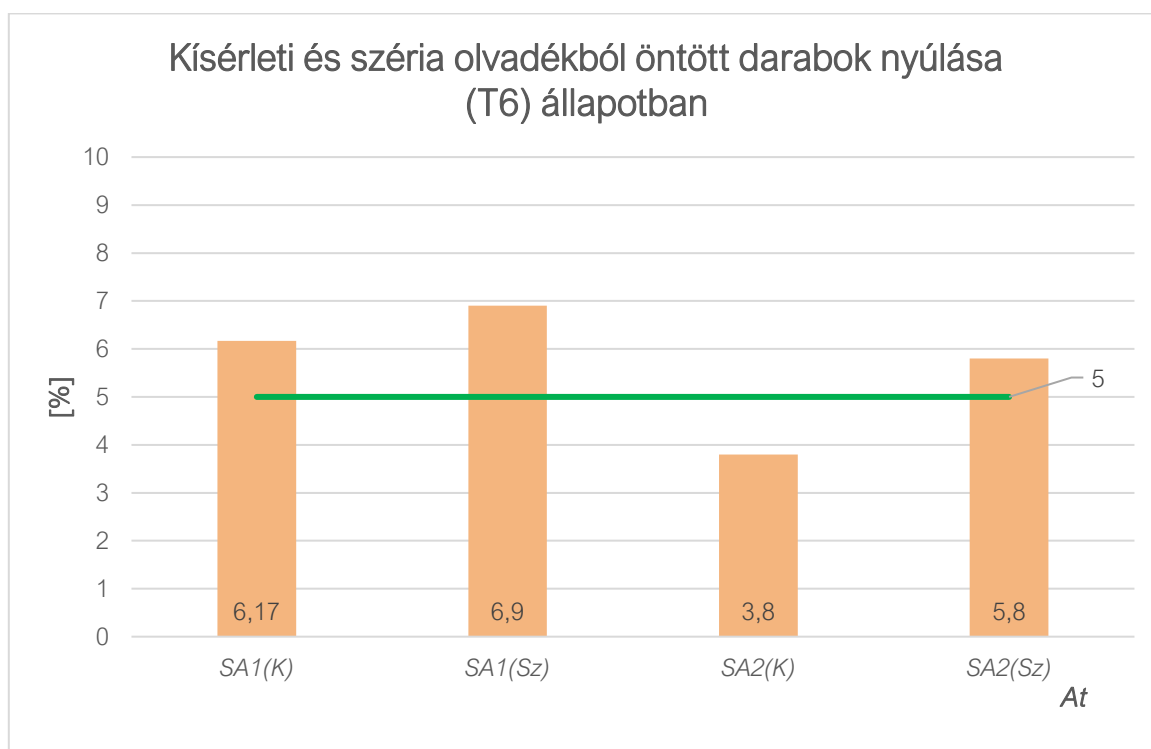


19. kiegészítő ábra Széria gyártásból származó olvadékból öntött termék szövetszerkezetének optikai mikroszkópos felvétele T6 hőkezelés után, 500X nagyításban

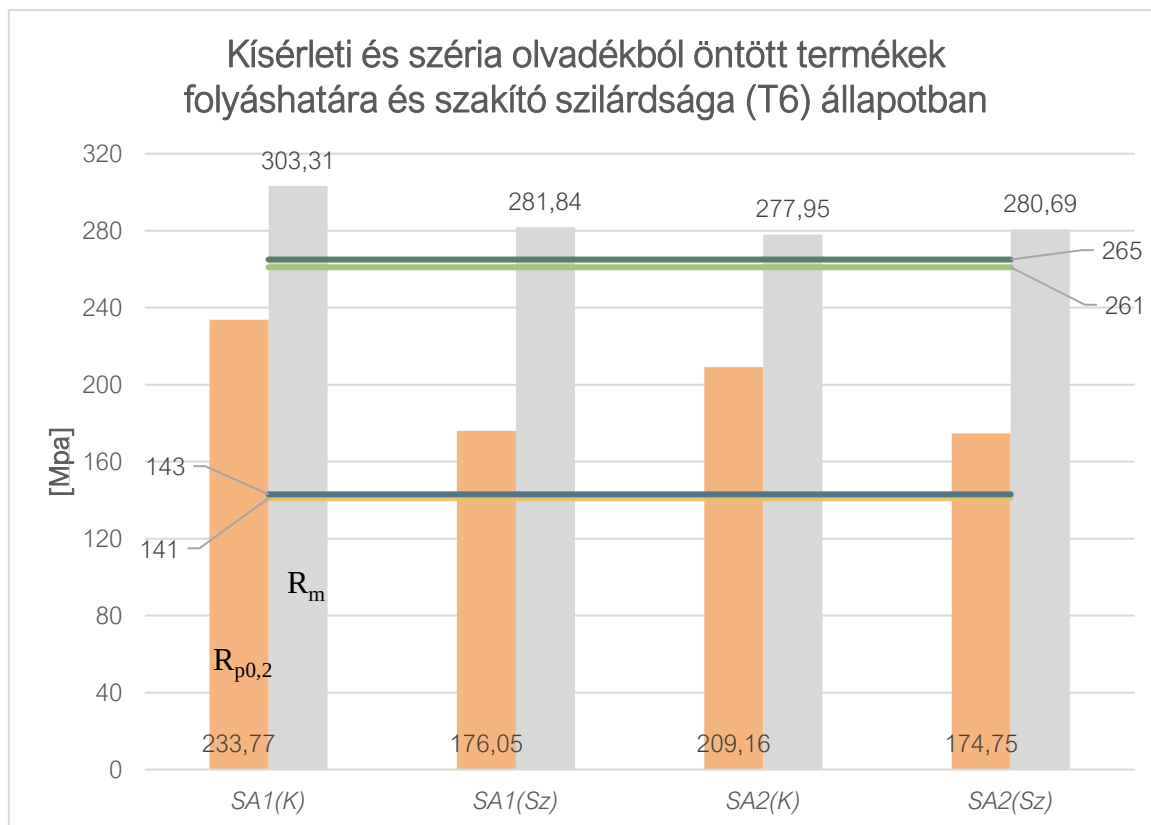
Az eredmények alapján látható, hogy a nyúlások a szériában öntött termékek esetében is megfelelőek, tehát az olvadék oldott gáztartalma nem terhelte negatívan a kísérleti eredményeket, a nyúlás értékek szórásai is jelentősen csökkentek, továbbá a kiugró szélsőértékek is. (20. kiegészítő ábra). Emellett, a 21. kiegészítő ábrán látható, hogy a szériaolvadékból öntött termékek folyáshatára és szakítószilárdsága csökkent a kísérleti olvadékkal szemben elért eredményekhez képest. Ennek egyik oka vélhetően a vasas fázisok fokozott jelenléte, továbbá az a tény, miszerint a folyáshatár és szakítószilárdság fordítottan arányos a nyúlás értékeivel. Tehát, mivel a széria olvadékból öntött termékek nyúlásai az elvárt 5% felett voltak, várható volt a fentebb említett paraméterek csökkenése, ám az elvárt vevői határértékek felett. A hőkezelési technológia alkalmazása nélkül az alkatrészek jellemző nyúlása: 4,2%, míg a T6 hőkezelési folyamat eredményeként átlagosan 6%.

2.kiegészítő táblázat Kísérleti és széria olvadékból öntött termékek mechanikai tulajdonságai T6 eljárással

Mintavételi hely	Állapot	Homogenizálás	Megeresztés	Folyáshatár [%]	Szakítószilárdság [%]	Nyúlás [%]
SA1(K)	T6	520°C; 1h	160°C; 6h	233,77±2,28	303,31±6,13	6,17±0,90
SA1(SZ)	T6	520°C; 1h	160°C; 6h	176,05±8,28	281,84±4,47	6,90±0,37
SA2(K)	T6	520°C; 1h	160°C; 6h	209,16±1,28	277,95±8,01	3,80±1,11
SA2(SZ)	T6	520°C; 1h	160°C; 6h	174,75±5,53	280,69±8,56	5,80±1,20

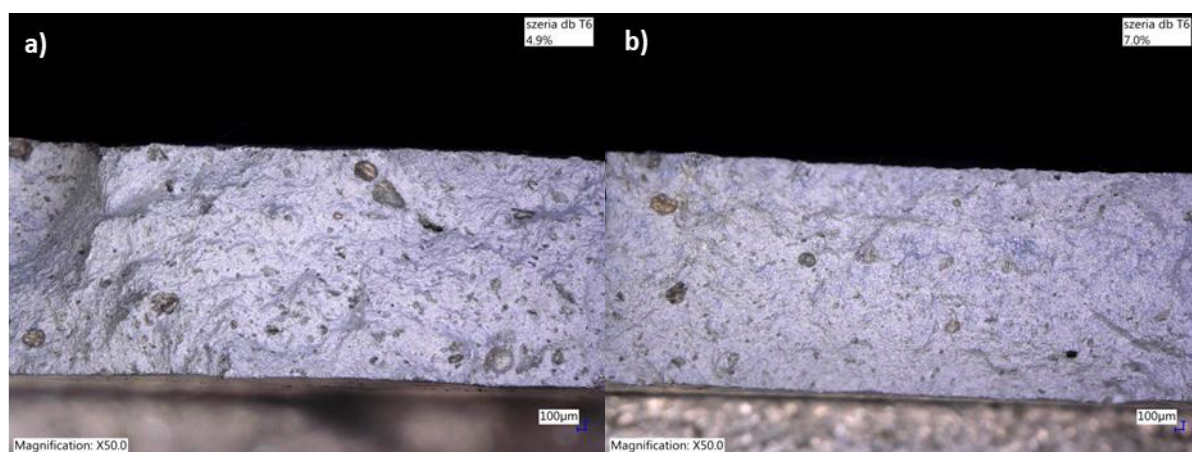


20. kiegészítő ábra Kísérleti olvadékból (K) és szériagyártás során öntött termék nyúlási eredményei T6 hőkezelés alkalmazását követően



21. kiegészítő ábra Kísérleti olvadékból (K) és szériagyártás során öntött termékek szakító szilárdsági és folyáshatár eredményei T6 hőkezelés alkalmazását követően

A kísérleteket szintén a szakító próbatestek töretfelületeinek elemzésével zártam, melyeket a 22. kiegészítő ábra mutat be. A legkisebb nyúlás érték 4,9%, a legmagasabb pedig 7% volt. A töretfelületen az alacsonyabb gáztartalom miatt kevesebb az anyagfolytonossági hibát okozó, hőkezelés során kitágult gáporozitás, melyek eloszlása emellett diszperz volt.



22. kiegészítő ábra Széria olvadékból öntött, 520°C-on (1h) oldó hőkezelt, 160°C-on (6h) mesterségesen öregített próbatestek töretfelületei a) 4,9% és b) 7,0% nyúlással, 50X nagyításban

4. A kiegészítő dokumentum összefoglalása

Az összesített eredmények alapján a mechanikai tulajdonságok elemzésekor az öntött állapotú darabok nyúlásai igen kedvezőek voltak, jóval a minimum elvárt 5% felett. Azonban a folyáshatár és szakító szilárdság elmaradt a vevői elvárásokhoz képest. A T5 állapot hasonló eredményeket mutatott az öntött mechanikához képest, ám a nyúlás lecsökkent a hőkezelési periódus végére. A szövetek vizsgálatakor várható volt a mechanikai tulajdonságok stagnálása, hiszen a szövetszerkezetekben nem történt jelentős változás az eutektikumot tekintve, amely a hipoeutektikus Al-Si ötvözetek mechanikai tulajdonságaiért felel elsősorban.

A T6-os hőkezelési technológiák után a folyáshatár és szakítószilárdság egyértelműen jól reagált a kezelésekre, extrém magas értékeket is prezentáltam az öntött, és T5 állapothoz képest, ugyanis a folyáshatár bizonyos esetekben a 235 MPa-t is meghaladta, ami helyenként több, mint 50%-os növekedés a T5-ös eredményekkel szemben. A szakítószilárdság T6 után bizonyos próbatestek esetében meghaladta a 290 MPa-t is. A kedvező folyáshatár és szakítószilárdság mellett a nyúlás az öntött állapotokhoz képest igaz az elvárt értéket teljesíti, azonban néhány esetben elmaradt, helyenként 25%-kal csökkent a T5-ös eredményekhez viszonyítva, azonban itt is a növekvő tendencia jellemezte.

A T6 hőkezelési technológia hőmérséklet paraméterei közül a magasabb hőmérsékleten ugyan de rövidebb ideig tartó oldó hőkezelés bizonyult eredményesnek, tehát az 520°C-on, 1 órán hőntartás mutatta az optimumot a szövetelemek állapota alapján, hiszen a hosszabb oldó hőkezelések alkalmazása már a vissza nem oldódó intermetallikus vegyületfázisok agglomerációját idézte elő, amely a mechanikai tulajdonságokat kedvezőtlenül befolyásolta. A hőkezelési technológia második szakaszában a 6 órán át tartó 160°C-os mesterséges öregítés eredményezte a legkiválóbb eredményeket, melyet a szövetszerkezeti vizsgálatok is alátámasztottak.

A nyúlások értékeinek relatív szórásának növekedett értéke miatt megvizsgáltam a szakító próbatestek töretfelületeit. Az öntött szövetben jelen lévő gázzárványok hőkezelés hatására történő expanziója anyagfolytonossági hibákat eredményezett az esetek többségében így a terhelés hatására kedvezőtlen nyúlási értéket eredményezett. A töretfelületekből megállapítható az is, hogy az öntészeti hibák homogén eloszlása mellett is elérhetőek határon feletti nyúlási értékek. Ezek alapján az is kijelenthető, hogy az ötvözetben jelen lévő vasas vegyületfázisok önmagukban nem zárják ki a nyúlási paraméterek teljesíthetőségét, ám kiemelten fontos a megfelelő olvasztástechnológia alkalmazása, az olvadék oldott gáztartalmának minimalizálása

és az ötvözet magnézium tartományához mérten jól megválasztott fizikai metallurgiai eljárások alkalmazása.

A dolgozatban ismertetett eredmények alapján a szériagyártásból kivett darabokon is elvégeztem a legeredményesebb T6 hőkezelési eljárást. A szériában öntött darabok esetében a szövetszerkezetek vizsgálatakor nagyobb méretű iszapvegyületek megjelenésére számítottam, mivel a fémhordó tégelyt a gyártási folyamatok időszükségletei végett továbbra is a AlSi12(Fe) olvadékkal melegítjük elő. Fontos információ ez esetben az olvadék oldott gáztartalma, mely megfelelt a technológiai előírásoknak.

A hőkezelt széria termékek szövetszerkezeti vizsgálata alátámasztotta az elvárásaim, és valóban nagyobb méretű vegyületfázisok jelenléte volt látható a szövetekben.

A mechanikai tulajdonságok vizsgálata során a paraméterek növekedő tendenciája beigazolódott, ezúttal minden vevő által elvárt érték teljesült mindkét mintavételi területre. A nyúlás értékének szórása minimálisra csökkent, ami összefüggés későbbiekben felhasználható, hiszen a szórás értékek növekedésével információt ad az üzemvezetés számára a gáztartalommal való problémára utalva. A töretfelület vizsgálata szintén alátámasztotta a korábbi feltételezéseket, miszerint az öntészeti hibák jelenlétének hatása a nyúlásra nagymértékben függ azok méretétől és eloszlásától. A homogén eloszlása kedvezőbb nyúlási paramétereket eredményezett.

Az átfogó kísérleti munkám eredményeként megállapítható, hogy az olvasztástechnológia, az olvadéktisztítási folyamatok, az öntéstechnológiai optimalizációkkal jelentősen csökkenthetők a gyártás során bekövetkező nemkívánatos mechanikai tulajdonságok csökkentése, azonban a vevők által alátámasztott növekvő igények és elvárások a hőkezelési technológiák fejlesztését és integrációját igénylik az érzékenyebb ötvözetek gyártástechnológiájára vonatkozóan.

Ennek érdekében egy szériagyártásra szánt öntvény tervezésekor egyre nagyobb hangsúlyt kell fordítani a mérnököknek az olvadékot majd később az öntvény érintő technológiák optimalizálására, különös figyelmet fordítva a szekunder alapanyagforrások okozta szennyezettség hatásaira.