

Mangánnal ötvözött alumíniumtuskók mikro-szerkezetének változása előmelegítés során

Az alumíniumötvözetek felhasználási területe nagyon széles. Az mangánnal ötvözés egy nagyon kedvező tulajdonságokkal rendelkező szerkezeti anyagot biztosít, aminek egyik speciális felhasználási területe a gépjárművek hőcserélője. Ebben az alkalmazásban mind a szilárdság, mind a korrózióállóság lényeges tulajdonság. Mind a két fő tulajdonságot meghatározza az, hogy az ötvözetben az alumínium-mangán kiválások milyen méretben, mennyiségben és eloszlásban vannak jelen. A kiválási folyamat a mangán mellett adagolt ötvözők mennyiségétől és az öntött tuskó hőkezelésétől függ. Cikkünkben ezeket a hatásokat vizsgáljuk meg mikroszkópi felvételek összehasonlításával.

Bevezetés

Ma már nem a jellemző, felfedezett és tömegesen felhasznált fémről nevezünk el korokat. Azonban, ha majd a jövő embere visszanéz, arra a következtetésre juthat, hogy az alumínium korában élünk. Ötvözeiteinek hatalmas a felhasználási területe, ami folyamatosan bővül. Jellemző ötvözeit alkalmazzuk a háztartástól a járműiparig, a rögzítéstechnikától az űrtechnikáig [1]. Mindenhol az alumíniumba és ötvözeibe botlunk, miközben klasszikus fémötvözetek egyre speciálisabb területekre szorulnak vissza. Az ipari fejlődést tekintve ez természetesen nem jár azzal, hogy felhasznált mennyiségük csökken, azonban az alumínium egyre több alkalmazási területet hódít meg. A 2000-es évek elejétől kb. 2014-ig az alumíniumfelhasználás megduplázódott, ezért az új kohófém előállítás mellett az újrahasznosítása is kiemelt fontosságot kapott. Ezt követően évi kb. 3-4% felhasználásnövekedés volt megfigyelhető. Mára – 2021-re – a várható éves felhasználás világszinten kb. 70 millió tonna lesz. Leszűkítve az iparágakat, a modern kor fejlődésének köszönhetően az alumíniumfelhasználás legdinamikusabban a jármű- és az energiaiparban észlelhető [2]. Korábban csak az egyes egyedi, illetve luxusjárművekbe építettek be alumínium elemeket. Ma már a hétköznapi szériajárművekbe is építenek alumínium alkatrészeket, mint karosszériaelemek, kötőelemek, kovácsolt keréktermékek, motorblokk, valamint sebességváltó-alkatrészek és hőcserélő berendezések. Az energiaiparban a hőcserélők mellett a szélerőművek száma növekszik az alternatív energia iránti igény miatt, amelyek megépítéséhez szintén kedvelt alapanyag az alumínium. Ezért is lényeges, hogy az alumíniumtermékek gyártását tanulmányozzuk, az egyes ötvözetek viselkedését alaposan megismerjük, hogy a műszaki kihívásoknak megfelelő alumíniumterméket tudjunk gyártani [3]. Az egyik legnagyobb félkésztermékcsoport az alumíniumlemezek, -szalagok, aminek önmagában is nehéz felsorolni az összes alkalmazásait. Az alumíniumlemezek gyártására alapvetően két technológiai sor kínálkozik: a folyamatos öntéssel gyártott lemeztermékek és a félfolyamatos, tuskóöntéssel induló lemezgyártás [4]. A két alatechnológia között az a különbség látható, hogy a folyamatos öntési eljárásban a

megszilárdult pászmat, illetve lemezt melegen azonnal továbbhengereljük, amíg az öntött tuskót általában vissza kell melegíteni a meleghengerlés kezdő hőmérsékletére, hiszen meleghengerléssel csökkenthető gazdaságosan a tuskó vastagsága lemez méretté [5]. Kristályosodás során a technológiai folyamatok adta lehűlési sebesség mellett számítani kell dúsulásokra. Ennek egyik fajtája a mikro-dúsulás, ami a mikroszerkezetben okoz összetételbeli különbséget. Ez oda is vezethet, hogy nem egyensúlyi intermetallikus fázisok képződnek. Természetesen a gyártás egyik célja az előírt ötvözet homogenitása, így a tuskók felmelegítése és hőntartása módot ad arra, hogy ezeknek a dúsulásoknak a hatásait csökkentsük, amire a folyamatos lemezöntési technológiák során korlátozott a mód. Természetesen ez az alap fémtani kép, ami az alumínium lemezgyártás második fázisát jellemzi.

Az alumíniumötvözetek mindegyike tartalmaz kis mennyiségben mangánt, de van egy ötvözetcsoport, ahol a fő ötvöző maga a mangán. Szerkezeti anyag céljára kedvelt ötvözet, hiszen az alumínium ötvözőit tekintve az olcsóbbak közé tartozik, és impresszív mechanikai és korrózióknak jól ellenálló tulajdonságokat mutat [7]. Ezen a ponton érdemes kitérni ismét azokra a felhasználási lehetőségekre, amelyekre ez az ötvözetcsoport a legmegfelelőbb. Jól mélyhúzható, amihez kellő szilárdság is társul [4]. Ezen tulajdonságainak köszönhetően kerül felhasználásra a hőcserélő berendezések alapanyagaként. Fókuszáljunk példaként az autókban lévő hőcserélőkre (pl. radiátor – motor hűtővíz hűtéséhez, kondenzátor – klíma része, motorolaj hűtő, turbó levegő betöltő, hűtőradiátor – autó utastér fűtéshez, párologtató – klíma berendezéshez, „intercooler” – turbóból a motorba beáramló levegő hűtéséhez stb.). A jövő generációs hibrid vagy teljesen elektromos meghajtású járművek akkumulátoraihoz ugyanúgy használnak alumínium-mangán ötvözetet. Az akkumulátorokat is hűteni kell, amelyhez szintén hőcserélő berendezésre van szükség. A hőcserélők világában cél az egyre könnyebb és viszonylag egyre kisebb berendezések elterjedése, amelyhez minél hosszabb élettartam és hatékony hőcsere párosul. Ezen elvárások teljesítéséhez egyre kisebb vastagságú alumíniumszalagra és bonyolult termékdizájn megvalósítására van szükség úgy, hogy az alapanyag ki van téve szélsősé-

ges hatásoknak. Például sivatagi meleg, amihez a homok miatt erős abrazív koptató igénybevétel is társul, tengeri nagy sótartalmú pára, rendkívüli hideg, a hűtőfolyadék vagy olaj kémhatása, összetétele és turbulens áramlása, a rendszer belső nyomása, hőmérséklet-ingadozása stb. Ilyen körülmények mellett a jól megtervezett dizájn mellett az alapanyag-választás és annak tulajdonságai kulcsfontosságúak. A mangán-alumínium ötvözetek elterjedése köszönhető az említett hatásokkal szembeni ellenállásának.

Ezek a hőcserélők különböző alumínium részegységekből épülnek fel. Az egyes elemeket összeépítik, és kemencébe téve keményforrasztással rögzítik. Legelterjedtebb forrasztás a vákuumos vagy a folyósító eljárás. Alkalmazott módszerek megfelelően kell ötvözetet választani. Vákuumos eljárás esetében magnézium ötvözőre is szükség van, mert ez képes az alumínium felületén lévő alumínium-oxid módosítására, ami a megfelelő kötéshez szükséges forrasztás során. Másik esetben folyósító réteget visznek fel a felületre, ami segít kémiai úton felbontani az oxidréteget. Ebben az esetben a magnézium jelenlétére nincs szükség. Az említett elemek forrasztásához az alap alumínium-mangán ötvözetre egy vagy több rétegben, felhasználásnak megfelelően más ötvözet plattírozása történik, amelynek olvadáspontja kisebb az alap alumínium-mangán ötvözeténél. Forrasztás során ez a réteg olvad meg, kialakítva az elemek közötti forrasztási pontokat, de vannak olyan rétegek is, amelyek nem olvadnak meg [8]. Ezek feladata extra korróziós védelem biztosítása. Ilyen réteget alkalmaznak a hűtőkön belül például csövekben, amelyben hűtőfolyadék érintkezik a felülettel. Az alumínium-mangán ötvözetet hívják a magötvözetnek, amely feladata a megfelelő szerkezet és szilárdság biztosítása a jó korrózióállóság mellett, a védőréteg szerepe a korrózióvédelem javítása, illetve a leolvadó réteg az elemek közötti összeforraszthatóságért felel. Ezek együttese, kiegészítve az elemek vastagságával, választott ötvözetrel, forrasztási eljárással határozza meg a késztermék, azaz a hőcserélő élettartamát. Mindezek mellett az alapanyag tulajdonsága, pontosabban mechanikai tulajdonság, szemcseszerkezet, kiválásszerkezet jelentős hatással bír a késztermék tulajdonságára.

Mint látható, az alkalmazások kombinációs lehetőségeinek nagy száma miatt az ötvözetválasztás kiemelt kérdéskör. A mangántartalmú ötvözeteknek számos módosulata, egyedi verziója létezik, amelyek kifejlesztése hosszú kutatómunka eredménye. A mangán az alumíniumban nem hajlamos dúsulásra, és technológiai hűlési sebességeket tekintve a tuskó lehűlésekor szilárd oldatban marad annak ellenére, hogy a hőmérséklet-csökkenéssel intenzíven esik az oldhatósága az alumínium rácsában. Az alumínium-mangán tuskók felmelegítésekör és hőntartásakor azonban az oldhatóságnak megfelelő mennyiségű alumínium-mangán intermetallikus fázis kiválik [9]. A kiválás kinetikája természetesen függ a hőntartás hőmérsékletétől. Kisebb hőmérsékleten a nagy hajtóerő miatt sok csíra képződik az alumíniumrácsban, azonban a kis hőmérséklet miatt a mangándiffúzió sebessége is kicsi, így sok apró kiválás jellemzi majd a mikroszerkezetet. Nagy hőmérsékleten a csírák képződésének hajtóereje kicsi, így kevés képződik, azonban a nagy hőmérséklet okozta nagyobb termikus ak-

tíválás miatti gyors mangándiffúzió a kiválások gyors növekedését eredményezi. Emiatt nagy hőmérsékleten végzett előmelegítés hatására nagy méretű, durva intermetallikus fázisok jelennek meg a mikroszerkezetben. Az intermetallikus fázisok mérete és mennyisége eleve módosítja a lemez mechanikai tulajdonságait, azonban nemcsak a felhasználásnál, hanem a gyártási folyamatban is jelentős hatást fejtenek ki. A megalakításkor és a lágyításkor lejátszódó újrakristályosodás kinetikájára vannak jelentős hatással [10]. Ezáltal a kialakuló szemcseszerkezetet is befolyásolják, ami ugyancsak jelentősen hat az elkészült lemez tulajdonságaira. Egyes felhasználási területeknél szintén jelentős szerepet kell tulajdonítani a gyártás közben kialakult kiválásoknak és az így kapott félkész termék szemcseszerkezetének, mert hatással van a késztermék hosszútávú felhasználására, azaz az élettartamára is. Ez különösen a hőcserélő alapanyagokra vonatkozik. A kis méretű fázisok gátolják a szemcsehatár mozgását, amíg a nagyméretű fázisok elősegítik a csírák képződését újrakristályosodáskor. Az, hogy milyen kiválásszerkezettel milyen lemeztulajdonságok érhetők el, egy hosszabb tanulmány témája lehet. Azonban ehhez elengedhetetlen, hogy ismerjük az említett mangánkiválás folyamatát. Emellett ráadásul az említett egyéb, nemegyensúlyi fázisok viselkedését is ismernünk kell. Jelen tanulmányban arra vállalkozunk, hogy a mikroszerkezet vizsgálatának eredményein keresztül bemutassuk az említett folyamatokat. A számszerűen kifejezett kinetika leírása helyett inkább a megjelenő mikroszerkezeti sajátosságokra és azok jelentőségére koncentrálunk, mert mint láttuk, akár jelentős befolyással is lehetünk a késztermék tulajdonságaira.

Vizsgált ötvözetek, vizsgálati eljárások és előmelegítő hőkezelések

A vizsgált ötvözetek az Arconic-Köfém Kft. székesfehérvári üzeme által gyártott szériaötvözetek voltak. Az adott ötvözetekből készült öntött tuskóból vágtak mintákat, amiknek vizsgáltuk a mikroszerkezetét, mint öntött kiinduló állapotot. Mindegyik ötvözet az alumínium-mangán ötvözet volt, az EN AW 3xxx ötvözetcsaládba tartoztak. A mangántartalom mindegyik esetben közel 1w% körüli érték. Az alapötvözet nem is tartalmazott más ötvözőt, az ötvözetcsalád legismertebb tagja az EN AW 3003 ötvözet. A későbbiekben ezt **A** ötvözetnek nevezzük. Az elemzés szempontjából lényeges a vas: 0,6 tömeg% és a szilícium: 0,7 tömeg% tartalma. A **B** ötvözet kevés, 0,5 w% réztartalom mellett nem tartalmazott más ötvözőt, és a szilíciumtartalmát is jelentősen, közel 0,4 tömeg%-ra csökkentették. Természetesen vasból is kevesebbet, ugyancsak 0,4 tömeg%-ot tartalmazott. A **C** ötvözet az említett 0,5% réztartalom mellett hasonló mennyiségben magnéziumot is tartalmazott. Emellett a szilíciumtartalma nagyobb volt, mint az **A** ötvözeté, közel 1% maximális értékig. Ezzel arányosan a vas-tartalom is nagyobb volt. Röviden fogalmazva a **B** ötvözet a mangán mellett jóval kevesebb ötvözőt, a **C** ötvözet pedig jóval több ötvözőt tartalmazott. Az említett elemeket és határokat tekintve a legtöbb ötvözőt az alumínium ebben a mennyiségben szilárd oldatban oldja. Természetesen az alumínium-vas-szilícium rendszerben az ötvözet-

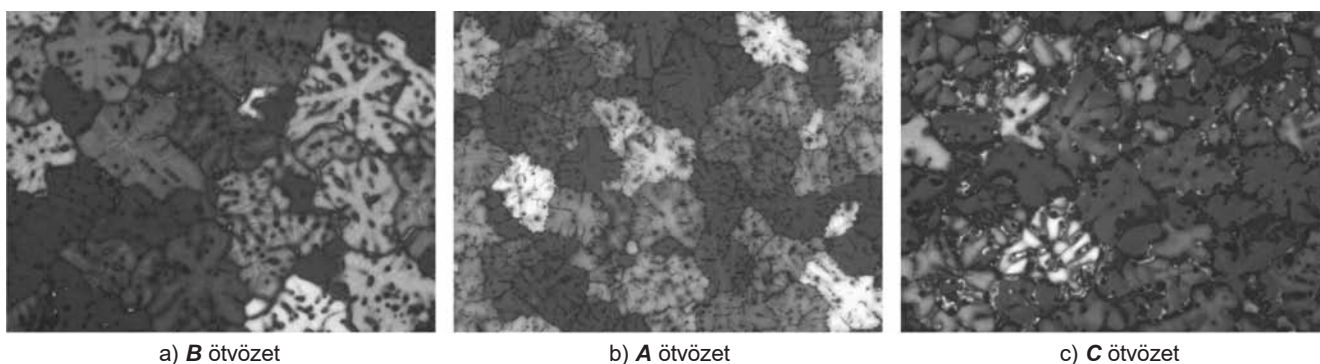
ben lévő mennyiségek esetén is lejátszódnak eutektikus és peritektikus folyamatok, amiknek és a mangántartalomnak köszönhetően különböző fázisok találhatók. Adott körülmények között ezeknek az intermetallikus fázisoknak a hatása is azonosítható a vizsgálni kívánt kiválási folyamatokra.

Háromféle hőkezelést végeztünk. Az I. hőkezelés során egyszerűen felmelegítettük a mintát 510 °C-ra és ott 1 órát tartottuk. A II. hőkezelés során 540 °C-ra hevítettük és 4 órát tartottuk hűn a mintákat. A III. hőkezelés során 610 °C-on hőkezeltük a mintát 8 órán keresztül. Természetesen a lehűlés során is mehetnek végbe folyamatok, így a nagy hőmérsékleten hőkezelt mintákat programozottan hűtöttük 510 °C-ra, majd onnan a minták ugyanolyan körülmények között, vízben hűltek.

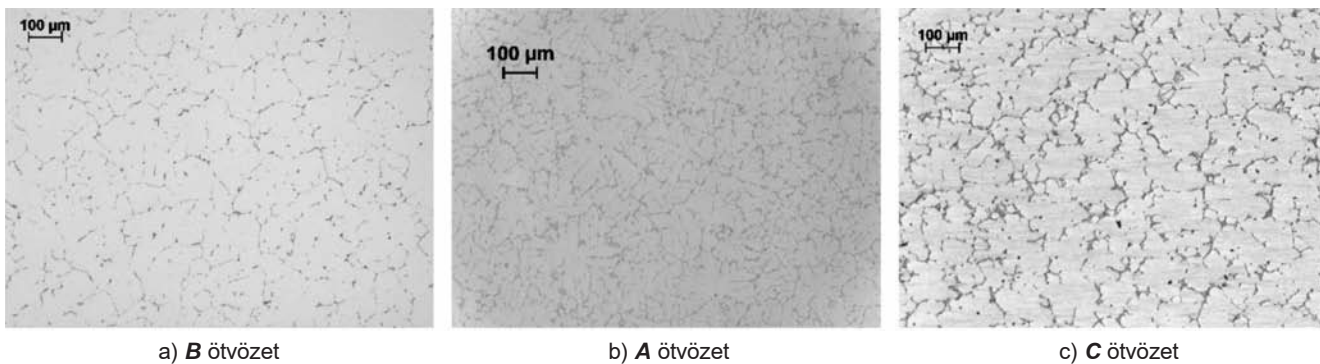
A metallográfiai vizsgálathoz a mintákat mechanikus csiszolás, majd polírozás után hidrogén-fluorid vizes oldatában marattuk, hogy az intermetallikus fázisokat mind optikai,

mind pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálni tudjuk. A felvételeket Zeiss Axiomager M1m optikai mikroszkóppal és Zeiss EVO MA 10 pásztázó mikroszkóppal készítettük.

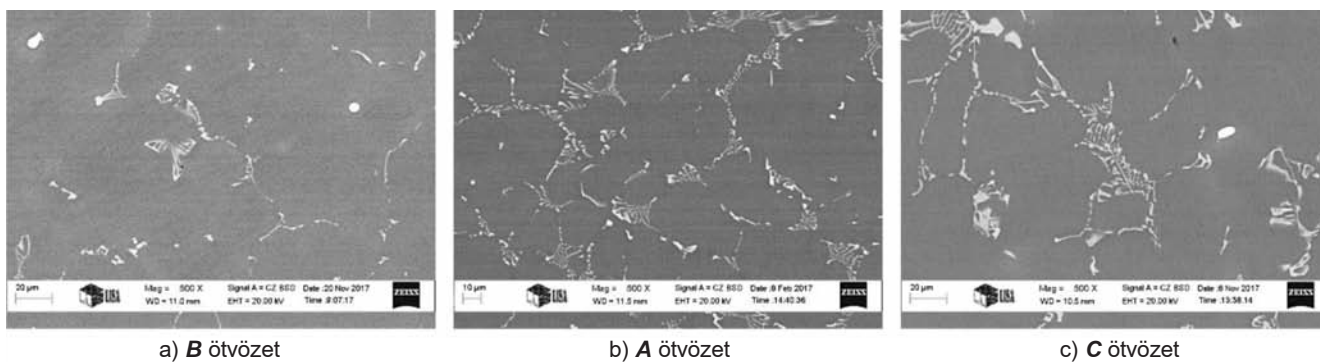
A fázisok vizsgálata után a szemcseszerkezet tanulmányozásához a felületet újra políroztuk, és elektrolitosan, Barker-marószerral marattuk. Az eljárás eltér a klasszikus maratási eljárásoktól. A Barker-eljárás hatására az alumínium-ötvözetek felületén megjelenő kettőstörő réteg a szemcsék kristálytani orientációjától függően adott szemcsén vastagabb, másikon vékonyabb lesz. Így a szemcseszerkezet lineárisan polarizált fényben, egy hullámhosszoltalással kiegészítve színesen pompázik az optikai mikroszkóp okulárjában. A felvételeket polarizált megvilágításra is alkalmas Zeiss AxioVert 40 optikai mikroszkópokkal készítettük. Hullámhosszoltolás alkalmazása nélkül szürkeárnyalatos képeket tudunk rögzíteni. A cikkben az így elkészített mikroszkópi felvételeken végzett megfigyelésekről számolunk be.



Optikai mikroszkópos felvétel, Barker-maratás



Optikai mikroszkópos felvétel, HF-os maratás



Pásztázó elektronmikroszkópos felvétel, HF-os maratás

■ **1. ábra.** A vizsgált ötvözetekből készült tuskók jellemző mikroszerkezete. A minták a tuskók azonos helyéről származnak; a felvételek nagytájolása azonos

Eredmények, folyamatok

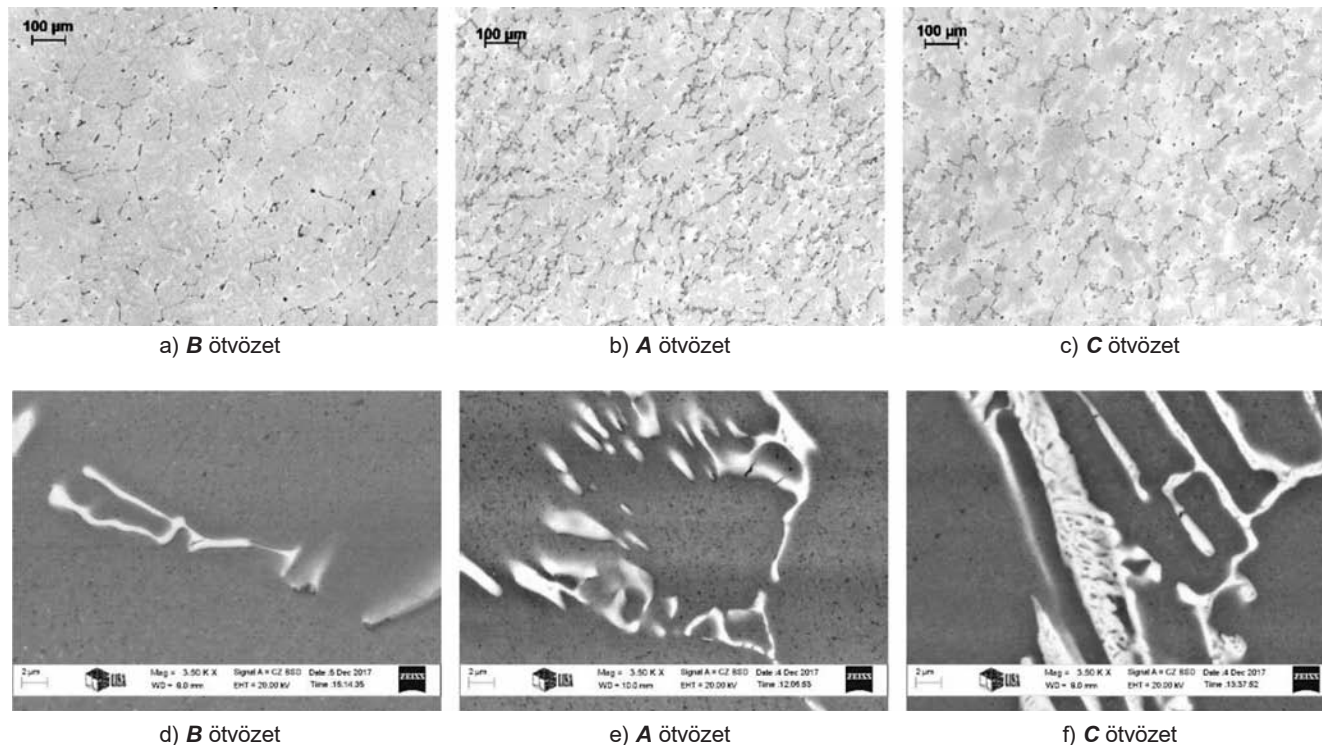
A mikroszkópi felvételeket két tábla foglalja össze azért, hogy jobban összevethetőek legyenek, az eredmények jobban elemezhetőek legyenek. Ebben a részben a táblákon látható képek összehasonlító leírását adjuk meg. Az 1. ábra első sora a különböző ötvözetek öntött tuskóinak a szemcseszerkezetét mutatja. A színes maratással (Barker-eljárás) készült felvételeken (1a–1c ábrák) dendrites szerkezet látható. Természetesen a szemcseméret változik a tuskóban, ezért igyekeztünk jellemző mintát venni közel azonos pozícióból, hogy az összevetés minél pontosabb legyen. Látható, hogy minél nagyobb a tuskó ötvöztartalma, annál kisebbek a szemcsék, bár ez a különbség nem jelentős. A dendritek maguk is finomabb szerkezetűek. Az ötvöztartalom növekedésével a szekunder dendritágtávolság csökken. Ez az összetételi túlhűlés megemelkedésének köszönhető, aminek okán a dendritágak fejlődése, növekedése a hőelvonás irányában gyorsabb.

A színes maratással előkészített mintákon a kristályosodott fázisok nem vizsgálhatók, azokat hidrogén-fluorid vizes oldatába bemártással tehetjük láthatóvá. A kristályosodáskor kialakuló egyensúlyi és nem-egyensúlyi fázisok mennyisége természetesen a nagyobb ötvöztartalmú C mintában nagyobb (1d–1f ábrák). Az is látható (1g–1i ábrák), hogy az átlagos méretük kisebb, apróbb fázisokat nagyobb mennyiségben látunk. Az ugyancsak természetes, hogy a nagy méretű fázisokból is több van, de arányaiban nem olyan mértékben több, mint az apróbb fázisokból. Az apróbb fázisok nagyobb mennyiségéért egyrészt a nagyobb túltelítettségéből következő gyorsabb csíráképződés a felelős. Másrészt, ahol a kristályosodási folyamat eutektikum képződésével ér véget, ott a nagyobb ötvöztartalom miatt az eutektikum hányada is nagyobb, így annak finomabb

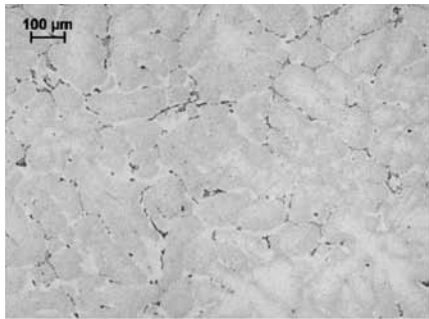
kristályosodott szerkezete nagyobb területeken jelenik meg.

A 2. ábra a hőkezelt szerkezetekről készült optikai és elektronmikroszkópi felvételeket mutatja. A mintaelőkészítés hidrogén-fluoridos maratással történt, így kapunk megfelelő képet a kiválások mennyiségéről. Az optikai mikroszkópi képeken látható az alumínium-mangán (Al_6Mn) fázisok megjelenésének ténye, de a méretükről, eloszlásukról és elhelyezkedésükről az elektronmikroszkópi fotók adnak részletes információt.

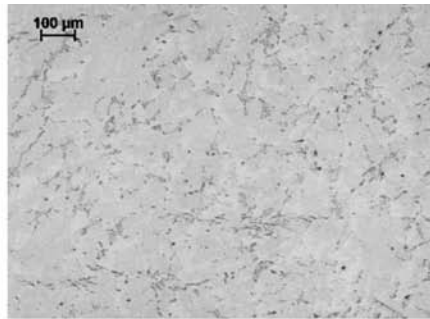
Ha az ötvöző mennyiségének függvényében nézzük a mikroszerkezetet, akkor a nagyobb ötvözöttségű C minták esetében látunk több (2f ábra), esetenként jóval több kiválást (2l ábra), mint a másik két ötvözet esetében (2d, 2e, 2j, 2k ábrák). Ennek oka, hogy az említett ötvözők a mangánnal együtt oldva helyezkedtek el az alumíniumrácsban, így a nagyobb ötvöztartalom esetén a túltelítettség C esetben nagyobb. Azaz a kiválás hajtóereje is nagyobb. Emiatt több, jellemzően kisebb alumínium-mangán (Al_6Mn) vegyületfázis válik ki. Látható, hogy a B esetben is, a legkisebb ötvözöttség mellett jóval kisebb számban jelennek meg a kiválások (2d, 2j ábrák), mint a másik két ötvözet esetében. Ez ugyan jellemző mindegyik hőkezelés esetén, azonban hőkezelésként összehasonlítva a mikroszerkezeteket a hőmérséklet és hőkezelési idő növekedésével egyre nagyobb mértékű kiválásokat figyelhetünk meg (2d, 2j, 2p ábrák). Amíg azonban a kis ötvözöttségű B mintáknál a hőkezeléssel jelentősen befolyásolható a kiválás mértéke, addig a C minták mikroszerkezete kevésbé érzékeny a hőkezelésre (2f, 2l, 2r ábrák). Ennek oka is a túltelítettség. Minél több ötvözt tartalmaz a minta a mangán mellett, annál biztosabban megjelenik a vegyületfázis a hőkezelés során, mert minden hozzáadott ötvöző csökkenti a mangán oldhatóságát.



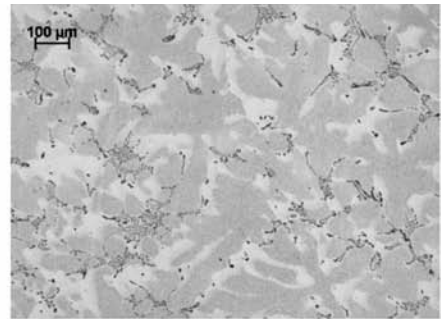
Optikai mikroszkópi és pásztázó elektronmikroszkópi felvételek, 510 °C 1 óra hőkezelés után



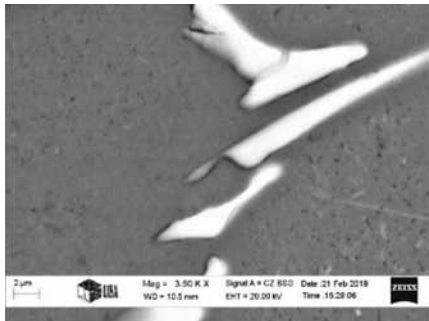
g) B ötvözet



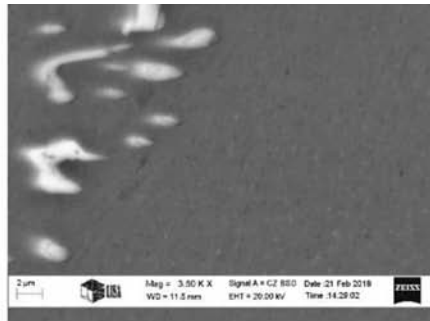
h) A ötvözet



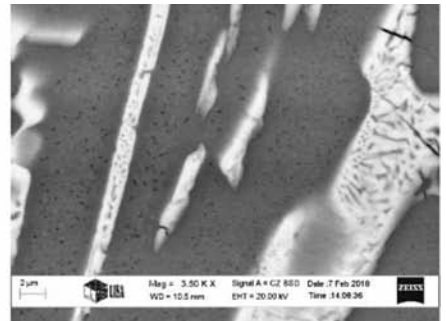
i) C ötvözet



j) B ötvözet

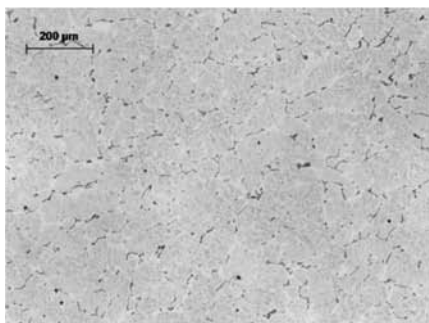


k) A ötvözet

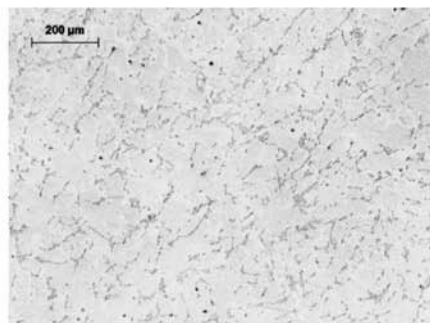


l) C ötvözet

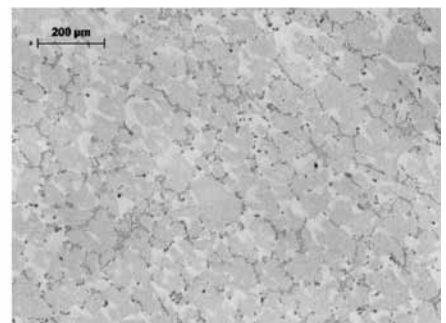
Optikai mikroszkópi és pásztázó elektronmikroszkópi felvételek, 540 °C 4 óra hőkezelés után



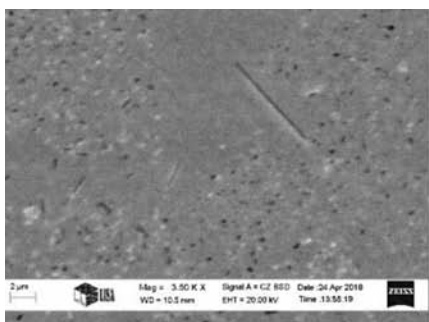
m) B ötvözet



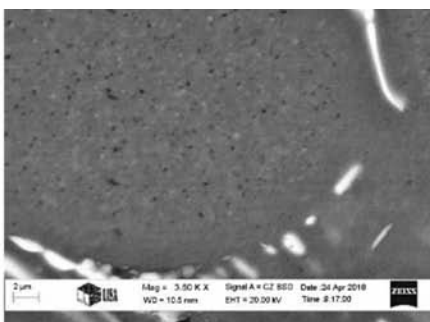
n) A ötvözet



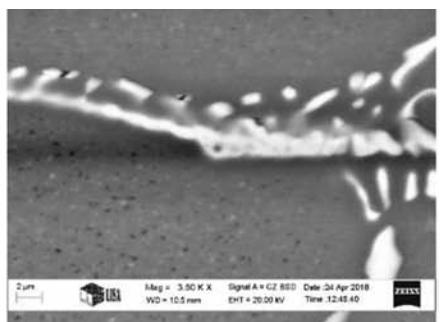
o) C ötvözet



p) B ötvözet



q) A ötvözet



r) C ötvözet

Optikai mikroszkópi és pásztázó elektronmikroszkópi felvételek, 610 °C 8 óra hőkezelés után

■ 2. ábra. A vizsgált ötvözetekből készült hőkezelt minták jellemző mikroszerkezete

Ebben az esetben a bevezetőben említett drasztikus különbségeket nem tudjuk létrehozni. A hozzáadott ötvözők csökkentésével azonban hőkezelésre érzékenyebb ötvözetet készítünk, és lényeges lesz a lemez tulajdonságainak kialakulásában az előlemezítő hőkezelés. Ezt az ötvözet

alkalmazásakor a tervezésnél figyelembe kell venni. Az optikai mikroszkópi képek nagyítása nem ad pontos képet a kiválások méretéről és pontos mennyiségéről, csak a látványból észlelhetők ezek az eltérések. Bár az optikai mikroszkópi felvételeken ez határozottan látszik, figyelemmel

kell lennünk arra, hogy a maratás eredményét az elektrokémiai folyamatok befolyásolják, és ott is látszanak ilyen sávok, ahol az nem alakul ki (2f, 2i és 2l, 2o ábrák).

Az elektronmikroszkóp egyik képalkotó módja kémiai összetétel alapú. A képeken a mangánkiválások és a kristályosodáskor képződő fázisok világosak, amíg az alumínium szilárd oldat sötétszürke árnyalatú (2d–f, 2j–l, 2p–r ábrák). Több helyen vannak fekete fázisok. Ezek ugyancsak az alumínium-mangán intermetallikus fázisokat jelölik. Az előkészítés során (polírozás, maratás) ezek a fázisok kiperegtek a vizsgált felületből, így csak a helyük látható. Azonban ezek is jól elkülöníthetőek az alumínium szilárd oldattól, így a kiválások összessége vizsgálható.

A kis ötvöztartalmú mintákban nagyobb méretű fázisok fejlődnek (2p ábra), mint az erősebben ötvözött esetben (2r ábra). A kiválási folyamat alapján véve két részfolyamatra bontható, a vegyületfázis csíráinak képződésére és azok növekedésére. Ha a szilárd oldat, amiből a kiválás történik, erősebben túltelített, akkor gyorsabb lesz a csíráképződés, ott több fázis keletkezik. A sok csíra miatt a fázisok így kisebbekre nőnek. Kisebb túltelítettség esetén kevesebb csíra keletkezik, és inkább a növekedés lesz a meghatározó folyamat. Természetesen mind a két részfolyamat érzékeny a hőmérsékletre. Minél nagyobb a hőmérséklet, annál gyorsabb mind a két folyamat. A hőmérséklet mellett az időt is változtattuk, hogy magasabb hőmérsékleten a növekedést (és a fázisok durvulását is) segíteni tudjuk, azaz nagyobb méretű fázisok képződjenek (2p ábra). Az elektronmikroszkópi képek már teljesen világossá teszik, hogy a magasabb túltelítettség, azaz ötvöztartalom esetén kisebb különbséget kapunk a hőkezelés változtatásával, miközben a kisebb ötvözöttség esetén jelentősen befolyásolni vagyunk képesek a kiválási folyamatot.

Az alumínium-mangán vegyületbe (Al_6Mn) a vas is képes beépülni és $Al_6(Mn,Fe)$ vegyület képződik. A vas beépülésének mértékével a vegyületfázisok morfológiája is megváltozik. Az eredetileg kis nyújtottságú lencseszerű Al_6Mn fázisok mellett rövidebb-hosszabb tűs morfológiát mutató $Al_6(Mn,Fe)$ jelenik meg vasfelesleg esetén (2p ábra). Ez csak a legkisebb ötvöztartalmú, kis mennyiségű szilíciumot tartalmazó ötvözetben fordul elő. A vas és szilícium ismert viszonya miatt ez a jelenség a másik két ötvözetben nem figyelhető meg.

Az elektronmikroszkópi képeket összevetve az optikai mikroszkópi képekkel látható, hogy adott esetben valóban kialakul a kiválásmentes sáv (2j, 2q és 2r ábrák). De ahol ez nem jelentkezik az elektronmikroszkópi felvételen (2l ábra), ott is markánsan látjuk az optikai mikroszkópi felvételen (2j ábra). Természetesen a kiválási folyamatban az ötvözők fázisokat igyekeznek építeni, és úgy kilépni a szilárd oldat rácsából. Azonban a kristályosodás során képződött fázisok környezetében, a szilárd oldatban már ott vannak azok a fázisok, amikhez kapcsolódni tudnak az ötvözőatomok. A kristályosodott fázisok közelében, amennyiben a csíráképződés sebessége kicsi, ez meg is történik. Amikor a csíráképződési kényszer, így a sebesség is nagy, ott megtörténik a fázisok képződése közvetlenül a kristályosodáskor képződő fázisok közvetlen környezetében, vagy akár a kristályosodott eutektikum szilárd oldat fázisában is.

Összegzés

Az alumínium-mangán ötvözetek gyártásakor a termék tulajdonságait tekintve rendkívül fontos, hogy a mangán oldott, vagy alumínium-mangán intermetallikus fázisok formájában van-e jelen. Ha kiválások képződnek, akkor pedig azok mérete és mennyisége egy jelentős kérdés. Tuskó öntését követő hengerléshez alkalmazott hevítéssel és hőkezeléssel a kiválási folyamat és annak eredménye akár jelentősen is befolyásolható. Ez az eredmény azonban erősen meghatározott már az ötvözethez adalékolt egyéb szilárd oldatban jelenlévő ötvözők által. Minél több ilyen ötvözőt adunk az alapötvözethez, annál nagyobb túltelítettség, azaz kiválási hajlam érhető el. Az ilyen ötvözetek kevésbé érzékenyek a hőkezelés hőmérsékletére és időtartamára. Minél kevesebb a hozzáadott ötvöző, annál nagyobb mértékben tudjuk a hőkezeléssel befolyásolni az ötvözet későbbi veselkedését, változtatni a termék tulajdonságait. A bemutatott képekkel és leírásokkal igyekeztünk rámutatni arra, hogy komplex folyamatok mennek végbe, amelyeket mind figyelembe kell vennünk, hogy adott alkalmazáshoz a megfelelő ötvözetet válasszuk. Megfelelő vizsgálatok elvégzésével és kiértékelésével összegyűjthető mindaz az ismeret és tapasztalat, ami ahhoz szükséges, hogy az alapanyagokkal szemben is egyre gyorsabban növekvő elvárásoknak meg tudjon felelni az adott alkalmazáshoz választott/fejlesztett ötvözet.

Irodalom

- [1] Totten G. E., MacKenzie D. S. ed.: Handbook of Aluminum Vol. 1, 2, Marcel Dekker Inc., Basel, 2003
- [2] Totten G. E., Tiryakioğlu M., Kessler O. ed.: Encyclopedia of Aluminum and Its Alloys, CRC Press, London 2019
- [3] MacKenzie D. S., Totten G. E.: Analytical Characterization of Aluminum, Steel and Superalloys, CRC Press, London, 2006
- [4] Davis J. R.: ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, 1993
- [5] Eskin D. G.: Physical Metallurgy of Direct Chill Casting of Aluminum Alloy, CRC Press, London, 2008
- [6] Limley R. ed.: Fundamentals of Aluminium Metallurgy, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2011
- [7] Afseth A., Nordlien J. H., Scamans G. M., Nisancioglu K.: Effect of thermo-mechanical processing on filiform corrosion of aluminium alloy AA3005, Corrosion Science Vol. 44 (2002) pp. 2491–2506.
- [8] Liao L. H., Jin H., Gallemeault M., Esmaeili S.: Recrystallization behavior of a co-cast AA3xxx – AA6xxx aluminum alloy laminate – Effect of annealing conditions and cold reduction levels Materials Characterization vol. 94 (2014) pp. 215–226.
- [9] Li Y. J., Håkonsen A., Mortensen D., Pettersen T., Furu T.: Modelling the phase transformation from $Al_6(Mn,Fe)$ to $\alpha-Al(Mn,Fe)Si$ phase during homogenization of AA3xxx alloys, Materials Science Forum Vols. 519-521 (2006) pp 297–302.
- [10] Liu J., Morris J. G.: Macro-, micro- and mesotexture evolutions of continuous cast and direct chill cast AA 3105 aluminum alloy during cold rolling, Materials and Engineering A357 (2003) pp. 277–296.