


Az oxidzárványok eltávolításának jelentősége a modern rotoröntészet tématerületén

Importance of removing oxide inclusions in modern rotor die-casting

BODNÁR KRISTÓF IMRE^{1,*}, BÁRDOS ANDRÁS^{2,3,#} 

¹Feintool System Parts Tokod Kft., Tokod

²Miskolci Egyetem, Anyag és Vegyészmérnöki Kar, Fémelőállítás és Öntészeti Intézet, Miskolc

³Nordakademie Hochschule der Wirtschaft in Elmshorn, Hamburg

*E-mail: kristofbodnar94@gmail.com; #E-mail: andras.bardos@drbardos.eu



Az oxidok eltávolításának lehetőségei a rotor öntése során egy nagyobb kutatási terület, a nagy fordulatszámú alumínium rotorok fejlesztésének témakörébe tartozik. A kutatást az iparban régóta taglalt, ugyanakkor eddig még nem megoldott probléma hívta életre. Ezért ez a tanulmány hiánypótló, valamint kísérleti eredményei megoldási kiindulópontot nyújtanak a gyártók és felhasználók számára egyaránt.

Az üzemi körülmények között gyűjtött mérési eredményekhez egy speciálisan tervezett elektromos olvasztókemence és mérőberendezések együttes fejlesztésére és használatára volt szükség, amelyek lehetővé tették a kísérletek eredményeinek értékelését. A vizsgált alapanyag sajátos tulajdonságai pedig egy új, az általánostól eltérő elemzési módszer alkalmazását igényelték. Az iparban a nyomásos öntéshez általánosságban használt Al-Si rendszerekkel ellentétben a tanulmányozott alapanyag tiszta, kvázi ötvözetlen alumínium (Al 99,7), amely a kalickás rotorgyártás legfontosabb alapanyaga. Ez a két anyagcsoport nemcsak kémiai összetételében, hanem mechanikai és elektromos tulajdonságaiban is jelentősen eltér egymástól. A tiszta alumínium (Al 99,7) kiváló elektromos vezetőképességét a homogén, szennyeződésektől és idegen fázisoktól mentes, fémes szerkezete biztosítja. Bármilyen inhomogenitás, például levegőbezáródás, anyagfolytonossági hiány vagy idegen fázis, jelentős mértékben rontja a mechanikai tulajdonságokat és az elektromos vezetőképességet a szennyező jellegének megfelelően.

Ezen kutatás célja, az inert gázzal (nitrogén vagy argon) végzett rotoros olvadék-kezelés következtében lecsökkentett oldott hidrogén tartalom, és a sókeveréses olvadékkezelés hatására az olvadékban lévő oxid zárványok koncentrációváltozásának hatása a nyomásosan öntött kalickás rotor-öntvény tulajdonságaira. További cél volt egy olyan alumíniumkezelő anyagcsoport optimális kombinációjának megalkotása, amelynek használata számottevően nem befolyásolja az elektromos vezetőképességet.

Szakirodalom-kutatás és üzemi kísérletek alapján sikerült kidolgozni egy olyan komplex módszert, amely a gáz- és zárványtalanítás során javítja a technológiai jellemzőket, konstans elektromos vezetőképesség mellett.

Ez a tanulmány arra keresi a választ, hogy milyen hatást gyakorol a nyomásos öntéssel készült alumínium rotorok villamos vezetőképességére az olvadékban oldott hidrogén és az alumínium-oxid. Emellett vizsgálja, hogy mennyire fontos a hidrogén eltávolítása és az oxid mennyiségének csökkentése a gyártási folyamat során.

Kulcsszavak: nyomásos öntés, vezetőképesség, olvadékban oldott hidrogén és alumíniumoxid

The possibility of removing oxides during rotor casting is related to the development of highspeed aluminum rotor research. This issue, brought to attention by an unresolved problem, has been discussed in the industry for a long time.

This study serves as supplementary research, and the experimental results provide a foundational solution for both manufacturers and consumers. The raw material studied is pure quasi-unalloyed aluminum (Al 99.7), which is used in rotor production. The high electrical conductivity of pure aluminum (Al 99.7) is due to homogeneous metallic structure, free from impurities and foreign phases. The purpose of the research is to apply a melt treatment using inert gas (nitrogen or argon) and a salting mixture, which reduces the concentration of dissolved hydrogen and oxide inclusions in the melt simultaneously. Another objective is to develop an optimal combination of aluminum treatment materials whose use does not significantly affect electrical conductivity. A complex method, aimed at improving the technological characteristics during gas and inclusion removal while

maintaining constant conductivity, has been developed based on literature review and operational experiments.

Keywords: rotor die-casting, conductivity, dissolved hydrogen and aluminum oxide

A forgórész rotoröntvény felépítése és alapanyaga

Az indukciós motor tengelyére acélból készült, henger alakú, különböző geometriájú és számosságú hornyokkal ellátott vasmagot sajtolnak, amely jellemzően 0,20–0,60 mm vastagságú laminációk sokaságából épül fel.

A motorgyártók a végtermék követelményei alapján kiválasztják a megfelelő minőségű öntött alapanyagot. A kész öntvény tömeghányadának nagyobb részét a lemezcsomag, azaz a vasmag, a kisebbik hányadát pedig a kalickaöntvény teszi ki. A hornyokban áram indukálódik, így azok hiánytalan kitöltöttsége és vezetőképessége nagy jelentőséggel bír. A hornyok keresztmetszetének csökkenésével lokális túlmelegedések alakulnak ki, amelyek akár a forgórész tönkremeneteléhez is vezethetnek. A zárógyűrűk a kiegyensúlyozottságban játszanak nagyobb szerepet, amelyeket gyártási technológia sajátosságából fakadóan „A”, ill. „B” betűvel jelölnek. Az „A” oldali gyűrű a szerszámon belül, az álló oldali formafélben, a „B” oldali gyűrű pedig a mozgó oldalon található.

A nyomásosan öntött rotorok gyártásánál a legfőbb kihívást a vékony falú öntvényekkel szemben, az eltérő falvastagságokból adódó, nagy dermedési időkülönbségek jelentik. A forgórész kalicka anyagának minősége nagyban hozzájárul az elektromos

motor teljesítményéhez. A kalickák alapanyagának tulajdonságai a következők:

1. táblázat. A tiszta alumínium tulajdonságai

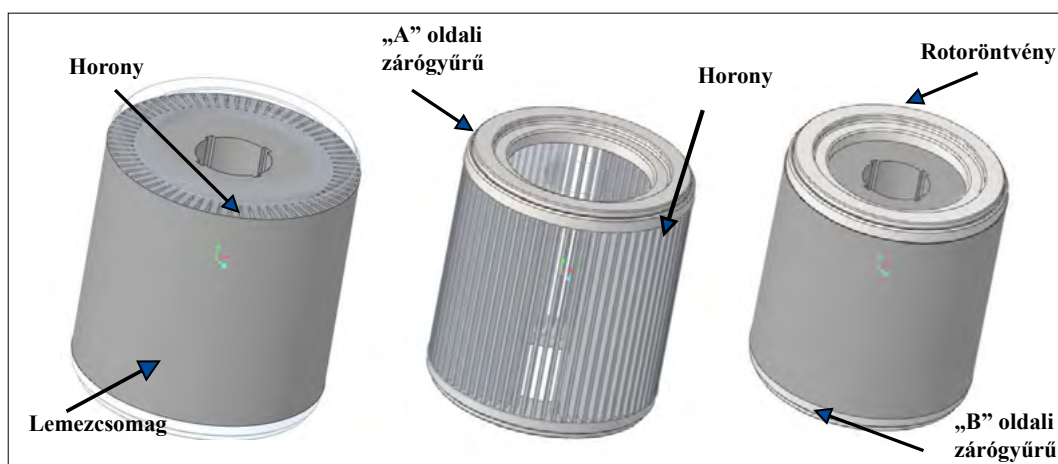
Öntvény alapanyaga	Al 99,7 (ENAW-1070A)
Fajlagos vezetőképesség [σ]:	34–36 MS/m
Szakítószilárdság [R_m]:	70–100 MPa
Folyáshatár [$R_{p0,2}$]:	15–20 MPa
Fajlagos nyúlás [A]:	22%

A vezetőképesség az ötvöző tartalom arányával romlik, ezért nagy tisztaságú, zárványtoktól és egyéb szennyezőktől mentes alumínium használata szükséges.

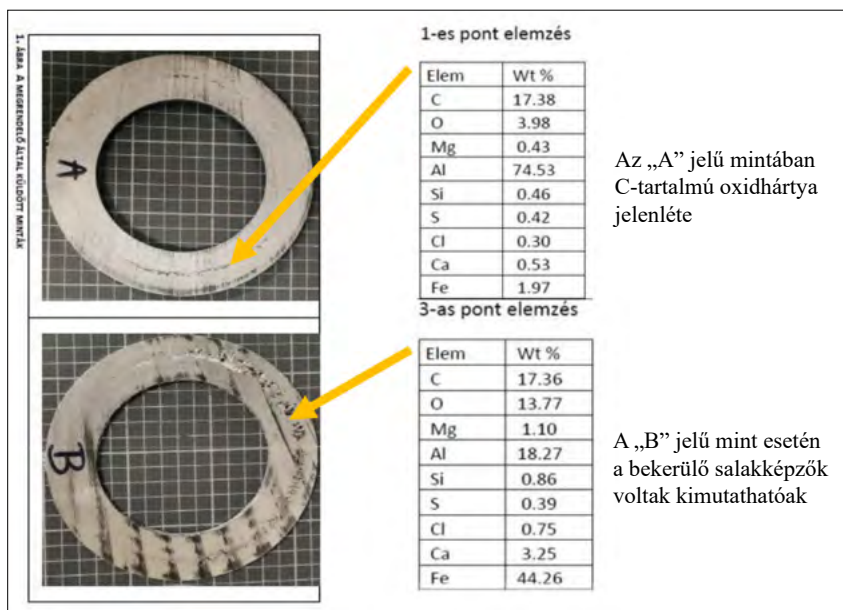
Az öntvény porozitása és a benne lévő szennyezők

A szennyezőanyagok rendkívül széles spektrumon mozognak; a szén például mindkét zárógyűrűben elemi formában is kimutatható, ami elválaszthatatlanul kapcsolódik a technológiai folyamatokhoz.

A kenőanyagok és a gépelemekhez kötődő vas-tartalom beoldódhat az öntendő fémbe, vagy szilárd részecskéként a fémárammal együtt juthat a formába. Mindezek közül azonban az alumínium-oxid el-



1. ábra. Rotoröntvény egyes fázisai



2. ábra. Az „A” és „B” jelű mintáról készült elemzések

feloldása nem lehetséges. Az alumínium-oxid egy rideg fázis, amely jelentősen rontja a szilárdsági értékeket; elektromosan szigetel, ami különösen problémás olyan öntvények esetén, ahol az elektromos vezetőképesség kiemelt fontosságú. Technológiai szempontból az oxid növeli az olvadék viszkozitását, rontja a formaköltési tulajdonságokat, valamint szűkíti a beömlőrendszer keresztmetszeteit és eltömíti a hornyokat, ami a formaüreg hiányos kitöltéséhez vezethet. Ezért az oxid zárványok eltávolítása hangsúlyosan kiemelt feladat. A nyomásos rotoröntésnél az inert gázzal (nitrogénnel vagy argonnal) végzett rotoros olvadékezelés célja nem csupán az

távolítása kiemelt jelentőséggel bír, ahogyan az az 1-es és 3-as pont elemzése során is megfigyelhető. Az alumínium-oxid olvadáspontja 2072 °C, amely jelentősen meghaladja az üzemi olvasztókemencékben elérhető maximális hőmérsékletet, így az oxid teljes

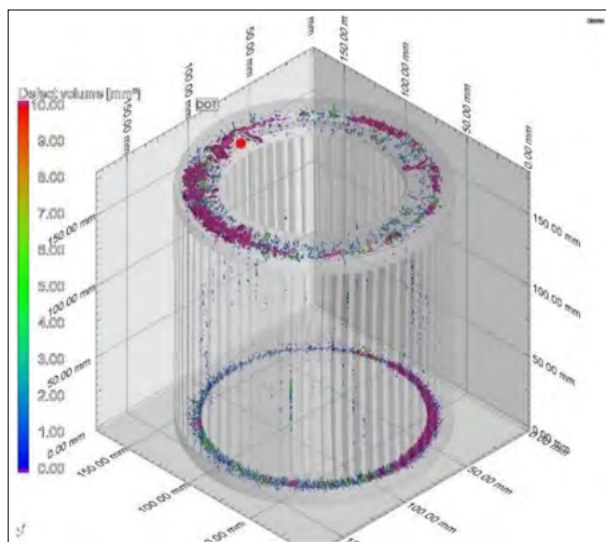
olvadékban oldott hidrogén tartalmának csökkentése, hanem az olvadékban lévő oxid zárványok hatékony eltávolítása is, amely hatásos sókeverék alkalmazásával érhető el.

A fém tisztítás mechanizmusa

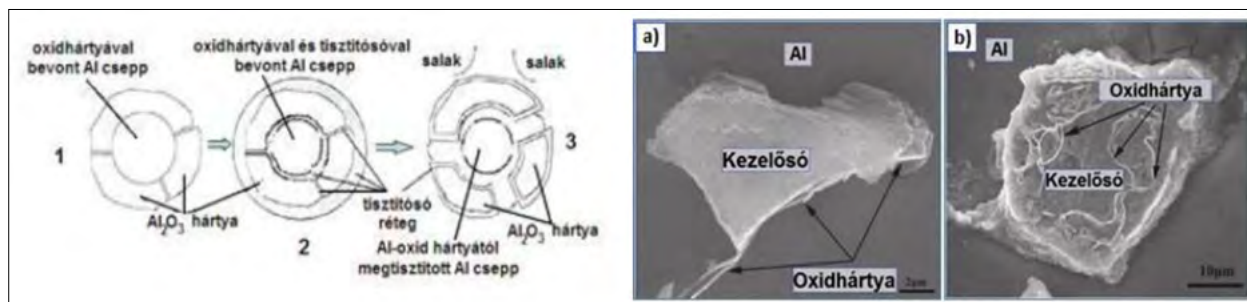
Az alumíniumolvadékban szuszpenzált és a porszerű salakban levő oxidhártával bevont fémcseppek és a tisztítószó kölcsönhatásba lépését kell elérni, hogy az megbontva vegyületté váljon az olvadékból az áramoltatott inert gáz felhajtó erejének segítségével.

A sókeverék kiválasztása esetén szempont a vegyi összetétel. Olyan elemeket tartalmazó keverék a megfelelő, amelyek az elektromos vezetőképességet nem rontják. Ilyen elem például a nátrium.

A kezelőszó reakcióképességének hőmérsékletfüggősége kulcsfontosságú. A kísérletsorozat során olyan kezelőszót alkalmaztunk (pl. kalcium-fluoridot és kálium-karbonátot), amely 700 °C felett hatékony. Az olvadáspontja 720 °C. A fémolvadék tisztítását aktív sókeverékekkel, valamint kémiailag passzív argon gázzal történő átbuborékolással végeztük.



3. ábra. Rotoröntvény CT-felvétele



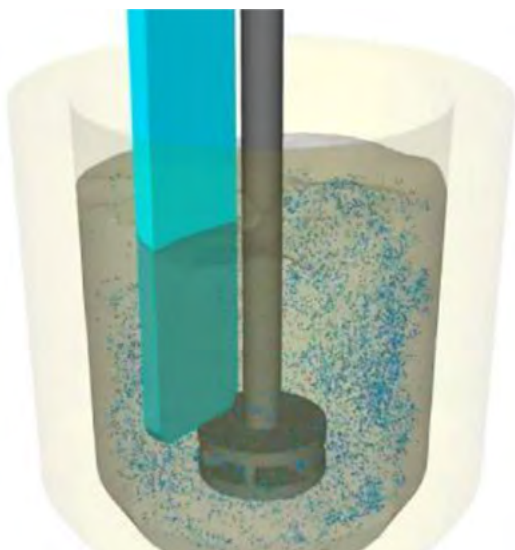
4. ábra. A fém tisztítás folyamata [1]

Mérési eredmények

A kísérletek során az alkalmazott paraméterek finomítását követően az ideális értékek meghatározása sikerült. A kísérleti paraméterek a következők:

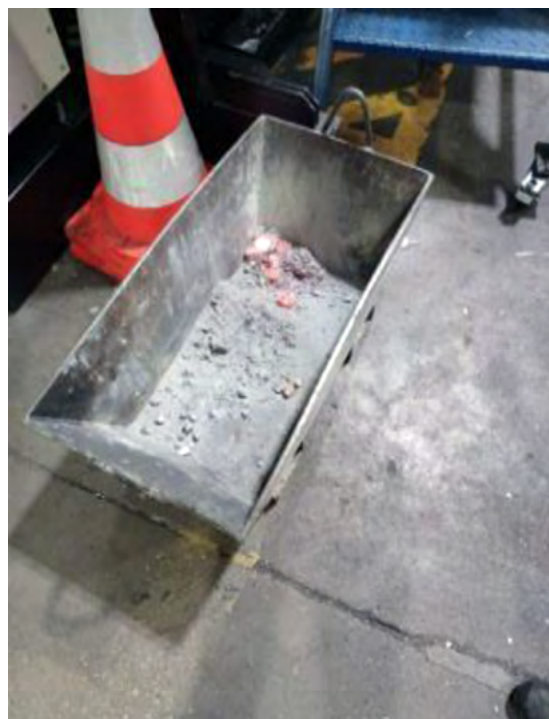
A rotoros gáztalanítás paraméterei:

- ❑ A tisztítás ideje: 60 s
- ❑ Az átöblítési idő: 240 s
- ❑ A kezelőse mennyisége: 2%
- ❑ A fordulatszám: 350 rpm



5. ábra. Rotoros gáztalanítás sematikus ábrája [2]

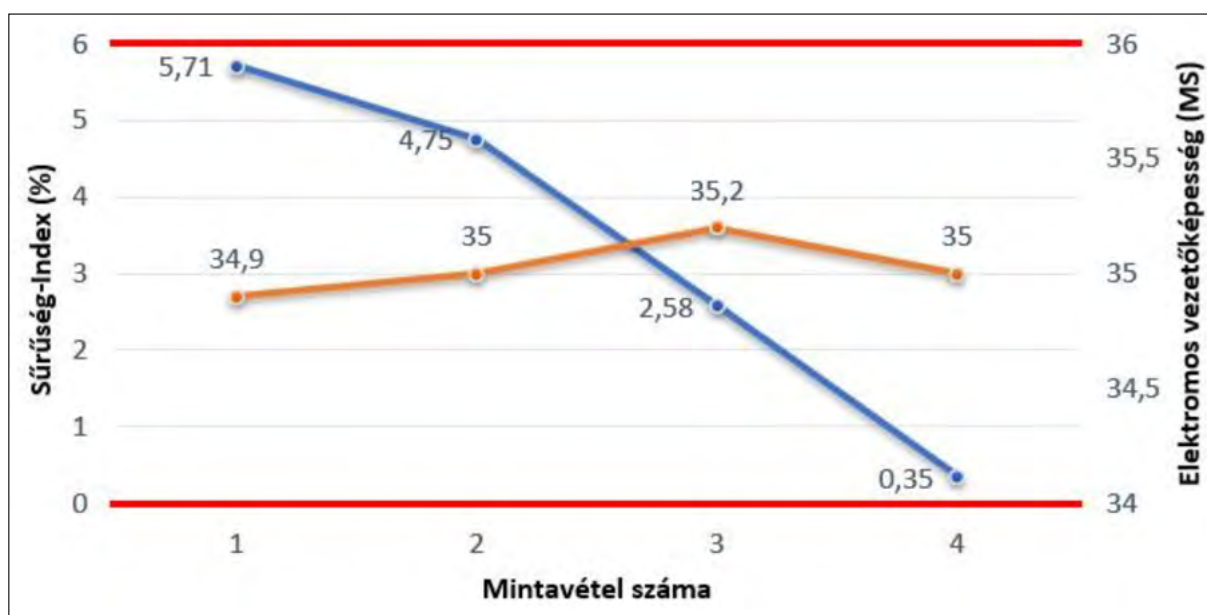
A mintavételek az olvadékezelést megelőzően (1. minta) illetve 3, 4 és 6 perces gáztalanítás után történtek. A 2;3;4; mintavétel esetében sóbevitel is



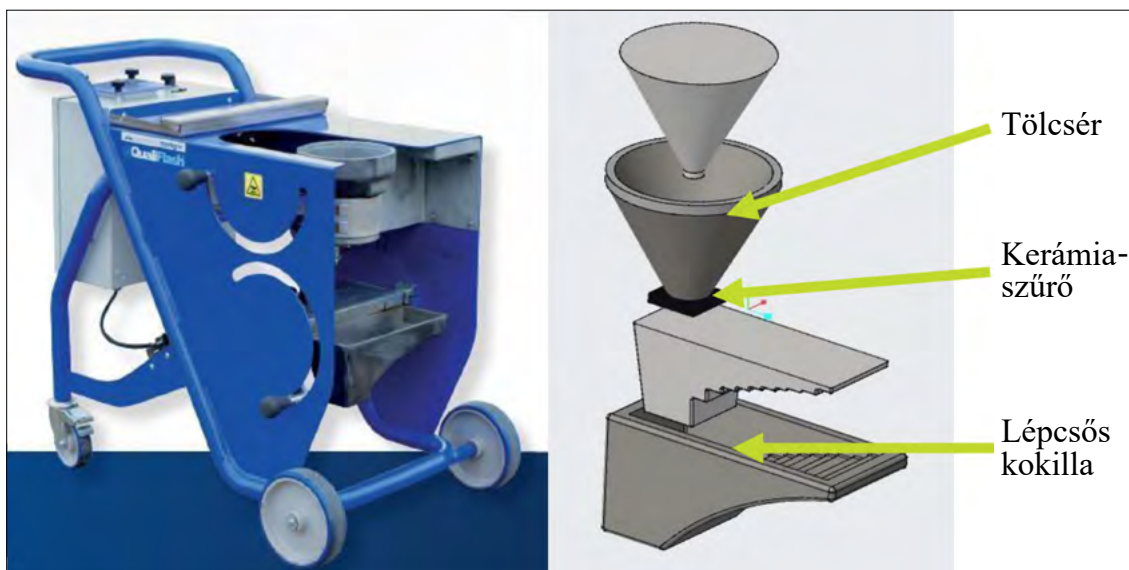
7. ábra. Salakjelenség

történt, továbbá inert gázzal (Ag) zajlott a folyamatos átöblítés. A mérési eredményeket szemléltető diagramon jól látszik, hogy az átöblítési idő növelésével, az oldott gáztartalom folyamatos csökkenése mellett a vezetőképesség közel stagnált. Ezek a megfigyelések megerősítik, hogy az előzetesen megfogalmazott követelmények teljesülnek.

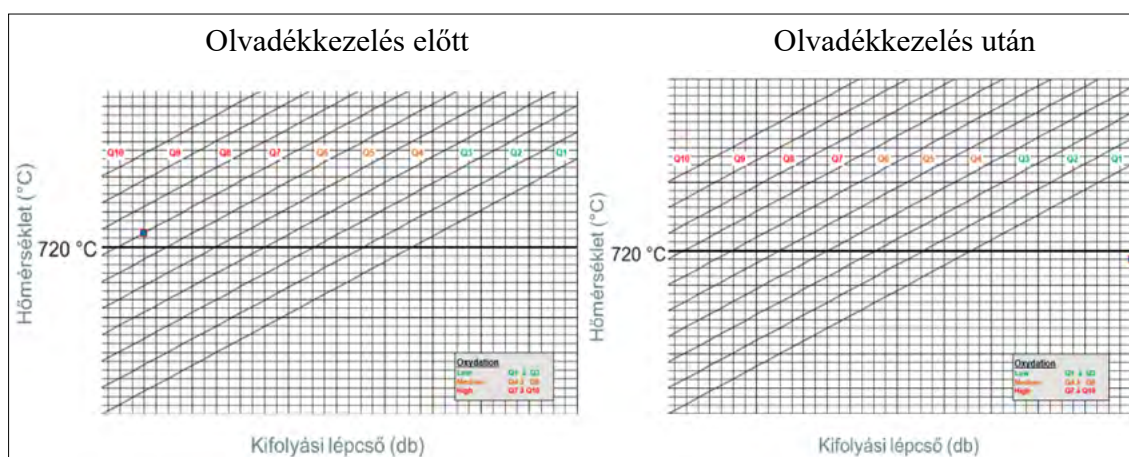
A fémkezeléseket követően az olvadék felszínéről lehúzott salak porszerű volt, ezért a kezelőse nem csak



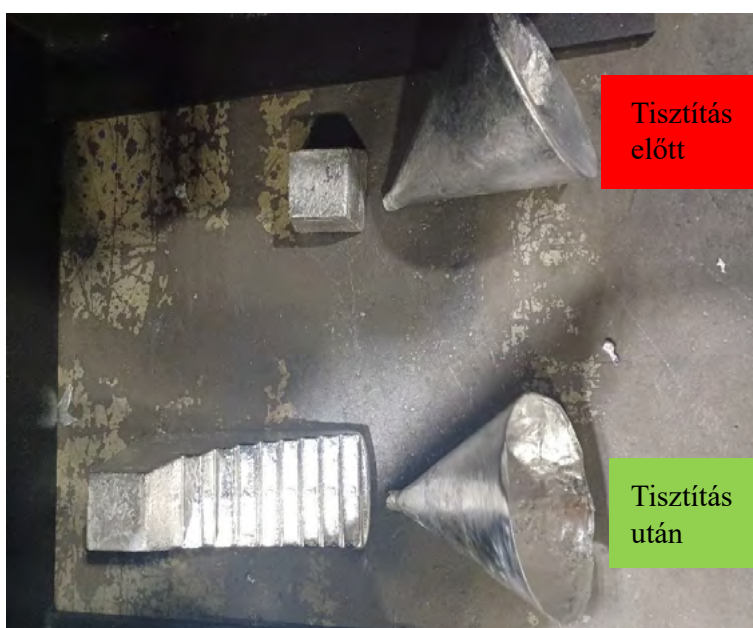
6. ábra. A rotoros gáz és zárványtalanítási kísérlet mintavételei



8. ábra. A QualiFlash berendezés [3]



9. ábra. Kiértékelési diagramok (QualiFlash)

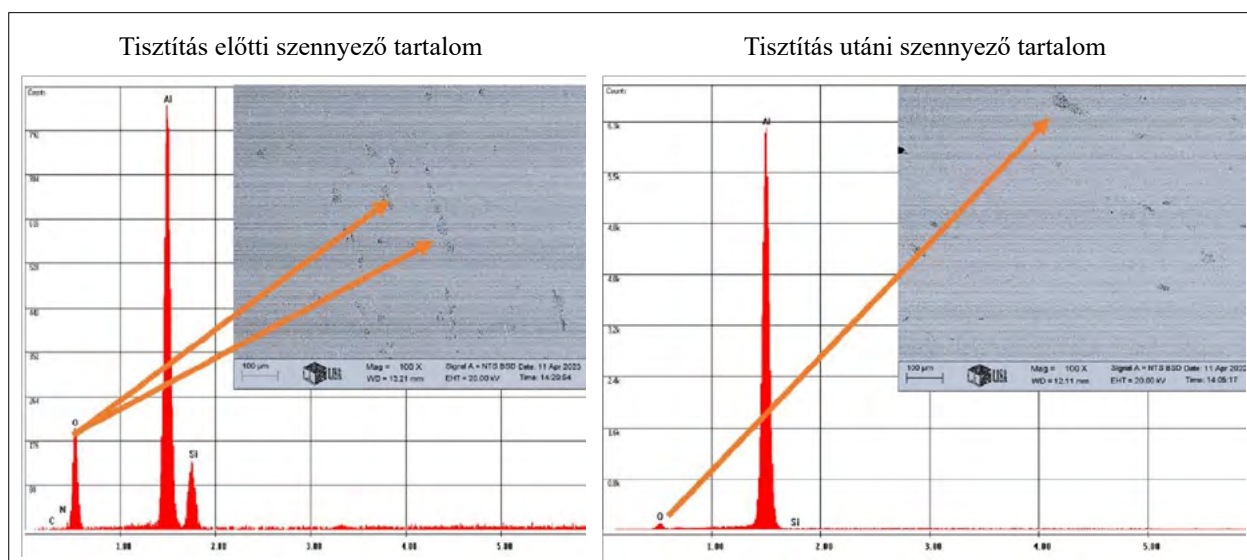


10. ábra. Az átfolyt mennyiségek a kezelés előtt és után

a gáztartalmat, hanem a zárványokat is megkötötte és a salakrétegbe diffundálta.

A zárványtartalom mérése üzemi körülmények között

Ez a kísérleti lépés a próba tisztítási folyamatának minősítésére, azon belül az oxidmennyiség meghatározására szolgált. Magát a mérőeszközt egy 435 °C-ra előmelegített acél tölcser, a berendezéshez kalibrált szűrő és egy lépcsős kokilla alkotja. A QualiFlash® berendezés (8. ábra) lényege, hogy a vizsgálni kívánt olvadék acél tölcserbe öntve egy szűrőn keresztül folyik a kokillába. Minél tisztább az alapanyag, annál több olvadék folyik át a szűrőn és annál több lépcsőt tud megtölteni. Amennyiben az ellenkezője áll fenn, úgy a szűrő hamar eltömődik az oxid és a zárványtartalom túlzott



11. ábra. Oxidok jelenléte SEM-felvételeken

mennyisége miatt a kokilla feltöltése minimális lesz, esetleg meghiúsul.

Az átfolyási próba kiértékelő rendszere jól mutatja az előtte-utáni eredmények szignifikáns különbségét. Olvadékezelés előtt 728 °C öntési hőmérsékleten 0/1 lépcső kitöltése volt lehetséges. Ez a Q6/7 osztálynak felel meg, ami szennyezettnek számít. Nem úgy, a második esetben, a gáztalanítás és kezelő hozzáadása után 715 °C öntési hőmérséklet mellett, tízből kilenc és fél lépcső kitöltése sikerült. Így a minősítése a lehető legjobb Q1++ (9. ábra). Hangsúlyozni kell, hogy a diagram értékelési módszere konzekvens, mert alacsonyabb kiindulási hőmérsékletnél is lehet a minőség Q10-es, de ahhoz kevesebb átfolyt mennyiség tartozik. Ebből látható, hogy a rendszer csak az oxidmennyiség figyelembevételére törekszik.

A gázöblítés és a sókezelés együttes hatása nagyban hozzájárult az olvadék formakitöltő képességének javulásához, annak ellenére, hogy az öntés 13 °C-alacsonyabb hőmérsékleten történt. Az olvadék viszkozitása nem nőtt, sőt a lehető legjobb minősítést érte el. A szűrőn átfolyt olvadék mennyisége tisztítás előtt 11,2% volt, az átfolyást a szűrő kapillárisaiban megtapadt zárványok jelentős hányada hiúsított meg. A tisztítást követően pedig 85,5% volt ez az érték (10. ábra).

Spektrometria, SEM-mérések

Mіндеzt igazolandó, kezelő hozzáadásával pásztázó elektronmikroszkópos méréshez készültek minták. A 11. ábra bal oldalán a kezelés előtti minta felvétele

látható. A területelemzés során magas oxidkoncentráció volt kimutatható. A csiszolaton jó néhány elszórt és egybefüggő oxidcsoport figyelhető meg. A kémiai és fizikai tisztítást követően az oxidfrakciók száma láthatóan csökkent (11. jobb ábra), amit az elszórtan mutatkozó oxidszigetek bizonyítanak.

Összefoglalás

A tanulmány rávilágít arra, hogy mennyi környezeti és technológiai változót kell figyelembe venni annak érdekében, hogy az ipari gyártás számára hatékony tisztítási folyamatot leshessen fejleszteni. A tisztítandó alapanyagok között meg kell különböztetni ötvözetet, ill. a tiszta alumíniumot, és definiálni kell mindkét esetben a speciális kritériumokat. Szakirodalom-kutatás, illetve üzemi kísérletek útján sikerült kidolgozni egy komplex módszert, amely a gáz- és zárványtalanítás során nem rontja az elektromos vezetőképességet. Alapvetően kijelenthető, hogy a nyomásos öntésnél az inert gázzal végzett rotoros olvadékezelés fő célja az olvadékban lévő zárványok (oxidok) eltávolítása sókeverék bevitelével hatásos eljárás, amely hozzájárul a jobb mechanikai és formakitöltési tulajdonságokkal rendelkező öntött alumíniumkalicka folyamatbiztos gyártásához. A folyamat ipari adaptálása jelenleg zajlik.

IRODALOM

- [1] Dr. Jónás Pál: Könnyűfém öntészeti ismeretek
- [2] Aluminum Melt Degassing | FLOW-3D CAST (youtube.com)
- [3] Aluminium Martigny France (Qualiflash®)