

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

**Szilícium-szegény, alumíniummal dezoxidált acél
tisztaságának javítása argonos átöblítés finomításával**

Szabó Andrea
okl. kohómérnök

Tudományos vezető:
Prof. Dr. Károly Gyula
egyetemi tanár



Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar
Metallurgiai és Öntészeti tanszék

Miskolc
2009

TARTALOMJEGYZÉK

1 Bevezetés	1
2 A zárványosság alakulása a szilícium szegény, alumíniummal csillapított acélokban .	3
2.1 A zárványok eredete, osztályozása	3
2.2 A zárványok kialakulási folyamatának lépései.....	4
2.3 Deoxidáció lejátszódása	5
2.4 A zárványképződési reakciók termodinamikai vizsgálata.....	12
2.5 Komplex aluminát zárványok	15
2.5.1 A kalcium aluminátok kialakulása.....	16
2.5.2 A szükséges kalcium mennyiség	19
2.6 Oxidzárványok az acélolvadékban	28
2.6.1 A zárványok alakja	28
2.6.2 Zárványok növekedése	30
2.6.3 Az Al_2O_3 zárványok egymáshoz való tapadása.....	32
2.7 Szulfid zárványok	37
2.8 A zárványok összetapadása a folyamatos öntőművön.....	39
2.8.1 A tapadványok típusai	39
2.8.2 Aluminátok összetapadásának vizsgálata	40
2.8.3 Tapadványok mikroszkópos vizsgálata	42
2.9 Összefoglalás	43
2.10 Tézisek	46
3 Az acélolvadék inert gázzal történő átöblítésének optimalizálása a tisztaság javítása érdekében	50
3.1 Bevezetés	50
3.2 Áramlási viszonyok az acélolvadékban	51
3.2.1 Az acél felszínének megváltozása argonos átöblítés során	51
3.2.2 Az acél tisztaságának javítása az áramlási viszonyok optimalizálásával	55
3.3 Üzemi kísérletek eredményei.....	55
3.4 Összefoglalás	57
3.5 Tézisek	58
4 Az acélolvadék tisztaságának vizsgálata érdekében vett érempróbák használhatósága..	59
4.1 Bevezetés	59
4.2 Az acélolvadékból történő mintavétel lehetőségei	59
4.3 Üzemi kísérletek	61
4.3.1 Kísérleti gyártás során vett érempróbák	62
4.3.2 Érempróbák lunkerességének, salakosságának vizsgálata.....	66
4.4 Összefoglalás	68
4.5 Tézisek	69
5 A folyékony acélfürdőből vett érempróbák zárványvizsgálati eredményeiből levonható következtetések	70
5.1 Acél oxigéntartalmának csökkenése a deoxidáció során	70
5.2 Általános zárványvizsgálati rendszer.....	72
5.2.1 Metallográfiai vizsgálati technikák áttekintése.....	72

5.3	Vizsgálati rendszer az öntött állapotú próbadarabok tisztaságának meghatározására.....	75
5.3.1	Fémmikroszkópos illetve számítógépes képelemzős mérések és eredmények.....	76
5.3.2	Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok és eredményei.....	83
5.3.3	Impulzus magasság válogatással végzett optikai emissziós spektrometriai vizsgálatok és eredmények	85
5.4	Az acél zárványosságának hatása a folyamatos öntés végrehajtására	90
5.5	Összefoglalás	94
5.6	Tézisek.....	98

Irodalomjegyzék

Melléklet

1 Bevezetés

Az acélok felhasználói egyre jobb minőségű, a felhasználási célnak legjobban megfelelő acélok előállítását igénylik. A rendelés állományokban egyre nagyobb a szilícium szegény alumíniummal dezoxidált acélok részesedési aránya. A hideghengerlésre és hidegalakításra alkalmas acélok (St24, DD13, FeP05) mellett egyre több szerkezeti acélt is (S355J2G3, DE355MLC) alumíniummal csillapított, szilícium mentes kémiai összetétellel rendelik. A kémiai összetételben az oldott alumínium mennyiségét is előírják, amelyet minimálisan 0,02%-ban határoznak meg. Ez az alumínium előírás egybeesik az acélgyártók törekvésével, mert ez a mennyiség biztosítja az acélok öregedésállóságát, valamint alapja a tiszta acél gyártásának. Az alacsony szilícium tartalmat pedig a késztermék horganyozhatósága miatt követelik meg.

Az alumínium az egyik legerősebb dezoxidáló szer, és már kis mennyisége is alacsony oldott oxigéntartalmat biztosít az acélban a dezoxidáció végén. Mivel az acél oxigén tartalma a csapolás közben is és a salak oxidáló hatása miatt is változik, a pontos dezoxidáltsági állapot beállítását a gyakorlatban lépcsős dezoxidációval valósítjuk meg. Az első lépcsőben, csapolás közben, alumínium mokka adagolásával elvégzett hatékony elődezoxidáció során az aktív -oldott- oxigén jelentős részét alumínium oxiddá alakítjuk, majd egy újabb lépcsőben aktív oxigéntartalom mérése után –alumínium huzal adagolásával- az aktív oxigéntartalmat szakirodalmi adatok alapján [1] 3-4 ppm ($3\text{-}4 \cdot 10^{-4} \%$) alá csökkentjük, ezzel a kívánatos 0,025-0,060 % közötti fémes alumínium tartalom is biztosítható. A lépcsős dezoxidáció során el kell érni, hogy a keletkező Al_2O_3 zárványok az olvadékból mind teljesebb mértékben eltávozhassanak. Jelenlétük ugyanis egyrészt a bugák felületén a felhasználói célokat rontó hibákat okozhat, másrészt —a reoxidáció okozta hatásokkal együtt— kagylószükülések révén az önthetőséget is kedvezőtlenül befolyásolhatják. Ezen hatásokon túl, az acélban maradó nem fémes zárványok közül a rideg alumínium oxid zárványok a meleghengerlés során összetöredeznek, sorba rendeződnek, a képlékeny mangán szulfid zárványok pedig lepénnyé vagy fonallá alakulnak. Mindkét zárványtípus rendkívül veszélyes a késztermékre nézve, ugyanis egyrészt mechanikai anizotrópiát okozva a felhasználhatóságot rontják, másrészt a felületre vagy annak közelébe érve az acéllemezhajlítása során a felület felszakadását okozhatják. Szükséges tehát, hogy ezeket a kártékony zárványokat eltávolítsuk az acélból, illetve hogy átalakítsuk őket olyan kémiai összetételű zárványokká, melyek a késztermék minőségét kevésbé rontják.

Az acél kalciumos kezelésével tudunk olyan komplex kalcium alumínát zárványokat létrehozni, melyek az acélgyártás hőmérsékletén folyékony halmazállapotúak, a lehűlt acélban pedig gömb alakúak és nagyon kemények. Ezek a zárványok a meleghengerlés során nem tudnak összetöredezni és sorba rendeződni, illetve általában nagyobb méretűek, mint a különálló Al_2O_3 vagy MnS zárványok, így az üstmetallurgiai kezelés részeként alkalmazott argonozással nagyobb esély van az acélolvadékból való eltávolításukra.

Az Al_2O_3 képződését és olvadékban maradását befolyásoló tényezők kapcsolatát az elmúlt évtizedben számos kutató vizsgálta. Vizsgálataik szerint az Al_2O_3 képződésében és olvadékban maradásában legalább 20 faktor játszik befolyásoló szerepet. Az önthetőségi gondok elkerülhetősége céljából, és a minőségi kifogások csökkenthetősége érdekében ma is aktuális e témakör további vizsgálata, az elmúlt évtizedben elért eredmények és az új vizsgálati metodikák felhasználásával.

A folyamatos öntőművön a tapadványok elkerülhetősége érdekében igen nagyfokú zárványmentességet kell biztosítani. Csak olyan zárványok terhelhetik az acélt, amelyek tapadványok képződéséhez nem vezetnek, minőségi károsodásokat nem okoznak. Kiindulásképp tehát tisztázni kell a szilícium szegény, alumíniummal dezoxidált acélokban a zárványosság alakulását. Ehhez természetesen elsősorban a legújabb nagyszámú nemzetközi szakirodalom kritikai értékelése szükséges, másrészt kiválasztandó az a vizsgálati metodika, mellyel ésszerű és célszerű vizsgálatokat tudunk végezni.

E témakörben két területen az elmúlt évtizedben, hazánkban is jelentős előrelépésre került sor. A Dunaferren az üstmetallurgiai kezelési lehetőségek között megvalósult az üstfenéken keresztüli argonos átöblítés, elsősorban a homogenizálás céljából. Szakirodalmi források és a Diósgyőrben bevált gyakorlat szerint az alsó argonozás a tisztaságnövelésnek is hatékony eszköze, így kézenfekvő gondolat, hogyan lehet optimalizálni az alsó argonátöblítést ahhoz, hogy a szilícium szegény, alumíniummal dezoxidált acélokban a zárványok felúszását mind nagyobb arányban elérhessük akkor is, ha tudjuk, hogy nehézséget jelent a hevítési lehetőség hiánya, és továbbra is feladat a homogenizáció. Összetett feladatról van tehát szó, de célszerű az alsó argonos átöblítéssel szembeni elvárásaink közé a tisztaság növelését is besorolni.

Ugyancsak kedvező előbbre lépésnek ítélni, hogy a Dunaferren üzembe helyeztek egy olyan gyorslemezű berendezést (OES-PDA, impulzus magasság válogatással végzett optikai emissziós spektrométer), amely a korábbi minőségi és mennyiségi meghatározások sorában előrejelzési lehetőségeket kínál a zárványosság tekintetében is. Mint anyagvizsgáló, magam is kíváncsian várom, hogy a klasszikus zárványossági vizsgálatok sorában milyen területen lehet létjogosultsága ezen újabb vizsgálati technikának. Az biztos, ha zárványosság tekintetében előrejelzések állhatnak rendelkezésünkre, akkor az üstmetallurgiai eszköztárunk bővíthet, befolyásolhatjuk a lépcsős dezoxidáció menetét, ezzel újabb lépéseket tehetünk az önthetőségi gondok elkerülhetősége és minőségbiztosítási feladataink magasabb szinten történő megoldása területén.

Doktori munkám során feldolgoztam a szilícium szegény alumíniummal csillapított acélokban előforduló zárványok képződésére, eltávolításukra vonatkozó nemzetközi és hazai szakirodalmat. Részt vettem az acéolvadék inertgázzal történő átöblítésének optimalizálására végzett Dunaferres kísérletekben, vizsgálatokat végeztem az acéolvadékból vett érempróbák használhatósága érdekében, különböző vizsgálati technikák alkalmazásával meghatároztam az egyes technológiai állapotokban az acéolvadékban lévő zárványok paramétereit, ezen eredmények alapján összegeztem az üstmetallurgiai állomáson, illetve a folyamatos öntőművön a zárványképződési folyamatok és a technológiai adatok közötti kapcsolatokat, felírtam az egyes zárványképződési reakciók elméleti sorrendjét, majd ezeket értelmeztem a technológiai lépések sorrendjének tükrében.

2 A zárványosság alakulása a szilícium szegény, alumíniummal csillapított acélokban

2.1 A zárványok eredete, osztályozása

A zárványok az acélban nem oldódó olyan vegyületek, amelyek egyik alkotója fémes (vas, vagy ötvözője), a másik pedig nemfémes (oxigén, kén, nitrogén) elem.

A zárványokat több szempont szerint osztályozhatjuk. Az egyik lehet az eredet szerinti osztályozás, amely alapján beszélhetünk külső és belső eredetű zárványokról. A **külső** eredetű zárványok az acélgyártás során, a tűzálló falazatból, és az acélgyártás kísérő anyagaiból, továbbá öntés során fedő-, illetve öntőporból kerülhetnek az acélba. Az utóbbi években ritkán találunk tűzálló anyagból származó zárványt az acélban, az iparág fejlődésének köszönhetően. Ezek a zárványok a nagy méretük miatt könnyen eltávolíthatók az acélfürdőből, mivel egyrészt a Stokes törvénynek megfelelően a salakfázisba történő flotációjuk sebessége nagy, másrészt a felszállásukat elősegíti az üstmetallurgiai állomáson végzett argonos átöblítés is. A folyamatos öntéskor a kristályosító alternáló mozgása során öntőpor kerülhet a megdermedő acél felülete alá, a mélyebb oszcillációs redőkbe, amelyek a hengerlés során az acél felülete alá kerülnek. Az öntés során az acéolvadékba kerülő zárványokat —idő hiányában és technológiai nehézségek miatt— már nem lehet eltávolítani az acélból, ezért ezek a zárványok az acél felhasználása során hibák forrásai lehetnek.

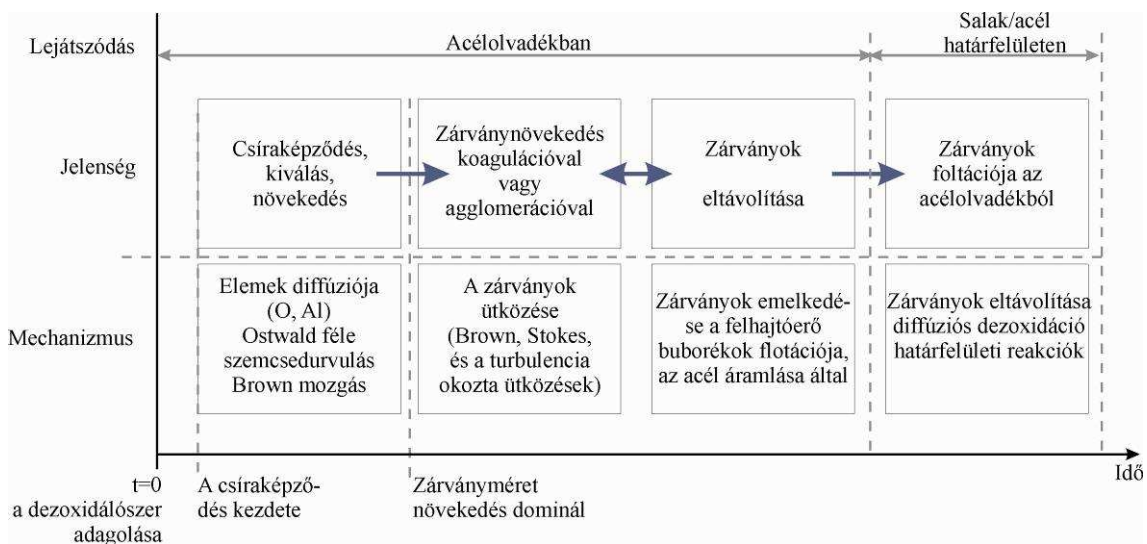
A **belső** eredetű zárványok a gyártási folyamat során képződnek. Legnagyobb részük a dezoxidációs folyamatból származó oxidzárvány. A dezoxidáció az acélgyártási folyamat szükséges velejárója. A primer acélgyártás ugyanis egy oxidáló olvasztás, amely során oxigénadagolással távolítják el az olvadt fémből a szennyező elemeket, valamint karbon tartalmát, az acél előirt határértékéig, oxidálják. Az olvadáshoz adagolt oxigén először a legnagyobb koncentrációban jelen levő vassal reagál és a keletkezett vasoxid, amely oldódik az acélban, adja át az oxigént a jelen levő oxidálható elemeknek. Az elemek oxidációjának sorrendje a termodinamikai törvények szerint meghatározott. Az oxidáció előrehaladtával az oxidációval eltávolítható szennyező elemek kiégnek és a folyamat végén már csak a karbon oxidálódik. Az oxidációs kémiai reakciók – a reakciók egyensúlyi viszonyainak megfelelően – csak akkor játszódnak le, ha az oxigéntartalom meghaladja az egyensúlyi értéket. Az egyensúlyi viszonyoknak megfelelően minél kisebb karbon tartalmú acélt kell gyártani az acélnek annál nagyobb oxigéntartalma lesz. Egy 0,05% karbon tartalmú acél akár 0,07 – 0,08% (700-800 ppm) oxigént is tartalmazhat. Az ilyen nagy oxigéntartalmú acél melegalakításra nem alkalmas, mert az oldott vasoxid az acél lehűlése során kiválik és mivel olvadáspontja kisebb az acél olvadáspontjánál (1100°C) a kristályhatárokon helyezkedik el. Melegalakítás során, mivel ez a művelet 1100°C felett megy végbe, ahol a vasoxid már olvadt állapotú, a kristályok közötti kohéziós erő hiánya miatt az acél selejtté válik. A jelenség dezoxidációval küszöbölhető ki.

Az acélt terhelő zárványokat azonban nem csak eredet szerint csoportosíthatjuk, hanem kémiai összetétel szerint is. Az alumíniummal csillapított szilícium szegény acélokban különböző típusú alumínium oxid zárványok mellett szulfid zárványok is találhatók, amelyek a kéntelenítés után az acélban maradt kénnek és az acélban lévő mangánnak a reakciójából —lehűlés közben— jönnek létre. A kalciummal kezelt acélokban, a kezelés eredményességétől függően, komplex aluminát zárványok keletkeznek.

A zárványképződés akkor lehet hasznos része az acélgyártási folyamatnak, ha a reakciótermékeket el tudjuk távolítani az acélból, ami nem minden acélgyártási és finomítási eljárás esetén sikeres.

2.2 A zárványok kialakulási folyamatának lépései

A zárványok kialakulási folyamatának lépéseit mutatja a 2.1. ábra [2].



2.1. ábra

Zárványképződés az acélgyártás és folyamatos öntés során [2]

Dekkers [3] szerint az egyes lépések lényege az alábbiak szerint foglalható össze.

- Röviddel a dezoxidálószer adagolását követően zárvány csírák alakulnak ki és gyorsan növekedésnek indulnak. Az acélban végbemenő zárványképződési folyamatokat a Gibbs energia irányítja, csak akkor megy végbe egy reakció, ha a rendszer szabadentalpiája minimális, tehát:

$$G \rightarrow \min \quad (2.1)$$

Egy rendszer Gibbs energiáját az alábbi összefüggés szerint írhatjuk fel:

$$G = G_{\text{tér}} + \frac{2}{3} \cdot \frac{A}{V} \cdot V_m \cdot \sigma \rightarrow \min \quad (2.2)$$

ahol σ a zárvány felületi feszültsége, V_m a moláris térfogata, $G_{\text{tér}}$ a moláris Gibbs energia a zárvány belsejében.

A (2.2) összefüggésből következik, hogy a rendszer Gibbs energiája akkor lesz minimális, ha σ felületi feszültség minimális, illetve a felület/térfogat (A/V) arány is minimális. A zárványképződés esetén ez utóbbi akkor teljesül, ha a kis méretű gömb alakú zárványok (csírák) az Ostwald-féle szemcsedurvulásnak megfelelően az acélolvadékban növekedésnek indulnak. Számukra energetikailag kedvezőbb, ha egy nagy zárványt alkotnak, a sok kicsi helyett.

- A zárványok miután elérték egy bizonyos méretet az acél turbulens áramlása miatt ütköznek, egymáshoz tapadnak, így méretük növekszik.
- Az acélolvadék és a zárványok közötti sűrűség különbség, illetve a zárványok buborékhoz való kapcsolódása, valamint az üstben lévő olvadékáramlás miatt a nagyobb zárványok a salakfázisba flotálódnak.
- A kis méretű zárványok az acélolvadékban maradnak szuszpenzálódva, amelyek közül néhány a salakfázisba vagy a tűzálló falazatra jut és ott megkötődik.

2.3 Dezoxidáció lejtársódása

A termodinamikai törvények szerint az acélglyártás oxidációs periódusa a karbon oxidációjával fejeződik be. Az oxidáció végén az acél oxigéntartalmát a jelen lévő karbontartalom határozza meg, de hatással van rá az acél hőmérséklete is. Gyakorlatban az acélglyártás konverteres periódusát követően az acélban nagyobb mennyiségű oxigén található, mint amennyit a szilárd állapotú vas oldani képes [5]. Az acél oldott vasoxid tartalmának káros hatását dezoxidációval lehet kiküszöbölni.

A dezoxidálásnak három fajtája ismeretes, a diffúziós, a kicsapásos és a vákuumos dezoxidáció.

A diffúziós dezoxidáció az acél $[FeO]$ tartalmának salakfázisba történő juttatását jelenti úgy, hogy a salak (FeO) tartalmát csökkentve a megoszlási törvénynek megfelelően az acél $[FeO]$ tartalma is csökken. A módszer előnye, hogy nem eredményez acélra káros terméket, viszont igencsak időigényes, amit csak hőközléssel üzemelő üstmetallurgiai módszer esetén lehet alkalmazni.

A vákuumos dezoxidáció alapfeltétele a vákuumozó berendezés, ez a Dunaferriben nem adott. A gyakorlatban elterjedtebb a kicsapásos dezoxidáció alkalmazása, a dolgozatomban ezzel a dezoxidációs megoldással foglalkozom.

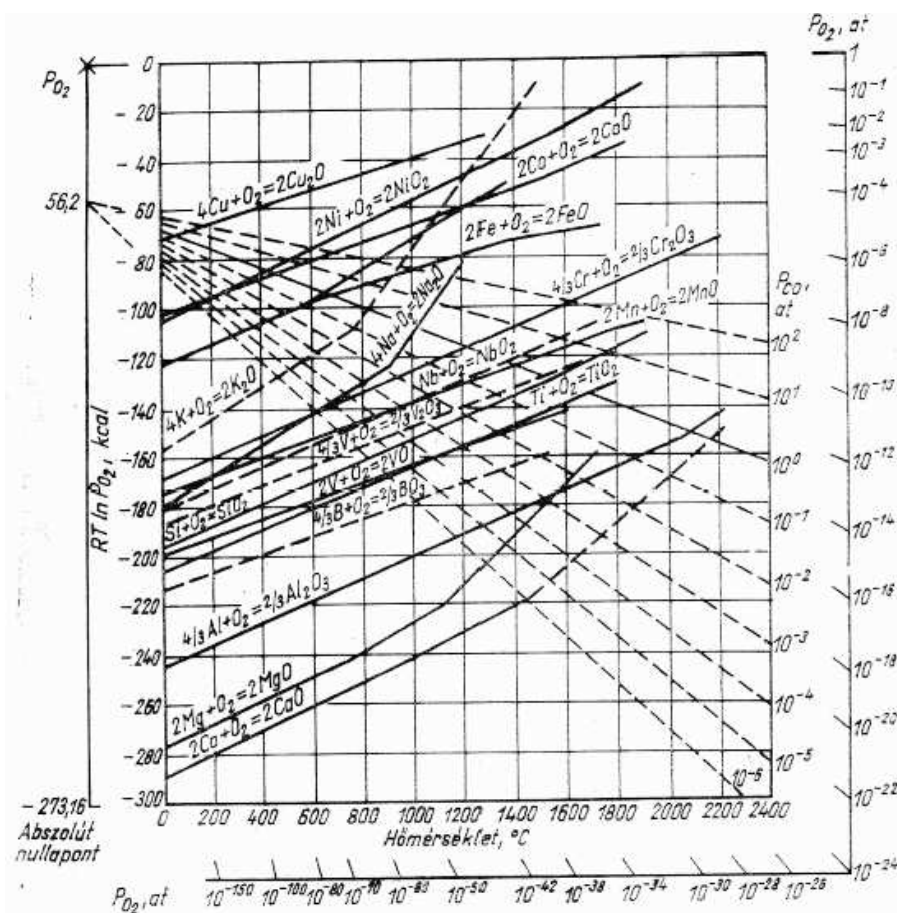
A kicsapásos dezoxidáció esetében olyan elemet adagolunk a folyékony acélba, melynek az oxigénhez való vegyrokonsága nagyobb, mint a vasé. A dezoxidációs folyamat három szakaszra bontható:

1. a dezoxidációs szerek oldódása, a dezoxidációs reakciók lejtársódása
2. a dezoxidációs reakció termékek csíráképződése és növekedése
3. a dezoxidációs reakció termékeinek acélfürdőből való eltávolítása

Az utolsó szakasz megvalósulásának alapja, hogy a reakció termékét a folyékony acél ne nedvesítse. Kíváncos továbbá, hogy a reakciótermékeknek alacsony legyen az olvadáspontjuk, illetve könnyen egymáshoz tapadhassanak (koaguláljanak) elősegítve ezzel a salakfázisba történő flotációjukat (Stokes törvény alapján). A kicsapásos dezoxidációra alkalmas elemek száma sok, a gyakorlatban az Al, Si, Mn, valamint alkáli földfémek (pl. Ca, Mg) és ritkaföldfémek (pl. La, Ce) képesek ellátni ezt a feladatot. Nyilván a dezoxidációhoz felhasznált elem kiválasztásánál szerepet játszik a

hatékonyság, illetve a dezoxidálószer ára is. Rendelkezésre álnak ezenkívül komplex dezoxidáló anyagok is, melyek a fent említett elemek keverékei, illetve vegyületei. Ezekkel a dezoxidáló elemekkel, anyagokkal befolyásolni lehet a keletkező zárványok kémiai összetételét.

A 2.2. ábra mutatja legfontosabb dezoxidáló elemek oxidképződésének ΔG° értékeit, illetve a disszociációs nyomásértékeket a hőmérséklet függvényében [5].



2.2. ábra

Dezoxidáló elemek oxidképződésének ΔG° értékei, illetve a disszociációs nyomásértékek a hőmérséklet függvényében [5]

A dezoxidáló elem erősségét az határozza meg, hogy melyik oxid képződéséhez tartozik negatívabb ΔG° érték. Az oxid képződésének feltétele, hogy a FeO képződésénél eleve negatívabb legyen a képződéséhez tartozó ΔG° érték. Az ábrán lévő elemek közül a leginkább negatív ΔG° érték a MgO és a CaO képződéséhez tartozik. Ezek alapján tehát ezek az elemek tekinthetők a legerélyesebb dezoxidáló szereknek. Mégsem alkalmazzuk az oldott oxigéntartalom csökkentésére ezeket az elemeket, mert egyrészt fémes állapotban az olvadáspontjuk alacsony, erős gázképződés miatt, igen heves lenne a reakciójuk az acéolvadékkal és nagy veszteséggel használhatóak, másrészt a belőlük képződő oxidok egymáshoz, illetve a tűzálló falazathoz való tapadási hajlama igen magas. Az alumínium oxid szintén hajlamos a tapadvány képzésre, viszont az alumínium oxidokat egy következő technológiai lépésben, kalcium acélfürdőbe történő adagolásával át lehet alakítani kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező kalcium aluminát komplex zárványokká, melyek ebben a formában már nem jelentenek veszélyt

az öntőgépre nézve, illetve nagy méretüknek köszönhetően a salakfázisba történő flotációjuknak is eleve nagyobb az esélye.

A gyakorlatban szilícium mentes acélok gyártása terén általánosan elterjedt az alumínium használata dezoxidálószerként. A dezoxidációs reakció alumínium oxid zárványokat hoz létre —amelyek jelenléte nem kívánatos az acélban— de ezek a nagy határfelületi energiájuknak köszönhetően viszonylag gyorsan és nagy mértékben eltávolíthatók a folyékony acélból [6].

A dezoxidáció során az acélhoz adagolt dezoxidáló elem reakcióba lép az acél oldott FeO tartalmával, és a mennyiségének függvényében elbontja annak egy részét [3]. Abban az esetben, ha kevesebb alumíniumot adagolunk a fürdőbe a



reakció lejátszódásával kell számolnunk, melynek során spinell képződik. Abban az esetben viszont, ha nagyobb Al/O arányt biztosítunk, α -korund képződésére kell számítani az alábbi reakció szerint.



Az alumínium oxid képződés egyensúlyi állandója:

$$K_{\text{Al-O}} = \frac{(\text{Al}_2\text{O}_3)}{[\text{Al}]^2 \cdot [\text{O}]^3} \quad (2.5)$$

Mivel $a_{\text{Al}_2\text{O}_3} \cong 1$, a dezoxidációs szorzatot az alábbiak szerint írjuk fel.

$$D_{\text{Al}} = [\text{Al}]^2 \cdot [\text{O}]^3 \quad (2.6)$$

A dezoxidációs szorzat hőmérséklet függését a

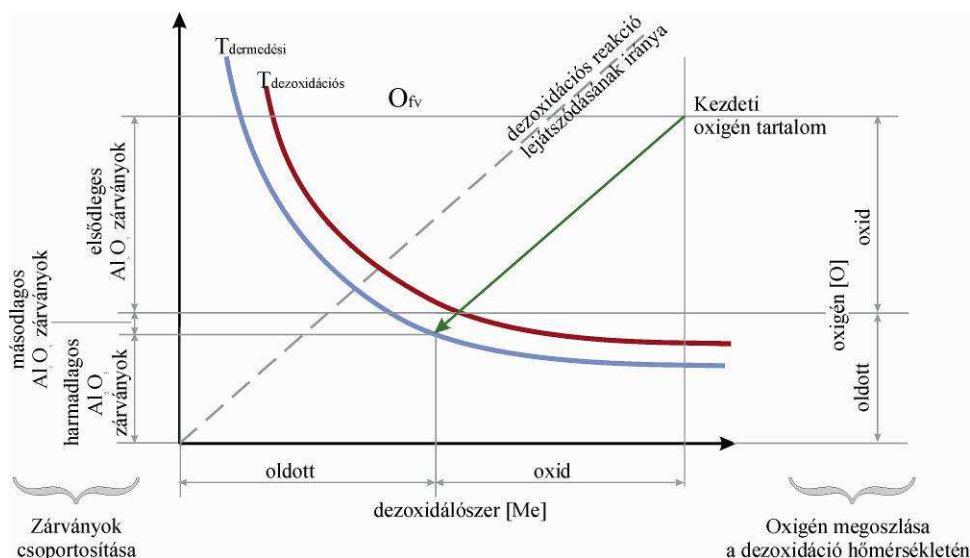
$$\lg D_{\text{Al}} = -\frac{A}{T} + B \quad (2.7)$$

összefüggés adja meg, ahol T a hőmérséklet, A és B konstansok.

A 2.4 reakció a dezoxidáló elem és az oxigén egyensúlyának eléréséig játszódik le és ott megáll. Az alumínium-oxigén egyensúlyi helyzet egy hiperbolikus összefüggés szerint változik, amelynek elvi vázlata a 2.3. ábrán látható.

Az egyensúlyi helyzet a hőmérséklettel változik. Alacsonyabb hőmérsékleten az egyensúly alacsonyabb oxigéntartalmak irányába tolódik el (ezt mutatja a kék színű görbe). Az ábrára berajzolt $-O_{\text{fv}}$ -vel jelzett vízszintes vonal az acél oxigéntartalmát jelzi a dezoxidáció megkezdésekor, a rajta elhelyezett pont pedig a felhasznált dezoxidálószer mennyiségét mutatja. A dezoxidáció a sztöchiometria szabályai szerint megy végbe, és iránya a sztöchiometriai egyenessel (az ábrán a szaggatott vonal) párhuzamos. A reakció az egyensúlyi helyzet elérésénél megáll. Az egyensúlyi helyzetben, a dezoxidáció előtt az acélban levő oxigéntartalom (O_{fv}), két részre oszlik:

- az acélban oldva maradó oxigénre (O_{oldott}),
- a dezoxidáló elemmel reakcióba lépő és oxidformába kicsapódó oxigénre (O_{oxid}).



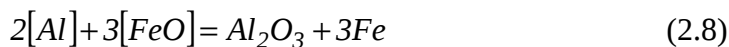
2.3. ábra
A dezoxidáció folyamata

Az O_{oldott} az acélban oldva maradó alumíniummal tart egyensúlyt, az O_{oxid} pedig az acél belső eredetű oxidzárvány tartalmát alakítja ki. A két formában jelen levő oxigén a továbbiakban nem egyformán viselkedik. Az alumínium-oxid, mivel nem oldódik az acélban, a kinetika szabályainak megfelelően felfelé mozog, és ha elég nagy a sebessége, a salakban feloldódik. Ezeket az oxidokat, amelyeknek van lehetőségük a salakfázisba való flotációra, elsődleges oxidoknak nevezzük. A dezoxidáció után az acélban maradó oldott oxigén felúszásra nem képes. A hőmérséklet csökkenésével azonban –az egyensúlyi helyzet változásának megfelelően, a dezoxidációs reakció további lejátszódása miatt– újabb oxidok keletkeznek, és az oldott oxigén teljes mennyisége oxiddá alakul. A lehűlés alatt a likvidusz és a szolidusz hőmérséklet között keletkezett oxidoknak a salakba emelkedésre kicsi az esélye (ezeket nevezzük másodlagos oxidoknak), szilárd állapotban pedig a zárványfelúszás lehetősége megszűnik (harmadlagos oxidok). Az *elsődleges* kivált oxidoknak tehát elvileg a felúszási lehetősége adott, a másodlagos és a harmadlagos dezoxidációs termékek salakba emelkedésének azonban a gyakorlatban nincs esélye.

Ennek megfelelően a dezoxidációs folyamatot, kicsi oxidzárvány-tartalom elérése érdekében, mindig alacsony oldott oxigén tartalomra kell beállítani, a kicsapott zárványok salakba emelkedését pedig segíteni kell. Szakirodalmi adatok alapján [7] 4 ppm oldott oxigén szintet kell beállítani a dezoxidáció során, így biztosítható egyrészt az alacsony oxidzárvány tartalom, másrészt ez a megfelelő összetételű aluminát zárványok kialakításának a feltétele.

A dezoxidáció végi aktív oxigén tartalomra vonatkozó szakirodalmi adat helyességének igazolására számítását végeztem, melynek alapjául több, zárványosság szempontjából (vizsgálati adatokkal igazolhatóan) megfelelőnek tekinthető szilícium-szegény acél alumíniummal csillapított acél dezoxidáció után mért oldott alumínium tartalmát vettem. A mérések a Dunafer Zrt. Anyagvizsgálati és Kalibráló Laboratóriumok Igatgatóságának Spektrometriai Osztályán történtek impulzus magasság válogatással végzett optikai emissziós spektrometriai módszerrel (ennek lényegét az 5.3.3. fejezetben ismertetem).

Az elérendő oldott oxigéntartalom mennyiségének számításánál a 2.4 reakció helyett a 2.8 reakciót vettem figyelembe, hiszen az oxigén az acéolvadékokban FeO formájában van jelen.



A reakció egyensúlyi állandójára a szakirodalom [8] többféle értéket tartalmaz, ezek közül a számításaimhoz a 2.9 összefüggést használtam. A dezoxidációs reakcióban képződő alumínium oxid zárványok szilárd fázisként jelennek meg az acéolvadékokban, tehát az alumínium oxid aktivitását egységnyinek tekintem.

$$\lg K_{2.8} = \frac{61154}{T} - 19,296 \quad (2.9)$$

Az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete üzemi tapasztalatok szerint 1630°C. Ezen a hőmérsékleten az egyensúlyi állandó értéke a 2.9 összefüggésből számítva:

$$K_{2.8} = 1,027 \cdot 10^{13} \quad (2.10)$$

Az Fe aktivitását az acéolvadékokban egységnyinek tekintem, így az oxigén aktivitására adódik az alábbi összefüggés:

$$a_O = \sqrt[3]{\frac{1}{a_{Al}^2 \cdot K_{2.8}}} \quad (2.11)$$

Az acélfürdőben, mint reális oldatban az egyes komponensek aktivitása nem azonos a koncentrációjukkal, mivel az aktivitásra hatást gyakorol a többi elem jelenléte. Az alumínium aktivitása felírható az alumínium %-ban kifejezett mennyisége illetve az acéolvadékokban jelen lévő ötvöző elemek hatását kifejező aktivitási koefficiensek szorzataként [3]:

$$a_{Al} = C_{Al, \%} \cdot \gamma_{Al}^{\sum \text{ötvöző}} \quad (2.12)$$

A 2.12 összefüggésben a $C_{Al, \%}$ az alumínium %-ban kifejezett mennyisége, $\gamma_{Al}^{\sum \text{ötvöző}}$ pedig az ötvözőelemek alumíniumra gyakorolt hatását kifejező koefficiens.

Ez utóbbi meghatározásához külön fell kell írni az egyes elemek hatását az alábbi összefüggés szerint:

$$\lg \gamma_{Al}^{\sum \text{ötvöző}} = C_{j, \%} \cdot e_{Al}^j \quad (2.13)$$

ahol $C_{j, \%}$ egy adott ötvözőelem mennyisége %-ban, az e_{Al}^j együttható pedig kifejezi, hogy az adott ötvöző milyen mértékben hat az alumíniumra (kölcsonhatási paraméter).

Az e_{Al}^j értékekre a szakirodalom többféle értéket ad meg [3, 8]. Számításaimhoz Kaptay és Jánosfy által meghatározott értékeket használtam. Nagyságukat, illetve a szilícium-mentes, alumíniummal csillapított acélokra jellemző kémiai összetételt a 2.1 táblázatban foglaltam össze.

2.1. táblázat: e_{Al}^j illetve jellemző acélösszetétel

	Ötvözők, j, %												
	Al	C	Cr	Cu	Mo	N	Ni	O	P	S	Si	Ti	V
$e_{Al} \cdot 10^2$	5,9	9,1	-	-	-	-100	-	-660	-	4,0	5,6	-	-
C, %	0,063	0,07	0,057	0,035	0,002	0,0074	0,023	0,0048	0,014	0,007	0,013	0,002	0,002

A táblázat adatai alapján meghatároztam az alumínium aktivitási koefficiensét:

$$\gamma_{Al}^{\sum \text{ötvöző}} = 1,007326 \quad (2.14)$$

Az alumínium aktivitásának kiszámításához az oldott alumínium mennyiségét az acéolvadékból vett érempróbaikon, OES-PDA módszerrel határoztam meg. Ennek megfelelően az alacsony zárványtartalmú acélokban az oldott állapotú alumínium mennyisége átlagosan 0,04817% (a mérési eredményeket a melléklet 2.0. táblázatában foglaltam össze).

$$C_{Al} = 0,04817\% \quad (2.15)$$

A 2.12, 2.14 és 2.15 összefüggésekből kiszámítottam az oldott alumínium tényleges aktivitását az acéolvadékban:

$$a_{Al} = 0,04852 \quad (2.16)$$

2.11 alapján, 2.10 és 2.16 felhasználásával az üstmetallurgiai kezelés hőmérsékletére (1630°C) az aktív oxigénre adódik:

$$a_O = 3,46 \cdot 10^{-4} \quad (2.17)$$

A kapott eredmény tehát azt mutatja, hogy az oldott alumínium tartalom mérési eredménye alapján számolva, az acél dezoxidáció végi aktív oxigén szintje 3,46 ppm. Mivel ezt az adatot olyan adagok mérési eredményeiből kaptam, ahol a késztermék (melegen hengerelt lemez) maximális zárványossági fokozata a DIN 50602:1985 szabvány szerinti M módszer alapján a gömbszerű oxidok esetén 2-es, a soros oxidok esetén 1-es volt (tehát tisztának tekinthető a termék), a továbbiakban irányadónak tekintem.

Ennek ismeretében megállapítható, hogy a tiszta acél gyártásának alapvető feltétele a nagyon alacsony oldott oxigén tartalom (3,46 ppm) biztosítása a dezoxidáció végére, valamint a dezoxidáció termékeinek minél nagyobb fokú eltávolítása az acélfürdőből. A szilícium mentes acélok esetében a dezoxidálószer az alumínium, alumínium oxidok kialakulására kell tehát számítani a dezoxidáció során.

Az alumíniummal dezoxidált acélokban, az oldva maradt alumínium, mivel a legerősebb dezoxidáló elem, az acél kémiai összetételének beállításához felhasznált mangán keletkezett oxidjait is redukálja, ezért az acélban csak alumínium-oxid zárvány található.

A dezoxidációt követően a dezoxidáló elem két részre oszlik [9]:

- az acélban maradó, oldott formában jelen levő mennyiségre,
- az oxigénnel reagáló és oxid formában jelen levő mennyiségre.

A dezoxidáló elem első részét hasznosuló, a második részét leégő mennyiségnek nevezzük.

Ahhoz, hogy a dezoxidációval megfelelő eredményt —3,46 ppm, vagy az alatti oldott oxigén tartalmat, ezen keresztül alacsony zárványtartalmat— érjünk el, lépcsős dezoxidációt kell alkalmaznunk, ami az oxigénszint-szabályozás hatékony eszköze. A lépcsős dezoxidáció első fázisa csapoláskor kezdődik. Csapolás közben az üstbe adagolják az acél kémiai összetételének beállítására szolgáló ferroötvözőket (FeMn) majd a dezoxidáláshoz szükséges alumíniumot. Az acél oxigéntartalma a csapolás körülményeitől függően —csapolási idő, csapoló sugár alakja— változik. Ennek megfelelően az elért dezoxidációs fok is ingadozik. Az acél oxigén szintjét ezért az üstmetallurgiai állomáson a tényleges oxigén szint mérés után alumínium huzal segítségével állítják be a kívánt értékre. A dezoxidáció kezdetén keletkezett nagy mennyiségű Al_2O_3 zárvány flotációjának elősegítésére már a csapolás alatt megkezdődik az argonos átöblítés, amely az üstmetallurgiai állomáson folytatódik.

Az alumíniumos elődezoxidáció során csökken az oxigénszint, az üstmetallurgiára mégis jelentős feladat vár [9]. Az oxigénszint erőteljes csökkenése ellenére —aminek eredményeképp sok Al_2O_3 típusú zárvány képződik az olvadékban— az oxigéntartalom még elfogadhatatlanul magas ($\text{O}_a = 5-7$ ppm, $\Sigma\text{O} = 50-60$ ppm), magas még a kéntartalom ($\geq 0,01$ %), befejezetlen az összetétel beállítás, s a tisztasági fok szabályozása is kívánni valót hagy maga után. Mindezek elősegítésére a teljes csapolási idő alatt az üstfenéken keresztül Ar-os átöblítés történik. Az argon befúvatástól várjuk, hogy a lépcsős dezoxidáció ezen fázisában képződött zárványok felúszása megkezdődhessenek, a fürdő összetételi és hőmérsékleti inhomogenitása csökkenjen.

Ezt követően az aktív oxigén tartalom további csökkentése az üstmetallurgiai állomáson történik. A Dunafer Acélművének üstmetallurgiai állomásán végzett kezelések legfontosabb lépései a következők.

- alumíniumkohászati salak adagolása a salak $\text{FeO}+\text{MnO}$ tartalmának redukálásához,
- karbon huzal adagolása a dezoxidációhoz,
- alumínium huzal bevitele a végdezoxidációhoz az acél mért oldott oxigénszintje függvényében,
- CaAlFe -huzal adagolása a zárványok átalakításához,
- mikroötvözők adagolása (amennyiben szükséges, pl: nióbium),
- hűtőhulladék adagolása az öntési hőmérséklet beállításához,
- az üstmetallurgiai kezelés teljes időtartama alatti argonozás, melynek során öblítőkövön keresztül argon gáz jut az acélolvadékba a zárványok és gázok salakfázisba jutásának elősegítésére.

2.4 A zárványképződési reakciók termodinamikai vizsgálata

A zárványképződési folyamatok termodinamikai vizsgálatának első lépése, hogy megállapítsuk, hogy egy reakció végbemegy-e vagy sem, ezt a

$$\Delta G^0 = -R \cdot T \cdot \ln K \quad (2.18)$$

összefüggés mutatja, ahol ΔG^0 a reakció lejátszódásához tartozó normál szabadentalpia változás, R az egyetemes gázállandó, 8,314 [J/molK], T a hőmérséklet, [K], K pedig az adott reakcióra vonatkozó egyensúlyi állandó.

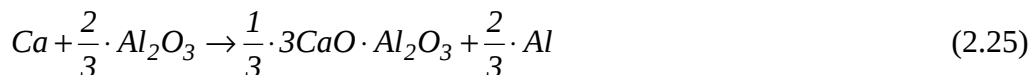
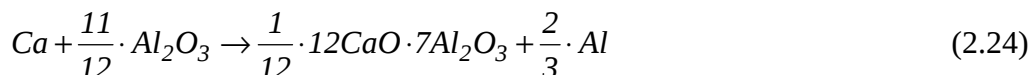
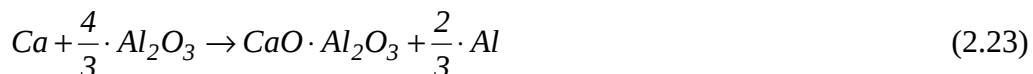
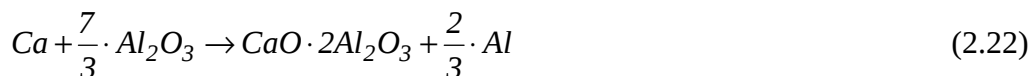
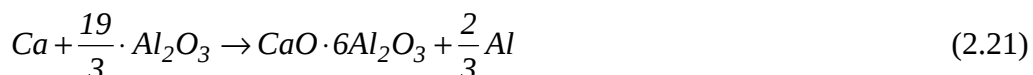
Amennyiben egy reakcióra negatív ΔG^0 érték adódik, a reakció lejátszódásának termodinamikai feltétele adott, és minél negatívabb ez az érték a reakció lejátszódása annál valószínűbb. A reakciók sorrendjét elméletben az egyes reakciókat kísérő szabadentalpia változás határozza meg: a negatívabb ΔG^0 értékű reakció lejátszódására kell legelőször számítani. A szabadentalpia változásokat 1550-, 1600-, 1650- és 1700 °C hőmérsékletre számítottam ki a HSC program segítségével. A program egy adott reakcióra megadja a reakció egyensúlyi állandóját, amelyből, a 2.18 összefüggés szerint számoltam a ΔG^0 értékeket. A számítások eredményei a melléklet 2.2. táblázatában láthatók összefoglalva.

A szilícium szegény alumíniummal csillapított acélok esetében lejátszódó zárványképződési reakciók a következők [10].

Alumínium adagolás hatására lejátszódó folyamat:



Ezt követően a CaAlFe huzal adagolás hatására lejátszódó folyamatok:



A falazat anyagával, a CaAlFe huzal szennyezőivel lejátszódó reakciók:



A számítási eredmények alapján levonható következtetések a következők:

A 2.19-2.30 reakciókra negatív érték adódott, tehát ezeknek a reakcióknak van esélyük a lejátszódásra. A 2.31 reakció esetén a reakciónak nincs esélye lejátszódni, mert ΔG^0 -ra pozitív szám adódott, emellett a 2.2. ábrából kitűnik, hogy a magnéziumnak nagyobb a vegyrokonsága az oxigénhez, mint az alumíniumnak.

A reakciókra felírt ΔG^0 értékekből a termodinamikai sorrendet csak elméletben lehet használni. A reakciók sorrendjére valóságban hatással van az ötvöző- illetve dezoxidáló elemek acélfürdőbe adagolásának sorrendje, ezek mennyisége, a leégő mennyiségek, a pillanatnyi koncentrációk. A reakciók lejátszódásának termodinamikai esélye azonban a ΔG^0 értékekből látható.

A csapolást követően a zárványképzés szempontjából először az alumínium üstbe adagolása történik, először tehát a 2.19 reakció lejátszódására számítunk. A zárványképződési reakciókat úgy kell irányítani, hogy azok a számunkra kedvező sorrendben és mértékig játszódjanak le. Ennek első lépése, hogy dezoxidációval alacsony oldott oxigéntartalmat biztosítsunk, az acél oxigéntartalmát oldott formából zárvány formába vigyük át. Ezután a kialakult alumínium oxid zárványok at kell átalakítani komplex kalcium aluminátokká, mivel ezek már nem okoznak problémát sem az acél folyamatos öntése során, sem a késztermékben. A másik ok, amiatt reakciók lejátszódási sorrendjét irányítani, kell, az, hogy ha a 2.19 reakció nem játszódik le kellő mértékig (számításaim szerint 3,46 ppm aktív oxigén szint alá) akkor a kalciumos kezelés hatására a kalcium oxid képződésére (2.20. reakció) kell számítani. Az így keletkező CaO zárványokat már nem tudjuk átalakítani olyan más kémiai összetételű zárvánnyá, amely ebből a szempontból kedvező tulajdonságokkal rendelkezik, tehát ebben az esetben feleslegesen történik a CaAlFe huzal adagolása.

Miután az acél aktív oxigén szintje a dezoxidáció következtében lecsökkent 3,46 ppm alá, a CaAlFe huzal adagolás hatására megkezdődik a komplex aluminátok képződése. A reakciók sorrendjét a CaO-Al₂O₃ egyensúlyi diagram alá rajtolt ábrán szemléltetem (lásd 2.4 ábra), ami az egyes aluminát típusok képződéséhez tartozó normál szabadentalpia váltószámokat mutatja.

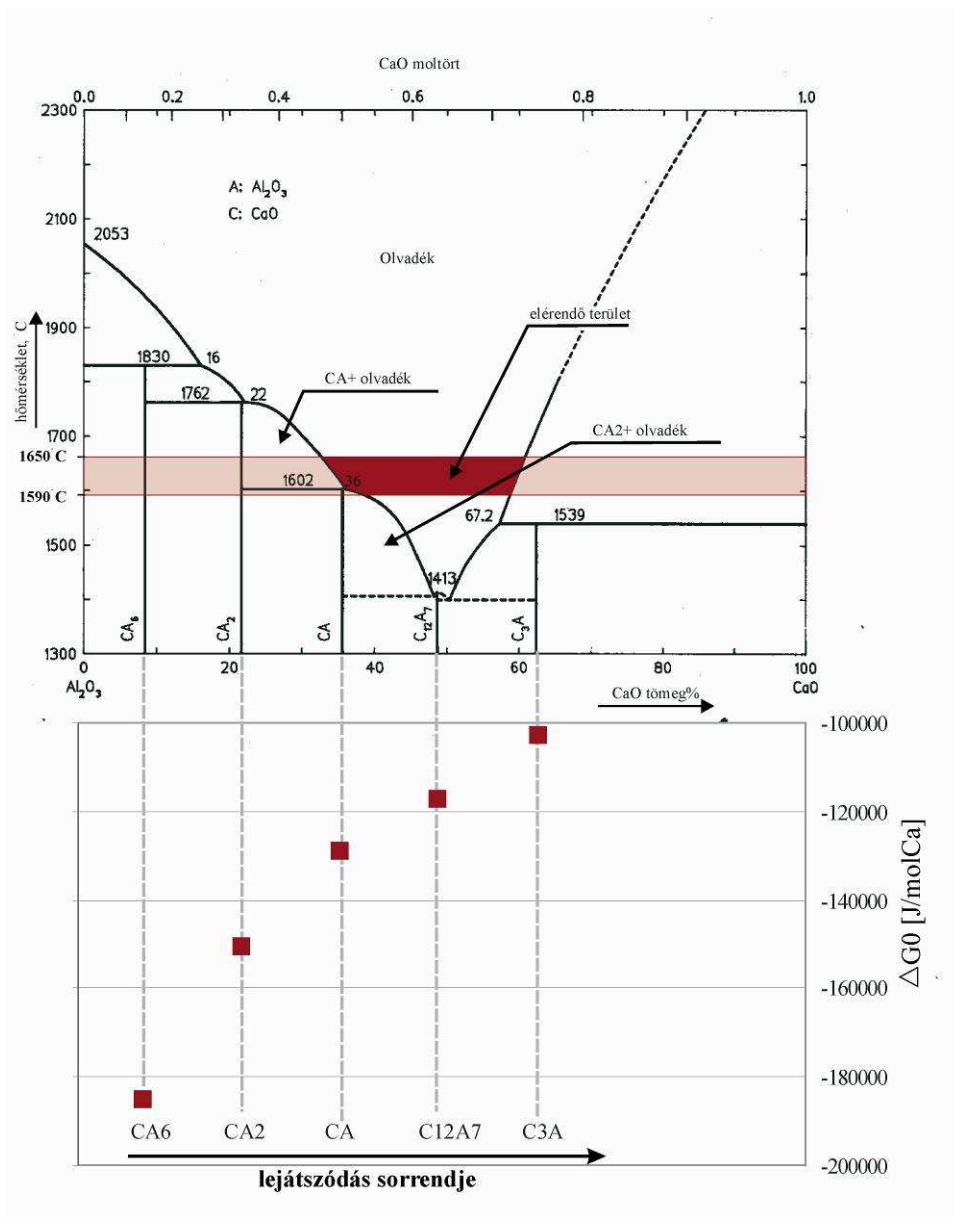
A 2.4 diagramból látható, hogy CaO·6Al₂O₃-hoz tartozó ΔG^0 érték a legnegatívabb, tehát ennek a képződésére számítunk a legelőször. Torvább folytatva a kalcium adagolást előbb a CaO·2Al₂O₃, majd a CaO·Al₂O₃ összetételű aluminátok alakulnak ki.

A diagramban bejelöltem az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklet intervallumát. Az adagolt kalcium mennyiségét úgy kell megválasztani, hogy ezen az intervallumon belül a folyékony állapotú zárvány képződés területébe kerüljön a kialakuló zárvány

összetétele, ezt az intervallumot piros sávval jelöltem az egyensúlyi diagramban. Az így képződő zárvány folyékony halmazállapotú az üstmetallurgiai kezelés hőmérsékletén, és ezt a morfológiát meg is tartja az acél hőmérsékletének csökkenése során is, mivel nem működik sem a folyamatos öntés, sem a melegehengerlés során olyan mechanizmus, ami ezt az alakot jelentősen megváltoztatná.

Az általam megjelölt tartománynak az eléréséhez a szakirodalom által ideálisnak feltételezett $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ zárványösszetétel kialakításához szükséges kalcium mennyiségnél kevesebb is elég.

Az egyensúlyi diagram általam kijelölt elérendő területének nagysága annál nagyobb, minél magasabb az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete. Mivel a hőmérséklet emelésére a konverterből való csapolást követően már nincs lehetőség, ezért ez azt jelenti, hogy a magasabb hőmérsékleten csapolt acélhoz kevesebb kalcium adagolása szükséges.



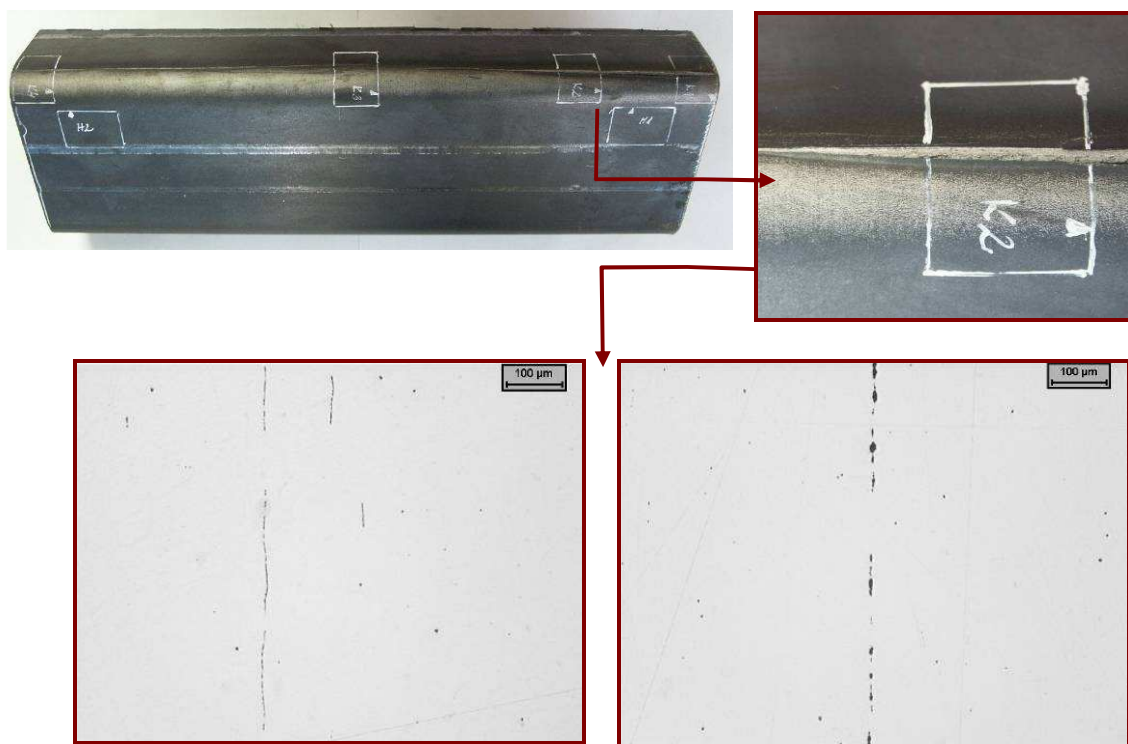
2.4. ábra

A CaO-Al₂O₃ egyensúlyi diagram szerint képződő kalcium aluminátok, illetve a hozzájuk tartozó normál szabadentalpia változás értékek

2.5 Komplex alumínát zárványok

Az alumíniummal csillapított acélokban az oxid zárványok Al_2O_3 -, a szulfid zárványok MnS formában találhatók. Az ilyen zárványokat tartalmazó acélok folyamatos öntésénél az öntő szerelvényekre lerakódott zárványok miatt öntési zavarok, kagyló és merülő tölcsér szűkülések, eltömődések keletkezhetnek.

Az alumínium oxid és MnS zárványokat tartalmazó acél másik következménye a meleghengerlés során tapasztalható. A melegen hengerelt acélokban ugyanis az alumínium oxid zárványok az acél hengerlése során összetöredeznek, illetve sorba rendeződnek, a mangán szulfid zárványok pedig lepénnyé vagy fonallá alakulnak. Ezek a zárványsorok a késztermék mechanikai anizotrópiáját okozzák, valamint a felületre (vagy a felület közelébe) kiérve hajlítás során a lemez felszakadását is előidézhetik (lásd 2.5 ábra). Törekedni kell tehát az ilyen típusú zárványok átalakítására, eltávolítására. A zárványok átalakításához földfémeket vagy ritkaföldfémeket használnak. A legáltalánosabb módosító szer a kalcium fém, amit – nagy gőznyomása miatt – ötvözetként CaAlFe vagy CaSi formában használnak a gyakorlatban. A szilícium szegény acélokban azonban a CaSi nem használható, ezért CaAlFe ötvözetet alkalmaznak.



2.5. ábra

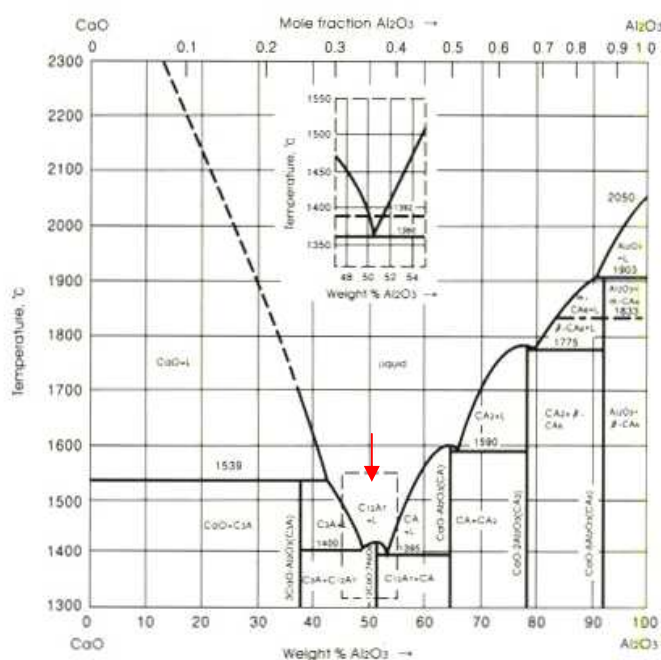
Hajlítás során felszakadt acélfelület, zárványsorok a felület alatt

2.5.1 A kalcium aluminátok kialakulása

A kalcium adagolását a szilárd acélban maradó Al_2O_3 és MnS morfológiájának szabályozására is alkalmazhatják az acélminőség függvényében [1]. A kalciumos kezelés során az oxigén és a kén is törekszik a kalciummal reakcióba lépni, különösen a magasabb kéntartalmú acélminőségek esetében. Az acélba adagolt kalcium hatására a fent már említett 2.20-2.27. kémiai reakciók játszódhatnak le [13].

A 2.20 reakció a dezoxidációs folyamat. A zárvány átalakítás szempontjából haszontalan és a kalcium hasznosulást rontja, ezért az alumíniummal végrehajtott dezoxidációnál alacsony oxigéntartalmat kell beállítani, ami kizárja az 2.20 reakció lejátszódását. Még az alacsony oxigéntartalom biztosítása mellett is számolnunk kell azzal, hogy az adagolt kalcium az oxigénnel fog reakcióba lépni, mivel a 2.20 reakciót kísérő szabadentalpia változás negatívabb, mint a 2.21 reakció esetében (lásd a mellékletben szereplő 2.2. táblázatot). Bármilyen reoxidációs hatás éri az acélt a kezelés során, a CaO képződés termodinamikailag igazolható.

Az alacsony oxigéntartalom (a számításaim szerint 3,46 ppm) biztosítása a (2.26) és a (2.27) reakciók lejátszódásának kedvez. A 2.26 és a 2.21-2.25 reakciók egymással összefüggő viszonyban vannak. A 2.21-2.25 reakciókban ugyanis csak a 2.26 reakcióban keletkezett CaO vesz részt. Az így keletkezett CaO feloldódik az acélban még jelen levő Al_2O_3 zárványokban, és kalcium aluminát zárványokat hoz létre. A kalcium aluminát zárványok CaO tartalma a kalcium adagolásával párhuzamosan növekszik. A reakciók egymás melletti lejátszódását úgy kell irányítani -annyi Ca-ot kell az acélhoz adagolni- hogy a kezelés végén folyékony halmazállapotú komplex kalcium aluminát zárványok képződjenek. A szakirodalom [1] elérendő komplex zárványösszetételként a $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ összetételt jelöli meg, amelyet a 2.6. ábrán piros nyíllal jelöltem meg. Látható, hogy a legkisebb olvadáspontja ($\sim 1400^\circ\text{C}$) ennek a kalcium aluminátnak van.



2.6. ábra

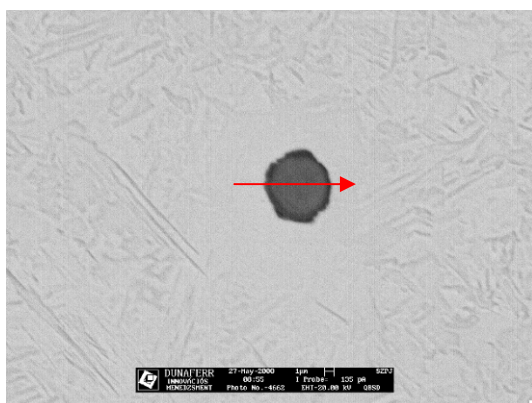
A CaO-Al₂O₃ fázisdiagram [1]

Ehhez a zárványösszetételhez az acélfürdőbe adagolandó kalcium mennyiséget úgy kellene megválasztani, hogy a zárványokban a CaO aránya 45-55% közötti legyen.

A $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ egyensúlyi diagramot vizsgálva azonban látható, hogy az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklet intervallumában azonban ($1590-1650^\circ\text{C}$), a folyékony (és így gömb alakot felvevő) zárvány képződéséhez elegendő, ha a 21-36%-ot eléri a CaO tartalom a komplex aluminátban. A hőmérséklet csökkenésével ez a zárvány morfológiája már nem módosul, mivel a kristályosodás során nem működik olyan mechanizmus, amely nagyban torzítaná a gömb alakot. A megszilárdult acélban ezek a zárványok nagyon kemények, a meleghengerlés során nem töredeznek össze, megtartják gömb formájukat.

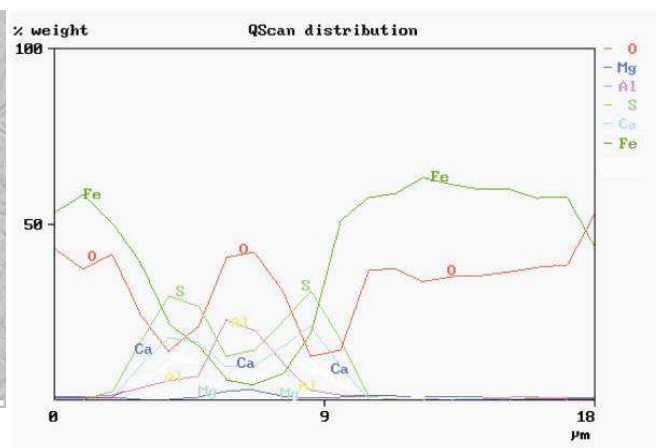
A kalcium adagolás hatására, a 2.27 reakció szerint CaS képződés is megindulhat. Ennek valószínűsége annál nagyobb, minél nagyobb az acél kéntartalma. Nagyobb kéntartalmú acélban a CaS képződés megelőzheti az alumínát képződést, és önálló CaS zárványok keletkeznek. A 2.27 reakció során kialakult szilárd CaS, csakúgy, mint az alumínium oxid- vagy magas alumíniumtartalmú kalcium alumínát zárványok (melyek az 2.21-2.25 reakcióban képződnek) öntökagyló-szűkületet okozhatnak. Alacsonyabb kéntartalmú acélban a zárványátalakítási folyamat alumínát képződéssel indul, amely zárványokban a később képződő CaS feloldódik [11].

Ennek a ténynek az igazolására a gömbszerű komplex alumínát zárvány esetében elektronmikroszkópos vizsgálatot, mikroszondás vonalmenti elemzést végeztem (lásd 2.7 és 2.8. ábrákat).



2.7. ábra

Gömbyszerű komplex alumínát zárvány
(a piros nyíl mutatja az ábrán a
mikroszondás vonalmenti mérés helyét)

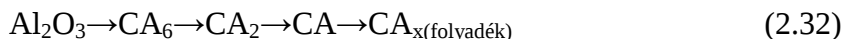


2.8 ábra

Gömbyszerű komplex alumínát zárvány mikroszondás vonalmenti elemzésének eredménye

A vonalmenti elemzés eredményei kimutatták, hogy a zárvány nem homogén összetételű, a szélén CaS található, ami azt jelenti, hogy az alumínát keletkezése megelőzi a CaS képződését. A komplex kalcium alumínát zárvány réteges kémiai összetételére a kialakulási mechanizmusa ad magyarázatot. A szakirodalmi adatok [12], valamint az általam készített mérés eredménye szerint tehát komplex alumínát zárvány nem tekinthető homogén zárványnak.

Általános alakban felírható a komplex aluminát zárványok kialakulása,



ahol A az Al_2O_3 –ot jelenti, a C pedig a CaO-ot.

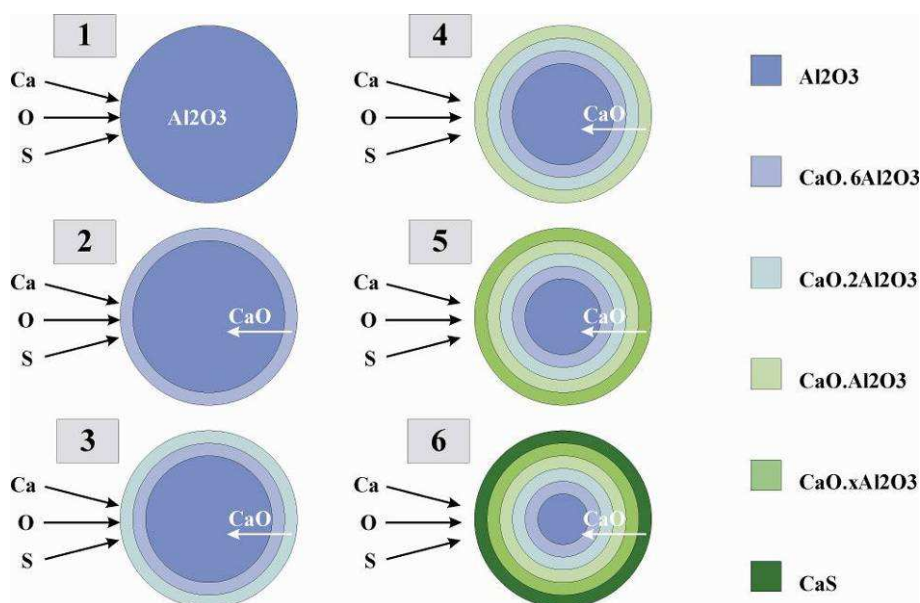
A reakció addig tart, amíg az Al_2O_3 aktivitása le nem csökken és a CaS kiválása nem válik lehetségessé, ekkor a zárvány szélén egy CaS kéreg alakul ki.

A kalcium aluminát zárvány kialakulásának lehetséges modelljét mutatja a 2.9. ábra. A folyamat lejátszódásának sorrendje a következő:

1. Az oldott Ca, O, S diffúzió útján a szilárd Al_2O_3 zárvány felületéhez jut.
2. Az aluminát zárvány felületén gyorsan kialakul egy CA_6 réteg.
3. A CA_6 rétegen kialakul egy CA_2 réteg.
4. A CA_2 rétegen kialakul egy CA réteg.
5. A CA rétegen olvadt állapotú CA_x képződik. Mielőtt a CaS kiválása megkezdődne az aluminát felületére, az oldott Ca és O diffúziója folytatódik az olvadt CA_x rétegben, valamint a CaO diffúziója is megkezdődik a nagyobb CaO tartalmú részek felől a kisebb CaO tartalmúak felé.
6. Szilárd CaS réteg alakul ki a CA_x rétegen, az oxigén kis aktivitásának következtében. Az acélban oldott kalcium és oxigén diffúzióját az alumináthoz a kialakult CaS fázis gátolja. A CaS/acéolvadék határfelületen nagyobb a valószínűsége a CaS kialakulásának (a réteg vastagságának a növekedése), mint a különálló CaS zárvány kialakulásának, így egyre vastagabb CaS réteg képződik a komplex zárvány felületén. A zárvány belsejében a CaO diffúziója tovább folytatódik a kisebb CaO tartalmú részek felé.

Végeredményben a CaS burok megjelenése után a zárvány belsejének homogenizációja történik.

Megváltoztatja a zárványátalakítási folyamatok sorrendjét és befolyásolja az átalakítás hatásfokát, ha a kezelés során reoxidációs hatás éri az acélt. A kezelés során, ha az acélt borító salak magas $\text{FeO}+\text{MnO}$ tartalma oxigént juttat az acélba, de oxigén forrás lehet a helytelenül alkalmazott argonos átöblítés is. Az acélba jutó oxigén az acélban oldott kalciummal lép reakcióba és CaO keletkezik.



2.9. ábra

A komplex kalcium aluminát zárvány kialakulásának menete [17]

2.5.2 A szükséges kalcium mennyiség

Az acél kalciumos kezelésétől az önthetőség javulását várjuk. Azokat az acélokat, melyekben található különálló Al_2O_3 zárvány, közepesen önthetőnek mondjuk [13].

A kalciummal végrehajtott acélkezelés eredményességét az acélban maradó zárványok alakja, kémiai összetétele, és mennyisége — pl. zárványfokozat — alapján lehet megítélni. A szakirodalom [1] szerint a kezelést akkor nevezhetjük eredményesnek, ha

- az acélban kevés az önálló alumíniumoxid zárvány,
- az aluminát zárványokban a Ca/O arány 0,8-1,1 között van,
- nem található MnS zárvány az acélban, a kén teljes mennyisége CaS formában van jelen (a komplex aluminát zárvány kérgét képző),
- zárványossági fokozat a hengerelt termékben nem haladja meg a 3-as fokozatot a DIN 50602:1985 szabvány által előírt zárványvizsgálatot végezve.

Csak olyan zárványösszetételnél számíthatunk az önthetőség javulására, ahol a CaO tartalom magas. Ilyen esetben a komplex zárvány olvadáspontja csökken, ez által folyékony zárvány lesz jelen az acélfürdőben.

Janke és szerzőtársai szerint [12] a kalciummal kezelt LCAK (alacsony karbontartalmú, alumíniummal csillapított) acélok esetében az öntőkagyló szűkülése a következőkkel hozható összefüggésbe:

- a) nem elegendő kalcium adagolása,
- b) túlzott kalciumadagolás, amely különálló, szilárd CaS képződéséhez vezet (ami szintén hajlamos a tapadásra a folyamatos öntés során).

Bannenberg és társai [13] szerint a kalcium adagolást követően a legnagyobb az acél kalciumtartalma, majd az acél megszilárdulásáig a folyamatos öntőművön a zárványok kiválása miatt folyamatosan csökken. Az acélfürdőbe bevitt kalcium egy része

- az acélban oldva marad,
- zárványként van jelen az acélban,
- a salakban van jelen,
- a salakkal reagál,
- a légterbe elgőzölög.

A kalcium adagolását a szilícium szegény acélok esetében CaAlFe huzallal oldják meg. Ez egy porbeles huzal, melyet kívülről lágyacél köpeny véd. Az adagolás során a köpenyre különböző erők hatnak, például a huzaladagoló gép görgői által kifejtett erő, a huzal töltetére ható felhajtó erők, valamint a huzal és az acéolvadék közötti súrlódási erő. A huzal hőmérséklete az adagoláskor a környezet hőmérsékletével azonos, a kb. 1600°C hőmérsékletű acéolvadékba érve tehát nagy a hőmérséklet különbség a huzal és az acéolvadék között. A huzal köpenyéből hirtelen történik a hőelvonás, ennek következtében a köpenyre egy réteg acél ráfagy. A huzaladagolás hatására a huzal egyre mélyebbre kerül a fürdőben, így ez az acélréteg folyamatosan felmelegszik, felolvad a lágyacél köpennyel együtt, így a porbeles töltet belekerül az acéolvadékba. A porbeles huzal feloldódási viszonyait a huzal köpenyére ráfagyott acélréteg vastagsága, valamint az az idő jellemzi, ami alatt a huzal köpenye teljesen feloldódik az acéolvadékban és a töltet szabaddá válik. A huzal köpenyére ráfagyott acélréteg maximális vastagsága kb. 0,8 mm, a huzal köpenyének vastagsága pedig 0,4 mm. CaAlFe töltetű huzal esetében a köpeny feloldódása előtt a huzalon belül ötvözetképződés játszódik le, így a kalcium acélban való oldódási ideje megnő. Ez azt jelenti, hogy a kalcium metallurgiai hatását jobban ki tudjuk használni. 1600°C-on például a CaAlFe huzal acélban való oldódásának az ideje 2 mp körüli. A 50°C hőmérséklet csökkenés esetén az oldódási idő 4 mp körüli.

A szakirodalom [1] a kalciumos kezelés elérendő célként a $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ zárványösszetételt jelöli meg. Dolgozatomban azonban nem az ilyen összetételű komplex zárványt tekintem a kezelés elérendő céljaként, hanem az Al_2O_3 -CaO egyensúlyi diagram egy olyan intervallumát, ahol folyékony halmazállapotú zárványok képződésére lehet számítani a kezelés hőmérsékletén (lásd 2.4. ábra, pirossal jelölt sáv).

A CaO- Al_2O_3 egyensúlyi diagramba (2.4 ábra) berajzolt üstmetallurgiai kezelés hőmérséklet intervallum (1590-1650°C) kijelöli azt a két pontot, amelyek meghatározzák az adott hőmérséklethez tartozó elérendő zárványösszetételt. A 2.4 ábrából látszik, hogy 1602°C felett $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$, míg alatta $\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ komplex alumínát zárványösszetételt tudunk elérni.

Ezekből az elérendő összetételekből számítható a zárványmodifikáció kalcium szükséglete az alábbiak szerint.

Az acélban a kalciumos kezelés előtt az üzemi tapasztalatok szerint 0,003% oxigén található, a számítási eredményem szerint ebből az aktív oxigén 3,46 ppm.

Az acélban van tehát $C_{O,aktív} = 0,002654\%$ aktív oxigén, amit átalakul Al_2O_3 zárvánnyá, ennek a mennyisége $C_{Al_2O_3}$:

$$C_{Al_2O_3} = C_{O,aktív} \cdot \frac{M_{Al_2O_3}}{3 \cdot M_O} \quad (2.33)$$

, ahol $M_{Al_2O_3}$ az alumínium oxid moláris tömege [g/mol], M_O pedig az oxigén moláris tömege [g/mol].

A következőkben külön foglalkozom az $1602^\circ C$ felett és az alatt képződő zárványokkal.

1. $CaO \cdot Al_2O_3$ képződésének kalcium szükséglete
(az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete $1602^\circ C$ alatti)

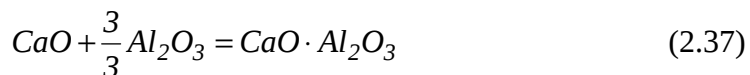
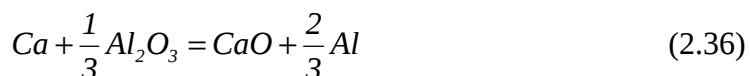
Az ilyen összetételű komplex aluminát zárványban

- a CaO mennyisége: $C_{CaO, \%} = \frac{M_{CaO}}{M_{CaO \cdot Al_2O_3}}$ (2.34)

- az Al_2O_3 mennyisége: $C_{Al_2O_3, \%} = \frac{M_{Al_2O_3}}{M_{CaO \cdot Al_2O_3}}$ (2.35)

, ahol M_{CaO} a kalcium oxid moláris tömege 56 [g/mol], $M_{Al_2O_3}$ az alumínium oxid moláris tömege 102 [g/mol], $M_{CaO \cdot Al_2O_3}$ a $CaO \cdot Al_2O_3$ moláris tömege 158 [g/mol].

Az acélban lévő összes Al_2O_3 mennyiségét 4 részre kell osztani, ebből 1 rész a 2.36 reakció szerint redukálódik, 3 rész pedig a $CaO \cdot Al_2O_3$ komplex zárvány kialakításában vesz részt a 2.37 reakció szerint.



Ezek szerint az Al_2O_3 megoszlása:

- 2.36 reakció szerinti redukcióra fordítódik:

$$C_{Al_2O_3, redukció, \%} = \frac{C_{Al_2O_3}}{4} \quad (2.38)$$

- 2.37 reakció szerinti aluminát képzésre fordítódik:

$$C_{Al_2O_3, aluminát, \%} = \frac{3 \cdot C_{Al_2O_3}}{4} \quad (2.39)$$

A 2.36 reakcióban képződő CaO alakítja ki a $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ komplex zárványt, mennyisége

$$C_{\text{CaO}, \text{alu min át}, \%} = C_{\text{Al}_2\text{O}_3, \text{redukció}, \%} \cdot \frac{3 \cdot M_{\text{CaO}}}{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}} \quad (2.40)$$

Ebből az adagolandó kalcium mennyisége

$$C_{\text{Ca}, \text{alu min át}, \%} = C_{\text{CaO}, \text{alu min át}, \%} \cdot \frac{M_{\text{Ca}}}{M_{\text{CaO}}} \quad (2.41)$$

ahol M_{Ca} a kalcium moláris tömege 40 [g/mol].

A $C_{\text{S}, \%} = 0,012\%$ kéntartalmú acél esetén az átalakításhoz szükséges kalcium mennyiség:

$$C_{\text{Ca}, \text{szulfid}, \%} = C_{\text{S}, \%} \cdot \frac{M_{\text{Ca}}}{M_{\text{S}}} \quad (2.42)$$

ahol M_{S} a kén moláris tömege 32 [g/mol].

A 2.41 és 2.42 összefüggésekből kapjuk az összes kalcium mennyiséget:

$$C_{\Sigma \text{Ca}, \%} = C_{\text{Ca}, \text{alu min át}, \%} + C_{\text{Ca}, \text{szulfid}, \%} \quad (2.43)$$

A fürdőbe adagolandó kalcium mennyiségének kiszámítása során még két paramétert kell figyelembe venni:

- a kalciumot nem tiszta fém formájában, hanem vegyület formájában adagoljuk a fürdőbe, a CaAlFe huzalban a kalcium mennyisége 40 %, tehát $C_{\text{Ca}, \text{CaAlFe}, \%} = 0,4$.
- a kalcium hasznosulás a szakirodalmi adatok és üzemi tapasztalatok szerint 12 %-os, tehát $\eta = 0,12$.

A fentiek szerint a CaAlFe huzal mennyiségére adódik:

$$C_{\text{CaAlFe}, \%} = \frac{C_{\Sigma \text{Ca}, \%}}{C_{\text{Ca}, \text{huzal}, \%} \cdot \eta} \quad (2.44)$$

Az eredményt a 2.44 összefüggés szerint %-ban kapjuk meg. 1 tonna acélra vonatkozóan a kalcium huzal mennyisége:

$$m_{\text{CaAlFe}} = C_{\text{CaAlFe}, \%} \cdot 10 \quad (2.45)$$

Ezt a számítási módot használva, abban az esetben, ha az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete 1602°C alatti, az adagolandó CaAlFe huzal mennyiségére az alábbi számítás adódik.

CaO·Al ₂ O ₃ összetétel esetén		
CaO mennyisége	35,44	%
Al ₂ O ₃ mennyisége	64,56	%

ΣO összoxigén a kalciumos kezelés előtt	0,003000	%
$O_{aktív}$ dezoxidáció után aktív oxigén	0,000346	%
$C_{O,aktív}$ aluminát képzésben részt vevő oxigén	0,002654	%
$C_{Al_2O_3}$ képződő Al ₂ O ₃ zárvány	0,005640	%
$C_{Al_2O_3,aluminát,%}$ Al ₂ O ₃ az aluminát képzésre	0,004230	%
$C_{Al_2O_3, redukcióhoz,%}$ Al ₂ O ₃ a redukcióra	0,001410	%
$C_{CaO,aluminát,%}$ keletkező CaO	0,002322	%
$C_{Ca,aluminát,%}$ Ca az aluminát kialakításához	0,001659	%
$C_{Ca,szulfid,%}$ Ca a kéntartalom átalakításához	0,01375	%
$C_{\Sigma Ca,%}$ összes Ca	0,015409	%
$C_{CaAlFe,%}$ beadagolandó CaAlFe huzal	0,321016	%

Moláris tömegek:		
M_{Al}	27	g/mol
M_O	16	g/mol
$M_{Al_2O_3}$	102	g/mol
M_{Ca}	40	g/mol
M_{CaO}	56	g/mol
M_S	32	g/mol
$M_{CaO \cdot Al_2O_3}$	158	g/mol

acél kéntartalma	0,011	%
------------------	-------	---

Ca a huzalban	0,4	%
huzal hatásfok	0,12	

CaAlFe huzal mennyisége	3,21	kg/tonna acél
-------------------------	-------------	---------------

Az eredmény helyességéről az alábbi számítással bizonyosodhatunk meg:

a keletkező zárvány összetétele

$C_{CaO,aluminát,%}$	0,002322	35,44	%
$C_{Al_2O_3,aluminát,%}$	0,004230	64,56	%
Σ	0,006552	100	%

A fenti számítási eredmény helyes, hiszen az ellenőrzésre a CaO·Al₂O₃ zárványban érvényes sztöchiometriai összetételt kaptam meg.

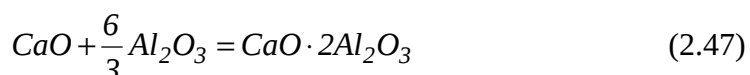
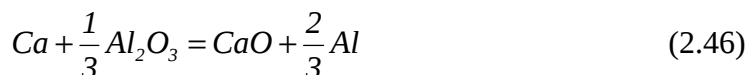
Ezek szerint ha az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete 1602 °C alatti, akkor a beadagolandó Ca huzal mennyisége 3,21 kg/tonna acél, melynek hatására folyékony halmazállapotú, gömb alakú CaO·Al₂O₃ komplex zárványok alakulnak ki.

2. CaO·2Al₂O₃ képződésének kalcium szükséglete

(az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete 1602°C fölötti)

Ebben az esetben CaO·2Al₂O₃ összetételű zárvány kialakulására van esély a 2.4 ábrán látható CaO-Al₂O₃ egyensúlyi diagram alapján. A számítás módja és eredménye így természetesen módosul.

Az acélban lévő összes Al₂O₃ mennyiségét 7 részre kell osztani, ebből 1 rész a 2.46 reakció szerint redukálódik, 6 rész pedig a CaO·2Al₂O₃ komplex zárvány kialakításában vesz részt a 2.47 reakció szerint.



Ezek szerint az Al₂O₃ megoszlása:

- 2.46 reakció szerinti redukcióra fordítódik:

$$C_{Al_2O_3, redukció, \%} = \frac{C_{Al_2O_3}}{7} \quad (2.48)$$

- 2.47 reakció szerinti aluminát képzésre fordítódik:

$$C_{Al_2O_3, aluminát, \%} = \frac{6 \cdot C_{Al_2O_3}}{7} \quad (2.49)$$

A számítás további menete azonos a CaO·Al₂O₃ zárványösszetétel esetében közölttel (lásd a 2.40-2.45 összefüggéseket).

Abban az esetben, ha az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete 1650 °C, az adagolandó CaAlFe huzal mennyiségére az alábbi számítás adódik.

CaO·2Al ₂ O ₃ összetétel esetén		
CaO mennyisége	21,54	%
Al ₂ O ₃ mennyisége	78,46	%

ΣO összoxigén a kalciumos kezelés előtt	0,003000	%
$O_{aktív}$ deoxidáció után aktív oxigén	0,000346	%
$C_{O,aktív}$ aluminát képzésben részt vevő oxigén	0,002654	%
$C_{Al_2O_3}$ képződő Al ₂ O ₃ zárvány	0,005640	%

Moláris tömegek:		
M_{Al}	27	g/mol
M_O	16	g/mol
$M_{Al_2O_3}$	102	g/mol
M_{Ca}	40	g/mol
M_{CaO}	56	g/mol
M_S	32	g/mol
$M_{CaO \cdot Al_2O_3}$	158	g/mol

$C_{Al_2O_3, aluminát, \%}$ Al ₂ O ₃ az aluminát képzésre	0,004834	%
$C_{Al_2O_3, redukcióhoz, \%}$ Al ₂ O ₃ a redukcióra	0,000806	%
$C_{CaO, aluminát, \%}$ keletkező CaO	0,001327	%
$C_{Ca, aluminát, \%}$ Ca az aluminát kialakításához	0,000948	%
$C_{Ca, szulfid, \%}$ Ca a kéntartalom átalakításához	0,01375	%
$C_{\Sigma Ca, \%}$ összes Ca	0,014698	%
$C_{CaAlFe, \%}$ beadagolandó CaAlFe huzal	0,306205	%

acél kéntartalma	0,011	%
------------------	-------	---

Ca a huzalban	0,4	%
huzal hatásfok	0,12	

CaAlFe huzal mennyisége	3,06	kg/tonna acél
-------------------------	-------------	---------------

Az eredmény helyességéről az alábbi számítással bizonyosodhatunk meg:

a keletkező zárvány összetétele

$C_{CaO, aluminát, \%}$	0,001327	21,54	%
$C_{Al_2O_3, aluminát, \%}$	0,004834	78,46	%
Σ	0,001327	100,0	%

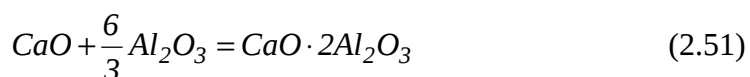
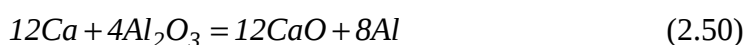
A fenti számítási eredmény helyes, hiszen az ellenőrzésre a CaO·Al₂O₃ zárványban érvényes sztöchiometriai összetételt kaptam meg.

Ezek szerint ha az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete 1602 °C fölötti, akkor a beadagolandó Ca huzal mennyisége 3,06 kg/tonna acél, melynek hatására folyékony halmazállapotú, gömb alakú CaO·2Al₂O₃ komplex zárványok alakulnak ki.

Az üstmetallurgiai kezelés hőmérsékletének emelésével tehát csökken a fürdőbe adagolandó CaAlFe huzal mennyisége.

A szakirodalom [1] szerint elérendő 12CaO·7Al₂O₃ zárványösszetételhez ennél a kalcium mennyiségnél több kell. A számítási a következők szerint alakul.

Az acélban lévő összes Al₂O₃ mennyiségét 11 részre kell osztani, ebből 4 rész a 2.50 reakció szerint redukálódik, 7 rész pedig a 12CaO·7Al₂O₃ komplex zárvány kialakításában vesz részt a 2.51 reakció szerint.



Ezek szerint az Al_2O_3 megoszlása:

- 2.50 reakció szerinti redukcióra fordítódik:

$$C_{\text{Al}_2\text{O}_3, \text{redukció}, \%} = \frac{4 \cdot C_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{11} \quad (2.52)$$

- 2.51 reakció szerinti aluminát képzésre fordítódik:

$$C_{\text{Al}_2\text{O}_3, \text{aluminát}, \%} = \frac{7 \cdot C_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{11} \quad (2.53)$$

A számítás további menete azonos a $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ zárványösszetétel esetében közölttel (lásd a 2.40-2.45 összefüggéseket).

A szakirodalom [1] szerint elérendő $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ zárványösszetételhez az adagolandó CaAlFe huzal mennyiségére az alábbi számítás adódik.

CaO·2Al ₂ O ₃ összetétel esetén		
CaO mennyisége	48,48	%
Al ₂ O ₃ mennyisége	51,52	%

ΣO összoxigén a kalciumos kezelés előtt	0,003000	%
$O_{\text{aktív}}$ deoxidáció után aktív oxigén	0,000346	%
$C_{\text{O,aktív}}$ aluminát képzésben részt vevő oxigén	0,002654	%
$C_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ képződő Al ₂ O ₃ zárvány	0,005640	%
$C_{\text{Al}_2\text{O}_3, \text{aluminát}, \%}$ Al ₂ O ₃ az aluminát képzésre	0,003589	%
$C_{\text{Al}_2\text{O}_3, \text{redukcióhoz}, \%}$ Al ₂ O ₃ a redukcióra	0,002051	%
$C_{\text{CaO, aluminát}, \%}$ keletkező CaO	0,003378	%
$C_{\text{Ca, aluminát}, \%}$ Ca az aluminát kialakításához	0,002413	%
$C_{\text{Ca, szulfid}, \%}$ Ca a kéntartalom átalakításához	0,01375	%
$C_{\Sigma \text{Ca}, \%}$ összes Ca	0,016163	%
$C_{\text{CaAlFe}, \%}$ beadagolandó CaAlFe huzal	0,336723	%
CaAlFe huzal mennyisége	3,37	kg/tonna acél

Moláris tömegek:		
M_{Al}	27	g/mol
M_{O}	16	g/mol
$M_{\text{Al}_2\text{O}_3}$	102	g/mol
M_{Ca}	40	g/mol
M_{CaO}	56	g/mol
M_{S}	32	g/mol
$M_{\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}$	158	g/mol

acél kéntartalma	0,011	%
------------------	-------	---

Ca a huzalban	0,4	%
huzal hatásfok	0,12	

Az általam használt számítási mód szerint a $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ zárványösszetételhez a CaAlFe huzal mennyisége 3,37 kg/tonna acél.

A különböző zárványtípusokra végzett CaAlFe huzal szükséglet számítások eredményei azt mutatják, hogy az eddigi gyakorlat szerint elérendő zárványösszetételhez tartozó huzal szükségletnél 0,16-0,31 kg/t_{acél} huzal mennyiséggel kevesebb is elegendő, hogy ha figyelembe vesszük, hogy az üstmetallurgiai kezelés hőmérsékletén más összetételű zárvány is folyékony halmazállapotú. Ezen a hőmérsékleten kialakult zárvány morfológia a hőmérséklet hatására nagy mértékben nem módosul, a zárvány nem képlékeny, a melegbengerlés során alakja nem változik, illetve nem töredezik össze nagy keménysége miatt.

A különböző zárványösszetételekhez tartozó huzal szükségletek 1 tonna acélra vonatkoztatva nem tűnnek nagy eltérésnek, viszont egy adag (130 t) esetén az eltérés 20-40 kg is lehet, ami nyilván több adag gyártása esetén még markánsabban kitűnik.

2.6 Oxidzárványok az acélolvadékban

2.6.1 A zárványok alakja

Az alumínium oxid zárványok alakja függ a kristálytani alaktól, a növekedés feltételeitől és a szennyezők jelenlététől. Általánosan feltételezhető, hogy az acélban jelen lévő alumínium oxid az korund, de néhány zárvány alakja igazolja más típusú alumínium oxidok jelenlétét is.

Az alumíniummal csillapított acélokban a zárványok sokféle alakzatot mutatnak. Lehetnek gömbszerű alumínium oxidok, soklapúak, lemez szerűek, dendritek, vagy fürtök. A zárványok alakja nem csupán csak a saját fázisuktól függ, hanem az acélfürdőben lévő komponensek aktivitásától és például a tútelítettség mértékétől is. A korall szerű alumínium oxidok, illetve a fürtök az oxigéndús acél és a dezoxidált acélfürdő közötti határfelületen képződnek. A magas oxigéntartalmú acélfürdőben a dendritek és a soklapú zárványok képződésére lehet számítani, fürdő oxigéntartalmának csökkenésével a gömbszerű alumínium oxidok kialakulása a leginkább valószínű.

A szakirodalomban többféle csoportosítás található, Dekkers [3] például 6 nagy csoportba sorolja az alumínium oxidokat.

1. Gömbszerű zárványok:
 - 0,5 μm átlagos átmérőjű zárványok,
 - 2,6 μm átlagos átmérőjű zárványok, gyakran Mn is detektálható.
2. Síklapú zárványok:
 - nyolclapú zárványok, átlagos méret: 2,4 μm ,
 - soklapú (nem nyolclapú) zárványok, méretük kisebb, mint 5 μm , átlagosan 2,7 μm ,
 - soklapú (nem nyolclapú) zárványok, méretük nagyobb, mint 5 μm .
3. Lemez alakú zárványok:

Hatszög-, háromszög- esetleg négyszög alakúak. Átlagos hosszuk 2,9 μm , vastagságuk kevesebb, mint 0,1 μm .
4. Tiszta Al_2O_3 dendritek:

Fő ágak orientációja háromszög alakú, átlagos méretük 5-20 μm .
5. Fürtök:

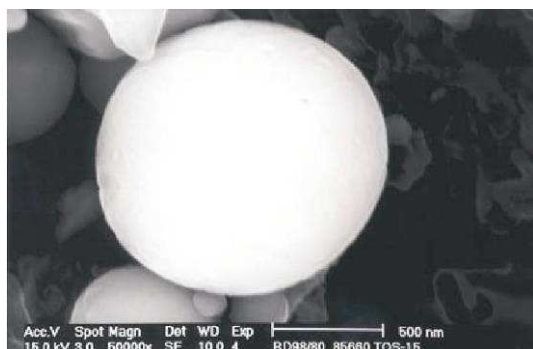
Alumínium oxidok nyílt hálózata. A különálló részek gyakran felismerhetetlenek, a sík lapokkal határolt zárványok gyakran nem alakulhattak ki teljesen. A legnagyobb átmérő 100 μm lehet.
6. Zárványcsoportosulások, agglomerátumok:

Síklapú zárványok összenövése, legnagyobb méret néhány 10 μm .

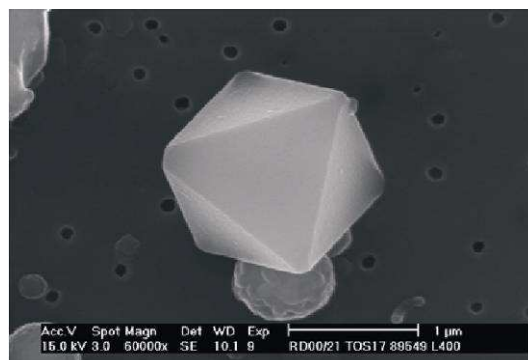
Ezeket a zárvány típusokat mutatja a 2.10. ábra. Az elektronmikroszkópos felvételek az acélmátrix kioldását követően készültek.

Japán kutatók [4] szintén 6 alumínium oxid zárványalak csoportot hoztak létre, ezek azonban nem egyeznek minden pontban a Dekkers [3]féle csoportosítással. Az ő szemléletük szerint a zárványok alakja lehet:

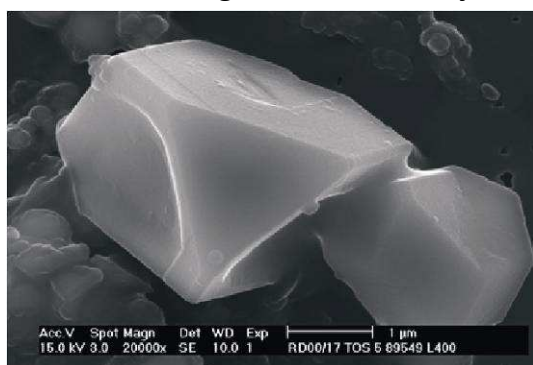
- | | |
|----------------------|------------------|
| 1. dendrites, | 4. korall szerű, |
| 2. juharlevél szerű, | 5. háló szerű, |
| 3. soklapú, | 6. gömbszerű. |



Kis méretű gömb szerű zárvány



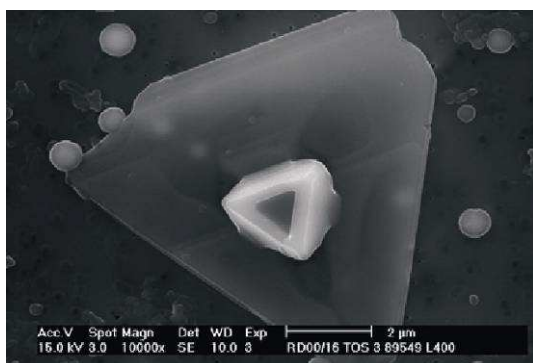
Nyolclapú zárvány



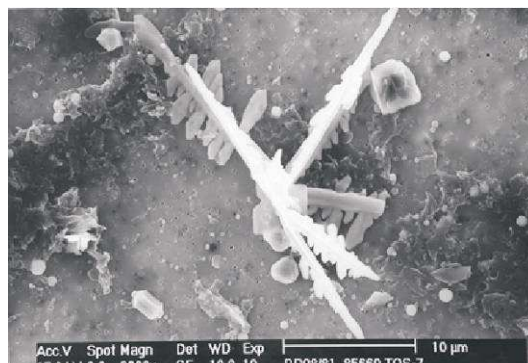
Kis méretű soklapú zárvány



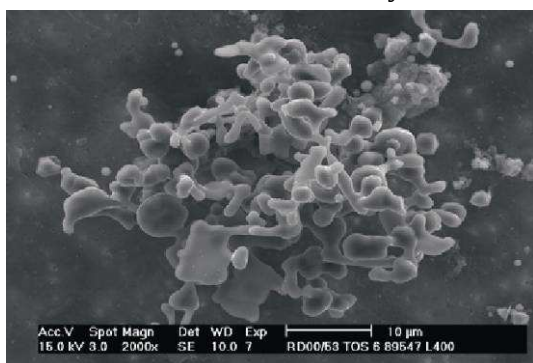
Nagy méretű soklapú zárvány



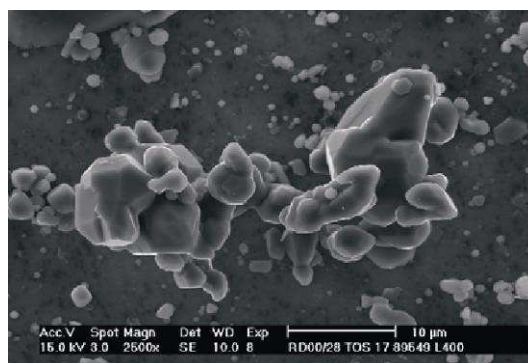
Lemezszerű zárvány



Dendrit



Zárványfürt



Agglomerátum

2.10. ábra

A folyékony acélban előforduló zárványtípusok

A dendrites és juharlevél szerű zárványok többsége a dezoxidáció első lépcsőjét követően alakul ki, ezt követően növekednek, valamint agglomerátumokat hoznak létre. Nagy méretük miatt könnyen a salakfázisba flotálódnak. Ezek a zárványok jellemzően alumínium oxidok, de néha kis mennyiségű vasat is tartalmazhatnak. A zárványok eredetére jól lehet következtetni az olvadék próbadarabok hűtésének sebességével foglalkozó kutatási eredményekből. A dendrites, juharlevél szerű illetve a polygonális zárványokat elsődleges zárványoknak tekinthetjük, mivel ezek mérete nem változik a hűtés sebesség változtatásával.

A gömbszerű zárványok valószínűleg másodlagos zárványok, mivel méretük a hűtési sebesség függvényében változik, tehát nem az olvadékban alakulnak ki. Mérettartományuk néhány száz nm-től néhány tíz μm -ig terjed, de akadnak olyan gömbszerű zárványok is, amelyek átmérője 100 nm-nél is kisebb.

Azok a gömbszerű zárványok, amelyek a hűtés kezdeti szakaszában alakulnak ki, az acél megszilárdulásáig esélyük van a növekedésre vagy az egyesülésre. Azok, amelyek a kristályosodás vége felé keletkeznek, már nem tudnak növekedni. A korall-szerű zárványok a hálószerű zárványok töredékének tekinthetők. A zárvány törzs vastagsága egyes helyeken 100-200 nm, máshol 200-400 nm. A korall-szerű zárványok törzsének vastagsága szintén függ a hűtés sebességétől, így azokat szintén másodlagos zárványoknak lehet tekinteni, igaz, a törzs vastagságának változása nem függ olyan mértékben a hűtési sebességtől, mint a gömbszerű zárványok esetében.

2.6.2 Zárványok növekedése

A kristálynövekedés dinamikus folyamat, melynek során a kapcsolódó egységek száma nagyobb, mint a leválasztott egységek száma [21]. A kapcsolódó egységek lehetnek atomok, molekulák vagy komplexek. A növekedés hajtóereje a Gibbs-féle szabadenergia-különbség és nagyban függ a kapcsolódó egységek áramlásától a kristály felületén. A kristályok növekedése a lapokon keresztül történik, mert ez maximálja a kötés kialakulását egy növekedő egységen belül és ez által maximálja a felületi energiát.

A kristályszerkezet mellett a zárvány alakja a kristály felületi érdességétől is függ. Atomi szinten a felület érdesnek vagy simának tekinthető. A csiszolt lapok sima felületet jelentenek, ahol két növekedési mechanizmusuk ismert: a kétdimenziós csíráképződés és növekedés valamint a spirális növekedés. A Volmer-Kossel-Stranski (VKS) modell szerint a kétdimenziós csíra kialakulás eredményez sima felületet. Először egy stabil csíra alakul ki, a következő lépésekben a határaihoz kapcsolódnak a növekedésben részt vevő egységek (számukra a határfelület a kedvezőbb hely a kapcsolódásra) és így az új réteg gyorsan terjed a felület felett. A következő réteg kapcsolódásának feltétele egy új két dimenziós csíra jelenléte.

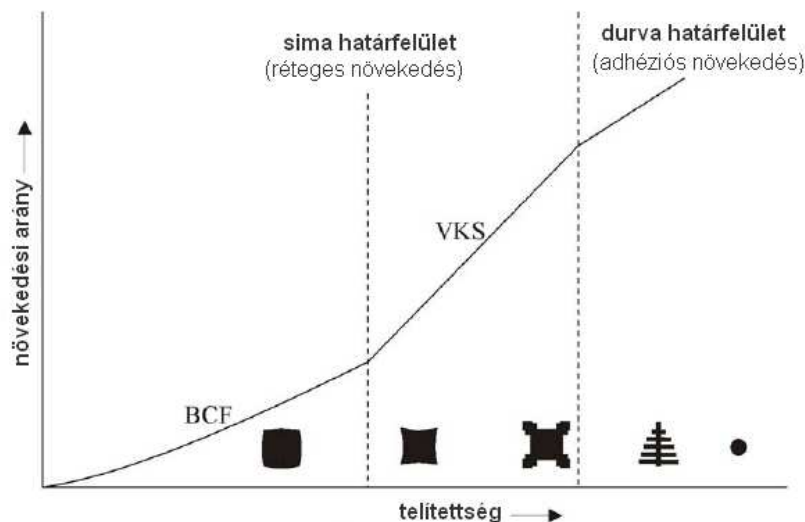
A VKS modell szerint a kapcsolódó egység és a már létező kristályrács lépcsőinek csomópontjában, ha a kapcsolódási energia maximális, akkor kapcsolódás létre jön. Eközben a lépcső bármely pontján a kapcsolódási energia nagyobb, mint ha a kapcsolódó egység sík felülethez kapcsolódna. Tehát a kapcsolódás mindig a lépcsők mentén fog bekövetkezni. A következő réteg kapcsolódásának feltétele egy új két dimenziós csíra jelenléte. Így a növekedési arány a csíráképződési arány függvénye, ami a túltelítettség szintjétől függ. Az alumínium oxid kialakulását illetően a túltelítettség (S) a következőképpen definiálható [21].

$$S = \frac{-R \cdot T \cdot \ln(a_O^3 \cdot a_{Al}^2) + \Delta G_{Al_2O_3}^o}{\Delta G_{Al_2O_3}^o} \quad (2.54)$$

ahol a_O és a_{Al} az oxigén és az alumínium aktivitását jelentik az acélfürdőben, $\Delta G_{Al_2O_3}^o$ pedig az alumínium oxid képződéséhez tartozó szabadentalpia növekedés.

A Burton-Cabrera-Frank (BCF) elmélet szerint a kristálynövekedés alacsony túltelítettség esetén is megvalósulhat [14]. A felszínre jutó csavardiszlokációk kialakítanak egy összefüggő lépcsőt a kristály felületén. Ebben az esetben a csíráképződés nem szükséges és a növekedési arány a csavardiszlokáció dimenzióival van összefüggésben, amíg a növekvő egység kapcsolatban van a kristály felületével. Ha a kapcsolódó -növekedésre képes- egységek száma a felületen meghaladja azt a számot, ami a BCF vagy VKS mechanizmus szerint szükséges lenne, a zárvány alakja megváltozik. Nagy túltelítettség esetén a VKS szerinti növekedés érvényteleníti a BCF szerinti növekedést. A kétdimenziós csírák a felület azon részein szeretnek kiválni, ahol a túltelítettségi gradiens a legnagyobb, tehát a sarkokon. Ez úgynevezett váz-szerű kristályok (hopper-crystal) keletkezéséhez vezet. Ezeknek a kristályoknak az élei teljesen kifejlődtek, de a közöttük lévő tér nincs kitöltve. Végeredményben egy üreges kristály lesz a növekedés eredménye.

Ha a túltelítettség mértéke ennél is nagyobb, akkor a növekedés instabillá válik és a kristály összegyűjti az olvadékban lévő növekedő egységeket, ami dendritek vagy gömbszerű zárványok kialakulását is eredményezheti (lásd 2.11 ábra) [3].



2.11. ábra

A kristályok növekedési mechanizmusának változása a túltelítettség növekedésének növekedésével [3]

A különbség tehát a gömbszerű zárványok és a dendritek között a növekedés során kialakuló felületek stabilitásában van. Az érdes felületeken nem találkozunk sík „teraszokkal” vagy „lépcsőkkel”. Ezek magassága egyébként a számos növekedő réteg következtében változó. A nagy kiterjedésű, adhéziónak köszönhetően kialakuló érdességet kinetikus érdességnek nevezzük. A termodinamikai érdességet a hőmérséklet

egyenetlensége illetve a felületen bekövetkező atomi kölcsönhatások idézik elő. A növekedés későbbi szakaszában az egyenetlen hőmérséklet következtében megtörténik az átalakulás a stabil és a nem stabil növekedés között. A hőmérséklet egyenetlensége abból adódik, hogy a felület entrópiája növekszik az atomok helyének átlagos elfoglaltsága miatt. Annak becslésére, hogy egy felület sima (stabil) vagy érdes (instabil) az α növekedési indexet vesszük figyelembe, melynek kiszámításához az alábbi képlet alkalmazható [3].

$$\alpha = \xi \cdot \frac{L}{R \cdot T_m} \quad (2.55)$$

ahol L az olvadási entalpia, T_m az olvadáspont, R az egyetemes gázállandó, ξ pedig az orientációs faktor.

A növekedés akkor válik stabilból instabillá, ha az α értéke 2 és 3 között van. Az acélgyártás hőmérséklete magas, ezért termodinamikai felület durvulás nem következik be az acélban lévő nem-fémes zárványok esetében, mert az olvadási entalpia értéke nagyon magas. A zárványok alakja megváltozhat: a soklapúból a váz-szerűn keresztül dendrites illetve gömbszerűvé alakulhat (lásd 2.11. ábrát). A különböző növekedési mechanizmusok a zárvány különböző pontjain egyidejűleg működhetnek.

A fent említett paramétereken túl a zárványok alakjára a felületre adszorbeált szennyezők is hatást gyakorolnak [4]. A szennyezők különböző fajtájú atomok, amelyek a tiszta kristályt alkotó atomoktól eltérnek. A szennyező típusán túl a kristályban elfoglalt helye is meghatározó. A „lépcsőkön” való elhelyezkedés megakadályozza a növekedő réteg terjeszkedését. Ez a hatás akkor jelentkezik, ha az adszorbeált atomok közötti távolság kisebb, mint a két dimenzós kritikus csírámeret kétszerese.

2.6.3 Az Al_2O_3 zárványok egymáshoz való tapadása

A nagy méretű zárványok kialakulása a fent említett növekedési folyamaton túl rétegek képződésével, illetve különálló zárványok összetapadásán keresztül is megvalósulhat. A különálló zárványok az acél turbulens áramlása, illetve a reoxidáció során összetapadhatnak. Azt, hogy két zárvány találkozásakor létrejön-e közöttük kapcsolat vagy sem, a közöttük ébredő erők (előjele, nagysága) határozza meg. Az acélfürdőben a gömbszerű zárványok között ébredő erők meghatározásához fel kell írni a rendszer összes határfelületi energiáját, egy tetszőlegesen választott szilárd fázis elmozdulásának függvényeként, melynek sebessége végtelen kicsi [15].

$$G_\sigma = \sum_{A,B} A_{A/B} \cdot \sigma_{A/B} \quad (2.56)$$

ahol A és B különböző fázisokat jelentenek, $\sigma_{A/B}$ [J/m^2] az A és B fázisok közötti felületi feszültség. Az A és B fázisok lehetnek például az acélfürdő, illetve a szilárd zárvány.

A határfelületi erő, ami a fázisok között hat, egy tetszőlegesen választott irányban (x) megadható a G_σ -nak x szerinti deriváltjaként.

$$F_{\sigma,x} = -\frac{dG_{\sigma}(x)}{dx} \quad (2.57)$$

A képletben szereplő negatív előjel a termodinamikában megszokott spontán végbemenő folyamatot jelöli. Ha az egyenlet megoldásaként pozitív előjelű eredmény adódik, az azt jelenti, hogy a folyamat lejátszódásának iránya a kezdetben tetszőlegesen feltételezettnek az ellentéte.

Deriválás után a határfelületi erők általános egyenlete írható fel:

$$F_{\sigma,x} = -\sum_{A/B} \sigma_{A/B} \cdot \frac{dA_{A/B}}{dx} - \sum_{A/B} A_{A/B} \cdot \frac{d\sigma_{A/B}}{dx} \quad (2.58)$$

A képletben $A_{A/B}$ az A és B fázisok közötti határfelület nagyságát [m], $\sigma_{A/B}$ [J/m²] pedig a köztük lévő felületi feszültséget jelenti.

Ebből az egyenletből következik, hogy határfelületi erő ébred bármilyen határfelületi energia megváltozásának, vagy bármelyik határfelület nagyságának a megváltozásából.

A zárványok összetapadása során három féle határfelületi erő hatásával kell számolnunk. Abban az esetben, ha a szemcséket folyékony acél veszi körül, a *határfelületi meniszkusz erő* és az *adhéziós erő* iránya a két szemcsét egymás irányába mozditja, tehát ezek az erők az összetapadásukat segítik elő, míg a *folyadék híd indukálta határfelületi erő* iránya az előző kettővel ellentétes. Saját mérési eredmények illetve a szakirodalmi adatai szerint az acélolvadékokban a különálló zárványok jellemző mérete a 1-10 µm-es tartományban helyezkedik el. Számításaimhoz ezért ezt a méret tartományt vettem alapul. A zárványok összetapadása során ébredő határfelületi erők nagyságának megadásához a 2.2. táblázatban lévő adatokat vettem figyelembe [4, 15].

2.2. táblázat: a határfelületi erők számításánál felhasznált adatok

Adat	Jelölés	Érték [mértékegység]
Folyékony acél sűrűsége	ρ_{ac}	7000 [kg/m ³]
Al ₂ O ₃ zárvány és a folyékony acél közötti perem-szög	Θ	120°
Felületi feszültség az Al ₂ O ₃ zárvány és a folyékony acél között	$\sigma_{zv/ac}$	1,75 [J/m ²]
Folyékony FeO sűrűsége	ρ_{FeO}	2700 [kg/m ³]
Al ₂ O ₃ zárvány és a folyékony FeO közötti perem-szög	Θ	0°
Felületi feszültség az Al ₂ O ₃ zárvány és a folyékony FeO között	$\sigma_{zv/FeO}$	0.57 [J/m ²]

A határfelületi erők nagyságának összehasonlítására számításokat végeztem, az eredményeket a melléklet 2.1. táblázata mutatja. Az eredmények könnyebb áttekinthetősége érdekében diagramban ábrázoltam a szemcsék között ébredő határfelületi erők nagyságának változását a szemcseméret, valamint a szemcsék közti távolság függvényében (lásd a melléklet 2.1-2.5. ábráit).

Határfelületi meniszkusz erő.

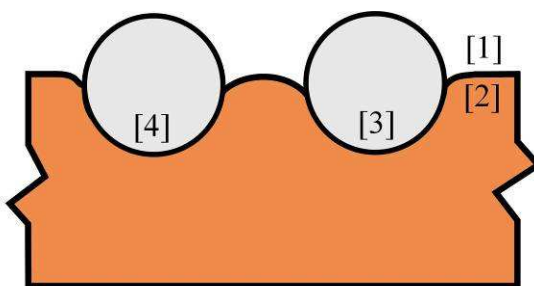
A határfelületi meniszkusz erő két gömbszerű szilárd szemcse között ébred, folyadék/gáz határfelületen (lásd 2.12. ábra) [15]. A mellékletben szereplő 2.1-2.2. ábrák a határfelületi adhéziós erő nagyságának változását mutatják a zárványméret függvényében.

Az acéolvadékokban ilyen eset akkor fordul elő, ha a két gömbszerű zárvány a salakmentes acéolvadék és a levegő határfelületére kerül. Ha salakmentes acéolvadék felszín feltételezünk, akkor kezdetben a szemcsék között acéolvadék található, de az acél reoxidációja miatt feltételezhetően FeO jelenlétére is kell számítanunk.

A határfelületi meniszkusz erő függ a zárvány és a levegő illetve az acéolvadék és a levegő sűrűség különbségének hányadosától, valamint a közöttük lévő peremszög nagyságától. A ρ^* és a $\rho^*_{sík}$ dimenzió nélküli számok közötti viszony mutatja meg, hogy milyen alakú az acéolvadék/gáz határfelületen a meniszkusz (sík vagy görbült). A határfelületi meniszkusz erő a következő általános egyenlettel írható fel:

$$F_{\sigma,x} = \sigma_{lev/ac} \cdot \left(\frac{dA_{ac/zv3}}{dx} \cdot \cos \varphi_{zv3/ac/lev} + \frac{dA_{ac/zv4}}{dx} \cdot \cos \varphi_{zv4/ac/lev} - \frac{dA_{l/ac}}{dx} \right) \quad (2.59)$$

, ahol $\sigma_{lev/ac}$ a levegő és az acél közötti felületi feszültség [J/m^2], $A_{ac/zv}$ az acéllal érintkező zárvány felülete [m^2], $\varphi_{zv/ac/lev}$ pedig az acél és a zárvány közötti peremszög.



- [1] levegő
[2] acéolvadék
[3] [4] zárvány

2.12. ábra

Két zárványszemcse között ébredő meniszkusz erő

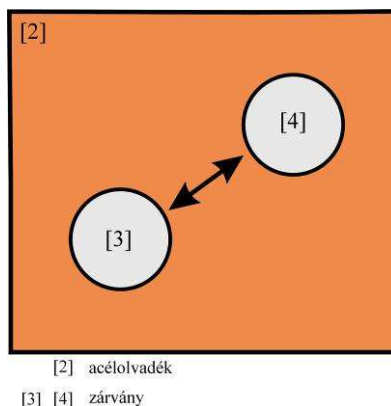
Abban az esetben, ha a salakmentes acéolvadék felületén két gömbszerű Al_2O_3 zárvány jelenlétét feltételezzük, a közöttük ébredő határfelületi meniszkusz erő:

$$F_{\sigma,x} = - \frac{81}{32 \cdot \pi} \cdot \frac{(m_{zv3} \cdot g) \cdot (m_{zv4} \cdot g)}{x \cdot \sigma_{lev/ac}} \cdot (\rho^*_{zv3} - \rho^*_{zv3,sík}) \cdot (\rho^*_{zv4} - \rho^*_{zv4,sík}) \quad (2.60)$$

, ahol m a zárvány tömege, [kg]; g a nehézségi gyorsulás, $9,81 [m/s^2]$; $\sigma_{lev/ac}$ a levegő és az acél közötti felületi feszültség [J/m^2]; ρ^* és a $\rho^*_{sík}$ pedig a meniszkusz alakjára utaló dimenzió nélküli számok.

Határfelületi adhéziós erő

A homogénnek feltételezett acéolvadékokban lévő két gömbszerű Al_2O_3 zárvány vonzó vagy taszító hatást fejt ki egymásra, ha távolságuk mikron nagyságrendű (lásd 2.7. ábra) [8]. A mellékletben szereplő 2.3-2.4. ábrák a határfelületi adhéziós erő nagyságának változását mutatják látható a zárványméret függvényében.



2.13. ábra

Két zárvány között ébredő határfelületi adhéziós erő

Az általános egyenlet a határfelületi adhéziós erőre vonatkozóan két tagból áll, amely abban az esetben, ha két azonos méretű zárvány jelenlétét feltételezzük az acélfürdőben, megegyezik egymással.

$$F = -A_{zv} \cdot \left(\frac{d\sigma_{zv1/ac}}{dx} + \frac{d\sigma_{zv2/ac}}{dx} \right) = -2 \cdot A \cdot \frac{d\sigma_{zv/ac}}{dx} \quad (2.61)$$

, ahol A_{zv} a zárvány felülete, $[\text{m}^2]$. $\sigma_{zv/ac}$ a zárvány és az acél közötti felületi feszültség $[\text{J}/\text{m}^2]$.

Az acélfürdőben lévő két zárvány felületi feszültségének nagysága az alábbi egyenlet szerint függ a közöttük lévő távolsággal.

$$\sigma_{zv1/ac}(x) = \sigma_{zv1/ac} + (\sigma_{zv1/zv2} - \sigma_{zv1/ac}) \cdot \left(\frac{d}{d+x} \right)^2 \quad (2.62)$$

$$\sigma_{zv2/ac}(x) = \sigma_{zv2/ac} + (\sigma_{zv1/zv2} - \sigma_{zv2/ac}) \cdot \left(\frac{d}{d+x} \right)^2 \quad (2.63)$$

, ahol x a két zárvány közötti távolság, $[\text{m}]$; d pedig azok átmérője, $[\text{m}]$.

A közöttük ébredő erő nagysága az alábbi képlettel adható meg:

$$F = 2 \cdot A \cdot \Delta\sigma \cdot \frac{d^2}{(d+x)^3} \quad (2.64)$$

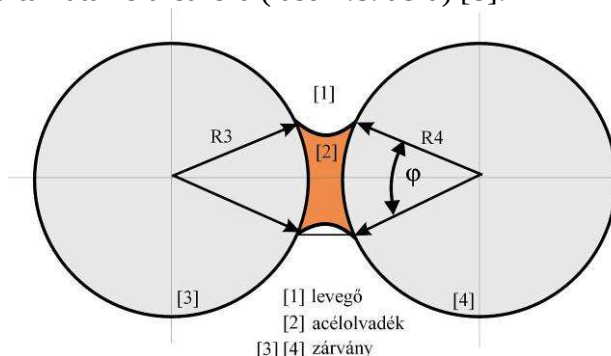
ahol x a két zárvány közötti távolság, $[\text{m}]$; σ a zárvány felületi feszültsége, $[\text{J}/\text{m}^2]$; d a zárvány átmérője, $[\text{m}]$; A pedig a felülete, $[\text{m}^2]$.

Az acélfürdőben lévő két Al_2O_3 zárvány esetében a $\Delta\sigma$ felületi feszültség a következőképpen számítható.

$$\Delta\sigma = -2\sigma_{zv/ac} \quad (2.65)$$

A folyadék-híd indukálta határfelületi erő

Ha az acéolvadékban lévő két gömbszerűnek feltételezett Al_2O_3 zárvány között a méretükhöz képest kevesebb mennyiségű folyadék található, akkor kialakul közöttük a folyadék-híd indukálta határfelületi erő (lásd 2.8. ábra) [8].



2.14. ábra

Két gömbszerű alumínium oxid zárvány között lévő folyadék híd

A folyadék-híd indukálta határfelületi erő függ a zárvány és az acéolvadék közötti peremszög nagyságától, az általános egyenlete:

$$F_{\sigma,x} = \sigma_{lev/ac} \cdot \left(\frac{dA_{ac/zv3}}{dx} \cdot \cos \varphi_{zv3/ac/lev} + \frac{dA_{ac/zv4}}{dx} \cdot \cos \varphi_{zv4/ac/lev} - \frac{dA_{lev/ac}}{dx} \right) \quad (2.66)$$

, ahol $\sigma_{lev/ac}$ a levegő és az acél közötti felületi feszültség [J/m^2], $A_{ac/zv}$ az acéllal érintkező zárvány felülete [m^2], $\varphi_{zv/ac/lev}$ pedig az acél és a zárvány közötti peremszög.

Ha két azonos méretű, gömbszerű Al_2O_3 zárvány szemcse között a folyadék térfogata közel nulla, és a szemcsék közötti távolság szintén közel zérus, akkor a folyadék-híd indukálta határfelületi erő megadható az alábbi képlettel.

$$F_{\sigma,x,max} = -2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma_{lev/ac} \cdot \cos \varphi_{zv/ac/lev} \quad (2.67)$$

, ahol r a zárvány sugara, [m]; $\sigma_{lev/ac}$ a levegő és az acél közötti felületi feszültség [J/m^2]; $\varphi_{zv/ac/lev}$ pedig az acél és a zárvány közötti peremszög.

Ha a szemcsék közötti folyadék térfogata illetve a közöttük lévő távolság nagyobb, mint a fenti esetben, akkor a folyadék-híd indukálta határfelületi erő gyengébb lesz.

A mellékletben szereplő 2.5. ábra mutatja a folyadék-híd indukálta határfelületi erő nagyságának változását a szemcseméret növekedésének függvényében. Az ábrán látható, hogy a reoxidáció során képződő FeO jelenlétének hatására az erő iránya megváltozik, ennek okáról a dolgozat reoxidációval foglalkozó fejezetében esik szó.

Az erők nagyságának könnyebb összehasonlíthatósága érdekében diagramokban ábrázoltam őket (lásd a mellékletben a 2.1.-2.5. ábrákat). A számítási eredményeket összefoglaló, mellékletben szereplő 2.1. számú táblázatból és mellékletben lévő 2.1.-2.5. az ábrákból megállapítható, hogy a meniszkusz erő hatása a zárványokra 18-16 nagyságrenddel kisebb, mint az adhéziós vagy folyadék híd indukálta erőké. A folyadék híd indukálta határfelületi erő a zárványok összetapadása ellen hat, amennyiben azok között kis mennyiségű folyékony acél található. A reoxidáció következtében (a felületi feszültség illetve a peremszög megváltozik a zárvány és az őt körülvevő folyadék között) a folyadék híd indukálta határfelületi erő iránya megváltozik, és a zárványok összetapadását fogja elősegíteni.

2.7 Szulfid zárványok

A kéntelenítési folyamatok befejeződése után az acélban maradt kén az acél lehűlése során szulfid zárványok formájában szennyezi az acélt. A keletkezett szulfid zárványok FeS formában válnának ki az acélban, melyek alacsony olvadáspontjuk miatt a kristályhatáron helyezkednének el, vöröstörékenységet okoznának. Ezt a vegyületképződést megakadályozandó, az acélhoz mindig annyi Mn-t adagolnak, hogy a szulfidok MnS formában legyenek jelen. (A mangán szulfidképző hajlama nagyobb, mint a vasé.)

A szulfidok csoportosításával több kutató is foglalkozott, melynek eredményeként a szakirodalomban eltérő csoportosítások találhatók a szulfidzárványok alakját illetően. Dekkers [3] három csoportot hozott létre a szulfidok alakjának jellemzésére:

- gömbszerűek csoportja (1. típus)
- burkolt zárványok csoportja (2. típus)
- éllel határolt zárványok csoportja (3. típus)

A különböző alakú MnS zárványok előfordulására elsősorban 0,025 tömeg% kén tartalom felett kell számítani.

Alacsony alumínium tartalom, vagyis kevés csillapított acél esetén a MnS zárványok alakja jellemzően a fentiekől eltérő: filmszerűen helyezkednek el a szemcsehatáron. Ez a filmszerű alak alapvetően csökkenti az önthetőséget. A dezoxidáció során képződő oxid zárványok csíráként hatnak a MnS képződésénél.

A szakirodalomban [16,17] nem a fenti, Dekkers féle a leginkább elterjedt csoportosítás a szulfidok alakját illetően, a kutatók még mindig a korábbi gyakorlatban elterjedt csoportosítást használják, ami Sims 1938-ban készült munkájához fűződik. A mangán szulfid zárványokat, amelyek az alacsony karbontartalmú acélokban találhatók, két típusba lehet sorolni. Az egyik a csoportot alkotó (Sims szerinti osztályozásnak megfelelő II típus), a másik a csoportot nem alkotó zárványok (Sims szerinti I, III és X. típusok) csoportja. Mindkét zárványtípus kialakulási mechanizmusát vizsgálták már korábban. Kísérleteket végeztek például a kén tartalom és a hűtési sebesség kapcsolatát illetően, valamint azok hatását a szulfidok alakjára, illetve a kristályos szerkezet és a szulfidok eloszlása közötti kapcsolat megismerésére. Vizsgálták továbbá a szulfidok kialakulási folyamatát különböző edzési hőmérséklet esetében. Míg a csoportokban

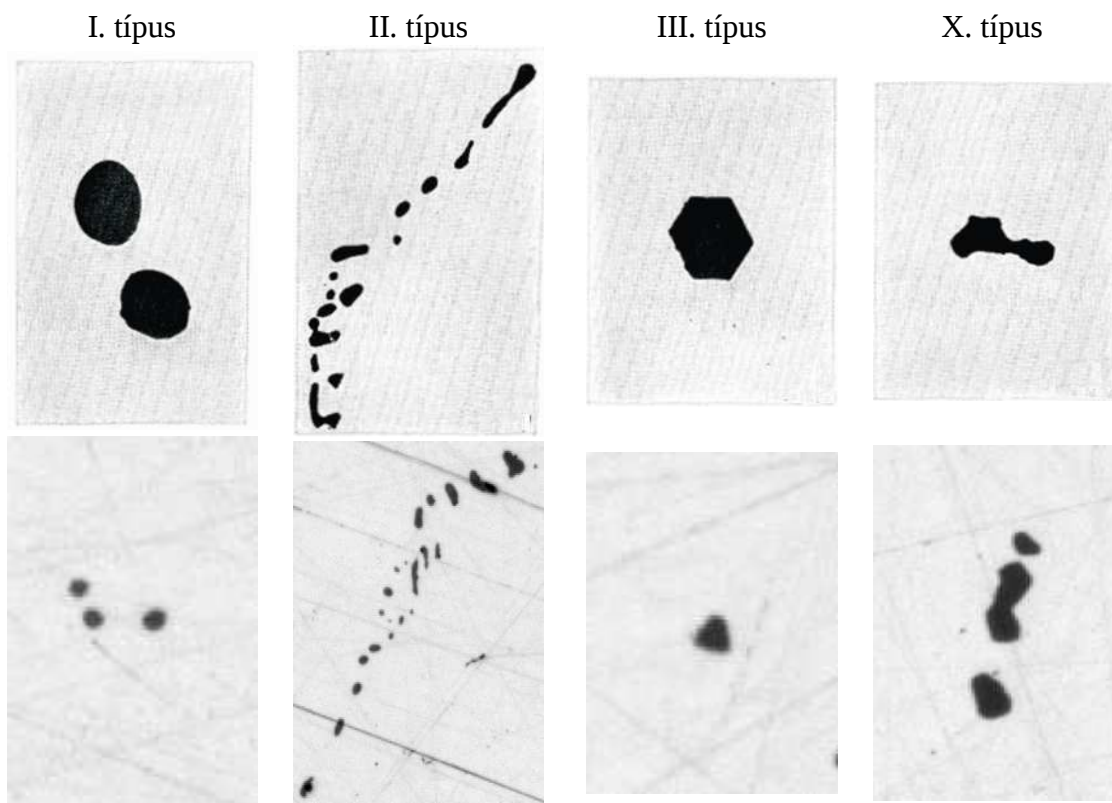
előforduló szulfidok mennyisége a kéntartalom- és a hűtési sebesség növekedésével növekedett, addig a nem csoportokban előforduló zárványokra a kéntartalom az előzővel egyező hatást gyakorolt. A hűtési sebességre ez fordítva igaz: a hűtési sebesség növekedésével a szulfidok mennyisége csökkent.

A csoportokban előforduló szulfidok főleg a dendritek közötti térben alakultak ki az olvadékkal kapcsolatot tartva a szilárdulás utolsó szakaszában, míg a nem csoportokban előforduló szulfidok a dendrit ágak között alakultak ki és a szilárdulást követően növekedtek. Az eredmények valójában azzal magyarázhatók, hogy a csoportokban előforduló zárványok az eutektikus reakció termékei, a nem csoportokban levő zárványok pedig a szilárd acélból válnak ki.

A mangán szulfid zárványok hatása a mechanikai tulajdonságokra szorosan összefügg az alakjukkal és az eloszlásukkal.

A szulfidokat az alakjuk szerint az alábbi csoportokba sorolhatjuk (lásd 2.15 ábra) [17]:

- I. típus: gömbszerűek,
- II. típus: láncszerűek,
- III. típus: szögletesek (élekkel határoltak),
- X. típus: szabálytalan alakúak.



2.15. ábra

A négy féle szulfidtípusról készített fémmikroszkópos felvételek
(szakirodalomból [17] vett felvételek, illetve az általam készített fémmikroszkópos
felvételek)

2.8 A zárványok összetapadása a folyamatos öntőművön

A folyamatos öntőművön az önthetőséget azonban nem csupán az acélgyártás illetve az üstmetallurgiai kezelés során kialakult zárványok akadályozhatják. Fontos, hogy – miután az üstmetallurgiai állomáson minden szükséges lépés megtörtént a tiszta acél gyártásának érdekében – ne romoljon az acél tisztasága az öntés során. Az acél reoxidációja a folyamatos öntőművön ugyanolyan következményekkel járhat, mintha az üstmetallurgiai állomáson nem történne megfelelő zárványtalanítás. A folyamatos öntőművön történő reoxidáció elősegíti a tapadványok kialakulását, melyek jelenlétének következményei a következők lehetnek [18].

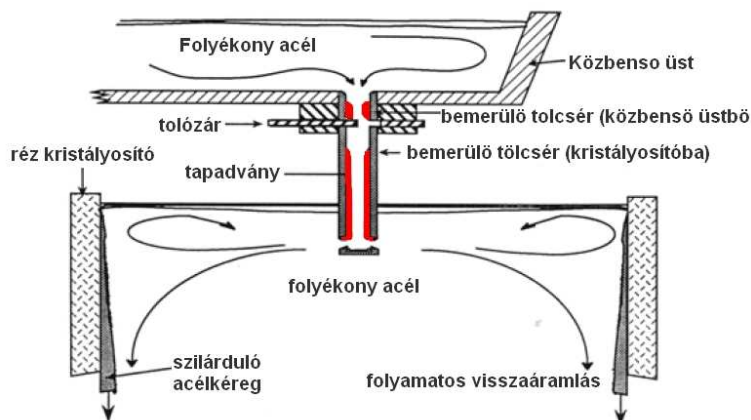
- A termelékenység csökkenése: a reoxidáció következtében a nem-fémes zárványok az öntőkagylóra rakódnak, csökkentik annak keresztmetszetét, ez által a rajta átáramló acél mennyisége időegység alatt kevesebb, mint ha az öntőkagyló lerakódás mentes lenne.
- A költségek növekedése. Az öntőgép típusától függően az eltömődött bemerülő tölcserék cseréjére különféle lehetőségek vannak. A közbenső üsthöz csatlakoztatható merülő tölcser önállóan cserélhető, a közbenső üst kagylójával egybeépített merülő tölcser azonban csak az üsttel együtt lehet kicserélni. Rackers és társai [18] például kutatásaikban fényt derítettek arra, hogy egy 290 tonnás adagokat feldolgozó öntőgép esetében, ha az öntőkagylóban tapadványok alakulnak ki, az időegység alatt leöntött adagok száma 12-ről 6-ra csökkent. Nyilvánvaló tehát hogy az eldugult merülő tölcser cseréjével jelentős költségmegtakarítás érhető el.
- Romló minőség. A feltapadt nem-fémes részek az acéolvadékba kerülve szintén minőségi problémákat okozhatnak, csakúgy, mint az acélgyártás korábbi szakaszában az acélba kerülő –benne maradó– zárványok.

2.8.1 A tapadványok típusai

A tapadványoknak négy alaptípusát különböztetjük meg, ezek mindegyike más-más eredetű, a gyakorlatban előfordul ezeknek a kombinációja [19].

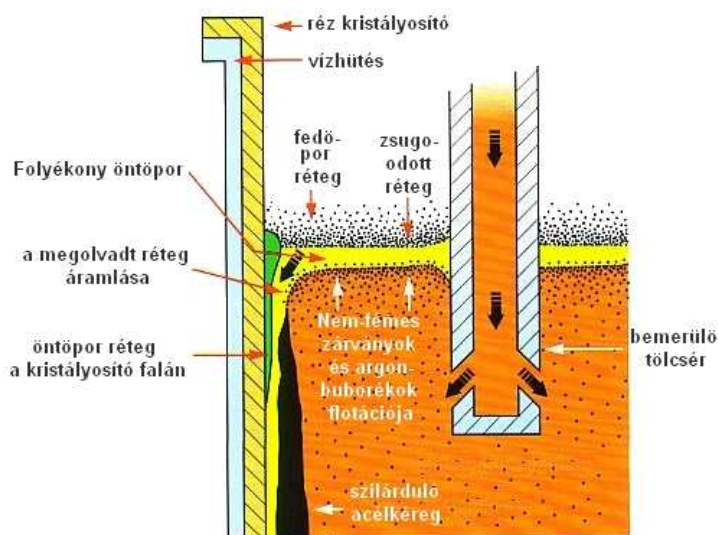
- A dezoxidáció termékeiből származó tapadvány. Az alumíniummal csillapított acélok esetében alumínium oxidok jelentétere kell számítani. Tipikusan 1-20 μm méretű zárványok fordulnak elő az ilyen tapadványokban, amelyek rendszerint hálózatosokat alkotnak.
- Szilárd acél feltapadás. A már kialakult tapadványokba, hálózatosokba beszivárog a folyékony acél, és ha az acél túlhevítése nem elég nagy, akkor az acél megszilárdul a tapadványban. Ez az eset fordulhat még elő, ha a kagyló előhevítése nem megfelelő az öntés kezdetén és így acél szivároghat bele a tűzálló falazat mikrorepedéseibe, ott megszilárdul, így könnyen hozzá tudnak tapadni a nem-fémes zárványok.
- Komplex oxidok alkotta tapadványok. Kémiai összetételük alapján arra lehet következtetni, hogy a nem-fémes zárványok és a megolvadt öntő- vagy fedőpor alkotják ezeket a komplex tapadványokat. A kialakulásukra az acél kristályosítóba történő beáramlása során bekövetkező turbulens áramlás adhat magyarázatot (lásd 2.16. ábra).

A 2.16. ábra mutatja a tapadványok helyét a folyamatos öntőművön belül, az 2.17. ábrán pedig a kristályosítóban lejátszódó áramlási folyamatok láthatóak.



2.16. ábra

A lerakódott tapadványok a folyamatos öntőműben



2.17. ábra

Áramlási, keveredési, flotációs folyamatok a folyamatos öntés közben

2.8.2 Aluminátok összetapadásának vizsgálata

Gyakran tapasztalható a tapadványok kirakódása az öntőmagylóra a folyékony acél reoxidációját követően. Az acél reoxidációja akkor következik be, ha a szabad acélfelület a levegővel érintkezik. Ez történhet a közbenső üstben, a beömlő tolcséréknél, a szekvens következő adagjának cseréjénél. A sugárvédelemnek, illetve a fedő- és öntőporok alkalmazásának köszönhetően ma már egyre ritkábban találkozunk ezzel a problémával. Nemzetközi tapasztalatok, kutatási eredmények azt mutatják, hogy a problémával mégis kell foglalkozni [20], alaposabban meg kell ismerni a tapadványok

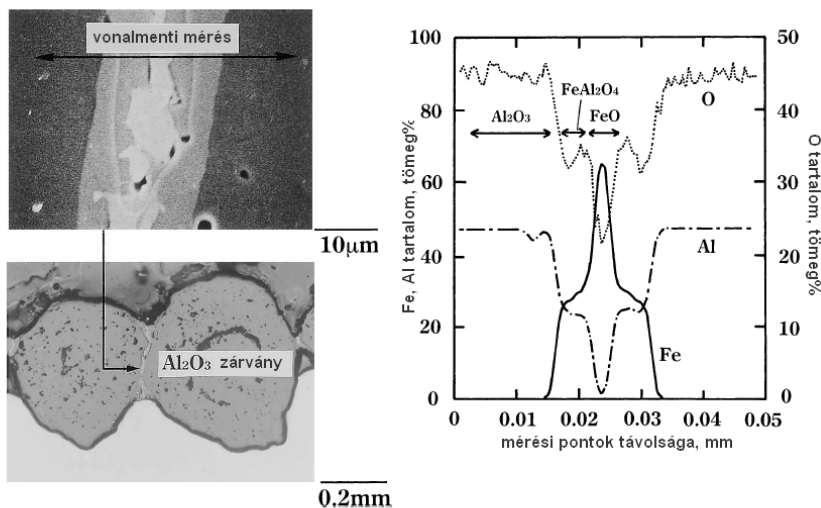
kialakulásának folyamatait, ahhoz, hogy hatékonyabban lehessen fellépni a megjelenésük ellen.

A reoxidáció során képződő FeO a közbelső üst kagylója felé igyekszik, és ott megtapad. Ezeknek a zárványoknak a mérete $10\mu\text{m}$ körüli. A reoxidáció során képződő folyékony FeO nedvesíti az Al_2O_3 zárványokat, így könnyen penetrál közéjük. Az olvadt FeO tehát a tapadványok kialakulásában, a zárványok összegyűjtésében nagy szerepet játszik.

Az Al_2O_3 zárványok örvények által kerülnek a kagyló határfelületének közelébe, és a felületi feszültség hatására tapadnak oda. A mechanizmus, amely során az Al_2O_3 zárványok a kagyló felületére tapadnak, azonos azzal, melynek során a folyékony acélban agglomerálódnak és összenőnek.

A 2.6.3. fejezetben már szó esett azokról az erőkről, amelyek a zárványokat egymáshoz, adott esetben a tűzálló falazathoz vonzzák. A számítási eredmények arra is rávilágítottak, hogy ha reoxidáció következtében az alumínium oxid zárványok között lévő folyadék nem acél, hanem FeO, akkor a szemcséket egymáshoz vonzó együttes hatása sokkal erősebb, mintha azok között folyékony acél volna. Miután a reoxidáció következtében létrejövő FeO hatására a zárvány szemcsék összetapadtak, a folyékony FeO reakcióba lép az Al_2O_3 zárványokkal és közöttük FeAl_2O_4 alakul ki. Az FeAl_2O_4 olvadáspontja 1780°C , ami azt jelenti, hogy az acélgyártás hőmérsékletén a zárvány szemcsék közötti folyékony FeO (olvadáspont= 1370°C) hídból szilárd FeAl_2O_4 híd alakul ki [12]. A 2.18. ábra mutatja a két Al_2O_3 zárvány szemcse között kialakult szilárd FeAl_2O_4 hidat.

A fentihez hasonló folyamat játszódik le a folyamatos öntőmű kagylóján a tapadványok kialakulása során.



2.18. ábra

A reoxidáció következtében létrejövő FeO hatására a két Al_2O_3 zárvány szemcse között kialakult szilárd FeAl_2O_4 híd [16]

2.8.3 Tapadványok mikroszkópos vizsgálata

Egy spanyolországi acélműből származik az a tapadvány darab, melyet a spanyolországi szakmai gyakorlatom során volt szerencsém megvizsgálni. A tapadvány a folyamatos öntőműben a kristályosítóba merülő tölcseről származik, a 2.19. ábra mutatja a vizsgálat céljára kiválasztott tapadvány darabot, és a mikroszkópos vizsgálatokhoz kiválasztott csiszolatok kivágási helyeit. A tapadvány nem szilícium mentes acél gyártása során képződött, így feltételezhetően a vizsgálati eredményekben szilikát zárványok is megfigyelhetők. A mikroszkópos vizsgálatok céljára a tapadványból két csiszolat került kimunkálásra. Mindkét csiszolat a tapadvány acéolvadékhoz közelebb eső –a bemerülő tölcser tűzálló falazatától távolabbi- részéből származik. Mindkét csiszolaton mikroszondás méréseket végeztem, a vizsgálati eredményeket a 2.3. táblázat tartalmazza.



2.19. ábra

Tapadványról készített makroszkópos felvétel

2.3. táblázat: A tapadványból kivágott 1 és 2 jelű csiszolaton végzett mikroszondás mérés eredményei

Mérési pont	Fe	Mn	Al	O	Na	Mg	Ca	Si	Ti
tömeg %									
1.	-	-	21,25	37,97	2,17	2,69	16,58	13,40	0,43
2.	-	-	30,99	40,19	1,31	1,00	11,22	9,25	0,67
3.	-	-	33,07	44,47	-	11,27	5,67	5,52	
4.	-	-	20,02	36,62	2,49	-	20,14	14,17	
5.	-	-	34,41	42,30	-	-	2,77	2,00	-
6.	4,23	-	16,53	40,08	2,22	1,15	16,89	12,45	-
7.	94,84	-	-	-	-	-	-	5,16	-
8.	81,16	2,81	-	-	-	-	-	16,03	-
9.	6,41	-	0,59	23,81	-	1,12	-	2,61	-
10.	3,09	-	32,24	39,19	1,20		9,61	8,44	1,64

A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a tapadvány anyaga zömmel alumínium oxid zárványokból áll, amelyhez MgO és CaO is tapadt, ami komplex vegyületekre utal. A nagyon magas vas tartalmú részek valószínű a folyékony acél és a tapadvány keveredéséből tevődnek össze.

2.9 Összefoglalás

A szilícium mentes alumíniummal csillapított acélokban a dezoxidációs folyamat során nagy mennyiségű Al_2O_3 zárvány képződik. Mivel az alumínium az egyik legerélyesebb dezoxidáló szer, egyéb oxid zárvány nem terheli az acélt.

A dezoxidáció lejátszódásának egyensúlyi viszonyai alapján látható, hogy a reakció után az acél oldott oxigéntartalma két részre oszlik. Az egyik része a dezoxidációs termék, tehát Al_2O_3 formában van jelen az acélban, a másik része, pedig a dezoxidáló elemmel egyensúlyt tartva oldott állapotban marad. A két féle formában megjelenő oxigén a továbbiakban nem egyformán viselkedik: az oxid formában jelen lévő oxigén – mivel nem oldódik az acéolvadékokban – elvileg eltávolítható az acélból a salakfázisba, ahol –megfelelő salak esetén– feloldódik. Az oldott oxigén a dermedési hőmérsékletre való lehűlésig további dezoxidációs reakciókban vesz részt, így mennyisége tovább csökken. Ebben a hőmérsékleti tartományban –a Mushy zónában– keletkezett alumínium oxidok salakfázisba való flotációja egyre inkább korlátozott. A szilár halmazállapotú acélban tovább folytatódik a dezoxidációs folyamat és az összes FeO átalakul alumínium oxiddá. Ennek teljes mennyisége az acélban marad. Az oxidzárványok közül az alumíniummal dezoxidált acélban FeO nem keletkezik.

Az elmondottak alapján bizonyosan csak akkor lehet alacsony oxidzárvány tartalmú acélt előállítani, ha a dezoxidációs folyamatot nagyon alacsony oldott oxigén tartalom eléréséig játszadjuk le.

A dezoxidáció végi aktív oxigén tartalomra vonatkozó szakirodalmi adat helyességének igazolására számítás végeztem, melynek alapjául több, zárványosság szempontjából megfelelőnek tekinthető szilícium-szegény acél alumíniummal csillapított acél dezoxidáció után mért oldott alumínium tartalmát vettem.

A számítás alapján az acél dezoxidáció végi aktív oxigén szintje 3,46 ppm. Mivel ezt az adatot olyan adagok mérési eredményeiből kaptam, ahol a késztermék (melegen hengerelt lemez) maximális zárványossági fokozata a DIN 50602:1985 szabvány szerinti M módszer alapján a gömbszerű oxidok esetén 2-es, a soros oxidok esetén 1-es volt (tehát tisztának tekinthető a termék), a továbbiakban irányadónak tekintem.

A dezoxidációs folyamat pontos beállításához ismerni kell az acél oxigén tartalmát. A csapolás alatt és az üstre került salakból való oxigén felvételt nem ismerjük, ezért lépcsős dezoxidációval állítjuk be az acél oldott oxigén tartalmát.

A keletkezett alumínium oxid zárványok változatos formában találhatók az acélban. Formájuk az acél oxigén tartalmának függvénye, minél nagyobb az acél oxigén tartalma, annál nagyobb a zárványok –fürtök, dendritek, agglomerátumok– válnak ki. Ezek a nagy méretű zárványok gyorsan eltávolíthatók az acélból. Az üstmetallurgiai állomáson a lépcsős dezoxidáció első lépése után már csak zömmel gömb alakú zárványok vannak az acélban, melyek 10-15 ppm összoxigén tartalmat jelentenek az acélban. Ez az oxigén mennyiség a másodlagos még növekszik dezoxidáció során keletkező dezoxidációs termékekkel.

Az alumínium oxid zárványok mellett a kéntelenítés nagyságától függően szulfid zárványok is találhatók az acélban. Mivel az acélok ötvözőként mindig tartalmaznak mangánt, melynek mennyisége általában 10-szeres a kén mennyiségének, a szulfidok MnS formában vannak jelen.

Akármilyen alakban és mennyiségben képződik is az Al_2O_3 , az acélban maradása több okból kerülendő:

- Az alumínium-oxid rideg zárvány, mely hengerléskor összetöredezve sorba rendeződik, a mangán szulfid ugyanezt teszi túlzott képlékenysége miatt, mindez mechanikai anizotrópiához vezet. Mindkét zárványtípus átalakítandó olyan típusú zárványokká, ami kevésbé rideg oxidokból, s kevésbé képlékeny szulfidokból áll —kedvezőbb morfológiájú komplex zárványok képzésére kell törekednünk.
- Az alumínium oxid és mangán szulfid zárványsorok az acél felületére vagy annak közelébe érve hajlítás során a felület felszakadását eredményezik.
- A lépcsős dezoxidáció kezdetén nem kerülhető el bizonyos mennyiségű Al_2O_3 képződése, ez esetben a zárványok nagyobb arányának salakba juttatása a kitűzendő feladat, mert bent maradás esetén az öntési szerelvények tűzálló falazata közelében —a felületi feszültség hatására— a tűzálló falazathoz tapadhatnak, az ún. kagylószűkülés jelenségét okozva.
- Számításaimmal igazoltam, hogy az ún. folyadék-híd indukálta határfelületi erők iránya a reoxidáció során képződő FeO jelenléte miatt megváltozik, így a zárványok összetapadását segítheti elő. Ez a zárványok felúszását könnyíthetné meg, ugyanis a zárványméret növekszik. Viszont, ha reoxidáció jelentkezik a folyamatos öntőművön, akkor már nincs lehetőség a zárványok eltávolítására, ezentúl a FeO reakcióba lép az Al_2O_3 zárványokkal, FeAl_2O_4 összetételű zárványok alakulnának, melyek jelenléte magas olvadáspontjuk ($1780\text{ }^\circ\text{C}$) miatt ugyancsak a kagylószűkülés jelenségét idézheti elő. A reoxidáció tehát egyértelműen káros, a reoxidáció elleni védelem igen fontos csapolástól az öntés befejeztéig.

Azért, hogy a lépcsőzetesen elvégzendő dezoxidáció kezdetén képződő Al_2O_3 típusú zárványok önthatósági illetve minőségromlási gondokat ne okozzanak, alapvető feltétel, hogy a képződött zárványokat alacsonyabb olvadáspontú, kevésbé rideg, jobban nedvesíthető zárványokká alakítsuk át. Ehhez szilícium szegény, alumíniummal csillapított acéloknál CaAlFe porbeles huzallal végzett kalciumos kezelés a megoldás.

A komplex zárványok képződése rendkívül precíz adagvezetést igényel szigorú oxigénszint szabályozásra épülve. A megfelelő kezelés eléréséhez szükséges kalcium mennyiség meghatározásánál az acélban jelen lévő alumínium oxid mennyiségét kell figyelembe venni. A kalciumos kezelés akkor tekinthető sikeresnek, ha

- a kialakult komplex zárványok az acélgyártás hőmérsékletén folyékony halmazállapotúak (2.4 ábrán pirossal jelölt terület).
- az aluminát zárványban minimum 21,54 % CaO van,
- az acélban kevés az önálló alumínium oxid zárvány,
- nem található MnS zárvány az acélban, a kén teljes mennyisége CaS formában van jelen (a komplex aluminát zárvány kérgét képi),
- zárványossági fokozat a hengerelt termékben nem haladja meg a 3-as fokozatot a DIN 50602:1985 szabvány által előírt zárványvizsgálatot végezve.

Ha elérjük, hogy az alacsony (szakirodalom [1] szerint <4ppm, saját számítás szerint <3,46 ppm-nyi) aktív oxigén szintű acéolvadékba bevitt CaAlFe-huzallal az acélgyártás hőmérsékletén folyékony halmazállapotú zárványok képződjenek, akkor

elkerülhetőek a kagylószűkülések, az anizotrópia előidézte problémák, s biztosítható a nagyobb fokú zárványtisztaság.

A szakirodalom [6] korábban meghatározta, hogy a kalciumos kezeléssel $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ zárványösszetételt célszerű elérni, így az üstmetallurgiai kezelés hőmérsékletén, illetve a hőmérséklet csökkenésével a folyamatos öntés során is folyékony halmazállapotú zárványt lehet létrehozni. Mivel azonban a hőmérséklet csökkenésével nem lép működésbe olyan mechanizmus, amely az üstmetallurgiai kezelés során kialakult gömbszerű zárványalakot megváltoztatná, nem kell az ilyen zárványösszetételre törekedni, elegendő, ha azt a célt tűzzük ki az kalciumos kezelés elé, hogy produkáljon folyékony halmazállapotú zárványt. Ezért a $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ egyensúlyi diagram kalciumos kezelés során elérendő területét magasabb hőmérséklet intervallumra, szélesebb sávként jelöltem meg (lásd 2.4. ábra).

Ahhoz, hogy ezt a területet elérjük, CaAlFe huzal szükséglet számításokat végeztem, az eredmények a következők az alábbiakban foglalom össze.

Ha az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete 1602°C alatti, akkor a beadagolandó CaAlFe huzal minimális mennyisége $3,21\text{ kg/tonna}$ acél. Ha az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete 1602°C fölötti, akkor a beadagolandó CaAlFe huzal minimális mennyisége $3,06\text{ kg/tonna}$ acél. Az általam használt számítási mód szerint a $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ zárványösszetételhez a CaAlFe huzal mennyisége $3,37\text{ kg/tonna}$ acél.

Az üstmetallurgiai kezelés hőmérsékletének emelésével tehát csökken a fürdőbe adagolandó CaAlFe huzal mennyisége. Ezekre az adatokra hatással van a huzaladagolás előtti össz-, és aktív oxigén szint, valamint az acél kéntartalma. A számítási eredményeim CaAlFe huzal adagolás előtti $0,003\%$ össz-, $3,46\text{ ppm}$ aktív oxigén tartalomra, illetve $0,011\%$ kéntartalomra vonatkoznak.

A különböző zárványtípusokra végzett CaAlFe huzal szükséglet számítások eredményei azt mutatják, hogy az eddigi gyakorlat szerint elérendő zárványösszetételhez tartozó huzal szükségletnél $0,16\text{--}0,31\text{ kg/t}_{\text{acél}}$ huzal mennyiséggel kevesebb is elegendő, hogy ha figyelembe vesszük, hogy az üstmetallurgiai kezelés hőmérsékletén más összetételű zárvány is folyékony halmazállapotú. Ezen a hőmérsékleten kialakult zárvány morfológia a hőmérséklet hatására nagy mértékben nem módosul, a zárvány nem képlékeny, a meleghengerlés során alakja nem változik, illetve nem töredezik össze nagy keménysége miatt. A különböző zárványösszetételekhez tartozó huzal szükségletek 1 tonna acélra vonatkoztatva nem tűnnek nagy eltérésnek, viszont egy adag (130 t) esetén az eltérés $20\text{--}40\text{ kg}$ is lehet, ami nyilván több adag gyártása esetén még markánsabban kitűnik.

2.10 Tézisek

1. Zárványosság szempontjából megfelelőnek tekinthető szilícium-szegény, acél alumíniummal csillapított acél adagok dezoxidáció után mért oldott alumínium tartalmát alapul véve meghatároztam az acél dezoxidáció végi aktív oxigén szintjét, melyre 3,46 ppm adódott.

$$a_o = 3,46 \cdot 10^{-4}$$

Mivel ezt az adatot olyan adagok mérési eredményeiből kaptam, ahol a késztermék (melegen hengerelt lemez) maximális zárványossági fokozata a DIN 50602:1985 szabvány szerinti M módszer alapján a gömbszerű oxidok esetén 2-es, a soros oxidok esetén 1-es volt (tehát tisztának tekinthető a termék), a továbbiakban irányadónak tekintem.

1.1. A tiszta, zárvány szegény acél gyártási feltétele az alacsony, 3,46 ppm oldott oxigéntartalom biztosítása a dezoxidáció végén.

2. A zárványképződési reakciókra elméleti lejátszódási sorrendet írtam fel:

lejátszódás sorszáma	reakció
----------------------	---------

Alumínium adagolás hatására lejátszódó folyamat

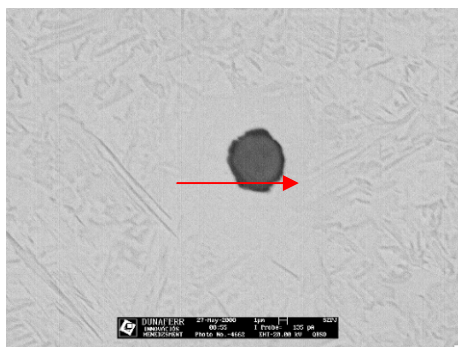
1	$Al + \frac{3}{2}O \rightarrow \frac{1}{2}Al_2O_3$
---	--

CaAlFe huzal adagolás hatására lejátszódó folyamatok

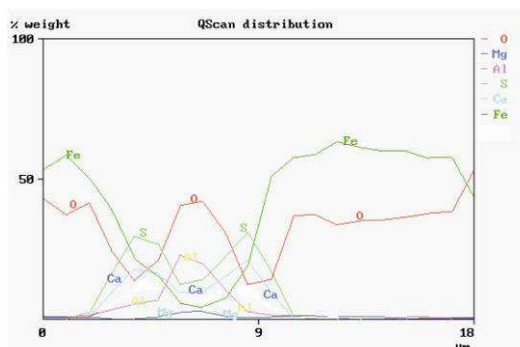
2	$Ca + O \rightarrow CaO$
3	$Ca + \frac{19}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow CaO \cdot 6Al_2O_3 + \frac{2}{3} \cdot Al$
4	$Ca + \frac{7}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow CaO \cdot 2Al_2O_3 + \frac{2}{3} \cdot Al$
5	$Ca + \frac{4}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow CaO \cdot Al_2O_3 + \frac{2}{3} \cdot Al$
6	$Ca + \frac{11}{12} \cdot Al_2O_3 \rightarrow \frac{1}{12} \cdot 12CaO \cdot 7Al_2O_3 + \frac{2}{3} \cdot Al$
7	$Ca + \frac{2}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow \frac{1}{3} \cdot 3CaO \cdot Al_2O_3 + \frac{2}{3} \cdot Al$
8	$Ca + \frac{1}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow CaO + \frac{2}{3} \cdot Al$

Ez alapján megállapítható, hogy a kalcium aluminát képződés feltétele, hogy az acélban lévő oxigén tartalom minél nagyobb mennyisége alumínium oxid formában legyen jelen. A dezoxidációs reakcióban (1) képződő Al_2O_3 vesz részt ugyanis a kalcium aluminátok képződési reakcióiban. Ellenkező esetben (3,46 ppm aktív oxigén tartalom felett) az aluminát képző reakciók helyett a CaO képződése (2) valósul meg –hiszen negatívabb a képződéséhez tartozó normál szabadentalpia változás, mint az Al_2O_3 esetében–, ami káros hatással van az acélra.

3. A kalciumos kezelés hatására létrejövő kalcium alumínátokból Ca-Al-O-S komplex zárványok képződnek, tehát a komplex zárványok külső burkában megjelenik a CaS. Az ilyen összetételű és megjelenési formájú zárványok jelenlétét az elektronmikroszkópos vizsgálataimmal bizonyítottam.

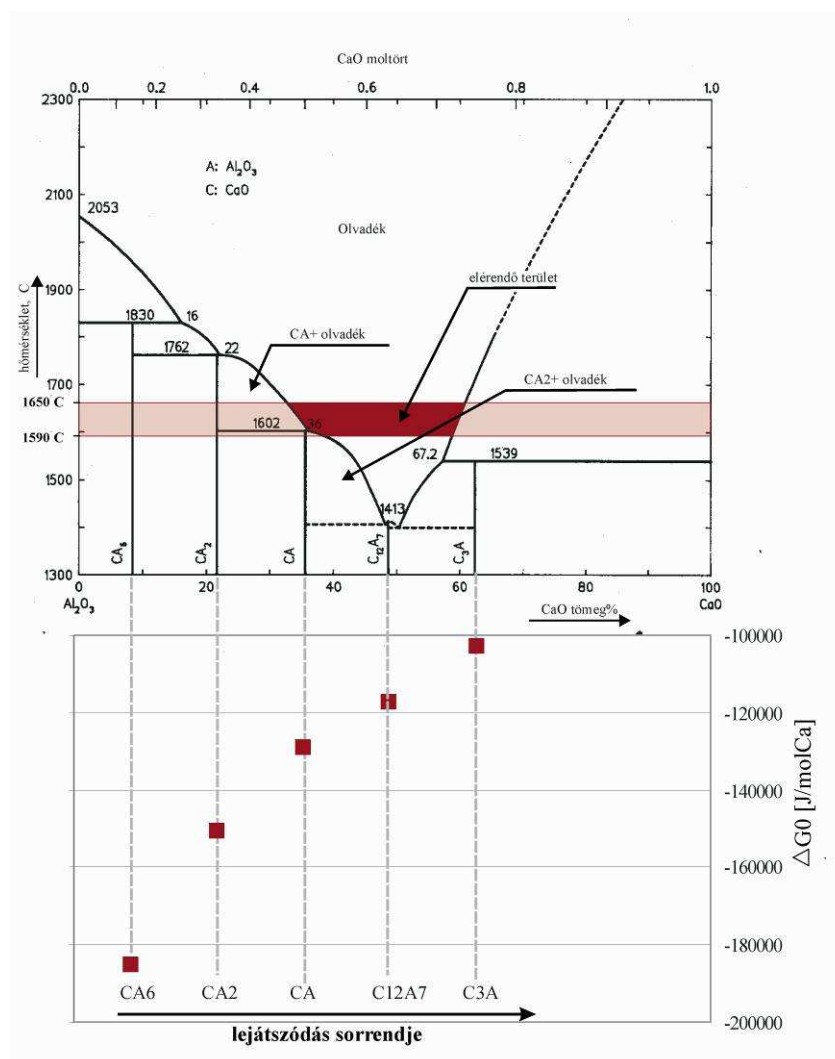


Gömbyszerű komplex aluminát
zárvány (a piros nyíl mutatja az
ábrán a mikroszondás vonalmenti
mérés helyét)



Gömbyszerű komplex aluminát zárvány mikroszondás vonalmenti elemzésének eredménye

4. A szakirodalom [6] korábban meghatározta, hogy a kalciumos kezeléssel $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ zárványösszetételt célszerű elérni, így az üstmetallurgiai kezelés hőmérsékletén, illetve a hőmérséklet csökkenésével a folyamatos öntés során is folyékony halmazállapotú zárványt lehet létrehozni. Mivel azonban a hőmérséklet csökkenésével nem lép működésbe olyan mechanizmus, amely az üstmetallurgiai kezelés során kialakult gömbszerű zárványalakot megváltoztatná, nem kell az ilyen zárványösszetételre törekedni, elegendő, ha azt a célt tűzzük ki az kalciumos kezelés elé, hogy produkáljon folyékony halmazállapotú zárványt. Ezért a $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ egyensúlyi diagram kalciumos kezelés során elérendő területét magasabb hőmérséklet intervallumra, szélesebb sávként jelöltem meg.



5. Ahhoz, hogy ezt a területet elérjük, CaAlFe huzal szükséglet számításokat végeztem, az eredmények a következők az alábbiakban foglalom össze.
- Ha az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete 1602 °C alatti, akkor a beadagolandó CaAlFe huzal minimális mennyisége 3,21 kg/tonna acél.
 - Ha az üstmetallurgiai kezelés hőmérséklete 1602 °C fölötti, akkor a beadagolandó CaAlFe huzal minimális mennyisége 3,06 kg/tonna acél.
 - Az általam használt számítási mód szerint a 12CaO·7Al₂O₃ zárványösszetételhez a CaAlFe huzal mennyisége 3,37 kg/tonna acél.

Az üstmetallurgiai kezelés hőmérsékletének emelésével tehát csökken a fürdőbe adagolandó CaAlFe huzal mennyisége. Ezekre az adatokra hatással van a huzaladagolás előtti össz-, és aktív oxigén szint, valamint az acél kéntartalma. A számítási eredményeim CaAlFe huzal adagolás előtti 0,003% össz-, 3,46 ppm aktív oxigén tartalomra, illetve 0,011% kéntartalomra vonatkoznak. Ettől eltérő kiindulási adatok esetére létrehoztam egy excel táblázatot (CD mellékletben), amely segítségével a kezelési hőmérséklet ismeretében meg lehet határozni a szükséges CaAlFe huzal mennyiségét. Az excel tábla részlete az alábbi táblázatban látható.

T<1602°C					
CaO·Al ₂ O ₃ esetén			Moláris tömegek:		
CaO mennyisége	35,44	%	M Al	27	g/mol
Al ₂ O ₃ mennyisége	64,56	%	M O	16	g/mol
			M Al ₂ O ₃	102	g/mol
összoxigén a kalciumos kezelés előtt	0,003000	%	M Ca	40	g/mol
dezoxidáció után aktív oxigén	0,000346	%	M CaO	56	g/mol
aluminát képzésben részt vevő aktív oxigén	0,002654	%	M S	32	g/mol
képződő Al ₂ O ₃ zárvány	0,005640	%	M CaO·Al ₂ O ₃	158	g/mol
Al ₂ O ₃ az aluminát képzésre	0,004230	%			
Al ₂ O ₃ a redukcióra	0,001410	%	acél kéntartalma	0,011	%
keletkező CaO	0,002322	%			
Ca az aluminát kialakításához	0,001659	%	Ca a huzalban	0,40	
Ca a kéntartalom átalakításához	0,013750	%	huzal határfok	0,12	
összes Ca	0,015409	%			
beadagolandó CaAlFe huzal	0,321016	%			
CaAlFe huzal mennyisége	3,21	kg/tonna acél			

3 Az acéolvadék inert gázzal történő átöblítésének optimalizálása a tisztaság javítása érdekében

3.1 Bevezetés

A helyes technológiai sorrendben, több lépcsőben végzett dezoxidációt követően az acélban különböző méretű és kémiai összetételű nem fémes zárványok vannak jelen. Ahhoz, hogy a vevői kívánalmaknak megfelelő készterméket állíthassunk elő, ezeket a zárványokat –lehetőleg minél többet– el kell távolítani az acélfürdőből. A dezoxidáció során képződő alumínium oxid zárványoknak van esélyük a salakfázisba való flotációra, az acél hőmérsékletének csökkenésével –a folyamatos öntőművön– ez az esély egyre csökken. Éppen ezért kell körültekintően végezni az üstmetallurgiai kezelés részét képező argonozást, hogy ezzel minél inkább elősegítsük a zárványok kikerülését az acéolvadékból.

Az acéolvadék inert gázzal történő átöblítését több okból alkalmazzuk az üstmetallurgiai kezelés során. Az argon gáz keverő hatása a következőkben mutatkozik meg:

- az acéolvadék kémiai összetételének homogenizációja érhető el a nagy intenzitással végzett argonozás következtében,
- az argongáz hűtőhatását kihasználjuk az acél öntési hőmérsékletének beállítására,
- az acélfürdő hidrogén és nitrogén gáz tartalma csökkenthető, mivel az argon buborékok magukhoz ragadják a gázbuborékokat, elősegítve ezzel a felszállásukat,
- hasonlóan a gázbuborékokhoz, a nem fémes zárványok felszállását is elősegítik az argon buborékok, ezáltal az acéolvadék tisztasága javul.

Az argon gáz hatására a zárványok az acéolvadék/salak határfelületre jutnak, amennyiben a salak fizikai-kémiai tulajdonságai lehetővé teszik, a salak feloldja a határfelületre ért zárványokat.

Annak megfelelően, hogy milyen metallurgiai célt kívánunk elérni, kell az argonozás paramétereit megválasztani. Ezeknek a paramétereknek a meghatározására indult egy kísérletsorozat a Dunafer Acélművében a BME Áramlástani tanszékén lévő Fluent szoftverrel végzett numerikus szimuláció alapján. A kísérletsorozatban az alkalmazott argonozási paraméterek megfelelőségét zárványvizsgálatokkal igyekeztünk ellenőrizni.

Az üstmetallurgiai állomáson végzett kezelés része az üst aljába épített öblítő köveken keresztüli argon gáz buborékoltatás. Az argon buborékok az acéolvadékban az üst teteje felé áramlanak egy argon fáklyát alkotva. Az argonbuborékok a gáz és az acél közötti sűrűségkülönbség miatt keletkező hajtóerő révén tartják mozgásban az acélt.

3.2 Áramlási viszonyok az acéolvadékban

Nyugodt acélfürdőre érvényes a Stokes törvény miszerint a nem fémes zárványok acéolvadékból történő felúszásának hajtóereje a zárvány és az acéolvadék közötti sűrűségkülönbség [22].

$$v_{\text{zárvány}} = \frac{2 \cdot g \cdot (\rho_{\text{acél}} - \rho_{\text{zárvány}}) \cdot r^2}{9 \cdot \mu} \quad (3.1)$$

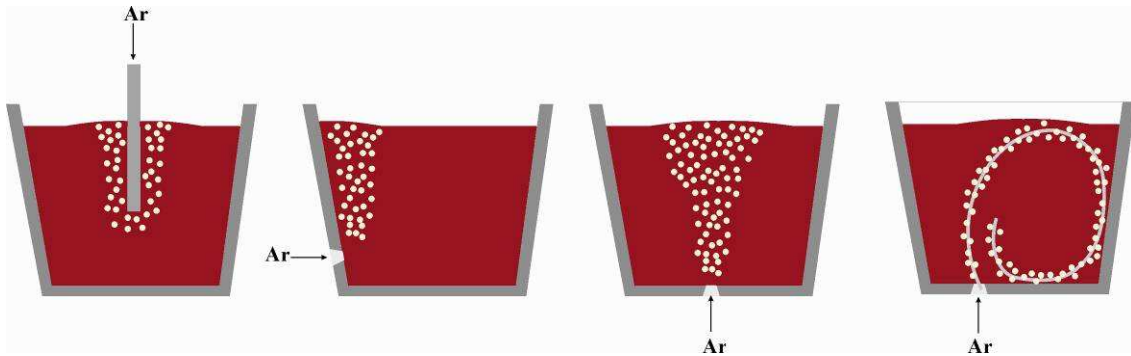
ahol $v_{\text{zárvány}}$ a zárvány felúszási sebessége [m/s], g a nehézségi gyorsulás 9,81 [m/s²], r a gömbnek feltételezett zárvány sugara [m], $\rho_{\text{acél}}$ az acél sűrűsége 7000 [kg/m³], $\rho_{\text{zárvány}}$ a zárvány sűrűsége ~4850-2850 [kg/m³], μ a folyékony acél dinamikai viszkozitása 0,005 [kg/m·s].

A 3.1 összefüggés szerint annál nagyobb a zárvány felúszási sebessége, minél nagyobb a mérete. A 30-40 μm méretű zárványok kb. 5 perc alatt flotálódnak a salakba, míg az <5 μm méretűeknek nincs esély az eltávolítására [22].

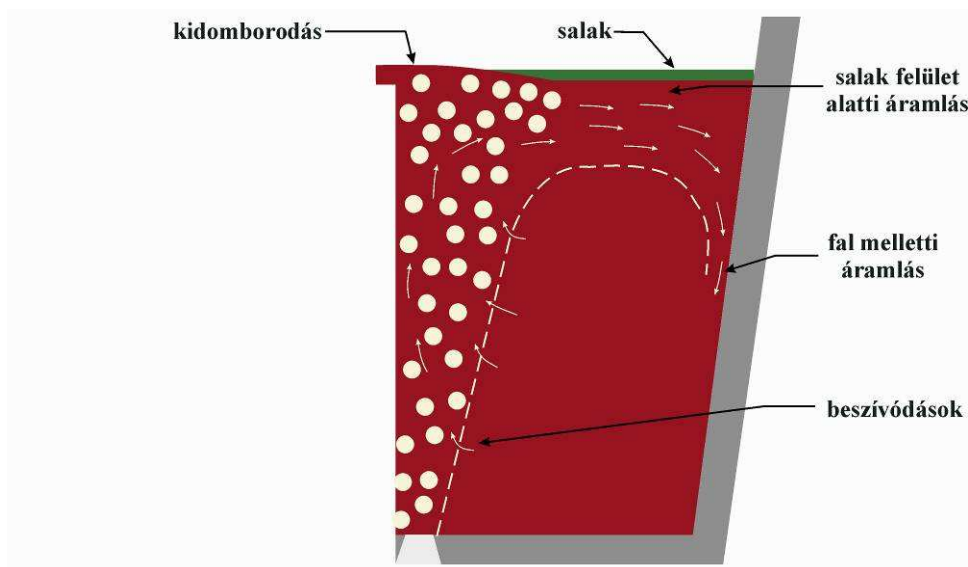
Az acélfürdő azonban nem tekinthető nyugodtnak a fürdőmozgás, argonozás miatt, így a 3.1. összefüggés ebben az esetben nem állja meg a helyét. A Stokes törvény emellett a zárványokat gömbszerűnek feltételezi, ami gyakran nem felel meg a valóságnak. Az acéolvadékban a zárványok salakfázisba történő flotációja nagyban függ attól is, hogy a zárványok az acélban nedvesíthetőek-e vagy sem. Ez nyilván függ az acéolvadék és a zárvány kémiai összetételétől. Abban az esetben, ha az acéolvadékban lévő alumínium oxid zárványok a fürdő mozgása során találkoznak egymással, akkor azok összetapadnak. Így a zárványok mérete megnövekszik, tehát ezeknek a felúszási sebessége nagyobb, mintha különálló zárványok lennének.

3.2.1 Az acél felszínének megváltozása argonos átöblítés során

Az argon acéolvadékba juttatásának többféle megoldása ismert. Az öblítőkö aszimmetrikus elhelyezése a fürdő keverése szempontjából előnyös (lásd a 3.1. ábrát). A FLUENT szoftverrel végzett szimulációs kísérletek alapján megállapítható, hogy az acéolvadékba fújt argonbuborékok az acéolvadékban emelkedni kezdenek, közben a méretük egyre növekszik, hiszen a rájuk ható nyomás —felettük lévő acéloszlop magassága— egyre kisebb. Az üst alján, a képződési helyükön az argonbuborékok térfogata megközelítőleg 3 cm³, átmérőjük 1,8-2 cm. Az argonbuborékok az acél felszínéig 4-5 másodperc alatt jutnak el. Az argonbuborékok az acéolvadékban a felemelkedésük során egy ún. argon fáklyát alkotnak. Az argon fáklyában a gázzal együtt az acéolvadék is áramlik, ami az acél/salak határfelületre érve szétáramlik, az acél felületének kidomborodását eredményezve ezzel (lásd 3.2. ábra).



3.1. ábra
Az argon befúvás lehetséges helyei [22]



3.2. ábra
Az argonfáklya elhelyezkedése az üst aljába épített öblítőkövön történő átöblítés esetén [22]

Az argonos átöblítés során kialakult argon fáklya miatt az acélfürdőt nem tekinthetjük nyugodtnak, stacionáriusnak. A 3.2. ábra szerint turbulens áramlás jön létre, melyben az argonbuborék gyorsabban halad az acélfelszín felé, mint a zárvány. Abban az esetben, ha a zárvány nem nedvesíthető, akkor az argon buborékhoz tapadva a zárvány is gyorsabban eltávolítható az acéolvadékból. Az acéolvadék/salakréteg határfelületre érve a zárványt a salak feloldja –amennyiben ezt a fizikai –kémiai tulajdonságai lehetővé teszik, és most feltételezzük, hogy ezek a paraméterek adottak– az argon gáz pedig távozik a fürdőből.

Az argonozás hatására kidomborodott acélfelületet nem tudja befedni a salakréteg, így salakmentes acélfelszín jön létre. A szabad acélfelület reoxidációt eredményez, ezért az acél tisztasága szempontjából az argonozásnak ez a hatása káros. Szükséges tehát a kidomborodás mértékének minimálisra csökkentése, valamint megfelelő salak biztosítása a reoxidáció elleni védelem érdekében.

Az üst alján képződő buborékok felszállási sebessége 0,3-0,4 m/s –el nagyobb az acélhoz képest [23], mivel az üstben lévő acéloszlop 3 m-es magassága nyomáskülönbséget eredményez az üst alja és teteje között, így a felszálló argon

térfogatárama 3-5-szeresére növekszik. Az argon feláramlás helyén az acéolvadék áramlási sebessége a

$$v_{acél} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H_f} \quad (3.2)$$

összefüggéssel adható meg, ahol H_f az acélfelszín kiemelkedésének mértéke a felúszás helyén, amelynek nagysága 0,2-0,3 m. Az acélfelszín ilyen mértékű kidomborodása esetén a kiemelkedett acélfelszín átmérője 0,6-0,7 m. A zárványok acélfürdőből való eltávolításának feltétele, hogy a zárványokat tartalmazó, argon fáklyában lévő acéolvadékokra kellő felhajtóerő hasson. Az acéolvadék az argonsugár felhajtóerejének hatására mozog, így lehetőségük van a zárványoknak a kezelés korlátozott időtartama alatt a salakfázisba jutni. Az argon fáklyában, a térfogategységben lévő argonbuborékokra ható felhajtóerő (F_{lm^3}) megadható a

$$F_{lm^3} = \rho_{acél} \cdot g \cdot \varepsilon \quad (3.3)$$

összefüggés szerint, ahol ε az argonfáklyában az argon és az acél térfogathányada ($\sim 5\%$); g a nehézségi gyorsulás, $9,81 \text{ m/s}^2$; $\rho_{acél}$ az acél sűrűsége, $7000 \text{ [kg/m}^3]$.

Egy Δz vastagságú rétegre vonatkozóan, tehát egy adott acélmennyiségre ható felhajtóerőre pedig az

$$F_{\Delta z} = \rho_{acél} \cdot g \cdot \Delta z \cdot \frac{q_{vAr(z)}}{v_{acél}} \quad (3.4)$$

összefüggés adódik, ahol $q_{vAr(z)}$ az argon térfogatárama a (z) szinten, $v_{acél}$ pedig az argon felúszásának sebessége az üst falához képest.

A képlet szerint az acélra, és azon belül a zárványokra ható felhajtó erő növekszik, ha az acél áramlási sebességét csökkentjük. Ezek szerint az acél áramlási sebességét olyan mértékűre kell csökkenteni, hogy az acélra ható felhajtóerő nagy legyen, ez által elősegítse a zárványok salakfázisba történő flotációját.

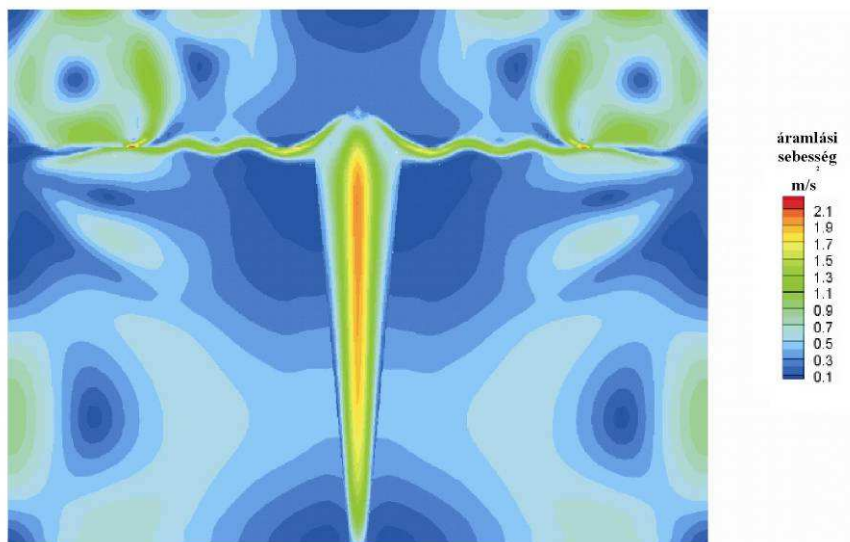
A (3.4) összefüggésben a nevezőben szereplő $v_{acél}$ áramlási sebesség az argon mennyiségének növelésével nő. Az argon mennyiségétől függő stacionárius áramlási sebesség úgy áll be, hogy a kezdetben nyugvó acélra nagy felhajtóerő hat, hiszen az argon lassan mozog fölfelé, így sok argon buborék van benne, nagy a porozitás. Ahogy gyorsul az acél feláramlás, csökken a felhajtóerő, majd beáll egy értékre, ami annál nagyobb, minél nagyobb az argon mennyiség[24].

A képletben –a számlálóban– szerepel az argon térfogatárama is, ennek az acéltisztaságra gyakorolt hatásáról a későbbiekben, a szimulációs kísérletek eredményeinek ismertetése után ejtek szót. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy az argonos átöblítés mértékét vissza kell venni annyira, hogy a salakmentes acélfelszín kidomborulás megszűnjön. Ezáltal, azon túl, hogy a zárványok nagyobb sebességgel jutnak a salakfázisba, a salakmentes acélfelszínt is ki lehet küszöbölni, aminek fontossága két okból indokolt. Az egyik, hogy a salakmentes acélfelszín reoxidációs forrásként működik, a másik, hogy hiába emelkednek gyorsan a zárványok az üstben felfelé, ha nincs salakréteg, ami őket befogadja. A salakmentes acélfelszínről az argonbuborékok visszakeverik a zárványokat az acélba, így nem tudunk javítani az acél tisztasági fokán.

Az acélfelszín kidomborodásának alaposabb megismerésére FLUENT szoftver segítségével vizsgálatokat, szimulációt végeztünk. A szoftver felhasználásával az acél

áramlására jellemző erőter számítható az előzetesen megadott peremfeltételek alapján. A szimuláció során megerősítést nyertünk a kidomborodó acélfelszín létrejöttéről. A modellezés során készített 3.3. ábra mutatja az acélfelszín kidomborodását. Látható, hogy erről a dombról minden irányban szétáramlik az acéolvadék.

A szimulációs kísérleteket 200-, 300- és 400 Ndm³/perc térfogatáram esetén végeztük el, az eredményeket a 3.1. táblázat foglalja össze. Az argon térfogatáramát 200 Ndm³/perc értékről 400 Ndm³/perc-re növelve egyrészt az argon feláramlási sebessége 2,1-ről 2,4 m/s-ra, másrészt a kidomborodás magassága 0,24 m-ről 0,35 m-re nőtt, valamint a salakmentes folt átmérője 0,6 m-ről 0,72 m-re növekedett.



3.3. ábra

A feláramló argon buborékok hatására kidomborodó acélfelszín a FLUENT szoftverrel végzett szimulációs kísérletek alapján

3.1. táblázat: az acélfelszín felemelkedésének jellemzői

Argon térfogatáram [Ndm³/perc]	200	300	400
Salakmentes felszín rész sugara [m]	0,3	0,33	0,36
Acélfelszín magassága [m]	2,85	2,85	2,85
Kidomborodás magassága [m]	0,24	0,3	0,35
Maximális sebesség [m/s]	2,1	2,2	2,4

Az acéolvadék áramlási sebességének változásáról áramképeket készítettünk az üst vízszintes és függőleges metszeteiben. Ezek kiértékeléséből adódott, hogy az üstben az acéolvadék felfelé áramlásának sebessége arányos az argon térfogatáramának köbgyökével. Az argon fáklyára vonatkozóan a 100-500 Ndm³/perc argon térfogatáram tartományban ugyanis az acél áramlási sebessége 1,22-2,28 m/s. A szimulációs kísérletek eredményei alapján tehát felírható az argon térfogatárama (q_{vAr}), valamint az acél áramlási sebessége ($v_{acél}$) közötti összefüggést (3.5.)

$$v_{acél} \approx q_{vAr}^{\frac{1}{3}} \quad (3.5)$$

A gyakorlatban tehát ez azt jelenti, hogy az argon térfogatáramának csökkentésére az acél feláramlási sebessége is csökken, igaz a közöttük fennálló arányosság miatt csak kis mértékben.

Összevetve ezt a (3.4) egyenletből származó állítással –mely szerint a zárványokra ható felhajtó erő növekszik, ha az acél áramlási sebességét csökkentjük– következik, hogy az acél térfogatáramának csökkenése a felhajtóerő növekedését fogja eredményezni, ami a zárványtalanítás alapfeltétele.

3.2.2 Az acél tisztaságának javítása az áramlási viszonyok optimalizálásával

A szimulációs kísérletek során 10 és 50 μm méretű zárványok acélból való eltávolítását tanulmányoztuk. A zárványok mérete a Stokes törvénynek megfelelően hatással van a felúszási sebességre, a nagy méretű zárványoknak rövidebb időre van szükségük a salakfázis elérésére. Az argonos átöblítés során azt kell figyelembe vennünk, hogy az azonos nagyságú zárványok leválasztásához rövidebb időre van szükség kisebb argon befúvás esetén. A gyakorlatban ezek szerint a zárványtalanítás szempontjából hasznos, hogy a kezdetben az acélfelszín kidomborodását mutató feláramlást a befúvott argon mennyiségének csökkentésével csökkentjük mindaddig, amíg azt az argonkö lehetővé teszi. Ezzel együtt célszerű a kezelési idő növelése, ami üzemi szemel nézve igen nehéz feladat. A különböző technológiai cél elérése érdekében különböző argonátöblítési értékek a mérvadóak [22]:

- Az acéolvadék hőmérsékletének csökkentése érdekében erős keverést, nagy argon térfogatáramot (300-500 Ndm^3/perc) alkalmazunk.
- Homogenizáló öblítés céljára közepes térfogatáram (250-300 Ndm^3/perc) használandó.
- Dezoxidálás vagy kéntelenítés elősegítésére gyenge keverést (150-200 Ndm^3/perc) kell használni.
- Tisztító, zárványtalanító öblítés esetén lágy öblítést (50-100 Ndm^3/perc) alkalmazunk.

Az argon térfogatáramának megválasztásánál figyelembe kell tehát venni az elérendő célt, szem előtt tartva, hogy a szabad acélfelület reoxidációt eredményez. A szimulációs kísérletek eredményeit üzemi kísérletekkel ellenőriztük.

3.3 Üzemi kísérletek eredményei

A fenti, argon térfogatáramra tett javaslatok alapján végzett üstmetallurgiai kezelések tisztító hatását zárványvizsgálatokkal ellenőriztem. Az üzemi kísérletekben az argon kezdeti térfogat árama 400-500 Ndm^3/perc volt, melynek hatására rendszerint jelentkezett az acél felületének kidomborodása. A kezdetben nagy térfogatárammal végzett argonos átöblítést az acéolvadék kémiai összetételi- illetve hőmérsékleti homogenizációja indokolja. Az üstbe adagolt ötvözőket, dezoxidáló anyagokat, valamint az üstmetallurgiai kezelés során adagolt alumínium huzalt az olvadékban homogenizálni kell, ezért szükséges a nagy argon térfogatáram a kezelés elején. Ezt

követően a 25-30 perces kezelés utolsó harmadában lágy öblítéssel igyekeztünk az acél tisztaságán javítani. A kísérletek során tapasztaltam, hogy az acéolvadékokat megfelelő, híg folyós salak fedte, ami azt jelenti, hogy a felúszott zárványoknak lehetőségük volt az acéolvadékból való kikerülésre.

Az üzemi kísérletekben szereplő adagok legfontosabb paramétereit foglalja össze a 3.2. táblázat. A kísérletekben szilícium szegény, alumíniummal csillapított acélok szerepeltek, minőségük St 24, DSt 24M vagy FePO5 volt.

3.2. táblázat: a kísérleti adagok jellemző paramétereit

adag-szám	C _{csap} %	Al m ³	Ar _{csap} l	Ar _{üst} l	Al _{huzal} %	(CaO) %	(FeO) %	(Al ₂ O ₃) %	(SiO ₂) %	B	a _{O₂} _{vég} ppm	Idő _{üst} perc	Al _{vég} %
313	0,037	212	60	3064	60	57,78	2,40	25,81	7,99	7,23	2,39	14,78	0,055
314	0,040	240	23,94	8094	55	58,22	2,24	58,22	4,45	13,04	2,75	25,0	0,063
315	0,041	235	35,74	-	60	56,30	3,45	25,04	8,54	6,59	2,94	26,05	0,057
316	0,048	227	57,83	-	-	62,30	3,78	24,10	5,05	12,35	2,57	14,60	0,062
317	0,038	212	32,97	-	20	61,17	4,46	23,19	5,30	11,53	2,92	18,73	0,060
330	0,042	263	23,22	5791	35	53,48	4,92	28,75	6,98	7,56	3,84	34,15	0,060
331	0,056	230	45,14	-	10	59,96	3,14	24,91	6,26	9,59	2,58	20,30	0,057
332	0,046	218	24,24	-	15	59,07	3,70	25,36	5,42	10,91	2,96	20,40	0,052
333	0,048	263	20,91	-	50	-	-	-	-	-	3,18	24,48	0,051
334	0,042	229	70	-	70	55,28	4,19	28,79	5,65	9,79	3,44	27,27	0,052
átlag	0,044	233	39,4	5650	41,6	58,17	3,58	29,35	6,18	9,84	3,28	25,0	0,057

Jelölések: C_{csap}, %: karbontartalom a csapoláskor; Al, m³: csapoláskor üstbe adagolt tömbös alumínium; Ar_{csap}, l: csapolás közben az üstbe fújt argon mennyisége; Ar_{üst}, l: kezelés közben az üstbe fújt argon mennyisége; Al_{huzal}, %: az üstmetallurgiai állomáson adagolt alumínium huzal mennyisége; (CaO), (FeO), (Al₂O₃), (SiO₂): a salak összetétele; B: salak bázikussága; a_{O₂}_{vég}, ppm: kezelés végén mért aktív oxigén szint; Idő_{üst}, perc: üstmetallurgiai kezelés időtartama; Al_{vég}, %: acél alumínium tartalma a kezelés végén.

A zárványvizsgálatokat hengerelt állapotban végeztem a DIN 50602:1985 szabvány előírásainak megfelelően minden egyes mintadarab esetében 20-20 látómezőben. A tíz adag zárványvizsgálati eredményeit összefoglalva megállapítható, hogy a szulfidzárványok maximális fokozata 1-es, a soros oxidzárványok esetében a maximális fokozatszám a 3-as de leginkább a 2-es fokozatszám a gyakori. A gömbszerű oxid zárványok esetében a maximális fokozatszám 5-ös, két adag egy-egy látómezőjében találtam 4-es illetve 5-ös fokozatú gömbszerű oxid zárványokat, de az átlagos fokozatszám –középértéket alapul véve– 1,4-1,5 körüli, ami megfelelő tisztaságú acélra utal.

3.4 Összefoglalás

Az acél üstmetallurgiai kezelése során nyugodt fürdő nem létezik, ennek ellenére igaz, hogy a Stokes törvénynek megfelelően a nagyobb méretű zárványoknak a turbulens áramlás esetén is nagyobb esélyük van a salakfázisba történő flotációra. A kellő tisztaság eléréséhez kellő ideig végzett lágy argonos átöblítésre van szükség.

Az acéolvadék inertgázzal végzett átöblítése többféle hatást gyakorol az adagra: csökkenti annak hőmérsékletét, így az öntés kezdő hőmérséklete optimalizálható. Ezen túl az oldott gáztartalmat (főleg hidrogéntartalmat) csökkenti, illetve amennyiben az acélfürdőben a gázátöblítés intenzív fürdőmozgást biztosít, úgy az acélfürdőben kimutatható kémiai ill. hőmérsékleti inhomogenitás csökkenthető. A fürdőmozgás ezen túlmenően a nemfémes zárványok felúszását is segítheti, amennyiben megfelelően választjuk meg a technológiai paramétereket, azaz optimalizáljuk az áramlási viszonyokat. A turbulens áramlás során az acéltisztaság javítása érdekében az acél felúszás sebességét csökkenteni kell, ezt a gyakorlatban úgy lehet elérni, hogy az argon térfogat áramát 50-100 Ndm³/perc értékre kell csökkenteni. Az üst aljába épített öblítőkövön keresztül történő argonos átöblítés paramétereinek optimalizálása érdekében végzett kísérleteim eredményei a két lépésben végzett argonozást mutatják leginkább hasznosnak. A 300-500 Ndm³/perc körüli argon intenzitással a kémiai, ill. hőmérsékleti inhomogenitás valóban csökkenthető, célszerű ezt a periódust 5-8 perc körüli intervallumban tartani. Az ilyen nagy intenzitással végzett argonozás a zárványtalanítás szempontjából káros, ugyanis a gyorsabban felfelé áramló acéolvadékokban egyre kisebb valószínűséggel fognak a zárványok a buborékokhoz kötődni, a buborékokhoz nem kötődő zárványokat viszont a nagy sebességű acéolvadék nem csupán felfelé viheti magával, hanem -rontva a zárványtisztaság növelésének hatékonyságát –a felszín közelében visszamaradva a fürdő belsejébe is visszakeverheti. Ezen túl a nagy intenzitással végzett argonozásnál –amennyiben az acélt fedő salak megfelelő viszkozitással rendelkezik- a feláramló argon buborékok hatására az üstben az acél felületén egy salakkal nem fedett domb keletkezik, melynek magassága 0,24-0,35 m-, átmérője pedig 0,6-0,72 m. Ebben a salakmentes foltban egyrészt a buborékokhoz nem kötődő zárványok nem tudnak stabilizálódni, mivel nincs mihez kötődniük, mert nincs jelen az őket befogadni képes salakréteg, nagy valószínűséggel visszasodródhatnak a fürdőbe. Ezen túl az acélfürdő a levegő oxigénjével érintkezik, így reoxidálódik, ez által az acél oxidzárvány tartalma növekszik. Az argonozásra rendelkezésre álló idő hátra lévő részében a zárványok felúszásának elősegítése érdekében mindenképpen csökkenteni kell az argon gáz térfogatáramát. Igaz ugyan, hogy lágyöblítés esetén az argonbefúvatás mennyiségének csökkenésével csökken a felúszási sebesség is az egész térben, de így a salakréteg alá áramló acélban lévő zárványoknak több idejük van a turbulens diffúzió és a felhajtóerő miatti felúszásra.

Ezek alapján az argonozás lépései a következők lehetnek optimális áramlási viszonyok mellett:

- | | |
|--|----------------------------------|
| a. hőmérsékletének csökkentése (erős keverés) | 300-500 Ndm ³ /perc , |
| b. homogenizáló öblítés (közepes keverés) | 250-300 Ndm ³ /perc, |
| c. diffúziós dezoxidálás (gyenge keverés) | 150-200 Ndm ³ /perc |
| d. tisztító (zárványtalanító) öblítés (lágy keverés) | 50-100 Ndm ³ /perc |
- argon intenzitás alkalmazása a célszerű.

3.5 Tézisek

1. A FLUENT-szoftverrel elvégzett szimulációs kísérletek eredményei szerint az acéolvadék üstfenéken keresztül történő argonos átöblítése hatására az acél felszíne salakmentessé válik. A salakmentes acélfelszín jellemzői a szimulációs kísérletek alapján:

Argon térfogatáram [Ndm^3/perc]	200	300	400
Salakmentes felszín rész sugara [m]	0,3	0,33	0,36
Acélfelszín magassága [m]	2,85	2,85	2,85
Kidomborodás magassága [m]	0,24	0,3	0,35
Maximális sebesség [m/s]	2,1	2,2	2,4

2. A FLUENT-szoftverrel elvégzett kísérletek eredménye szerint a különböző technológiai cél elérése érdekében különböző argonátöblítési értékek a mérvadóak:

- Az acéolvadék hőmérsékletének csökkentése érdekében erős keverést, nagy argon térfogatáramot ($300\text{-}500 \text{ Ndm}^3/\text{perc}$) alkalmazunk.
- Homogenizáló öblítés céljára közepes térfogatáram ($250\text{-}300 \text{ Ndm}^3/\text{perc}$) használandó.
- Dezoxidálás vagy kéntelenítés elősegítésére gyenge keverést ($150\text{-}200 \text{ Ndm}^3/\text{perc}$) kell használni.
- Tisztító, zárványtalanító öblítés esetén lágy öblítést ($50\text{-}100 \text{ Ndm}^3/\text{perc}$) alkalmazunk.

Ezen javaslatok alapján végzett üstmetallurgiai kezelések –különös tekintettel a lágyöblítésre– tisztaságjavító hatását a hengerelt lemezekből vett mintákon DIN 50602:1985 szabvány szerint zárványvizsgálatokkal ellenőriztem. Az üzemi kísérletekben az argon kezdeti térfogat árama $400\text{-}500 \text{ Ndm}^3/\text{perc}$ volt, ezt követően a 25-30 perces kezelés utolsó harmadában lágy öblítéssel igyekeztünk az acél tisztaságán javítani. A kísérletek során tapasztaltam, hogy az acéolvadékot megfelelő, híg folyós salak fedte, ami azt jelenti, hogy a felúszott zárványoknak lehetőségük volt az acéolvadékból való kikerülésre.

A zárványvizsgálat eredményeit összefoglalva megállapítható, hogy a szulfidzárványok maximális fokozata 1-es, a soros oxidzárványok esetében a maximális fokozatszám a 3-as de leginkább a 2-es fokozatszám a gyakori. A gömbszerű oxid zárványok esetében a maximális fokozatszám 5-ös, két adag egy-egy látómezejében találtam 4-es illetve 5-ös fokozatú gömbszerű oxid zárványokat, de az átlagos fokozatszám –középértéket alapul véve– 1,4-1,5 körüli, ami megfelelő tisztaságú acélra utal.

4 Az acéolvadék tisztaságának vizsgálata érdekében vett érempróbák használhatósága

4.1 Bevezetés

Az acéolvadék argonos átöblítése kapcsán végzett üzemi kísérletek zárványtartalomra vonatkozó elemzési eredményei felhívták a figyelmet az alkalmazott próbavételi eljárás hibáira. Jelenleg a Dunaferriben az érempróbákból csak az acél kémiai összetételét határozzák meg a konverterből való csapolást követően, illetve az üstmetallurgiai állomáson kezelés előtt és után, valamint a folyamatos öntőművön. Az érempróbák előkészítését követően spektrométeres eljárással határozzák meg a kémiai összetételt. Ez a folyamat 2-3 percet vesz igénybe, a kapott eredményeket a vizsgáló laboratórium azonnal továbbítja az acélgyártó felé. A kevésbé szennyezett acél gyártására a Dunaferriben is törekszenek, ezért beszerzésre került egy spektrométer amely segítségével a gyártási folyamat alatt képet kaphatunk az acél tisztaságáról. A zárványvizsgálati eredményeket az üstmetallurgiai kezelésnél felhasználhatják a technológiai paraméterek beállítására, mivel az érempróba szennyezettségéről –a minta vizsgáló laborba történő érkezésétől számított– 2-3 perc elteltével információt kapnak.

Az OES-PDA (impulzusmagasság válogatással végzett optikai emissziós spektrometria) vizsgálati technika rutinszerű alkalmazásának bevezetésére kísérleti program indult a Dunaferriben. A kísérleti gyártás során vett érempróbák röntgenes vizsgálata fényt derített arra, hogy azok olyan mértékű salak és gázbezáródásokat tartalmaznak, amelyek a spektrometriás zárványvizsgálatok eredményeit károsan befolyásolhatják, így a salak- és gázbezáródások kiküszöbölése érdekében a mintavételi eljárások fejlesztésére van szükség.

4.2 Az acéolvadékból történő mintavétel lehetőségei

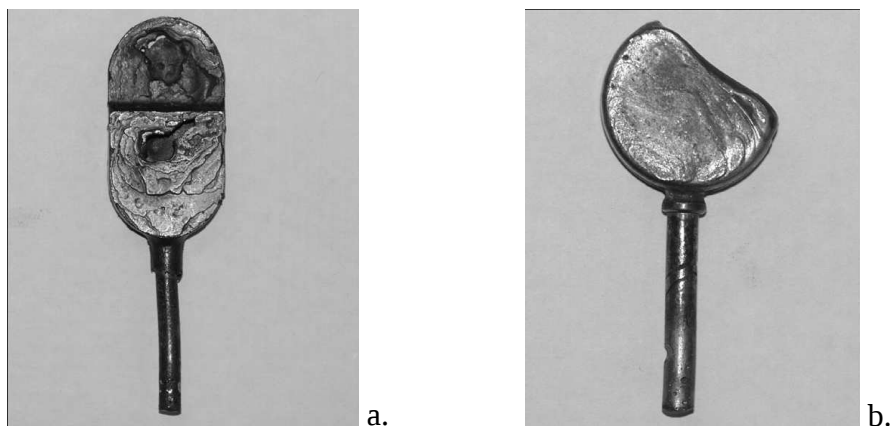
Ahhoz, hogy az acéolvadékban lévő zárványokról, az acéolvadék tisztaságáról pontos képet kapjunk, olyan mintát kell venni, amely a következő tulajdonságokkal rendelkezik [25].

- jellemezze az adagot,
- megismételhető legyen,
- salakbezáródásoktól, porozitástól és lunkerektől mentes legyen,
- a zárványok eloszlása homogén legyen a mintában,
- teljesen kitöltött legyen a minta,
- a felület felületi érdessége minimális legyen (próba előkészítés miatt).

A mintavételi eljárással szemben támasztott követelmények a következők.

- azonos mintavételi mélység,
- a mintavevő szonda salakkal szembeni védelme megfelelő legyen,
- a szonda szára megfelelően vastag kartonból készüljön, ne égjen el a mintavétel során,
- a szonda olcsó legyen.

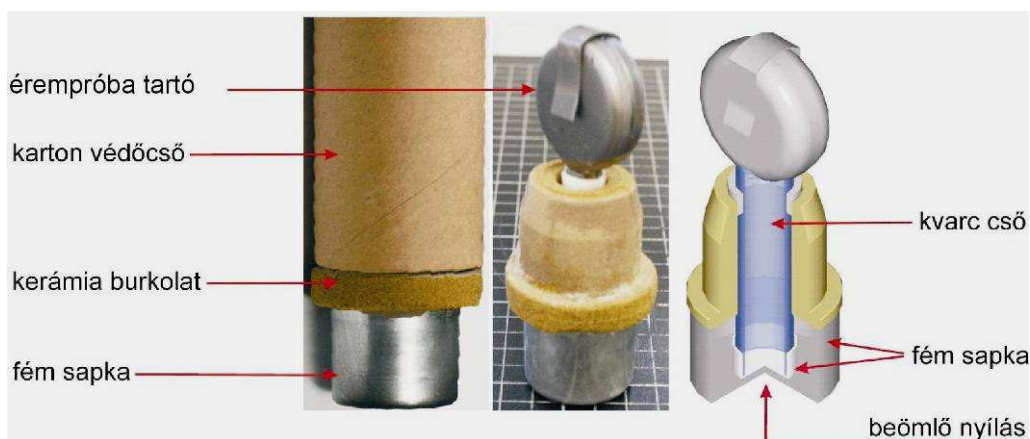
Ahhoz, hogy a mintavétel a kívánalmaknak megfelelően történjen, elengedhetetlen, hogy a szondák megfelelő tárolását biztosítsuk. Az 4.1. ábrán nem megfelelően kitöltött érempróbák láthatók [25], a szonda merülési mélysége nem volt megfelelő, a szondában lévő érempróba tartót nem töltötte ki megfelelően az olvadék.



4.1. ábra

Nem megfelelően kitöltött minta [25]

Az érempróba kivétele történhet kézi- vagy automatikusan vezérelt szondával az üstmetallurgiai állomáson illetve a folyamatos öntőművön a kristályosítóból. A zárványok vizsgálatára a vízben történő hűtést követően kerülhet sor. A 4.2. ábra mutatja a mintavevő szonda felépítését [29].



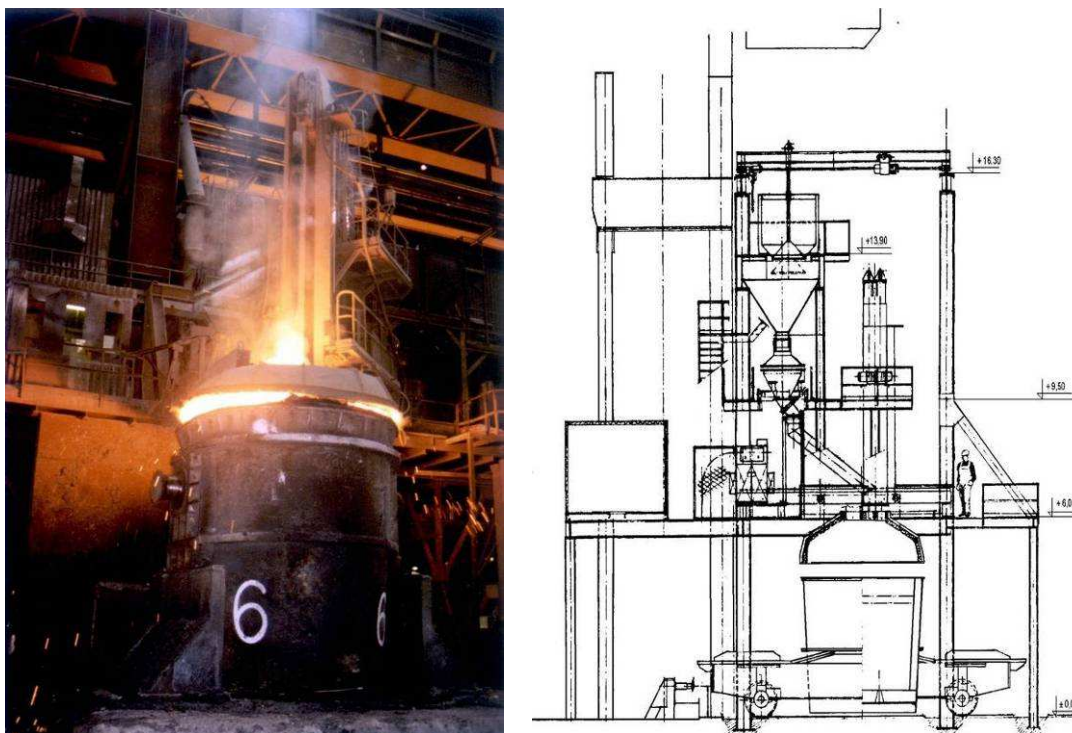
4.2. ábra

A mintavevő szonda felépítése

A mintavevő szonda felépítése kiforrott technológia, vannak nemzetközileg elfogadott cégek (MINCON, Heraeus Elektro-Nite, stb.), melyek ezeket világszerte forgalmazzák különböző dezoxidáló anyagból készült védőlemezekkel.

4.3 Üzemi kísérletek

A kísérleti programban szereplő adagok esetében az üstmetallurgiai állomáson a folyékony acélból három technológiai állapotban történt mintavétel: a csapolás valamint ötvözés után illetve az argonos átöblítés közben és után. A 4.3. ábra az üstmetallurgiai állomás részletét mutatja.

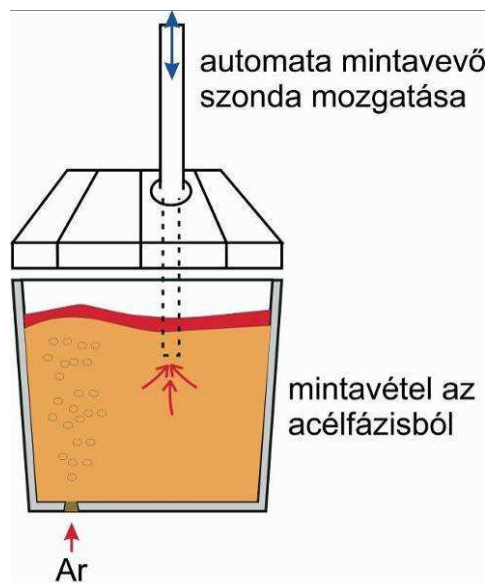


4.3. ábra

SL berendezés, illetve üstmetallurgiai állomás a Dunaferriben

A mintavétel során, az üstmetallurgiai állomáson a szondát a salakrétegen keresztül az acéolvadékba juttatják. A salak érempróba tartóba jutását a lágyacél védősapka akadályozza meg, mivel az csak azt követően olvad el, hogy a szonda a salakrétegen átjutott és elérte az acéolvadékot. Ezt követően az acél a vékony kvarc csövön keresztül az érempróba tartóba kerül. A szondát ekkor kihúzzák az acéolvadékból, eltávolítják –a még teljesen el nem égett vastag karton védőcsővel együtt- az érempróba tartót a benne lévő érempróbával együtt. A karton védőcső és a érempróba tartó mechanikus úton történő eltávolítását követően az érempróbát vízben hűtik. Ha a minta közel szobahőmérsékletűre hűlt, az adagra és a technológiai állapotára jellemző azonosítóval együtt a vizsgáló laboratóriumba juttatják, ahol a fent már említett gyorsasággal igyekeznek az adag kémiai összetételéről informálni az acélgyártót. A kémiai összetételre vonatkozó adatok a mintavétel időpontjának megjelölésével az ún. acélgyártási lapra kerülnek. Ezt a lapot –rajta az acél gyártási körülményeinek legfontosabb adataival- utólagos vizsgálat vagy reklamáció során a gyártási hiba felderítésénél fel lehet használni. Kísérleti programban részt vevő adagok gyártásának nyomon követése –az alkalmazott üstmetallurgiai kezelés és az érempróba zárványosságá közötti összefüggések felderítése- céljából tanulmányoztam ezeket a lapokat.

A 4.4. ábra szemlélteti az automata szondával végzett mintavétel lényegét. Ezzel az eljárással eleget teszünk annak a mintavételi feltételnek, hogy a mintavétel lehetőleg mindig azonos helyről történjen.



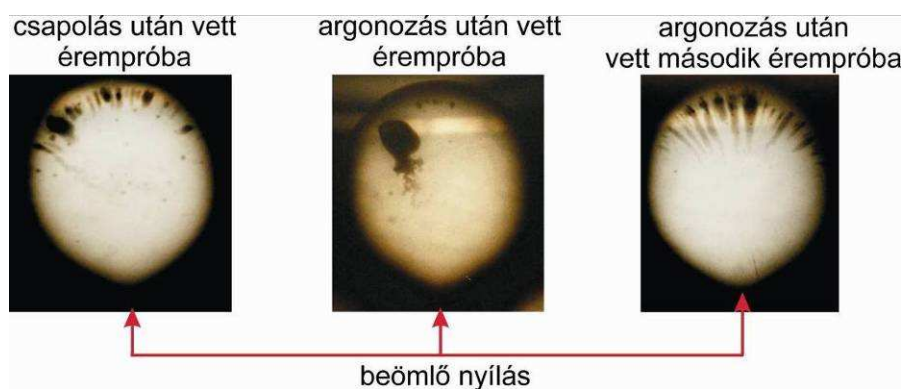
4.4. ábra
Érempróba vétele automatikus mintavevővel

A mintavételt követően az érempróbák színeképelemzés céljára történő felhasználás előtt felületi maráson illetve csiszoláson esnek át és többnyire alkalmasak vizsgálatokhoz. (amennyiben az érempróbák szemmel láthatóan lunkeresek, úgy vizsgálatra sem kerülnek).

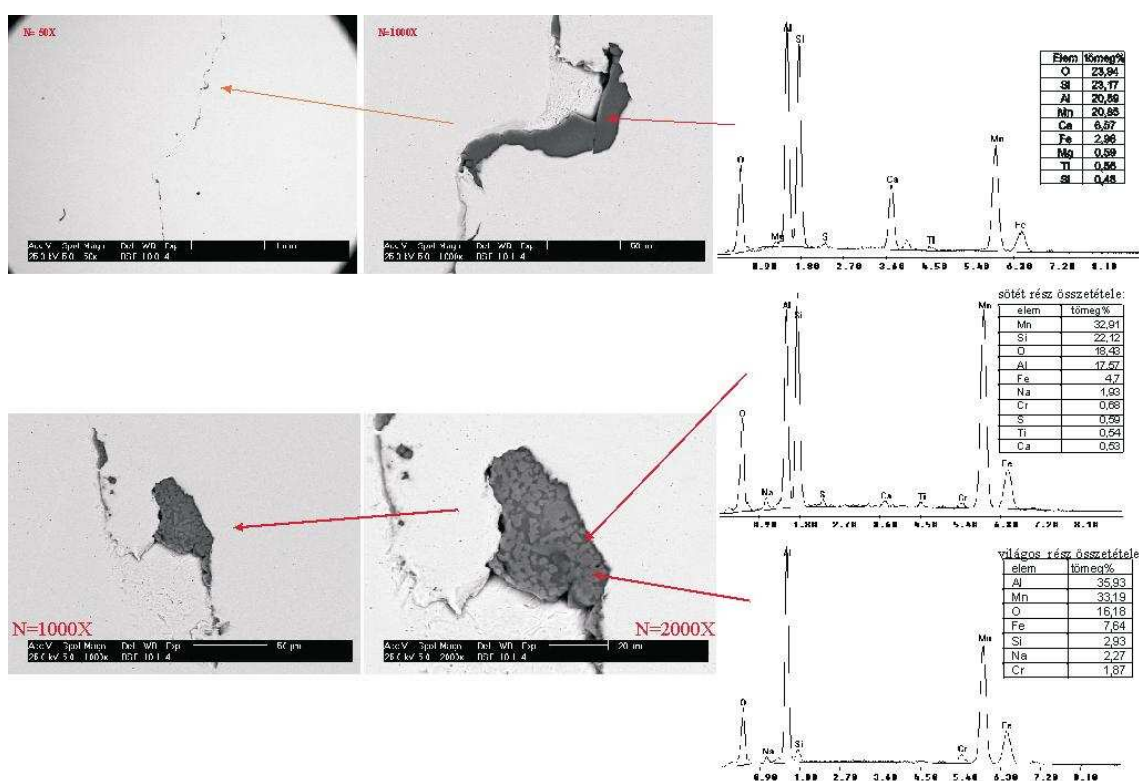
4.3.1 Kísérleti gyártás során vett érempróbák

A kísérletben szereplő adagok mindegyikéből öt technológiai állapotban vettünk érempróbát a röntgenes vizsgálatok céljára: a csapolás után (az üstmetallurgiai kezelés megkezdése előtt), a kezelés közben, illetve a kezelés után, valamint a folyamatos öntőművön két alkalommal. A 4.5. ábra egy tetszőlegesen kiválasztott adagból vett érempróbákat mutat. A röntgenfelvételeken jól látható, hogy a mintadarabok mindegyikében gázbezáródás (fekete színű részek) illetve salakbezáródás található (szürke színű részek, amelyek az érempróba közepe felé mutatnak sugár irányban).

Az érempróbákban talált bezáródásokat pásztázó elektronmikroszkóppal, illetve mikroszondával vizsgáltam meg. A vizsgálati eredmények egyértelműen igazolják a a röntgenvizsgálatok során tapasztaltakat: valóban salakbezáródás található az érempróbákban a röntgenvizsgálat által mutatott helyeken. A 4.6. ábra salakbezáródásokról készített elektronmikroszkópos felvételt és mikroszondás kémiai összetétel mérési eredményt mutat.



4.5. ábra
Az érempróbákról készített röntgenfelvételek

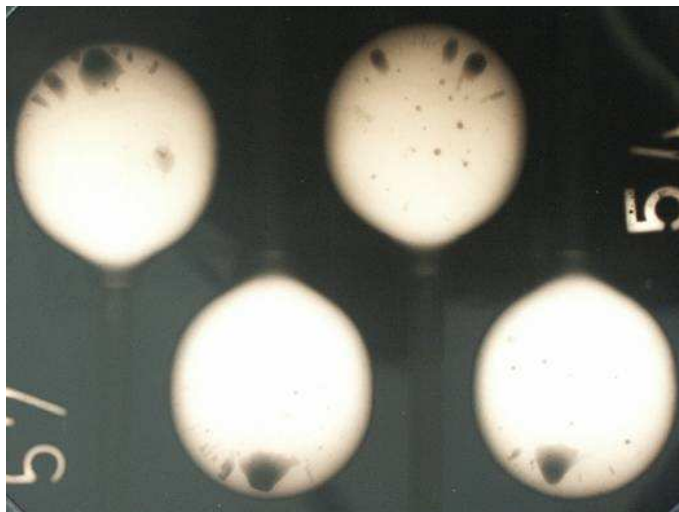


4.6. ábra

Az érempróbákban található salakbezáródásokról készített elektronmikroszkópos felvételek és mikroszondás mérési eredmények

Az érempróbák belső szerkezete azt mutatja, hogy bárhol és bármikor veszünk is próbát, a beömlő nyílással ellentétes oldalon jelentős a lunker, illetve a salakbezáródás.

A kapott eredményeket figyelembe véve megnöveltük a mintavétel helye és a salakréteg közötti távolságot úgy, hogy a mintavető lándzsára egy toldó alkatrészt szereltek, amely segítségével a mintavétel salakrétegtől mért helyét 150 mm-el megnövelték. A mintavételi mélység növelésével az érempróbák kisebb mértékű salakosságát vártuk, de a várakozásoktól eltérően nem csökkent a salak mennyisége a próbákban (lásd 4.7. ábra).



4.7. ábra

A kísérleti gyártású adagokból tetszőlegesen kiválasztott érempróbákról készített röntgenfelvétel a mintavétel helyének megnövelése után



4.8. ábra

Lunkeres érempróbáról készített makrofotó

A mintavétel helyének megváltoztatását –a bemerülési mélység növelését– követően az érempróbák tartalmaztak salakbezáródásokat és lunkereket. Ezért más mintavételi módszer alkalmazására volt szükség.

A Magyarországon működő –mintavevő szondákat előállító– SONDEX ill. az AROSA Kft. felé jeleztük az üzemben tapasztalt problémákat, a megoldásukra a mintavevő szondák fejlesztését illetően az alábbi következtetésekre jutottunk. A szondák előállítása során figyelembe veszik a jelenlegi próbavételi rendszer fejlesztését céljainknak megfelelően. Párhuzamos üzemi mintavételi kísérletek elvégzésére a külföldi piacokon leginkább bevált MINCON típusú szondákat is összehasonlításképp bevetettük.

A próbavételi rendszer fejlesztését könnyíti, hogy 2003-ban a MINCON Sampler Technik GmbH [26] kidolgozta a maga változatát a színeképelemzéseknél egyébként világszerte bevált és elterjedt érempróba vevők fejlesztésére (ezzel is bizonyítva, hogy a gáz- és salakbezáródások elleni küzdelem helyes), s tekintettel arra, hogy a SONDEX által hazánkban forgalmazott érempróbák is a MINCON szondákat képezik le, a fejlesztésben előre tartók tapasztalatai beépíthetőek.

A fejlesztés az alábbiakból áll: amíg a klasszikus szondáknál a mellékletben szereplő 4.1. ábra szerinti munkavégzés történik 5 lépésben, addig a szondák zárvány vizsgálatra alkalmas mintákra fejlesztett változatánál a próbavevőn keresztül a fürdőbe merítés során argonbefúvatás történik azért, hogy az argon egyrészt a próbavevő fürdőbemerülése során a gáz- és salakbezáródásokat megakadályozza (C állapot), másrészt a próbavevőben rekedt, vagy oda bejutó gázok maradékát is kiszippantsa (D állapot). Így várhatóan az érempróbákban salakzárvány vagy egyéb lunker csak annyi mutatható ki, ami a megszilárdulás kori fajlagos térfogat zsugorodásnak felel meg. Lunker mentes érem tehát nem létezik, de ennek elhelyezkedése a befúvás - szívás mentén behatárolható, kezelhető.

Az új próbavételi rendszer alkalmazhatósága érdekében egy kísérletsorozat indult a Dunafer Acélművében. A vizsgálatokhoz szükséges műszerezettséget az AROSA Kft biztosította a MINCON GmbH segítségével, az automatikus mintavevők beállítása jelentős gépészeti előmunkát igényelt, így e kísérletsorozat ugyan jó kiinduló alapként szolgált a fejlesztéseknél, de mivel a gáz- és salakbezáródások továbbra is jelentkeztek (lásd. a mellékletben szereplő 4.2. ábrát), a kísérletek megnyugtató eredménnyel nem voltak lezárhatók. Az érempróbák vizsgálati eredményei alapján az alábbi megállapításokat tehetjük,

- a klasszikus szondáknál a kísérletek során nyert minták jobbak voltak salak- és gázbezáródás tekintetében, mint a korábban vett érempróbák lunkeressége,
- az új argonbefúvatási technika lényeges elmozdulást a bezáródások tekintetében nem mutatott,
- az új argonbefúvatási technika mellett kisebbek az elemzések szórásai, amelyekből eredően a minták homogénebbnek tekinthetők.

Az első fejlesztési kísérletsorozatot követően a fejlesztések irányait módosítottuk. Maradt az argon befúvatási ötlet, a MINCON- leírást alapul véve, azonban állandó értéként rögzítésre került egy hosszabb argonozási időszak (4 sec), garantálva, hogy ez idő talán elég az esetleges gáz és salakbezáródások meggátolásához. Az argon próbavevőn keresztüli befúvásának időtartama tovább már nem növelhető, mivel a szonda védőcsőve kartonból készül, ennél a mintavételi időnél többet nem bír ki, ugyanis a kezelés hőmérsékletén elég. Tervbe vettük, hogy a klasszikus SONDEX érempróbák és az argonos befúvatással működő klasszikus SONDEX érempróbák mellett Zr-os védősapkás MINCON-szondák is felhasználásra kerülnek az üstben és a folyamatos öntőművön a kristályosítóban egyaránt.

Az újabb egy hetes (azaz második) kísérletsorozatnál a mintavétel technikailag megfelelőnek bizonyult, de a gáz és salakbezáródások nem maradtak el (lásd a mellékletben szereplő 4.3. ábrát). Nincs lényeges különbség a három különböző típusú érempróba között, így valószínűleg a megoldás nem a próbavevők cseréjén alapul, hanem egyelőre meg kell békélni azzal, hogy a befúvatás-szívás tengelyében, a beömléssel szembeni oldalon marad egy üreg, ami szívással sem távolítható el (valószínűleg a gyors dermedés miatt), de az meggátolandó, hogy a gázüregbe salak is beáramoljon.

A kísérletsorozat eredményeiből az alábbi következtetések vonhatók le:

- döntő a próbavétel helyén a megfelelően híg folyós salak biztosítása, hogy a védősapka a salakbezáródások összegyűjtésében ne legyen kiindulópont,
- miután az automatikus próbavételnél az előbbi nehézségekbe ütközik, így a kezelést megelőzően alumínium kohászati salak növelt mennyiségével, vagy

szintetikus salak alkalmazásával a salak fizikai-kémiai állapotát javítani szükséges,

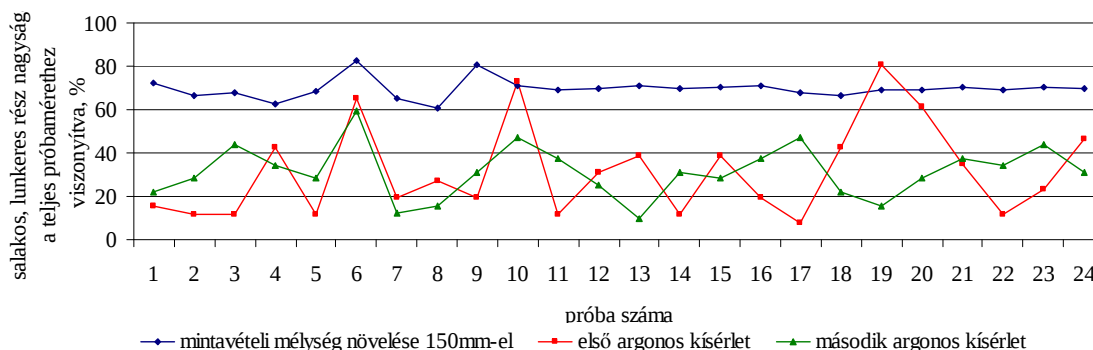
- s miután az előző kettő is bizonytalanságot hordozhat magában, egyelőre az új berendezés tesztelésében célszerűbb a kristályosítóból vett próbákat alapul venni, hiszen ott kézzel történik a mintavétel, jobban lehet a salak eltávolítására ügyelni.
- az első három pontból még mindig maradó bizonytalanság elkerülésére zárványvizsgálathoz az érempróba beömlő felőli fele használandó.

A mintákon eddig elemzett zárványossági adatok csak akkor kerülhetnek értékelésre, ha ez utóbbit vesszük alapul, azaz az elemzésre kijelölt terület a beömlő oldali félbe esik.

4.3.2 Érempróbák lunckerességének, salakosságának vizsgálata

Annak megállapítására, hogy az érempróbákat milyen mértékben szennyezik a salak és gázbezáródások, az egyes kísérletsorozatokról vett érempróbák röntgenfelvételein számítógépes képelemzős (Leica-Cambridge Q500MW) méréseket végeztem. Az érempróbák beömlő nyílásának tengelyében meghatároztam az érempróba átmérőjét, illetve –ugyancsak ebben a tengelyben– a beömlő nyílással szemköztől oldaltól azt a méretet, amelyen belül salak (szürke színű) vagy gázbezáródás (fekete színű) detektálható. A kapott méretet az eredeti átmérőhöz viszonyítottam és megkaptam, hogy az érempróbának hány százaléka tekinthető hibásnak. Tulajdonképpen ez az a rész, amelyet a későbbi zárványvizsgálathoz ki kell zárni.

A mérési eredményeket a 4.9 diagramban és a 4.1 táblázatban szemléltetem. Látható, hogy annál a kísérletsorozatnál, ahol a mintavételi mélység salakfázistól mért távolságát 150 mm-el megnöveltük, a legmagasabb a hibás rész aránya, átlagosan 69,6%, a szórás pedig 4,8 volt. Az első argonbefúvós kísérletsorozatnál a hibás rész nagysága 31,4% volt, igaz ezeknél az érempróbáknál a hibás rész gyakran a próba közepére vagy a beömlő nyíláshoz közel esett. A mérési eredmény nagy szórása (21,3) is mutatja, hogy mennyire bizonytalan ez a mintavételi sorozat. A második argonbefúvós kísérletsorozatnál, amikor a befúvás időtartamát 4 másodperccel megnöveltük, a hibás rész nagyságának átlaga gyakorlatilag nem változott, a szórás viszont 11,9-re csökkent.



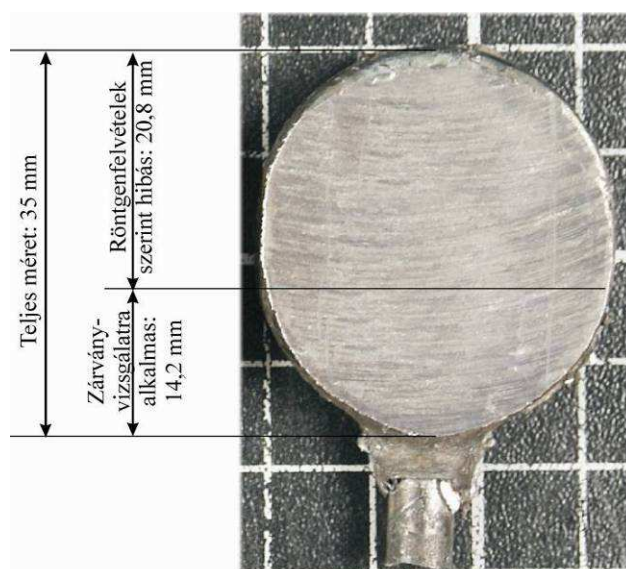
4.9. ábra

A hibás rész aránya a három kísérletsorozatban vett érempróbák esetén

4.1. táblázat: az érempróbák hibás részének aránya (a mérési eredmények átlaga és szórása)

Hibás rész nagyságának mérési eredményei	Kísérletsorozat – 150 mm-el megnövelt mintavételi mélység	Kísérletsorozat – argonos mintavevő alkalmazása	Kísérletsorozat – argonos mintavevő alkalmazása, befűtés +4 másodperc
maximum	82,609	80,769	59,375
átlag	69,606	31,410	31,250
szórás	4,583	21,389	11,980

A kapott vizsgálati eredményeket összegezve megállapítható, hogy abban az esetben, ha argonos mintavevőt használunk az érempróbák acélfürdőből való kivételére, és a próbavevőn keresztüli argonbefűtés időtartamát igyekszünk a maximális érték (4 másodperc) közelében tartani, akkor a zárványvizsgálatok céljára az érempróbák beömlő része felől a 4.1 összefüggésből adódó 14,2 mm-nél kell kivágni a metallográfiai csiszolatot az a 4.10 ábrának megfelelően.



4.10. ábra

Metallográfiai csiszolatok kivételi helye a röntgenfelvételeken végzett mérések eredményei szerint

$$M = T - \frac{T \cdot H_{max}}{100} [mm] \quad (4.1)$$

Ahol M a metallográfiai csiszolat hossza a beömlő rész felől mérve [mm], T az érempróba átmérője a beömlő tengelyében mérve [mm], H_{max} az érempróba hibás részének maximális mérete, nagysága a röntgenfelvételeken végzett képelemzős mérések eredménye szerint 59,37%.

A kapott mérési eredmények és a csiszolatok általam megjelölt kivágási helye csak az azonos geometriájú mintavevők esetében érvényesek azonos mintavételi paraméterek mellett. A mérési eredmények azonban elengedhetetlenül fontosak, ugyanis a nem megfelelő helyről vett metallográfiai csiszolat –a próbaelőkészítés során előtűnő salak és gázbezáródások miatt– nehézkessé teszi a mikroszkópos vizsgálatot, adott esetben értékelhetetlen lesz a felületet.

4.4 Összefoglalás

Az utóbbi évtizedben bevált acélműi gyakorlat, hogy az adag elemzésekhez ún. érempróbákat használnak kézi- vagy automatikusan vezérelt szondák segítségével. A különböző spektrométerekkel a próbákon (mintákon) elemzett összetételek 2-3 perc elteltével állnak rendelkezésünkre, tehát jól segíthetik az adagvezetést.

Az elmúlt években kifejlesztett OES-PDA (impulzusmagasság válogatással végzett optikai emissziós spektrometria) elvben lehetővé teszi ezen érempróbákból a zárványosság vizsgálatát az üstmetallurgiai állomáson vett próbák esetében, így 2-3 perc elteltével információt kaphatnánk az acél zárványosságáról és lehetőségünk válna a lépcsős dezoxidáció folyamatába beavatkozni. Ez vezérelt akkor, amikor megvizsgáltam, hogy a kémiai összetételi vizsgálatokhoz alkalmasnak tartott érempróbák alkalmasak-e zárványossági vizsgálatához is. A kísérleteim során, röntgenvizsgálatok alapján beigazolódott, hogy az érempróbákban gyakori a gázbezáródás, a salakbezáródás. Mindez olyan idegen anyagoknak a próbavevőbe bejutását jelenti, amely bizonyosan meghamisítja a zárványvizsgálati eredményeket.

Ezt követően vizsgálataimra építve –a próbavevőket gyártók bevonásával- a próbavevő-rendszer korszerűsítésére került sor. A próbavételi hibák megoldására egy több lépésben végzett kísérleti program indult, melynek során először a mintavétel salakrétegtől mért mélységét 150 mm-el megnöveltük. A próbadarabok salakossága továbbra is fennállt, ezért a következő lépésben argonos mintavevő szondát alkalmaztunk. Mivel a próbadarabok salakossága továbbra is jelentkezett a röntgenfelvételeken, újabb kísérletsorozat indult. A kísérletek következő lépéseként a mintavétel során alkalmazott argon befúvás időtartamát növeltük meg 4 másodpercre. Ez az időtartam 4 másodpercnél nem lehet több, ellenkező esetben a mintavevő karton védőcsőve elég. Az argonbefúvás azért történik, hogy az argonáramlás (neutrális gázként) egyrészt a próbavevő fürdőbemerülése során a gáz- és salakbezáródásokat megakadályozza, másrészt a próbavevőbe rekedt, vagy oda bejutó gázok maradékát is kiszorítsa. Így az érempróbákban salakzárvány vagy egyéb lunker csak annyi mutatható ki, ami a megszilárduláskori fajlagos térfogat zsugorodásának felel meg. Mindemellett persze az is igen fontos, hogy a salak fizikai állapotán (higfolyóosságán) javítsuk, hogy a próbavevő fürdőbejutását megelőzően a salakfelrakódások elkerülhetők lehessenek.

Az érempróbáknál a röntgenvizsgálatokkal kimutatható lunkeresség elkerülésére (csökkentésére) törekszenek világszerte, hiszen ebből eredően indította be a MINCON GmbH is argonos vákuumos próbavételi technikáját.

Tökéletesen leképezve a MINCON tapasztalatait a jelenleg alkalmazott SONDEX szondák mellett vizsgálatra kerültek a MINCON típusú szondák is, s a végeredmény felemás: behatárolható a beömlőnyílással szembeni területen a lunkeresség (pozitív eredmény), de nem volt teljesen eltüntethető (negatív eredmény). Valószínűsíthető, hogy lunkermentes minta nincs is, hiszen dermedés során a lehülés közbeni zsugorodás eleve lunker képző hatású, de mindenképp meggátolandó, hogy ezen lunkerekbe exogén zárvány szívódhasson be, s ha ez meggátolható, akkor a lunkeresség elhelyezkedésének behatárolásával kijelölhető az a háromszög alakú terület, ahol a zárványosság előrebecslése megtörténhet.

A Dunafer acélművében végzett kísérletsorozat eredményeit figyelembe véve a jövőben a zárványvizsgálatot a salakrögök és a lunkerek érempróbában feltételezett helyét elkerülve kell végezni. A mintavételi kísérletek eredményeit röviden összefoglalva elmondható, hogy a tiszta acélt előállító vállalatok tapasztalatainak megfelelően a Dunaferben is törekedni kell arra, hogy a zárványvizsgálatra átadott

érempróbában a vizsgálandó zárványok eloszlása homogén legyen. Nem várható el, hogy tökéletesen salak és lunkermentes legyen a próba, viszont nagy biztonsággal ki tudjuk jelölni azt a területet, amelyből nem szabad zárványvizsgálatot végezni. A próbának azon része, amelyet zárványvizsgálatra előkészítünk, viszont az adott technológiai állapotra jellemző zárványokat homogén eloszlásban tartalmazza az új argonos (vákuumos) mintavevő használata mellett.

Az érempróbák röntgenvizsgálati eredményeit összegezve megállapítható, hogy abban az esetben, ha argonos mintavevőt használunk az érempróbák acélfürdőből való kivételére, és a próbavevőn keresztüli argonbefúvás időtartamát igyekszünk a maximális érték (4 másodperc) közelében tartani, akkor a zárványvizsgálatok céljára az érempróbák beömlő felőli részétől számított 14,2 mm-nél kell kivágni a metallográfiai csiszolatot.

4.5 Tézisek

1. Mivel a dermedés során a lehűlés közbeni zsugorodás eleve lunkerképző hatású, így lunkermentes minta nincs, de meggátolandó, hogy az érempróbákba exogén zárványok szívódhassanak be, mert akkor a zárványossági vizsgálatok eredményei eleve hamisak.

A mintavételi kísérletsorozat eredményei alapján megállapítható, hogy az érempróbák salakossága és lunkeressége vákuumos mintavételi eljárás alkalmazásával csökkenthető, ha a próbavevőkön keresztül próbavétel során kellő időtartamig (4 sec) argon gázt vezetünk.

2. Érempróbák zárványvizsgálata a beömlés oldalán történhet, mert a beömléssel szembeni oldalon a gyors dermedés miatt kialakuló szívódási üreg a mérési eredményeket meghamisíthatja. A zárványvizsgálatra alkalmas részt az alábbi összefüggésnek megfelelően kell a beömlő nyílás felől kijelölni:

$$M = T - \frac{T \cdot H_{max}}{100} [mm] \quad (4.1)$$

ahol M a metallográfiai csiszolat hossza a beömlő rész felől mérve [mm], T az érempróba átmérője a beömlő tengelyében mérve [mm], H_{max} az érempróba hibás részének maximális mérete, nagysága a röntgenfelvételeken végzett képelemzős méréseim eredménye szerint 59,37%. Így M értékére 14,22 mm adódik.

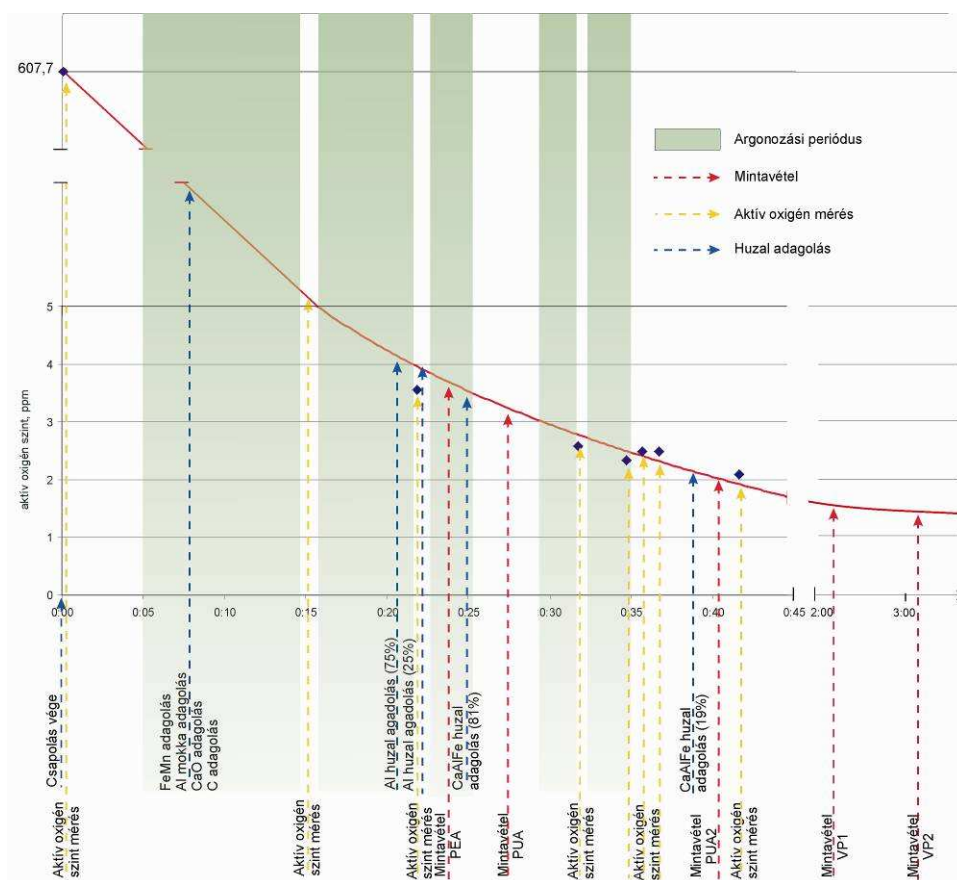
5 A folyékony acélfürdőből vett érempróbák zárványvizsgálati eredményeiből levonható következtetések

5.1 Acél oxigéntartalmának csökkenése a dezoxidáció során

Az acélfürdő aktív oxigén tartalmának csökkentése a csapolás után FeMn, illetve alumínium mokka (valamint dezoxidációs koks) üstbe történő adagolásával kezdődik (elődezoxidáció). A csapolás végétől az üstmetallurgiai kezelés végéig az acél aktív oxigén tartalmának csökkenését az 5.1. ábra szemlélteti az alkalmazott kezelésekkel, mintavételekkel, illetve argonozási periódusokkal együtt. Az üstben végrehajtott elődezoxidációt követően az acél aktív oxigén tartalma még magas, ezért szükséges a további csökkentése az üstmetallurgiai állomáson alumínium huzal adagolásával. Miután sikerült az acél aktív oxigén tartalmát 3,46 ppm alá csökkenteni, CaAlFe huzal adagolásával igyekszünk átalakítani a dezoxidáció során képződött alumínium oxid zárványokat kalcium aluminát zárványokká. Az acélban maradó alumínium oxid zárványok rontják a késztermék mechanikai tulajdonságait (anizotrópiát okozhatnak), ezen túl a folyamatos öntőművön az öntökagyló szűkületét idézhetik elő az által, hogy a tűzálló falazatra illetve egymáshoz tapadnak. Azért, hogy megszüntessük ezt a hibaforrást, kalciumot adagolunk az acélba, ami reakcióba lép az alumínium oxid zárványokkal és kalcium aluminát zárványokat hoz létre. Ezek a zárványok az acélgyártás hőmérsékletén folyékonyak, nagy méretűek ezért az alkalmazott argonos átöblítés hatékonyabb az esetükben, mint a kis méretű alumínium oxid zárványok esetében. Ha mégsem sikerül eltávolítani ezeket a zárványokat a folyékony acélból, akkor is kisebb hibát okoznak, mint az át nem alakított zárványok. Ezek a zárványok ugyanis az acél megszilárdulása után gömb alakúak és igen kemények. A hengerlés során nem töredeznek össze és nem rendeződnek sorba (nem okoznak tehát anizotrópiát) mint az alumínium oxid, illetve mangán szulfid zárványok. A kalciumos kezelés elméletével a 2. fejezet foglalkozik részletesen.

Az üzemi kísérletek során összesen öt alkalommal történt mintavétel a folyékony acélból:

- a csapolás után az üstben végzett elődezoxidációt követően (PEA jelű próbadarab)
- a dezoxidáció második lépcsője (Al huzal adagolás), illetve az összes CaAlFe huzal kb. 80%-ának adagolása után (PUA jelű próbadarab)
- a CaAlFe huzal fennmaradó 20%-ának adagolása után (PUA2 jelű próbadarab)
- a folyamatos öntőművön a kristályosítóból, amikor a leöntött acélszál hosszúsága elérte a 8,4 m-t (VP1)
- a folyamatos öntőművön a kristályosítóból, amikor a leöntött acélszál hosszúsága elérte a 16,8 m-t (VP2)



5.1. ábra

Az aktív oxigén tartalom csökkenése a csapolástól az üstmetallurgiai kezelés végéig, a kezelés, a mintavétel és az aktív oxigén szint mérés egyes lépései az ábrán jelölve

Az 5.1. ábra jól szemlélteti, hogy a dezoxidációs folyamat illetve az üstmetallurgiai kezelés során az acél aktív oxigén szintje a csapoláskor mért 500-600 ppm körüli értékről a kezelés végére 3,46 ppm alá csökken, gyakori, hogy 2 ppm körüli értéket sikerül elérni. Az aktív oxigén szint csökkenés mellett kezdetben növekszik a folyékony acélban lévő zárványok (a dezoxidációs termékek) darabszáma, de a zárványok kémiai összetételének átalakítása céljából végzett kezelés, illetve az argonos átöblítés hatására az acél nem fémes zárvány tartalma a kezelés végére lecsökken. A folyékony acél zárványosságának alakulását a különböző technológiai állapotokban vett próbadarabok vizsgálatával határoztam meg.

Az 5.1. táblázat a kísérleteimben szereplő adagok jellemző paramétereit foglalja össze [28]. Az 5.2 táblázatban pedig ezen adagok végpróbán mért kémiai összetételét szemléltetem.

5.1. táblázat: a kísérleti adagok jellemző paraméterei

adag-szám	a _O kezd ppm	Ar _{csap} m ³	Ar _{alsó} m ³	Ar _{SL} m ³	Al _{mokka} kg	Al _{huzal} kg	CaAlFe _{huzal} kg	a _O vég ppm	Idő _{üst} perc
371	607,7	20,64	8850	10091	243	30 10	165 39	2,09	28,35
373	528,8	21,48	8735	9816	241	25	165 19	2,13	24,53
415	542,6	15,94	9880	9286	224	-	155 29	1,91	22,07
451	512,4	14,87	3665	2058	207	-	194+58	1,72	23,80

Jelölések: a_Okezd, ppm: kezelés elején mért aktív oxigén szint; Ar_{csap}, m³: a fúvatás végéig felhasznált argon mennyisége; Ar_{alsó}, m³: öblítőkővön keresztül üstbe fújt argon mennyisége; Ar_{SL}, m³: svéd lándzsán keresztül az üstbe fújt argon mennyisége; Al_{mokka}, kg: csapoláskor üstbe adagolt alumínium mokka; Al_{huzal}, kg: az üstmetallurgiai állomáson adagolt alumínium huzal mennyisége; CaAlFe_{huzal}, kg: az üstmetallurgiai állomáson adagolt CaAlFe huzal mennyisége; a_Ovég, ppm: kezelés végén mért aktív oxigén szint; Idő_{üst}, perc: üstmetallurgiai kezelés időtartama.

5.2. táblázat: a kísérleti adagok végpróbán mért kémiai összetétele

adag-szám	tömeg%												
	C	Mn	Si	S	P	Cu	Al	Cr	Ni	Ti	Ca	N	O
371	0,07	0,660	0,013	0,007	0,014	0,035	0,063	0,057	0,023	0,002	0,00022	0,00074	0,00048
373	0,07	0,631	0,015	0,009	0,013	0,025	0,066	0,054	0,023	0,002	0,00020	0,00088	n.a.
415	0,07	0,661	0,015	0,004	0,009	0,065	0,063	0,053	0,032	0,002	0,00024	0,00081	n.a.
451	0,08	0,940	0,018	0,006	0,013	0,053	0,051	0,071	0,028	0,002	0,00031	0,00069	0,00039

n.a.: nincs adat

5.2 Általános zárványvizsgálati rendszer

5.2.1 Metallográfiai vizsgálati technikák áttekintése

Az acélban található szennyeződések (zárványok, dúsulások) vizsgálatára számos vizsgálati technika ismert. Annak függvényében, hogy milyen információra van szükség az acél tisztaságát illetően, a következő vizsgálati lehetőségek állnak rendelkezésre. Ezek egy általános metallográfiai vizsgálati rendszer részét képezik, amellyel az acél tisztaságáról kaphatunk képet:

- makroszkópos vizsgálat
- fémmikroszkópos vizsgálat, összehasonlító eljárás
- fémmikroszkópos vizsgálat, képelemző szoftver alkalmazásával
- pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat

Ezeket a vizsgálatokat rutinszerűen hengerelt termékek esetében használjuk. A legalaposabb, a zárványok összes jellemzőjének megismerését célzó összetett elemzési eredmény természetesen a vizsgálati technikák kombinációjával érhető el.

Makroszkópos vizsgálatok

Az acél tisztaságának meghatározása történhet makrovizsgálatokkal, ezt általában folyamatosan öntött acélban illetve hengerelt termékek esetében végezzük el. A bramma (középvonali) dúsulásának vizsgálata (baumann lenyomat készítése a kén dúsulásának kimutatására) a makroszkópos vizsgálatok közé tartozik, míg az acélban jelen lévő zárványok vizsgálata mikroszkópos technika, sokszor képelemző szoftver használatával történik.

Fémvizsgálatok

A mikroszkópos metallográfiai vizsgálatok tekinthetők a legáltalánosabbnak az acélok zárványvizsgálati módszerei közül. A vizsgálat az acélban lévő nemfémes zárványok típusának és méretének meghatározására irányul. A vizsgálatot csiszolt, polírozott acél felületen végezzük fémmikroszkóp segítségével. A zárványvizsgálatot adott (általában 100x-os) nagyítás mellett meghatározott szabványhoz tartozó képsorozattal, összehasonlító módszerrel végzik. A vizsgálat alapjául többféle szabvány előírásait lehet figyelembe venni, a vizsgálat megrendelőjének igénye szerint, ilyenek például az ASTM E 45-81, az MSZ 2668:1986, DIN 50602:1985 szabványok.

A DIN 50602:1985 szabvány többféle zárványtípusra (szulfidra, szilikátokra és oxidra, azon belül alumínium oxidokra és egyéb gömbszerű oxidokra), 0-8-as fokozattal jellemezhető nagyságú zárványra alkalmazható. A 0 fokozat a legkisebb, a 8-as fokozat a legnagyobb zárványméretet jelenti mindegyik zárványtípus esetében. Az említett szabvány kétféle módszert foglal magában. Az „M” módszer alapján az acél zárványosságát a zárványtípusok maximális fokozatával kell jellemezni. A „K” módszer esetében a nemfémes zárványok felületének mérőszámát kell megadni 1000mm^2 vizsgált acélfelületre vonatkoztatva. A zárványok méretének pontos megadására a képsorozattal történő összehasonlító eljárás nem alkalmas, hiszen az eredmény nagyan függ a vizsgálatot végző személytől, a módszer nem objektív. A zárványok alakjának, méretének és eloszlásának meghatározására alkalmazható a fémmikroszkóphoz illesztett képelemző szoftver. Ennél a vizsgálatnál lehetőség van a csiszolat előkészítési hibáinak kiküszöbölésére, azok figyelmen kívül hagyására (a képelemző alkalmazásáról a későbbiekben részletesebben esik szó). A napjainkban alkalmazott képelemző szoftverek lehetőséget adnak nem csak egy, általunk kiválasztott kép esetében mérést végezni, hanem képsorozaton egy meghatározott szabvány előírásainak megfelelően. A képelemző szoftverek lehetőséget adnak a már említett DIN 50602:1985 szabvány K módszerének elvégzésére objektív módon. A képelemző a megfelelő beállításokat követően automatikusan, látómezőnként elvégzi az egyes zárványok jellemző adatainak mérését, kapott adatokból számítja ki a különböző zárványtípusok mennyiségének mérőszámát. A gyakorlatban a különböző típusú (illetve színű) zárványok (leggyakrabban szulfidok vagy oxidok) adatait a képelemző az eredmények kiértékelésénél külön-külön kezeli, mivel a zárványvizsgálat megkezdése előtt minden esetben meg kell adni az egyes zárványtípusokhoz tartozó szintet (ez a detektálás folyamata). A szulfid zárványok színe világosszürke az oxidoké pedig sötétszürke, ezt használjuk ki a detektálás során úgy, hogy megadjuk azt a szürkességi szint intervallumot, amibe a szulfid zárványok színe tartozik, illetve ezzel párhuzamosan egy másik intervallumot, amin az oxid zárványok színe értelmezett. Így a szoftver a kétféle zárványt külön tudja kezelni. A zárványokat az alakjuk szerint is el lehetne különíteni,

ugyanis az oxid zárványok gömb alakúak, a szulfidok a képlékenységük miatt a hengerlés irányába elnyúltak, de a vizsgálataink során az egyszerűbb, szín szerinti elkülönítést használjuk. A vizsgálat sokkal inkább objektív, mint a hagyományos összehasonlító eljárással végzett zárványvizsgálat, hátránya viszont –a fémmikroszkópos, képsorozattal történő összehasonlító eljáráshoz hasonlóan–, hogy időigényes. A pontosság azonban sok esetben ellensúlyozza az eljárás hátrányát.

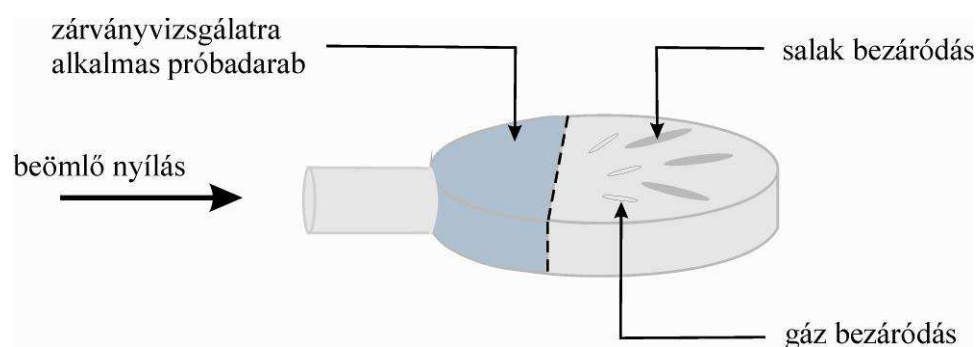
Elektronmikroszkópos vizsgálatok

A pásztázó elektronmikroszkóp, illetve hozzá illesztett röntgen spektrométer alkalmazásával egyes zárványok alaposabb megismerésére nyílik lehetőség. Abban az esetben, ha a fémmikroszkópos vizsgálattal nem határozható meg egyértelműen egy nem fémes zárvány típusa, a mikroszondás mérés használata a legcélravezetőbb. Az elektronmikroszkópok felbontóképessége nanométeres nagyságrendű, nagyításuk többszázszoros lehet. Természetesen ennél a vizsgálatnál szem előtt kell tartani a zárványvizsgálat célját, a SEM és EDS vizsgálatokkal nem jellemezhető egy csiszolat átlagos tisztasági foka [30]. A módszerek alkalmazásának szükségességét a fémmikroszkópos vizsgálatok eredményei kell, hogy indokolják, azok alapján lehet kiválasztani egy-egy vizsgálandó zárványt, amelynek összetétele –egy adott pontban, vagy pontsorozat által egy vonal mentén– mikroszondával meghatározható. A SEM-EDS vizsgálatok alkalmazása napjainkban egyre fontosabb. Az 1985-ben kiadott DIN 50602 szabvány képsorozatainak szerkesztése óta az acélgyártási, üstmetallurgiai technológiák fejlődése miatt a jellemző zárványtípusok tekintetében is változások figyelhetők meg. A különböző porbeles huzalok üstmetallurgiai alkalmazása miatt napjainkban egyre inkább jellemzők a komplex aluminát zárványok, ilyen típusú zárványokkal azonban nem foglalkozik a fent említett zárványvizsgálati szabványok egyike sem. Tartalmaznak ugyan egy „egyéb, gömbszerű oxid” elnevezésű kategóriát, de a gyakorlatban azt tapasztaljuk, hogy a komplex aluminát zárványok alakja eltér a képsorozatban látható alaktól, így az összehasonlítást nem tudjuk elvégezni. Mikroszondás mérésekkel megállapítható a komplex zárványok kémiai összetételének változása azok szélétől a közepe felé haladva. Az ilyen típusú zárványok átmérője mentén végzett vonal menti EDS elemzés eredményeiből következtetni lehet annak kialakulási mechanizmusára.

Ezek a vizsgálatok egy része alkalmazható a folyékony acélból vett érempróbák vizsgálata során is. Nyilvánvaló, hogy a különböző technológiai állapotban kivett öntött állapotú próbadarabok tisztaságának komplex vizsgálatához módosítani kell a fent részletezett vizsgálati rendszert.

5.3 Vizsgálati rendszer az öntött állapotú próbadarabok tisztaságának meghatározására

A korábbiakban már szó esett a folyékony acélból vett próbadarabok, ún. érempróbák makroszkópikus vizsgálatáról, a röntgenvizsgálatról. A vizsgálat során meghatároztam a próbadarabban lévő lunkerek, illetve salakbezáródások helyét, méretét, alakját, illetve kijelöltem azt a területet rajta, amelyet a további vizsgálatok céljára alkalmasnak találtam. A röntgenvizsgálatok azt mutatták, hogy az érempróbák beömlő nyílása felőli oldala alkalmas a zárványvizsgálatok elvégzésére, a próbakivágási sémát lásd az 5.2. ábrán.



5.2. ábra

A metallográfiai próbadarabok kivágási sémája az érempróbából

A különböző technológiai állapotokban vett érempróbákban lévő zárványok vizsgálatához az alábbi vizsgálati rendszert állítottam fel.

5.3. táblázat: Folyékony acélból vett próbadarabok zárványvizsgálati rendszere

Vizsgálat	Berendezés	
	Neve	típusa
Felvét elkészítés, zárványok méretének, alakjának meghatározása	fém mikroszkóp	Leica-Reichert MEF4, illetve Zeiss Axio
	Képelemző	Leica-Cambridge Q500MW, illetve Zeiss AxioVision Rel. 4.6
Felvét elkészítés, zárványok kémiai összetételének meghatározása	pásztázó elektron mikroszkóp	Leica Cambridge, SEM 440
	energiadiszperzív röntgenspektrométer	XFLASH
A próbadarabok, illetve zárványok kémiai összetételének meghatározása	impulzus magasság válogatással végzett optikai emissziós spektrométer	ARL 4460, illetve Spark -DAT program

A fémmikroszkópos, képelemzős, elektronmikroszkópos vizsgálatok az ISD Dunafer Zrt. Innovációs Igazgatóságán készültek, az impulzus magasság válogatással végzett optikai emissziós spektrometriai méréseket pedig az ISD Dunafer Zrt. Anyagvizsgálati és Kalibráló Laboratóriumok Igazgatóságának Spektrometriai Osztályán végezték. Az 5.3. táblázatban felsorolt vizsgálatok eredményei alapján pontos képet kaphatunk arról, hogy az üstmetallurgiai kezelés előre haladtával —az egyes technológiai lépések hatására— hogyan változnak a zárványok jellemző paraméterei.

5.3.1 Fémmikroszkópos illetve számítógépes képelemzős mérések és eredmények

A zárványok méretének meghatározására a fénymikroszkópot illetve hozzá illesztett képelemző szoftvert használtam. A fénymikroszkópos technikák csoportosítása az alábbiak szerint történik [30]:

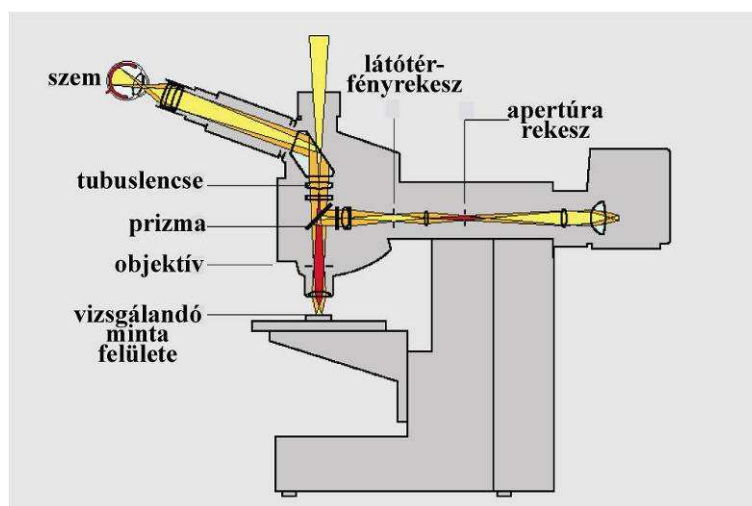
1. Átmenőfényes vizsgálatok

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| – Világos látómezejű eljárás | – Polarizáció |
| – Kontraszt eljárások | – DIC: differenciál inter- |
| – Sötét látómező | ferencia kontraszt |
| – Fáziskontraszt | |

2. Ráesőfényes vizsgálatok

- Világos látómezejű eljárás
- Fluoreszcenciás eljárás

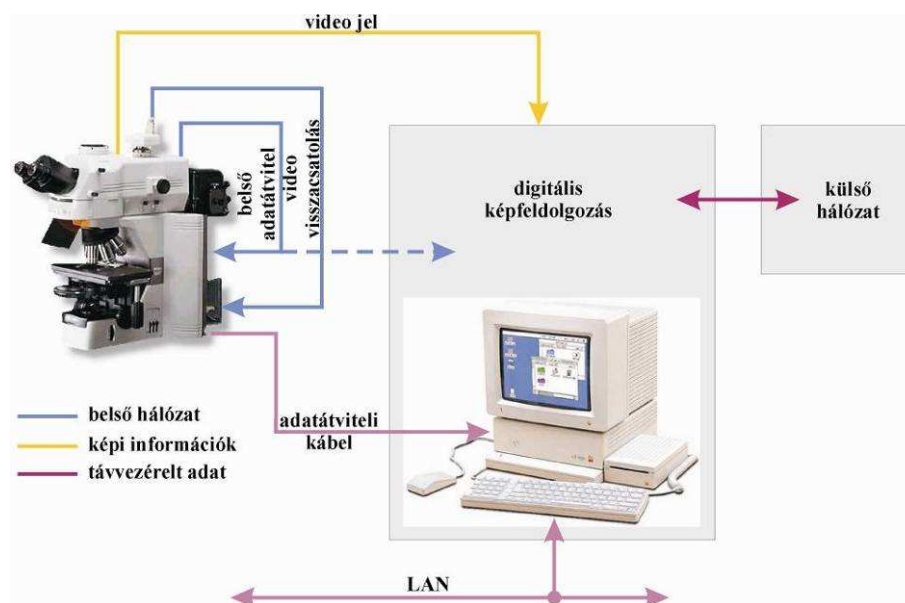
Ezek közül a vizsgálataim során a ráesőfényes, világos látómezejű eljárást alkalmaztam, a mikroszkóp képalkotásának vázlatát mutatja az 5.3. ábra.



5.3. ábra

A fénymikroszkóp képalkotása a ráesőfényes, világos látómezejű eljárás során

A fénymikroszkópon kapott képet rögzíteni kellett, majd képátalakítás után képelemzéssel kaptam a zárványok méretéről információt. Ezekhez a műveleti lépésekhez egy számítógépes szoftvert használtam. A mikroszkóp és a szoftver kapcsolatát mutatja az 5.4. ábra.



5.4. ábra

Adatátvitel a mikroszkóp és a képelemzést végző szoftver között

A képelemzés során először az adott látómezőről képet kell készíteni, ez tulajdonképpen a fénymikroszkóphoz illesztett videokamera segítségével történik [30]. Így egy kétdimenziós analóg képjelet kapunk, amit digitalizálnunk kell, ezért képpontokra bontjuk, és minden egyes képponthoz egy szűrkeségi szintet rendelünk. Ez a digitális „kép” hordozza a fénymikroszkóppal készített kép összes adatát, de valójában „csak” egy adathalmaz.

A fémmikroszkóppal történő felvételkészítés során kapott képet, a szűrkeképet alkotó képpontok mindegyikéhez egy adott, 0 és 255 közötti szűrkeségi szint tartozik, a 0 jelenti a fekete színt, a 255 pedig a fehéret. Az elkészített fémmikroszkópos kép gyakran lényegtelen információkat, karcokat, próba előkészítésből adódó hibákat tartalmaz. A képelemzős mérések megkezdése előtt szükség van képátalakító műveletek alkalmazására, hogy ezeket a hibákat eltávolítsuk a képből, mivel ezek a mérési eredményt befolyásolják. Ezeket szűrkekép átalakító műveleteknek nevezzük, lényegük, hogy vagy a képpontok szűrkeségi szintjén hajtunk végre transzformációt, vagy a szűrkeképet a szomszédos képpont szűrkeségi szintjének függvényében egy módosító kernel segítségével alakítjuk át. A számítógépes képelemzés következő lépésében a mérendő, számunkra lényeges információt el kell különíteni a háttértől, a kép lényegtelen információt tartalmazó részeitől. Ezt a műveletet detektálásnak nevezzük. Azokhoz a képpontokhoz, amelyek a mérendő fázishoz tartoznak, az 1-es értéket, többi képponthoz pedig a 0 értéket rendeljük. A detektálás leggyakrabban a szűrkeségi szint szerint történik, egy bizonyos küszöbérték felett-, alatt, vagy két szint közötti szűrkeségi szint értékeket vesszünk figyelembe a mérés során. A detektálás után a képet bináris képnek nevezzük. Az 5.5. ábrán kísérhetjük figyelemmel egy szűrkekép átalakító művelet hatását az eredeti képre, illetve a detektálás műveletét, jelen esetben zárványok esetében. Az eredeti képen próba előkészítésből származó karcok, pöttyök figyelhetők meg, melyek a FillBlack szűrkekép átalakító művelet hatására eltűntek. A jobb oldali kép a detektált kép, ezen a képen történik a mérés.



5.5. ábra

Nem fémes zárványokról készített fémmikroszkópos felvételek

(balról jobbra haladva: 1.: eredeti kép, 2.: a FillBlack szürkekép átalakító művelettel a polírozásból adódó apró, a zárvány színével egyező színű pontok eltávolítása, 3.: a zárványok detektált képe)

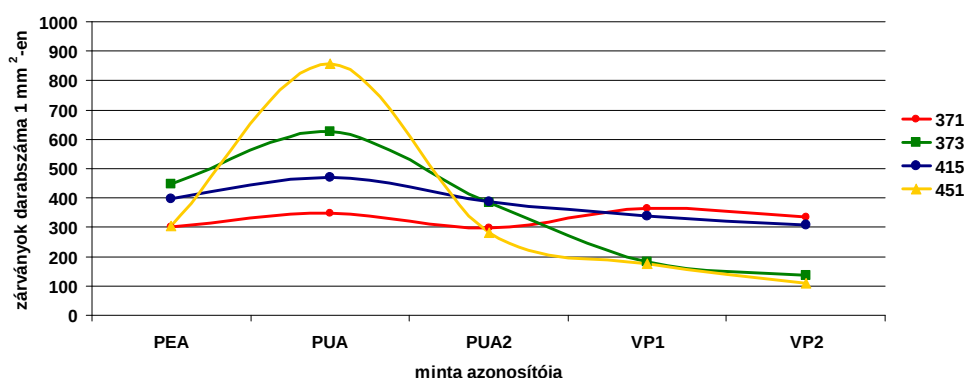
A detektálás után a kijelölt (jelen esetben kék színnel jelölt) objektumok jellemző paramétereit adjuk meg, ez a mérés folyamata. A mérés során információt kapunk az objektumok (pl. zárványok) hosszúságát, szélességét, területét, kerületét, , egy bizonyos irányhoz tartozó méretét, a körszerűségét, a kitöltöttségét, stb. Illetően.

A folyékony acélból vett érempróbák fémmikroszkópos és képelemzős vizsgálata során az alábbi paramétereket határoztam meg:

- a próbadarabokban lévő különálló zárványok darabszámát
- a próbadarabokban lévő zárványfelhők darabszámát
- a zárványok méretét (hosszúság, szélesség, terület)

Az üstmetallurgiai kezelés hatékonyságának megállapításakor figyelembe kell venni, hogy mennyi a zárványok darabszáma, nagysága, illetve, hogy milyen a kémiai összetétele az adott technológiai állapotban, valamint a kezelés végén.

Az 5.6. ábra, valamint a mellékletben szereplő 5.1.-5.4. ábrák szemléltetik a különálló zárványok darabszámának alakulását a kezelés előre haladtával, illetve a folyamatos öntőművön.



5.6. ábra

A különálló zárványok darabszámának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a vizsgált adagok esetén

Az 5.6. ábra adatai mutatják, hogy az üstmetallurgiai kezelés előtt (PEA) nincs lényeges különbség a zárványok darabszámában a vizsgált adagoknál. A dezoxidáció

korrigálására adagolt alumínium huzal, illetve a zárványok kémiai összetételének módosítása céljából adagolt CaAlFe huzal hatására a zárványok darabszáma mind a négy adagnál megnövekedett. A növekedés az alábbiak következménye [33]:

- CaAlFe huzal adagolás hatására a 2.20-2.27 reakciók szerint alumínát zárványok alakulnak ki
- az acél hőmérsékletének csökkenésével a dezoxidációs reakció lejtászódik (2.19), így alumínium oxid képződésre kell számítani.
- az acélt borító salak reoxidációs hatása is befolyásolja a zárványok darabszámát, és megnöveli az acél CaO tartalmát.

A zárványok darabszámának növekedése nem azonos nagyságú (a 371. számú adagnál 15%-os, míg a 451. számú adagnál 182%-os növekedés) az egyes adagoknál, ami a zárványképződési reakciók lejtászódásának eltérő mértékével magyarázható. Ennek megítélésére állítottam össze az 5.1 és 5.4 táblázatokat.

Az 5.1. táblázatban az acél ötvöztetésére, dezoxidációjára és a zárványok kémiai összetételének módosítására felhasznált anyagok mennyiségét foglaltam össze. Az 5.4 táblázat az üstben lévő acélt borító salak kémiai összetételének –FeO és MnO tartalmának– kezelés alatti változását tüntetem fel. A táblázatok adatai igazolják, hogy az adagok gyártásánál mind a felhasznált anyagok mennyisége, mind a salakredukció mértéke különböző.

5.4. táblázat: a csapolás előtt mért aktív oxigénszint, a salak FeO és MnO tartalmának alakulása kezelés előtt és után

Adagszám	Aktív oxigénszint csapoláskor, ppm	Salak FeO tartalma kezelés előtt, %	Salak FeO tartalma kezelés után, %	ΔFeO , %	Salak MnO tartalma kezelés előtt, %	Salak MnO tartalma kezelés után, %	ΔMnO , %
371	607,7	7,22	4,93	2,29	4,38	3,97	0,41
373	528,8	8,71	6,72	1,99	3,81	3,84	-0,03
415	542,6	14,6	6,61	7,99	6,5	5,02	1,48
451	512,4	6,13	3,02	3,11	3,13	1,82	1,31

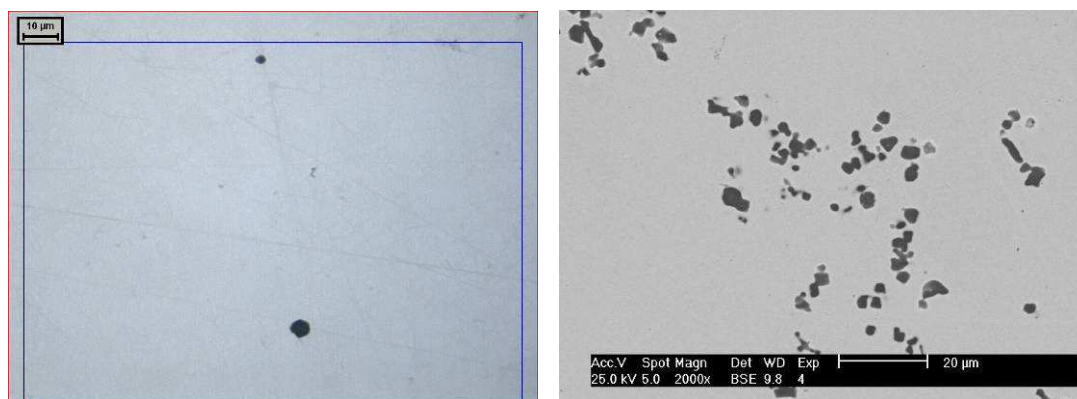
Az 5.6 ábra adatai azt is mutatják, hogy a zárványok darabszáma az argonos átöblítés hatására csökkent és a csökkenés folytatódott a közbenső üstben és a kristályosítóban is.

Külön kell szólni a 451 és 371 számú adagok zárványtartalmának alakulásáról. A 451 számú adagnál növekedett legnagyobb mértékben (182%) a zárványok darabszáma, de a kezelés után ennél az adagnál mutatható ki a legnagyobb darabszám csökkenés is (87%). Ez a változás a zárványok kémiai összetételének módosítására adagolt CaAlFe huzal mennyiségével hozható kapcsolatba. Ennél az adagnál használták fel a legtöbb CaAlFe huzalt –252 kg-ot– ami a zárványok kémiai összetételének megváltozása miatt a zárványok hatékonyabb salakfázisba való emelkedését eredményezte.

A 371 számú adagnál viszont a zárványok darabszámának növekedése (20%) tapasztalható a folyamatos öntőművön vett próbáknál, az öntés során tehát erőteljes reoxidációs hatás érte az acélt. Ennek magyarázata a nem megfelelő reoxidáció elleni védelem.

A vizsgálataim során a különálló zárványokat (dezoxidációs reakció termékei vagy CaAlFe huzal adagolás hatására kialakult kalcium aluminátok) külön vizsgáltam a csoportokat alkotó zárványoktól, zárványfelhőktől. Fémmikroszkópos felvételt készítettem az acélban jellemzően előforduló különálló alumínium oxid zárványokról, valamint elektronmikroszkópos felvételt a csoportokban előforduló (zárványfelhő, cluster) alumínium oxid zárványokról, melyeket az 5.7. ábra mutat.

Mivel a szakirodalom nem tartalmaz a zárványfelhőre vonatkozó számszerű definíciót, ezért a képelemzős méréseim alapján meghatároztam, hogy melyek azok a zárvány csoportok, melyeket az öntött állapotú érempróbák vizsgálata során zárványfelhőknek tekintettem. A számítógépes képelemzős mérési eredményeim alapján, azt a minimum 3 db tagból álló zárvány csoportot, melyekre érvényes, hogy a közöttük lévő távolság maximális értéke a zárvány hosszúságának (ami a zárvány átmérői közül a legnagyobb értékű) a 2,25-szerese, zárványfelhőnek nevezem.



5.7. ábra

Különálló alumínium oxid zárványok (bal oldali felvétel), valamint csoportokban előforduló alumínium oxid zárványok (jobb oldali felvétel)

A zárványfelhőre az alábbi összefüggés igaz tehát:

$$D < 2,25 \cdot L \quad ; \quad N \geq 3 \quad (5.1)$$

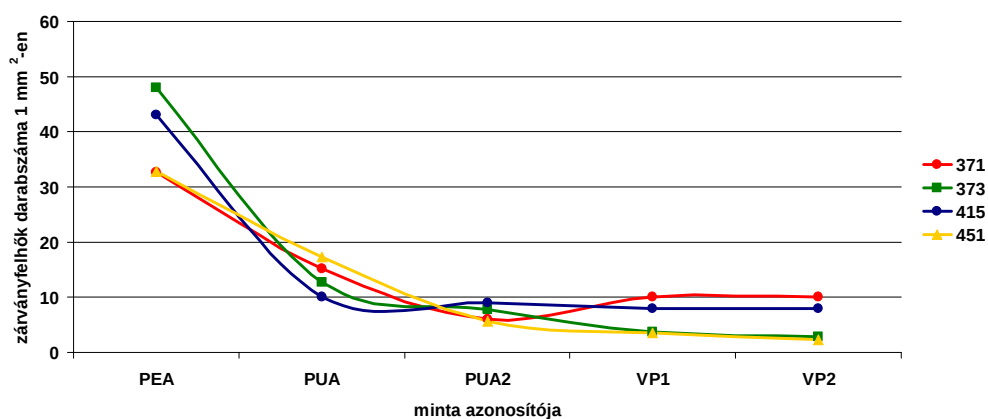
ahol D a zárványok közötti távolság, [μm], L a zárványok hosszúsága (a különböző irányokban mért átmérők közül a legnagyobb) [μm], N pedig a felhőt alkotó zárványok darabszáma.

A zárványfelhők a dezoxidáció kezdeti szakaszában (nagy aktív oxigén tartalom esetén) képződnek [2], nagy méretűek, ezért könnyen eltávolíthatóak a salakfázisba. Keletkezésükre a folyamatos öntőművön történő reoxidáció is magyarázatot adhat. Az 5.8. ábra, illetve a mellékletben szereplő 5.5-5.7. ábrák a zárványfelhők darabszámának csökkenését szemléltetik az üstmetallurgiai kezelés kezdetétől a folyamatos öntésig.

A diagramokból kitűnik, hogy a zárványfelhők darabszáma a kezelés előre haladtával csökken, az első két mintavétel között a leginkább szembetűnő ez a csökkenés. A 371. számú adag esetében megfigyelhetjük, hogy a folyamatos öntőművön vett VP1 jelű próbadarab esetében az előző mintavételhez képest 60%-al megnőtt a zárványfelhők darabszáma. A növekedésből egyértelműen a közbenső üstben vagy nem megfelelő sugárvédelem miatt bekövetkezett reoxidációra következtethetünk,

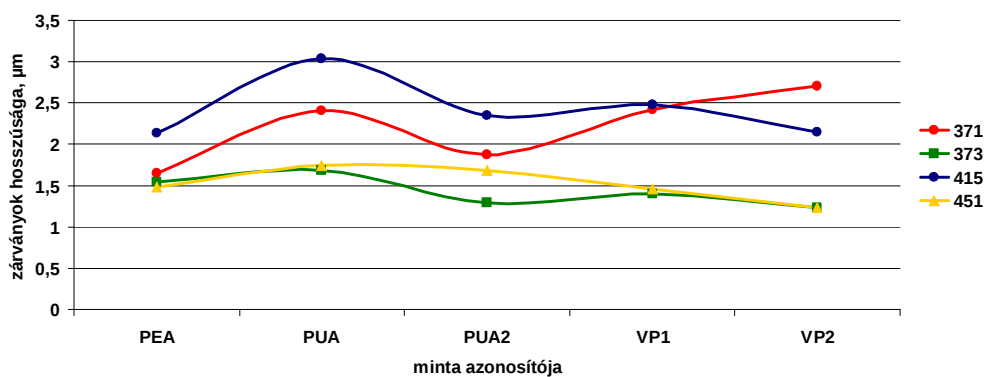
mivel ez az egyetlen módja annak, hogy nagy méretű zárványfelhők keletkezzenek ebben a technológiai állapotban.

A zárványok darabszáma mellett fontos ismernünk azok méretét is, hiszen mindenképpen kerülendő, hogy a készterméket nagy méretű, akár Al_2O_3 , akár MnS típusú zárvány terhelje. A zárványok méretét három féle paraméteren keresztül vizsgáltam, meghatároztam a különböző technológiai állapotban lévő zárványok hosszúságát, szélességét, területét. A vizsgálati eredményeket az 5.8.-5.11. ábrák, illetve a mellékletben szereplő 5.8-5.20 ábrák szemléltetik.



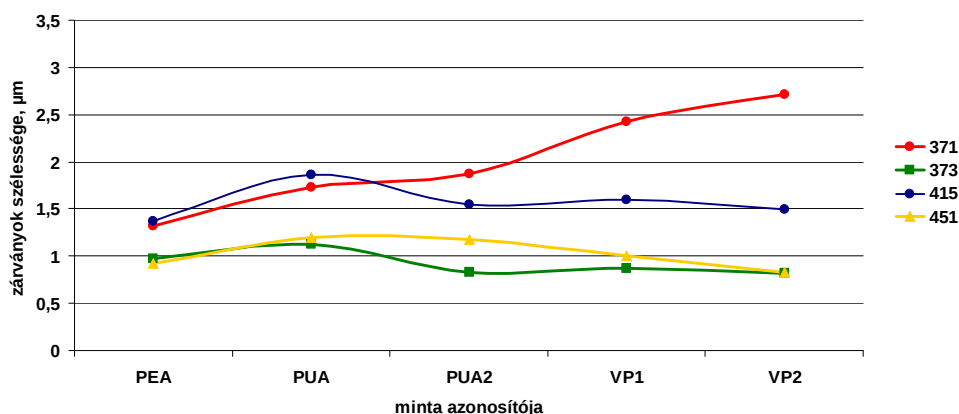
5.8. ábra

A zárványfelhők darabszámának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a vizsgált adagok esetén



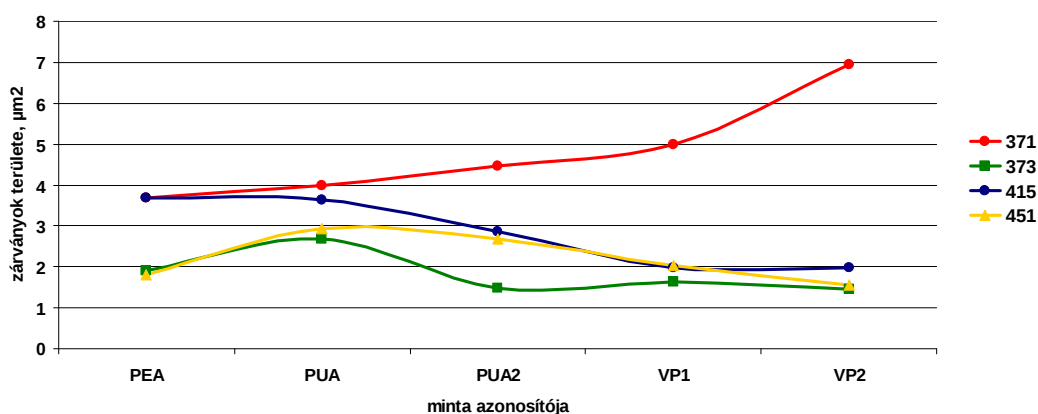
5.9. ábra

A zárványok hosszúságának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a vizsgált adagok esetén



5.10. ábra

A zárványok szélességének változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a vizsgált adagok esetén



5.11. ábra

A zárványok területének változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a vizsgált adagok esetén

A diagramokból kitűnik, hogy a zárványok méretének változása követi a különálló zárványok darabszámának változását a kezelés során. A CaAlFe huzal adagolását követően tehát a zárványok darabszámával együtt a méretük is megnövekszik, viszont az argonozás hatására a kezelés végére lecsökken az acélban maradó zárványok mérete is. A 371. számú adagnál nem csak a zárványok száma, hanem nagysága, ezzel együtt területe is megnövekedett. Fontos a technológia megítélése miatt az a tény, hogy a zárványok mérete már a kezelés alatt is növekvő tendenciájú. Ez arra enged következtetni, hogy egyrészt a salakfázisból másrészt az intenzív argonozás közben kialakuló szabad acélfelületen keresztül oxigén felvétel is történt.

5.3.2 Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok és eredményei

A pásztázó elektronmikroszkóppal a próbatest felülete vizsgálható, a hozzá illesztett energiadisperzív röntgenspektrométerrel pedig a felület egy pontjának a kémiai összetételéről kapunk információt, végezhetünk továbbá kis területen vagy vonal mentén is méréseket [32].

A pásztázó elektronmikroszkóp olyan berendezés, amelyben egy jól fókuszált elektronnyaláb végigpásztázza a vizsgálandó test felületét. Ennek a sugárzásnak a hatására elektronok lépnek ki a minta felszín közeli rétegeiből. A pásztázással szinkronban egy másik elektronnyaláb egy monitor képernyőjét pásztázza a mintából kilépő elektronok számával arányos intenzitással. Így a monitoron megjelenik a próbatest felszínének képe, a nagyítást a két pásztázás méretaránya adja. Míg az optikai mikroszkóp nagyítása maximum 2000-szeres, mélységélessége 1-10 μ m, a SEM nagyítása maximum 200000-szeres, mélységélessége elérheti a 3-4 mm-t.

A fémmikroszkópos vizsgálatok során kiválasztott, az adott csiszolatra jellemző zárványok kémiai összetételét határoztam meg pásztázó elektronmikroszkóp, illetve energiadisperzív röntgenspektrométer segítségével.

A mellékletben szereplő 5.1-5.2 táblázatok, valamint az 5.21-5.30. ábrák szemléltetik a jellemző zárványok kémiai összetételének változását a kezelés előre haladtával a pásztázó elektronmikroszkópiával, illetve energiadisperzív röntgenspektrométerrel végzett mérések eredményei szerint. A zárványvizsgálat céljára kiválasztott zárványok mérete nagyobb kellett, hogy legyen, mint az elektronsugár által gerjesztett terület nagysága. Az alumínium oxid zárványok sok esetben nagyon kis méretűek, ezért a vizsgálataimban ilyen típusú önálló zárványokkal nem foglalkoztam, csak a nagy méretű, kalcium alumínát zárványokkal. A kis méretű zárványok esetében előfordult, hogy a háttér (vasat) is mérte a mikroszkóp. Az elektronmikroszkópos mérésekből kimaradt alumínium oxid zárványok vizsgálatával az impulzus magasság válogatással végzett optikai emissziós spektrometriás méréseknél foglalkozom.

A zárványok kémiai összetétel vizsgálati eredményeinek gyártási paraméterek tükrében való értékeléséhez állítottam össze az 5.5 táblázatot. A táblázat adatait összevetve a 2. fejezetben számolt CaAlFe huza szükséglettel (1602°C felett 3,06 kg/t), láthatjuk, hogy ezek az értékek a szükséges mennyiség alatt maradnak.

5.5. táblázat: a csapolás előtt mért aktív oxigénszint, a salak FeO és MnO tartalmának alakulása kezelés előtt és után

adag-szám	hőmérséklet a CaAlFe huzal adagolás kezdetén [°C]	nettó súly [t]	CaAlFe huzal [kg]	CaAlFe huzal [kg/t]
371	1621	131,7	204	1,55
373	1629	130,4	184	1,41
415	1614	130,2	184	1,41
451	1606	130,1	252	1,94

A pásztázó elektronmikroszkópos illetve mikroszondás vizsgálatok eredményeit az alábbiak szerint foglalhatjuk össze:

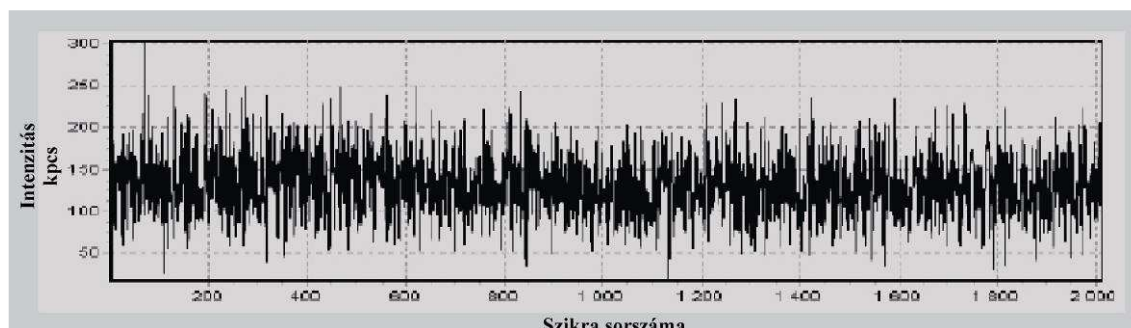
- A zárványok kémiai összetételének változása mutatja, hogy mennyire tekinthető sikeresnek az alkalmazott CaAlFe huzalos kezelés.
- A mikroszondás mérések eredményei mutatják, hogy a kezelés elején az acélt csak alumínium oxid zárványok terhelik.
- A mérési eredmények némelyik zárvány esetében Mg, Si jelenlétét is mutatják. Ezek az elemek a tűzálló falazatból, de legvalószínűbb, hogy a mintavevő szonda védősapkára tapadt salakból kerültek a próbába.
- A Mn és S együttes jelenléte a MnS –ra utal.
- A CaAlFe huzal adagolás hatására a zárványokban megjelenik bizonyos mennyiségű kalcium. A kezelés hatékonyságát a zárványokban lévő Ca és O arányán keresztül ítéldhatjuk meg. A $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ típusú zárványban ez az arány 0,35, a $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ aluminát esetén pedig 0,625. A huzal adagolás után vett első próbadarab esetében (PUA) a Ca/O arány 0,478. Ez azt jelenti, hogy a $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ összetételt sikerült elérni. A kezelés előre haladtával az arány csökken, a folyamatos öntőművön már csak 0,2-0,3, amiből arra lehet következtetni, hogy a huzaladagolás hatására kialakult nagy méretű aluminát zárványok az üstmetallurgiai kezelés argonozási periódusában távoztak az acéolvadékból (ezt alátámasztják a zárványok darabszámára vonatkozó számítógépes képelemzős mérések eredményei is). A folyamatos öntőművön már csak olyan zárványok maradtak, amelyeket nem sikerült alumináttá átalakítani.
- A zárványok kémiai összetételét mutató diagramokból jól látható, hogy a második kalcium adagolás (PUA2 jelű próbadarabok) a folyékony acélban lévő zárványok kevesebb kalciumot tartalmaznak, mint az első huzaladagolás után. Ennek oka, hogy a kalcium adagolás hatására a zárványok kémiai összetétele mellett a méretük növekedett —mint ahogy ezt a képelemzős mérések eredményei is igazolták— tehát az argonozás hatására több (nagyobb méretű) kalcium tartalmú zárvány a salakfázisba emelkedett, így a VP1 és VP2 jelű próbákban már nem tudtam detektálni őket. A folyamatos öntőmű közbelső üstjében a zárványok kémiai összetétele jelentősen már nem változott, mint a korábbi technológiai állapotokban vett próbadarabok esetében. Tehát azok a kalcium tartalmú zárványok, amelyek a folyamatos öntőművön jelen voltak az adagban már olyan kis méretűek voltak, hogy nem tudtak felszállni a salakfázisba.
- Az elektronmikroszkópos vizsgálatok során –mivel a visszaszórt elektronok által szolgáltatott felvétel rendszámkontraszt képet mutat– tapasztaltam, hogy a komplex aluminát zárványok felületén egy vékony CaS réteg található. Ez a réteg az összes technológiai állapotban vett érempróba zárványa esetében jelen van. A 2.7. ábrán látható egy zárvány elektronmikroszkópos képe, illetve a 2.8. ábrán a zárvány vonalmenti elemzésének eredménye. Az elektronmikroszkópos vizsgálataimmal tehát igazoltam a szakirodalom azon elméletét, miszerint a komplex kalcium aluminátok képződésének utolsó lépése során, amikor a zárvány körül, annak növekedésének előre haladtával, lecsökken az Al és O tartalom (csökken az alumínium oxid aktivitása), lehetővé válik a CaS képződése. Mivel energetikailag kedvezőbb, a CaS nem önálló zárványként jelenik meg az acélban, hanem a már jelen lévő komplex kalcium aluminátra válik ki.

5.3.3 Impulzus magasság válogatással végzett optikai emissziós spektrometriai vizsgálatok és eredmények

Az optikai emissziós spektrometria széles körűen elfogadott, gyors, egyszerű, gondosan kidolgozott módszer a fém alapú minták kémiai összetételének meghatározására [34]. Hagyományos OES eljárás esetén a vizsgálandó minta atomjait szikragerjesztés éri, melynek hatására a minta a kémiai összetételére jellemző hullámhosszúságú fényt emittál. A gerjesztési periódus néhány ezer szikra gerjesztő hatásából tevődik össze. Az eljárást kombinálva az impulzus magasság válogatásos (PDA) eljárással korszerű, gyors vizsgáló módszerhez jutunk. Ennek lényege, hogy a mintát 400 Hz frekvenciával szikráztatják, minden egyes szikra után és méri a különböző csatornák jeleinek (a különböző elemek által adott jelek) nagyságát. Mivel az egyes elemek által adott jelek vizsgálata külön-külön történik, így lehetőség van a közöttük lévő kapcsolat felderítésére. Az OES-PDA eljárás során alkalmazható speciális program (Spark-DAT) segítségével lehetőség nyílik akár a komplex zárványok kémiai összetételének pontos és gyors megismerésére. Ha egy szikra esetében több elemre vonatkozóan (pl. Ca, O és Al) magas intenzitás adódik, akkor a gerjesztés a minta olyan részét érte, ahol ezeknek az elemeknek a koncentrációja magas. Ilyen eredmények esetében valószínűsíthető, hogy a vizsgált részen komplex alumínát zárvány található a mintában.

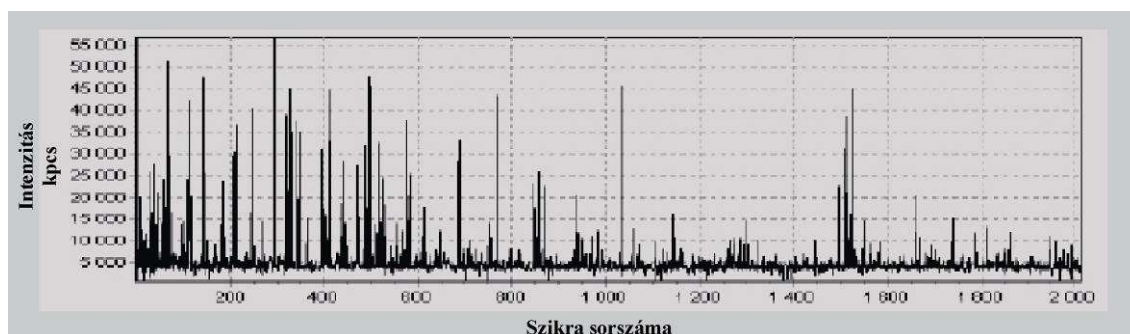
A Spark-DAT analitikai program lehetőséget ad az elemek (pl. alumínium) oldott és kötött állapotú részének a meghatározására [35], mivel alkalmas a mintába becsapó kb 2000 szikra intenzitás adatainak statisztikai vizsgálatára. Egy kizárólag oldott formában jelen lévő elem szikra sorszám – intenzitás diagramjában (5.12. ábra) jól látható, hogy az intenzitásértékek egy adott átlagérték körül fluktuálnak. Az ilyen elemek intenzitásértékei normális eloszlást követnek. Az adott elem oldható komponensének mennyiségi meghatározásához az intenzitásértékek hisztogramjából elő kell állítanunk a Gauss-eloszlást.

Az olyan elemek esetében, melyek az oldható összetevőn kívül nem oldható (oxidos, szulfidos stb.) komponenssel is rendelkeznek, mivel az eloszlás nem homogén a zárványok miatt. Az eloszlás aszimmetrikussá válik, a magasabb intenzitásoknál exponenciálisnál lassabban lecsengő résszel rendelkeznek. Az intenzitások eloszlása két részből tevődik össze: a fémes rész szimmetrikus, Gauss- eloszlásának és a zárványos rész aszimmetrikus eloszlásának az összegéből.



5.12. ábra

Egy, csak fémes formában jelen lévő elem szikra sorszám-intenzitás diagramja



5.13. ábra

Egy fémes és zárványos komponens is tartalmazó elem szikra sorszám-intenzitás diagramja.

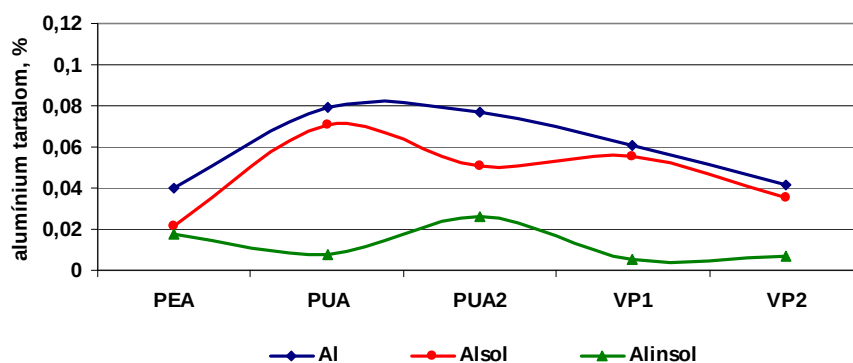
Az 5.13 ábrán az alapvonal (az intenzitás „háttér”) arányos az adott elem fémes részének mennyiségével (koncentrációjával), míg a csúcsok nagysága a zárványokban lévő elem koncentrációjával. A csúcsok száma arányos az adott elemet tartalmazó zárványok számával.

Egy adott elem (pl. Al) intenzitásának eloszlásából (hisztogramjából) tehát előállítjuk a fémes részre jellemző Gauss-eloszlást. A fémes rész koncentrációja a Gauss-eloszlás várható értékével arányos. A fémes összetevő Gauss- eloszlását úgy kaphatjuk vissza az eredeti eloszlásfüggvényből, hogy megkeressük az eloszlás maximumhelyét (ez lesz a Gauss- eloszlás várható értéke), majd az ennél kisebb intenzitásértékekre a legkisebb négyzetek módszerével Gauss- görbét illesztünk. Az eredeti és a Gauss- eloszlás közti különbség a zárványok jelenlétéből fakad és a nem fémes komponens mennyiségével arányos.

Az OES-PDA módszer és a hagyományos metallográfiai módszerek együttes alkalmazásával teljes képet kaphatunk az acélban előforduló zárványok eloszlásáról, méretéről, alakjáról és kémiai összetételéről.

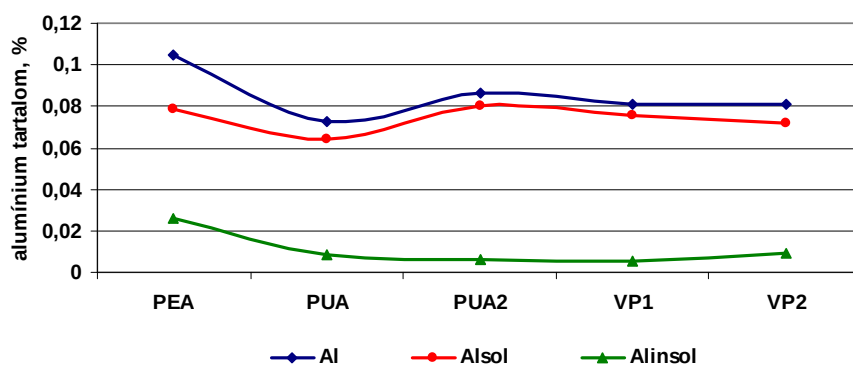
A próbadarabokban lévő zárványok kémiai összetételének meghatározása tehát nem csak mikroszondával, hanem más módszerrel is, impulzus magasság válogatással végzett optikai emissziós spektrometriával is megtörtént, különös tekintettel azok össz-, oldott és zárvány formában jelen lévő alumínium tartalmára, illetve a zárványokban a Ca, O, Al arányának változására a különböző technológiai állapotokra. Az OES-PDA mérések eredményeit feldolgoztam (lásd 5.14-5.21 ábrákat), belőlük az alábbi következtetéseket vontam le.

Az 5.14-5.17 ábrák az alumínium tartalom alakulását szemléltetik a vizsgált adagok esetén. A diagramokban kék színnel jelöltem az összes, pirossal a savoldható (acélban oldott állapotú), zölddel pedig a savban nem oldható (zárvány formában jelen lévő) alumínium mennyiségének változását.



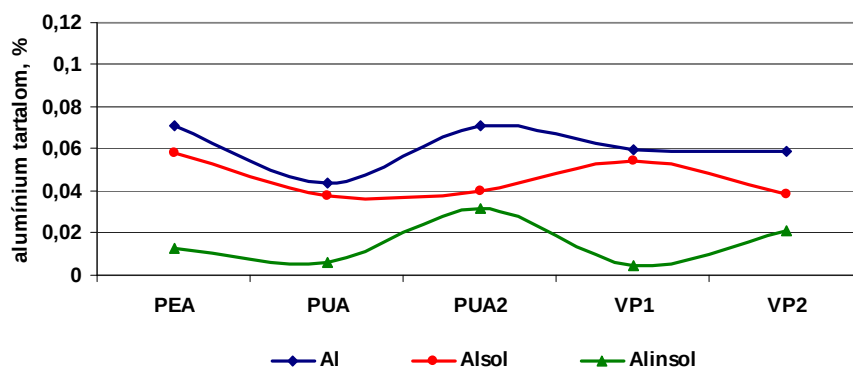
5.14. ábra

Az acélfürdőből vett érempróbák össz-, oldott-, illetve zárvány formában alumínium tartalmának változása a kezelés elejétől a folyamatos öntésig a 371. számú adag esetén



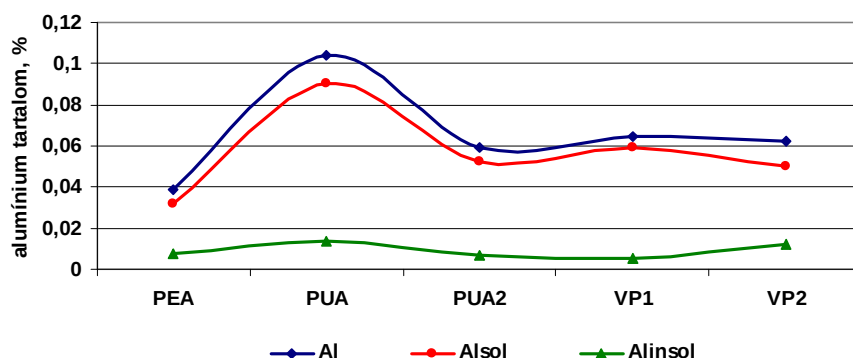
5.15. ábra

Az acélfürdőből vett érempróbák össz-, oldott-, illetve zárvány formában alumínium tartalmának változása a kezelés elejétől a folyamatos öntésig a 373. számú adag esetén



5.16. ábra

Az acélfürdőből vett érempróbák össz-, oldott-, illetve zárvány formában alumínium tartalmának változása a kezelés elejétől a folyamatos öntésig a 415. számú adag esetén



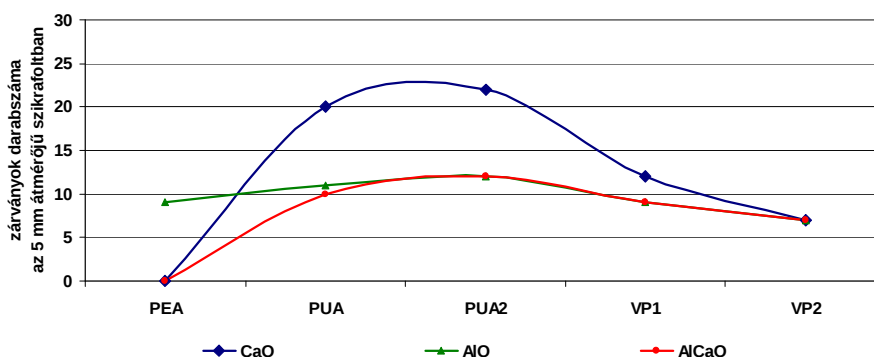
5.17. ábra

Az acélfürdőből vett érempróbák össz-, oldott-, illetve zárvány formában alumínium tartalmának változása a kezelés elejétől a folyamatos öntésig a 451. számú adag esetén

Annak ismerete, hogy az acél alumínium tartalma milyen arányban oszlik meg fémes és oxid formában jelen levő alumíniumra, az acélgyártók régi igénye, melyre az OES-PDA módszer lehetőséget kínál.

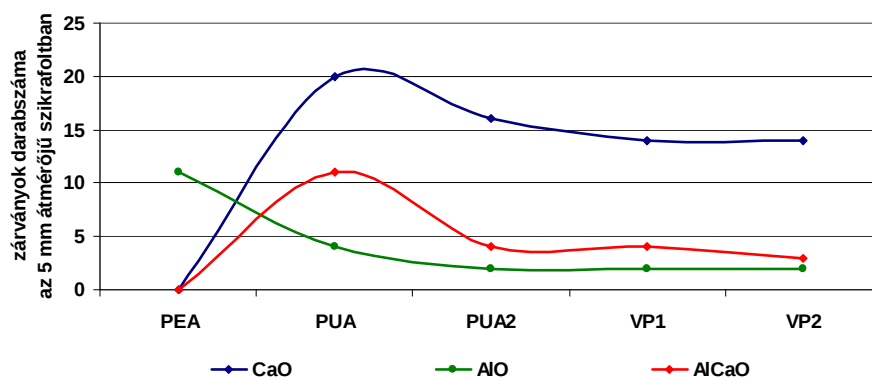
A fémes alumínium tartalom nagysága az acél dezoxidáltságának mértékére, az oxid formájú alumínium pedig a zárványtartalomról ad információt. A három összefüggő mennyiség változása a zárványok salakfázisba való felúszására, illetve a reoxidációra ad magyarázatot. A fémes alumínium tartalom nagysága az acél lehűlése során változik. Mivel azonban az öntés alatt az acél hőmérséklete általában keveset – 3-5°C – változik, a fémes alumínium csökkenése a reoxidáció miatt következik be. A 373 és 451 számú adagoknál az oldott alumínium tartalom csak kis mértékben változott, reoxidáció nem következett be. A másik két adagnál, elsősorban a 371 számúnál azonban, intenzív reoxidációs folyamatra lehet következtetni.

Az 5.18.-5.21. ábrák a különböző típusú zárványok darabszámának alakulását mutatják. Az ábrán a kalcium oxid (kék), az alumínium oxid (zöld) és a kalcium aluminát (piros) darabszámának változását jelöltem.



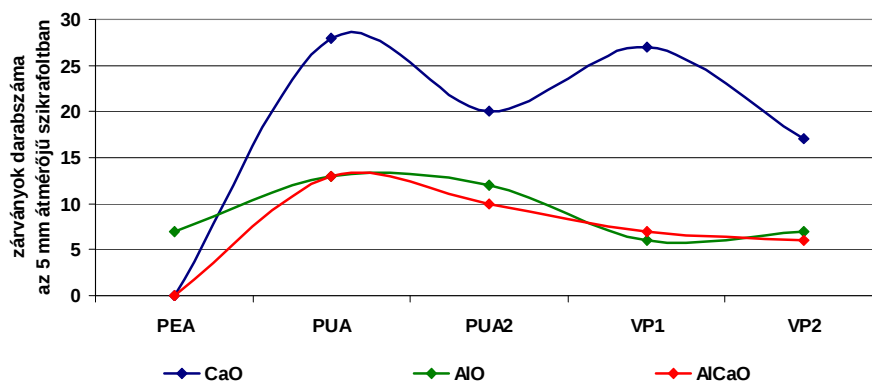
5.18 ábra

Az acélfürdőből vett érempróbákban lévő különböző típusú zárványok darabszámának alakulása a kezelés elejétől a folyamatos öntésig a 371. számú adag esetén



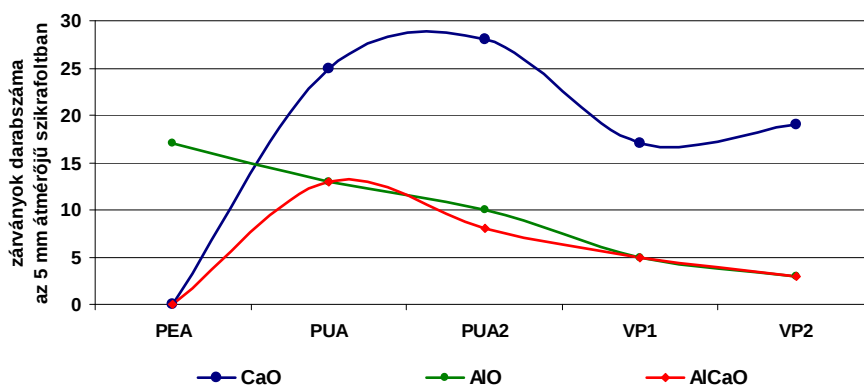
5.19. ábra

Az acélfürdőből vett érempróbákban lévő különböző típusú zárványok darabszámának alakulása a kezelés elejétől a folyamatos öntésig a 373. számú adag esetén



5.20. ábra

Az acélfürdőből vett érempróbákban lévő különböző típusú zárványok darabszámának alakulása a kezelés elejétől a folyamatos öntésig a 415. számú adag esetén



5.21. ábra

Az acélfürdőből vett érempróbákban lévő különböző típusú zárványok darabszámának alakulása a kezelés elejétől a folyamatos öntésig a 451. számú adag esetén

Az OES-PDA módszerrel meg lehet állapítani, hogy egy elem melyik másik elemel együtt található a zárványban (melyik elemek csatornáiból kapunk egyidejűleg jelet). Amennyiben tehát az alumínium az oxigén jelenléte egyszerre mutatkozik, úgy Al_2O_3 zárvány jelenlétéről beszélünk. Kalcium aluminát zárványba talált a szikra abban az esetben, ha a Ca-, O- és Al csatornákból kapunk egyszerre információt. CaO zárvány esetén a Ca és O csatornák jelei mutatkoznak egy időben.

Ez az elemző módszer azonban a kalcium aluminát zárvány pontos összetételének megállapítására nem alkalmas, csak az ilyen típusú zárványok darabszámát adja meg.

Az 5.18-5.21 ábrák a négy adag érempróbáinak OES-PDA módszerrel meghatározott zárványvizsgálati eredményét mutatja. Látható, hogy a dezoxidált acélban a kezelés előtti próbákban csak Al_2O_3 zárvány található. A CaAlFe huzal adagolásának eredményeként az aluminátok és a CaO mennyisége intenzíven növekszik, az Al_2O_3 zárványok száma pedig csökken. A CaO mennyiségének a növekedése egyértelműen bizonyítja, hogy a reoxidációból származó oxigén CaO képződéshez vezet.

Mind a CaO, mind a kalcium aluminát zárványok mennyisége az argonos átöblítés és öntés során csökken, tehát az acél tisztulási folyamata végbemegy. Az Al_2O_3 zárványok azonban a kezelés végén és az öntés alatt is jelen vannak az acélban, ami a zárványátalakítás nem megfelelő lejárásodását jelzi.

Ha összevetjük a mikroszondás és az OES-PDA mérések eredményeit, akkor láthatjuk, hogy a CaAlFe huzal adagolás hatására megfelelő összetételű ($\text{CaO} \ 2 \ \text{Al}_2\text{O}_3$) aluminát zárványok alakultak ki, azonban a kezelés után még maradtak át nem alakított alumínium oxidok. Ez azt jelenti, hogy a 5.5. táblázat adatai szerint felhasznált CaAlFe huzal mennyisége valóban nem volt elég az összes zárvány megfelelő összetételű alumináttá való átalakításához.

Az acélban található CaO a salakból redukált oxigén és a huzal Ca tartalmának reakciójában keletkezik, amely a zárvány átalakítás hatásfokát rontja, hiszen a Ca elhasználódását jelenti.

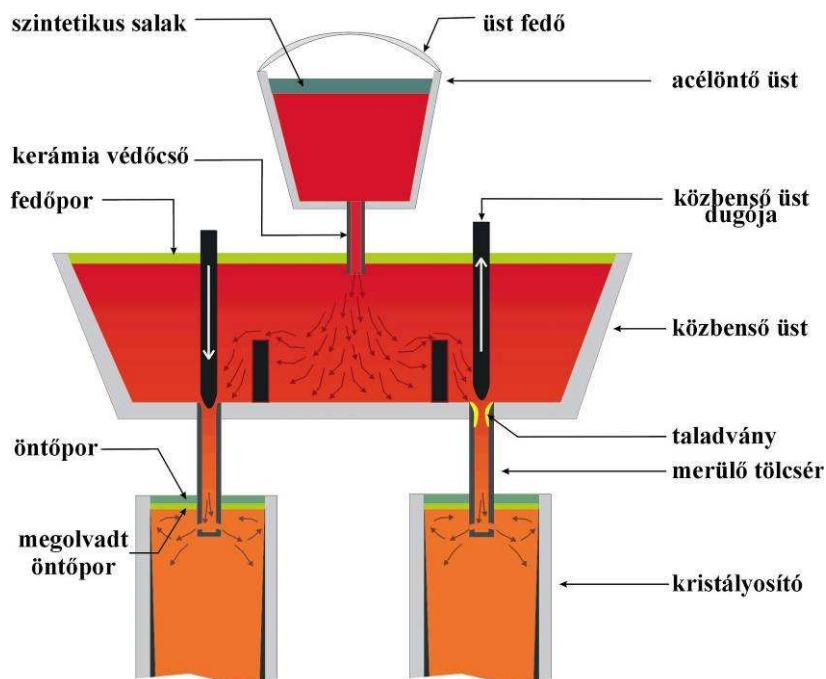
Az OES-PDA módszer alkalmas a technológiai folyamat szabályzására, hiszen egyértelműen –és gyorsan– kimutatható Al_2O_3 zárványok kezelés utáni jelenléte az acélban. Ez a vizsgálati eredmény alkalmas a CaAlFe huzal további adagolandó mennyiségének a megállapítására, valamint a zárványösszetétel kívánt értékének elérésére.

5.4 Az acél zárványosságának hatása a folyamatos öntés végrehajtására

A folyamatos öntés zavartalan végrehajtásának feltétele a megfelelően kezelt – homogén kémiai összetételű és hőmérsékletű – alacsony zárványtartalmú acél biztosítása.

Az üstmetallurgiai állomáson megtisztított és bizonyos acélminőségek gyártása esetén Ca-os kezeléssel finomított acélok, minőségromlás nélküli leöntésének biztosítása érdekében, újraoxidálódását megfelelő reoxidáció elleni védelemmel ki kell zárni. A DUNAFERR folyamatos acél művében az 5.22 ábrán látható védelmet alkalmazzák. A védelem azonban nem mindig ad megfelelő garanciát a reoxidáció elkerülésére. Bizonyos zárványossági fokozatot meghaladó acélok öntésénél a

zárványok lerakódhatnak a kagyló vagy (és) a merülő tölcsér falára és szűküléseket eredményezhetnek. Ez különösen akkor állhat elő, ha a Ca-os zárvány átalakítás nem megfelelő, vagy (és) a reoxidáció olyan mértékű, hogy nagyon sok és nagyméretű alumíniumoxid zárvány képződik az acélban és megváltoztatja az aluminátok összetételét.



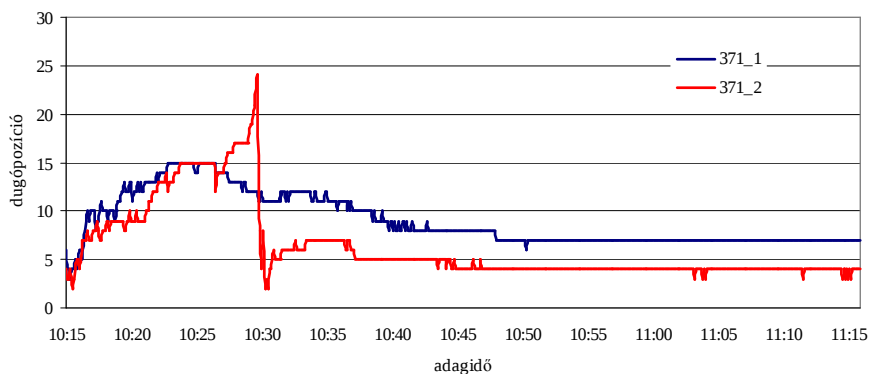
5.22. ábra

A kristályosító dugó pozíciójának változtatása normál illetve szűkült merülő tölcsér keresztmetszet esetén

A folyamatos öntés minősége megítélhető a közbenső üst dugómozgásának alakulásából. Az öntési technológia automatikus szabályozású, aminek alapja a kristályosítóban lévő acélszint állandó értéken tartása. Abban az esetben, ha a kagyló keresztmetszete a zárvány lerakódás miatt csökken, a közbenső üstöt elzáró dugó nyitással növeli az acélkifolyás útját. Ha a fokozatos zárványlerakódás miatt már nem lehet a dugómozgással növelni a kifolyó acél tömegét, a kagyló tisztítása válik szükségessé. Öntés közben gyakori jelenség, a kagyló öntisztulása a zárványok leválása miatt, ilyen esetben a dugó pozíciója visszaáll az eredeti állapotba.

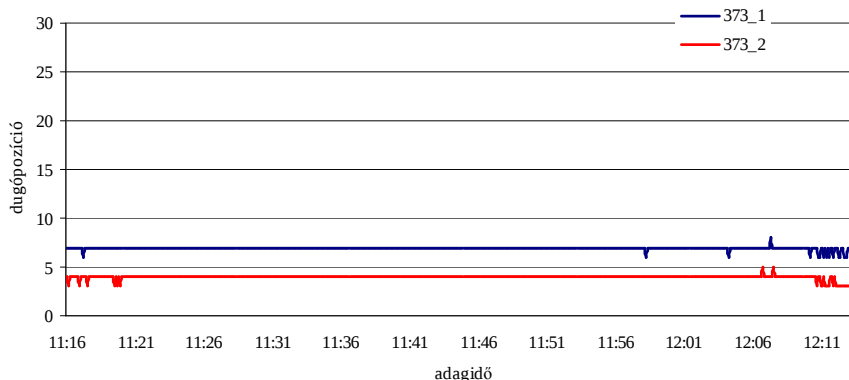
Az általam vizsgált adagok öntésének lefolyását -a kristályosítóban az acélszint és a közbenső üstben a dugó pozícióját- az 5.23-5.26. ábrák mutatják. Az ábrákból egyértelműen látszik, hogy három adag öntése gyakorlatilag zavarmentes volt. A negyedik – a 371 számú adag öntésénél azonban komoly rendellenességek mutatkoztak. Ennek okát az előző alfejezetekben vázolt vizsgálati eredményekben találjuk meg. Ennél az adagnál a reoxidáció egyértelműen bizonyítható az öntés alatt. Ennek következményeként növekedett a zárványok darabszáma, növekedett a zárványok mérete. Újra növekedett a zárványfelhők darabszáma, ami a nagyobb oxigénszint biztos jele. Az adag kalciumos kezelése sem volt sikeres. A négy adag közül ebben az adagban volt a legkisebb az aluminátokban az összetételre jellemző Ca/O arány, (lásd a mellékletben szereplő 5.1. táblázatot) és a reoxidáció következtében egyre csökkent ez az arány.

A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy zárványok mennyiségének csökkentésével, a zárványok kémiai összetételének helyes beállításával, a reoxidációs hatások kizárásával gyakorlatilag zavarmentes öntés hajtható végre.



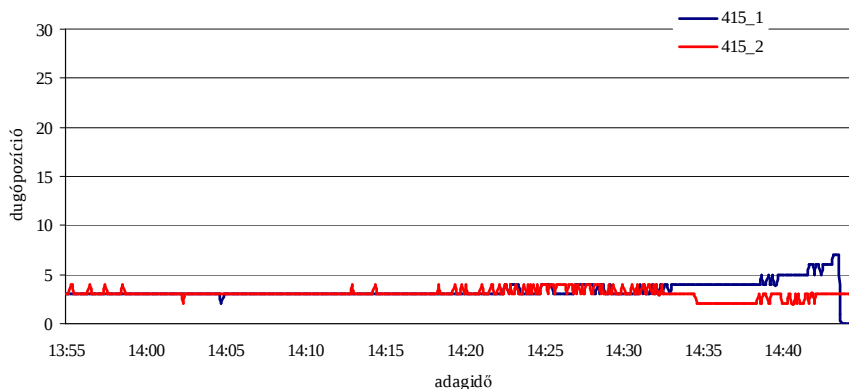
5.23. ábra

A közbenső üst dugó pozíciójának változása a 371. adag öntése során



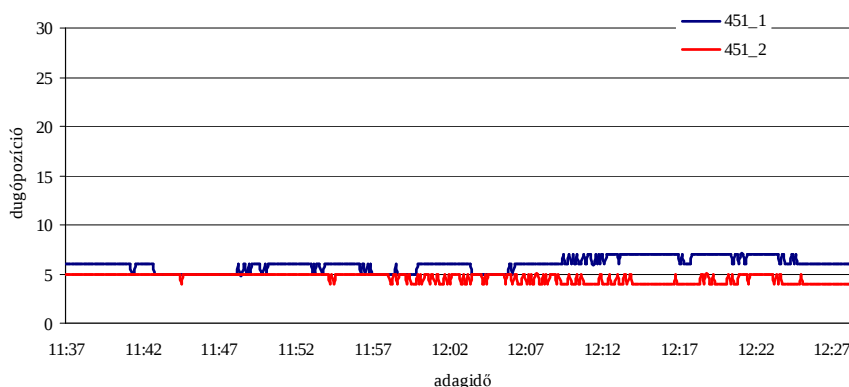
5.24. ábra

A közbenső üst dugó pozíciójának változása a 373. adag öntése során



5.25. ábra

A közbenső üst dugó pozíciójának változása a 415. adag öntése során



5.26. ábra

A közbenső üst dugó pozíciójának változása a 451. adag öntése során

A szilícium mentes alumíniummal csillapított acélok gyártása során az üstmetallurgiai állomáson a lépcsős dezoxidáció első lépése után zömmel már csak gömb alakú alumínium oxid zárványok vannak az acélban, melyek 10-15 ppm összoxigén tartalmat jelentenek az acélban. Ez az oxigén mennyiség még növekszik a dezoxidáció második lépcsője során keletkező dezoxidációs termékekkel. Ez azt jelenti, hogy –bármilyen üstmetallurgiai technológiáról legyen is szó– zárvány mentes acélt nem állíthatunk elő.

5.5 Összefoglalás

Az érempróbák gáz- és salakbezáródásoktól mentesnek tekinthető részein végzett zárványvizsgálatok célja az volt, hogy nyomon tudjam követni a zárványok méretének, illetve kémiai összetételének változását az egyes technológiai folyamatok során. Az üzemi kísérletek során 4 adag esetében, öt alkalommal történt mintavétel a folyékony acélból:

- a csapolás után az üstben végzett elődeoxidációt követően,
- a dezoxidáció második lépcsője (Al huzal adagolás), illetve az összes CaAlFe huzal kb. 80%-ának adagolása után,
- a CaAlFe huzal fennmaradó 20%-ának adagolása után,
- a folyamatos öntőművön a kristályosítóból, amikor a leöntött acélszál hosszúsága elérte a 8,4 m-t,
- a folyamatos öntőművön a kristályosítóból, amikor a leöntött acélszál hosszúsága elérte a 16,8 m-t.

A vizsgálataim során meghatároztam

- a próbadarabokban lévő különálló zárványok darabszámát,
- a próbadarabokban lévő zárványfelhők darabszámát,
- a zárványok méretét (hosszúság, szélesség, terület),
- a zárványok kémiai összetételét,
- a próbadarabok alumínium tartalmát (össz-, oldott és zárvány formában jelen lévő alumínium),
- a kalcium és az oxigén arányának változását a különböző technológiai állapotokra,
- a különböző típusú zárványok darabszámának alakulását.
-

A zárványok darabszámára vonatkozó vizsgálati eredményeket összefoglalva a következő megállapítások tehetők. A különálló zárványok darabszáma a dezoxidáció korrigálása céljából –második dezoxidációs lépcsőben– adagolt alumínium huzal, illetve a zárványok kémiai összetételének módosítására adagolt CaAlFe huzal hatására növekszik mind a négy vizsgált próbadarab esetében. Ennek okai a következők lehetnek:

- CaAlFe huzal adagolás hatására a 2.20-2.27 reakciók szerint alumínát zárványok alakulnak ki
- az acél hőmérsékletének csökkenésével a dezoxidációs reakció lejátszódik (2.19), így további alumínium oxid képződésre kell számítani.
- az acélt borító salak reoxidációs hatása is befolyásolja a zárványok darabszámát, és megnöveli az acél CaO tartalmát.

A zárványok darabszámának növekedése nem azonos nagyságú az egyes adagoknál, ami a fenti reakciók lejátszódásának eltérő mértékével magyarázható.

A 451 és 371 számú adagok zárványtartalmának alakulása külön figyelmet érdemel. A 451 számú adagnál növekedett legnagyobb mértékben a zárványok darabszáma, de a kezelés után ennél az adagnál mutatható ki a legnagyobb darabszám

csökkenés is. Ez a változás a zárványok kémiai összetételének módosítására adagolt CaAlFe huzal mennyiségével hozható kapcsolatba. Ennél az adagnál használták fel a legtöbb CaAlFe huzalt –252 kg-ot– ami a zárványok kémiai összetételének megváltozása miatt a zárványok hatékonyabb salakfázisba való emelkedését eredményezte.

A 371 számú adagnál viszont a zárványok darabszámának növekedése tapasztalható a folyamatos öntőművön vett próbáknál, az öntés során tehát erőteljes reoxidációs hatás érte az acélt. Ennek magyarázata a nem megfelelő reoxidáció elleni védelem.

A zárványok méretének változása követi a különálló zárványok darabszámának változását a kezelés során. A CaAlFe huzal adagolását követően tehát a zárványok darabszámával együtt a méretük is megnövekszik, viszont az argonozás hatására a kezelés végére lecsökken az acélban maradó zárványok mérete is.

A zárványok kémiai összetételének változása alapján lehet megmondani, hogy mennyire tekinthető sikeresnek az alkalmazott CaAlFe huzalos kezelés.

A mikroszondás mérések eredményei mutatják, hogy a kezelés elején az acélt csak alumínium oxid zárványok terhelik, némelyik zárvány esetében Mg, Si is jelen van. Ezek az elemek a tűzálló falazatból, de legvalószínűbb, hogy a mintavevő szonda védősapkára tapadt salakból kerültek a próbába. A Mn és S együttes jelenléte MnS –ra utal. A CaAlFe huzal adagolás hatására a zárványokban megjelenik bizonyos mennyiségű kalcium.

A kezelés hatékonyságát a zárványokban lévő Ca és O arányán keresztül ítéltethetjük meg. A $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ típusú zárványban ez az arány 0,35, a $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ aluminát esetén pedig 0,625. A huzal adagolás után vett első próbadarab esetében (PUA) a Ca/O arány 0,478. Ez azt jelenti, hogy a $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ összetételt sikerült elérni. A kezelés előre haladtával az arány csökken, a folyamatos öntőművön már csak 0,2-0,3, amiből arra lehet következtetni, hogy a huzaladagolás hatására kialakult nagy méretű aluminát zárványok az üstmetallurgiai kezelés argonozási periódusában távoztak az acélolvadékból (ezt alátámasztják a zárványok darabszámára vonatkozó számítógépes képelemzős mérések eredményei is).

A folyamatos öntőművön már csak olyan zárványok maradtak, amelyeket nem sikerült alumináttá átalakítani. A zárványok kémiai összetételét mutató diagramokból jól látható, hogy a második kalcium adagolás (PUA2 jelű próbadarabok) a folyékony acélban lévő zárványok kevesebb kalciumot tartalmaznak, mint az első huzaladagolás után. Ennek oka, hogy a kalcium adagolás hatására a zárványok kémiai összetétele mellett a méretük növekedett —mint ahogy ezt a képelemzős mérések eredményei is igazolták— tehát az argonozás hatására több (nagyobb méretű) kalcium tartalmú zárvány a salakfázisba emelkedett, így a VP1 és VP2 jelű próbákban már nem tudtam detektálni őket. A folyamatos öntőmű közbenső üstjében a zárványok kémiai összetétele jelentősen már nem változott, mint a korábbi technológiai állapotokban vett próbadarabok esetében. Tehát azok a kalcium tartalmú zárványok, amelyek a folyamatos öntőművön jelen voltak az adagban már olyan kis méretűek voltak, hogy nem tudtak felszállni a salakfázisba.

Az elektronmikroszkópos vizsgálatok során –mivel a visszaszórt elektronok által szolgáltatott felvétel rendszámkontraszt képet mutat– tapasztaltam, hogy a komplex aluminát zárványok felületén egy vékony CaS réteg található. Ez a réteg az összes technológiai állapotban vett érempróba zárványa esetében jelen van. Az elektronmikroszkópos vizsgálataimmal igazoltam a szakirodalom azon elméletét, miszerint a komplex kalcium aluminátok képződésének utolsó lépése során, amikor a zárvány körül, annak növekedésének előre haladtával, lecsökken az Al és O tartalom

(csökken az alumínium oxid aktivitása), lehetővé válik a CaS képződése. Mivel energetikailag kedvezőbb, a CaS nem önálló zárványként jelenik meg az acélban, hanem a már jelen lévő komplex kalcium aluminátra válik ki.

Az OES-PDA módszer alkalmazásával meg lehet mondani, hogy az acél alumínium tartalma milyen arányban oszlik meg fémes és oxid formában jelen levő alumíniumra. A fémes alumínium tartalom nagysága az acél dezoxidáltságának mértékére, az oxid formájú alumínium pedig a zárványtartalomról ad információt. A három összefüggő mennyiség változása a zárványok salakfázisba való felúszására, illetve a reoxidációra ad magyarázatot. A fémes alumínium tartalom nagysága az acél lehűlése során változik. Mivel azonban az öntés alatt az acél hőmérséklete általában keveset $-3-5^{\circ}\text{C}$ - csökken, a fémes alumínium csökkenése a reoxidáció miatt következik be. A 373 és 451 számú adagoknál az oldott alumínium tartalom csak kis mértékben változott, reoxidáció nem következett be. A másik két adagnál, elsősorban a 371 számúnál azonban, intenzív reoxidációs folyamatra lehet következtetni.

Az OES-PDA módszerrel azt is meg lehet állapítani, hogy egy elem melyik másik elemel együtt található a zárványban (melyik elemek csatornáiból kapunk egyidejűleg jelet). Amennyiben tehát az alumínium az oxigén jelenléte egyszerre mutatkozik, úgy Al_2O_3 zárvány jelenlétéről beszélünk. Kalcium aluminát zárványba talált a szikra abban az esetben, ha a Ca-, O- és Al csatornákból kapunk egyszerre információt. CaO zárvány esetén a Ca és O csatornák jelei mutatkoznak egy időben. Ez az elemző módszer azonban a kalcium aluminát zárvány pontos összetételének megállapítására nem alkalmas, csak az ilyen típusú zárványok darabszámát adja meg.

Mind a négy vizsgált adag esetében, a dezoxidált acélban, a kezelés előtti próbákban csak Al_2O_3 zárvány található. A CaAlFe huzal adagolásának eredményeként az aluminátok és a CaO mennyisége intenzíven növekszik, az Al_2O_3 zárványok száma pedig csökken. A CaO mennyiségének a növekedése egyértelműen bizonyítja, hogy a reoxidációból származó oxigén CaO képződéshez vezet.

Mind a CaO, mind a kalcium aluminát zárványok mennyisége az argonos átöblítés és öntés során csökken, tehát az acél tisztulási folyamata végbemegy. Az Al_2O_3 zárványok azonban a kezelés végén és az öntés alatt is jelen vannak az acélban, ami a zárványátalakítás nem megfelelő lejátszódását jelzi.

Ha összevetjük a mikroszondás és az OES-PDA mérések eredményeit, akkor láthatjuk, hogy a CaAlFe huzal adagolás hatására megfelelő összetételű ($\text{CaO} \ 2 \ \text{Al}_2\text{O}_3$) aluminát zárványok alakultak ki, azonban a kezelés után még maradtak át nem alakított alumínium oxidok. Ez azt jelenti, hogy a felhasznált CaAlFe huzal mennyisége valóban nem volt elég az összes zárvány megfelelő összetételű alumináttá való átalakításához.

Az acélban található CaO a salakból redukált oxigén és a huzal Ca tartalmának reakciójában keletkezik, amely a zárvány átalakítás hatásfokát rontja, hiszen a Ca elhasználódását jelenti.

Az OES-PDA módszer tehát alkalmas a technológiai folyamat szabályzására, hiszen egyértelműen –és gyorsan– kimutatható Al_2O_3 zárványok kezelés utáni jelenléte az acélban. Ez a vizsgálati eredmény alkalmas a CaAlFe huzal további adagolandó mennyiségének a megállapítására, valamint a zárványösszetétel kívánt értékének elérésére.

Az elektronmikroszkópos vizsgálatok során tapasztaltam, hogy a komplex aluminát zárványok felületén egy vékony CaS réteg található. Ez a réteg az összes technológiai állapotban vett érempróba zárványa esetében jelen van. Ezekkel a vizsgálatokkal igazoltam a szakirodalom azon elméletét, miszerint a komplex kalcium aluminátok képződésének utolsó lépése során, miután az alumínium oxid aktivitása lecsökkent, lehetővé válik a CaS képződése. Mivel energetikailag kedvezőbb, az ilyen alacsony

kéntartalmú acélokban ($S=0,004-0,015$) a CaS nem önálló zárványként jelenik meg az acélban, hanem a már jelen lévő komplex kalcium aluminátra válik ki.

A zárványvizsgálati eredményeket összevetettem a kristályosítóban az acélszinttel és a közbenső üstben a dugó pozíciójával. Három adag öntése zavarmentes volt, viszont a negyedik, a 371 számú adag öntésénél komoly rendellenességek mutatkoztak. Ennek okát a vizsgálati eredményekben találjuk meg. Ennél az adagnál volt egyértelműen bizonyítható a reoxidáció az öntés alatt, melynek következményeként növekedett a zárványok darabszáma, növekedett a zárványok mérete. Ezen túl növekedett a zárványfelhők darabszáma, ami a nagyobb oxigénszint biztos jele. Az adag kalciumos kezelése sem volt sikeres. A négy adag közül ebben az adagban volt a legkisebb az aluminátokban az összetételre jellemző Ca/O arány. Ez azt jelenti, hogy ennél az adagnál a zárványok összetétele jóval elmarad az elérni kívánt zárványösszetételtől. A reoxidáció következtében tovább csökkent a Ca/O arány.

5.6 Tézisek

Az érempróbák gáz- és salakbezáródásoktól mentesnek tekinthető részein zárványvizsgálatokat végeztem, melyek célja az volt, hogy nyomon tudjam követni a zárványok méretének, illetve kémiai összetételének változását az egyes technológiai folyamatok során.

1. A különálló zárványok darabszámának vizsgálati eredményeiből megállapítható, hogy a dezoxidáció korrigálása céljából –második dezoxidációs lépcsőben– adagolt alumínium huzal, illetve a zárványok kémiai összetételének módosítására adagolt CaAlFe huzal hatására az acélolvadékban lévő zárványok darabszáma növekszik. A növekedés (182%), annál az adagnál a legnagyobb, amelynél az adagolt CaAlFe huzal mennyisége (1,94 kg/t) leginkább megközelítette a számításaim szerint szükséges 3,06 kg/t értéket. Azoknál az adagoknál, ahol a CaAlFe huzal mennyisége 1,5 kg/t körüli volt, a zárvány darabszám növekedés 15-40% volt. A kezelés előre haladtával –az acélolvadék argon gázzal történt átöblítése hatására– a zárványok darabszáma csökken.

1.1 A kezelés után –a folyamatos öntőművön– az acélolvadékban lévő zárványok darabszáma abban az esetben növekszik, ha az acélt reoxidációs hatás éri. Vizsgálataim során a reoxidáció hatására a zárványfelhők darabszámának növekedése 60%-os, a különálló zárványoké pedig 20%-os volt.

2. A zárványok kémiai összetételének változása alapján lehet megmondani, hogy mennyire tekinthető sikeresnek az alkalmazott CaAlFe huzalos kezelés. A kezelés elején az acélt csak alumínium oxid zárványok terhelik, majd a technológiai folyamat előre haladtával a zárványokban a kalcium mennyisége növekszik. A zárványokban a Ca/O arány eléri (0,478) az 1602°C feletti kezelési hőmérséklet felett elérni kívánt $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ összetételhez tartozó–arányt (0,35). A huzaladagolás után azonban még maradt át nem alakított Al_2O_3 zárvány az acélolvadékban. Ez bizonyítja, hogy a kezelés során nem történt elegendő mennyiségű kalcium adagolása az acélba.

A kezelés előre haladtával az arány csökken, a folyamatos öntőművön már csak 0,2-0,3, amiből arra lehet következtetni, hogy a huzaladagolás hatására kialakult nagy méretű aluminát zárványok az üstmetallurgiai kezelés argonozási periódusában távoztak az acélolvadékból (ezt alátámasztják a zárványok darabszámára vonatkozó számítógépes képelemzős mérések eredményei is)

2.1 Az OES-PDA módszer vizsgálati eredményei mutatják, hogy az acélban szabad állapotú CaO található. Mivel a CaO képződés normál szabadentalpia változása amely a salakból redukált oxigén és a huzal Ca tartalmának reakciójában keletkezik, amely a zárvány átalakítás hatásfokát rontja, hiszen a Ca hasznosulást csökkenti.

3. A számítógépes képelemzős mérési eredményeim alapján, azt a minimum 3 db tagból álló zárvány csoportot, melyekre érvényes, hogy a közöttük lévő távolság maximális értéke a zárvány hosszúságának (ami a zárvány átmérői közül a legnagyobb értékű) a 2,25-szerese, zárványfelhőnek nevezem.

A zárványfelhőre az alábbi összefüggés igaz tehát:

$$D < 2,25 \cdot L \quad ; \quad N \geq 3 \quad (5.1)$$

ahol D a zárványok közötti távolság, [μm], L a zárványok hosszúsága (a különböző irányokban mért átmérők közül a legnagyobb) [μm], N pedig a felhőt alkotó zárványok darabszáma.

Irodalomjegyzék

- [1] Szabó Zoltán A zárványok átalakítása az acélok kalciumos kezelésével, DUNAFERR Műszaki Gazdasági Közlemények 2007/1.
- [2] Kyoko WASAI, Kusuhiro MUKAI and Akifumi MIYANAGA1) Observation of Inclusion in Aluminum Deoxidized Iron ISIJ International, Vol. 42 (2002), No. 5, pp. 459–466
- [3] R. Dekkers, NON-METALLIC INCLUSIONS IN LIQUID STEEL, doktori értekezés, 2002
- [4] Katsuhiro SASAI and Yoshimasa MIZUKAMI, Mechanism of Alumina Adhesion to Continuous Caster Nozzle with Reoxidation of Molten Steel, ISIJ International, Vol. 41 (2001), No. 11, pp. 1331–1339
- [5] Simon, Sziklavári, Szőke: Újabb technológiai megoldások az acélgyártásban, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974
- [6] Szabó Zoltán: Öntőmagylók szűkülésének megszüntetése a lágy acélok Ca-os kezelésével, Tanulmány 1999
- [7] Szabó Zoltán: Lágyacélok finomítása porított fémek üstbe fúvatásával, Egyetemi doktori értekezés
- [8] Kaptay Gy.-Jánosfy Gy.: A fémessalumínium tartalom meghatározása a CELOX szondával mért elektromotoros erő értékek alapján, 1. részjelentés a „Fémessalumínium tartalom beállítása az acél végtermékben” c. Dunaferr Rt. és a Miskolci Egyetem közötti kutatási megállapodáshoz, 1998
- [9] Szabó Zoltán, Alacsony zárványtartalmú acél gyártásának feltételei, DUNAFERR Műszaki Gazdasági Közlemények 2006/4., pp. 203-208
- [10] Carlo Mapelli: Control and Engineering of Non-metallic Inclusions Belonging to the $x\text{SiO}_2\text{-yCaO-zAl}_2\text{O}_3$ System in Ca-treated Al-killed and Al-Si-killed Steels, Steel Research ind. 77 (2006) No.7
- [11] Y. KUSANO Y. KAWAUCHI M. WAJIMA. K. SUGAWARA. M. YOSHIDAI H. HAYASH, Calcium Treatment Technologies for Special Steel Bars and Wire Rods, ISIJ International, Vol. 36 (1 996), Supplement, pp. S77-S80
- [12] Dieter JANKE, Zhongting MA, Peter VALENTIN1) and Andreas HEINEN, Improvement of Castability and Quality of Continuously Cast Steel, ISIJ International Vol. 40 (2000), No. 1, pp. 31-39
- [13] N. Bannenberg, K. Harste and O Bode: Proceedings of 6th International Conference on Refining Processes- Scaninject VI, MEFOS, Lulea, (1992), 247-265
- [14] A.W. Vere: Crystal Growth, Principles and Progress ISBN 0-306-42576-9: http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=53B6CqwkVN4C&oi=fnd&pg=PT8&dq=volmer+kossel+stranski&ots=FhSTvdhlpz&sig=B8Va16H4TYjQPmN4H3JPq_DmGuU#PPT8,M1
- [15] George Kaptay: HT Interfacial Forces, Energies and Phenomena, Materials for a PhD course
- [16] C.E. Sims, F.B. Dahle, Effect of Aluminum on the Properties of Medium-Carbon Cast Steel Transactions American Foundrymen's Association 46 (1938) p.65-132.
- [17] Yoichi ITO, Noriyuki MASUMITSU and Kaichi MATSUBARA Formation of Manganese Sulfide in Steel, Transactions ISIJ, Vol. 21, 1981
- [18] K. G. Rackers, B. G. Thomas, Clogging in Continuous Casting Nozzles, 78th Steelmaking Conference Proceedings, Nashville, TN, April 2, 1995, Iron and Steel Society, Warrendale, PA, Vol. 78, 1995, pp. 723-734.
- [19] L. Zhang, B. G. Thomas ; INCLUSIONS IN CONTINUOUS CASTING OF STEEL; XXIV National Steelmaking Symposium, Morelia, Mich, Mexico, 26-28, Nov.2003, pp. 138-183
- [20] L. ZHANG , W. Pluschke, B. G. Thomas; NUCLEATION AND GROWTH OF ALUMINA INCLUSIONS DURING STEEL DEOXIDATION 85th Steelmaking Conference, (Mar.10-13, 2002, Nashville, TN), Vol.85, ISS, Warrendale, PA, 2002, pp.463-476
- [21] R. Dekkers , B. Blanpain and P. Wollants. Crystal growth in liquid steel during secondary metallurgy, Metallurgical and Materials Transactions B, Volume 34, Number 2 / april de 2003
- [22] Gy. Károly, P. Tardy, Á. Szélig, A. Szabó, Sz. El-Ghazaly: Az argonos átöblítés hatékonyságának szerepe az acélok tisztaságának javításában, Bányászati és Kohászati Lapok, 2007. 3. szám, 1-6. oldal
- [23] A metallurgiai üstben kialakuló áramlás numerikus szimulációja, BME Áramlástan Tanszékén készült tanulmány, 2005
- [24] Kaptay Gy. kézírata a Bányászati és Kohászati Lapok, 2007. 3. számban megjelent cikk kapcsán
- [25] T. Hansén, G. Runnsjö, H. Hägglund P. Jönsson: Ideas for standardized sampling routines – Some thoughts about the necessity of developing adequate routines for durable sampling procedures., Clean Steel Conference, 2007
- [26] MINCON Sampler Technik GmbH technológiái-rása a ProAsVO2 argon- kezeléses próbavételi technikáról, 2003. pp:46

- [27] Szabó Andrea: Vákuumos mintavételi eljárás alkalmazása az üstmetallurgiai kezelés során, Kutatószemináriumi előadás, 2008 január 30, Miskolc
- [28] a 371, 373, 415 és 451 számú adagok gyártási és öntési lapjai
- [29] Zhang, L. B.G.Thomas: State of the art in Evaluation and Control of Steel Cleanliness. ISIJ International 2003:3, 271-291
- [30] Dr. Csocsán László: Fénymikroszkópok, Előadás anyaga a Budapesti Műszaki Egyetemen, 2003
- [31] Gács Zoltán: Sztreológia és Képelemzés, Egyetemi tankönyv, 2001
- [32] Pozsgai Péter: A pásztázó elektronmikroszkópia és elektronsugaras mikroanalízis alapjai, 1994
- [33] Szabó Andrea: Zárványképződési folyamatok az alumíniummal csillapított szilícium-mentes acéolvadéokban, Kutatószemináriumi előadás, 2008. június 20, Miskolc
- [34] Bocz András, Pallósi József, Firényiné Simon Mária, Oláh Istvánné, Sárai Szabó Ilona, Sümeginé Kondorosi Gabriella: Fejlesztések a Qualitest Lab. Kft. laboratóriumaiban, Dunaferr Műszaki Gazdasági Közlemények 2005/4. (XLV. évf. 4. szám (140.))
- [35] Márffy János, Dr. Pallósi József, Bocz András: Zárványosság vizsgálata egyszikrás technikával, kézirat, 2009.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni mindazok támogatását, segítségét, akik doktori értekezésem elkészítésében, valamint tudományos tevékenységem egyengetésében részt vettek.

Tudományos vezetőmnek, Dr. Károly Gyulának, az elmúlt négy évben önzetlenül nyújtott segítségért,

Dr. Szabó Zoltánnak, aki a dolgozat elkészítésénél fáradhatatlanul segítségemre volt tanácsaival, támogatásával,

Dr. Tardy Pálnak, szakmai gyakorlat szervezésében, kapcsolatteremtésben nyújtott segítségért,

Dr. Kaptay Györgynek, az értékes szakmai tanácsokért, útmutatásért,

Az ISD Dunafer Zrt, Technológiai Igazgatóságán Szélig Árpádnak, Józsa Róbertnek és Lukácsi Istvánnak, az üzemi kísérletekben való részvétel biztosításáért, illetve a dolgozat készítésében nyújtott segítségért, annak véleményezéséért.

Az ISD Dunafer Zrt. Innovációs Igazgatóságának, hogy lehetőséget biztosított a vizsgálatok elvégzésére,

A műhelyvita résztvevőinek, akik értékes hozzászólásaikkal és tanácsaikkal segítettek a dolgozat végleges kialakításában,

A családomnak a türelemért és a biztatásért.

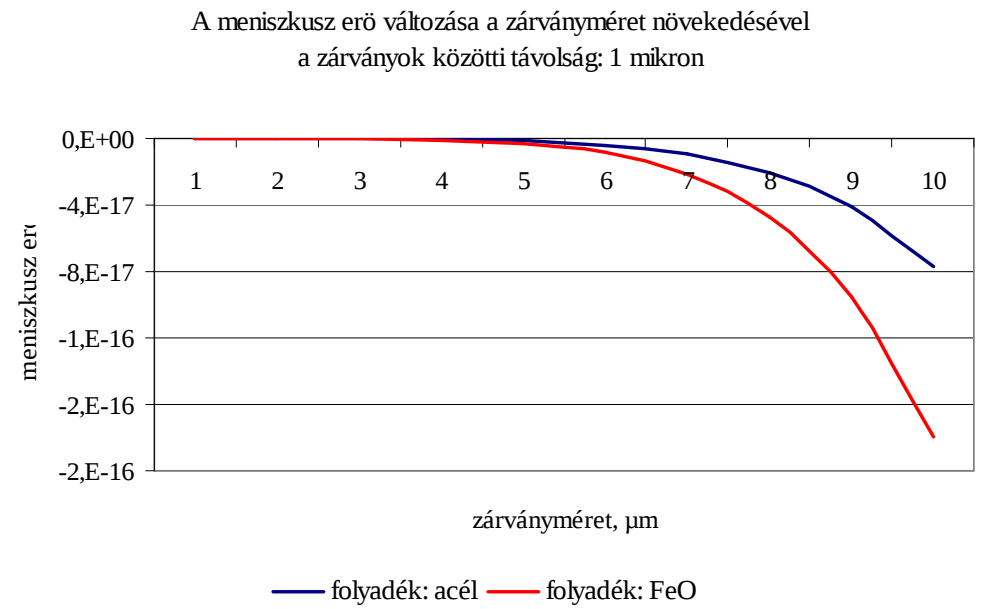
Melléklet

2.0. táblázat: Oldott alumínium mérés eredménye, az adatok tömeg%-ban értendők

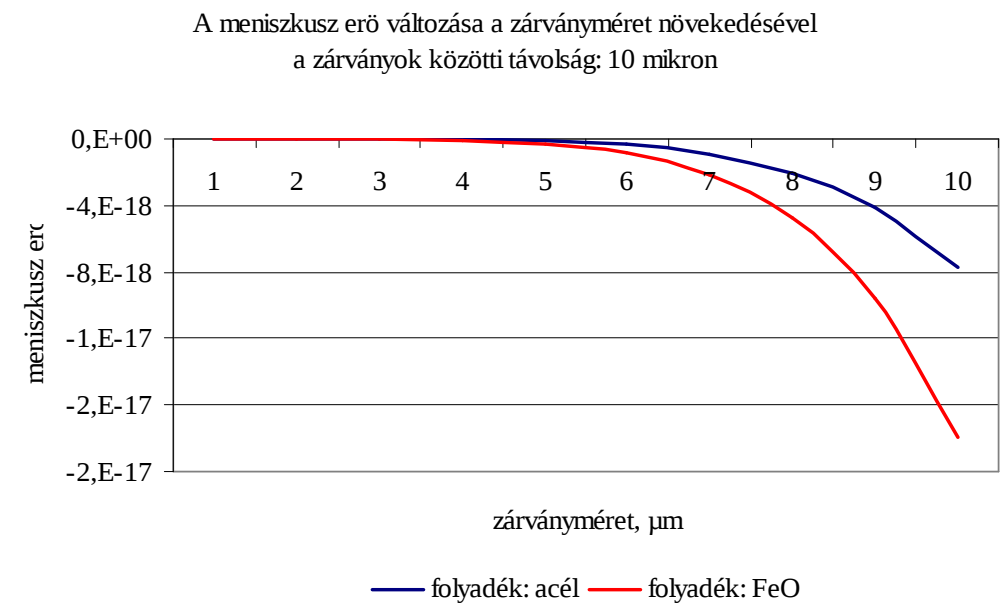
Adag-szám	Oldott Al, %	Adag-szám	Oldott Al, %	Adag-szám	Oldott Al, %	Adag-szám	Oldott Al, %	Adag-szám	Oldott Al, %	Adag-szám	Oldott Al, %	Adag-szám	Oldott Al, %
1	0,05671	21	0,04997	41	0,04501	61	0,05831	81	0,04848	101	0,05190	121	0,03376
2	0,05671	22	0,04997	42	0,04446	62	0,03951	82	0,04951	102	0,07474	122	0,03514
3	0,03454	23	0,05694	43	0,02828	63	0,03951	83	0,03509	103	0,06041	123	0,04816
4	0,04650	24	0,05694	44	0,02571	64	0,03684	84	0,04842	104	0,03619	124	0,04683
5	0,06049	25	0,04354	45	0,03653	65	0,04323	85	0,04361	105	0,08976	125	0,02203
6	0,04650	26	0,05740	46	0,03324	66	0,04238	86	0,04002	106	0,05375	126	0,06105
7	0,04650	27	0,05083	47	0,05212	67	0,04002	87	0,05772	107	0,07117	127	0,04147
8	0,06398	28	0,05352	48	0,04877	68	0,04714	88	0,03764	108	0,05517	128	0,03606
9	0,06398	29	0,05093	49	0,04877	69	0,04714	89	0,06050	109	0,05832	129	0,03571
10	0,03284	30	0,04740	50	0,04877	70	0,04951	90	0,04760	110	0,03786	130	0,05288
11	0,04650	31	0,04359	51	0,05669	71	0,04714	91	0,04760	111	0,03149	131	0,04466
12	0,07189	32	0,04359	52	0,03125	72	0,04951	92	0,04951	112	0,05437	132	0,03921
13	0,04574	33	0,04956	53	0,06546	73	0,03513	93	0,07855	113	0,05537	133	0,03592
14	0,04687	34	0,04699	54	0,05887	74	0,07852	94	0,06440	114	0,03822	134	0,02533
15	0,05119	35	0,05612	55	0,04645	75	0,06073	95	0,07564	115	0,03787	135	0,02535
16	0,04203	36	0,04557	56	0,04959	76	0,04951	96	0,07188	116	0,03787		
17	0,04816	37	0,03136	57	0,05045	77	0,03513	97	0,03160	117	0,04486	Átlag	0,048172
18	0,04816	38	0,04310	58	0,04052	78	0,04951	98	0,05240	118	0,06323		
19	0,04723	39	0,02494	59	0,04052	79	0,07812	99	0,05910	119	0,07394		
20	0,04997	40	0,03459	60	0,04083	80	0,04951	100	0,04990	120	0,03210		

2.1. táblázat: zárványokra ható erők nagysága az acéolvadékokban (illetve FeO esetén)

Zárvány sugara r, μm	Erő, N (Folyadék típusa)					
	folyadék híd		adhéziós		meniszkusz	
	Acél	FeO	Acél	FeO	Acél	FeO
1,00	5,50E-06	-3,58E-06	-5,09E-08	-1,66E-08	-7,70E-24	-1,80E-23
2,00	1,10E-05	-7,16E-06	-5,13E-07	-1,67E-07	-4,93E-22	-1,15E-21
3,00	1,65E-05	-1,07E-05	-1,74E-06	-5,66E-07	-5,61E-21	-1,31E-20
4,00	2,20E-05	-1,43E-05	-3,86E-06	-1,26E-06	-3,15E-20	-7,36E-20
5,00	2,75E-05	-1,79E-05	-6,87E-06	-2,24E-06	-1,20E-19	-2,81E-19
6,00	3,30E-05	-2,15E-05	-1,07E-05	-3,49E-06	-3,59E-19	-8,38E-19
7,00	3,85E-05	-2,51E-05	-1,53E-05	-4,97E-06	-9,06E-19	-2,11E-18
8,00	4,40E-05	-2,86E-05	-2,05E-05	-6,67E-06	-2,02E-18	-4,71E-18
9,00	4,95E-05	-3,22E-05	-2,63E-05	-8,56E-06	-4,09E-18	-9,55E-18
10,00	5,50E-05	-3,58E-05	-3,26E-05	-1,06E-05	-7,70E-18	-1,80E-17

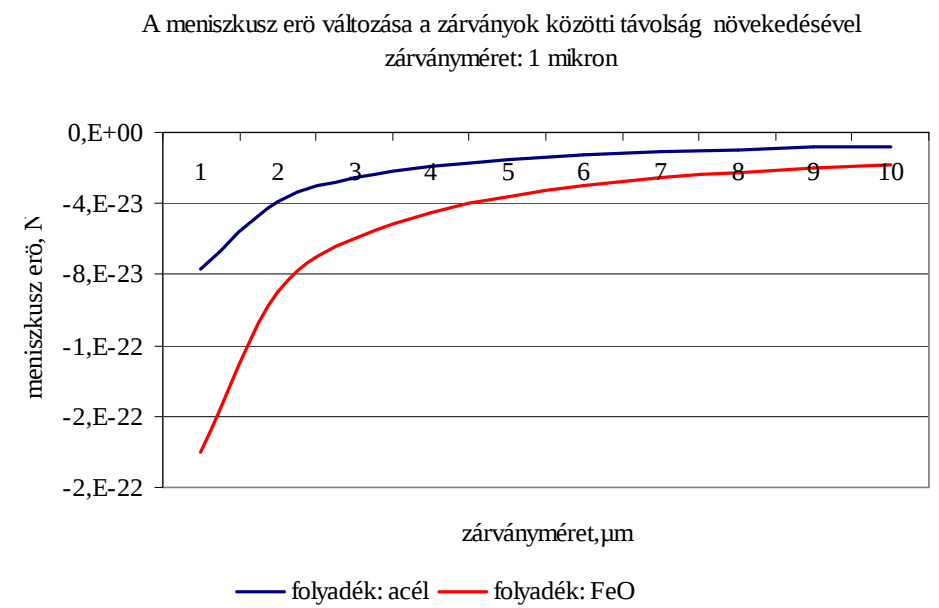


2.1/a. ábra

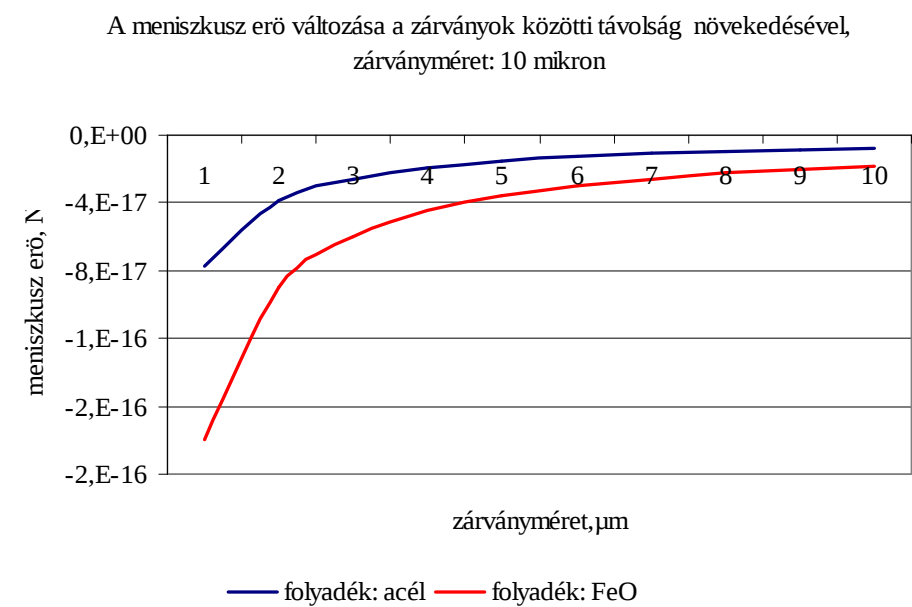


2.1/b. ábra

A meniszkusz erő változása a zárványméret növekedésével
(az egyik esetben a zárványok közötti folyadék acél, a másik esetben pedig FeO)



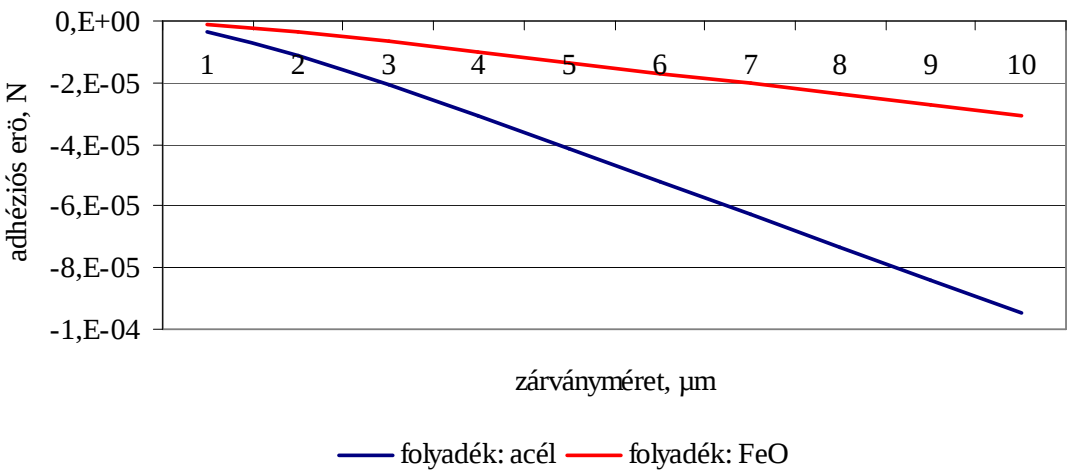
2.2/a. ábra



2.2/b. ábra

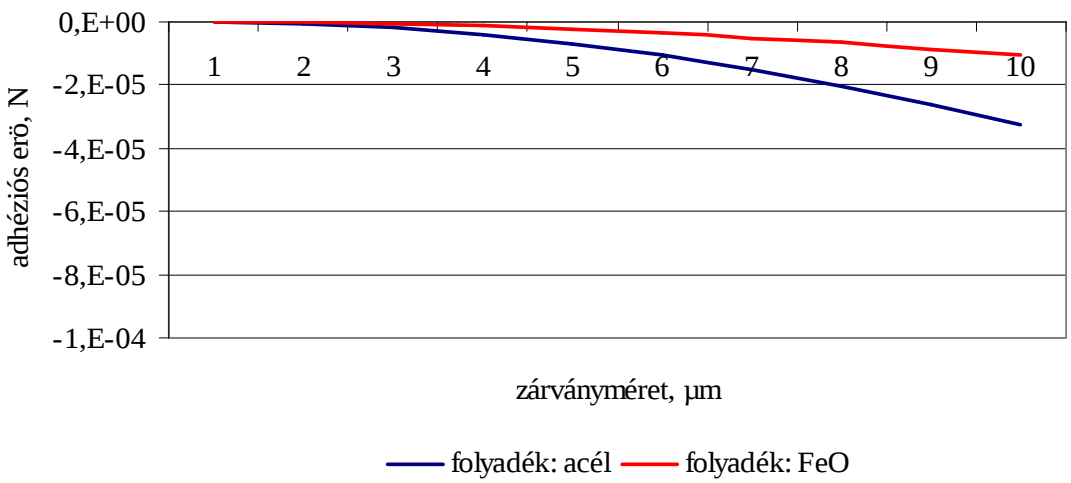
A meniszkusz erő változása a zárványok közötti távolság növekedésével
(az egyik esetben a zárványok közötti folyadék acél, a másik esetben pedig FeO)

Az adhéziós erő változása a zárványméret növekedésével
a zárványok közötti távolság: 1 μm



2.3/a. ábra

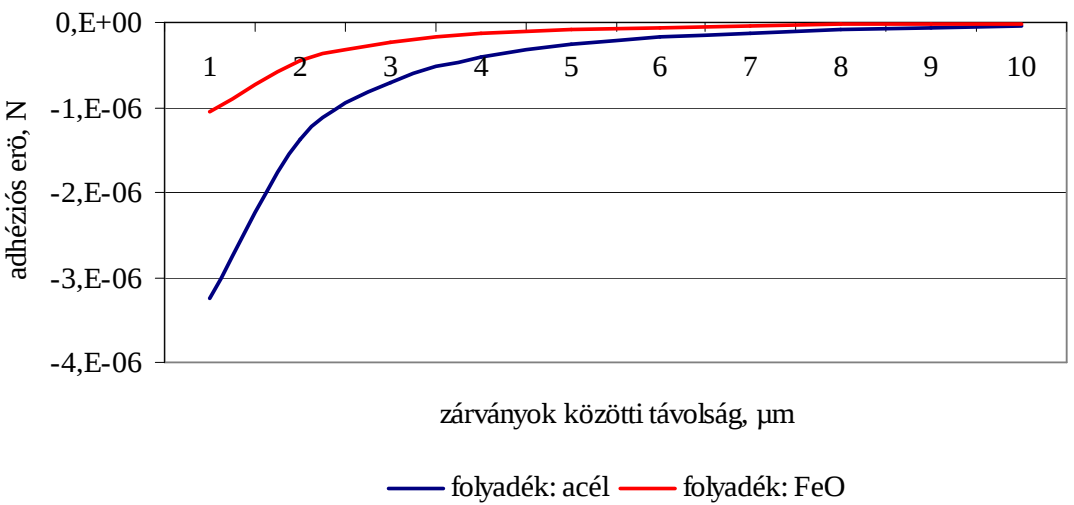
Az adhéziós erő változása a zárványméret növekedésével
a zárványok közötti távolság: 10 μm



2.3/b. ábra

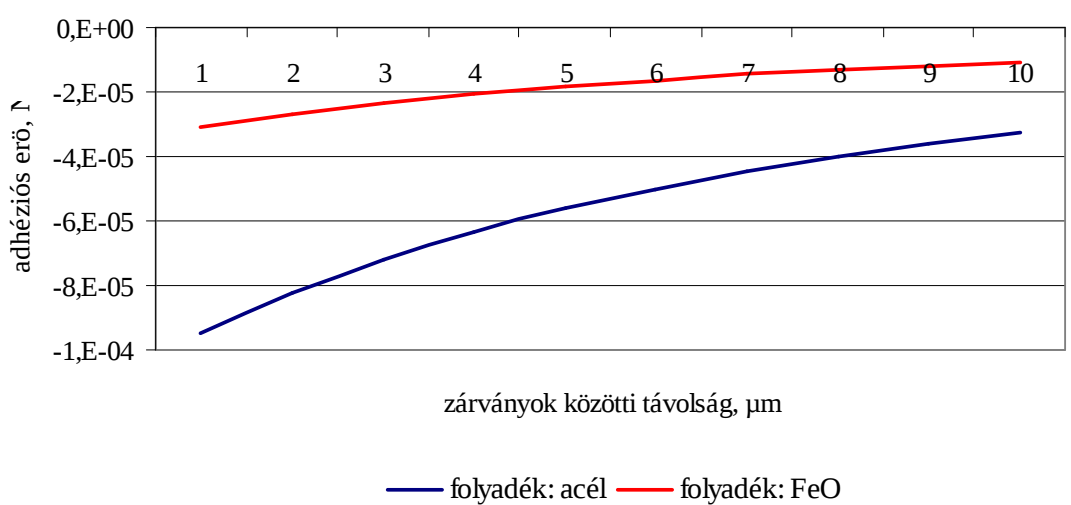
Az adhéziós erő változása a zárványméret növekedésével
(az egyik esetben a zárványok közötti folyadék acél, a másik esetben pedig FeO)

Az adhéziós erő változása a zárványok közötti távolság növekedésével
1 μm méretű zárvány esetében



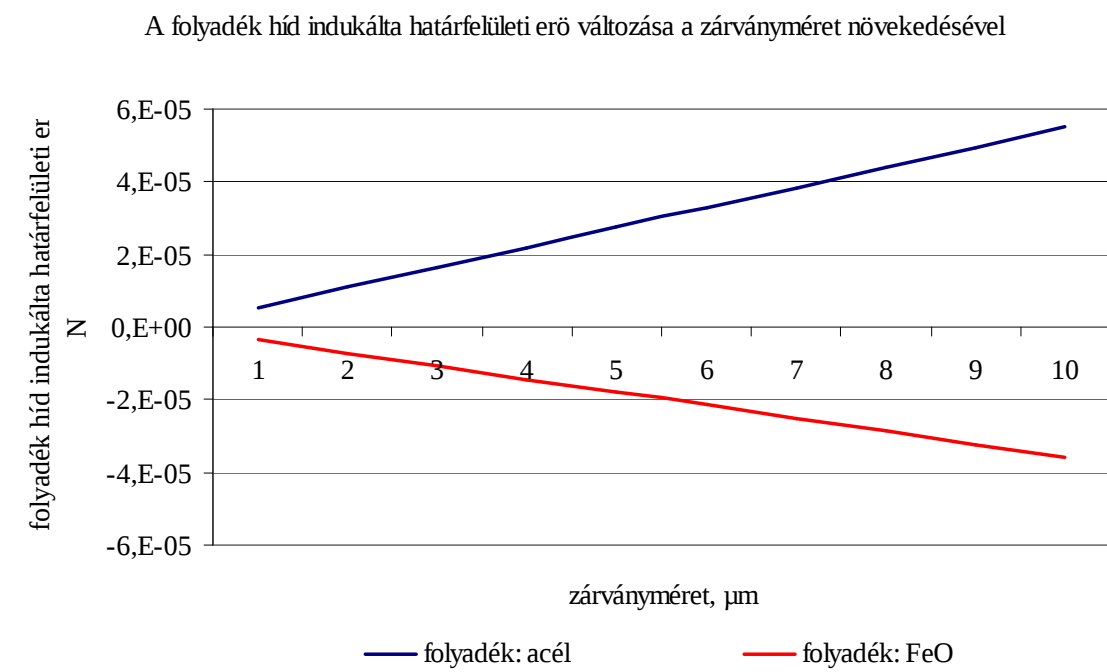
2.4/a. ábra

Az adhéziós erő változása a zárványok közötti távolság növekedésével
10 μm méretű zárvány esetében



2.4/b. ábra

Az adhéziós erő változása a zárványok közötti távolság növekedésével
(az egyik esetben a zárványok közötti folyadék acél, a másik esetben pedig FeO)



2.5. ábra

A folyadék híd indukálta határfelületi erő változása a zárványméret növekedésével
(az egyik esetben a zárványok közötti folyadék acél, a másik esetben pedig FeO)

2.2. táblázat: a zárványképződési reakciókat kísérő normál szabadentalpia változás

Reakció sorszáma a 2. fejezetben	Reakció	Hőmérséklet, T, [K]	Egyensúlyi állandó, K	Normál szabadentalpia változás, ΔG ⁰ [J/molAl]
Alumínium adagolás hatására lejátszódó folyamat:				
2.19	$Al + \frac{3}{2}O \rightarrow \frac{1}{2}Al_2O_3$	1823,15	2,26·10 ²¹	-745277
		1873,15	2,62·10 ²⁰	-732156
		1923,15	3,39·10 ¹⁹	-719037
		1973,15	4,88·10 ¹⁸	-705925
CaAlFe huzal adagolás hatására lejátszódó folyamatok				
Reakció		Hőmérséklet, T, [K]	Egyensúlyi állandó, K	Normál szabadentalpia változás, ΔG ⁰ [J/molCa]
2.20	$Ca + O \rightarrow CaO$	1823,15	2,40·10 ¹⁶	-248267
		1873,15	4,92·10 ¹⁵	-244377
		1923,15	1,10·10 ¹⁵	-240476
		1973,15	2,63·10 ¹⁴	-236573
2.21	$Ca + \frac{19}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow CaO \cdot 6Al_2O_3 + \frac{2}{3}Al$	1823,15	2,24·10 ⁵	-186706
		1873,15	1,90·10 ⁵	-189307
		1923,15	1,63·10 ⁵	-191913
		1973,15	1,41·10 ⁵	-194527
2.22	$Ca + \frac{7}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow CaO \cdot 2Al_2O_3 + \frac{2}{3} \cdot Al$	1823,15	1,93·10 ⁴	-149597
		1873,15	1,60·10 ⁴	-150736
		1923,15	1,33·10 ⁴	-151861
		1973,15	1,12·10 ⁴	-152967
2.23	$Ca + \frac{4}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow CaO \cdot Al_2O_3 + \frac{2}{3} \cdot Al$	1823,15	5,22·10 ³	-129759
		1873,15	4,35·10 ³	-130487
		1923,15	3,67·10 ³	-131216
		1973,15	3,11·10 ³	-131939

2.2. táblázat folytatása: a zárványképződési reakciókat kísérő normál szabadentalpia változás

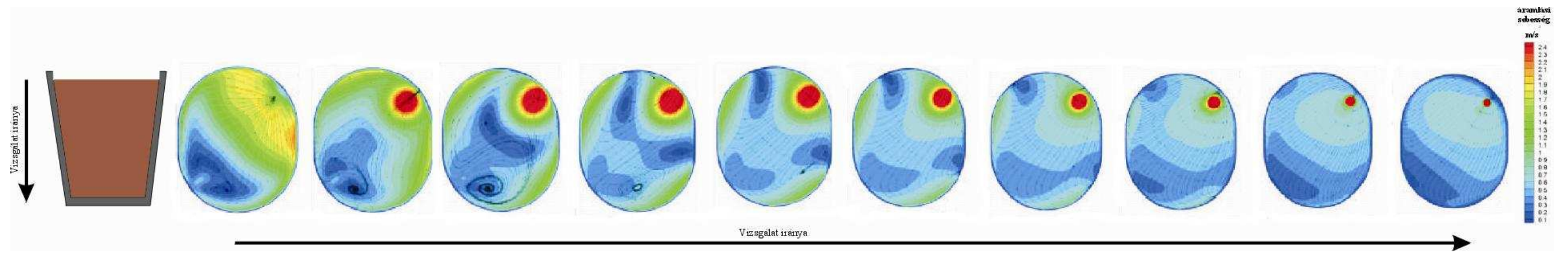
Reakció		Hőmérséklet, T, [K]	Egyensúlyi állandó, K	Normál szabadentalpia változás, ΔG^0 [J/molCa]
2.24	$Ca + \frac{11}{12} \cdot Al_2O_3 \rightarrow \frac{1}{12} \cdot 12CaO \cdot 7Al_2O_3 + \frac{2}{3} \cdot Al$	1823,15	$2,37 \cdot 10^3$	-117772
		1873,15	$2,04 \cdot 10^3$	-118695
		1923,15	$1,78 \cdot 10^3$	-119632
		1973,15	$1,56 \cdot 10^3$	-120573
2.25	$Ca + \frac{2}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow \frac{1}{3} \cdot 3CaO \cdot Al_2O_3 + \frac{2}{3} \cdot Al$	1823,15	$8,91 \cdot 10^2$	-102954
		1873,15	$7,69 \cdot 10^2$	-103493
		1923,15	$6,69 \cdot 10^2$	-104029
		1973,15	$5,87 \cdot 10^2$	-104567
2.26	$Ca + \frac{1}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow CaO + \frac{2}{3} Al$	1823,15	$1,39 \cdot 10^2$	-74817
		1873,15	$1,20 \cdot 10^2$	-74583
		1923,15	$1,05 \cdot 10^2$	-74336
		1973,15	$9,15 \cdot 10^1$	-74095
2.27	$Ca + S = CaS$	1823,15	$4,99 \cdot 10^{11}$	-408294
		1873,15	$2,06 \cdot 10^{11}$	-405666
		1923,15	$8,86 \cdot 10^{10}$	-403037
		1973,15	$3,98 \cdot 10^{10}$	-400397

A falazat anyagával, a CaAlFe huzal szennyezőivel lejátszódó folyamatok:

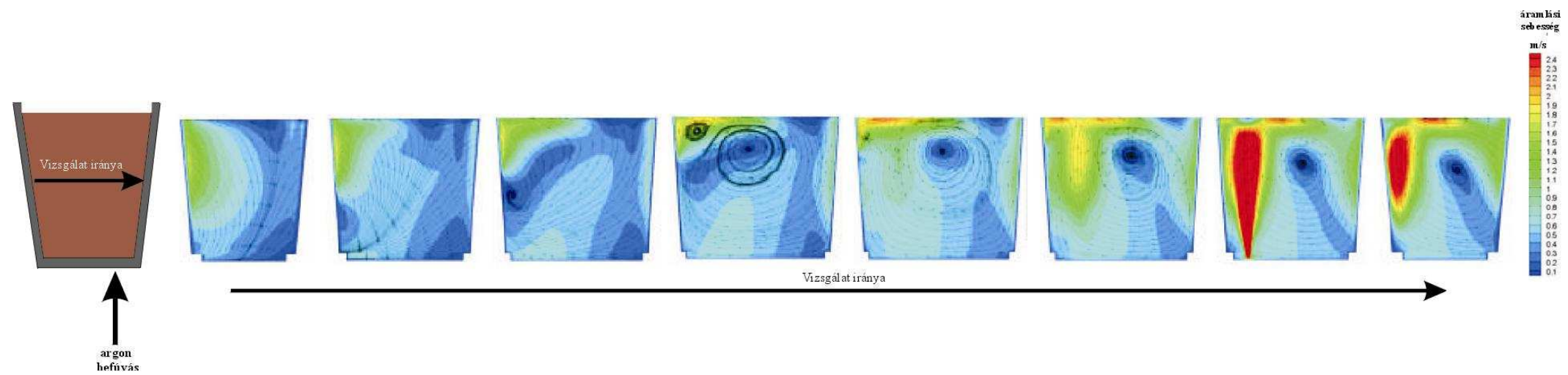
Reakció		Hőmérséklet, T, [K]	Egyensúlyi állandó, K	Normál szabadentalpia változás, ΔG^0 [J/mol]
2.28	$Mg + 2Al + 4O \rightarrow MgO \cdot Al_2O_3$	1823,15	$1,52 \cdot 10^{59}$	-897061
		1873,15	$4,37 \cdot 10^{56}$	-882076
		1923,15	$1,71 \cdot 10^{54}$	-867119
		1973,15	$8,84 \cdot 10^{51}$	-852162

2.2.táblázat folytatása: a zárványképződési reakciókat kísérő normál szabadentalpia változás

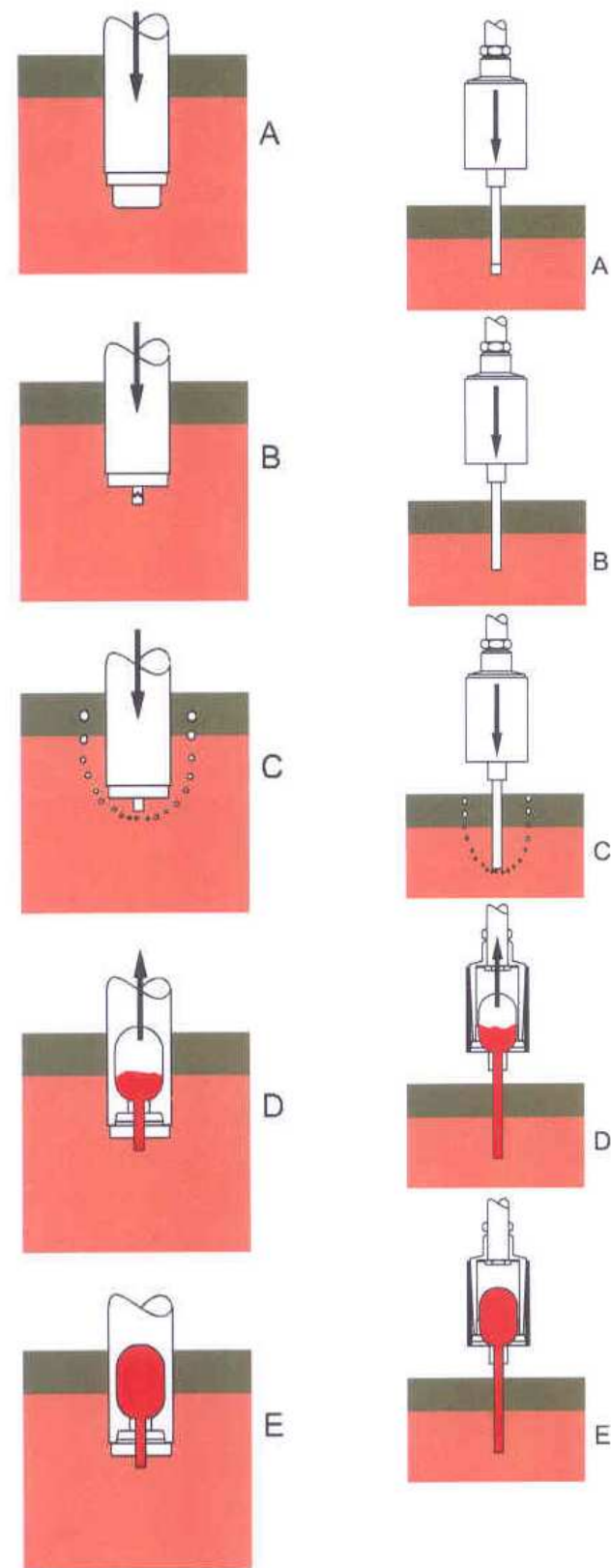
Reakció		Hőmérséklet, T, [K]	Egyensúlyi állandó, K	Normál szabadentalpia változás, ΔG^0 [J/mol]
2.29	$MgO + 2Al + 3O \rightarrow MgO \cdot Al_2O_3$	1823,15	$8,77 \cdot 10^{43}$	-666073
		1873,15	$1,15 \cdot 10^{42}$	-655047
		1923,15	$1,90 \cdot 10^{40}$	-644024
		1973,15	$3,88 \cdot 10^{38}$	-633027
2.30	$MgO + Ca \rightarrow CaO + Mg$	1823,15	$1,38 \cdot 10^1$	-17295
		1873,15	$1,30 \cdot 10^1$	-17333
		1923,15	$1,22 \cdot 10^1$	-17380
		1973,15	$1,16 \cdot 10^1$	-17438
2.31	$3MgO + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + Mg$	1823,15	$9,79 \cdot 10^{-4}$	45609
		1873,15	$1,26 \cdot 10^{-3}$	45163
		1923,15	$1,60 \cdot 10^{-3}$	44705
		1973,15	$2,01 \cdot 10^{-3}$	44244



3.1. ábra
Áramképek vízszintes metszetekben 300 Ndm³/pers argon térfogatáram esetén

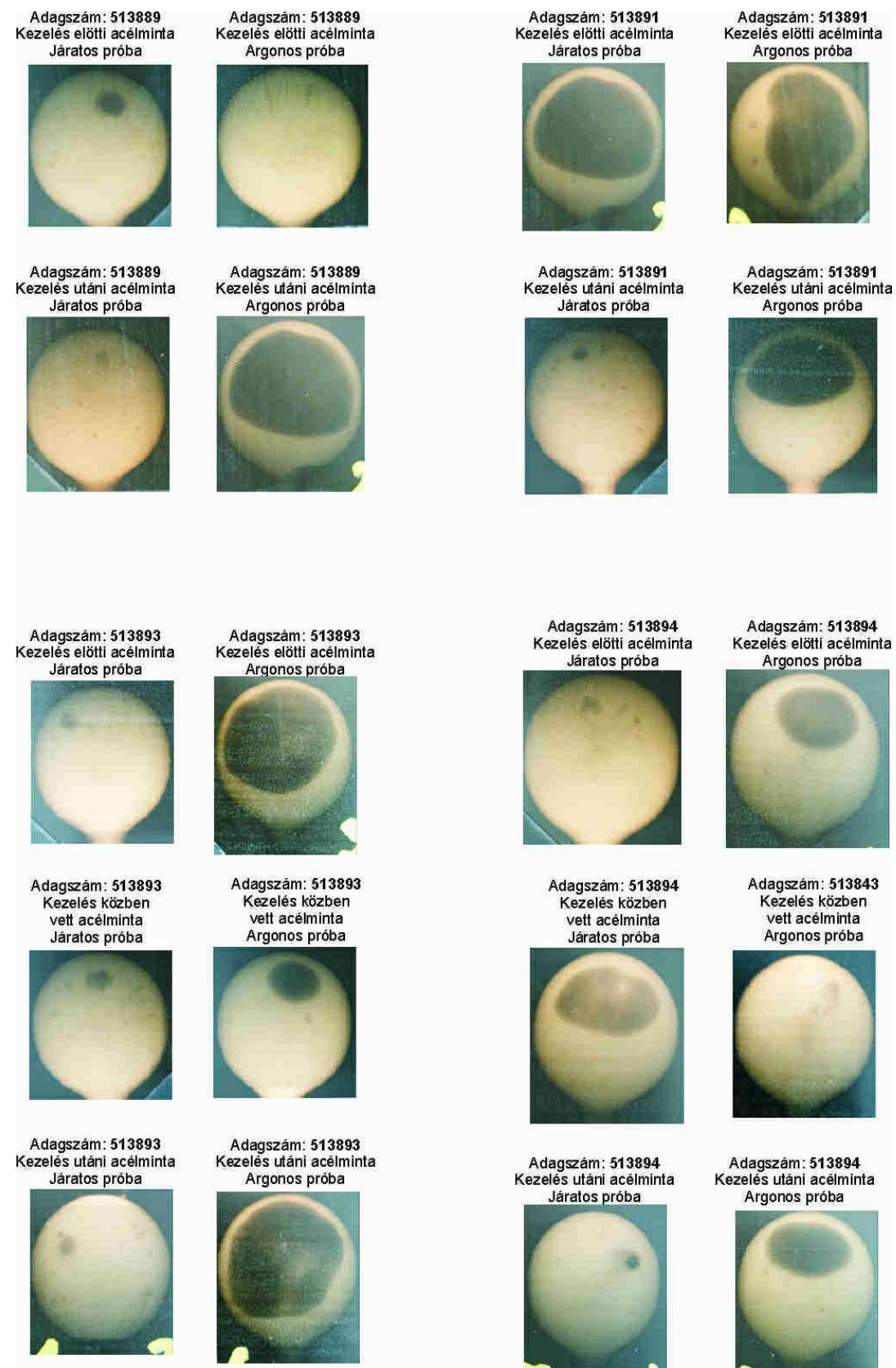


3.2. ábra
Áramképek függőleges metszetekben 300 Ndm³/pers argon térfogatáram esetén



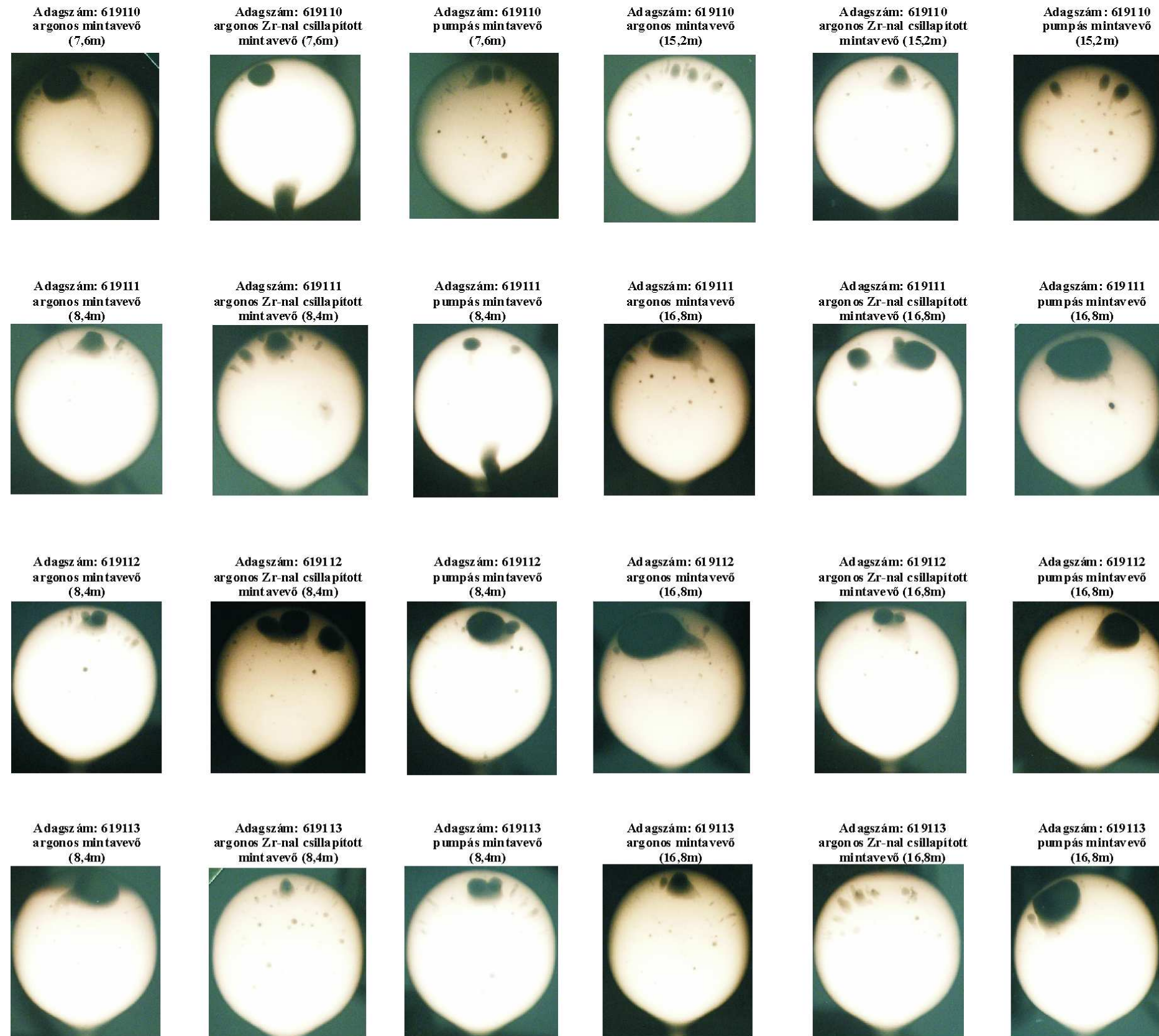
4.1.ábra

Mintavétel módja az üstben és a folyamatos öntőművön a kristályosítóban



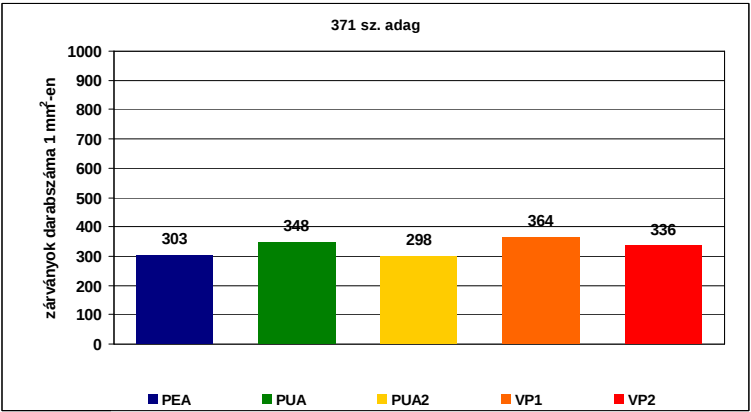
4.2.ábra.

Dunaferrben a MINCON tapasztalataira építve fejlesztett érempróbák röntgenvizsgálatának eredményei
(első kísérletsorozat)



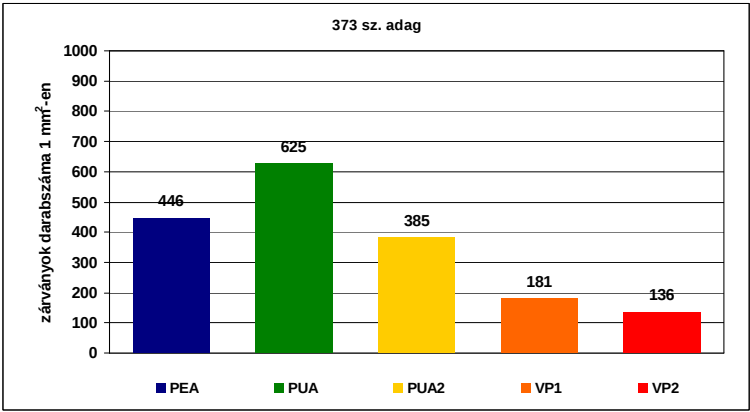
4.3. ábra

Dunaferriben a MINCON tapasztalataira építve fejlesztett érempróbák röntgenvizsgálatának eredményei
(második kísérletsorozat)



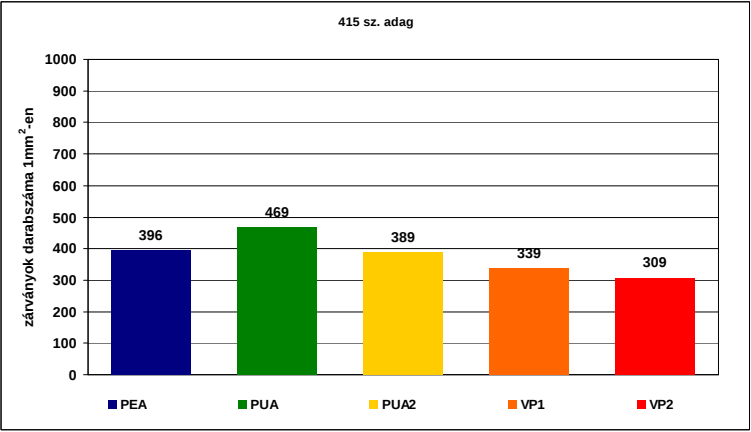
5.1. ábra

A különálló zárványok darabszámának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön 371. sz. adag esetén



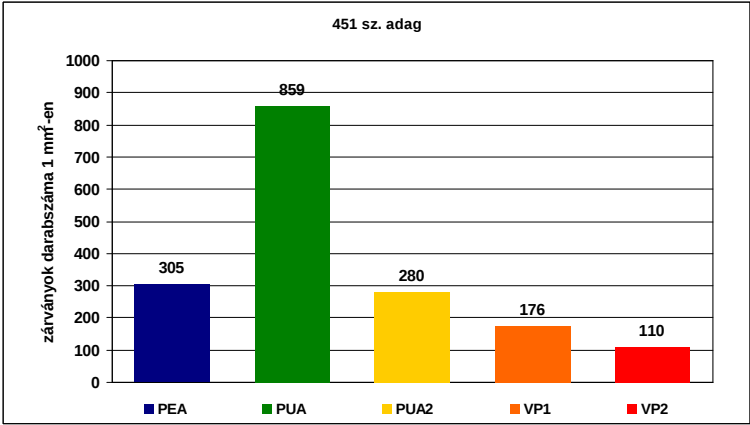
5.2. ábra

A különálló zárványok darabszámának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön 373. sz. adag esetén



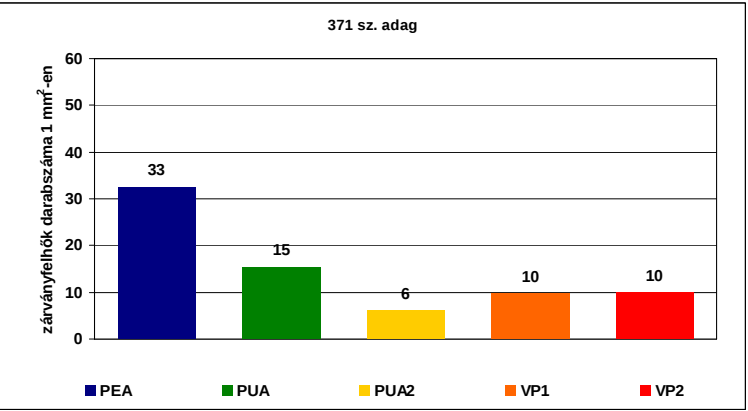
5.3. ábra

A különálló zárványok darabszámának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön 415. sz. adag esetén



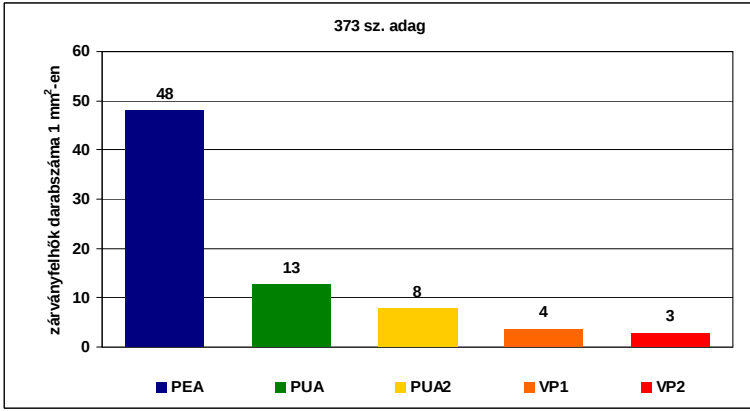
5.4. ábra

A különálló zárványok darabszámának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön 451. sz. adag esetén



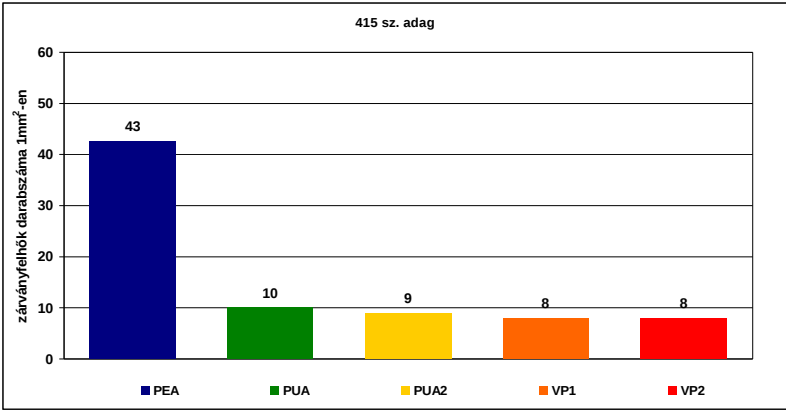
5.5. ábra

A zárványfelhők darabszámának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 371. sz. adag esetén



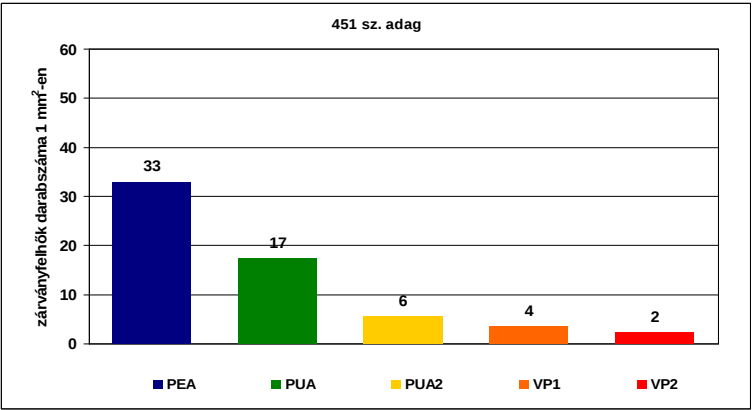
5.6. ábra

A zárványfelhők darabszámának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 373. sz. adag esetén



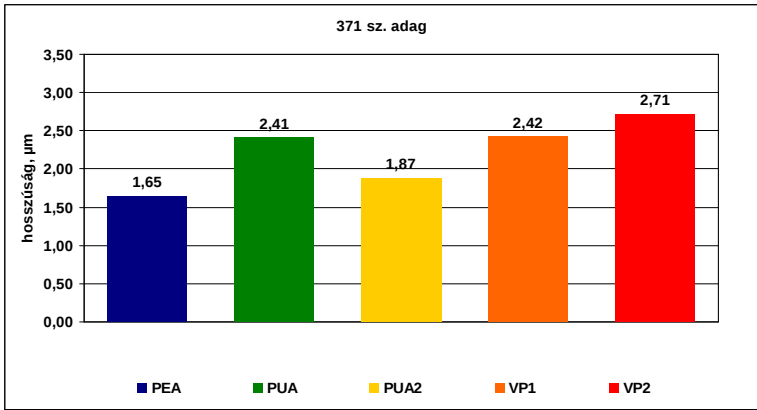
5.7. ábra

A zárványfelhők darabszámának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 415. sz. adag esetén



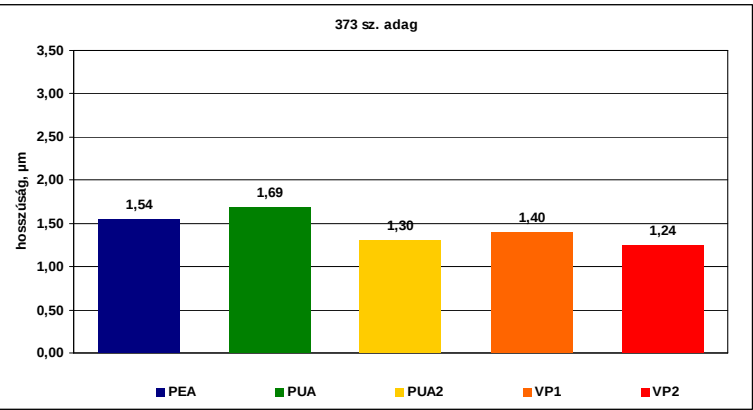
5.8. ábra

zárványfelhők darabszámának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 451. sz. adag esetén



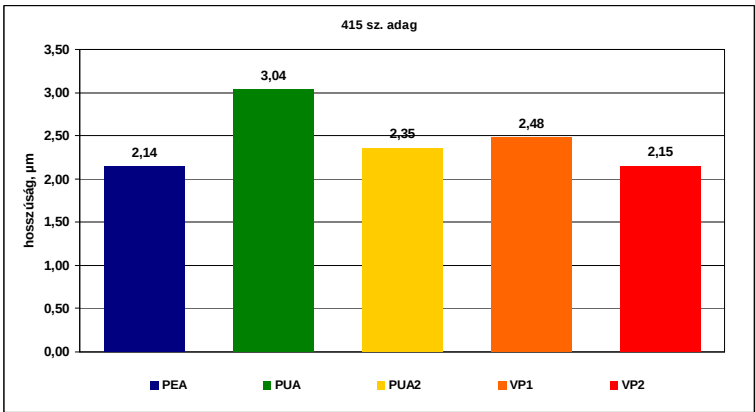
5.9. ábra

A zárványok hosszúságának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 371. sz. adag esetén



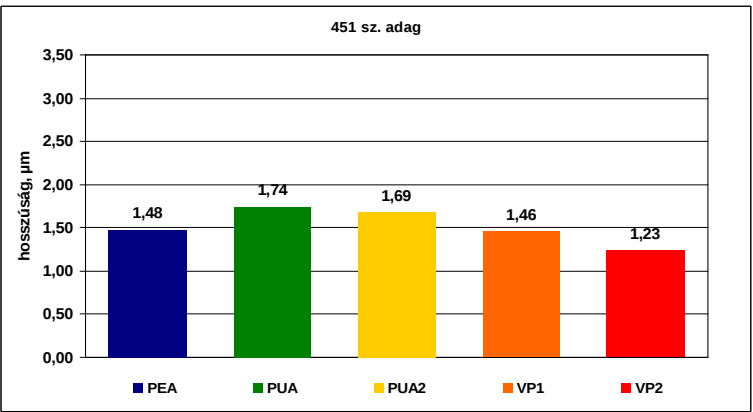
5.10. ábra

A zárványok hosszúságának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 373. sz. adag esetén



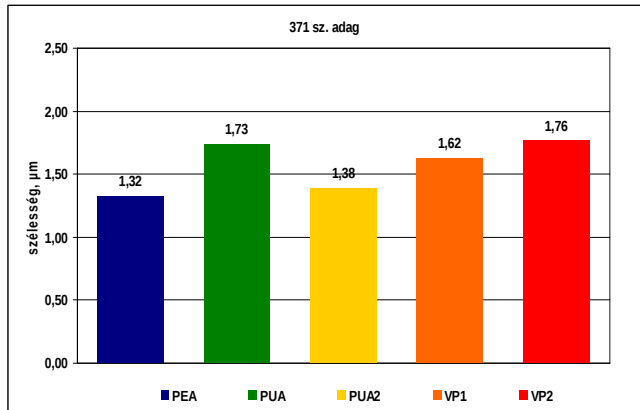
5.11. ábra

A zárványok hosszúságának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 415. sz. adag esetén



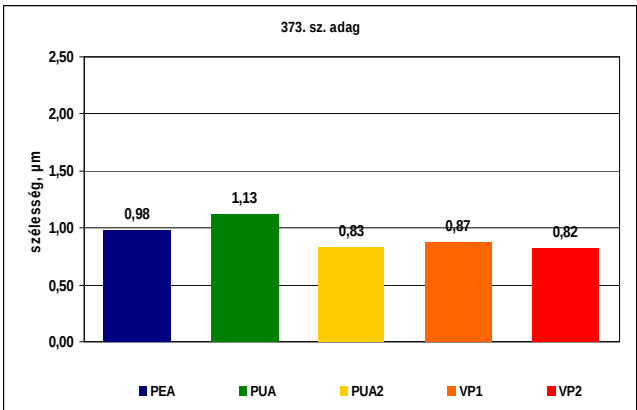
5.12. ábra

A zárványok hosszúságának változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 451. sz. adag esetén



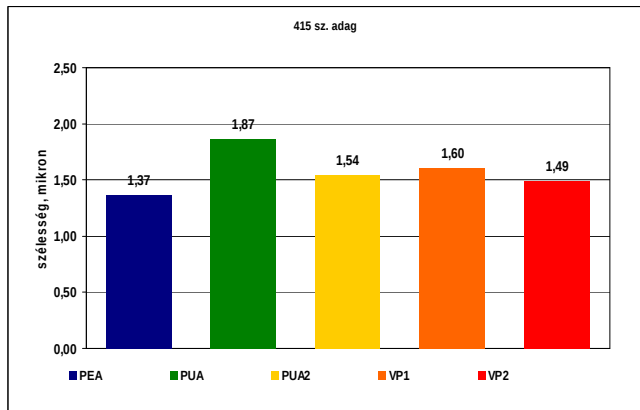
5.13. ábra

A zárványok szélességének változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 371. sz. adag esetén



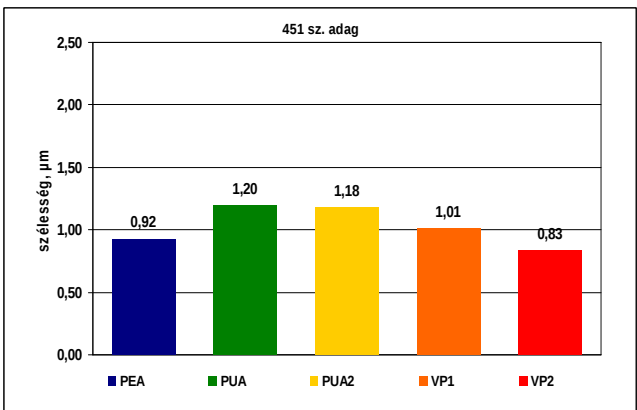
5.14. ábra

A zárványok szélességének változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 373. sz. adag esetén



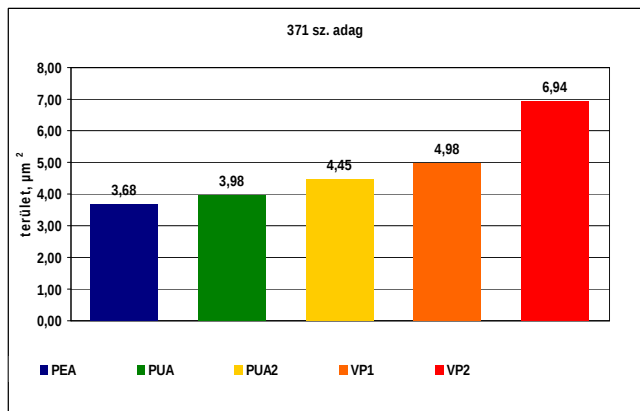
5.15. ábra

A zárványok szélességének változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 415. sz. adag esetén



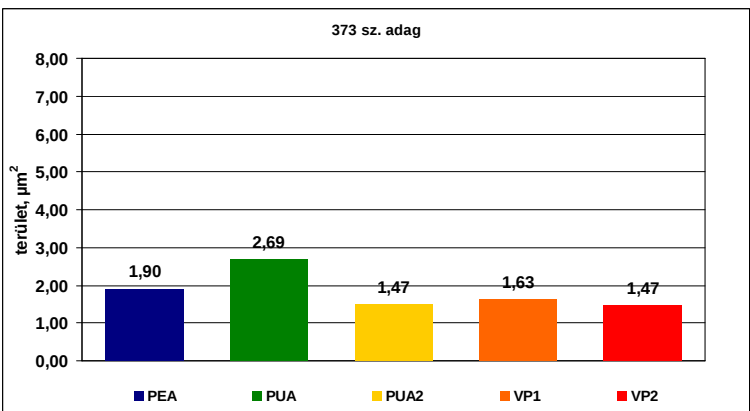
5.16. ábra

A zárványok szélességének változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 451. sz. adag esetén



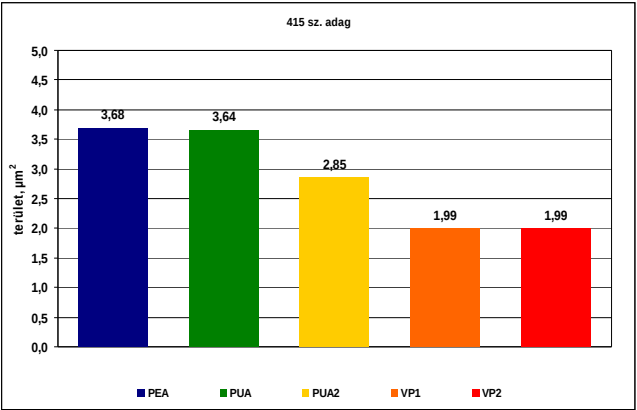
5.17. ábra

A zárványok területének változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 371. sz. adag esetén



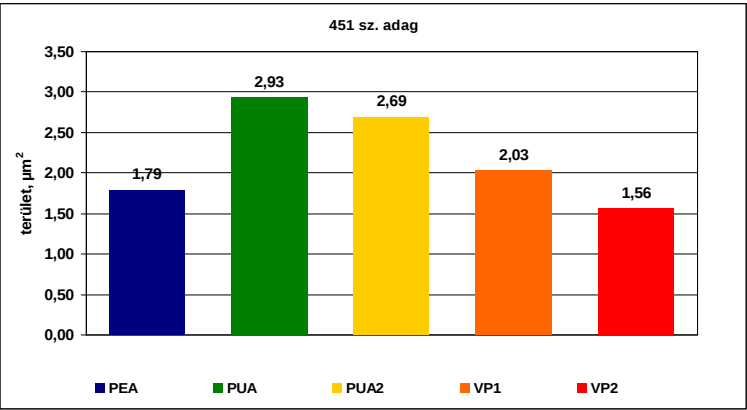
5.18. ábra

A zárványok területének változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 373. sz. adag esetén



5.19. ábra

A zárványok területének változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 415. sz. adag esetén



5.20. ábra

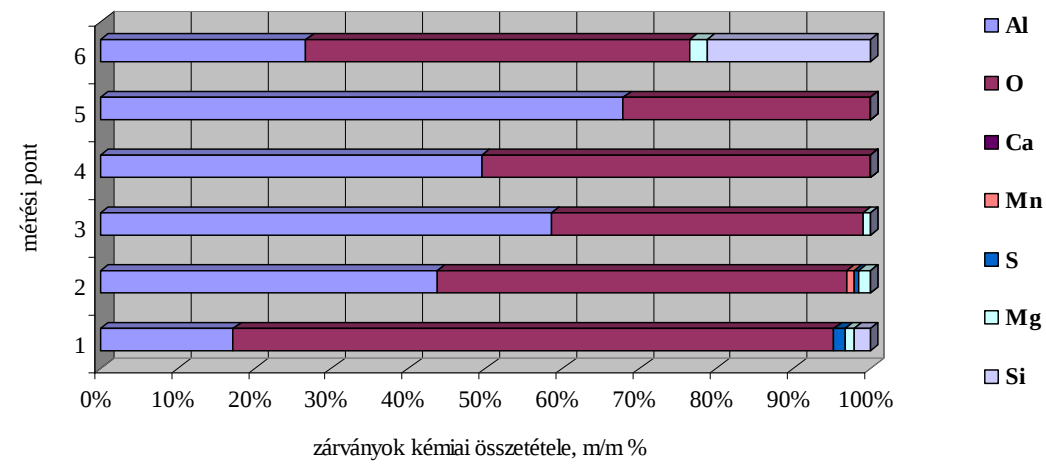
A zárványok területének változása a kezelés során, illetve a folyamatos öntőművön a 451. sz. adag esetén

5.1. táblázat: a 371. adagból vett érempróbákban lévő zárványok jellemző kémiai összetétele

próba azonosítója	mérési pont sorszáma	Ca	Al	O	Mn	S	Fe	Si	Mg	Na	K	Ca/O arány
		tömeg %										
PEA	1	0,00	11,88	53,80	0,00	0,94	0,84	1,46	0,85	0,00	0,00	0,00
	2	0,00	38,75	47,01	0,85	0,43	11,53	0,00	1,43	0,00	0,00	0,00
	3	0,00	25,33	17,43	0,00	0,00	56,78	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00
	4	0,00	20,47	9,67	0,00	0,00	69,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5	0,00	13,08	24,37	0,00	0,00	45,67	10,39	1,12	2,10	3,27	0,00
PUA	1	20,22	30,66	45,35	0,00	0,61	0,89	0,27	2,00	0,00	0,00	0,45
	2	23,78	30,22	42,04	0,00	0,45	1,80	0,11	1,59	0,00	0,00	0,57
	3	26,96	5,26	26,73	0,00	13,86	26,08	0,67	0,44	0,00	0,00	1,1
	4	20,28	28,32	44,56	0,00	1,80	3,52	0,00	1,53	0,00	0,00	0,46
	5	20,01	29,18	45,52	0,31	0,64	2,83	0,00	1,52	0,00	0,00	0,44
	6	20,16	28,59	43,22	0,88	2,25	3,72	0,00	1,19	0,00	0,00	0,47
PUA2	1	24,51	29,70	42,37	0,00	0,39	1,49	0,00	1,53	0,00	0,00	0,58
	2	1,58	30,89	48,45	1,03	0,15	4,27	7,26	0,81	5,56	0,00	0,03
	3	2,23	15,69	11,55	2,15	1,58	66,17	0,02	0,62	0,00	0,00	0,19
	4	18,28	32,59	44,77	0,56	0,56	1,78	0,07	1,39	0,00	0,00	0,41
	5	24,89	31,80	38,29	0,40	0,60	2,04	0,18	1,81	0,00	0,00	0,65
	6	3,00	5,12	9,70	0,97	3,03	76,09	1,30	0,78	0,00	0,00	0,31
VP1	1	6,04	41,69	45,14	0,00	0,00	5,94	0,29	0,91	0,00	0,00	0,13
	2	13,00	23,70	37,56	0,91	0,77	23,35	0,02	0,69	0,00	0,00	0,35
	3	15,81	27,28	39,28	0,61	0,46	15,55	0,03	0,99	0,00	0,00	0,40
	4	8,63	41,59	46,85	0,00	0,19	1,14	0,00	1,60	0,00	0,00	0,18
	5	4,72	38,69	47,16	0,00	0,00	8,26	0,00	1,16	0,00	0,00	0,10
VP2	1	7,01	42,67	46,82	0,00	0,00	2,60	0,00	0,90	0,00	0,00	0,15
	2	15,31	23,12	18,86	1,29	1,43	39,34	0,00	0,65	0,00	0,00	0,81
	3	3,54	34,24	45,10	0,00	0,00	15,55	0,00	1,57	0,00	0,00	0,17
	4	3,45	41,40	50,38	0,00	0,00	3,71	0,00	1,07	0,00	0,00	0,07
	5	0,00	33,48	43,50	5,03	2,76	14,24	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00

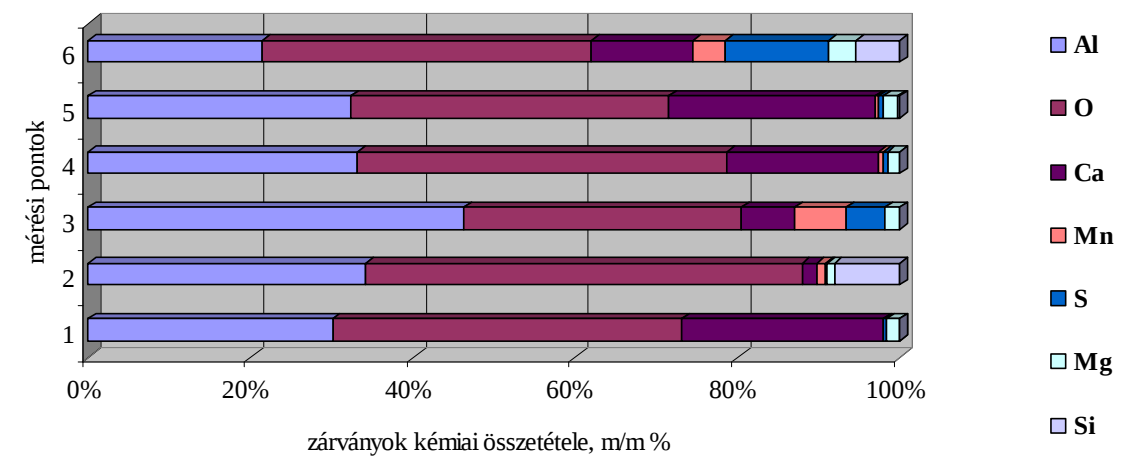
5.2. táblázat: a 415. adagból vett érempróbákban lévő zárványok jellemző kémiai összetétele

próba azonosítója	mérési pont sorszáma	Ca	Al	O	Mn	S	Fe	Si	Mg	Na	K	Nb	Ca/O arány
		tömeg %											
PEA	1	0,00	10,05	48,84	22,45	0,63	1,73	13,15	0,00	3,14	0,00	0,00	0,00
	2	0,00	39,08	43,57	0,31	0,14	14,78	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	0,00	40,14	44,45	0,37	0,26	13,92	0,00	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00
	4	0,00	14,33	12,16	1,03	0,00	72,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5	0,00	35,27	26,05	0,00	0,00	36,80	0,00	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00
	6	0,00	43,05	53,27	0,00	0,00	1,77	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00
PUA	1	6,56	19,07	59,58	5,68	0,00	0,67	4,72	0,00	0,00	0,00	3,71	0,11
	2	24,68	27,85	43,23	0,09	0,89	1,59	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,57
	3	24,36	26,95	43,82	0,00	0,35	1,51	0,00	1,72	1,31	0,00	0,00	0,55
	4	24,63	29,51	42,82	0,00	0,28	1,51	0,00	1,24	0,00	0,00	0,00	0,57
	5	30,99	26,88	38,81	0,00	0,45	1,24	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	0,79
PUA2	1	30,73	26,07	40,11	0,00	0,51	0,69	0,00	1,88	0,00	0,00	0,00	0,77
	2	12,98	16,33	14,08	1,56	5,67	49,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92
	3	29,49	5,73	16,75	0,00	16,11	31,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,76
	4	9,20	4,07	5,47	1,62	8,58	71,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,68
	5	27,82	28,20	39,58	0,00	0,55	2,55	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	0,70
VP1	1	20,38	24,23	44,19	0,00	0,55	9,21	0,00	1,43	0,00	0,00	0,00	0,46
	2	17,67	27,23	21,38	0,00	1,21	30,71	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,83
	3	24,83	26,47	43,04	0,00	0,39	3,21	0,00	2,07	0,00	0,00	0,00	0,58
	4	30,54	27,23	37,80	0,00	0,34	2,14	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	0,81
	5	24,23	26,74	41,27	0,00	0,70	4,96	0,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,59
VP2	1	23,50	28,29	43,87	0,00	0,66	1,61	0,00	2,07	0,00	0,00	0,00	0,54
	2	21,24	30,25	43,06	0,00	0,59	1,79	0,00	3,07	0,00	0,00	0,00	0,49
	3	25,83	27,99	42,06	0,00	0,28	1,30	0,00	2,54	0,00	0,00	0,00	0,61
	4	22,78	28,43	42,99	0,00	0,37	3,04	0,00	2,41	0,00	0,00	0,00	0,53
	5	18,33	22,22	44,18	0,00	0,44	13,80	0,00	1,05	0,00	0,00	0,00	0,41



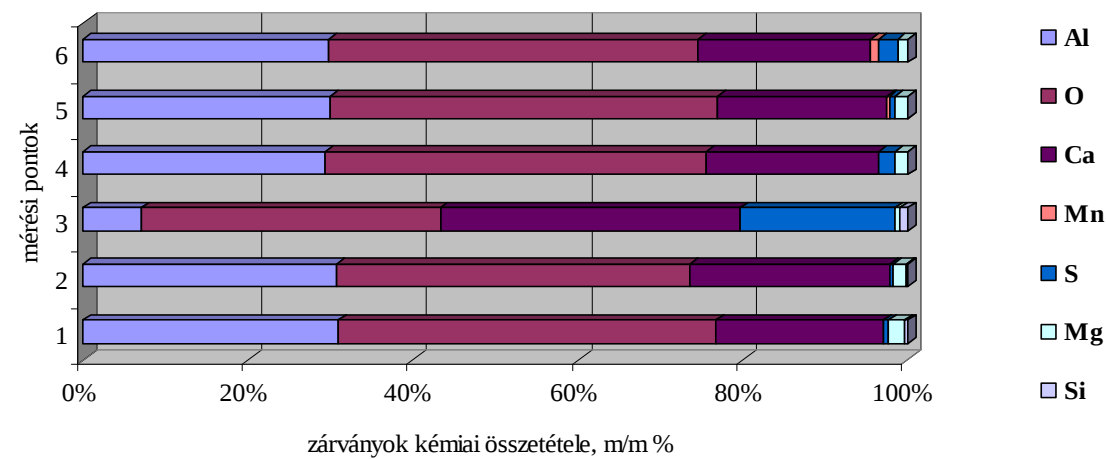
5.21. ábra

A zárványok kémiai összetétele a kezelés elején, a huzaladagolás előtt a 371. számú adagból vett (PEA jelű) próbadarab esetén



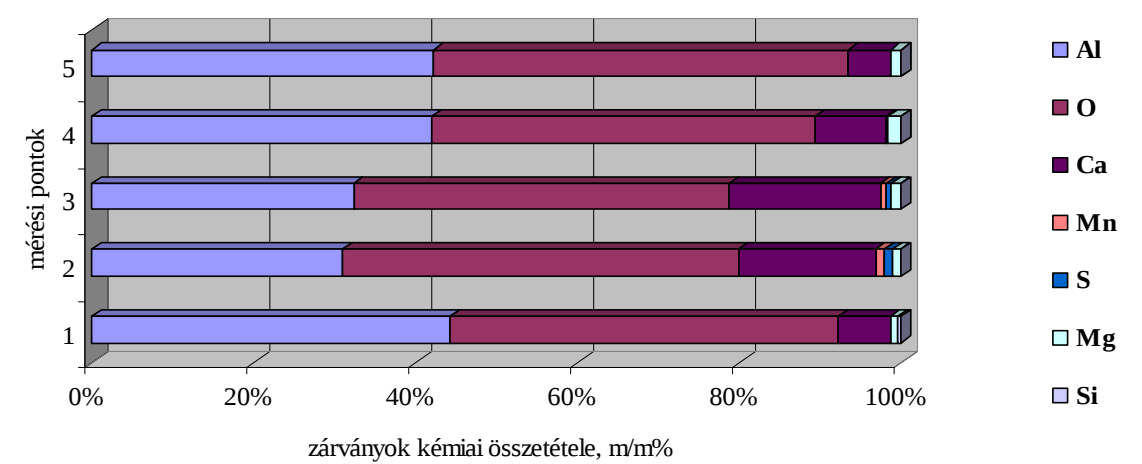
5.22. ábra

A zárványok kémiai összetétele a második huzaladagolás után a 371. számú adagból vett (PUA jelű) próbadarab esetén



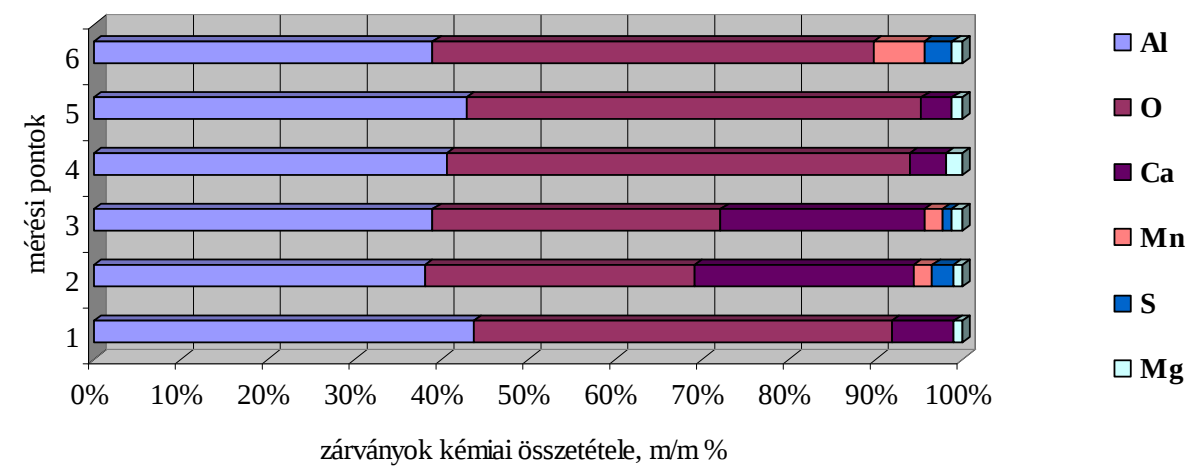
5.23. ábra

A zárványok kémiai összetétele az első huzaladagolás után a 371. számú adagból vett (PUA2 jelű) próbadarab esetén



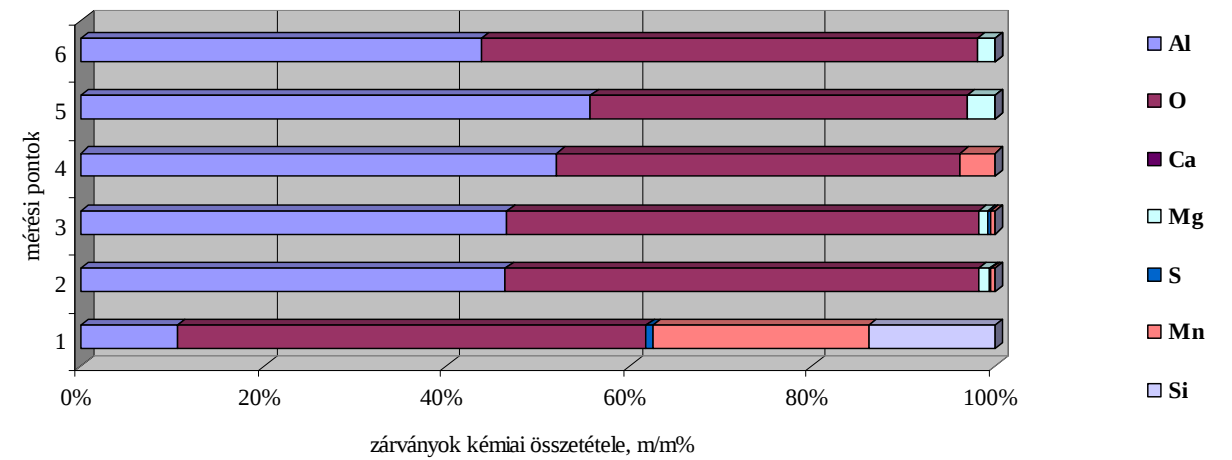
5.24. ábra

A zárványok kémiai összetétele a közbenső üstből, a 371. számú adagból vett első (VP1 jelű) próbadarab esetén



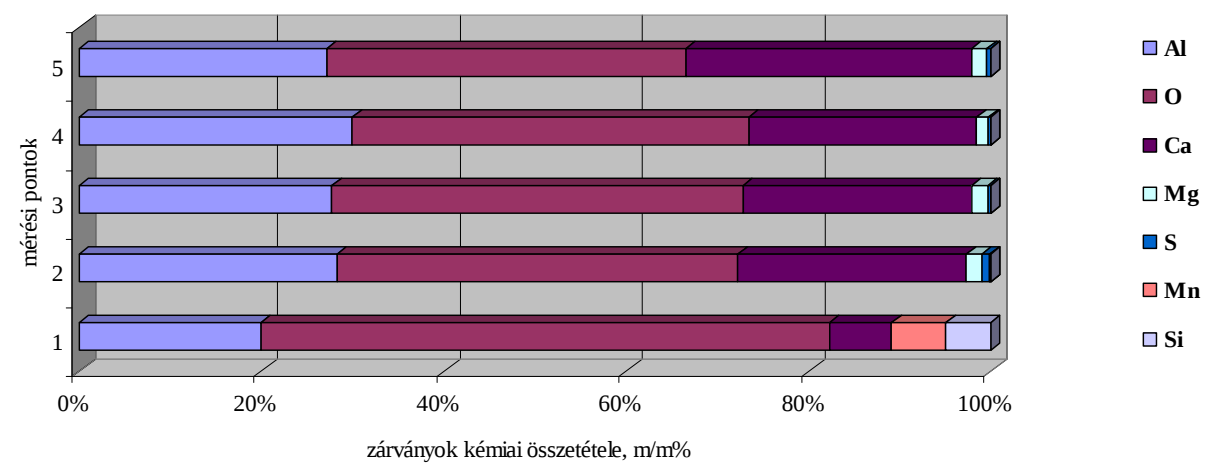
5.25. ábra

A zárványok kémiai összetétele a közbelső üstből, a 371. számú adagból vett (VP2 jelű) második próbadarab esetén



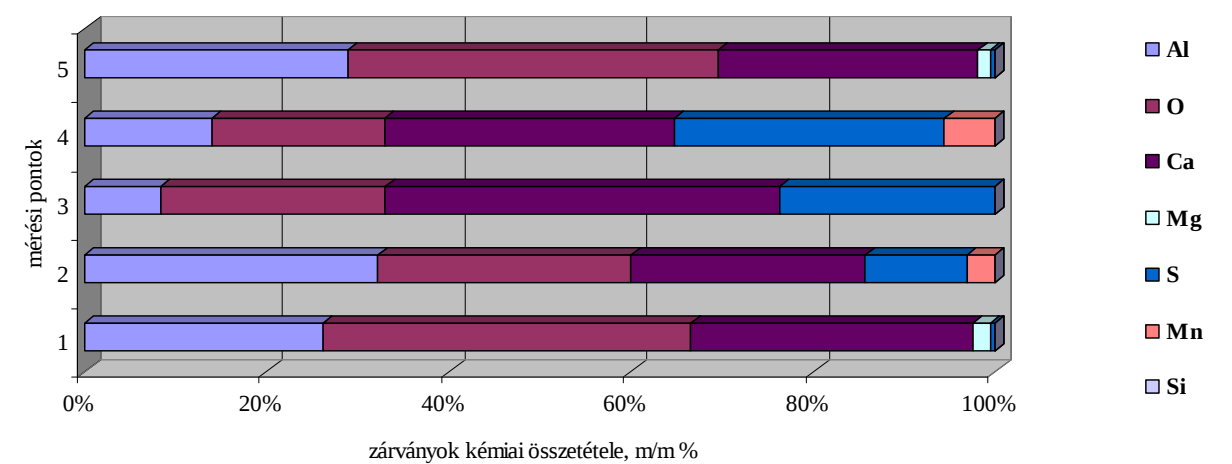
5.27. ábra

A zárványok kémiai összetétele a kezelés elején, a huzaladagolás előtt a 415. számú adagból vett (PEA jelű) próbadarab esetén



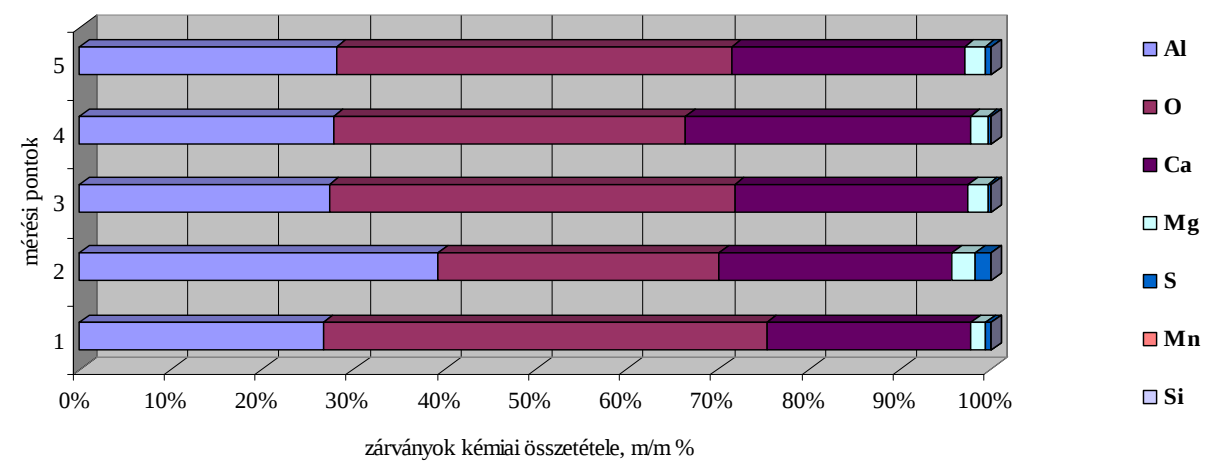
5.26. ábra

A zárványok kémiai összetétele az első huzaladagolás után a 415. számú adagból vett (PUA jelű) próbadarab esetén



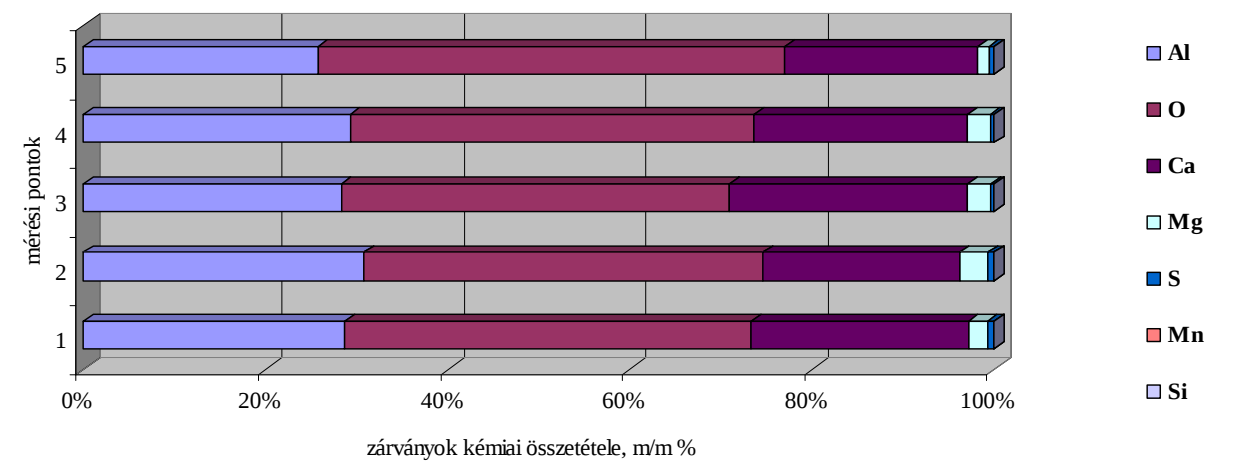
5.28. ábra

A zárványok kémiai összetétele a második huzaladagolás után a 415. számú adagból vett (PUA2 jelű) próbadarab esetén



5.29. ábra

A zárványok kémiai összetétele a közbenső üstből, a 415. számú adagból vett első (VP1 jelű) próbadarab esetén



5.30. ábra

A zárványok kémiai összetétele a közbenső üstből, a 415. számú adagból vett második (VP2 jelű) próbadarab esetén

II. LD Acélgyártási Lap
AC_01_008-0.verzió

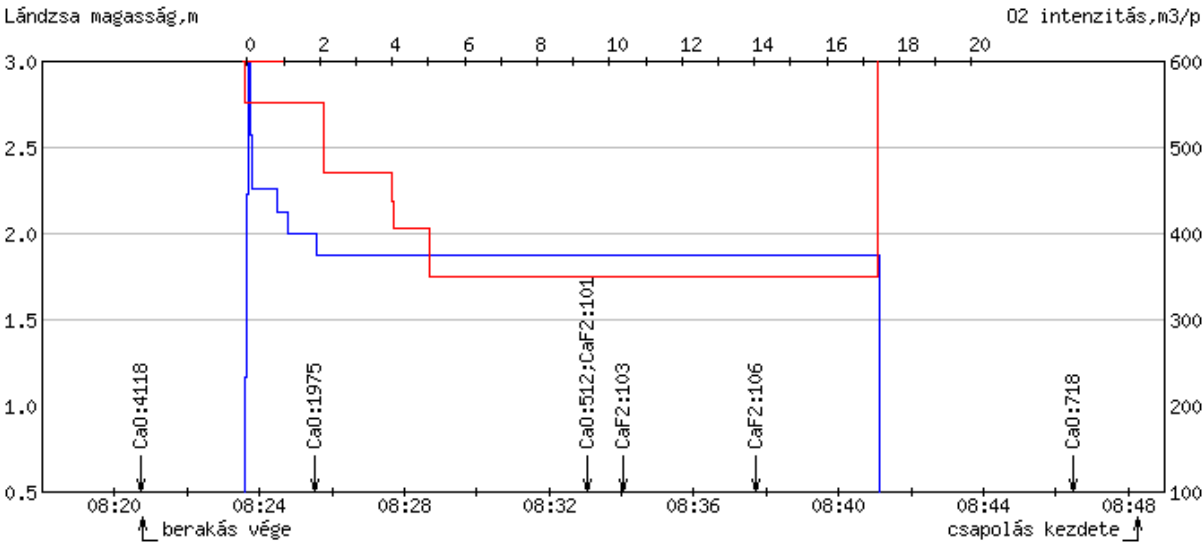
Készült a ACORACLE rendszerrel
Tabló azonosító : MO-01

ADAGSZÁM: 371

Kampány/falazat: 78/1263

Cél minőség: DE355MLC	Cél C: .04 %	Cél hőfok: 1690 °C
C Mn Si S P Cu Al V Nb Mo Cr Ni Ti Ca N O B		
Minősítő próba:Végpróba		ppm ppm ppm ppm
.07 0.660 0.013 .007 .014 .035 .063 .002 .021 .002 .057 .023 .002 22 74 48		

Hulladékok:	Nyersvas:
Régi adagolható AN1:08.84 Báláz.uj hullad.ULS1:00.00	Szilárd vas:000.00
Vegy.hull.báláz.AVS1:00.00 Gépek,ac.öntv.ARM1-2:00.00	Folyékony vas:112.19
Salakból kiterm.AÖV1:00.00 Betétbe adagolt FeMn:00.00	Salakhúzás: Nem
Vasúti bon.nehéz AN3:00.00 Betétbe adagolt SiMn:00.00	
8mm f.nehéz AN1(>8):04.10 Betétbe egyéb ötvöző:00.00	C Mn Si S
Vegy.hull.ollóz.AV01:02.10 Régi adagol.AN2,AL01:00.00	4.40 0.67 0.48 .027
Köv.üz. új hull.AR1:00.00 Belső achul.UN2,UL1b:08.40	Hőfok: 1319°C(08:03:56)
Betonacél AR2,ARS1:00.00 Forgácsbrikett AFS1:00.00	
Cu ötvöző:00.00 Sredder hullad.ALh1:00.00	
Külső új ad.UN1,UL1k:06.10 Hulladék összesen:29.54*	Összesen: 112.19
Berakás: 08:18 - 08:20 Kanálszám: 2 Beöntés: 08:21 -08:23	



T.idő	Oxigén	Mész	Folyp	K.szén	LDsal.	HBI	Pellet	MgO	Koksz	----
Főfúvatás: (08:23:40-08:41:09)										
17.48	6629	6605	310	0	0	0	0	0	0	
Összesen	17.81	6629	7323	310	0	0	0	0	0	

	pr.idő	C	Mn	S	P	Cu	Cr	Ni	Mo	Hőfok °C, idő
1.LDA	(08:45:00)	0.049	.256	.011	.011	.03	0.055	.023	.009	1700(08:43:05)

Celox mérések: 08:43:55->607.7ppm,1703°C;

	SiO2	CaO	FeO	MnO	MgO	Al2O3	SumS	P2O5	Báz.
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1. LDS	15.23	55.80	18.45	5.25	0.99	2.59	0.12	1.47	3.66
Acélcsapolás: 08:48:16 - 08:55:03					Salakcsapolás: 08:55:39 - 08:56:15				
6.82 perc					0.60 perc				
Salakvisszazárás: Nem							Üstszám: 15/108/5		
Az utolsó fúvatásig felhasznált N2:					14.03 m3		Ar:		20.64
Az utánöblítésre felhasznált							Ar:		6.92

Ötvözés						
idő	FeMn	aff	Al	CaO	AL-s.P	Dez.koksz
08:51:29	601					
08:51:48			243			
08:52:06	1					
08:52:15				977		
09:52:00					50*	
09:52:00						20*
Összesen	602		243	977	50*	20*

Alsó argon öblítés	Kezelőhely	kezdet	vége	idő	mennyiség
	II. LD	08:48:15	08:57:50	9.58	3638
	II. LD	09:00:46	09:05:40	4.90	2353
	II. LD	09:06:04	09:08:14	2.17	867
	II. LD	09:12:37	09:15:03	2.43	1039
	II. LD	09:16:06	09:18:26	2.33	953
Összesen:				21.42	8850

Üstmetallurgia								
SL kezelés: 08:57:42 - 09:26:03 28.35 perc								
A R G O N			P O R		/	H U Z A L		
Kh	kezdet	idő	mennyiség	Kh. Megnevezés	kezdet	idő	mennyiség (argon)	
2	08:57	2.00	1843	(2)Al 99% 13mm	09:04	0.88	30	0
2	09:01	3.98	3618	(2)Al 99% 13mm	09:06	0.49	10	0
2	09:14	1.05	911	(2)CaAlFe 40/30/30 13mm	09:07	5.57	165	0
2	09:16	2.02	1811	(2)CaAlFe 40/30/30 13mm	09:22	1.59	39	0
2	09:23	1.05	908	(2)FeNb 65% 13 mm	09:13	0.78	55	0
2	09:24	1.00	1000*					

Ötvözés az SL-nél	idő	FeMn	FeMn	aff	SiMn	FeSi	MnV	Ni	katód	Hűtőhull			
	09:08:19	252											
	09:23:03												
	Összesen	252											
	C	Mn	Si	S	P	Al	V	Nb	Mo	Cu	Cr	Ni	Ca
1.LDU	.04	0.523	0.008	.010	.010	.049	.002	.004	.002	.03	0.053	.023	
1.PEA	.04	0.524	0.009	.010	.011	.047	.002	.004	.002	.03	0.054	.023	
1.PUA	.05	0.668	0.011	.008	.013	.082	.002	.024	.002	.04	0.055	.023	

Celox mérések:
09:01:09->5.12ppm, 1634°C; 09:06:36->3.55ppm, 1621°C; 09:16:35->2.58ppm, 1600°C;
09:19:21->2.33ppm, 1603°C; 09:20:05->2.48ppm, 1599°C; 09:21:17->2.49ppm, 1600°C;
09:26:00*->2.09ppm, 1590°C;

SALAK	SiO2	CaO	FeO	MnO	MgO	Al2O3	SumS	P2O5	Báz.
1.PES	8.08	55.64	7.22	4.38	2.47	21.47	0.12	0.53	6.89
1.PUS	6.10	60.26	4.93	3.97	3.04	21.25	0.21	0.15	9.88

Megjegyzések:

ADAGSZÁM : 371

Programozott minőség: DE355MLC

KEZELÉS UTÁNI PRÓBA							
C :0.054	Mn:0.668	Si:0.011	S:0.008	P:0.013	Cu:0.035	Cr:0.055	Ni:0.023
Al:0.082	V:0.002	Nb:0.024	Mo:0.002	Ox.:0.000	B:0.000	Ca:0.000	N:0.0000

NAGYÜST				KRISTÁLYOSÍTÓ		1.szál	2.szál
Üstszám: 15 Nagyüst nyitás: 0				Száma:		611612	621622
Kezdő súly(t): 208.00 10:11				Öntés száma:		1024	735
Befejező súly(t): 76.30 11:06				Vízmenyiség m3:		337.9	340.7
Nettó súly(t): 131.70				Szinttartás: AUTO		AUTO	
Fordító villa: 1				Mozgató/motorsz: 7/1		2/7	
Öntőpor: Kempro Ling/L4 Kempro Ling/L4							
Sugárvédő típusa: Ves.BC20398 TGY							
1.szál(m): 25.2-ig 2.szál(m): 31.6-ig							

KÖZBENSŐ ÜST							
szám	kocsi	adag	dugó 1/2	bélés		fedőpor	
3	1	1	Foseco DB930KM	Rubinit MSF1/5		Neremat AF/Ros.C	
ÖNTÉSI HŐMÉRSÉKLET				MÁSODLAGOS HŰTÉS			
Min öntési hőmérséklet: 1558°C				idő:10:30	1/A zóna,m3/óra:	16.30	16.12
Max öntési hőmérséklet: 1563°C				idő:11:01	1/B zóna,m3/óra:	24.07	23.84
Hőfok különbség: 5°C					2 zóna,m3/óra:	15.93	15.67
-----					3 zóna,m3/óra:	12.73	12.51
ÖNTÉSI SEBESSÉG		1.szál		2.szál	4 zóna,m3/óra:	8.89	8.58
Ajánlott:		0.48		0.48	5 zóna,m3/óra:	7.28	6.98
Átlag:		0.46		0.45	Összesen:85.20		
						83.70	

		1.szál: B13				B R A M M Á K				2.szál: B13				
ÖNTÉSI IDŐ						ki- mü-								
Öntésre várás: 80 perc						szám	hossz	súly	vágva	szak	szám	hossz	súly	Kezdet:
10:15 1 101		8400	19.664	0	4	201L	3200	7.491						
Vég: 11:16		2 102	8400	19.664	0	4	202L	3200	7.491					
Tartam: 61 perc		3 103	8400	19.664	0	4	203	8400	19.664					
-----		4					204	8400	19.664					
EGYEBEK		5					205	8400	19.664					
1.szál 2.szál														
Bázisméret: 8400 8400														
Rend. hely: TK TK														
Ráöntés szám: 0														
Lábvég,m: 0.400 0.400														
Fejvég,m: 0.000 0.000														
Közb.üst medve,t: 0.000														
Elfolyás,t: 0.000														
Nagyüst medve,t: 0.000														
Egyéb,t: 0.000														
Kivágva,t: 1.171														
Összesen,t: 3.044														

Adag: 8 db Hossz: 56800 mm Súly: 132.966 t Kivágva: 500 mm 1.171 t

M E R Ü L Ő K			
1.szál	m	2.szál	m
FosecoSES1254(1	.00	FosecoSES1254(1	.00

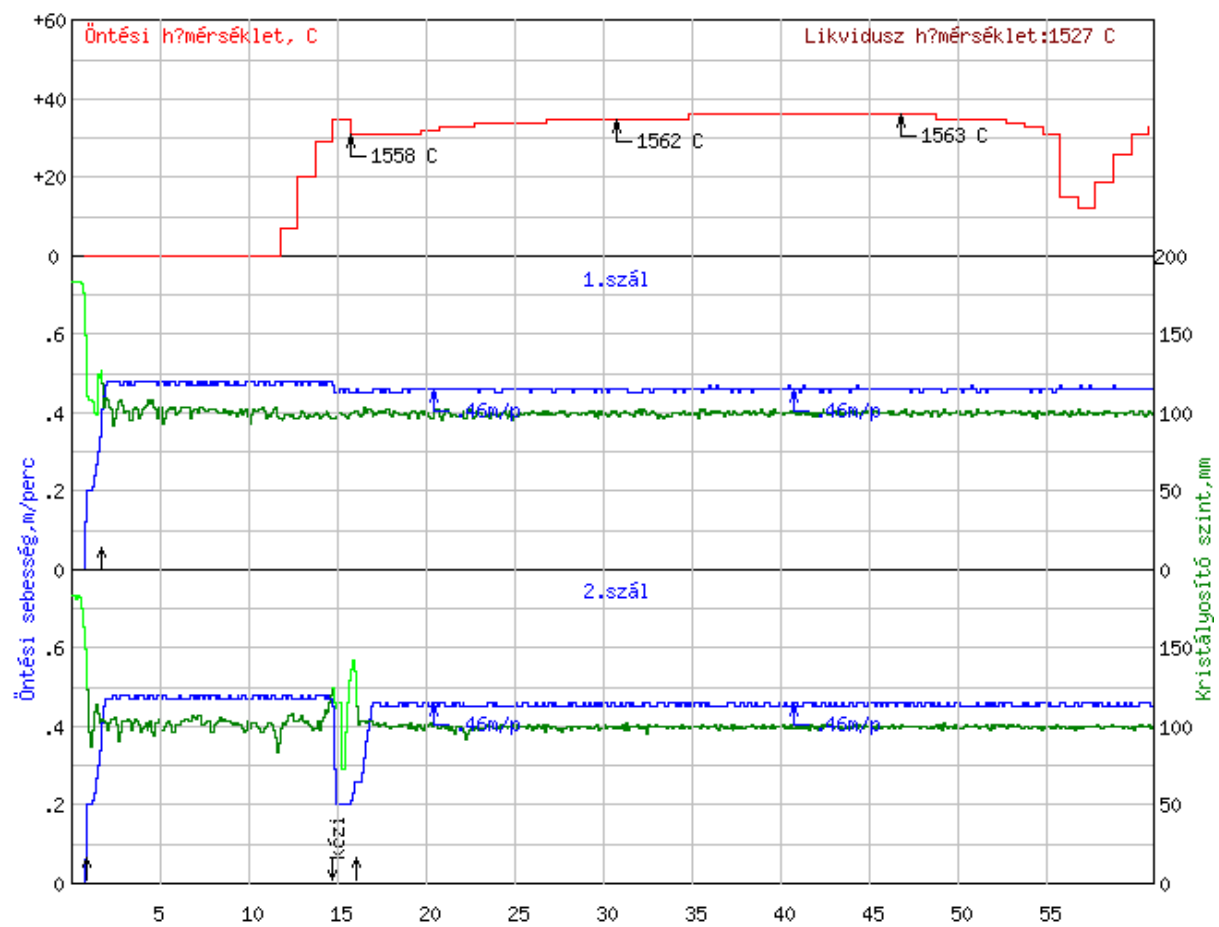
MINŐSÍTÉS
AcGyE kód: K022/0
Öntési osztály: 4

BEAVATKOZÁSOK			
1.szál	m	-	m
		2.szál	m - m
		Kagyló+mt tiszt	6.40

Felület:

Ellenőrzésvezető

Megjegyzés: Próbavétel: 1/8.4-16.8m.
08/2007 FAM kp.



II. LD Acélgyártási Lap
AC_01_008-0.verzió

Készült a ACORACLE rendszerrel
Tabló azonosító : MO-01

ADAGSZÁM: 373

Kampány/falazat: 78/1265

Cél minőség: DE355MLC Cél C: .04 % Cél hőfok: 1690 °C
C Mn Si S P Cu Al V Nb Mo Cr Ni Ti Ca N
Minősítő próba: Végpróba ppm ppm
.07 0.631 0.015 .009 .013 .025 .066 .002 .038 .002 .054 .023 .002 20 88

Gyártószemélyzet:

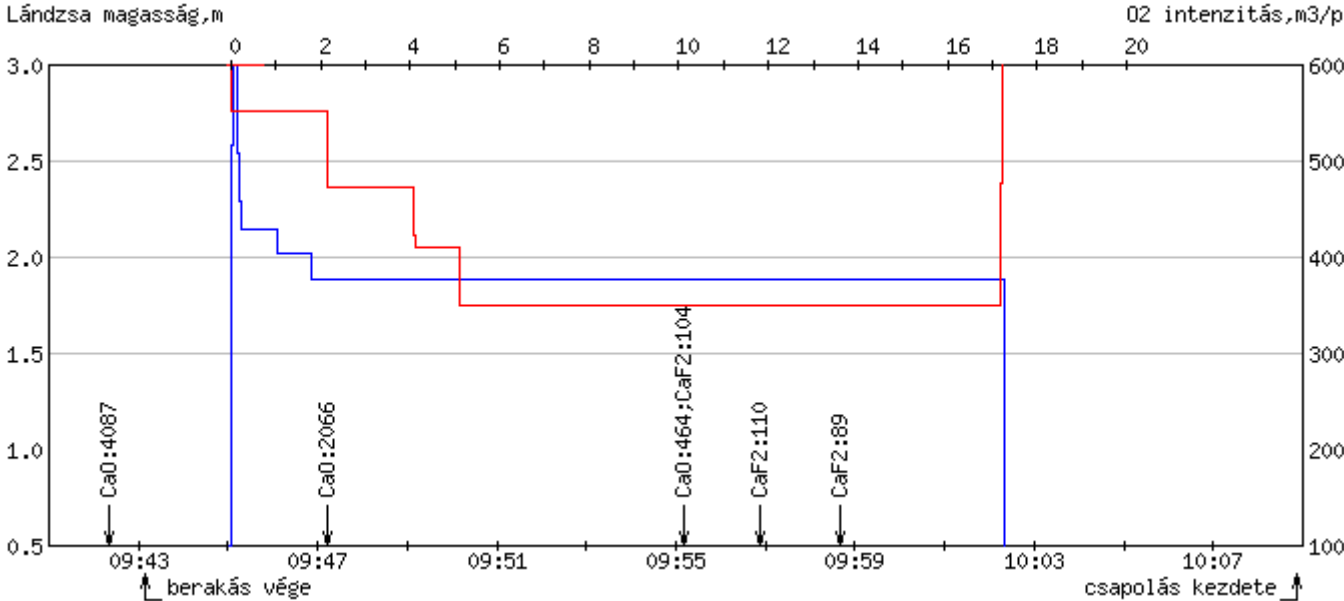
Műszak: 4 Acélgyártó: Bálint Attila
Műszakos üzemvezető: Szilárdi Zsolt Olvasztár: Gyimesvári Cs.
Fúvatásvezető: Sahin-Tóth Zoltán Elegymester: Tóth Zoltán
Tolózárszerelő: Sebők Csaba SL kezelő: Mikulecz Zoltán

Hulladékok:

Régi adagolható AN1:06.80 Báláz.uj hullad.ULS1:00.00
Vegy.hull.báláz.AVS1:00.00 Gépek,ac.öntv.ARM1-2:00.00
Salakból kiterm.AÖV1:00.00 Betétbe adagolt FeMn:00.00
Vasúti bon.nehéz AN3:00.00 Betétbe adagolt SiMn:00.00
8mm f.nehéz AN1(>8):03.10 Betétbe egyéb ötvöző:00.00
Vegy.hull.ollóz.AV01:02.10 Régi adagol.AN2,AL01:00.00
Kov.üz. új hull.AR1:00.00 Belső achul.UN2,UL1b:11.30
Betonacél AR2,ARS1:00.00 Forgácsbrikett AFS1:00.00
Cu ötvöző:00.00 Sredder hullad.ALh1:00.00
Külső új ad.UN1,UL1k:06.30 Hulladék összesen:29.60
Berakás: 09:41 - 09:43 Kanálszám: 2

Nyersvas:

Szilárd vas:000.00
Folyékony vas:112.44
Salakhúzás: Nem
C Mn Si S P
4.46 0.70 0.53 .026 .066
Hőfok: 1316°C (09:09:00)
Összesen: 112.44
Beöntés: 09:43 - 09:44



	T.idő	Oxigén	Mész	Folyp	K.szén	LDSal.	HBI	Pellet	MgO	Koksz	Dolom
Főfúvatás:	(09:45:04-10:02:22)										
	17.32	6562	6617	303	0	0	0	0	0	0	0
Összesen	17.53	6562	6617	303	0	0	0	0	0	0	0

10:18:00* ->4.57ppm, 1629°C; 10:36:00* ->2.3ppm, 1597°C; 10:42:44* ->2.13ppm, 1586°C;
 SALAK SiO2 CaO FeO MnO MgO Al2O3 SumS P2O5 Báz.

1.PES	8.12	62.92	8.71	3.81	1.70	13.80	0.14	0.71	7.75
1.PUS	6.28	62.01	6.72	3.84	2.45	18.08	0.23	0.29	9.87

Megjegyzések:

DUNAFERR ZRT
Acélmű

I.FAM ÖNTÉSI LAP
AC_02_014-0.verzió

oldal: 1
Módosítás száma: 0

ADAGSZÁM : 373 Műszak szám : 4
Szelvény: B13 -B13 Programozott minőség: DE355MLC

KEZELÉS UTÁNI PRÓBA

C :0.065	Mn:0.630	Si:0.013	S:0.010	P:0.012	Cu:0.025	Cr:0.053	Ni:0.023
Al:0.079	V:0.002	Nb:0.039	Mo:0.002	Ox.:0.000	B:0.000	Ca:0.000	N:0.0000

NAGYÜST		KRISTÁLYOSÍTÓ	1.szál	2.szál
Üstszám: 4	Nagyüst nyitás: 1	Száma:	611612	621622
Kezdő súly(t): 211.00	11:07	Öntés száma:	1025	736
Befejező súly(t): 80.60	12:04	Vízmenyiség m3:	338.4	340.9
Nettó súly(t): 130.40		Szinttartás:	AUTO	AUTO
Fordító villa: 2		Mozgató/motorsz:	7/1	2/7
		Öntőpor:	Kempro Ling/L4	Kempro Ling/L4

Sugárvédő típusa: Ves.BC20398 TGY
1.szál(m): 25.2-ig 2.szál(m): 25.2-ig

KÖZBENSŐ ÜST

szám	kocsi	adag	dugó 1/2	bélés	fedőpor
3	1	2	Foseco DB930KM	Rubinit MSF1/5	Nermat AF/Ros.C

ÖNTÉSI HŐMÉRSÉKLET		MÁSODLAGOS HŰTÉS	1.szál	2.szál	
Min öntési hőmérséklet:	1567°C	idő:11:21	1/A zóna,m3/óra:	16.50	16.41
Max öntési hőmérséklet:	1568°C	idő:11:26	1/B zóna,m3/óra:	24.37	24.23
Hőfok különbség:	1°C		2 zóna,m3/óra:	16.03	15.88
			3 zóna,m3/óra:	13.57	13.45
ÖNTÉSI SEBESSÉG	1.szál	2.szál	4 zóna,m3/óra:	9.73	9.57
Ajánlott:	0.48	0.48	5 zóna,m3/óra:	8.37	8.21
Átlag:	0.46	0.46	Összesen:	88.57	87.75

ÖNTÉSI IDŐ	1.szál: B13					B R A M M Á K					2.szál: B13					
	szám	hossz	súly	ki- vágva	mű- szak	szám	hossz	súly	ki- vágva	mű- szak	szám	hossz	súly	ki- vágva	mű- szak	
Öntésre várás: 60 perc	1	101	8400	19.664	0	4	201	8400	19.664	0	4	201	8400	19.664	0	4
Kezdet: 11:16 2007.11.14	2	102	8400	19.664	0	4	202	8400	19.664	0	4	202	8400	19.664	0	4
Vég: 12:14 2007.11.14	3	103	8400	19.664	0	4	203	8400	19.664	0	4	203	8400	19.664	0	4
Tartam: 58 perc																

EGYEBEK	
1.szál	2.szál
Bázisméret: 8400	8400
Rend. hely: TK	TK
Ráöntés szám: 1	
Lábvég,m: 0.000	0.000
Fejvég,m: 0.000	0.000
Közb.üst medve,t: 0.000	
Elfolyás,t: 0.000	
Nagyüst medve,t: 0.000	
Egyéb,t: 0.000	
Kivágva,t: 0.000	
Összesen,t: 0.000	

Össz	3	25200	58.992	0	3	25200	58.992	0
Adag: 6 db	Hossz: 50400 mm	Súly: 117.984 t	Kivágva: 0 mm	0.000 t				

DUNAFERR ZRT
Acélmű

I.FAM
ÖNTÉSI LAP

oldal: 2
Módosítás száma: 0

ADAGSZÁM : 373 Műszak szám : 4
Szelvény: B13 -B13 Programozott minőség:

M E R Ü L Ő K			
1.szál	m	2.szál	m
FosecoSES1254(1	.00	FosecoSES1254(1	.00

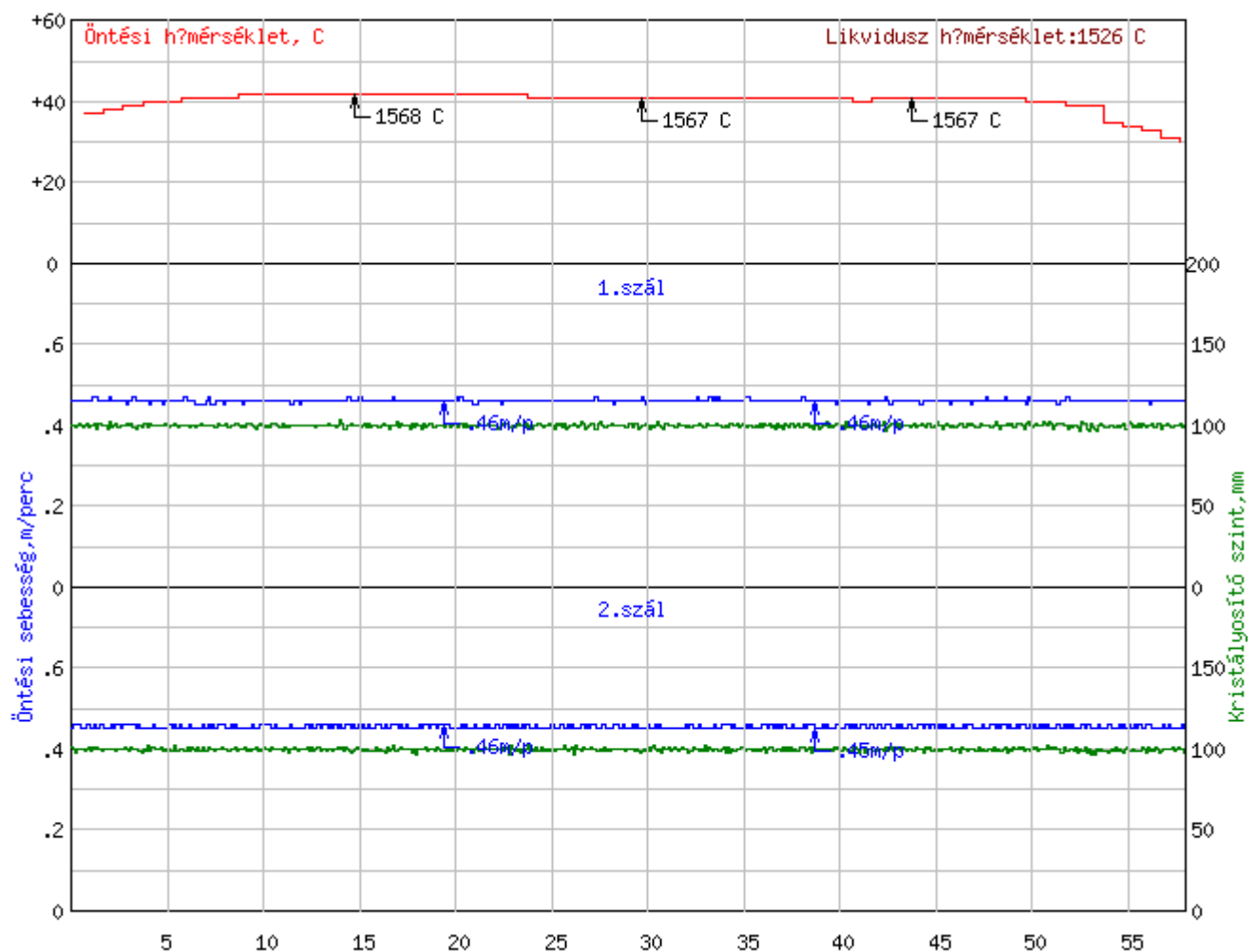
MINŐSÍTÉS
AcGyE kód: K023/0
Öntési osztály: 4

BEAVATKOZÁSOK			
1.szál	m - m	2.szál	m - m

Felület:

Ellenőrzésvezető

Megjegyzés: Próba vétel: 1/8.4-16.8m.
08/2007 FAM kp.

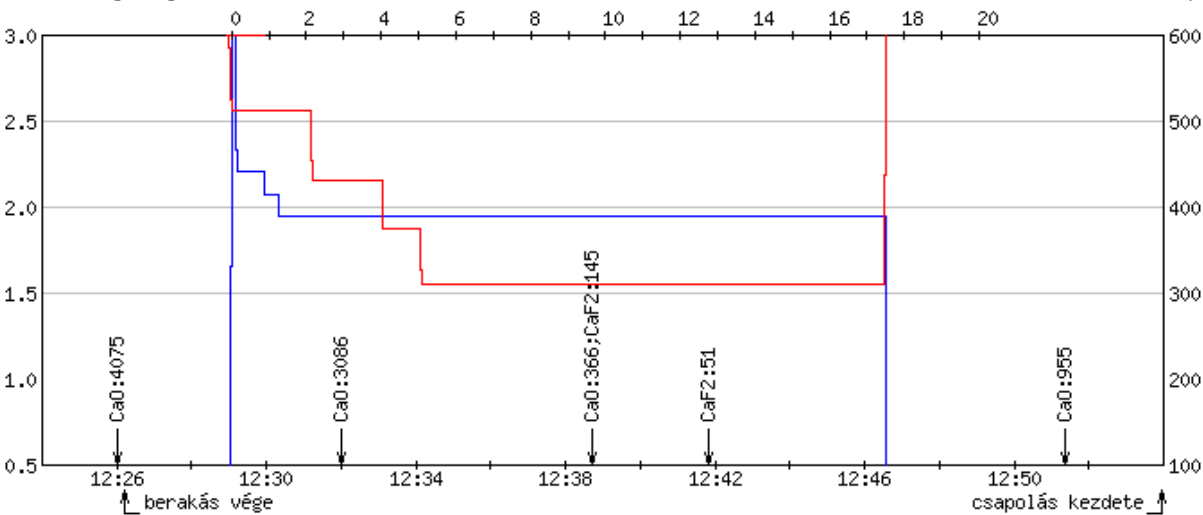


II. LD Acélgyártási Lap
AC_01_008-0.verzió

Készült a ACORACLE rendszerrel
Tabló azonosító : MO-01

ADAGSZÁM: 415											Kampány/falazat: 78/1307				
Cél minőség: DE355MLC						Cél C: .04 %					Cél hőfok: 1680 °C				
C	Mn	Si	S	P	Cu	Al	V	Nb	Mo	Cr	Ni	Ti	Ca	N	
Minősítő próba: Végpróba													ppm	ppm	
.07	0.661	0.015	.004	.009	.065	.063	.003	.042	.006	.053	.032	.002	24	81	

Hulladékok:														Nyersvas:		
Régi adagolható AN1:12.88 Báláz.uj hullad.ULS1:00.00														Szilárd vas: 000.00		
Vegy.hull.báláz.AVS1:00.00 Gépek,ac.öntv.ARM1-2:00.00														Folyékony vas:103.16		
Salakból kiterm.AÖV1:00.00 Betétbe adagolt FeMn:00.00														Salakhúzás: Nem		
Vasúti bon.nehéz AN3:00.00 Betétbe adagolt SiMn:00.00																
8mm f.nehéz AN1(>8):00.00 Betétbe egyéb ötvöző:00.00														C	Mn	Si
Vegy.hull.ollóz.AVO1:00.00 Régi adagol.AN2,AL01:00.00														4.27	0.79	0.73
Kov.üz. új hull.AR1:00.00 Belső achul.UN2,UL1b:11.20														Hőfok: 1365°C (12:00:37)		
Betonacél AR2,ARS1:00.00 Forgácsbrikett AFS1:00.00																
Cu ötvöző:00.00 Sredder hullad.ALh1:00.00																
Külső új ad.UN1,UL1k:13.10 Hulladék összesen:37.18														Összesen: 103.16		
Berakás: 12:24 - 12:26 Kanálszám: 2 Beöntés:12:27 - 12:28																
Lándzsa magasság,m														02 intenzitás,m3/p		



T.idő	Oxigén	Mész	Folyp	K.szén	LDsal.	HBI	Pellet	MgO	Koksz
Főfúvatás: (12:29:04-12:46:35)									
17.53	6657	7527	196	0	0	0	0	0	0
Összesen									
17.89	6657	8482	196	0	0	0	0	0	0

2. oldal

II. LD Acélgyártási Lap

ADAGSZÁM: 415

	pr.idő	C	Mn	S	P	Cu	Cr	Ni	Mo	Hőfok °C, idő
1.LDA	(12:52:00)	0.052	.246	.008	.008	.06	0.050	.032	.011	1690(12:49:24)

Celox mérések: 12:49:58->542.6ppm,1692°C;

	SiO2	CaO	FeO	MnO	MgO	Al2O3	SumS	P2O5	Báz.
1. LDS	16.01	53.61	19.68	5.21	1.03	3.10	0.10	1.18	3.35
Acélcsapolás:	12:53:56	-	12:59:16					Salakcsapolás:	13:00:03 - 13:00:29
			5.35 perc						0.43 perc

Salakviisszazárás: Igen

Üstszám: 1/22/3

Az utolsó fúvatásig felhasznált N2: 14.85 m3

Ar: 15.94

Az utánöblítésre felhasznált

Ar: 16.30

Ötvözés

idő	FeMn	aff	Al	CaO	AL-s.P	Dez.koksz
12:54:10						40*
12:54:33					50*	
12:56:46	702					
12:56:46		224				
12:57:07			864			
Összesen	702	224	864		50*	40*

Alsó argon öblítés

Kezelőhely	kezdet	vége	idő	menyiség
II. LD	12:53:56	13:03:35	9.65	4582
II. LD	13:03:56	13:06:31	2.58	1017
II. LD	13:06:52	13:07:48	0.93	245
II. LD	13:12:23	13:16:53	4.50	2002
II. LD	13:17:39	13:21:48	4.15	1587
II. LD	13:22:19	13:23:43	1.40	447
Összesen:			23.22	9880

Üstmetallurgia

SL kezelés: 13:01:23 - 13:23:27 22.07 perc

A R G O N			P O R			H U Z A L		
Kh kezdet	idő	menyiség	Kh. Megnevezés	kezdet	idő	menyiség	(argon)	
2 13:01	2.03	1861	(2)CaAlFe 40/30/30 13mm	13:07	5.64	155		
2 13:04	1.98	1856	(2)CaAlFe 40/30/30 13mm	13:18	1.26	29		
2 13:13	3.02	2865	(2)FeNb 65% 13 mm	13:12	1.94	85*		
2 13:19	1.97	1854						
2 13:22	0.93	850						

	C	Mn	Si	S	P	Al	V	Nb	Mo	Cu	Cr	Ni	Ca
1.LDU	.05	0.641	0.008	.008	.009	.053	.002	.004	.004	.06	0.048	.031	
1.PEA	.05	0.659	0.010	.008	.009	.049	.002	.004	.005	.07	0.049	.032	
1.PUA	.07	0.667	0.012	.006	.010	.073	.003	.044	.006	.07	0.051	.032	

Celox mérések:

13:04:07->3.35ppm,1620°C; 13:07:05->3.16ppm,1614°C; 13:17:24->2.37ppm,1595°C;

13:22:19->1.91ppm,1590°C;

SALAK SiO2 CaO FeO MnO MgO Al2O3 SumS P2O5 Báz.

DUNAFERR ZRT
Acélmű

I.FAM ÖNTÉSI LAP
AC_02_014-0.verzió

oldal: 1
Módosítás száma: 0

ADAGSZÁM : 415 Műszak szám : 2
Szelvény: B15 -B15 Programozott minőség: DE355MLC

KEZELÉS UTÁNI PRÓBA

C :0.068 Mn:0.667 Si:0.012 S:0.006 P:0.010 Cu:0.066 Cr:0.051 Ni:0.032
Al:0.073 V:0.003 Nb:0.044 Mo:0.006 O_x:0.000 B:0.000 Ca:0.000 N:0.0000

NAGYÜST		KRISTÁLYOSÍTÓ	1.szál	2.szál
Üstszám: 1	Nagyüst nyitás: 0	Száma:	611612	621622
Kezdő súly(t): 213.00	13:47	Öntés száma:	1046	757
Befejező súly(t): 82.80	14:37	Vízmenyiség m3:	336.2	341.9
Nettó súly(t): 130.20		Szinttartás:	AUTO	AUTO
Fordító villa: 1		Mozgató/motorsz:	5/1	10/7
		Öntőpor:	Kempro Ling/L4	Kempro Ling/L4

Sugárvédő típusa: Ves.BC20398 TGY
1.szál(m): 21.0-ig 2.szál(m): 20.5-ig

KÖZBENSŐ ÜST

szám	kocsi	adag	dugó 1/2	bélés	fedőpor
7	1	5	Foseco DB930KM	Rubinit MSF1/5	Nermat AF/Ros.C

ÖNTÉSI HŐMÉRSÉKLET		MÁSODLAGOS HŰTÉS		1.szál	2.szál
Min öntési hőmérséklet:	1558°C	idő:	14:02	1/A zóna,m3/óra:	16.74
Max öntési hőmérséklet:	1559°C	idő:	14:33	1/B zóna,m3/óra:	27.31
Hőfok különbség:	1°C			2 zóna,m3/óra:	17.87
				3 zóna,m3/óra:	15.34
ÖNTÉSI SEBESSÉG	1.szál	2.szál		4 zóna,m3/óra:	12.02
Ajánlott:	0.45	0.45		5 zóna,m3/óra:	10.94
Átlag:	0.45	0.45		Összesen:	100.22
					100.13

ÖNTÉSI IDŐ	1.szál: B15					B R A M M Á K					2.szál: B15					
	szám	hossz	súly	vágva	szak	szám	hossz	súly	vágva	szak	szám	hossz	súly	vágva	szak	
Öntésre várás: 56 perc	1	101	8400	23.688	0	2	201	8400	23.688	0	2	201	8400	23.688	0	2
Kezdet: 13:55 2007.11.15	2	102L	4200	11.844	0	2	202L	3700	10.434	0	2	202L	3700	10.434	0	2
Vég: 14:44 2007.11.15	3	103V	8400	23.688	0	2	203V	8400	23.688	0	2	203V	8400	23.688	0	2
Tartam: 49 perc																

EGYEBEK
1.szál 2.szál
Bázisméret: 8400 8400
Rend. hely: TK TK

Ráöntés szám: 4

Lábvég,m: 0.000 0.000
Fejvég,m: 0.500 0.500
Közb.üst medve,t: 3.000
Elfolyás,t: 0.000
Nagyüst medve,t: 0.000
Egyéb,t: 0.000
Kivágva,t: 0.000
Összesen,t: 5.820

Össz 3 21000 59.220 0 3 20500 57.810 0
Adag: 6 db Hossz: 41500 mm Súly: 117.030 t Kivágva: 0 mm 0.000 t

DUNAFERR ZRT
Acélmű

I.FAM
ÖNTÉSI LAP

oldal: 2
Módosítás száma: 0

ADAGSZÁM :415 Műszak szám : 2
Szelvény: B15 -B15 Programozott minőség:

M E R Ü L Ő K			
1.szál	m	2.szál	m
FosecoSES1254(1	.00	FosecoSES1254(1	.00

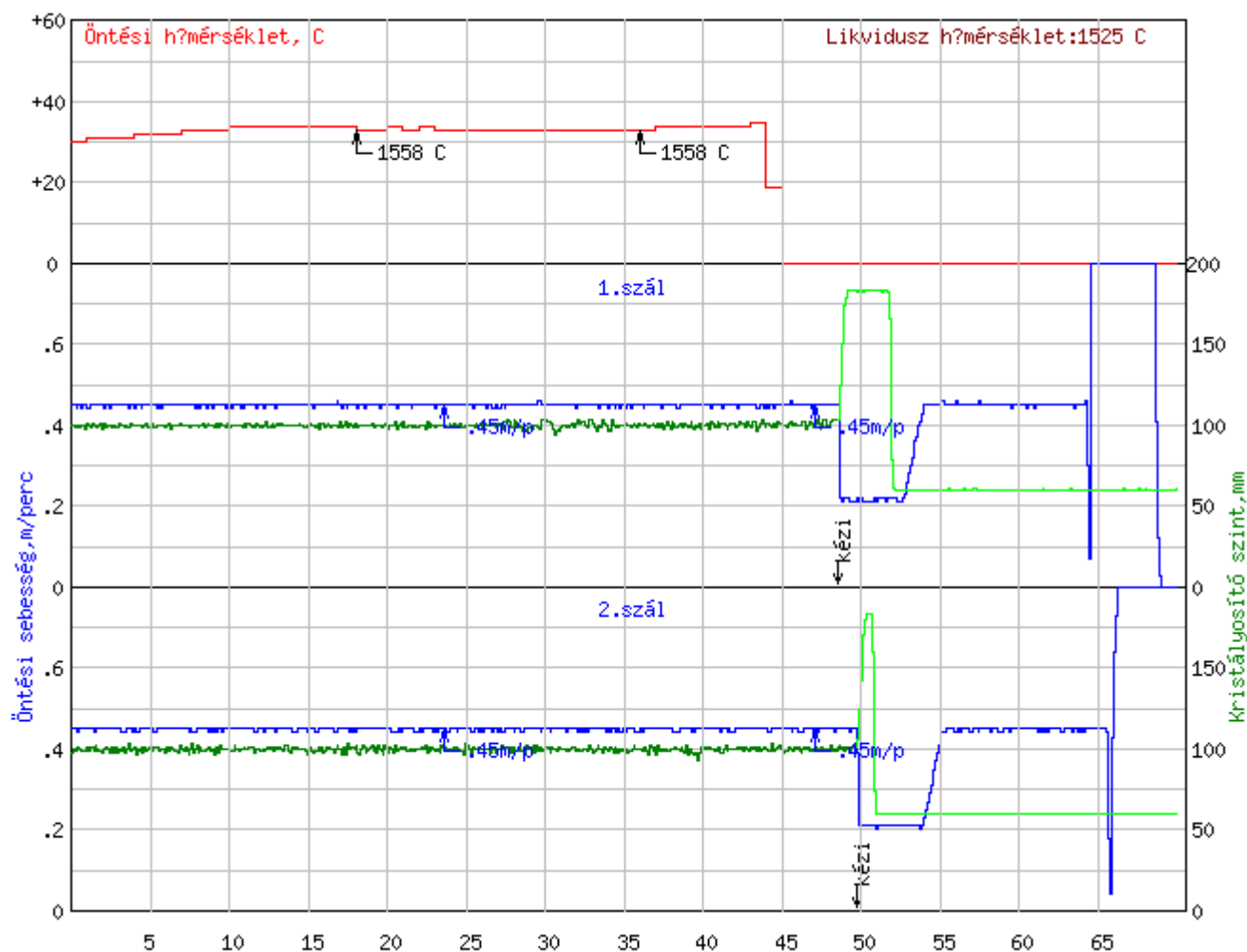
MINŐSÍTÉS
AcGyE kód: 6253/0
Öntési osztály: 4

BEAVATKOZÁSOK			
1.szál	m - m	2.szál	m - m

Felület:

Ellenőrzésvezető

Megjegyzés: Próba vétel:1/8.4-16.8m.
08/2007/FAM kísérleti program.



FAM műszakos üz.véz.

II. LD Acélgyártási Lap
AC_01_008-0.verzió

Készült a ACORACLE rendszerrel
Tabló azonosító : M0-01

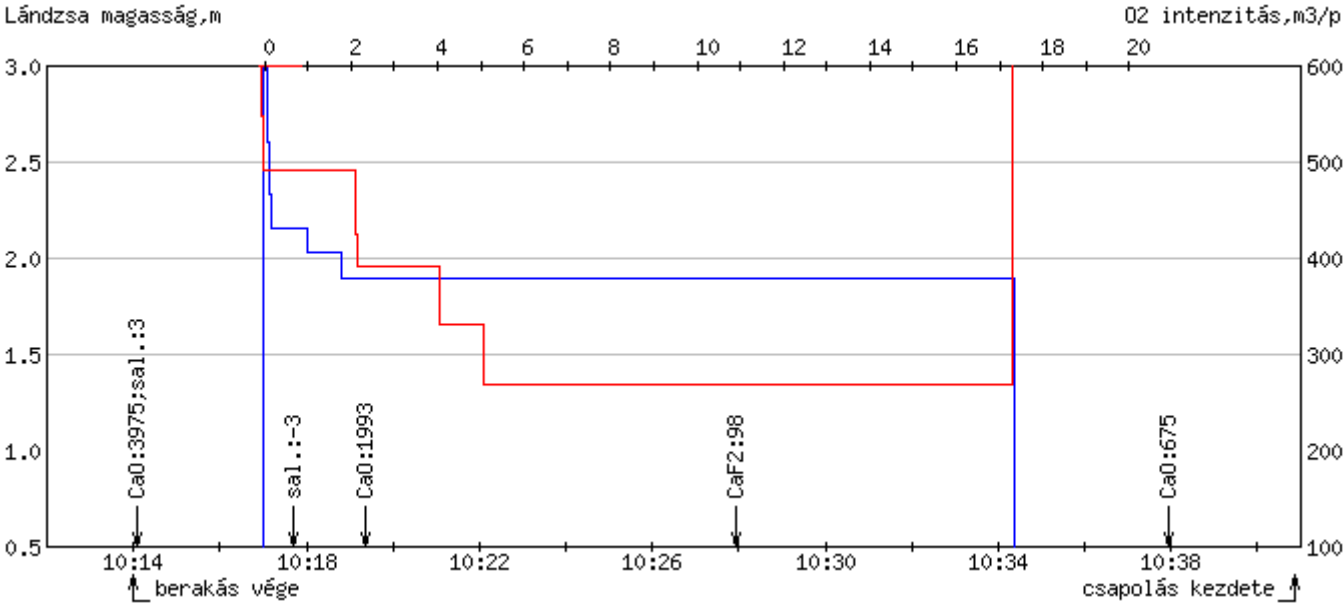
ADAGSZÁM: 451

Kampány/falazat: 78/1343

Cél minőség: DE420MLC					Cél C: .04 %					Cél hőfok: 1680 °C						
C	Mn	Si	S	P	Cu	Al	V	Nb	Mo	Cr	Ni	Ti	Ca	N	O	B
Minősítő próba:Végpróba													ppm	ppm	ppm	ppm
.08	0.940	0.018	.006	.013	.053	.051	.003	.047	.003	.071	.028	.002	31	69	39	

Hulladékok:
Régi adagolható AN1:10.74 Báláz.uj hullad.ULS1:00.00
Vegy.hull.báláz.AVS1:00.00 Gépek,ac.öntv.ARM1-2:00.00
Salakból kiterm.AÖV1:00.00 Betétbe adagolt FeMn:00.00
Vasúti bon.nehéz AN3:00.00 Betétbe adagolt SiMn:00.00
8mm f.nehéz AN1(>8):00.00 Betétbe egyéb ötvöző:00.00
Vegy.hull.ollóz.AV01:01.80 Régi adagol.AN2,AL01:00.00
Kov.üz. új hull.AR1:00.00 Belső achul.UN2,UL1b:12.90
Betonacél AR2,ARS1:00.00 Forgácsbrikett AFS1:00.00
Cu ötvöző:00.00 Sredder hullad.ALh1:00.00
Külső új ad.UN1,UL1k:07.00 Hulladék összesen:32.44
Berakás: 10:12 - 10:13 Kanálszám: 2

Nyersvas:
Szilárd vas: 000.00
Folyékony vas: 110.12
Salakhúzás: Nem
C Mn Si S P
4.50 0.71 0.54 .019 .062
Hőfok: 1332°C (09:59:06)
Összesen: 110.12
Beöntés: 10:15 - 10:16



T.idő	Oxigén	Mész	Folyp	K.szén	LDsal.	HBI	Pellet	MgO	Koksz	Dolom
Főfúvatás: (10:17:02-10:34:23)										
17.37	6647	5968	98	0	0*	0	0	0	0	0
Összesen	17.61	6647	6643	98	0	0*	0	0	0	0

	pr.idő	C	Mn	S	P	Cu	Cr	Ni	Mo	Hőfok °C, idő
1.LDA	(10:38:00)	0.057	.250	.015	.011	.05	0.070	.028	.009	1688(10:36:33)

Celox mérések: 10:37:11->512.4ppm,1690°C;

	SiO2	CaO	FeO	MnO	MgO	Al2O3	SumS	P2O5	Báz.
1. LDS	15.82	54.88	18.16	5.02	1.09	3.47	0.13	1.33	3.47
Acélcsapolás: 10:40:52 - 10:46:21					Salakcsapolás: 10:47:29 - 10:47:52				
4.82 perc					0.38 perc				
Salakviisszazárás: Igen					Üstszám: 11/93/4				
Az utolsó fúvatásig felhasznált N2: 21.81 m3					Ar: 14.87				
Az utánöblítésre felhasznált					Ar: 19.41				

Ötvözés					
idő	FeMn	aff	Al	CaO	AL-s.P
10:43:13	1123				
10:43:22		207			
10:43:54			714		
10:44:10					40*
10:44:28				75*	
Összesen	1123	207	714	75*	40*

Alsó argon öblítés	Kezelőhely	kezdet	vége	idő	menyiség
	II. LD	10:40:53	10:45:02	4.15	959
	II. LD	10:46:27	10:47:31	1.07	171
	II. LD	10:51:12	10:53:51	2.65	839
	II. LD	10:59:32	11:00:36	1.07	337
	II. LD	11:01:31	11:04:30	2.98	1072
	II. LD	11:06:39	11:07:05	0.43	60
	3.állás	11:08:17	11:08:29	0.20	0
	II. LD	11:08:20	11:09:12	0.87	227
	II. LD			0.00	
Összesen:				13.42	3665

Üstmetallurgia					
SL kezelés: 10:48:34 - 11:12:22 23.80 perc					
A R G O N			P O R /		H U Z A L
Kh kezdet	idő	menyiség	Kh. Megnevezés	kezdet	idő
2 10:48	2.15	2058	(2)CaAlFe 40/30/30 13mm	10:53	6.37
			(2)CaAlFe 40/30/30 13mm	11:08	2.09
			(2)FeNb 65% 13 mm	11:02	0.49
			(2)FeNb 65% 13 mm	11:03	1.13
					194
					58
					1
					102

Ötvözés az SL-nél	idő	FeMn	FeMn	aff	SiMn	FeSi	MnV	Ni	katód	Hűtőhull	HH-UN2
	10:48:34										0
Összesen											0

	C	Mn	Si	S	P	Al	V	Nb	Mo	Cu	Cr	Ni	Ca	N
B														
1.LDU	.07	0.932	0.014	.012	.010	.059	.002	.004	.004	.05	0.067	.029		
1.PEA	.08	0.922	0.016	.012	.011	.050	.002	.004	.005	.05	0.068	.029		

1.PUA .08 0.956 0.016 .008 .013 .057 .003 .051 .005 .06 0.070 .030
 Celox mérések:
 10:51:20->3.44ppm,1606°C; 11:06:50->2.22ppm,1581°C; 11:08:10->2.47ppm,1582°C;
 11:12:14->1.72ppm,1571°C;

SALAK	SiO2	CaO	FeO	MnO	MgO	Al2O3	SumS	P2O5	Báz.
1.PES	9.17	58.31	6.13	3.13	2.25	20.34	0.18	0.39	6.36
1.PUS	8.87	58.13	3.02	1.82	3.71	23.94	0.32	0.09	6.55

Megjegyzések:
 FeNb-huzal elakadt.

DUNAFERR ZRT
Acélmű

I.FAM ÖNTÉSI LAP
AC_02_014-0.verzió

oldal: 1
Módosítás száma: 0

ADAGSZÁM : 451 Műszak szám : 1
Szelvény: B15 -B15 Programozott minőség: DE420MLC

KEZELÉS UTÁNI PRÓBA

C :0.079 Mn:0.956 Si:0.016 S:0.008 P:0.013 Cu:0.058 Cr:0.070 Ni:0.030
Al:0.057 V:0.003 Nb:0.051 Mo:0.005 OX.:0.000 B:0.000 Ca:0.000 N:0.0000

NAGYÜST		KRISTÁLYOSÍTÓ	1.szál	2.szál
Üstszám: 11	Nagyüst nyitás: 0	Száma:	641642	631632
Kezdő súly(t): 208.00	11:29	Öntés száma:	400	108
Befejező súly(t): 77.90	12:19	Vízmenyiség m3:	344.6	342.5
Nettó súly(t): 130.10		Szinttartás:	AUTO	AUTO
Fordító villa: 2		Mozgató/motorsz:	3/1	1/7
		Öntőpor:	Kempro Ling/L4	Kempro Ling/L4

Sugárvédő típusa: Ves.BC20398 TGY
1.szál(m): 25.2-ig 2.szál(m): 25.2-ig

KÖZBENSŐ ÜST

szám	kocsi	adag	dugó 1/2	bélés	fedőpor
11	1	2	Foseco DB930KM	Rubinit MSF1/5	Nermat AF/Ros.C

ÖNTÉSI HŐMÉRSÉKLET		MÁSODLAGOS HŰTÉS		1.szál	2.szál
Min öntési hőmérséklet:	1546°C	idő:	12:18	1/A zóna,m3/óra:	16.30
Max öntési hőmérséklet:	1551°C	idő:	11:47	1/B zóna,m3/óra:	26.58
Hőfok különbség:	5°C			2 zóna,m3/óra:	17.40
				3 zóna,m3/óra:	14.29
ÖNTÉSI SEBESSÉG	1.szál	2.szál		4 zóna,m3/óra:	10.92
Ajánlott:	0.45	0.45		5 zóna,m3/óra:	9.77
Átlag:	0.45	0.45		Összesen:	95.26
					94.85

ÖNTÉSI IDŐ	1.szál: B15					B R A M M Á K					2.szál: B15					
	szám	hossz	súly	vágva	szak	szám	hossz	súly	vágva	szak	szám	hossz	súly	vágva	szak	
Öntésre várás: 51 perc	1	101	8400	23.688	0	1	201	8400	23.688	0	1	201	8400	23.688	0	1
Kezdet: 11:37 2007.11.16	2	102	8400	23.688	0	1	202	8400	23.688	0	1	202	8400	23.688	0	1
Vég: 12:28 2007.11.16	3	103	8400	23.688	0	1	203	8400	23.688	0	1	203	8400	23.688	0	1
Tartam: 52 perc																

EGYEBEK	
1.szál	2.szál
Bázisméret: 8400	8400
Rend. hely: TK	TK
Ráöntés szám: 1	
Lábvég,m:	0.000 0.000
Fejvég,m:	0.000 0.000
Közb.üst medve,t:	0.000
Elfolyás,t:	0.000
Nagyüst medve,t:	0.000
Egyéb,t:	0.000
Kivágva,t:	0.000
Összesen,t:	0.000

ÖSSZ	
3	25200 71.064 0
3	25200 71.064 0
Adag: 6 db	Hossz: 50400 mm Súly: 142.128 t Kivágva: 0 mm 0.000 t

DUNAFERR ZRT
Acélmű

I.FAM
ÖNTÉSI LAP

oldal: 2
Módosítás száma: 0

ADAGSZÁM : 451 Műszak szám : 1
Szelvény: B15 -B15 Programozott minőség:

M E R Ü L Ő K			
1.szál	m	2.szál	m
FosecoSES1254(1	.00	FosecoSES1254(1	.00

MINŐSÍTÉS
AcGyE kód: 6283/0
Öntési osztály: 4

BEAVATKOZÁSOK			
1.szál	m - m	2.szál	m - m

Felület:

Ellenőrzésvezető

Megjegyzés: Próba vétel:1/8.4-16.8m.
08/2007/FAM k.p. szerint öntve.

