

Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola
Műszaki Anyagtudományi Kar
Metallurgiai és Öntészeti Tanszék



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

PhD értekezés tézisei

Szabó Andrea
okl. kohómérnök

Tudományos vezető:
Prof. Dr. Károly Gyula
egyetemi tanár

Miskolc, 2009.

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 öregedésszerűségét, 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 3-4 ppm 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 eltávolíthatóak. 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 melegghengerlés 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 acéllemezt hajlítása 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 melegghengerlés 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 acéolvadékból 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 Dunaferriben 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 ítéltető, hogy a Dunaferriben üzembe helyeztek egy olyan gyorslemező 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 acéolvadékból 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 Kísérleti és vizsgálati eredmények

2.1 Az acéolvadék inertgázzal történő átöblítésének optimalizálása érdekében végzett kísérletek

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 megfelelő 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 acéolvadékból 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 viaszosodródnak 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.

2.2 Az acélolvadékból vett érempróbák használhatóságának vizsgálata

Az utóbbi évtizedben bevált acélműi gyakorlat, hogy az gyártás közbeni elemzésekhez ún. érempróbákat használnak kézi- vagy automatikusan vezérelt szondák segítségével. A különböző spektrométerekkel a próbákön (mintákön) 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 az acél zárványosságáról is információt kaphatnánk és lehetőségünk volna a lépcsős dezoxidáció folyamatába beavatkozni. Ez vezérelt akkor, amikor megvizsgáltam, hogy a kémiai összetételi vizsgálathoz alkalmasnak tartott érempróbák alkalmasak-e az öntött minták zárványvizsgálatához 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.

Az acélolvadékból vett érempróbák röntgenes vizsgálatát követően –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, ezért újabb kísérletsorozat indult. A kísérletek következő lépéseként a mintavétel során alkalmazott argon befúvás időtartamát növeltük meg 4 másodpercre. Az argonbefúvatás 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 kiszippantsa. Így az érempróbákban salakzárvány vagy egyéb lunker csak annyi mutatható ki, ami a megszilárduláskori fajlagos térfogat zsugorodásának felel meg. Mindemellet persze az is igen fontos, hogy nagyobb

Al_2O_3 -tartalmú szintetikus salak üstsalakra hozagolásával a salak fizikai állapotát (higfolyóságának) javítsuk, hogy a próbavevő fürdőbejutását megelőzően a salakfelrakódások elkerülhetők lehessenek.

Annak megállapítására, hogy az érempróbákat milyen mértékben szennyezik a salak és gázbezáródások, az egyes kísérletsorozatokból 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 szemközti 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 zárványvizsgálatból ki kell zárni.

A Dunafer acélművében végzett kísérletsorozat eredményeit figyelembe véve a jövőben a zárványvizsgálatot a salakrögök és a lunkerek érempróbában feltételezett helyét elkerülve kell végezni. 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.

2.3 A folyékony acélfürdőből vett érempróbák zárványvizsgálati eredményeiből levonható következtetések

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 kísérletekre kijelölt 4 adag esetében, 5 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 jelű próbadarab)
- a folyamatos öntőművön a kristályosítóból, amikor a leöntött acélszál hosszúsága elérte a 16,8 m-t (VP2 jelű próbadarab)

A vizsgált adagok jellemző paramétereit az 1. táblázatban foglaltam össze.

1. táblázat: a kísérleti adagok jellemző paramétereit

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_{O,kezd}, ppm: kezelés elején mért aktív oxigén szint; Ar_{csap}, m³: a fúvatás végéig felhasznált argon mennyisége; Ar_{alsó}, m³: öblítőkövön 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_{O,vég}, ppm: kezelés végén mért aktív oxigén szint; Idő_{üst}, perc: üstmetallurgiai kezelés időtartama.

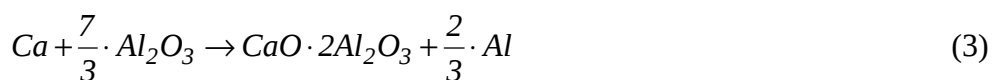
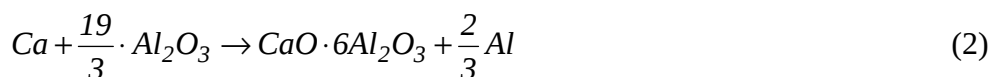
A vizsgálataim során meghatároztam

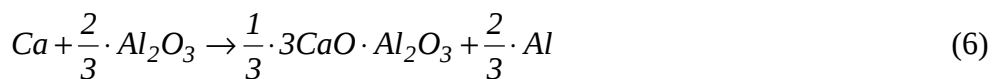
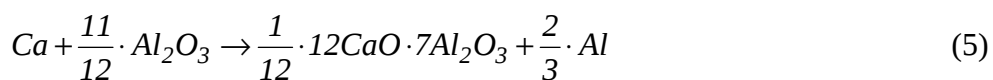
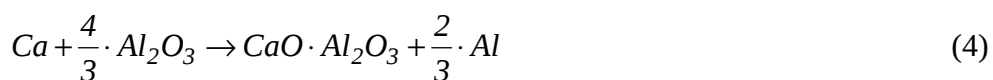
- a próbadarabokban lévő különálló zárványok darabszámát,
- a próbadarabokban lévő zárványfelhők darabszámát,
- a zárványok méretét (hosszúság, szélesség, terület),
- a zárványok kémiai összetételét,
- a próbadarabok alumínium tartalmát (össz-, oldott és zárvány formában jelen lévő alumínium),
- a kalcium 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 az alábbi reakciók szerint aluminát zárványok alakulnak ki,





- az acél hőmérsékletének csökkenésével a dezoxidációs reakció lejártszódik, 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 lejátszódásának eltérő mértékével magyarázható. Az adagok gyártásánál mind a felhasznált anyagok mennyisége, mind a salakredukció mértéke különböző.

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. 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.

A zárványfelhők a dezoxidáció kezdeti szakaszában (nagy aktív oxigén tartalom esetén) képződnek, nagy méretűek, ezért könnyen eltávolíthatóak a salakfázisba. Keletkezésükre a folyamatos öntőművön történő reoxidáció is magyarázatot adhat. 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 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.

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

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 ítéldhetjük 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 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. 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.

A zárványok összetételének meghatározása 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 optikai

emissziós spektrometria széles körűen elfogadott, gyors, egyszerű, gondosan kidolgozott módszer a fém alapú minták kémiai összetételének meghatározására.

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 $-3-5^{\circ}\text{C}$ - 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 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. 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 ($\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) aluminát zárványok alakultak ki, azonban a kezelés után még maradtak át nem alakított alumínium oxidok. Ez azt jelenti, hogy a felhasznált CaAlFe huzal mennyisége 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 határfokát 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.

A folyamatos öntés zavartalan végrehajtásának feltétele a megfelelően kezelt – homogén kémiai összetételű és hőmérsékletű – alacsony zárványtartalmú acél biztosítása. Az űstmetallurgiai 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 védelem azonban nem mindig ad megfelelő garanciát a reoxidáció elkerülésére. Bizonyos zárványösszetéti fokozatot meghaladó acélok öntésénél a zárványok lerakódhatnak a kagyló vagy (és) a merülő tölcésér falára és szűkítéseket 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 alumínátok összetételét.

A folyamatos öntés minősége megítélhető a közbenső űst 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 űstöt 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 esetében a dugó pozíciójából egyértelműen látszik, hogy három adag öntése gyakorlatilag zavarmentes volt. A negyedik – 371 számú adag – öntésénél azonban komoly rendellenességek mutatkoztak. 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 alumínátokban az összetételre jellemző Ca/O arány 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.

A szilícium mentes alumíniummal csillapított acélok gyártása során az űstmetallurgiai 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 űstmetallurgiai technológiáról legyen is szó– zárvány mentes acélt nem állíthatunk elő.

3 Új tudományos eredmények

Az értekezésemben elért új tudományos eredmények (tézisek) a következőkben fogalmazhatók meg:

- 1.1. Zárványosság szempontjából megfelelőnek tekinthető szilícium-szegény, 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 oldott alumínium tartalmának 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. A tiszta, zárvány szegény acél gyártási feltétele az alacsony, 3,46 ppm oldott oxigéntartalom biztosítása a dezoxidáció végén.

- 1.2. A zárványképződési reakciókra elméleti lejátszódási sorrendet írtam fel:

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

Alumínium adagolás hatására lejátszódó folyamat

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

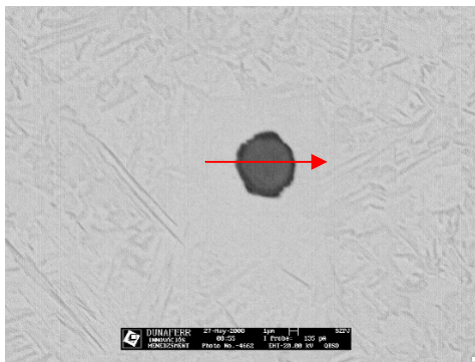
CaAlFe huzal adagolás hatására lejátszódó folyamatok

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

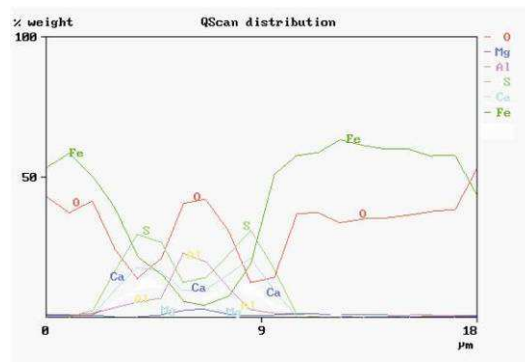
lejátszódás sorszáma	reakció
6	$Ca + \frac{11}{12} \cdot Al_2O_3 \rightarrow \frac{1}{12} \cdot 12CaO \cdot 7Al_2O_3 + \frac{2}{3} \cdot Al$
7	$Ca + \frac{2}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow \frac{1}{3} \cdot 3CaO \cdot Al_2O_3 + \frac{2}{3} \cdot Al$
8	$Ca + \frac{1}{3} \cdot Al_2O_3 \rightarrow CaO + \frac{2}{3} Al$

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.

- 1.3. 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.

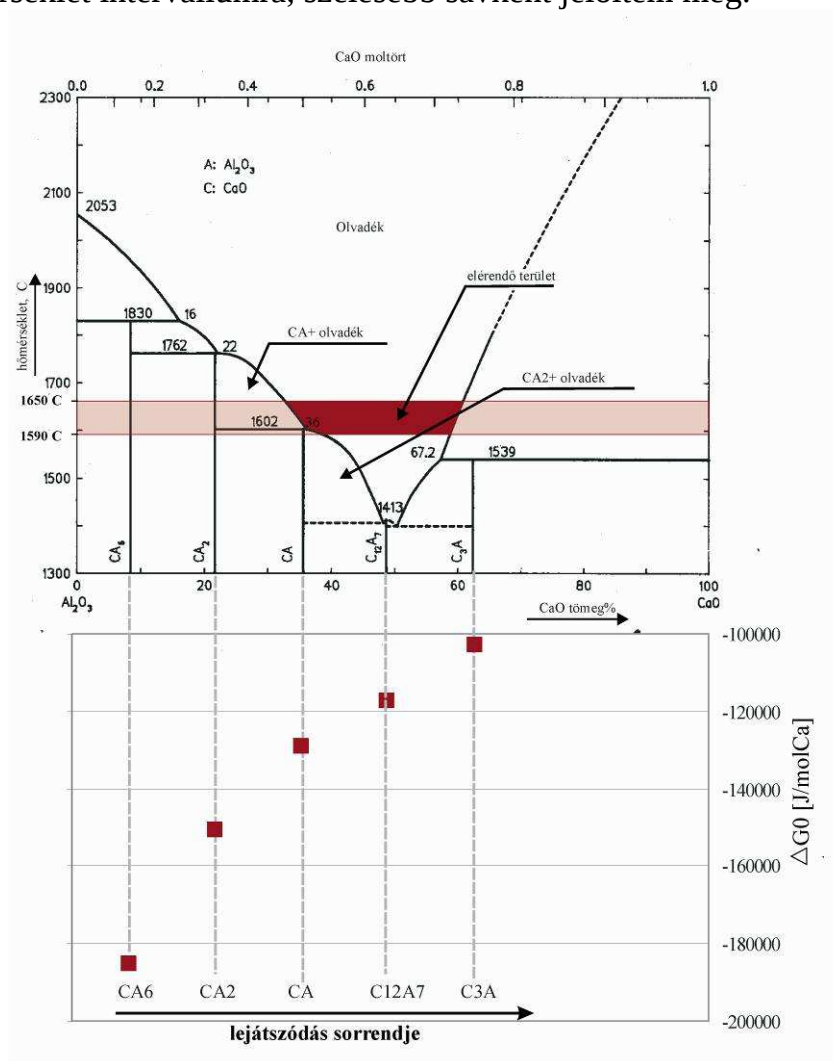


Gömbszerű komplex aluminát
zárvány (a piros nyíl mutatja az
ábrán a mikroszondás
vonallmenti mérés helyét)



Gömbszerű komplex aluminát
zárvány
mikroszondás vonalmenti
elemzésének eredménye

- 1.4. A szakirodalom 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.



1.5. 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 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ 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 átalakításhoz	0,013750 %		huzal hatásfok	0,12	
összes Ca	0,015409 %				
beadagolandó CaAlFe huzal	0,321016 %				
CaAlFe huzal mennyisége	3,21	kg/tonna acél			

- 2.1. 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

- 2.2. 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 –közepértéket alapul véve– 1,4-1,5 körüli, ami megfelelő tisztaságú acélra utal.

- 3.1. 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.
- 3.2. 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.

- 4.1. 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.
- a. 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.

- 4.2. 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 (0,478) eléri 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)

- a. 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.

- 4.3. 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:

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

,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.

4 Az értekezés témaköréből készült publikációk

Cikkek folyóiratokban

- Szabó Andrea
1. **TRIP acélok metallográfiai vizsgálata** 2006. február
DUNAFERR Műszaki-Gazdasági Közlemények
XLVI. évf. 1. szám, 35-38. o

Cikkek konferencia kiadványokban

- Szabó Andrea
1. **Összefüggés a komplex aluminát zárványok tulajdonságai és az alkalmazott Ca-os kezelés között** 2005. november
Doktoranduszok fórumának szekciókiadványa
- Szabó Andrea
2. **Alsó argonos átöblítés tisztító hatásának vizsgálati lehetőségei** 2006. április
Bányászati, Kohászati, Földtani Konferencia, Sepsiszentgyörgy, Románia,
előadás anyaga konferencia kiadványban
- Szabó Andrea, Pallósi József
3. **A DUNAFERR Zrt.-nél gyártott acéolvadék tisztaságának vizsgálata** 2006. június
csapolást követően
III. Anyagvizsgálat a Gyakorlatban Szakmai Szeminárium, előadás anyaga
konferencia kiadványban
- Szabó Andrea, Sólyom Jenő
4. **Metallographic Investigation of TRIP steels** 2006. szeptember.
Materials Science Forum Vols. 537-538 (2007) pp. 457-464
- Szabó Andrea
5. **Az acéolvadékból vett érempróbák zárványossága és az acél tisztasága közötti összefüggések** 2006. október.
XXII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia
és Szakkiállítás
- Szabó Andrea, Szabó Zoltán
6. **Classification of Complex Aluminate Inclusions** 2007. június
Proceedings of the VII. International Conference on Clean Steel, 2007, pp.
315-320
- Károly Gyula, Tardy Pál, Szélig Árpád, Andrea Szabó, Said El-Ghazaly
7. **Effect of Argon Bubbling on the Cleanliness of Low Silicon, Aluminium-killed Steels** 2007. június
Proceedings of the VII. International Conference on Clean Steel, 2007, pp.
135-145

- Károly Gyula, Tardy Pál, Szélig Árpád, Andrea Szabó, Said El-Ghazaly
8. **Effect of Argon Bubbling on the Cleanliness of Low Silicon, Aluminium-killed Steels,** 2007. november
Metals Processing and Manufacturing Conference, Cairo, Egypt,
Conference Proceedings, p.213-224
- Szabó Andrea, Dénes Éva
9. **The Effect of Bath Al Content and Surface Roughness on Zinc Coating Properties** 2003. szeptember
Materials Science Forum Vols 414-415 (2003) pp. 45-50

Előadások

- Szabó Andrea
1. **TRIP acélok mikroszerkezeti vizsgálata** 2005. október
V. Országos Anyagtudományi, Anyagvizsgálati és Anyaginformatikai
Konferencia és Kiállítás 9-11
- Szabó Andrea
2. **Összefüggés a komplex aluminát zárványok tulajdonságai és az alkalmazott Ca-os kezelés között** 2005. november 9
Doktoranduszok fóruma Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar
- Szabó Andrea
3. **TRIP acélok metallográfiai vizsgálata** 2005. november
Magyar Tudomány Hete 2005 konferencia, Dunaújvárosi Főiskola 21.
- Szabó Andrea
4. **Alsó argonos átöblítés tisztító hatásának vizsgálati lehetőségei** 2006. április 6-9.
Bányászati, Kohászati, Földtani Konferencia, Sepsiszentgyörgy, Románia,
- Szabó Andrea, Pallósi József
5. **A DUNAFERR Zrt. nél gyártott acéolvadékok tisztaságának vizsgálata csapolást követően** 2006. június 1-2
III. Anyagvizsgálat a Gyakorlatban Szakmai Szeminárium
- Szabó Andrea
6. **Argonos átöblítés optimalizálása a Si-szegény, Al-mal dezoxidált acélok tisztasága szempontjából** 2006. június 8.
Tudományos Diák Fórum, Miskolci Egyetem
- Szabó Andrea
7. **Az acéolvadékból vett érempróbák zárványossága és az acél tisztasága közötti összefüggések** 2006. október.
XXII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás 4-6.
- Szabó Andrea, Szabó Zoltán
15. **Classification of Complex Aluminate Inclusions** 2007. június
VII. International Conference on Clean Steel 04-06

16. *Károly Gyula, Tardy Pál, Szélig Árpád, Andrea Szabó, Said El-Ghazaly*
Effect of Argon Bubbling on the Cleanliness of Low Silicon, Aluminium-killed Steels, 2007. június
VII. International Conference on Clean Steel 04-06
19. *Szabó Andrea*
Nemfémes zárványok jellemzői a szilícium szegény alumíniummal csillapított folyékony acélban, poszterelőadás 2007. október
VI. Országos Anyagtudományi Konferencia, 2007. október 14-16. 14-16.