

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

**Hidegen hengerelhető acélok folyamatos öntésénél a kagylószűkülés
befolyásolása hevítést nem biztosító üstmetallurgiai műveletekkel**

Harsik Béla
okleveles kohómérnök

Tudományos vezető:
Prof. Dr. Károly Gyula
egyetemi tanár



Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar
Metallurgiai és Öntészeti Intézet

Miskolc
2011

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, célkitűzés	1
2. A kagylószűkülés – mint öntési rendellenesség – megjelenésének sajátosságai, okai.....	2
2.1. A kagylószűkülés megjelenése	2
2.2. Lerakódás eredete.....	3
2.3. Folyékony acél kagylón keresztüli áramlásának jellege és sebessége	4
2.4. A folyékony acél nemfémes zárványtartalma	5
3. Kagylószűküléshez vezető zárványképződés	5
3.1. Deoxidáció lejátszódása, deoxidációs termékek	6
3.2. Reoxidáció.....	11
3.2.1. Reoxidációs források.....	13
3.2.2. Salak okozta reoxidáció.....	14
3.2.2.1. Primersalak visszatartása a kemencében	15
3.2.2.2. A csapolás során az üstbe átkerült salak mennyiségének meghatározása.....	16
3.2.2.3. A salak oxidtartalmának csökkentése.....	18
3.2.3. A légkör okozta reoxidáció.....	18
3.2.3.1. Sugárvédőcső alkalmazása	19
3.2.3.2. Fedőpor, öntőpor alkalmazása	20
3.2.3.3. Merülőcső alkalmazása.....	21
3.2.4. Tűzállóanyag által okozott reoxidáció	21
4. A kagylószűkülés megelőzése a nemzetközi trend alapján.....	22
4.1. Zárványképződés mérséklése.....	22
4.2. Zárványok eltávolítása.....	24
4.2.1. Tisztaságifok javulása nyugodt fürdőben.....	24
4.2.2. Tisztaságifok javítása átöblítéssel.....	25
4.3. Zárványok modifikálása.....	26
4.3.1. Kalciumos modifikáció	27
4.3.2. Az acélfürdő kén tartalmának hatása a kalciumos kezelésre.....	29
4.5. Kagylószűkülés megakadályozásának üstmetallurgiai megoldásai	31
4.5.1. Megoldások a zárványképződés mérséklődésére.....	32
4.5.2. Zárványtalanítás technikai lehetőségei.....	32
4.5.3. Zárványmodifikálás módozatai.....	32
5. Kísérlettervezés.....	34
5.1. Kísérleti körülmények	34
5.2. Az alkalmazott merülőcső és öntőpor	35
5.3. Kísérletterv	37
5.4. A kísérletsorozat vázlatos ismertetése	37
6. Értékelési eljárások	38
6.1. Önthetőség minősítése.....	38
6.2. Lerakódások vizsgálatánál alkalmazott ásványtani módszerek	39
6.2.1. Pordiffrakciós mérés	40
6.2.2. Elektronmikroszkópos mikroanalízis	40
6.2.3. Digitális képelemzés	41
6.3. Adatbázis összeállítása	41
6.4. Adatbázis szűkítése metallurgiai szempontból	44
6.5. A kísérletek értékelésekor alkalmazott statisztikai módszerek	44
6.5.1. Meghatározó paraméterek kijelölése – faktoranalízis.....	45
6.5.2. Korrelációvizsgálat	46
6.5.3. Kiugróérték-vizsgálat	47

7. Üzemi kísérletek.....	47
7.1. <i>Első kísérletsorozat.....</i>	47
7.1.1. Szűkülések aránya.....	47
7.1.2. Szűkült kagylók vizsgálata.....	48
7.1.2.1. Tapadványvizsgálat.....	48
7.1.2.2. Porminták elemzése.....	51
7.1.2.3. Ásványtani vizsgálatok értékelése.....	52
7.1.3. Adagok statisztikai értékelése.....	52
7.1.3.1. Legfontosabb paraméterek keresése faktoranalízis segítségével.....	53
7.1.3.2. Korrelációanalízis.....	53
7.1.4. Adatbázis értékelése.....	55
7.1.4.1. A kezelés utáni összoxigén-tartalom változására ható paraméterek.....	56
7.1.4.2. A kezelés utáni összoxigén-tartalom változására ható paraméterek szabályozása.....	57
7.1.5. Az első mérésorozat értékelése.....	62
7.2. <i>Második kísérletsorozat.....</i>	62
7.2.1. Szűkülések aránya.....	63
7.2.2. Tapadvány vizsgálat.....	63
7.2.3. Röntgen pordiffrakciós vizsgálat.....	64
7.2.4. Második sorozat értékelése.....	65
7.3. <i>Harmadik kísérletsorozat.....</i>	65
7.3.1. Harmadik sorozat technológiájának módosítására tett javaslatok.....	66
7.3.2. Harmadik sorozat adagjainak a javasolt módosítások betartása szerinti minősítése ..	67
7.3.3. Kagylószűkülések aránya.....	67
7.3.4. Tapadványvizsgálat.....	68
7.3.5. Röntgen pordiffrakciós vizsgálat.....	70
7.3.6. Technológia módosítások hatása a mérési eredményekre.....	71
7.3.6.1. Javaslatok hatása a lerakódások képződéséhez vezető paraméter értékek szabályozására.....	72
7.3.6.2. Lerakódás-képződéshez vezető paraméterek.....	74
8. Összefoglalás, értékelés.....	77
8.1. <i>Kagylószűkülés oka, megelőzésének lehetőségei.....</i>	77
8.2. <i>Kísérletek összefoglalása.....</i>	78
8.3. <i>Lerakódások vizsgálatának összegzése.....</i>	78
8.4. <i>Javasolt módosítások hatásainak értékelése.....</i>	79
9. Új tudományos eredmények, tézisek.....	81
Summary.....	83
Irodalomjegyzék.....	84
Mellékletek.....	87

1. Bevezetés, célkitűzés

Az acélt felhasználó iparágak a minőségre vonatkozó igényeiket folyamatosan emelik, ebből is adódik, hogy az acélgyártási technológia folyamatos fejlesztést igényel. Sok egyéb mellett az acél összetételének, illetve szennyező-tartalmának mind alacsonyabb szintre csökkentése miatt a dezoxidációnak és a kéntelenítésnek is egyre hatékonyabb és gazdaságosabb módjait alkalmazzák. Az egyre alacsonyabb szintre szorított aktívoxid-tartalom és kéntelőrás biztosítása mind több olyan nemfémes zárvány képződésével jár együtt, amelyek nemcsak az acél zárványtartalmát növelik, hanem az önthetőséget is ronthatják. Az elvárt igen alacsony aktívoxid-szint biztosítására, illetve gazdasági megfontolások miatt dezoxidálásra (elsősorban a hidegen hengerelhető acéloknál) alumíniumot adagolnak – terméke az alumíniumoxid –, a kéntelenítésre pedig (más egyebek mellett) kalciumot – eredménye a kalciumszulfid – használnak. A képződött zárványok az acélgyártás-öntés hőmérsékletén gyakran szilárd halmazállapotúak. Ezek az öntés hőmérsékletén szilárd oxidok és szulfidok, illetve más nemfémes szilárd zárványok nemcsak a leöntött acélt szennyezik, hanem az öntés során – fizikai és zárványképződési törvények miatt – a szűkült keresztmetszetek mentén lerakódásra hajlamosak.

Hétéves aktív üzemi tapasztalataim alapján választottam doktori kutatásaim témájaként az acél folyamatos öntésének egyik legjelentősebb problémáját, az öntőszerelvények öntéskor tapasztalt, az öntés biztonságára veszélyes keresztmetszet-csökkenését, az ún. *kagylószűkülést* (*nozzle clogging*).

Először 1949-ben [1] írták le az alumíniummal csillapított acélok folyamatos öntésénél használt öntőszerelvényen jelentkező keresztmetszet-csökkenést. Az 1970-es évek elején megkezdődött a folyamatos öntés térhódítása, ma már a csillapított acélok gyártása túlnyomórészt ezzel a művelettel ér véget. A minőségi acélgyártáshoz szükséges zártöntés széles elterjedése miatt egyre gyakoribbá váltak az öntőszerelvényeken képződött nemfémes zárványokból álló lerakódások okozta öntési gondok. Mintegy három évtizede jelentek meg az első komolyabb publikációk az önthetőség kalciumadagolással történő javításáról.

Máig nem sikerült minden egyes acélminőség gyártásánál teljes biztonsággal megállapítani a keresztmetszet-csökkenés (kagylószűkülés) okát, elkerülésének pontos technológiáját. Ez a kitétel különösen igaz az olyan acélminőségekre, ahol a kagylószűküléshez vezető szilárd zárványok mennyisége – a gyártmány jellege miatt – nagyobb az átlagosnál. A modern üstmetallurgia már rendelkezik azon technológiai eszközökkel, amikkel a kagylószűkülés megakadályozása lehetséges, de vannak olyan üzemek, ahol ezek az eszközök (ilyenek a hevítési lehetőségek, pl. üstkemence) nem állnak rendelkezésre.

A téma hazai aktualitását az adja, hogy nem hárítható el üstmetallurgiai kezelések nélkül a folyamatos öntés kagylószűkülésre visszavezethető összes technológiai zavara. A folyamatos öntéssel együtt, egyidejűleg fejlődő üstmetallurgia fejlődéstörténete során az egyszerűbb, illetve bonyolultabb vákuumtechnikai megoldásokat követően a hevítés (üstkemence) fejlődött. Vannak viszont üzemek (ilyen az ISD Dunaferr Zrt. is), ahol a konvertérezés, illetve a folyamatos öntés oly időben indult be, amikor az üstmetallurgiai fejlesztések terén az injektálásos kezelések voltak a fejlesztés mozgatórugói. Így elmaradt a vákuumozó, illetve az üstkemence telepítése, ebből adódóan ma a versenyképesség megtartása mellett fontos annak ismerete, hogy az adott technológiai adottságok birtokában hogyan, miképpen lehet például a kagylószűkülések magas arányát csökkenteni.

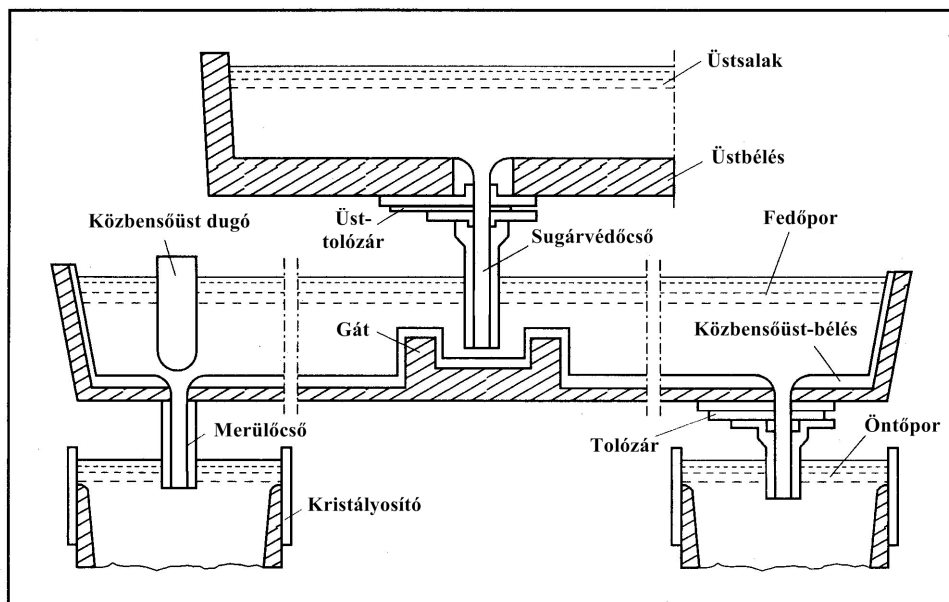
Vizsgálataim célja a kagylószűkülés elkerülése egy adott acélminőség esetén – amelynél még nem megoldott ez a nehézség – olyan körülmények között, ahol nem adott meg ehhez minden *legmodernebb minősülő technológiai feltétel*. Értekezésemben – és ezt tükrözi a relatíve hosszú cím – a hidegen hengerelhető, szilíciumszegény alumíniummal csillapított acélok kagylószűkülés jellegű önthetőségi zavarainak mérséklését tűztem ki célul utólagos hevítés lehetőségével nem rendelkező acélművek esetén.

Fontosnak tartottam a ma alkalmazott gyártástechnológia megismerését, majd felülvizsgálatát, hogy az egyes fázisokat, vagy esetleg a teljes folyamatot korrigáljam. Ehhez a kísérleteim megkezdése előtt szakirodalmi összefoglalást végeztem, hogy feltárhassam a kagylószűkülés kialakulásának mechanizmusát, elkerülésének módjait.

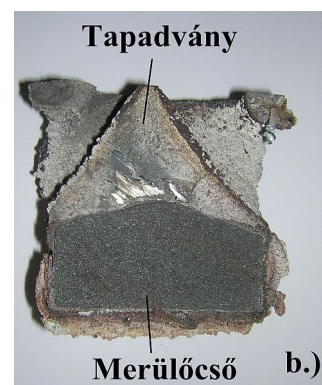
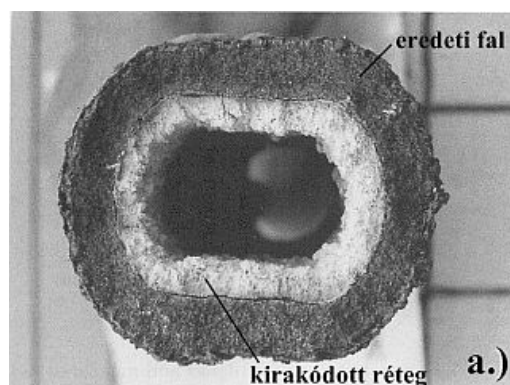
2. A kagylószűkülés – mint öntési rendellenesség – megjelenésének sajátosságai, okai

2.1. A kagylószűkülés megjelenése

A kezdetben alkalmazott nyitott öntésnél az öntőüst és a közbensőüst kagylójánál tapasztaltak keresztmetszet csökkenést. A később bevezetett zárt öntés során az öntőüst és a közbensőüst között alkalmazott sugárvédőcsőnél, illetve a közbensőüst és a kristályosító közötti merülőcső esetén (2.1. ábra) is megjelent a kagylószűkülés [2,3]. Mivel mind a kagyló, mind a sugárvédőcső, illetve merülőcső keresztmetszet csökkenése azonos okra – a szilárd zárványok kirakódása – vezethető vissza, ezért a továbbiakban együttesen tárgyalom kagylószűkülésként ezt az öntési rendellenességet.



2.1. ábra Folyamatos öntés elvi vázlata [4]



2.2. ábra Kirakódás lehetséges helyei (a – keresztmetszet csökkenése [5], b – kifolyónyílás beszűkülése)

A szűkült kagylók, merülőcsövek vizsgálata során **(2.2.a-b ábra)** – a belefagyott acélcseppek mellett – olyan nemfémes zárványok – oxidok, szulfidok, komplex zárványok – találhatók, amelyek a dezoxidálás illetve a kéntelenítés során keletkeztek [5]. Ezen zárványok közül azok, amelyek a magas olvadási hőmérsékletük miatt az acél öntésekor szilárd halmazállapotúak, lerakódásra hajlamosak. Különösen gyakori a kagylószűkülés jelensége azon acélok gyártásánál, ahol nagymennyiségben képződik olyan zárvány, amelynek az acél öntési hőmérsékleténél magasabb az olvadási hőmérséklete. A tapasztalatok szerint az oxidok közül az alumíniumoxid, a szulfidok közül a kalciumszulfid okozza a legtöbb önthetőségi zavart [5].

A kagylószűkülésnek kétféle változatát különböztethetjük meg:

- kagyló eltömődése,
- kagyló belső keresztmetszetének csökkenése.

Kagyló eltömődése

Eltömődésről beszélünk, amikor kirakódások miatt a keresztmetszet hirtelen lecsökken, a dugó emiatt gyorsan emelkedik vagy nyit a tolózár, majd amikor leválik a lerakódás és így hirtelen megnő az átfolyás (kidugul), és így a dugó gyorsan süllyed, avagy a tolózár zárásirányba indul. Mindkét esetben az olvadákszint nagy amplitúdóval ingadozik, a közbensőüst felszínén a fedőpor felszakadhat (reoxidáció veszély), az öntésben zavarok támadhatnak, az öntött buga felszíne leminősítésre kerülhet (csiszolással esetleg még javítható, de ez is plusz költség). Kidugulásnál a korábban felragadt „tapadvány” az öntött termékbe kerül, ez felületi anizotrópiát okozhat, illetve a tovább alakításkor felszínre kerülve selejtté teheti a terméket.

A jelenség meglehetősen gyakorinak mondható, a vizsgálataim során begyűjtött öntési lapok (1.sz. *Melléklet*) beavatkozások rovatában ez az öntési rendellenesség „Rápumpálás”-ként szerepel.

Kagyló belső keresztmetszetének csökkenése

A kagyló végleges keresztmetszet csökkenése lehet részleges (2.2.a. ábra), illetve a teljes átmérőre kiterjedő elzáródás. Az előbbi nehézkessé teszi az öntést, az öntési idő megnő, ezáltal az elhülés veszélye fokozódik. Ekkor vagy oxigénnel kitisztítják (minőségi acéloknál tiltott eljárás) a kagylót (összetételi eltérés esetlegesen, reoxidáció viszont feltétlen történik), vagy kicserélik a védőcsövet (amennyiben lehetséges). Végző esetben befejeződik az öntés: ekkor a vészhelyzetekre kidolgozott eljárás szerint eltávolítják az adagot az öntő-, illetve a közbensőüstből. Ez a jelenség műszaki, üzemszervezési és gazdasági gondokat okoz, mivel a szokásos szekvensszám (egy közbensőüst béléssel leöntött adagok száma) felére-harmadára csökken. Ez egyrészt kétháromszoros tűzállóanyag költséget jelent, másrészt a váratlan közbensőüst-csere időigénye a termelésprogramozásban okoz problémákat.

2.2. Lerakódás eredete

Az üst- és közbensőüst-kagyló, illetve a merülőcső/sugárvédőcső keresztmetszet csökkenése a bekerült exogén, illetve endogén zárványok kirakódására vezethető vissza [6,7]. Az exogén (külső eredetű) zárványok száma a ma használatos tűzálló anyagoknak (pl. nagy kopásállóságú Al_2O_3), illetve a munkafegyelem javulásának köszönhetően radikálisan csökkent.

Endogén (belső eredetű) zárványoknak nevezzük azon anyagrészeket, amelyek a metallurgiai folyamatok során keletkeztek, jellemzően az oxidáció, dezoxidáció, reoxidáció illetve a kéntelenítés alatt képződtek. A primer acélgártás során képződött oxidok a frissítési periódus közbeni erőteljes fürdőmozgásnak köszönhetően könnyűszerrel flotálódnak a – megfelelő fizikai-kémiai állapotú – salakba, így többnyire eltávoznak az acélfürdőből. A dezoxidáció, reoxidáció illetve kéntelenítés során nincs meg ez a „természetes” fürdőmozgás, a folyamatra szánt idő pedig véges, ezért a keletkezett oxidok és szulfidok jórészt az olvadékban maradhatnak. Mesterséges fürdőmozgás elérhető valamilyen külső segítséggel: inertgáz-öblítés, illetve induk-

ciós keverés alkalmazásával. Ezen eljárások alkalmazott technológiák, de vannak korlátaik is, amelyek miatt alkalmazásuk kompromisszumos. Az átmozgatás, időigényes, – túlzott mértékű alkalmazása akár az acél elhűléséhez vezethet – amiből a legkevesebb van a mai acélgyártásnál, ezért mindig maradnak el nem távolított zárványok a fürdőben. Ezek öntés közben, illetve a leöntött termék feldolgozásánál okozhatnak újabb gondot.

A szakirodalom [1-3] áttekintése és elemzése alapján az önthetőséget befolyásoló tényezők közül a szűkülés szempontjából az alábbiakat célszerű kiemelni:

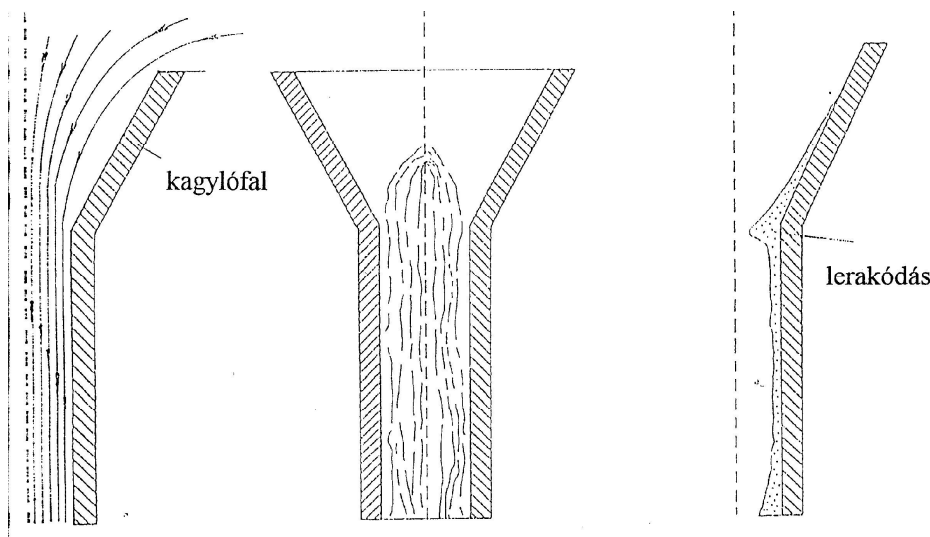
- a folyékony acél kagylón keresztüli áramlásának jellege és sebessége, és hőmérséklete,
- a folyékony acél nemfemes zárványtartalma (tisztasága),
- zárványok olvadáspontja,
- kagylószűkülés megelőzése.

Az előbbi a hidrodinamikai tényezők (az áramlás) szerepét, az utóbbi három a zárványképződés-zárványmodifikáció szerepét hangsúlyozzák.

2.3. Folyékony acél kagylón keresztüli áramlásának jellege és sebessége

Heesom vizsgálatai szerint [8, 9] a folyékony acél kagylón (ill. tolózár lapon) keresztüli áramlásának lehetséges módjai (2.3. ábra) az alábbiak:

- Az öntőüst illetve a közbensőüst kiömlő kagylóinak szűkülő kúpos részeinél az olvadék – és így a zárványtartalmának – mozgását a centripetális erő határozza meg. A szűkülő résznél görbült pályán haladva a nagyobb méretű endogén és exogén zárványok a kagyló falához sodródnak. A falhoz sodródott nagyméretű zárványok közül a jó tapadóképességű szilárdak a kúpos és hengeres rész találkozási helyén, a kagylóra tapad(hat)nak.
- A kagyló hengeres részében az áramlás turbulens, itt az erre alkalmas (pl. durva felületi minőségű) felületeken [10] a szilárd zárványok feltapadása egyenletes.



2.3. ábra Zárványok áramlási útjai a centripetális, ill. turbulens erők hatására a kiömlőkagylókban, ill. a lerakódások megjelenésének tipikus helyei [8]

Heesom vizsgálati eredményeit azóta többen [9,11] megerősítették és szinte egybehangzóan, azt állapították meg, hogy a letapadás mértékét – többek között – az öntési sebesség csökkentésével – például a közbensőüst fenekére gát építésével – lehetne mérsékelni, mert ez csökkentené

a tehetetlenségi és turbulens erőket is és így a lerakódási hajlamot. Adott közbenső üst-, ill. kagylókonstrukció mellett azonban az áramlási viszonyok módosítására behatároltak a lehetőségek. Nadiff és társai [2] szerint a dugófejbe vezetett argongáz áramoltatása lehet egyfajta megoldás, amely elhajtja a letapadásra hajlamos zárványokat. A tolózárás öntés esetén pedig – ahol még a dugós öntéshez viszonyítottan is nagyobb az elszűkülés veszélye, hiszen a tolózárnál a turbulens áramlás megszakad, a zárványok sodródása lelassul, így a lerakódásra nagyobb az esély. A kagylóba, illetve a tolózárba vezet(het)nek argongázt, ennek mennyisége: 3-4 t/perc öntési sebesség esetén 7-10 l/perc [2].

Amennyiben adott az öntés technológiai eszközparkja (mint például a kísérleteim során), és az öntőszerelvények nem módosíthatók, akkor az acél tisztaságának javításával lehet befolyásolni a kagylószűkülések arányát. Ezért inkább az acélolvadék tisztítása, lerakódásra hajlamos zárványok eltávolítása irányába vizsgáldtam tovább.

2.4. A folyékony acél nemfémes zárványtartalma

Az acél tisztaságát vizsgálva megállapították [1], hogy a szűkülést okozó, legkártékonyabb zárványok a magas olvadáspontú Al_2O_3 , CaS és a különböző összetételű komplex alumínátok (pl. spinell: $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$, $\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_6$ stb.) (**2.1. táblázat**). A jó önthetőség eléréséhez e zárványok mennyiségének a csökkentése, és/vagy morfológiájuk – ezáltal olvadási pontjuk csökkentése – átalakítása a cél.

Az 2.1 táblázatban a „C” a CaO -ot, az „A” az Al_2O_3 -ot jelöli, a számok pedig a sztöchiometriai arányukat adják meg a vegyületben.

2.1. táblázat Az acélolvadékban leggyakrabban előforduló magas olvadási hőmérsékletű zárványok

Zárvány	$T_{\text{olv}} [^\circ\text{C}]$
Al_2O_3	2050
$\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$	2135
CaS	2450
CA_6	1850
CA_2	1750
CA	1605
C_3A	1535
C_{12}A_7	1360

3. Kagylószűküléshez vezető zárványképződés

A kagylószűkülést okozó rétegek – az alacsony hőmérséklet miatti acélkérgeken kívül – olyan nemfémes zárványokat tartalmaznak, amelyek endogén, illetve exogén eredetűek.

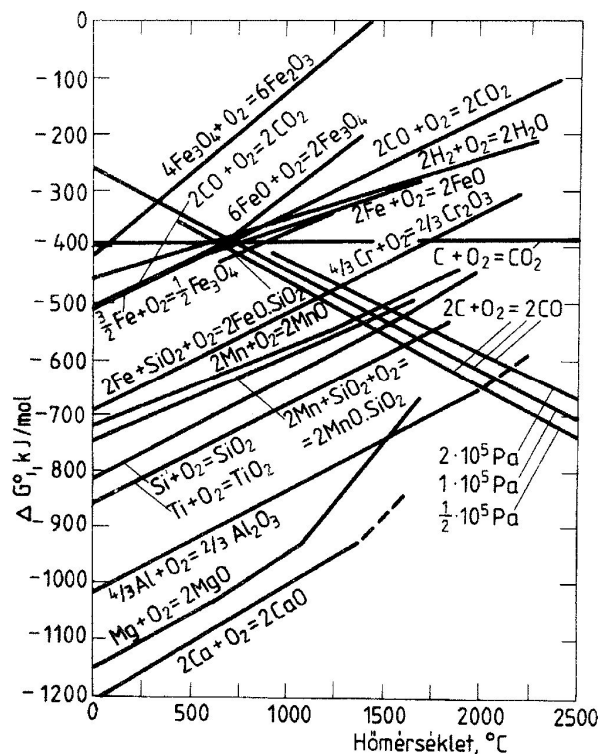
- A lerakódások képződése alapvetően a **nem megfelelő dezoxidálásra** és a **nem hatásosan megakadályozott reoxidációra vezethető vissza** (amikor is magas olvadáspontú szilárd zárványok képződnek), ezért ezekkel kiemelten kell foglalkozni.
- A dezoxidáció folyamatos lejátszódásával párhuzamosan megkezdődik a dezoxidáció termékeként képződött **zárványok felűszása a salakba**, részben a természetes tisztulás miatt, de főleg az **öntőüst aljába beépített porózustéglán keresztül** áramoltatott **megfelelő intenzitású inertgáz hatására**. A gázbuborékok egyrészt homogenizálják a fürdőt, másrészt a zárványok buborék felületére tapadva – illetve a felszállásuk nyomán keletke-

zö áramban – előbb-utóbb kijuthatnak a fém-salak határfelületre, ahol a salak – kedvező fizikai-kémiai állapot esetén – képes a zárványokat magukba zárni.

- Az előírt üstmetallurgiai kezelésen átesett acélt tovább szállítják a folyamatos öntőműbe, ahol még folytatódhat részben a dezoxidáció is, de veszélyként jelentkezhet egy ellenkező folyamat, a reoxidáció. Persze a zárványképződést a dezoxidáción túlmenően más elemek jelenléte is befolyásolhatja, különösképpen kedvezőtlen lehet a szokásosnál magasabb előírt kéntartalom.

3.1. Dezoxidáció lejátszódása, dezoxidációs termékek

A primer acélgyártás folyamán az acél oxigéntartalma magas (összetételtől és eljárástól függően 500-1200 ppm), hiszen oxidáció játszódik le a feleslegben adagolt oxigénhordozó jelenlétében. Termodinamikai szempontból jó esély van minden olyan elem oxidálására, amely a FeO képződéséhez viszonyítottan negatívabb ΔG° érték mellett képződik. (3.1. ábra) Ezek szerint gyakorlatban oxidálódik az olvadékban mindig jelenlévő C, Mn, Si és P. Az oxigénben túltelített rendszerben a mangánhoz, szilíciumhoz és foszforhoz nem kapcsolódó oxigén FeO formájában – oldott állapotban – kötődik meg.



3.1. ábra Oxidok képződési szabadentalpia változása a hőmérséklet függvényében [12]

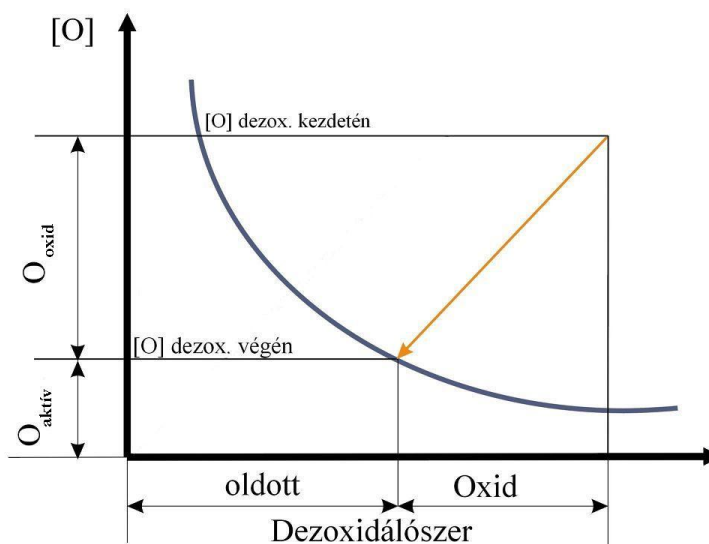
Minél nagyobb az acél hőmérséklete és minél kisebb a karbontartalma, annál nagyobb az acél oldott oxigéntartalma, mely összefüggés reakciókinetikai okokkal magyarázható. 0,05 % alatti karbontartalmú acél oxigéntartalma elérheti, illetve meg is haladhatja a 700-1000 ppm értéket [13]. Lehűlés során az oxigén oldhatóságának csökkenésével az FeO kiválik, kis olvadási hőmérséklete (1100 °C) miatt a kristályhatáron helyezkednek el. Melegalakítás során ez a hártya megolvad, a kristályhatárokon megszűnik az összetartó erő, az acél alakítás során felszakad, ezáltal selejtté is válhat.

A folyékony acél primer kemencében mért 500-1200 ppm-nyi oldott oxigéntartalmát, az öntés megkezdéséig – erőteljes dezoxidációval – 2-10 ppm aktívoxigén szintre szükséges csökken-

teni. A dezoxidáció során az acélhoz adagolt dezoxidáló elem (vagy szer) reakcióba lép az acélban oldott FeO-val, elbontja, majd átalakul valamilyen oxiddá (MnO, SiO₂, Al₂O₃) (3.1. táblázat) [14]. A reakció a dezoxidáló elem oxigénegyensúlyának eléréséig folytatódik, majd azt elérve leáll (3.2. ábra) [13].

3.1. táblázat Legfontosabb dezoxidációs reakciók és a hozzájuk tartozó szabadentalpia változás értékei 1500, 1600, 1700 °C hőmérsékleten [14]

Reakció	ΔG° [kJ/mól]		
	1500 °C	1600 °C	1700 °C
$[\text{Mn}] + [\text{FeO}] = (\text{MnO}) + [\text{Fe}]$	-99,8	-96,4	-93,3
$1/2[\text{Si}] + [\text{FeO}] = 1/2(\text{SiO}_2) + [\text{Fe}]$	-147,8	-143,3	-139,1
$1/2[\text{Si}] + [\text{MnO}] = 1/2(\text{SiO}_2) + [\text{Mn}]$	-48,0	-46,9	-45,8
$2/3[\text{Al}] + [\text{FeO}] = 1/3(\text{Al}_2\text{O}_3) + [\text{Fe}]$	-218,8	-213,3	-208,2
$2/3[\text{Al}] + [\text{MnO}] = 1/3(\text{Al}_2\text{O}_3) + [\text{Mn}]$	-118,9	-116,9	-114,9
$2/3[\text{Al}] + 1/2[\text{SiO}_2] = 1/3(\text{Al}_2\text{O}_3) + 1/2[\text{Si}]$	-71,0	-70,0	-69,1
$1/2[\text{Si}] + [\text{FeO}] = 1/2(\text{SiO}_2) + [\text{Fe}]$	-147,8	-143,3	-139,1



3.2. ábra Az acél oxigéntartalmának változása a dezoxidáció során [13]

A reakció lejátszódása után az acélban jelen levő oxigén két részre oszlik:

- a dezoxidáló elemmel reakcióba lépő és oxidformába kicsapódó oxigén ($O_{\text{oxid}} - \Sigma O$),
- az FeO formában oldva maradó (aktív)oxigénre ($O_{\text{aktív}} - a_O$),

további műveletek során ezek már különböző módon viselkednek:

- az oxidok felúszhatnak a salakba, így eltávolozhatnak a rendszerből,
- az oldott (aktív) oxigénnek erre nincs módja, ezért a lehűlés során újabb oxidokat képez (másodlagos-harmadlagos oxidok).

A dezoxidált acélban lévő két fajta oxigén összege adja az acél összes oxigéntartalmát:

$$O_{\text{összes}} = O_{\text{oxid}} + O_{\text{aktív}}$$

A fentiekből következik, hogy a minél kisebb oldott oxigéntartalom elérése, illetve a dezoxidáció során keletkezett oxidok eltávolítása, és/vagy alacsonyabb olvadáspontú komplex zárvánnyá alakítása – modifikálása – az üstmetallurgiai kezelés folyamán, nagyon fontos feladat.

Az acélgégyártás során a dezoxidálás lehetséges módszerei közül a kicsapásos alkalmazása a leggazdaságosabb, ezért csapoláskor nagyon fontos a primer salak visszatartása a kemencében. Ma ennek több lehetséges megoldása is van (pl. UHP-kemencénél excentrikus fenékcsapolás, BOF kemencéknél a salakfigyelő kamera alkalmazása stb.).

A **3.2. táblázat** alapján belátható, hogy a megfelelő mértékű oxigénszint csökkentést a hagyományos karbon-, mangán-, szilíciumos dezoxidációval nem lehet elérni, ezért az alumínium ma már kihagyhatatlan dezoxidálószer.

3.2. táblázat Dezoxidálóelemek dezoxidálóképességét jellemző egyensúlyi állandó ($D_{Me} = 1/K_D$) értékei az oxigén aktivitásának közvetlen mérései alapján [15]

Dezoxidáló elem	Oxid Me_xO_y	$\lg K_D$ 1600 °C-on	$O_{\text{egyensúlyi}}^*$ [%]
C	CO	$1168 T^{-1} + 2,07$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Mn	MnO	$14450 T^{-1} - 6,43$	$5,1 \cdot 10^{-2}$
Si	SiO ₂	$27860 T^{-1} - 10,28$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Al	Al ₂ O ₃	$62780 T^{-1} - 20,17$	$4,3 \cdot 10^{-14}$
	FeO·Al ₂ O ₃	$71600 T^{-1} - 23,28$	$1,1 \cdot 10^{-15}$

* $O_{\text{egyensúlyi}}$: 1 % dezoxidálószer adagolása esetén elérhető egyensúlyi oxigéntartalom 1600 °C-on

Az alumínium elterjedt alkalmazásának fő okai [13]:

- relatív olcsó dezoxidáló és nitridképző elem,
- szemcsefinomító hatású,
- kis mértékű oldott mennyisége is alacsony oxigénszintet biztosít az acélban,
- mikroötvözőként használható,
- 0,029 % feletti mennyisége az acélok öregedésállóságát javítja.

Szilíciumszegény acéltípusoknál az alumíniumos dezoxidálás az egyetlen gazdaságos megoldás, a megfelelően kis oxigéntartalom eléréséhez. Az oldott alumínium-tartalmat a lépcsős dezoxidálás során állítják be (0,02-0,06 %).

A lépcsős dezoxidálás csapoláskor az elődezoxidálással kezdődik, amikor koks, szilícium és mangán mellett az alumíniumot – tömb/mokka formájában – adagolnak. Ekkor az aktív – szabadállapotú – oxigén jelentős hányadát, illetve az olvadék FeO, MnO és SiO₂ tartalmának nagyobbik részét alakítjuk át Al₂O₃-dá, vagy legalábbis alumináttá.

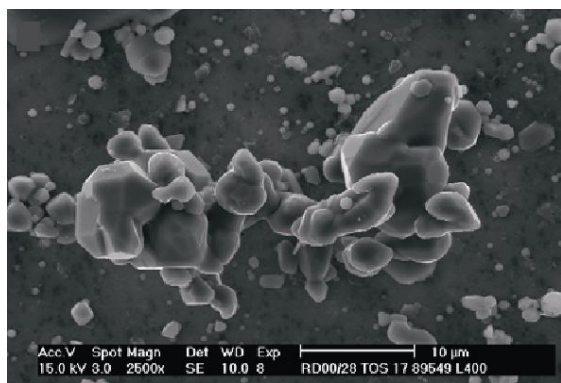
Az elődezoxidálás után az üstmetallurgiai kezelés során nagyon fontos az aktív-oxigén minél alacsonyabb szintre való beállítása, ezért kiemelten kezelendő az oldott(aktív)oxigén-tartalom gyors és pontos mérése. Erre az ún. aktív-oxigén mérőszondák nyújtanak lehetőséget, elektromotoros erő mérése révén, ami eredményként a párhuzamosan mért hőmérsékletre vonatkozóan megadja a dezoxidálóelem-hasznosulást és mutatja az elért oxigénszintet is.

A feleslegben adagolt alumínium reoxidáció esetén képezhet újabb oxidzárványokat; illetve a nagy értéken hagyott oxigénszint – a kalciumos kezelésnél – többlet kalcium leégést (oxidációt) eredményez. Az aktív-oxigén-szint ismeretében alumíniumos huzaladagolással lehet a pontos végösszetételt (oxigén és alumíniumtartalom) beállítani.

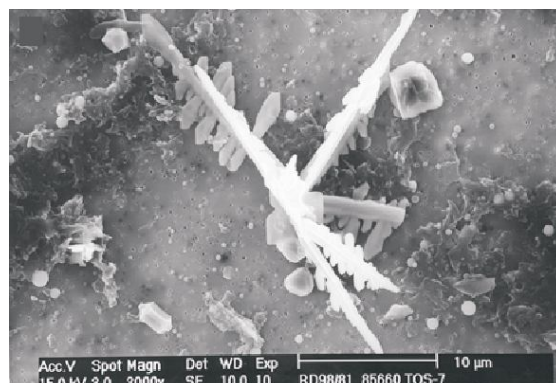
Az alumíniumos dezoxidáció termékei – oxidzárványok – egyrészt, mint endogén zárványok az acél tisztaságát rontják, másrészt a folyamatos öntés során – az előzőekben említett – zavarokat okozhatnak. Ezért eltávolításuk vagy átalakításuk mindenképpen szükséges.

Az alumíniummal végzett dezoxidáció esetén, a keletkezett Al₂O₃-zárványok különböző formában jelenhetnek meg (**3.3. ábra**). A folyékony acélban megtalálhatók dendritok, fűrtök,

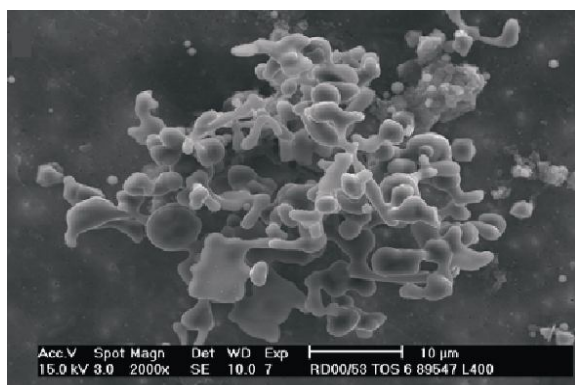
aggregátumok, síklapokkal határolt és gömbszerű zárványok is. E zárványok morfológiáját a képződés körülményei determinálják. A kutatások szerint [13] a zárványok mérete és alakja a fürdő oxigéntartalmától, hőmérsékletétől, alumínium tartalmától és a gázöblítés időtartamától függ.



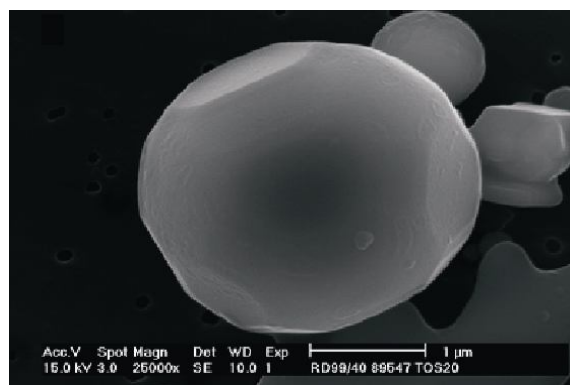
Aggregátum



Dendrit



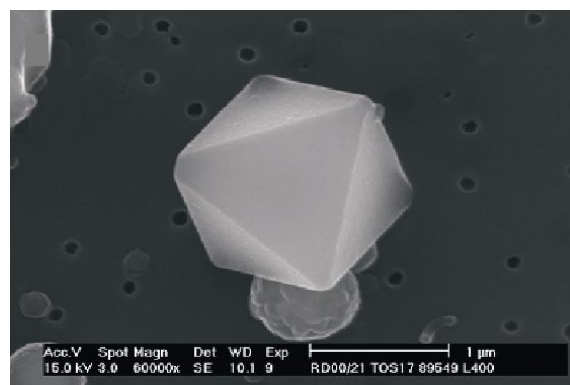
Fürtök



Gömbszerű



Lemez



Soklapú

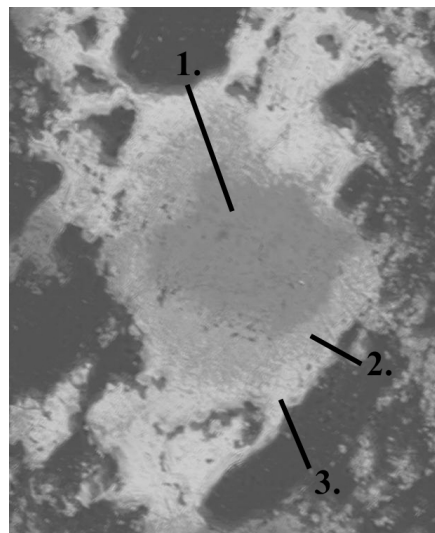
3.3. ábra Al_2O_3 -zárványok megjelenési formái [17]

Dekkers és társai [6] elemezték a keletkezett Al_2O_3 -zárványokat, (mindegyik elemzésnél párhuzamosan a teljes oxigén tartalom is mérve volt), s a következőket állapították meg: gömbölyű zárványból volt a legtöbb, de a fürtökből, aggregátumokból és a nagy lemezszerűekből épült fel a legtöbb oxidfrakció. *A kutatás kimutatta, hogy a fürtök, amelyek a dezoxidálás alatt képződtek, eltűntek 15 perccel az alumínium adagolása után.* Az összetapadt, nagyméretű poliéder alakúak 5-10 perc múlva jelentek meg, a méretük nőni kezdett a pihentetési idő alatt. Kicsi, többnyire gömbölyű, poliéder és bizonyos mértékben a lemezszerű zárványok nem mutattak fejlődést méretben vagy összetételben. Ezek, az alumínium adagolásakor *keletkezett nagy mennyi-*

ségű, kisméretű zárványok [16, 17] fűrtökkbe rendeződtek. A már nagyobb méretű zárványcsoportok a fürdő keverésével nagyrészt eltávolíthatók. Négy perces öblítés során a zárványok 75-85 %-a a salakba flotálódik. A fürdőben maradt kisebb méretű szilárd alumíniumoxid zárványok később öntési problémákat okozhatnak.

Dezoxidáció során az acélban nagy mennyiségben képződött Al_2O_3 egyaránt tartalmaz $\leq 5 \mu\text{m}$ -es és $30\text{-}40 \mu\text{m}$ -es zárványokat [18] is. Az utóbbiak *~5 perc alatt salakba felúszva eltávoznak a fürdőből, tehát az öntés során már nem okoznak további gondokat. Az $5 \mu\text{m}$ -nél kisebbek viszont visszamaradva nemcsak szennyezik az acélt, hanem kirakódva kagylószükülést okozhatnak ugyanúgy, mint a reoxidáció esetén képződött 1-2 nagyságrenddel nagyobb méretű alumíniumoxid zárványok*, mivel már olyan időpontban történik ez a reakció amikor már sem az eltávolításra, sem a modifikációra már nincs lehetőség. A dezoxidáció során képződtek kirakódásának esélye jelentősen növekszik, ha ezek *a kisméretű zárványok valamilyen módon összetapadva a megnövekedett méretüknél és súlyuknál fogva könnyebben kisodródhatnak a kagylóban kialakult centripetális mozgás során.*

A nagyméretű zárványok kialakulása a növekedési folyamaton túl rétegek képződésével (3.4. ábra, 3.3. táblázat), illetve különálló zárványok összetapadásán keresztül is megvalósulhat [19]. A különálló zárványok az acél turbulens áramlása, illetve a reoxidáció során összetapadhatnak (3.5. ábra).

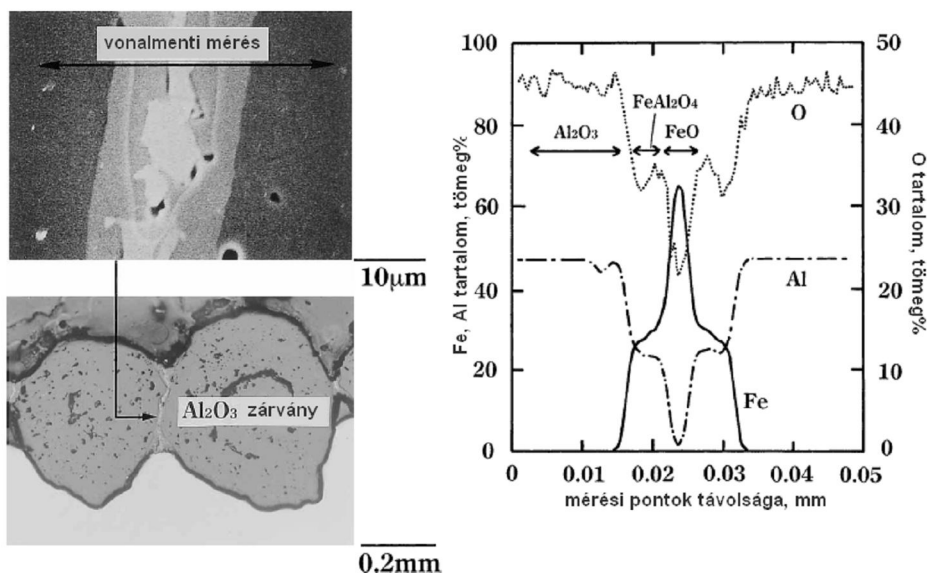


3.4. ábra Alumínát zárvány rétegei SEM felvételen (1 – $\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_6$; 2 – FeAl^1 ; 3 – FeAl^2)

3.3. táblázat 3.4 ábra Fe-Al zárványainak összetétele

	FeO [%]	Al_2O_3 [%]	MgO [%]
FeAl^1	20,43	74,29	5,28
FeAl^2	64,15	33,98	1,86

Szabó Andrea értekezésében foglalkozott az alumínium-oxid zárványok képződésével és megállapította, hogy két egymás közelébe kerülő Al_2O_3 zárvány között egy híd képződik [20] (3.5. ábra), melynek *anyaga lehet az acéolvadék vagy a reoxidáció során képződött FeO*. A két lehetséges „anyagot” a határfelületi viszonyok kialakulása szempontjából összehasonlítva (3.4. táblázat) jól látható, hogy a *flyékony FeO sokkal könnyebben képez hidat és segíti elő az alumíniumoxid zárványok összetapadását.*



3.5. ábra A reoxidáció következtében létrejövő FeO hatására a két Al_2O_3 zárvány szemcse között kialakult szilárd FeAl_2O_4 híd [20]

3.4. táblázat A határfelületi erőt meghatározó paraméterek [20]

Adat	Jelölés	Érték
Folyékony acél sűrűsége	ρ_{ac}	7000 [kg/m ³]
Al_2O_3 zárvány és a folyékony acél közötti peremszög	Θ	120°
Felületi feszültség az Al_2O_3 zárvány és a folyékony acél között	$\sigma_{\text{zv/ac}}$	1,75 [J/m ²]
Folyékony FeO sűrűsége	ρ_{FeO}	2700 [kg/m ³]
Al_2O_3 zárvány és a folyékony FeO közötti peremszög	Θ	0°
Felületi feszültség az Al_2O_3 zárvány és a folyékony FeO között	$\sigma_{\text{zv/FeO}}$	0.57 [J/m ²]

Tehát a reoxidáció nemcsak az Al_2O_3 képződésének kedvez, hanem a már meglévő alumínium-oxid zárványok összetapadást is elősegíti.

Nemfémes zárványok azonban nemcsak a primer, illetve szekunder acélgártás során képződnek, hanem később, akár az öntés közben is keletkezhetnek.

3.2. Reoxidáció

Az előírt – megfelelően alacsony – aktívoxigén-szint és nitrogéntartalom oldott alumínium-tartalommal biztosítható. Ez az alumínium azonban a **nem megfelelően megakadályozott oxigénfelvétel miatt bekövetkező reoxidáció** során újabb – immár már nehezen eltávolítható – **alumíniumoxidokat képezhet**, amelyek szintén hajlamosak a kirakódásra.

Reoxidációnak nevezzük azt a jelenséget, amikor az előzőleg dezoxidált fűdőben, (az aktív-oxigén-szint beállítása megtörtént) – miután újra oxigénforrással találkozik – oxidációs reakciók történnek. **A reoxidáció azért tud lejátszódni, mert a külső forrásból származó oxigén aktivitása nagyobb, mint az acélban oldott aktívoxigéné. Tehát minél lejjebb szorítjuk az aktívoxigén-**

szintet, annál nagyobb esélye van az oxidáló környezettel való találkozás esetén a reoxidációnak [17]. A reoxidáció során az acélba bekerült oxigén nem aktív oxigén formájában, hanem vegyületben található, mivel az acél ötvözői – elsősorban az alumínium – által meghatározott oxigénegyensúly nem változhat. **A hőmérséklet csökkenésének hatására azonban az oxigén-alumínium egyensúly (3.2. ábra) eltolódik: kevesebb oxigén oldódik, így alumínium szabadul fel, ami növeli az acél fémes alumíniumtartalmát.**

Az oldott alumínium, ha reoxidációs forrásként szabályozhatatlan mennyiségű oxigénnel találkozik, oxidálódva Al_2O_3 zárványokat képez. **A reoxidáció okozta zárványosság növekedés az előző lépésekben (primer acélgyártás, üstmetallurgiai kezelés) elkészített acél minőségét jelentősen ronthatja**, ami nem csak a késztermékre van hatással, hanem **az önthetőséget is hátrányosan befolyásolhatja.**

Oxigénforrás lehet a légkör, a tűzállóanyagok és a salak oxid tartalma is. Az acél ötvözői közül az alumínium, a szilícium és a mangán oxidációs reakciójának negatív normál szabadentalpia változása azt jelenti, hogy lejátszódhat a reoxidáció. A termodinamikai törvényszerűségek (3.5. táblázat) miatt az Al_2O_3 zárványok képződésének van a legnagyobb valószínűsége. Mivel az előírások miatt minden esetben van oldott alumíniumtartalom, ezért reoxidáció esetén egész biztosan fog keletkezni alumíniumoxid. Az ekkor újonnan létrejött zárványok az acél tisztaságának káros befolyásolásán túl kirakódásra hajlamosak, ami a szűkebb keresztmetszetekben (pl. üstkagyló, sugárvédőcső, közbensőüst-kagyló, merülőcső) kagylószükülést okozhat. A zárványok eltávolításának feltételei ekkor már nem adóttak: nincs meg a kellő idő, illetve a felúszásukat elősegítő fürdőmozgás. A zárványok kirakódását megakadályozó másik módszer, azaz a morfológiájuk megváltoztatása sem valósítható meg ekkor már, ezért kiemelt jelentőségű a reoxidáció megakadályozása.

3.5. táblázat A legfontosabb reoxidációs reakciók és a hozzájuk tartozó normál szabadentalpia-változások értékei 1550, 1600, 1650 °C hőmérsékleten [14]

Reakció	ΔG° [kJ/mól]		
	1550 °C	1600 °C	1650 °C
$2/3[\text{Al}] + 1/2\{\text{O}_2\} = 1/3[\text{Al}_2\text{O}_3]$	-363,45	-358,04	-352,63
$1/2[\text{Si}] + 1/2\{\text{O}_2\} = 1/2(\text{SiO}_2)$	-292,95	-288,01	-283,07
$[\text{Mn}] + 1/2\{\text{O}_2\} = [\text{MnO}]$	-245,55	-241,15	-236,74
$[\text{Fe}] + 1/2\{\text{O}_2\} = [\text{FeO}]$	-147,55	-144,70	-141,85
$2/3[\text{Al}] + (\text{FeO}) = 1/3(\text{Al}_2\text{O}_3) + [\text{Fe}]$	-215,90	-213,34	-210,78
$[\text{Mn}] + (\text{FeO}) = (\text{MnO}) + [\text{Fe}]$	-97,99	96,45	-94,89
$2/3[\text{Al}] + 1/2\langle\text{SiO}_2\rangle = 1/3(\text{Al}_2\text{O}_3) + 1/2[\text{Si}]$	-70,50	-70,03	-69,56

Az acél folyamatos öntési technológiájának kialakításakor (2.1. ábra) – egyes acélminőségek (pl. betonacélok) esetén még ma is – figyelmen kívül hagyták a levegő okozta reoxidáció negatív hatását. A ma használt úgynevezett zártöntés, azaz az acélsugár környezettől való elszigetelése helyett kezdetben az ún. nyitottöntést alkalmazták. Nyitott öntés esetén sugárvédőcsövet és merülőcsövet nem alkalmaznak, továbbá a közbensőüstbe az acél tetejére sem adagolnak fedőport, illetve a kristályosítóba öntőpor helyett mindössze a kenést szolgáló repceolajat juttatnak. Nyitott öntésnél elhanyagolták a reoxidáció elleni védelmet, mert:

- az előírt oxigénszint nem igényli, hogy az alumínium legyen az elsőszámúan alkalmazott dezoxidálószer; kokszt, szilíciumot, mangánt és ezreléknyi mennyiségben alumíniumot egyaránt adagolhatnak, előbbiek reakciótermékei nem hajlamosak a kirakódásra, illetve csak kisebb mennyiségű alumíniumoxid zárvány képződésével kell számolnunk;
- nincs zárványossági előírás, így költségtakarékossági okokból elhagyják a védekezés költségigényes formáit és nagyobb átmérőjű kagylók, illetve tolózárak alkalmazásával elkerülik a kirakódás esetén bekövetkező túlzott keresztmetszet csökkenést.

Mai elvárásoknak megfelelő minőségi acélok (mint például a hidegen hengerelhetők) gyártásánál már szigorú előírások vannak a tisztaság mértékére.

Reoxidáció során az oxigénnel a vashoz viszonyítva nagyobb vegyrokonságú elemek (Ca, Al, Si, Mn) könnyen oxidálódnak és ezekből nemfémes zárványok fejlődnek. Lifeng és társa [21] szerint, ezek általában **1 vagy 2 nagyságrenddel nagyobbak, mint a dezoxidációs zárványok. Ezen zárványok egy része** – az acél öntési hőmérsékletéhez, (ami minőség és öntendő keresztmetszettől függően 1490-1570 °C) viszonyítva – magasabb olvadási hőmérsékletük miatt **szilárd állapotú. A szilárd zárványok** (pl. Al_2O_3 , CaS) koagulálására és sűrűsödő képességére, valamint a nem megfelelő áramlási feltételekre visszavezethetően **kirakódásra hajlamosak**. Mivel már nincs meg a lehetőség a frissen keletkezett zárványok eltávolítására, vagy morfológiájuk kedvező megváltoztatására, **a képződött részecskék lerakódva kagylószerűkületet okozhatnak.**

A reoxidáció hatására az összoxigén-szint megnő, ami az acél tisztaságát rontja, a készterméknél felületi problémákat, illetve a mechanikai tulajdonságok romlását is okozhatja. **Reoxidáció esetén az alumínát- ill. szulfidképzés céljából beadagolt kalcium túlzott mértékű oxidációja tapasztalható**, mivel a kalciumnak igen nagy a vegyrokonsága (az alumíniumnál is nagyobb) az oxigénnel.

3.2.1. Reoxidációs források

Reoxidáció ott léphet fel, ahol az acél olyan közeggel találkozik, amelyből oxigént vehet fel [22]:

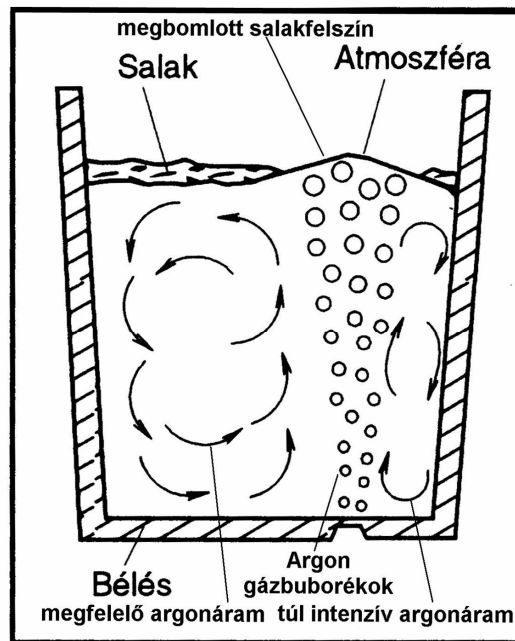
- csapoláskor az acélsugár a felületén, közvetlenül érintkezik az atmoszférával,
- a $(\text{FeO}+\text{MnO}) > 2\%$ tartalmú szekunder salak (nem megfelelően visszatartott vagy az üst-ről utólagosan nem kielégítően lehúzott primersalak miatt),
- felső argonkezelés során illetve túlzottan intenzív alsó argonkezelés során felszakadt üst-salak résein keresztül,
- az első öntött adagnál a közbenső üstöt kitöltő levegő,
- az öntőüst, közbensőüst ill. kristályosító felszínén keresztül felvett levegő,
- csatlakozások mentén bejutó levegő,
- a közbensőüst tetejére adagolt oxidáló hatású fedőpor,
- az előzőleg öntött adagból visszamaradt salak,
- a közbensőüst tűzállófalazata.

A felsorolt reoxidációs forrásokat (3.6. ábra) három nagy csoportba lehet osztani:

- salak okozta reoxidáció,
- légkör általi reoxidáció,
- tűzállóanyag által előidézett reoxidáció.

Ezek a források különböző mértékben okozhatnak reoxidációt, az alkalmazott technológiától függően.

Az alsó argonöblítés intenzitása befolyásolja a reoxidációt [18]. **Amennyiben túl intenzív az argon adagolása**, az ún. „argonfáklya” magas, és keskeny, ekkor a salakfelszín elérve azt megbonthatja, **a salak beoldódhat**, vagy akár egy „ablak”-ot is nyithat, ahol **az acél szabadon találkozhat a külső atmoszférával. Megfelelő intenzitás esetén az argon vízszintes irányban szétterül, nem okoz újabb reoxidációt** (3.6. ábra).



3.6. ábra A reoxidáció lehetséges forrásai [23]

3.2.2. Salak okozta reoxidáció

Amikor a *magas vasoxid-tartalmú salak dezoxidált fémfördővel érintkezik*, a salak/fém határfelület közelében az acéloldalon lévő reakciózónában az oldott oxigén és dezoxidáló elem aktivitása olyan, hogy *zárványok válnak ki* [2] Ez különösen akkor válik kritikussá, ha magas az olvadék oldott dezoxidáló elem koncentrációja (ez főképpen az alumíniumra érvényes).

Az üstmetallurgiai kezelés végén kialakult üstsalak (3.6. táblázat) az öntés végéig kapcsolatban van az olvadt acéllal. Cél az alacsony (max. 2 %) FeO+MnO-tartalmú salak („A” salak) elérése, ebben az esetben biztosítható a salak okozta reoxidáció elkerülése. Amennyiben nem sikerült az oxidos primersalak átjutását megakadályozni, az üstsalak FeO+MnO-tartalma nagy értéket („B” salak) érhet el. E *redukálható oxidok jelenléte az üstsalakban folyamatosan biztosítja az oxigén átmenetét az olvadt acélba, Al_2O_3 -zárványok képződését okozva.* Ezért fontos szabályozni a salak oxigénpotenciálját szűk határokon belül.

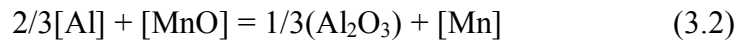
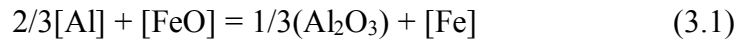
3.6. táblázat Üstsalak-összetételek (tömegszázalékban)

	FeO+MnO	SiO ₂	CaO	FeO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃
„A” salak	1,98	6,36	57,2	1,27	0,71	5,02	27,46
„B” salak	12,55	4,80	42,92	9,09	3,46	3,07	24,11

A csapolás során átkerült primersalak mennyisége fontos információ, az acél ill. a salak dezoxidálásához szükséges alumínium mennyiségének pontos meghatározásához. Sajnálatos módon, az átkerült salak mennyisége közvetlen módon nem határozható meg. Salakmérleg (3.2.2.2. fejezet) segítségével, jó közelítéssel meg lehet állapítani az átkerült salak tömegét.

Az üstben történő alsó argonöblítés során, túlzott mértékű argonnyomás esetén a fűrdő keveredhet a salakkal (3.6. ábra), abból részecskéket ragadhat el, és ezek bekeveredve az olvadékba elszennyezik az acélt. Ezek a besodródott salakdarabok egyrészt exogén zárványokat alkotnak, másrészt oxidálva az acél oldott alumíniumtartalmát reoxidációt okozhatnak.

A primerkemence oxidáló salakja nagy mennyiségben tartalmaz FeO-ot (5-30 %) és MnO-ot (4-18 %) [13], ezek a nem körültekintő csapoláskor átkerülhetnek az öntőüstbe, elszennyezve az üstsalakot. A nagy FeO- ill. MnO-tartalmú primersalak az üstben égetett mészből+salakfolyosítóból képzett szekundersalakkal keveredve megnöveli annak aktívoxigéntartalmát, ami az acélban oldott alumíniummal Al_2O_3 zárványt képez:

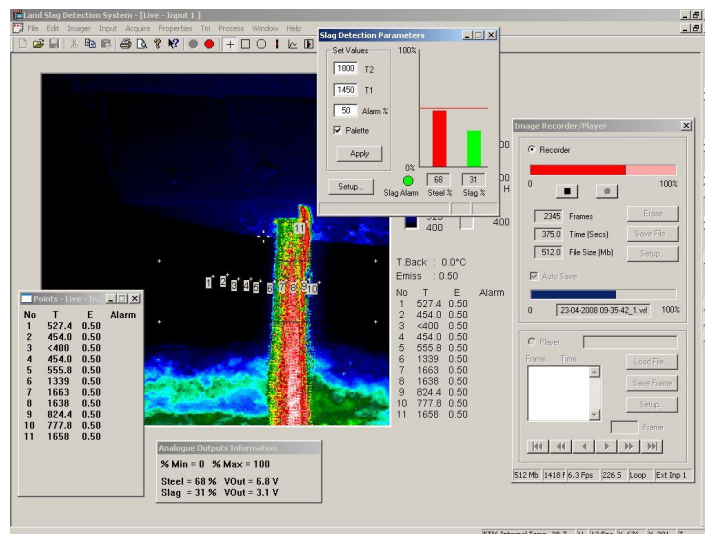


Az üstsalak oxigénpotenciálja, az üstsalakban lévő MnO és FeO százalékos arányától és az átkerült kemencesalak mennyiségétől függ. Más salakalkotók, mint a CaO , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 stb. hatással lehetnek a FeO és MnO aktivitására, ráadásul a FeO aktivitási tényezője függ a salak bázicitásától is.

3.2.2.1. Primersalak visszatartása a kemencében

Primersalak csapoláskor kerülhet az öntőüstbe:

- előfolyáskor: csapolás megkezdésekor a csapoló állásba fordított primerkemencéből először valamennyi salak jelenik meg,
- együttfolyás: csapolás közben a csapolónyíláson keresztül az acéllal együtt folyamatosan távozik némi salak (3.7. ábra)
- utánfolyás: csapolás befejeztekor a primerkemence visszabillentésekor kifolyt salak.



3.7 ábra Csapolás közben az acélsugárról LAND kamerával készült felvétel

Évtizedes gyakorlat a primersalak **konverterben** való visszatartására a salak-olvadék határfelületen úszó kerámia záróelem használata [24], amely csapolás végén – az acél „elfogyásakor” – lezárja a csapoló nyílást. Ennek a záróelemnek mind az alakja (gömb, kúp), mind a mérete jelentős befolyással bír a visszazárásra [25]. Megfelelően megválasztott záróelem használatakor:

- csökken a szekunder salak vasoxid- és mangánoxid-tartalma, ezáltal csökken az acél összoxigén-szintje, javul az ötvözőanyag-kihozatal, különösen az Al-hasznosulás,
- lényegesen csökken a foszforredukció, alacsonyabb P-tartalmú izotróp acél gyártható,
- kevesebb Al_2O_3 -zárvány képződik, javul az acél önthetősége.

Csapoláskor salakdetektáló rendszer segítségével megakadályozható a primersalak nagymennyiségének átjutása. Többféle megoldás létezik:

- A Dunaújvárosban alkalmazott LAND SDS rendszer [26] egy, az elektromágneses sugarakat érzékelő kamera a konverterből való kifolyást figyeli, amennyiben előre beállított határérték felé kerül a kifolyásban a salakarány, jelzést ad.
- AMEPA TSD rendszer [27] egy infrakamerát alkalmaz, amely szintén a kifolyást elemzi, majd egy határérték felett figyelmezteti a kezelőt, megfelelő kialakítás esetén automatikusan bezárja a csapolónyílást.
- VAI-CON Stopper [28] a konverter kifolyását figyelve nem csak figyelmeztetést ad, hanem egy külső dugószerkezettel be is zárja a csapolónyílást.

UHP kemencéknél jó megoldás az excentrikus fenékcsapolás, amellyel megszüntethető a primersalak előfolyása, illetve a salak együttes kifolyása az acéllal. ***A fenékbe épített csapoló szifonon keresztül az acél távozik először.*** A csapolás végén, amikor már az üstbe átkerült a csapolandó mennyiség (üstkocsiba épített mérleg tanúsága szerint), visszabuktatható a kemence. Ennél a gyakorlatnál gyakran visszamarad néhány tonna acél a kemencében – ami a következő adagnál hasznosul –, de így megakadályozható az oxidos salak üstbe kerülése.

3.2.2.2. A csapolás során az üstbe átkerült salak mennyiségének meghatározása

Primerkemencéből történő csapolás során szintetikus salakot képeznek az üstben, ami optimális esetben csak az ekkor adagolt salakképzőkből (égetett mész + salakfolyósító), és a dezoxidáláskor keletkezett oxidokból áll. A mai viszonyok között ez az ideális helyzet nem teljesül, csapoláskor ***mindig kerül valamilyen*** (előre meghatározhatatlan) mennyiségben ***vasoxidban dús kemencesalak az üstbe***. Mivel ekkor már redukálósalak kialakítása a cél, ezért a salak FeO+MnO-tartalmát szigorú előírás határozza meg (<2 %), nagyobb FeO+MnO-tartalom már káros lehet az acél minőségére.

Az üstsalak reoxidáció forrása lehet, amely mértékének ismeretéhez ismernünk kell a salak összetételét és mennyiségét, FeO-tartalmának változását. A salak FeO-tartalmának nem elég az összetételi százalékos változását ismerni, hanem a tömegének a pontos módosulását is tudni kell, mert csak így lehet meghatározni a reoxidáció mértékeként a képződött alumíniumoxid mennyiségét.

A **salak mennyiségének** ismerete nem megoldott, mert ***nem mérhető közvetlenül***. A vastagságának mérése (üst felület könnyen meghatározható) szintén nehézkes, ezért csak kémiai számításokkal lehet meghatározni a képződött salak mennyiségét. Jánosfy Gyula, doktoranduszként [24] foglalkozott a salak okozta reoxidációval, ő a salak Al_2O_3 -tartalmát (3.7) számolta, én azonban más ***összetevőkre vonatkozó mérlegszámítási módszereket*** is megvizsgáltam (3.9,11,13). **(4. Tézis)**

Első lépésben meghatároztam a csapoláskor képződött salak tömegét:

$$m_{\text{salak}}^{\text{üst}} = m^{\text{sk.oxid}} + m_{\text{salak}}^{\text{át ker ült-primer}} \quad (3.3)$$

- $m_{\text{salak}}^{\text{üst}}$: csapolás utáni üstsalak tömege, kg
- $m^{\text{sk.oxid}}$: csapolás során beadagolt salakképző, dezoxidáló és ötvöző anyagokból származó salakmennyiség-növekmény, kg
- $m_{\text{salak}}^{\text{át ker ült-primer}}$: csapoláskor konverterből üstbe átkerült salak tömege, kg

$$m^{\text{sk.oxid}} = m_{\text{CaO}}^{\text{csap.}} + m_{\text{alu min át}}^{\text{csap.}} + m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{csap.}} + m_{\text{MnO}}^{\text{csap.}} \quad (3.4)$$

- $m_{\text{CaO}}^{\text{csap.}}$: csapoláskor adagolt égetett mész (salakképző) tömege, kg
- $m_{\text{alu min át}}^{\text{csap.}}$: csapoláskor adagolt aluminátsalak (salakfolyósító) tömege, kg

- $m_{Al_2O_3}^{csap.}$: csapolás (elődezoxidálás) során képződött alumíniumoxid tömege, kg
- $m_{MnO}^{csap.}$: csapolás (elődezoxidálás) során képződött mangánoxid tömege, kg

$$m_{Al_2O_3}^{csap.} = \left(\frac{m_{Al}^{csap.}}{m_{acél}^{csap.}} - \Sigma Al^{LDU} \right) \cdot m_{acél}^{csap.} \cdot \frac{102}{54} \quad (3.5)$$

- $m_{Al}^{csap.}$: csapolás (elődezoxidálás) során adagolt alumínium tömege, kg
- $m_{acél}^{csap.}$: lecsapolt acél tömege, kg
- ΣAl^{LDU} : csapolás után az acél összalumínium-tartalma, %

$$m_{MnO}^{csap.} = \left(\frac{m_{Mn}^{csap.} \cdot Mn^{FeMn}}{m_{acél}^{csap.}} - (Mn^{LDU} - Mn^{LDA}) \right) \cdot m_{acél}^{csap.} \cdot \frac{71}{55} \quad (3.6)$$

- $m_{Mn}^{csap.}$: csapolás (elődezoxidálás) során adagolt ferromangán tömege, kg
- Mn^{FeMn} : ferromangán mangán-tartalma, %
- Mn^{LDA} : konverterben az acél mangán-tartalma, %
- Mn^{LDU} : csapolás után az acél mangán-tartalma, %

a) Al_2O_3 -mérleg

Jánosfy Gyula féle képlet [24]

$$m_{salak}^{át\ ker\ ült} = \frac{m^{sk.+oxid} \cdot Al_2O_3^{SLU} + (m_{acél}^{csap.} \cdot \Sigma Al^{SLU} - Al_{Al}^{csap.} - Al_{Al}^{üstmet.}) \cdot \frac{102}{54}}{Al_2O_3^{LD} - Al_2O_3^{SLU}} \quad (3.7)$$

- $Al_2O_3^{SLU}$: kezelés után salak alumíniumoxid-tartalma, %
- ΣAl^{SLU} : kezelés után az acél összalumínium-tartalma, %
- $Al_2O_3^{LD}$: konvertersalak alumíniumoxid-tartalma, %
- $Al_{Al}^{üstmet.}$: kezelés során adagolt alumínium tömege, kg

b) FeO-mérleg

$$FeO^{SLE} \cdot m_{salak}^{üst} = FeO^{LD} \cdot m_{salak}^{át\ ker\ ült} \quad \text{alapján} \quad (3.8)$$

$$m_{salak}^{át\ ker\ ült} = \frac{m^{sk.+oxid} \cdot FeO^{SLE}}{FeO^{LD} - FeO^{SLE}} \quad (3.9)$$

- FeO^{SLE} : az üstmetallurgiai kezelés elején az üstsalak FeO-tartalma, %/100
- FeO^{LD} : konvertersalak FeO-tartalma, %/100

c) MnO-mérleg

$$MnO^{SLE} \cdot m_{salak}^{üst} = MnO^{LD} \cdot m_{salak}^{át\ ker\ ült} \quad \text{alapján} \quad (3.10)$$

$$m_{salak}^{át\ ker\ ült} = \frac{m^{sk.+oxid} \cdot MnO^{SLE}}{MnO^{LD} - MnO^{SLE}} \quad (3.11)$$

- MnO^{SLE} : kezelés elején salak mangánoxid-tartalma, %
- MnO^{LD} : konvertersalak mangánoxid-tartalma, %

d) SiO_2 -mérleg

$$SiO_2^{SLE} \cdot m_{salak}^{üst} = SiO_2^{LD} \cdot m_{salak}^{át\ ker\ ült} \quad \text{alapján} \quad (3.12)$$

$$m_{salak}^{át\ ker\ ült} = \frac{m^{sk.+oxid} \cdot SiO_2^{SLE}}{SiO_2^{LD} - SiO_2^{SLE}} \quad (3.13)$$

- SiO_2^{SLE} : kezelés elején salak szilíciumdioxid-tartalma, %
- SiO_2^{LD} : konvertersalak szilíciumdioxid-tartalma, %

A képletek precizitását nagyban befolyásolja a felhasznált adatok pontossága, mivel minden adat mérés eredménye, ezért összességében akár 10-20 %-os eltérés is elképzelhető, bár ez a számított tömeg a további számításokban történő felhasználhatóságát megkérdőjelezi, de mindenképpen érzékelteti az átkerült primersalak mennyiségének nagyságrendjét. Természetesen nem hagyható figyelmen kívül a csapolónyílás mérete és alakja, mert ezek nagyban befolyásolják az átfolyt salak mennyiségét, de mivel ezek adagról adagra változhatnak, ezért az acélgyártó felelősége a nyílás karbantartása.

A négy képlet megbízhatóságát a kísérletem első szakaszában vizsgáltam, összevetettem ugyanazon adagokra vonatkozó eredményeket.

3.2.2.3. A salak oxidtartalmának csökkentése

Nadif és társai szerint [2], *a csapoláskor átjutott primersalak okozta reoxidáció csökkenthető alumíniummal csillapított acélok salakjának csillapításával*. A salak dezoxidálására valamilyen alumíniumtartalmú anyag, pl. alumíniumdara, fémes alumínium-tartalmú aluminátsalak alkalmazható.

Jól záró és redukáló hatású fedőpor segítségével, nem oxidáló salak képezhető a közbenső üstben. Ennek további pozitív hatása a nemfémes zárványok gyűjtése. Nadif és társai kutatása szerint [2], hatásosabb a CaO-tartalmú fedőpor alkalmazása SiO_2 -tartalmúval szemben. Előnyös, ha 5-10 % MgO-ot is tartalmaz a salak, mert így elkerülhető az aktivitáskülönbség miatti közbensőüst-béléssel való reakció.

3.2.3. A légkör okozta reoxidáció

Az acéolvadék a levegővel találkozva annak oxigéntartalmát nagyon könnyen képes oldani, ezért fontos megvizsgálni mind a mechanizmusát, mind az elkerülésének módjait:

- az oxigén, az atmoszférából az aktivitáskülönbség miatt, az acélsugár szabad felületére diffundál,
- az oxigén további diffúziója a folyékony acélba a szabad felületen keresztül,
- az oxigén atomosan oldódik,
- az oldódott oxigén, a vele a vasnál nagyobb kémiai vegyrokonsággal rendelkező elemekkel, pl. az alumíniummal oxidokat képez (3.14-16.).



A 3.5. táblázatból következik, hogy az oldott oxigén okozta oxidációs folyamatok végbe mennek a reakciók erősen negatív normál szabad entalpiája miatt.

A légkör okozta reoxidáció mértékére, az acél oldott hidrogén- és nitrogéntartalmának növekedéséből következtethetünk. Ez a folyamat a légkörtől való elzárással akadályozható meg.

A legjelentősebb találkozás a környezeti levegővel a csapoláskor történik, aminek a hatása sajnos nem küszöbölhető ki. A többi légköri reoxidációs forrás hatása szerencsére semlegesíthető:

- Az acéolvadék az üst tetején lévő megfelelő halmazállapotú salakkal elszigetelhető a légkörtől.
- Öntés megkezdése előtt, a szekvens első adagját megelőző közbensőüst nem oxidáló előmelegítésével, az oxidálóval generált felrakódások megakadályozhatók [2].
- Az öntés megkezdése után, az öntőüst és közbensőüst között lehetőség van a reoxidációra, ez a sugárvédőcső (3.8. ábra) felhelyezésével előzhető meg.
- Amikor az acél a közbensőüstbe kerül, a reoxidáció fedőpor segítségével kialakított fedősalakkal kerülhető el.
- Amikor az acél a közbensőüstöt elhagyja, és a kristályosítóba kerül, szintén alkalom nyílik a reoxidációra, ezt a merülőcső használata (argonos árnyékolással is elérhető a környezettől való elszigetelés [23]) előzheti meg hatásosan.
- A kristályosítóba lévő acéltükör szabad felszínét öntőporral kell lefedni, amely a kristályosító és az acélkéreg közötti kenést biztosítva az öntést is segíti.
- Az üstben történő keverés intenzitásának szabályozása fontos feladat: lényeges, hogy ne szakadjon fel a salakfelszín sem az öntő-, sem a közbensőüstben (3.6. ábra).

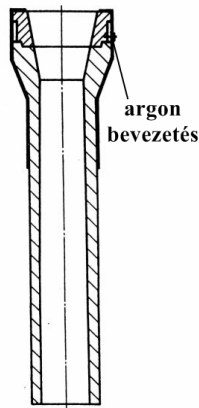
A csatlakozások mentén lehetőség van a levegő beszökésére, ezt különböző módszerekkel lehet elkerülni. A sugárvédőcső, illetve a merülőcső csatlakoztatását megelőzően szigetelőanyagokat helyeznek fel a kagylókra, vagy a csatlakozásoknál kialakuló nyomáskülönbség hatására beáramoló fals levegő oxidáló hatásának megakadályozására a tolózárnál, illetve a csőcsatlakozásoknál argongázt vezetnek be.

3.2.3.1. Sugárvédőcső alkalmazása

A VESUVIUS cég kifejlesztett egy porózusgyűrűvel ellátott sugárvédőcsövet (3.8. ábra), a cég ezzel garantálja a minimális gázfelvételt. Különböző védőcsővekkel öntött acélok összehasonlító vizsgálata során [29] az acél nitrogéntartalmának változását mérték, amivel arányos lehetett az oxigénfelvétel is. Az acél nitrogéntartalma az alábbiak szerint változott:

- védőcső nélkül öntve 30-40 ppm-mel növekedett,
- védőcső alkalmazásával, csak felszorítással a növekedés 10-15 ppm,
- argon alkalmazásával a védőcsőben a gázfelvétel maximum 5 ppm,
- porózus gyűrűbe argont vezetve 0-5 ppm közötti a növekedés.

Az öntőüstből a közbensőüstbe, sugárvédőcsövön keresztül jut az acél. Ez a védőcső elszigeteli a sugarat a légkörtől. A fröccsenés, illetve a salak bekeveredés elkerülése végett, a cső belemerül a fürdőbe (2.1. ábra).



3.8. ábra Sugárvédőcső gázcsatlakozással [29]

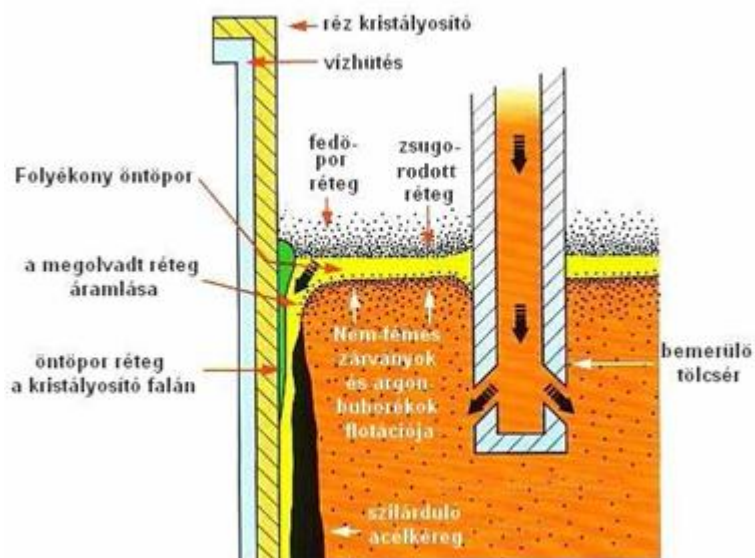
3.2.3.2. Fedőpor, öntőpor alkalmazása

Közbensőüstben a légkör okozta reoxidáció elkerülhető, az acélfelszín jól záró és nem reoxidáló hatású fedősalakkal való elszigetelésével. Kémiailag inaktív salak kialakítására kell törekedni. A zártöntés technológiája szerint a közbensőüst felszínén a védősalakot valamilyen fedőpor alkalmazásával képzik.

A fedőpor feladatai:

- folyékony acél hőszigetelése a közbensőüstben,
- kémiai védelem a levegőtől, hogy elkerüljék a reoxidációt,
- nemfémes zárványok abszorpciója.

A közbensőüst és a kristályosító között merülőcsövet alkalmaznak az acélsugár elszigetelésére, a kristályosítóban az acéltükör tetejére pedig automata segítségével egyenletes mennyiségben öntőport adagolnak. Az öntőpor a nagy hőmérséklet hatására [30] megolvad, és befedi mind a folyékonyacélt, mind a kristályosító fala mentén megszilárdult acélkérget (**3.9. ábra**).



3.9. ábra Áramlási, keveredési, flotációs folyamatok a folyamatos öntés közben [20]

Az öntőpor legfontosabb feladatai [30]:

- az acélfelület védelme az oxidációtól,
- az olvadékban lévő nemfémes zárványok mennyiségének csökkentése,

- a kokilla mozgásának hatására fellépő feszültségek csökkentése a vékony, nagyhőmérsékletű és ezért kis szilárdságú acélkéregben (kenés),
- a megfelelő mértékű, egyenletes hőátadás biztosítása az acél és a kokillafal között.

Az oxidáció elleni védelmet az öntőpor alábbi paraméterei befolyásolják:

- az öntőpor olvadási jellemzői,
- a salak oxidációs hajlama (FeO-tartalom, bázicitás, C-tartalom),
- reoxidáló hatású oxidok (SiO_2 , Na_2O , Fe_2O_3) mennyisége,
- a salak és az oxidok közti felületi feszültség.

A nemfémes zárványok felvételére hatással van:

- a salak és a zárványok közti felületi feszültség,
- a salak és az acél közti felületi feszültség,
- a salak viszkozitása,
- a salak Al_2O_3 -oldóképessége (kis Al_2O_3 és SiO_2 tartalom a kedvező).

3.2.3.3. Merülőcső alkalmazása

A merülőcső feladata az acélsugár környezettől való elszigetelése, a közbensőüst és a kristályosító között. A merülőcső bemerül a kristályosítóba (3.9. ábra), hogy nyugodt áramlás biztosításával megakadályozza a fröccsenést és feltapadást. A folyamatosan az acélban tartózkodó merülőcső alapanyagának, valamint belső és külső bevonatának összetétele reoxidációt okozhat, ezért a 3.2.4. fejezetben összefoglalt feltételeknek kell megfelelnie.

3.2.4. Tűzállóanyag által okozott reoxidáció

A tűzállóanyag oxidokból álló keverék, amely fizikai vagy termikus korrózió, esetleg **oxidáció-redukció révén vehet részt a reoxidációban** kisebb-nagyobb (nehezen mérhető) mértékben. A tűzállótermékek, a közbensőüst tűzállófalazata, illetve egyéb tűzálló szerelvények (kagyló, védőcső, merülőcső) ma már olyan jó minőségűek, hogy fizikai eróziójuk elhanyagolható. Az acél redukcióval kémiai módon megbonthatja ezen anyagokat, így reoxidáció forrásai lehetnek [31]:

- A falazat szárításának módja befolyásolhatja a reoxidációt, a csak szárítottal ellentétben a megfelelően kiégetett falazat kevésbé okoz reoxidációt [2].
- Az alumínium-oxid-grafit alkatrészek (kagyló, dugófej, stb.) felületén CO-képződés lehetséges a tűzállóanyag szennyezőinek redukciója (Na_2O , K_2O , Fe_2O_3) miatt, a redukálódott részecskék kirakódnak a felületre. Ezek a kirakódott anyagok szintén keresztmetszet csökkenést okozhatnak. Ez a hatás megakadályozható C-mentes bélés alkalmazásával. [10]
- A folyékony acélban – a tűzállótermékek okozta – reoxidáció nő, azaz a vasoxid redukciója emelkedik, ha a tűzálló bélésben a MgO koncentráció csökken, a SiO_2 koncentráció növekszik (3.10. ábra).
- A magnézium-oxid átmenetele a folyékony acélba spinell ($\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$) képződését eredményez, amely a magas olvadáspontja miatt (2135 °C) szintén okozhat a kagylószerűülést,
- Magnézium-oxid csak a 75 %-osnál nagyobb MgO-tartalmú tűzálló anyagok esetében van jelen a kirakódásokban [2]

A 75 %-nál nagyobb MgO-tartalmú (azaz kisebb SiO_2 -tartalom) tűzállóanyagok alkalmazása esetén kisebb a reoxidációs hajlam, de ebben az esetben a spinell képződésének a veszélye nagyobb.

*

A modern lépcsős dezoxidáció jelentősen megnövelte az acél aktívoxigén-tartalmának beállítási pontosságát, ami a zárványképződés mértékét nagymértékben csökkenti, de a reoxidáció mértékének szabályozása jóval komplikáltabb. A reoxidáció mértékének megismerését az teszi fontosná, hogy az újonnan felvett oxigén az acéolvadék oldott alumíniumtartalmával akkor képez alumíniumoxidot, amikor annak sem az eltávolítására, sem a modifikációjára nincs lehetőség, és így a kirakódásának nagy az esélye.

Az oxigén forrása lehet a levegő, az üstsalak és a tűzállóanyag. Az elsőnek a mértékét az olvadék nitrogéntartalmának a változása alapján határozhatjuk meg, a másodikat a salak $\text{FeO}+\text{MnO}$ -tartalmának csökkenésével jellemezhetjük. A tűzállóanyagok használata a reoxidáció szempontjából – hála a körütekintő anyagválasztásnak – mára már kevésbé számít kockázatosnak.

4. A kagylószűkülés megelőzése a nemzetközi trend alapján

A 3.fejezetben leírtak alapján a kagylószűkülés szilárd nemfémes zárványok kirakódására vezethető vissza (2.fejezet), így e zárványok lerakódását kell megakadályozni ahhoz, hogy az önthetőség romlását elkerülhessük.

A nemfémes zárványok kagylószűkülést okozó hatásának elkerülésére három metallurgiai megoldás létezik:

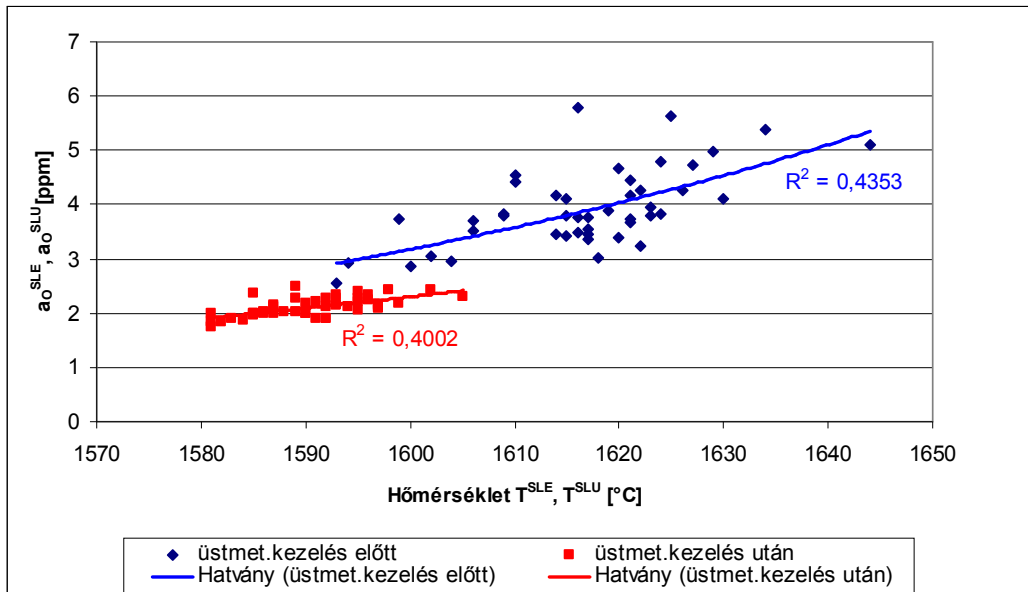
- a zárványok képződésének szabályozása, mennyiségük csökkentése,
- a képződött zárványok minél nagyobb mennyiségének eltávolítása,
- olyan komplex zárvánnyá átalakítás, amely olvadási hőmérséklete alacsonyabb, mint az acélöntés hőmérséklete.

4.1. Zárványképződés mérséklése

A hidegen hengerelhető (szilíciumszegény, alumíniummal dezoxidált) acélok gyártásánál, túlnyomórészt alumíniummal történik az aktívoxigén-tartalom csökkentése. Magasabb kiinduló aktívoxigén-tartalomról ugyanarra a szintre csökkentés, nagyobb mennyiségű alumíniumoxid képződésével jár [32]. A dezoxidálási célból adagolt alumínium (3.2. ábra) egy része oxidot képez, másik része (oldott formában) egyensúlyt tart az acél aktívoxigén-tartalmával. Ha mérsékeljük az acél csapoláskori aktívoxigén-tartalmát közvetlenül vagy a hőmérséklet csökkentésén keresztül (**4.1. ábra**), jelentősen kisebb a szükséges alumínium mennyisége is, és így a lerakódásra hajlamos alumíniumoxid zárványok száma is így pl.:

500 ppm Δa_{O} -tartalom $\rightarrow$ 1083 ppm Al_2O_3 képződik $\rightarrow$ 109 kg Al_2O_3 (100 t acél esetén)

700 ppm Δa_{O} -tartalom $\rightarrow$ 1516 ppm Al_2O_3 képződik $\rightarrow$ 151 kg Al_2O_3 (100 t acél esetén)



4.1. ábra Aktívoxigén-tartalom hőmérséklet függvényében

A primerkemencében végzett argonos alsóöblítéssel jelentősen mérsékelhető az acél aktív-oxigén-tartalma, ezáltal a szükséges alumínium mennyisége.

Az inertgázöblítés pozitív hatásai már évtizedek óta ismertek, segítik az összetételi és hőmérsékletbeli homogenizálást, a mész és a szilárd hulladék oldódását. Az olvasztás kezdetén alkalmazható a (relatív olcsó) nitrogénes öblítés, de a csapolás előtt ez már nem kívánatos, ezért átállnak az argon adagolására.

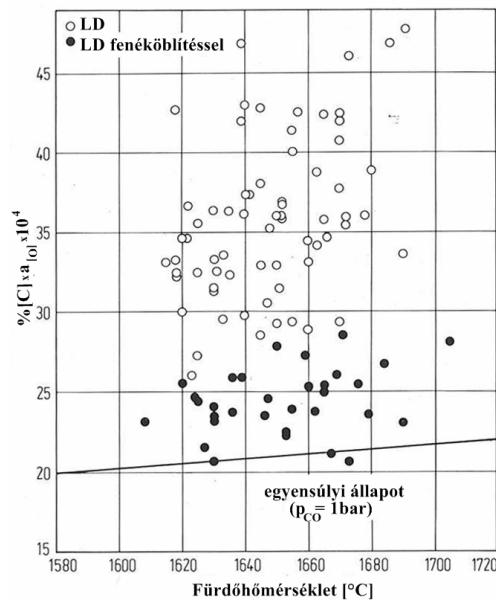
Az oxigénbefűvés hatására a fürdő karbontartalma oxidálódik (4.1), a reakció egyensúlyi állandója (4.2) [33] szerint meghatározható a szükséges oxigén mennyisége.



$$K' = \frac{p_{CO}}{[C] \cdot [O]}, \quad m = \frac{1}{K'} = \frac{[C] \cdot [O]}{p_{CO}}, \quad m = f(T) \quad (4.2)$$

$$\log K = -\frac{1168}{T} + 2,07, \quad 1600 \text{ °C esetén: } K=400, m=25 \cdot 10^{-4} \quad (4.3)$$

Felsőfűvés esetén ugyanannyi karbon oxidációjához az egyensúlyinál több oxigén befűvése szükséges, minél alacsonyabb az elérendő karbontartalom, annál nagyobb ez az eltérés. Azonban megfelelő argonos alsóöblítéssel a karbon-oxigén szorzat érték közelíthető az egyensúlyihoz (4.2. ábra), ezáltal mérsékelhető a túlfűvés és így a fürdő aktívoxigén-tartalma. Az alsó gázöblítés hasonló hatású mint a vákuum alatti oxidáció (VOD), mert az inertgáz buborékában a CO parciális nyomása nulla, ezáltal a karbon-oxigén szorzat is csökken.



4.2. ábra A $[C]:x[O]$ változása a hőmérséklet függvényében [34]

4.2. Zárványok eltávolítása

A zárványok eltávolítása történhet „természetes” úton: felúszással (Stokes-törvény) vagy mesterséges módszerrel: flotálással. A felúsztatás módja lehet indukciós és inertgázos keverés. Az indukciós keverés bonyolult technológiája (nem átmágneseződő üstpáncél, speciális üstkocsi, magas költségek) miatt kevésbé elterjedt, inkább az inertgázos agitálás a gyakoribb. A gázok közül az a megfelelő, amely az adott szakaszban metallurgiai szempontból inert.

A primerkemencében az oxidálóperiódus első szakaszában – kedvező ára miatt – a nitrogén alkalmazása szokásos, de a csapolást megelőzően már áttérnek az argon adagolására. Csapolás és az üstmetallurgiai kezelés közben az üstben, illetve öntés során, már csak az argon alkalmazása ajánlott, mert a nitrogén könnyen oldódik az acélban és a késztermék tulajdonságait rontja.

Bármilyen típusú acél üstmetallurgiai kezeléséről is legyen szó, az argonos átöblítés fiziko-kémiai hatásai az alábbiak [18]:

- az argon – mint neutrális gáz – hűtőhatásával az öntés kezdő hőmérséklete optimalizálható,
- az acélfürdő oldott gáztartalma (elsősorban a hidrogéntartalma) jelentősen csökkenthető,
- intenzív fürdőmozgást biztosít, az acélfürdőben kimutatható kémiai ill. hőmérsékleti inhomogenitás csökkenthető,
- a nemfémek zárványok felúszását segíti, és megfelelő intenzitás esetén a fém-salak határfelületről a salakok fürdőbe nem kerülhetnek, így – a nem-fémek zárványok mennyiségének csökkenésével – az acélfürdő tisztasága javítható.

4.2.1. Tisztaságifok javulása nyugodt fürdőben

A nemfémek zárványok csökkenthetőségénél évtizedek óta a Stokes összefüggésből (4.4) indulunk ki [35, 36], amely azt mutatja, hogy nyugodt fürdőben a nemfémek zárványok fürdőből történő felúszásának (eltávozásának) hajtóereje az acéolvadék, ill. a nemfémek zárványok sűrűségének különbsége:

$$V_z = \frac{2 \cdot \pi \cdot g \cdot (\rho_{\text{acél}} - \rho_{\text{zárvány}}) \cdot d^2}{9 \cdot \mu} \quad (4.4)$$

- V_Z : a zárványok felúszásának sebessége, cm/s
- g : nehézségi gyorsulás, (9,81 cm/s²)
- d : az idealizáltan gömbnek feltételezett zárvány átmérője, cm
- $\Delta\rho$: az acéolvadék és a nemfémes zárvány sűrűségkülönbsége ($\rho_{\text{acél}} - \rho_{\text{zárvány}}$), $\approx 3\text{-}5 \text{ g/cm}^3$
- μ : a folyékony acél dinamikai viszkozitása, 0,005 kg/ms

A Stokes képlet (4,4) alapján adódik, hogy nyugodt fürdőben a felhajtóerőként alapul vett **sűrűségkülönbség hatására a 30-40 μm -es zárványok megközelítőleg max. 5 perc alatt felúsznak (eltávoznak) a fürdőből, míg a $\leq 5 \mu\text{m}$ -es zárványok felúszási sebessége oly csekély, hogy eltávozásukra – az időhiány miatt – esély sincs: az acéltermékekben az 5-30 μm -es endogén zárványok kimutathatóak, a termékekben visszamaradnak.** Tehát éppen azok a zárványok nem képesek önállóan eltávozni a fürdőből és **visszamaradnak, amelyek az űstmetallurgiai kezelés során képződtek** [20], azaz a felúszásukra már kevés idő marad.

A pihentetéssel történő zárványtalanítás nem megoldás, hiszen nincs elég idő a felúszásra. Az űstmetallurgiai kezelés – mint metallurgiai művelet – során mindig van fürdőmozgás, ami önmagában hasznos is lehet pl. a összetételi és hőmérsékleti inhomogenitások csökkentésében. Azonban a tisztasági-fok alakulását ma már nem lehet a klasszikus Stokes-képlet alapján leírni, annak módosítása több okból is elengedhetetlen:

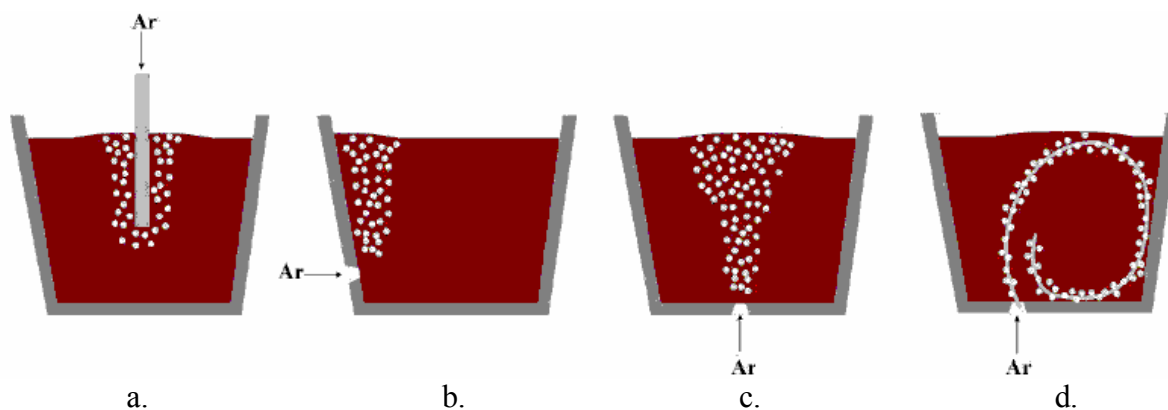
- idealizált: gömbszerű zárványokat feltételez, holott ez csak a zárványok egy részénél lehet közelítőleg helyes feltételezés,
- nem veszi figyelembe a zárványok nedvesíthetőségét és az olvadékban uralkodó belsőfeszültségi-viszonyokat,
- nincs tekintettel arra, hogy a zárványok emelkedése során az eltérő sebességgel felúszó zárványok találkozásukkor összetapadhatnak (koagulálnak), ezáltal méretük nő, felúszásuk felgyorsul.

Összegezve: a nyugodt fürdő a mai kétperiódusú acélgyártás űstmetallurgiai szakaszában nem létezik, ezért a sűrűségkülönbségre alapozott felhajtóerővel számoló Stokes-képlet figyelembevétele nem mérvadó. Az űstmetallurgiai kezelés során mozgásban van az űstben lévő acél-olvadék, a turbulens áramlás a meghatározó áramlási forma, s e mozgásformánál a felhajtóerő az öblítőgáz. A közbenső űstben azonban már inkább számolhatunk a Stokes-képlet szerinti felúszással.

4.2.2. Tisztaságifok javítása átöblítéssel

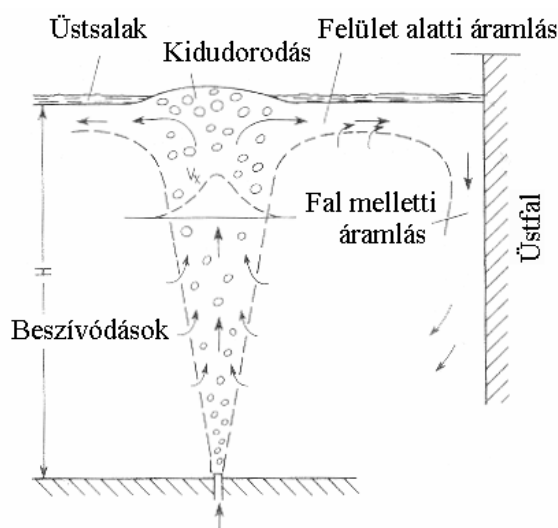
Üstmetallurgiában gázátöblítés többféle módon történhet [19]: felülről lándzsán át (4.3a ábra), oldalról kerámiakövön keresztül (4.3b ábra), ill. az üstfenékbe épített öblítőkövö(kö)n át (4.3c-d ábra).

A lándzsán keresztüli argonbefúvatás célja nemcsak a gázátöblítés, hanem a porbefúváshoz szükséges vivőgáz biztosítása is [18]. Hűtésre hasznosítható, de átöblítés céljaira viszont nem optimális megoldás, hiszen nem tud kialakulni az a klasszikus Ar-fáklya, amely magával ragadhatja a gázbuborékokra rakódó nemfémes zárványokat. E helyett a lándzsa végén a kitóduló erősen túlnyomásos gáz – amely túlnyomás azért kell, hogy a por minél nagyobb utat legyen képes az űstben megtenni – sokkal inkább ellene dolgozik a nemfémes zárványok felúszásának, mintsem segítené a tisztulást. A felső argoninjektálás reoxidációs hatású, mert az erős áramlás nem csak szabad felületet nyit a salakkal borított üstfelszínen, hanem a lándzsa olvadékba merülésekor a salak egy része fürdőbe jut a leggondosabb technológiai műveletek mellett is.



4.3. ábra Az argon befűvás lehetséges helyei [37]

Az 4.3. ábra szerint az üst alján befűjt argongáz előbb apró gázbuborékok formájában jelenik meg az acéolvadékokban, majd felemelkedésük közben méretük egyre nő, az áramlaskép egy felfelé nyíló csonka kúpra emlékeztet (4.4. ábra). A csonka kúp salakkal érintkező részén a gázzal együtt feláramló acéolvadék szétáramlik, a feláramlást előidéző *argonfáklya salakmentes fürdőfelszín hoz létre a feláramlás sebességétől függő mértékben.*



4.4. ábra Alsó átöblítésnél az argonfáklya elhelyezkedése [38]

4.3. Zárványok modifikálása

Az alumíniumos dezoxidálás után – bármilyenek is a zárványok felúszásának esélyei – *viszszamarad az acéolvadékokban képződött szilárd Al_2O_3 -zárványok egy része* (lásd az előzőekben). Persze a zárványok felúszását elősegíthetjük az argon átöblítés optimalizálásával, de ennek ellenére is az Al_2O_3 -zárványok egy része (főleg a kisebb méretű zárványok) a fürdőben marad. Ezek kirakódásának elkerülésére *a megoldás* sokak vizsgálata szerint [3, 4, 8] *az Al_2O_3 típusú zárványok alacsony olvadási hőmérsékletű komplex zárványba vitele* lehet. A földfémek és ritkaföldfémek az Al_2O_3 -zárványok kémiai összetételének megváltoztatásán keresztül, annak tulajdonságait befolyásoló hatását kihasználva, mára elterjedt ezen anyagok üstmetallurgiában történő használata. Közülük is leggyakoribb a kalcium, de gyakori egyéb ritkaföldfémek használata is.

4.3.1. Kalciumos modifikáció

Az acélba adagolt kalcium hatására, a **4.1. táblázat**ban összefoglalt reakciók játszódnak le [14, 39].

4.1. táblázat Kalcium legfontosabb reakciói az acélban és a hozzájuk tartozó szabadentalpia változás 1500, 1600, 1700 °C hőmérsékleten [14]

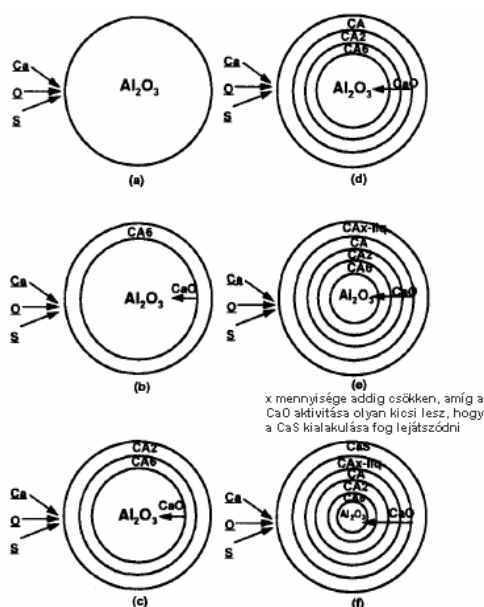
Reakció	ΔG° [kJ/mól]		
	1500 °C	1600 °C	1700 °C
$[\text{Ca}]_{(g)} + [\text{FeS}] = (\text{CaS})_{(sz)} + [\text{Fe}]$ (a)	-302,536	-296,16	-290,13
$[\text{Ca}]_{(g)} + [\text{FeO}] = (\text{CaO})_{(sz)} + [\text{Fe}]$ (b)	-293,80	-287,92	-282,32
$[\text{Ca}]_{(g)} + 1/3 [\text{Al}_2\text{O}_3] = (\text{CaO})_{(sz)} + 2/3 [\text{Al}]$ (c)	-75,05	-74,58	-74,09
$n[\text{CaO}]_{(sz)} + m[\text{Al}_2\text{O}_3] = [n\text{CaO}m\text{Al}_2\text{O}_3]$ (d)	-	-	-

Az acélba adagolt kalcium mindig gőz halmazállapotú (a kalcium alacsony olvadási- és forráspontja miatt), ezért ennek figyelembevételével kell az adagolását megoldani.

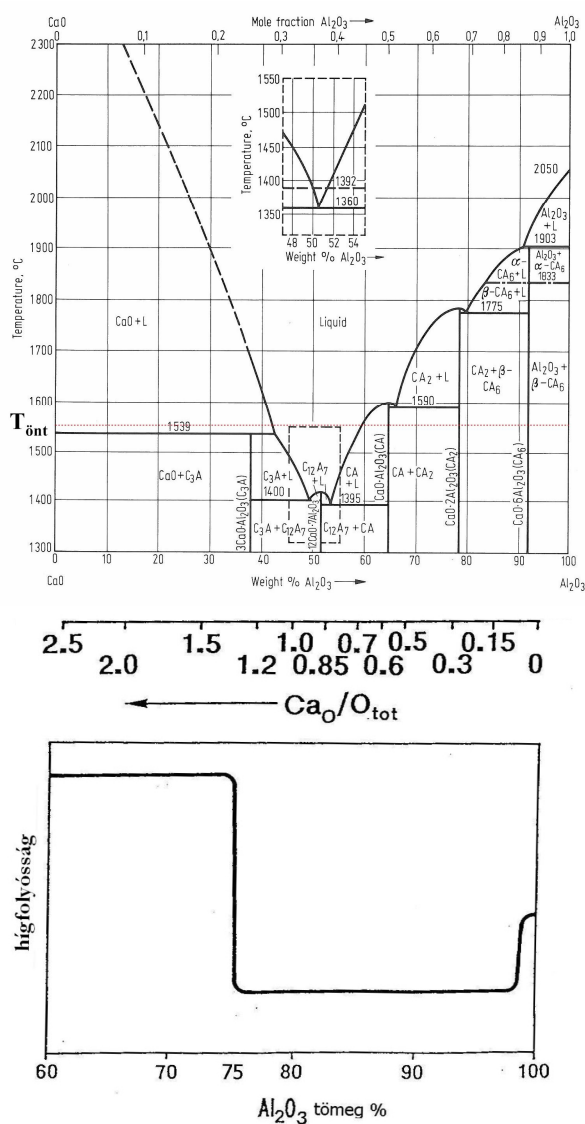
Világosan kitűnik, hogy a kalcium beadagolása előtt a megfelelő kántelenítés elengedhetetlen ahhoz, hogy elkerüljük, de legalábbis mérsékeljük a kalciumszulfid képződését (a), ami rontja az alumíniumoxid zárványok modifikációjának hatásfokát és a magas olvadáspontja miatt hajlamos a kirakódásra. A (b) reakció egy dezoxidációs folyamat, amely mindig lezajlik, amikor a kalcium oxigénegyensúlyának megfelelő értéktől nagyobb mennyiségű szabad oxigén van az acélban. **A felesleges kalciumleégés elkerülése miatt nagyon fontos a kántelenítés mellett a megfelelő megelőző dezoxidálás.** Jól dezoxidált fürdőben a (b) reakció általában önállóan nem zajlik le, hanem része a (c)-(d) reakcióknak. A kis oxigéntartalom a (a) és (c) reakciók lejátszódásának is kedvez. A (c) és (d) reakciók összefüggnek egymással. A (d) reakcióban csak a (c) reakcióban képződött CaO vesz részt, a keletkezett CaO vegyületet képez az Al_2O_3 -dal. Kezdetben még túlnyomórészt Al_2O_3 van a keletkezett komplex vegyületben, de **a kalcium adagolásával** (és oldódásával) **párhuzamosan egyre jobban nő a CaO-tartalom és egyre kisebb lesz az Al_2O_3 részaránya.** Az (d) reakció eredményeként kapott Ca-aluminát összetétele - tömegaránya - nem jósolható meg pontosan, ezért van csak általánosan feltüntetve, a reakcióhoz tartozó ΔG° értékek pedig nincsenek meghatározva.

A kalcium adagolása és beépülése folyamatosan játszódik le, ami a **4.5. ábrán** is jól megfigyelhető. **A kalciumarány növekedése a kalcium-aluminátban, olvadáspont- és halmazállapot-változással is együtt jár.** A **4.6. ábrán** látható, hogy a beadagolt kalcium növekedésével hogyan változik a $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ arány és miként változik a Ca-aluminát sztöchiometriai összetétele. Megfigyelhető, hogy a CaO mennyiségének növekedésével a vegyület olvadáspontja folyamatosan csökken **az eutektikumi összetételig ($12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$).** Ekkor **a legkisebb az olvadáspont (1360°C),** így az acélgyártás hőmérsékletén a zárvány folyékony halmazállapotú, a megszilárdult acélban pedig gömbölyű alakú és nagyon kemény. Ahogy csökken a $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ arány változásával a zárvány olvadási hőmérséklete, úgy válik folyékonyra és csökken a mérete, végül teljesen „elfolyósodva feloldódik”. A képződött zárványok a melegalakítás során sem töredeznek össze, megtartják gömbformájukat [37].

A 4.5.-6. ábrán a „C” a CaO-ot, az „A” az Al_2O_3 -ot jelöli, a számok pedig a sztöchiometriai arányukat a vegyületben.



4.5. ábra A komplex kalcium-aluminát-zárvány kialakulásának menete [40]



4.6. ábra A CaO- Al₂O₃ rendszer állapotábrája, továbbá az acél hígfolyósságának sematikus ábrázolása a zárványösszetétel függvényében [41]

Bannerberg szerint [41] az acél folyási képessége (híg folyóssága), mint a tapadványképző képességgel összefüggő jellemző, összefüggésbe hozható az acélban lévő oxidok összetételével is. A tiszta Al_2O_3 típusú zárványokat tartalmazó acélt közepes önthetőség jellemzi. **Amennyiben nem kielégítő mértékben történik a modifikáció és a Ca-aluminátban az Al_2O_3 -tartalom 75 és 100 % között van** (4.6. ábra), **az önthetőség drasztikusan leromlik. Ennek az oka az, hogy ennél az összetételnél, az $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ -vegyület olvadáspontja csak kis mértékben csökken, az oxidok felülete „tésztazerűvé” válik és ezáltal az oxidok könnyebben letapadnak.** A jól önthetőség feltételének mindössze azon összetételek felelnek meg, ahol az olvadáspont – az acélöntési hőmérséklethez viszonyítottan – kellően lecsökken, azaz folyékony Ca-aluminátok képződnek. A kalciumos kezelés ezért nagy gondosságot, technológiai fegyelmet igényel, különben az önthetőség javulása helyett éppen a megnehezülését érhetjük le. A 4.6. ábrából leolvasható, ahhoz, hogy a $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ összetétel kialakulhasson, 0,6-1,2 között ajánlatos lennie a $\text{CaO}/\text{O}_{\text{tot}}$ aránynak, azaz 0,4-2,2 között legyen a $\Sigma\text{Ca}/\text{Al}_{\text{oxid}}$.

A 4.1 táblázat (a) reakciója jól mutatja, hogy **a kalciumkezelés hatásfokát jelentősen befolyásolja az acélfürdő kéntartalma**, azonban a gépipar egyre nagyobb mennyiségben igényli a kénőtvtözésű acélokat, így elengedhetetlen a kén hatásának vizsgálata.

4.3.2. Az acélfürdő kéntartalmának hatása a kalciumos kezelésre

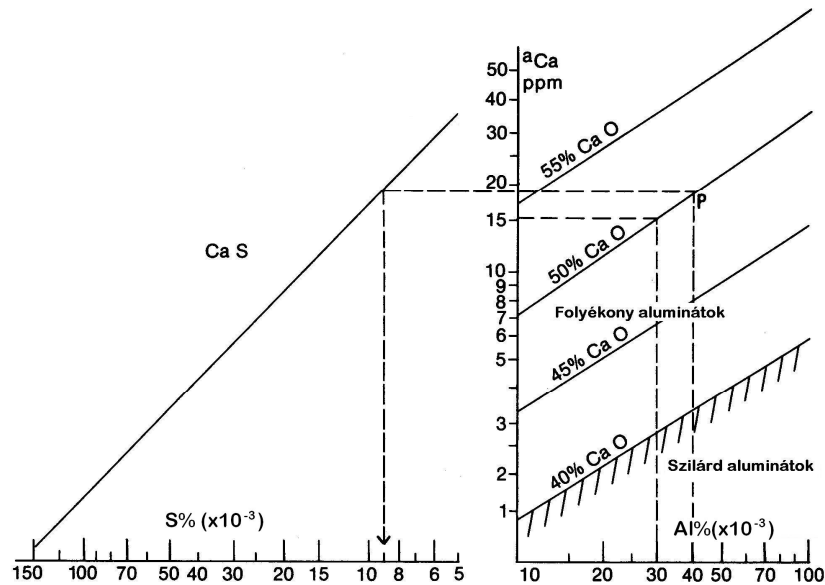
Az oxidok morfológiájának átalakítása mellett a kalciumos kezelés a szulfidok képződésre is hatással van [42]. A Ca-mentes fürdőben a kén MnS és FeS alakjában folyékony állapotban önállóan jelenik meg, a kalcium megjelenésével a MnS és FeS a (a) reakció szerint átalakul CaS -dá (4.2. táblázat). Amíg a Ca-aluminátok szilárd állapotban vannak, a CaS és Ca-Mn szulfidok burokként veszik körül a Ca-aluminátokat. (4.5. ábra). A kalcium növekedésével a CaS/MnS arány növekszik.

4.2. táblázat Legfontosabb szulfidképződési reakciók és a hozzájuk tartozó szabadentalpia változás 1500, 1600, 1700 °C hőmérsékleten [14]

Reakció	ΔG° [kJ/mól]		
	1500 °C	1600 °C	1700 °C
$[\text{Fe}] + [\text{S}] = (\text{FeS})$ (a)	-108,36	-109,49	-110,24
$[\text{Mn}] + [\text{S}] = (\text{MnS})$ (b)	-206,32	-204,44	-202,94
$(\text{CaO}) + 2/3[\text{Al}] + [\text{MnS}] = (\text{CaS}) + 1/3(\text{Al}_2\text{O}_3) + [\text{Mn}]$ (c)	-129,52	-126,62	-123,34
$(\text{CaO}) + 2/3[\text{Al}] + [\text{FeS}] = (\text{CaS}) + 1/3(\text{Al}_2\text{O}_3) + [\text{Fe}]$ (d)	-227,47	-221,57	-216,04

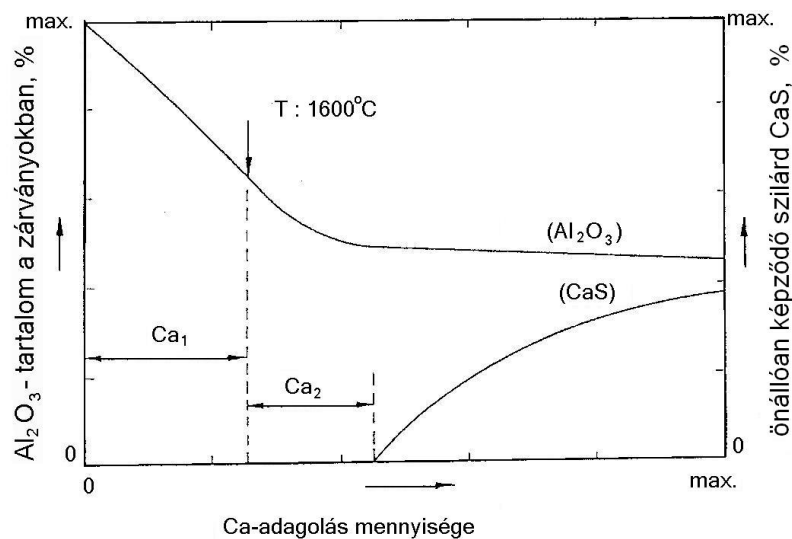
Önálló CaS jelenlétével akkor számolhatunk, **amikor** a beadagolt kalcium hatására már folyékony aluminátok keletkeznek, és **az olvadt állapotú aluminátok képződéséhez szükséges Ca-mennyiséget meghaladó Ca-tartalomhoz kellő mennyiségű kén maradt vissza az acélban.**

Az IRSID munkatársainak elméleti számításai [11] szerint a Fe-Al-Ca-O-S rendszer (4.7. ábra) 1600 °C-on azt mutatja, hogy pl. 0,04 % Al esetén ~50 % CaO -tartalmú aluminátok képződéséhez az acélfürdőben a Ca aktivitásának 20 ppm-nek kell lennie, s ha a S-tartalom >0,009 %, akkor keletkezhet önálló CaS -fázis. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy a korábban képződött gömbszerű aluminátokon komplex (Mn, Ca)-szulfidok nem válhatnak ki, a gyakorlat is ezt bizonyítja.



4.7. ábra A Fe-Al-Ca-O-S rendszer egyensúlyi diagramja [11]
(Önálló CaS-fázis kialakulásának feltételrendszere 1600 °C-on)

A kalcium adagolásakor először a szilárd halmazállapotú kalcium-aluminát zárványok jelennek meg, utána a folyékonyak (Ca_1), majd egy oldott kalcium-szintet (Ca_2), meghaladva megjelennek a CaS zárványok. (**4.8. ábra**)



4.8. ábra A kalcium-adagolás mértékének hatása a szilárd CaS-ok megjelenésére [43]

A nagyobb kéntartalmú acéloknál az önálló CaS képződése megelőzheti a kalcium-aluminát-képződést. A CaS zárványok olvadáspontja 2450 °C (2.1. táblázat), azaz a metallurgiai folyamatok hőmérsékletén szilárd állapotban van jelen az acéolvadéokban. E zárványok képződése nem kívánatos, mivel zavart okozhatnak az öntésben, az alumíniumoxidhoz hasonlóan kagylószerűkületet okozhatnak. Kisebb kéntartalomnál a kalcium-aluminátok képződése megelőzi a CaS-ét, de fontos a kalcium adagolásának a szabályozása, hogy a $\text{Ca}_1 + \text{Ca}_2$ értéket ne haladja meg.

A kén manapság már az alacsony kéntartalmú koksok alkalmazása miatt, illetve az egyre elterjedtebb nyersvas-kéntelenítésnek köszönhetően egyre alacsonyabb mennyiségben van jelen az

acélban, de a kénötvöztetésű acélok gyártásánál nagy jelentősége van a kagylószűkülés szempontjából.

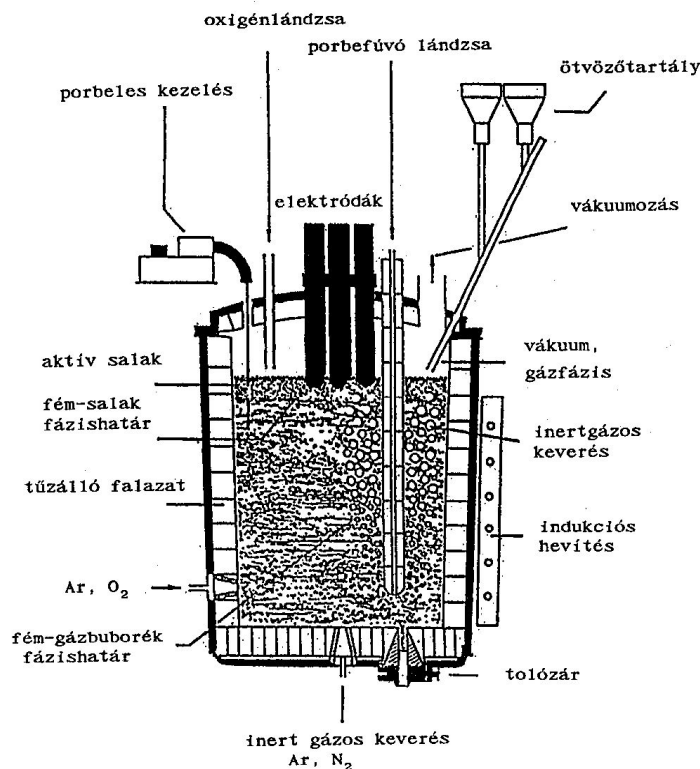
Az elméletileg számított kalciumtartalom pontos beállítása a gyakorlatban több okból megnehezül [11]: kicsi a kalcium olvadási és forrás hőmérséklete, kis mértékben oldódik az acéolvadékokban, ráadásul rendkívül hevesen oxidálódik minden reoxidációs forrás hatására. Ezért a kalcium bevitele többnyire előötvözetként (CaSi , CaAlFe stb.) történik, kellő védelem mellett, többnyire porbeles huzal formájában.

*

A kalcium számunkra igen fontos oxid- és szulfidzárvány modifikáló hatásán kívül létezik hátrányos tulajdonsága is: hajlamos a tűzálló falazat kémiai eróziójára [44]. A főlős kalcium hajlamos megbontani a közbenső üst falazatát, a dugót, illetve tolózár lapokat, ennek megakadályozására a kalcium mennyiségi adagolásának pontos szabályozása vagy alumíniumoxid-mentes tűzállóanyag (pl. magnézit-tartalmú dugófej alkalmazása) jelent megoldást.

4.5. Kagylószűkülés megakadályozásának űstmetallurgiai megoldásai

A kagylószűkülésre visszavezethető önthetőségi gondok elkerülése a zárványok kialakulásának mérséklésével, eltávolításával vagy modifikációjával történhet, de ezeknek megvannak a maguk technikai feltételei. A modern űstmetallurgia igen széles technikai lehetőségeket kínál (4.9. ábra) az acél tisztaságának és önthetőségének javítására.



4.9. ábra Űstmetallurgiai megoldások az acél tisztaságának javítására [4]

4.5.1. Megoldások a zárványképződés mérséklődésére

Az üstmetallurgia, 1930-as évekbeli indulása óta törekszik az acéltisztaságának javítására, már a kezdeti időkben felismerték az üstsalak fontos szerepét az acél zárványtartalmára, ezért szintetikus salakot alkalmaztak az acél finomítására.

A szintetikus salak képzése a csapoláskor kezdődik és a mai modern technikák egészen az üstmetallurgiai kezelés végéig lehetőséget adnak az üstsalak eltávolítására, képzésére, kezelésére.

A primerkemencéből származó salak magas $\text{FeO}+\text{MnO}$ -tartalma okozta reoxidáció miatt gyakori eljárás nemcsak a csapoláskori salakvisszatartás, hanem a kezelés elején (vagy akár közben) üstsalak eltávolítás. A salakképzés égetett mészből és salakfolyósító adagolásával ma már nem csak a csapoláskor végezhető el, hanem az üstmetallurgiai kezelés során bármikor, amikor az acélgyártó szükségét látja. A salak megfelelő konzisztenciája fontos feltétel, mert csak így akadályozható meg a folyékony acél atmoszférával való reakciója, és az olvadékból felszálló zárványok befogadása.

A lépcsős dezoxidáció lényege a csillapítás több fokozatban történő megvalósítása. Nem szükséges az összes dezoxidálószer a csapolás során a fürdőbe juttatni, hanem az üstmetallurgiai kezelés során történő finomítással pontosan beállítható a fürdő aktívoxigén-szintje és oldott alumínium-tartalma. Erre a célra kitűnő megoldást nyújt a huzaladagolás.

A **pontos oldott alumínium-tartalom segítségével megelőzhető** a nem kellően elkerült **reoxidáció esetén** a túlzott mértékben adagolt, főlegben lévő **alumínium oxidációja**. Erre a célra nagy segítség gyors és pontos aktívoxigén-szint mérés lehetősége, amely egyúttal az oldott alumínium-tartalomról (beépített számítással) is felvilágosítást ad.

A nemmegfelelő csapolás közbeni salakvisszatartás és az üstmetallurgiai kezelés közbeni salakkezelés hiánya azonban jelentősen megnehezíti az acéltisztaságának javítását, a salak okozta reoxidáció folyamatos lehetősége miatt.

4.5.2. Zárványtalanítás technikai lehetőségei

A modern üstmetallurgia számos lehetőséget nyújt az acéolvadék zárványtartalmának mérséklésére. A kezdetben alkalmazott lándzsán keresztüli argonadagolás mára kevés kivétellel, kiszorult az acélművekből, az üstfenékbe épített (üstmérettől függő számú) porózustéglán keresztül áramoltatott argonnal történő átöblítés vált uralkodóvá. Az argongáz intenzitásának helyes megválasztásával biztosítható a zárványok felúszása. Másik megoldás (bár jóval drágább) az indukciós keverés.

A zárványok salakba történő felúsztatásának egyik legmodernebb megoldása a vákuumkezelés. Bár jelentősen megnöveli a kezelési időt és költségeket, de ma már egyetlen minőségi acélt gyártó üzem sem épül vákuumos kezelés lehetősége nélkül az elérhető tisztaság miatt. Több típusa is kialakult az elmúlt évtizedekben, a termékpaletta alapján választják ki, azt hogy melyiket telepítik.

4.5.3. Zárványmodifikálás módozatai

A zárványok modifikálása többnyire kalciummal vagy kalciumtartalmú tartalmú előötvözettel történik. A felsőlándzsán keresztül argon vivőgázzal történő injektálás akárcsak az argonbefúvás, mára a háttérbe szorult. Jelenleg legerterjedtebb az ötvözésre, lépcsős dezoxidálásra alkalmazott porbeles kezeléssel történő zárványmodifikáció.

Nagyon fontos a kalciumot tartalmazó porbeles huzal olvadékba adagolásának pontos kivitelezése, a kalcium alacsony forráspontja miatt. Megfelelő adagolási sebességgel biztosítható a kalcium olyan mélységbe juttatása, ahol a ferrosztatikus nyomás meghaladja a kalcium gőznyomását, és nem engedi elillanni az olvadékból.

Amennyiben nem sikerült az üstsalak $\text{FeO}+\text{MnO}$ -tartalmát a kritikus 1-2 % alatt tartani, jelentősen megnehezül a zárványok modifikációja. Ennek oka az, hogy a kalciumnak, illetve más

zárványmodifikációra használatos ritkaföldfémeknek az oxigénhez való igen nagy vegyrokonsága. A salak okozta reoxidáció miatt csökken a zárványmodifikáció hatásfoka, ezáltal az ideálisnak tartott eutektikumi összetétel beállítása roppant módon megnehezül. Az ötvözés pillanatában nem lehet meghatározni a kalcium hasznosulását, könnyen lehet alul- vagy felülbecsülni a mértékét. Mindkettő eltérítheti a kalcium-aluminát összetételét az öntési hőmérsékletnél magasabb olvadási hőmérséklettel rendelkező vegyület felé (4.6. ábra).

*

Természetesen ezek a műveletek idő- és hőigényesek, ennek megoldására fejlesztették ki a ma már szinte minden acélműben megtalálható üstkemencét. Az üstkemencével könnyen megoldható a salak eltávolítása és képzése okozta hőmérsékletcsökkenés kompenzációja, illetve az új salak megolvasztása és az ötvözés okozta hőveszteség. Sajnos vannak még olyan a 70-es, 80-as évek első felében létesített acélművek, ahol az üstkemence nem került telepítésre. Ezekben az acélművekben különösen megnehezíti az acéltisztaság javítását a hőmérséklet okozta időkorlát. Az üstmetallurgiai műveletekhez és a manipulációs tevékenységekhez szükséges hőmérséklet tartálékot a primerkemencében történő túlhevítéssel biztosítják. A túlhevített acél azonban magasabb gázoldó képessége miatt tovább nehezíti az acéltisztaságának javítását.

Mára az acélművek többnyire megoldották a kagylószűkülés problémáját, köszönhetően a széles üstmetallurgiai lehetőségeknek és nem utolsósorban a termékstruktúrájuknak: nem az alumínium az első számú dezoxidálószer, hanem jelentős szerepe van a mangánnak és szilíciumnak is. Azonban még mindig vannak olyan üzemek, ahol mind a gyártott termékek, mind az üstmetallurgiai kezelés szűkös lehetőségei miatt továbbra is vannak teendők a kagylószűkülés területén. A hevítés hiánya, a salakvisszatartás elégtelensége, az üstsalak kezelésének elmaradása mind-mind jelentősen megnehezíti a kagylószűkülés arányának a csökkentésére való törekvést. Ezért mindenképpen körültekintő kell az elméleti ismereteket és gyakorlati tapasztalatokat egyszerre felhasználni ahhoz, hogy ilyen körülmények esetén is bárhol alkalmazható tudományos megoldást tudjanak adni a kagylószűkülés elkerülésére.

*

A szakirodalmi források világosan rámutattak, hogy a kagylószűkülés az acél oxidtartalmára, ezen belül elsősorban az alumíniumoxid mennyiségére vezethető vissza. A nemzetközi szakirodalom és gyakorlat szerint a kagylószűkülés elkerülésének legjobb módja a porbeles huzallal történő kalciumos kezelés. A legtöbb tanulmány ezt a vonalat követi, mert gyors és pontos adagolás érhető el ezen a módon, ezért hatékonyan alkalmazható. Azonban a kalciumkezelés érzékeny az acél aktív- és kéntartalmára, illetve a reoxidációra, amik megnehezítik az alkalmazását olyan acélművekben, ahol ezek a kérdések még nem tekinthetők megoldottnak. Szabó Andrea értekezésében [20] foglalkozott a zárványtalanítás legegyszerűbb módszerével az argonos átöblítéssel, de ő inkább az argonozás technikáját és általános hatásait tárta fel. Ezért fontosnak tartottam, hogy megvizsgáljam mind a kalciumos kezelés hatását, mind az oxidzárványok képződésének mérséklését, illetve a keletkezett mennyiség csökkentésének módjait.

Az oxidok száma néhány perces gyártásközbéli méréssel kontrolálható, azonban ezt jelenleg nem használják ki, mindössze az öntés közben vett végpróbából származó mintának összoxigéntartalmát elemzik. Így ennek a fontos paraméternek a hatását és befolyásolhatóságának vizsgálatát célul tűztem ki ahhoz, hogy a kagylószűkülés számát mérsékelni tudjam. Mivel a fellelt szakirodalom ezt a lehetőséget nem vizsgálta, ezért mind a kísérleti módszerében, mind vizsgálat módjában olyan az acélmétallurgia területén eddig még nem használt módszereket kellett keresnem, amik segítségével megvalósíthattam a célokat: kagylószűkülés mértékének csökkentését hidegen hengerelhető acéloknaál, korlátozott üstmetallurgiai lehetőségek esetén.

5. Kísérlettervezés

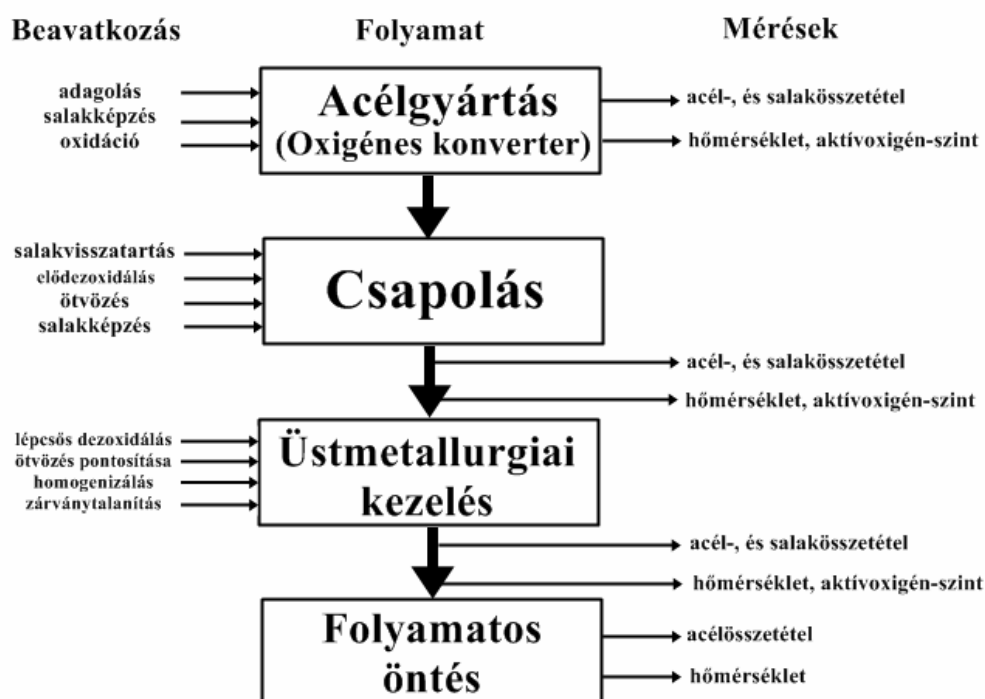
A folyamatos öntésnél fellépő kagylószűkülést nem lehet modellezni, csak üzemi körülmények között lehet tanulmányozni, viszont olyan tudományos vizsgálati módszerekre van szükség a megszerzett minták és adatok elemzésére, amit csak az egyetemi laboratóriumokban lehet biztosítani. Ilyenformán a helyzet komplexitása miatt a vizsgálat nagyon jó lehetőség volt, az értekezés elkészítésekor új tudományos eredmények feltárására.

A téma napi aktualitását bizonyítja az, hogy bár az üzemek többségében már megoldottnak tekinthető a kagylószűkülés okozta önthetőségi zavar, még mindig van számos olyan acélmű, ahol ez a probléma még mindig aktuális az üstmetallurgiai lehetőségek szűkössége, illetve a termékstruktúra miatt. Kísérleteimhez olyan acélművet kerestem, ahol még fennáll ez a fajta önthetőségi rendellenesség, és – bár minden cégnél mások a lehetőségek – számos, tudományos szempontból fontos és értékes máshol is alkalmazható megoldást tudok kialakítani. Hazánk vezető vaskohászati egysége, az ISD Dunafer Zrt acélműve egyike az ilyen üzemeknek, ezért célszerűnek látszott a kísérleti gyártások ottani lebonyolítása.

5.1. Kísérleti körülmények

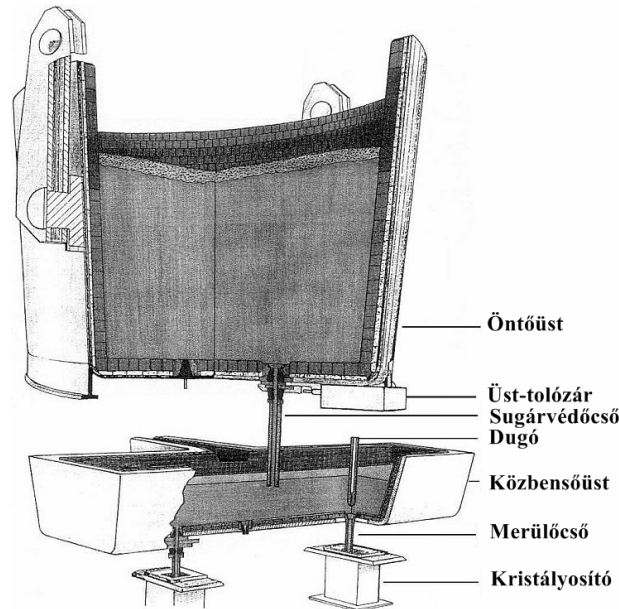
A z előzőekben ismertetett szakirodalom tanulmányozása során elsajátított ismereteim alapján a saját kísérleteimhez kísérlettervet készítettem. Méréseim színhelyéül a dunaújvárosi ISD Dunafer Zrt-t szolgált, a dunaújvárosi cég biztosította a kísérleti gyártást, a Miskolci Egyetemen végeztem a szükséges kiegészítő laboratóriumi méréseket.

Ahhoz, hogy a saját ismereteim alapján elkészíthessek egy, a gyakorlatban is elvégezhető kísérleti technológiát, előkísérletekre volt szükségem. Meg kellett ismernem (két méréssorozatban) a jelenleg követett gyártási metódust (**5.1. ábra**), az alapállapotról egy kellően nagyszámú adatbázist felállítani, hogy annak értékelése után megtehessem mind tudományos, mind gyakorlati szempontok szerint helytálló javaslataimat a saját (sorrendben harmadik) mérési sorozatnál alkalmazandó technológiára.



5.1. ábra Az acélgártás technológiai lépései és mérései

A Dunaújvárosban gyártott termékpaletta egyik legjellemzőbb acélminősége a hidegen hengerelhető szilíciumszegény, alumíniummal csillapított lágyacél-család. Ezen acélok gyártásánál az előírt <5 ppm aktívoxigén-szintet lépcsős dezoxidálással szilícium nélkül, relatíve kis mennyiségű mangán (összetételi előírás: 0,15-0,30 %) adagolása mellett túlnyomórészt alumíniummal végzik. Az alumínium a dezoxidálás során jelentős mennyiségű alumíniumoxidot képez, amely a magas olvadási hőmérséklete (2050 °C) miatt szilárd halmazállapotú. A szilárd zárványok okozta kagylószűkülésre visszavezethető beavatkozások gyakorisága tette indokolttá a kutatásomat.



5.2. ábra A dunaújvárosi folyamatos öntés technológiai sémája [4]

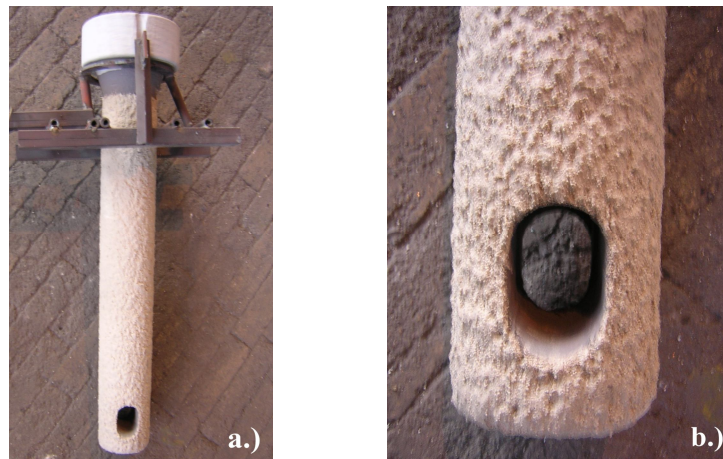
Dunaújvárosban a gazdaságosság miatt alkalmazott folyamatos öntés során, szekvensekben öntik le az acélt brammaként. Egy szekvens a rendelésállomány függvényében általában 4-8 adagból áll. A szekvens közben egy közbensőüst falazattal (**5.2.ábra**), a közbensőüstbe épített két kagylóval és lehetőleg ugyanazzal a sugárvédőcsővel, illetve két merülőcsővel öntik le az adagokat, ezért fontos a kagylószűkülés elkerülése. Dunaújvárosban a kirakódás miatti kagylószűkülés az öntő- és közbensőüst kagylóknál, illetve a sugárvédő- és merülőcsőveknél tapasztalható.

A vizsgálati lehetőségeimet determinálta az a tény, hogy a lehetséges szűkülési helyek közül mindössze a merülőcső vizsgálata volt lehetséges, mert a többi helyen azonnali beavatkozás szükséges és oxigénes tisztítással eltávolítják a lerakódásokat. Így az adagok gyártása közben mért adatok értékelése mellett, a használt merülőcsővek vizsgálatai során nyert eredmények alapján hoztam meg következtetéseimet.

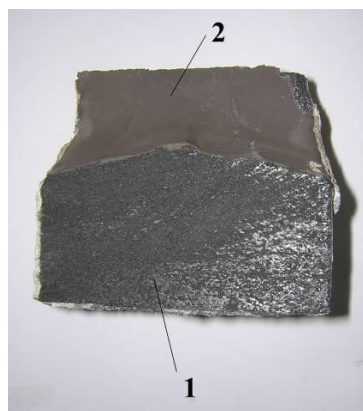
5.2. Az alkalmazott merülőcső és öntőpor

Ahhoz hogy a lerakódások vizsgálata során kapott eredményeket megfelelően használhassam, szükséges volt ismerni a merülőcső (**5.3-4. ábra**) alapanyagának és bevonatának (**5.1. táblázat**), illetve az alkalmazott PROSIMET SYNTHESIS D7S AT típusú öntőpor tömegszázalékos összetételét (**5.2. táblázat**).

Az alkalmazott öntőpor összetétele közel van a szakirodalmi elvárásokhoz, viszonylag alacsony (~40 %) a redukálható oxidok mennyisége. Ezen összetevők az öntőpor más feladatai miatt (kenés biztosítása) szükségesek, a hatásuk a reoxidációra nem mondható jelentősnek.



5.3. ábra Új merülőcső (*a* – teljes, *b* – vég)



5.4. ábra Elvágott új merülőcső (1 – merülőcső anyaga, 2 – bevonat)

5.1. táblázat Új merülőcső (5.3. ábra) rétegeinek tömegszázalékos összetétele

merülőcső (1)		bevonat (2)	
C	41,4	C	41,2
Al ₂ O ₃	41,9	Al ₂ O ₃	16,6
ZrO ₂	4,8	ZrO ₂	2,8
Si	0,9	Si	22,3
SiO ₂	10,6	SiO ₂	10,3
SiC	0	SiC	6,8
NaAl ₁₁ O ₁₇	0,3	NaAl ₁₁ O ₁₇	0

5.2. táblázat A felhasznált öntőpor tömegszázalékos összetétele

C _{tot}	C _{free}	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	H ₂ O _{120°C}	Na ₂ O+K ₂ O	CaO/SiO ₂
9,68	7,83	35,7	0,47	7,66	32,6	0,73	0,34	4,99	0,91

Fontos kiemelni az öntőpor nátriumtartalmát, mert a lerakódásokban megjelenhet.

5.3. Kísérletterv

Mivel nem ismertem az aktuális állapotot, ezért három méréssorozatot terveztem. Első lépésben a jelenleg alkalmazott technológiát kívántam megismerni, hogy azt összevetve az elméleti ismereteimmel feltárhassam, hogy a kagylószűkülés mértékének csökkentéséhez miként kell megváltoztatni a bevett metódust.

Ahhoz, hogy az üzemi körülményeket és a vizsgálati lehetőségeket megismerjem, illetve az értékeléshez szükséges kiindulási állapotot jól jellemző adatbázist összeállíthassam, első fázisban a jelenlegi technológia szerint gyártott kalciummentes adagokat vizsgáltam meg. A következő két sorozatban, a kagylószűkülés okozta beavatkozások arányának mérséklésére javasolt eljárások (4. fejezet) hatását kívántam vizsgálni.

A második sorozatban az aktuálisan követett kalciumos technológiát tanulmányoztam, majd az első kettő kiértékelése után saját javaslataimat megtéve egy harmadikkal – ellenőrzővel – zártam a kísérleteimet.

5.4. A kísérletsorozat vázlatos ismertetése

A 4. fejezetben két megoldást ismertettem a kagylószűkülés mérséklésére: a kirakódásra hajlamos nemfémes zárványok modifikációját, illetve a mennyiségük csökkentését. Mindkét módszer kísérleti úton akartam megvizsgálni. Ahhoz, hogy a kagylószűkülés mérséklésére tett változtatások eredményét minősíthessem egy harmadik, bázisként viszonyítási alapnak szánt mérést is terveztem.

A három sorozatból álló üzemi méréseimet 2010. áprilisában kezdtem meg. Elsőként az aktuálisan alkalmazott technológia szerint gyártott adagokat vizsgáltam, hogy felmérhessem az alaphelyzetet, és az ebből levont következtetéseket a későbbi sorozatoknál felhasználhassam.

Az első két sorozatnál ~50-50 adag gyártása volt a cél, a harmadiknál ~25-30, tény:

- az első sorozat 10 szekvense, 54 adagból állt,
- a másodiknál szintén 10 szekvens volt, ezúttal 46 adag,
- a harmadiknál nyolc szekvensben 35 adag vizsgálata zajlott.

Az első és harmadik sorozat minden adagját személyesen a helyszínen követtem, a másodiknál szervezési okok (a rendelésállomány alakulása miatt hosszabb idő alatt valósult meg a kívánt adagszám) miatt csak az első három szekvens gyártásánál voltam jelen.

Az értékelés elősegítésére mindhárom sorozat összes adagjánál, a szokásoshoz képest kiegészítő méréseket kértem:

- Az előírástól eltérően a konverterben próbavételkor és amennyiben lehetséges volt csapolás előtt mérettem aktívoxigén-szintet.
- Általánosságban az összoxigén-tartalmat csak a végpróbából szokás elemezni, kérésemre minden üstből vett próbánál megtették.
- Használt merülőcsöveket gyűjtöttem be a lerakódások ásványtani vizsgálatához.

Szerettem volna még egy pluszmérést elvégeztetni (öntés közben a közbenső üstből összoxigén-tartalom) ami sajnos komoly nehézségekbe ütközött, mindössze az első sorozatból sikerült összesen 10 darab mintát kivenni. Sajnos bár csak az első sorozatnál tudtam ezt az eredményt használni, de így is fontos – harmadiknál is érvényes – tanulságokhoz jutottam.

Az összes vizsgált adagról begyűjtöttem az adag-, öntési- és elemzésilapot, kiegészítve a kérésemre elvégzett pluszmérések eredményeivel, továbbá adagonként összefoglaltam a fontosabb történéseket (CD melléklet).

Az első két sorozatnál a vizsgálandó merülőcsövek kijelölése előre megtörtént: az első három-három szekvens két-két merülőcsöve, összesen hat-hat; a harmadiknál, pedig az összeset begyűj-

töttem, mindössze az öntés közben megtisztítottakat hagytam ki. Az összes használt merülőcsőről az értékeléshez és az azonosítás megkönnyítéséhez fotót készítettem.

6. Értékelési eljárások

Az acélgyártást többnyire a végtermékének tulajdonságai alapján minősítik: összetétel, zárványosság, mechanikai tulajdonságok stb., vizsgálataim során viszont az önthetőség minősége volt az értékelendő, ezért az ezt befolyásoló tulajdonságokat tanulmányoztam. A kagylószűkülés okainak feltárásához első lépésben megvizsgáltam a kagylószűkülést fizikailag kiváltó lerakódásokat, majd az előidéző jelenségeket az acélgyártás különböző paramétereinek elemzésével.

Első lépésben a vizsgálati eljárásokat foglaltam össze:

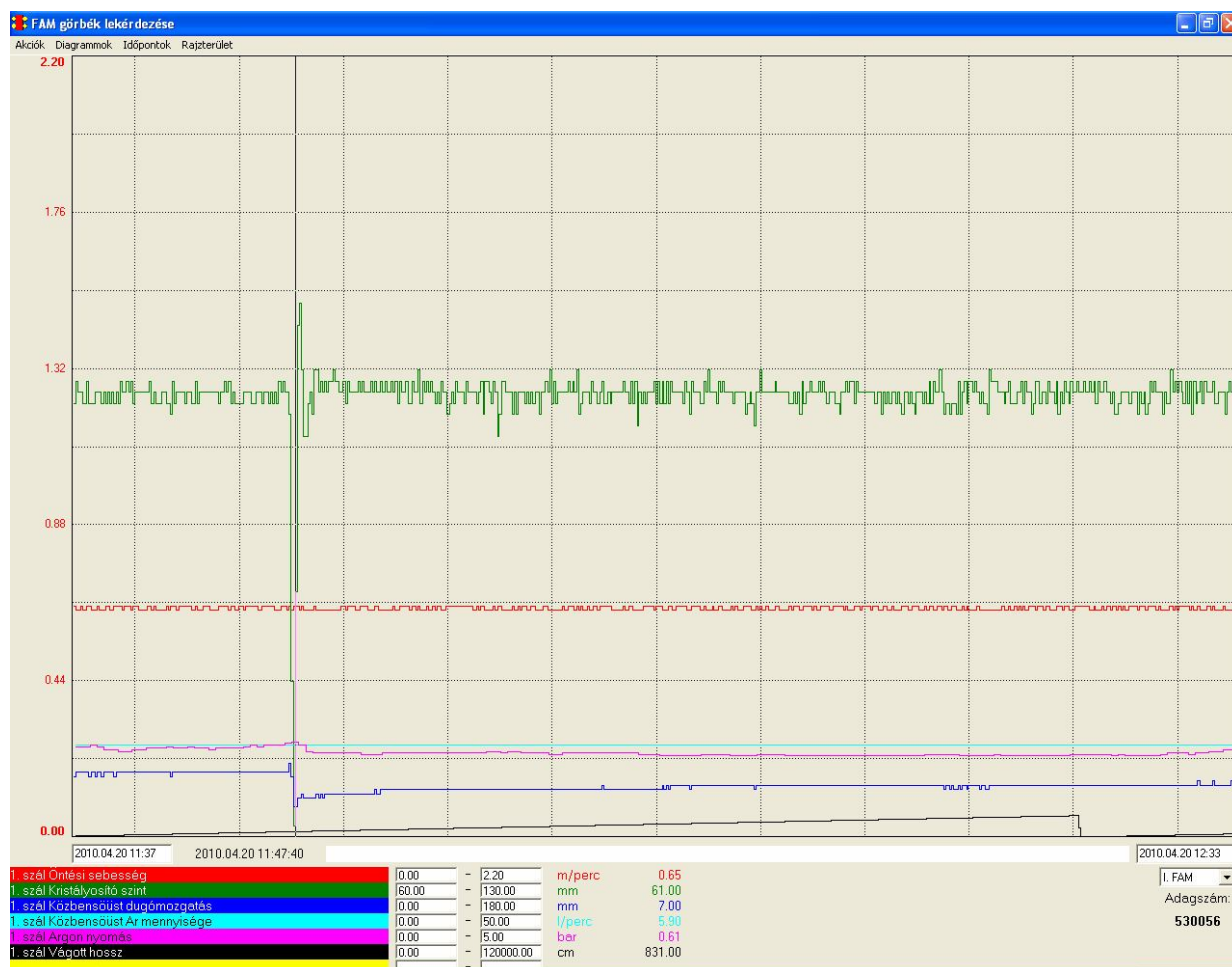
- önthetőség minősítése,
- lerakódások fizikai vizsgálata ásványtani módszerekkel,
- adatbázis összeállítása gyártás során gyűjtött adatokból,
- gyártási paraméterek elemzése statisztikai módszerek segítségével.

6.1. Önthetőség minősítése

Az adagok szűkülési hajlamát, legjobban a szűkülések miatti beavatkozások számával lehet jellemezni. Szűkültek vettem azokat az adagokat, amelyek öntési lapján (1.sz. melléklet) megjegyzésként szerepelt valamilyen beavatkozás:

- pumpálás = a kristályosítóban tapasztalt szintcsökkenés miatt a közbensőüstben kézi dugómozgatás volt szükséges, mert a kagyló körüli letapadás miatt az átfolyás csökkent, ezt a keresztmetszet növelésével lehetett korrigálni. **(6.1. ábra – kék vonal)**
- nü.ox. = nagyüst kagylójának oxigénnel történő tisztítása szűkülés miatt (üstnyitáskor alkalmazott oxigénnel történő nyitás nem tartozik ide)
- kagyló, mt.tiszt. = a közbensőüst-kagyló és a merülőcső tisztítása szűkülés miatt

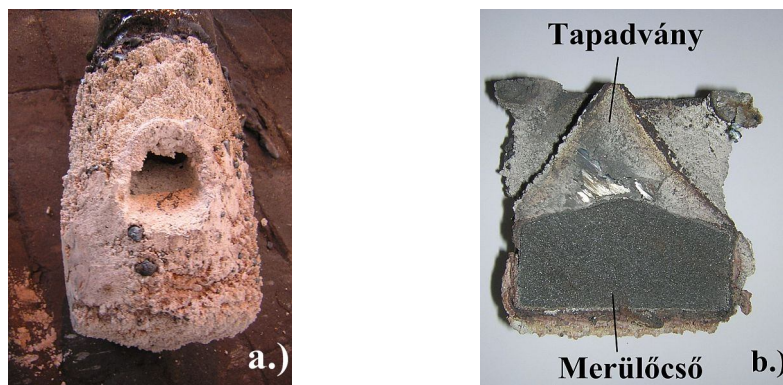
A minőségi acélok öntésénél alkalmazott zártöntésnél a szekvens minden adagjánál ugyanazon öntési szerelvényeket alkalmazzák, ezért **a fellépő kagylószűkülés jelenségét nem lehet egy-egy adagra vonatkoztatni.** Nem lehet eldönteni, hogy a kagylószűkülést okozó lerakódás a szekvens melyik adagjánál milyen arányban képződött. Pl. ha egy szekvens egyik adagjánál szükségessé vált a beavatkozás, az nem feltétlenül jelenti azt, hogy az nagyobb szűkülési hajlamot mutat, mint az azt megelőzők, előfordulhat, hogy annál az adagnál érte csak el a kritikus szintet a lerakódás. Bár a „Scan” felvételen (6.1.ábra) a dugó pozíció látható, azonban a bekövetkező változás mértékének megítélése szubjektív, nem lehet egyértelműen számszerűsíteni. Ezért inkább nem az öntési történései alapján minősítettem az egyes adagokat, hanem a teljes méréssorozatot vettem figyelembe a kagylószűkülésre visszavezethető öntésközbéli beavatkozások arányának meghatározásakor. Mivel a vizsgált szekvensok összes adagja tagja volt az elemzett sorozatoknak, így a kagylószűkülés kiváltó okainak, az elháríthatóság lehetséges módjainak meghatározásához a sorozat összes adagjának mért paramétereit egyesével értékeltem.



6.1. ábra Öntés közbeni „Scan” felvétel

6.2. Lerakódások vizsgálatánál alkalmazott ásványtani módszerek

A kagylószűkülés előidézője (2. fejezet) a különböző fémes és nemfémes zárványok lerakódása (6.2. ábra), ezért a jelenség feltárásához elengedhetetlen a lerakódások szerkezetének, összetételének vizsgálata.



6.2. ábra Szűkült (a – külső felület, b – belső felület) merülőcső

A kísérletek során használt merülőcsöveket összegyűjtöttem, hogy a rajtuk lerakódott rétegeket ásványtani módszerekkel megvizsgálva meghatározhassam azok összetételét és struktúráját,

ezáltal megállapíthassam a kagylószűkülés okát és mechanizmusát. Vizsgálataim során kétféle lerakódást találtam: merülőcső külső (6.2a. ábra), és belső (6.2b. ábra) felületén porszerű kiválás a merülőcső alsó részén pedig porózus szerkezetű tapadványt.

A talált lerakódásokat a Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Intézeti Tanszékén vizsgáltuk meg. A lerakódásokból vett pormintákat röntgen pordiffraktométerrel, a tapadványból készült polírozott mintát elektronmikroszkóppal (SEM-EDX), a tapadványról készült BSE (visszaszórt elektron) felvételeket pedig digitális képelemzéssel vizsgáltuk.

6.2.1. Pordiffrakciós mérés

A merülőcsövek külső és belső felületén porjellegű kirakódásokat találtam (6.1c ábra), amikből mintát vettünk, előkészítettünk és pordiffrakciós vizsgálattal analizáltunk. Az ábrán a számok a mintavételi helyeket jelölik.

A merülőcsövek külső és belső felszínéről származó porminták, bár kevésbé pontos információkat adnak mint a tapadványok, – a merülőcső öntés közben (különösen a külső része) folyamatosan (2.1. ábra) érintkezik a kristályosító salakjával – mégis érdemes megvizsgálni őket.

A minták – elsősorban a külső felszínről származók – a salakkal történő folyamatos kapcsolat miatt jelentős mennyiségben tartalmazhatnak olyan összetevőket is, amelyek az öntőporból származnak, pl. nátrium-aluminát, illetve olyan exoterm eredetű nemfemes zárványokat (pl. MgAl-spinellek), amelyek nagyméretük miatt könnyen felúsztak a salakba.

Minta-előkészítés: a kiválasztott mintákból mágnes segítségével az acél és magnetit/wüstit komponenseket eltávolítottuk, a mintákat porcelán, majd achát mozsárban, ~5 mikrométer szemcseméret alá porítottuk, ezt a port használtuk fel az XRD vizsgálatokhoz.

Készülék: Bruker D8 Advance pordiffraktométer

Mérés elve [45]: A röntgendiffrakciós (XRD) módszer kristályos anyagok azonosítását teszi lehetővé, a 0,05 – 0,25 nm hullámhossz-tartományba eső röntgensugarak diffrakciója révén. A mérés a vizsgált anyag egészének térrács szerkezetéről nyújt képet. Röntgendiffrakció esetén az ásványokra vonatkozó információk a diffraktált sugarak irányából és erősségéből számíthatók. A diffraktált sugarak iránya a kristály szerkezetében lévő atomok térbeli elrendeződésétől, intenzitása pedig a szerkezetre jellemző elemi cella tartalmától függ.

Kiértékelés: BrukerAXS DiffracPlus szoftvercsomagjának EVA-moduljával a Seach/Match algoritmussal történt a keresés az ICDD PDF-2(2005) adatbázisában.

6.2.2. Elektronmikroszkópos mikroanalízis

A merülőcsöveket elvágva (6.1b ábra) a tapadványt – némi falazat meghagyásával – eltávolítottuk, majd előkészítettük vizsgálatra.

Minta-előkészítés: a merülőcsöveket hosszirányban elvagtuk, a vizsgálandó felületből mintát készítettünk. A mintát epoxyval történt impregnálás után felpolíroztuk, majd a vizsgálathoz szénnel bevontuk.

Készülék: JEOL JXA-6800 Superprobe típusú elektronmikroszkóp.

Mérés elve [45]: A mintát elektronnyalábbal sugároztuk be. Ennek hatására a mintában lévő atomok gerjesztődnek, valamint a primer elektronok szóródnak, így visszaszórt elektronok, szekunder elektronok keletkeznek, valamint az adott elemekre jellemző karakterisztikus röntgensugárzást emittálnak. Ezen karakterisztikus sugárzások energiája (és hullámhossza) elemről elemre változik, ezt a jelenséget használtuk fel a kémiai elemek azonosításához. Egy bizonyos kémiai elem karakterisztikus sugárzásának intenzitása egy többelemes anyag gerjesztéséből annak koncentrációjával arányos, amely a kvantitatív analízist tett lehetővé.

6.2.3. Digitális képelemzés

Az elektronmikroszkópos felvételek közül azokat a felvételeket használtuk, amelyeknél a képalkotás visszaszórt elektronok segítségével történt. Ezek az elektronok rendszám érzékenyek, így a mintában lévő különböző elemeket tartalmazó fázisok más-más szürkeségi értékkel rendelkeznek. A képeket Dunaújvárosban Leica képelemző szoftverrel a szürkeségi érték különbség alapján egyesével elemezték.

6.3. Adatbázis összeállítása

A kagylószűkülés kiváltó okaként a nemfémes zárványok kirakódása jelölhető meg. Kísérleteim során a vizsgált adagok gyártása közben nyert adatok értékelése révén kerestem a kagylószűkülés okát, a szűkülést mutató, illetve a problémamentesen önthető adagok adatainak összehasonlításával. Ahhoz, hogy a kagylószűkülés okait feltárhassam és a javaslataim hatását értékelhessem, az adaggyártás közben nyert adatokból adatbázist állítottam össze.

Az acélgyártás-öntés különböző periódusaiból származó eredményeket a mintavétel időpontja, illetve a típusa szerint különböztettem meg (6.1-2. táblázat).

6.1. táblázat Adatok megjelölésére alkalmazott rövidítések

Próbavétel időpontja	rövidítés	mértékegység
Fúvatás után a konverterből származó minta	LD1, LDA, LD	
Csapolás előtti a konverterből származó minta	LD2	
Csapolás után az üstből vett minta	LDU	
Üstmetallurgiai kezelés elején vett minta	SLE	
Üstmetallurgiai kezelés végén vett minta	SLU	
Öntés közbeni a közbensőüstből vett minta	KÜ	
Öntés közben a kristályosítóból vett végpróba	VP	
Aktívoxigén-tartalom, -változás	$a_O, \Delta a_O$	ppm
Összoxigén-tartalom, -változás	$\Sigma O, \Delta \Sigma O$	ppm
Össznitrogén-tartalom, -változás	$\Sigma N, \Delta \Sigma N$	ppm
Oldotalumínium-tartalom, -változás	$Al_{sol}, \Delta Al_{sol}$	ppm
Oldotkalcium-tartalom, -változás	$Ca_{sol}, \Delta Ca_{sol}$	ppm
Összalumínium, -kalcium	$\Sigma Al, \Sigma Ca$	ppm
Salakösszetevő	FeO, Al_2O_3 , CaO	%
Hőmérséklet	T	°C
Alumínium-, kalciumadagolás	Al, Ca	kg

6.2. táblázat Az adatgyűjtés során figyelembe vett adatok

Paraméter		Próbavétel időpontja	rövidítés	Kivétel módja
Hőmérséklet [°C]		Konverterben próbavétel	T^{LD1}	Hőmérőszonda
		Konverterben csapolás előtt	T^{LD2}	
		Üstmetallurgiai kezelés elején	T^{SLE}	
		Üstmetallurgiai kezelés végén	T^{SLU}	
		Öntés közben (folyamatosan)	$T^{önt}$	
a_O - Aktívoxigén [ppm]		Konverterben próbavételkor	a_O^{LDA}	Aktívoxigén mérő szonda
		Üstmetallurgiai kezelés elején	a_O^{SLE}	
		Üstmetallurgiai kezelés végén	a_O^{SLU}	
Aktívoxigén változás [ppm]		Üstmetallurgiai kezelés során	$\Delta a_O^{SLE-SLU}$	számított
ΣO - összoxigén [ppm]		Csapolás után üstben	ΣO^{LDU}	Diszkipinszár
		Üstmetallurgiai kezelés elején	ΣO^{SLE}	
		Üstmetallurgiai kezelés végén	ΣO^{SLU}	
		Öntés közben a küzbenső üstből	ΣO^{KU}	
		Öntéskor végpróba vételekor	ΣO^{VP}	
Összoxigén változás [ppm]		Üstmetallurgiai kezelés során	$\Delta \Sigma O^{LDU-SLU}$	számított
		Üstmetallurgiai kezelés és öntés között	$\Delta \Sigma O^{SLU-VP}$	
ΣN - össznitrogén [ppm]		Konverterben próbavételkor	ΣN^{LDA}	Diszkipinszár
		Csapolás után üstben	ΣN^{LDU}	
		Üstmetallurgiai kezelés elején	ΣN^{SLE}	
		Üstmetallurgiai kezelés végén	ΣN^{SLU}	
		Öntéskor végpróba vételekor	ΣN^{VP}	
Össznitrogén változás [ppm]		Csapolás közben	$\Delta \Sigma N^{LDU-LDA}$	számított
		Üstmetallurgiai kezelés során	$\Delta \Sigma N^{SLU-LDU}$	
		Üstmetallurgiai kezelés és öntés között	$\Delta \Sigma N^{VP-SLU}$	
Alumíniumtar- talom [ppm]	oldott- alumíni- um	Csapolás után üstben	Al_{sol}^{LDU}	Diszkipinpróba
		Üstmetallurgiai kezelés elején	Al_{sol}^{SLE}	
		Üstmetallurgiai kezelés végén	Al_{sol}^{SLU}	
		Öntéskor végpróba vételekor	Al_{sol}^{VP}	
	ΣAl - Össz- alumí- nium	Csapolás után üstben	ΣAl^{LDU}	
		Üstmetallurgiai kezelés elején	ΣAl^{SLE}	
		Üstmetallurgiai kezelés végén	ΣAl^{SLU}	
		Öntéskor végpróba vételekor	ΣAl^{VP}	
Alum.tart. vált.[ppm]	oldott-Al	Üstmetallurgiai kezelés során	ΔAl_{sol}^{SLU-VP}	számított
	ΣAl	Üstmetallurgiai kezelés során	$\Delta \Sigma Al^{SLU-VP}$	
Salakösszetétel [%]	FeO-tart.	Konverterben próbavételkor	FeO^{LD}	Salak-minta
		Üstmetallurgiai kezelés elején	FeO^{SLE}	
		Üstmetallurgiai kezelés végén	FeO^{SLU}	
	CaO-tart.	Konverterben próbavételkor	CaO^{LD}	
		Üstmetallurgiai kezelés elején	CaO^{SLE}	
		Üstmetallurgiai kezelés végén	CaO^{SLU}	
	Al_2O_3 - tart.	Üstmetallurgiai kezelés elején	$Al_2O_3^{SLE}$	
		Üstmetallurgiai kezelés végén	$Al_2O_3^{SLU}$	
Salakösszetétel vált. [%]	FeO-tart.	Üstmetallurgiai kezelés során	$\Delta FeO^{SLE-SLU}$	számított
Időtartamok [perc]		Csapolás hossza	Δt^{csap}	mértt
		Üstmetallurgiai kezelés kezdete – öntés	$\Delta t^{SLE-önt}$	
		Üstmetallurgiai kezelés vége – öntés	$\Delta t^{SLU-önt}$	
		Üstmetallurgiai kezelés hossza	$t^{üstmet}$	
Alumíniumötvöztetés [kg]		Csapolás közbeni elődezoxidálás	$Al^{elődezox}$	
		Csapolás utáni salakredukálás	$Al^{salakred.}$	
		Üstmet. kezelés közben végdezoxidálás	$Al^{üstmet}$	

Argonozás		Fúvatás után a konverterben [m ³]	LD Ar	
		Felső argonfúvatás [perc]	Ar ^{Felső}	
		Lágy argonöblítés [perc]	Ar ^{Lágy}	
Kalciumötvözés [kg]		Üstmetallurgiai kezelés során	CaAl	Diszkipinpróba
Kalcium-tartalom [ppm]	ΣCa - Össz-kalcium	Üstmetallurgiai kezelés elején	ΣCa ^{PE}	
		Üstmetallurgiai kezelés végén	ΣCa ^{PU}	
		Öntéskor végpróbavételkor	ΣCa ^{VP}	
	oldott-kalcium	Üstmetallurgiai kezelés elején	Ca _{sol} ^{PE}	
		Üstmetallurgiai kezelés végén	Ca _{sol} ^{PU}	
		Öntéskor végpróbavételkor	Ca _{sol} ^{VP}	

Az első és harmadik sorozat adagjainak gyártása közben 52-52 (**6.3. táblázat**), a második kísérletsorozatnál pedig – kalciumos kezelés miatt – további 7 (**6.4. táblázat**), összesen 59 olyan paramétert találtam, ami a kagylószűkülés szempontjából befolyásolja, vagy jellemzi az acélgyártás folyamatát, az önthetőséget, illetve a késztermék minőségét.

6.3. táblázat Első, illetve harmadik sorozat – kalciummal nem kezelt adagok – adatbázisának összeállításakor figyelembe vett kiegészítő paraméterek

a _o [ppm]			Δa _o [ppm]	ΣO [ppm]				ΔΣO [ppm]	
a _o ^{LDA}	a _o ^{SLE}	a _o ^{SLU}	Δa _o ^{SLE-SLU}	ΣO ^{LDU}	ΣO ^{SLE}	ΣO ^{SLU}	ΣO ^{VP}	ΔΣO ^{LDU-SLU}	ΔΣO ^{SLU-VP}

ΣN [ppm]					ΔΣN [ppm]		
ΣN ^{LDA}	ΣN ^{LDU}	ΣN ^{SLE}	ΣN ^{SLU}	ΣN ^{VP}	ΔΣN ^{LDU-LDA}	ΔΣN ^{SLU-LDU}	ΔΣN ^{VP-SLU}

ΣAl [ppm]				ΔΣAl [ppm]	Al _{sol} [ppm]				ΔAl _{sol} [ppm]
ΣAl ^{LDU}	ΣAl ^{SLE}	ΣAl ^{SLU}	ΣAl ^{VP}	ΔΣAl ^{SLU-VP}	Al _{sol} ^{LDU}	Al _{sol} ^{SLE}	Al _{sol} ^{SLU}	Al _{sol} ^{VP}	ΔAl _{sol} ^{SLU-VP}

salak FeO-tartalma [%]				salak Al ₂ O ₃ -tart. [%]		salak CaO-tart. [%]		
FeO ^{LDS}	FeO ^{SLE}	FeO ^{SLU}	ΔFeO ^{SLES-SLU}	Al ₂ O ₃ ^{SLE}	Al ₂ O ₃ ^{SLU}	CaO ^{LD}	CaO ^{SLE}	CaO ^{SLU}

Hőmérsékletek [°C]					időtartamok [perc]			
T ^{LD1}	T ^{LD2}	T ^{SLE}	T ^{SLU}	T ^{önt}	Δt ^{csap}	Δt ^{SLE-önt}	Δt ^{SLU-önt}	t ^{üstmet.}

Al ötvözés [kg]			Argonozás		
Al ^{elődezox.}	Al ^{salakred.}	Al ^{üstmet.}	Ar ^{LD} [m ³]	Ar ^{felső} [perc]	Ar ^{lágy} [perc]

6.4. táblázat Második sorozat – kalciummal kezelt adagoknál – adatbázisának összeállításakor figyelembe vett kiegészítő paraméterek

Ca-ötvözés [kg]	Al,Ca tartalmak [ppm]					
CaAl	ΣCa ^{PE}	ΣCa ^{PU}	ΣCa ^{VP}	Ca _{sol} ^{PE}	Ca _{sol} ^{PU}	Ca _{sol} ^{VP}

Értékeléskor az 52 illetve 59 paraméter túlzottan soknak bizonyult, tehát csökkentenem kellett a figyelembe vett tényezők számát, ezért a következő lépésben metallurgiai megfontolások szerint szűkítettem a paraméterek körét.

6.4. Adatbázis szűkítése metallurgiai szempontból

Elhagytam azokat, amelyek vagy nem voltak egységesen vizsgáltak (pl. konverterben csapolás előtt mért hőmérséklet, kezelés elején vett próbák), vagy a primer adatok helyett változásuk sokkal fontosabb volt (pl. nitrogéntartalmak). Az elvégzett szűkítés után 36 (6.5. táblázat), illetve +7 paraméter maradt (6.6. táblázat).

6.5. táblázat Első, illetve harmadik sorozat – kalciummal nem kezelt adagok – értékelése során figyelembe vett paraméterek

a _o [ppm]				ΣO [ppm]				
a _o ^{LDA}	a _o ^{SLE}	a _o ^{SLU}	Δa _o ^{SLE-SLU}	ΣO ^{LDU}	ΣO ^{SLU}	ΣO ^{VP}	ΔΣO ^{LDU-SLU}	ΔΣO ^{SLU-VP}

ΔΣN [ppm]			salak FeO [%]		
ΔΣN ^{LDU-LDA}	ΔΣN ^{SLU-LDU}	ΔΣN ^{VP-SLU}	FeO ^{SLE}	FeO ^{SLU}	ΔFeO ^{SLE-SLU}

ΣAl [ppm]				Al _{sol} [ppm]			
ΣAl ^{LDU}	ΣAl ^{SLU}	ΣAl ^{VP}	ΔΣAl ^{SLU-VP}	Al _{sol} ^{LDU}	Al _{sol} ^{SLU}	Al _{sol} ^{VP}	ΔAl _{sol} ^{SLU-VP}

Hőmérsékletek [°C]			időtartamok [perc]			
T ^{LD1}	T ^{SLE}	T ^{SLU}	Δt ^{SLE-önt}	Δt ^{SLU-önt}	Δt ^{csap.}	t ^{üstmet.}

Al ötvözés [kg]			Argonozás		
Al ^{elődecox.}	Al ^{salakred.}	Al ^{üstmet.}	Ar ^{LD} [m ³]	Ar ^{felső} [perc]	Ar ^{lág} [perc]

6.6. táblázat Második sorozat – kalciummal kezelt adagok – értékelése során figyelembe vett kiegészítő paraméterek

Ca ötvözés [kg]	Al,Ca tartalmak [ppm]			
CaAl	ΣCa ^{PU}	ΣCa ^{VP}	Ca _{sol} ^{PU}	Ca _{sol} ^{VP}

6.5. A kísérletek értékelésekor alkalmazott statisztikai módszerek

Az összeállított adatbázis több ezer adata túlzottan nagy mennyiség volt ahhoz, hogy hagyományos módszerrel elemezzem. Ahhoz, hogy a paraméterek között az összefüggéseket megtaláljam nem elég a megérzések alapján összeállított diagramokon történő ábrázolás, majd regresszió keresése a vizsgált tényezők között: statisztikai elemzéssel megkönnyíthető és kiterjeszthető a vizsgálat. A statisztikai vizsgálatok elvégzésére a Statistica (version 9) programot használtam.

6.5.1. Meghatározó paraméterek kijelölése – faktoranalízis

A faktoranalízis a megfigyelt változók számának „csökkentésére” használatos, úgy, hogy a változókat összevonjuk ún. **faktor**-ba (transzformált változók lineáris kombinációiként). A változók számát úgy kívánjuk csökkenteni, hogy a műveletvégzés a lehető legkevesebb információ-vesztéssel járjon, vagyis a transzformált sokaságról az eredeti sokaságéval azonos következtetéseket lehessen levonni. Az eljárás arra is felvilágosítást ad, hogy mely változók a fontos, illetve kevésbé fontos (elhagyható) változók a vizsgált jelenségre vonatkozóan.[46]

Főkomponens elemzés

A főkomponens-elemzés célja az, hogy az adatokat úgy adjuk vissza kevesebb dimenzióban, hogy új, nem korrelált változók keletkezzenek. [47]

A kiindulási X eredeti adatmátrix N sorból (esetek száma) és M oszlopból (változók, tulajdonságok) áll (6.1).

$$X_{N,M} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1M} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{NM} \end{pmatrix} \quad (6.1)$$

Az X mátrix M darab korrelált változója (oszlopa) közötti összefüggések vizsgálatának megkönnyítésére az eredeti változókat egy olyan transzformációnak vetjük alá, amely új, korrelálatlan változókat eredményez. Ezek az új változók, a főkomponensek, amelyek az eredeti változók lineáris kombinációi. Úgy vannak sorba rendezve, hogy elől állnak azok, amelyek az eredeti változók együttes variációjának (az X mátrix összes elemére számított szórásnégyzetnek) legnagyobb részéért felelősek.

A főkomponens-elemzés alapgondolata az, hogy az eredeti X mátrixot két mátrix szorzatával adjuk meg, amely egyszerűsített, de az adatbázist ugyanolyan jól leírja. Végtelen sok ilyen felbontás létezik. Olyan megkötéssel, mint az ortogonalitás és normálás, a forgatástól eltekintve egyértelmű felbontást kapunk, ezek a **főkomponens-együttható** (loading) (P) és főkomponens (score) (T) mátrix (6.2).

$$X = T P^T \quad (6.2)$$

A főkomponenseket a maximum variancia kritériuma alapján határozzuk meg úgy, hogy a hozzájuk tartozó sajátérték nagysága alapján sorba rakjuk. Minden rákövetkező főkomponens annak a variációjának a legnagyobb részét írja le, amelyet nem magyaráztak meg az előző főkomponensek. Ezek szerint az adatokban lévő variancia legnagyobb részét az első főkomponens hordozza. A másodikban több információ van, mint a harmadikban, és így tovább. Összesen annyi főkomponenst számítunk ki, amennyi szükséges, hogy a teljes variancia előre meghatározott százalékát magyarázza. Ez legalább 2/3 vagy e feletti hányadot jelent. A variancia nagy része rendszerint leírható 1,2 vagy 3 főkomponens, illetve a maradékot tartalmazó hibamátrix (E) segítségével (6.3).

$$\begin{array}{c} M \\ \boxed{\mathbf{X}} \\ N \end{array} = \begin{array}{c} M \\ \boxed{\mathbf{p}_1^T} \\ N \end{array} \mathbf{t}_1 + \begin{array}{c} M \\ \boxed{\mathbf{p}_2^T} \\ N \end{array} \mathbf{t}_2 + \dots + \begin{array}{c} M \\ \boxed{\mathbf{p}_a^T} \\ N \end{array} \mathbf{t}_a + \begin{array}{c} M \\ \boxed{\mathbf{E}} \\ N \end{array} \quad (6.3)$$

A faktorok a transzformált változók lineáris kombinációiként, pl. az első főkomponens elemeiként állíthatók elő (6.4)

$$\begin{aligned}
 t_{11} &= x_{11}p_{11} + x_{12}p_{21} + \dots + x_{1M}p_{M1} \\
 t_{21} &= x_{21}p_{11} + x_{22}p_{21} + \dots + x_{2M}p_{M1} \\
 t_{N1} &= x_{N1}p_{11} + x_{N2}p_{21} + \dots + x_{NM}p_{M1}
 \end{aligned} \quad (6.4)$$

$t_i = i$ -edik standardizált eredeti változó ($\bar{t}_i = 0$, $s_i^2 = 1$, $N_{max} = p$),
 p_j = közös faktorok,
 M = közös faktorok száma (ideális esetben $M \ll p$),
 x_{Nj} = „faktor terhelések” (*factorloading*).

A faktorok sorszáma mutatja meg a paraméterek „fontossági sorrendjét”, azaz egyes faktorúak vannak a legjelentősebb hatással a többire. A faktoranalízis során kapott táblázatban feltüntetett értékek előjele nem mutatja kapcsolat irányát (pozitív vagy negatív értéke a kívánatosabb), ezt csak korrelációvizsgálattal lehet meghatározni.

6.5.2. Korrelációvizsgálat

Statisztikában a korreláció jelzi, hogy két tetszőleges érték ($x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_n$) nem független egymástól, megmutatja a közöttük lévő lineáris kapcsolat (6.5) nagyságát és irányát, azaz a korrelációt jelző -1 és +1 közötti érték nagysága és iránya jellemzi a kapcsolat „erejét” és előjelét.

$$r = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{(n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2) \cdot (n \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6.5)$$

Ha két véletlen mennyiség korrelációja nulla, akkor korrelálatlanok; ilyenkor a kapcsolatot – ha van –, másként kell jellemezni. A korreláció csak a lineáris kapcsolatot jelzi, például egy valószínűségi változó és négyzetének korrelációja lehet nulla. Természetesen az eredeti és a belőle származtatott mennyiségek – pl. két változó különbségeként képzett harmadik – között erős korreláció van. A statisztika csak számokat lát, amik között lehet véletlen kapcsolat is, ezért a feldolgozás előtt minden egyes kimutatott korrelációt szakmai szempontból is értékelni kell.

A korreláció nem függ az adatok nagyságától, de érzékeny a mintavételezésre: egy szűkebb mintából számított korreláció rendszerint kisebb, mint a bővebb mintából számolt, tehát nagyobb mennyiségű mintánál alacsonyabb korrelációs érték is már megfelelő lehet. A korreláció érzékeny a kivételes adatokra (outlierek): egy kivételes adat nagyon lecsökkentheti, vagy megnövelheti, ezért meg kell előznie egy kiugróérték vizsgálatnak.

6.5.3. Kiugróérték-vizsgálat

Kiugróérték-vizsgálat segítségével kiszűrhetők azon adatok, amelyek valamilyen ok miatt jelentős eltérést mutatnak a többihez viszonyítva. Ennek oka nemcsak hibás mérés lehet, hanem egy, esetleg több olyan tényező, körülmény megváltozása, ami kiugróan eltérő értékeket produkálhat a vizsgált jellemzőknél, azaz megfontolások alapján hihetetlen értéket.

A Gauss-görbe szerint az adatok 99,7 %-os valószínűséggel esnek a $\mu \pm 3\sigma$ tartományba. Kiugróértékek azok, amelyek ezen a sávon kívül vannak.

μ : várható érték (átlagérték) (6.6)

σ : szórásnégyzet (6.7)

$$\mu = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n m_i \quad (6.6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}\right)^2}{n-1}} \quad (6.7)$$

Az adatok között számos - mind a hasonlóakhoz viszonyítva, mind metallurgiai szempontból - hihetetlen értéket találtam. Amennyiben ezeket az értékeket kontrol nélkül felhasználtam volna, jelentősen sérült volna az értékelés hitelessége, ezért mielőtt az adatok értékelését megkezdtém volna kiugróérték-vizsgálatot végeztem.

Az adatok 0,58 %-a (7388-ből 43) kívül volt a $\mu \pm 3\sigma$ -tartományon, így kiestek az adatbázisból. Az elhagyott adatokat az aktuális táblázatokban sárga háttérrel kiemelve tüntettem fel a többi értékelt értékkel együtt.

7. Üzemi kísérletek

7.1. Első kísérletsorozat

Az aktuális állapot felmérésére szánt első sorozatban az St24 típusú acéloknak, illetve vele rokon minőségek (DSt24, EK4, DD11, Fe P13-B) a jelenleg is érvényes gyártási előírások alapján történő gyártását vizsgáltam (gyártási előírások a 2.sz. *mellékletben*). A kísérleti gyártás körülményeit egy kiadott kísérleti programban (1/2010/AC KP) (3.sz. *melléklet*) pontosítottuk.

A sorozatban tíz szekvensben, 54 adagot gyártottunk le az aktuális gyártási előírásokkal. Az első három szekvens merülőcsöveit (összesen hat darab) begyűjtöttem az ásványtani vizsgálatokhoz, a 6. fejezetben ismertetett adatokat statisztikai módszerekkel értékeltem.

7.1.1. Szűkülések aránya

Korábban már történtek technológiai módosítások (korábbi 60 mm-es átmérőről 65-re növelték az öntőüst kagylójának keresztmetszetét), de **a vizsgált szilíciumszegény alumíniummal csilapított acélminőségénél a kagylószűkülésre visszavezethető beavatkozások még mindig elég gyakorinak mondhatók (7.1. táblázat).**

7.1. táblázat. Öntés közbeni beavatkozások aránya az első kísérletsorozatnál

Öntés közbeni beavatkozások	Első sorozat (54 adag)	
Letapadás miatti dugómozgatás	3 adag	5,56 %
Üstkagyló tisztítása oxigénnel	14 adag	25,93 %
Merülőcső tisztítása oxigénnel	4 adag	7,41 %
Összesen	21 adag	38,9 %

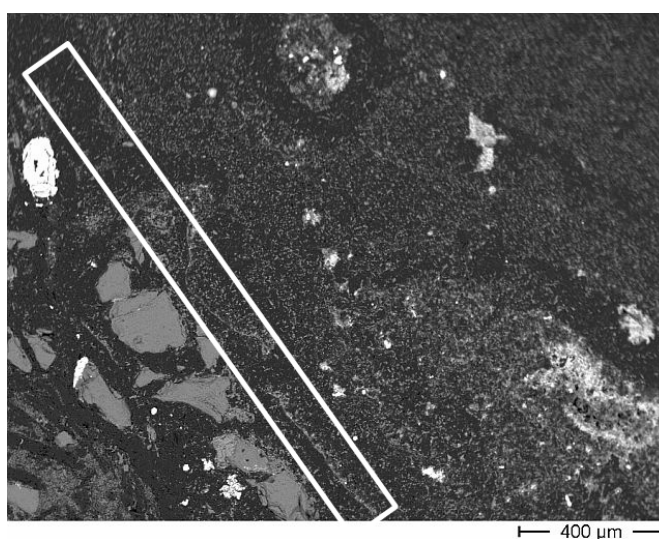
A beavatkozás után az öntött brammából vagy kivágják az érintett részt, vagy hengerlés előtt automatikusan csiszolásra küldik. A beavatkozások magas aránya tette indokolttá a kagylószerűlések mértékének csökkentését.

7.1.2. Szűkült kagylók vizsgálata

A begyűjtött hat merülőcső közül hármat (mindegyik szekvensből egyet-egyet) kiválasztottam és a 6.3. fejezetben ismertetett ásványtani vizsgálatoknak vetettem alá.

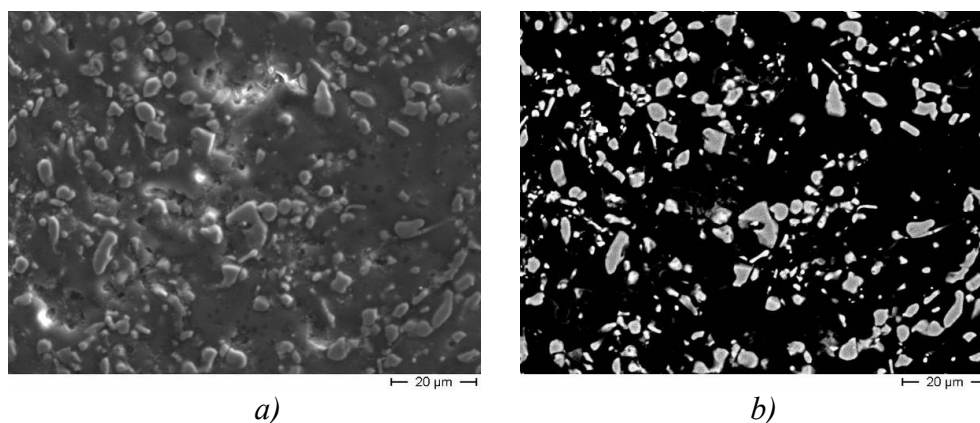
7.1.2.1. Tapadványvizsgálat

A tapadvány lerakódásának kezdetét feltárandó, megvizsgáltam a merülőcső belső oldalfal-tapadvány határfelületet (**7.1. ábra** - bekeretezve): nem találtam éles, jól kivehető, összefüggő határt. Valószínűleg a szemcsés felületen a mikroszkopikus üregekbe tapadtak meg a nemfémes zárványok, majd ezekre épülve alakult ki a tapadvány.



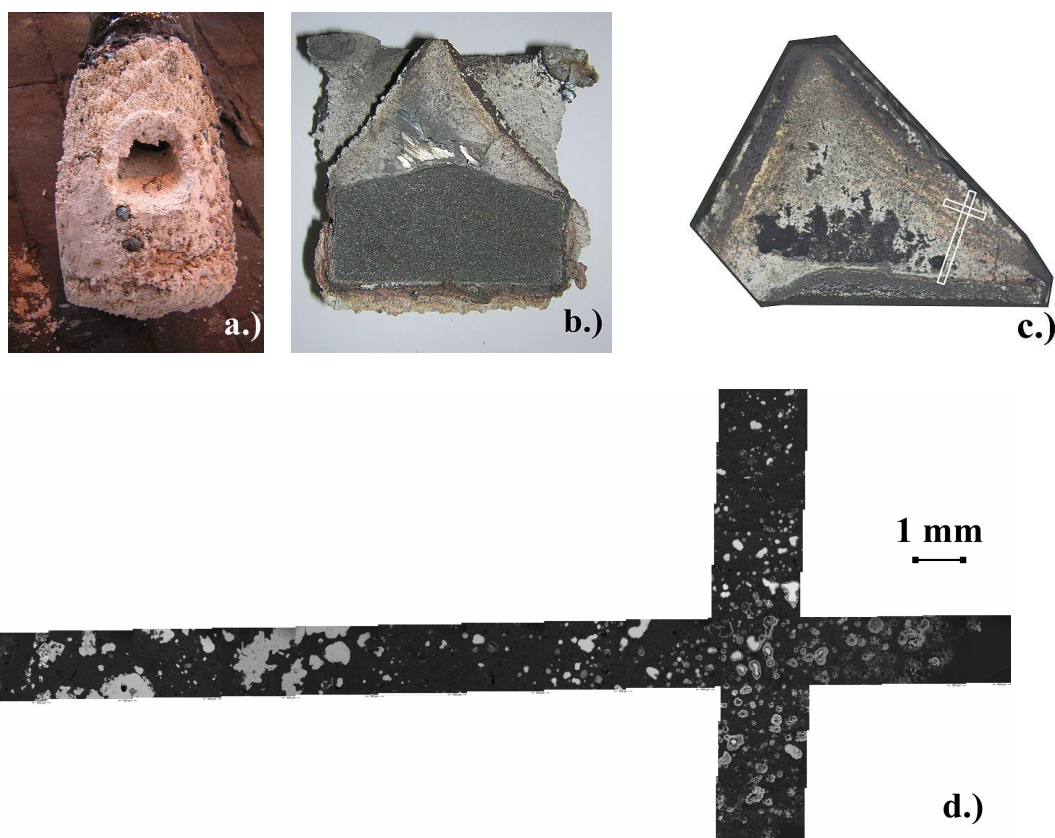
7.1. ábra A merülőoldalfal-tapadvány határfelület (visszaszórt elektronkép - BSE)

Megvizsgáltam a tapadványok szerkezetének túlnyomórészét kitevő alapszövetet, amely fő alkotója az alumíniumoxid volt (**7.2. ábra**). Jól kivehető, *hogy az erősen porózus szövet ~12 %-át kitevő tiszta Al_3O_3 zárványok között nincs semmilyen beazonosítható nemfémes alkotó*, mindössze a preparátum elkészítése során az üregek kitöltésére alkalmazott műgyantát és egyéb, kitöltetlen üregeket azonosítottam.



7.2. ábra Tapadvány alapszöveve (*a* – SE felvétel, *b* – BSE felvétel)

A használt merülőcsövek külső és belső felületéről, valamint a bennük talált tapadványról készített fotók és az elkészült SEM felvételek közül mindössze az első szekvensét (**7.3. ábrák**) ismertetem, a többi bemutatásától – mivel egymáshoz nagyon hasonlóak – eltekintek. A tapadványról készült SEM felvételeken talált különböző összetételű bezáródások, zárványok mennyiségét digitális képelemzéssel határoztuk meg (**7.2. táblázat**).



7.3. ábra Első sorozat első szekvens merülőcsöve (*a* – külső felület, *b* – belső felület, *c* – tapadvány (a mintavétel helye bejelölve), *d* – összeillesztett BSE felvételek)

7.2. táblázat Az első kísérletsorozat tapadványain elvégzett digitális képelemzés összesített területszázalékos eredményei

azonosított fázis	Al ₂ O ₃	Fe	FeO - FeAl ₂ O ₄	Ca-aluminát	üreg
szín	sötét szürke	fehér	világos szürke	közép szürke	fekete
1. szekvens	82,56 %	8,77 %	6,32 %	2,12 %	0,23 %
2. szekvens	87,48 %	8,93 %	2,91 %	0,44 %	0,24 %
3. szekvens	81,50 %	9,35 %	6,41 %	2,07 %	0,67 %
átlag	83,85 %	9,02 %	5,21 %	1,54 %	0,38 %

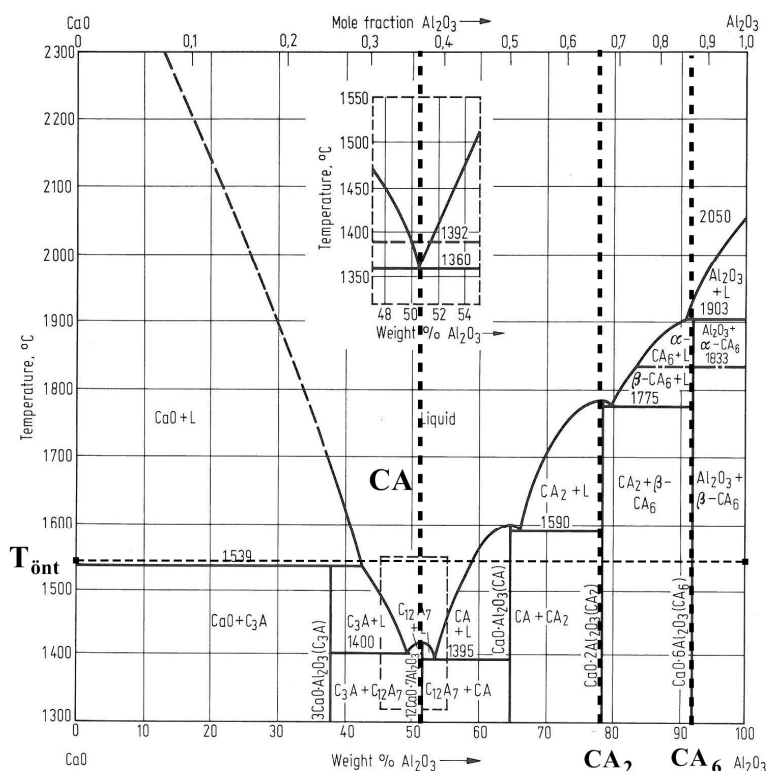
A legjellemzőbb zárványokat – a 6.2.2. fejezetben ismertetett – elektronmikroszkópos mikroanalízissel elemeztük (6.2.2. fejezet): *az alapmátrixban (Al₂O₃) acélbezáródásokat, vas-oxidot, kalcium-aluminátot* – (összetétel: 7.3. táblázat) – *és hercynit (FeAl₂O₄)* (7.4. táblázat) *zárványokat találtunk*. A vasoxid valószínűleg az alumíniumoxid szemcsék közé öntés során került acélbezáródásból származik, amely a merülőcső öntés utáni eltávolításakor oxidálódott. *Meglepetést okozott az összetétele alapján, egész biztosan szilárd kalcium-aluminát jelenléte (CaO(Al₂O₃)₆)* (a talált összetétel a CaO-Al₂O₃ egyensúlyi diagramon (7.4. ábra) bejelölve), mivel nem történt kalciumos kezelés. *Bár számszerűleg nem jelentős a mennyisége, azonban nagyon jól jelzi, hogy az üstsalak a túlzottan intenzív alsó és felső argonöblítés hatására bekeveredett. A salak bekeveredésének fontos hozadéka, hogy az üstsalak magas* (a max. 1 % helyett átlagosan 8,25 %) *FeO-tartalma reoxidációt okozhatott* [17], ami további alumínium-oxid és hercynit képződését eredményezhetett.

7.3. táblázat Az első kísérletsorozat tapadványaiban talált kalcium-aluminátok tömegszázalékos összetétele

fázis	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	FeO	ZrO ₂
1. mérés	85,39 %	9,4 %	2,37 %	1,48 %	0,55 %	0,8 %
2. mérés	90,3 %	7,75 %	-	0,92 %	1,02 %	-
3. mérés	87,62 %	9,61 %	-	2,76 %	-	-
átlag	87,77 %	8,92 %	0,79 %	1,72 %	0,52 %	0,27 %

7.4. táblázat Az első kísérletsorozat tapadványaiban talált FeAl₂O₄ tömegszázalékos összetétele

fázis	Al ₂ O ₃	FeO	MgO
1. mérés	74,29 %	20,43 %	5,28 %
2. mérés	33,98 %	64,15 %	1,86 %
3. mérés	16,74 %	81,99 %	1,27 %
átlag	41,67 %	55,52 %	2,80 %



7.4. ábra Kalciumoxid - alumínium-oxid rendszer állapotábrája az első sorozatnál talált kalcium-aluminátok feltüntetésével

A porózus szerkezetű tapadványokban kis mennyiségben találtam a vágás során kipergett acélcseppek nyomát, inkább bezáródottak voltak jellemzők (10,70 %). A bezáródott acélcseppek környezetében, illetve kipergették helyén olyan üregeket találtam, amelyek felületén FeO-t és különböző összetételű hercynitet (FeAl_2O_4) analizáltam. *Ez alátámasztja azt a feltételezést, hogy a salakkal bekeveredett, illetve egyéb reoxidáció során képződött FeO, mivel jól nedvesíti az Al_2O_3 -t összetapasztja azokat, ezáltal is fokozva a szűkülési hajlamot.*

7.1.2.2. Porminták elemzése

A merülőcsövek külsejéről (7.5. táblázat) származó porminták kiugróan nagy mennyiségben tartalmaznak – feltételezhetően nagy méretű – MgAl-spinellt. Ennek oka feltehetőleg az, hogy az intenzív fürdőmozgás miatt nemcsak könnyebben „szakítottak le” mikroszkopikus szemcsék az öntőüst tűzállóanyagból készült belső faláról, hanem a felúszásuk esélye is jelentősen csökkent a tisztító öblítés elmaradása miatt.

7.5. táblázat Az első kísérletsorozat merülőcsöveinek külsejéről származó porminták százalékos összetétele

azonosított fázisok	Al_2O_3	MgAl-spinell	$\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$	$\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_6$	CaAl_4O_7	Fe_2O_3
1.szekvens	57,7 %	25,0 %	4,8 %	7,7 %	1,8 %	2,1 %
2.szekvens	72,4 %	10,9 %	8,2 %	3,3 %	0,9 %	4,3 %
3.szekvens	62,9 %	28,9 %	3,5 %	2,7 %	0,0 %	2,1 %
átlag	64,33 %	21,60 %	5,50 %	4,57 %	0,90 %	2,83 %

A belső felületen talált (7.6. táblázat) nagymennyiségű kalcium-aluminát (összesen 9,46 %) szintén bizonyítja a tapadvány elemzésekor (7.1.2.1. fejezet) talált $\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_6$ eredetéről alkotott hipotézist: miszerint a túlzottan intenzív argonöblítés nemcsak megakadályozta a megfelelő zárványtalanítást, hanem még az öntőüst salakjából is leszakított és belemosott darabokat, így okozva reoxidációt. (1. Tézis)

7.6. táblázat Az első kísérletsorozat merülőcsöveinek belső felszínéről származó porminták százalékos összetétele

azonosított fázisok	Al_2O_3	MgAl-spinell	$\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$	$\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_6$	CaAl_4O_7	Fe_2O_3
1.szekvens	64,0 %	25,2 %	0,5 %	7,6 %	2,6 %	1,0 %
2.szekvens	71,7 %	9,1 %	0,7 %	14,7 %	0,8 %	2,9 %
3.szekvens	73,2 %	15,6 %	0,6 %	2,7 %	0,0 %	8,0 %
átlag	69,63 %	16,63 %	0,60 %	8,33 %	1,13 %	3,97 %

7.1.2.3. Ásványtani vizsgálatok értékelése

Az ásványtani vizsgálatok eredménye szerint, *a lerakódások túlnyomórészt (~90 %) különböző oxidokból állnak. (1. Tézis)*

A lerakódásokban zömében a dezoxidálásból eredő endogén (~70-80 %), kisebb részt (~20-30 %) – az öntőüst salakból illetve a tűzálló falazatból származó – exogén zárványok a főalkotók. (1. Tézis)

A salakból eredő kalcium-aluminát zárványok nemcsak a magas olvadási hőmérsékletük miatt jelentenek gondot, hanem a salak túlzottan magas vasoxid-tartalma miatt bekeveredésekor reoxidációt okozhatott, ami további lerakódásra hajlamos oxidok képződését eredményezhette.

A salakbekeveredés megakadályozása, illetve a már bekerült exogén zárványok eltávolítása nagyon fontos feladat, ennek lehetséges – a már 4.2.2. fejezetben összefoglalt – megoldásai(3. Tézis):

- *a felső argonbefúvás elkerülése,*
- *tisztító kis intenzitású (lágy) alsó argonkezelés szükséges alkalmazása az üstmetallurgiai kezelés utolsó szakaszában.*

7.1.3. Adagok statisztikai értékelése

Az ásványtani elemzések eredményei is alátámasztották a szakirodalomból már ismert tény, miszerint *a kagylószűkülés első számú okozója az acél zárványtartalma*, hidegen hengerelhető acéloknál ezek közül *az oxidok, amik mennyiségét az összoxigén-tartalommal lehet jellemezni*, ezért a (6.4. fejezetben ismertetett) mérési adatok elemzésekor (4.sz. Melléklet) ebben az irányban indultam el.

A folyamatos öntés technológiájából és a mintavételi lehetőségekből adódóan az *üstmetallurgiai kezelés vége és a végpróba vétele közötti időszakban bekövetkezett összoxigén-szint változás (ΣO^{SLU-VP}) mutatja meg a lerakódásra hajlamos oxidzárványok mennyiségét*. Bár a zárványok egy része a Stokes-törvény értelmében egész biztosan felúszik – az öntőüst, a közbensőüst és a kristályosító tetején lévő – salakba, mégis egy hányaduk az öntőszerelvényekre kirakódva keresztmetszet-csökkenést okoz. *Minél magasabb ez a változás ($\Delta \Sigma O^{SLU-VP}$), annál nagyobb valószínűséggel kerülnek szilárd oxidok az öntési szerelvényekbe, amelyek lerakódva kagylószűkülést okozhatnak*

A statisztika eszközt alkalmaztam arra, hogy meghatározzam mi befolyásolja a ΣO^{SLU-VP} értékét, mik a csökkentésének a lehetőségei, ehhez faktoranalízist és korrelációkeresést (Spearman-féle rangkorrelációs vizsgálat) végeztem.

7.1.3.1. Legfontosabb paraméterek keresése faktoranalízis segítségével

Faktoranalízis segítségével megvizsgáltam, hogy mely paraméterek vannak a legnagyobb befolyással a többire, ahhoz hogy a későbbiekben már csak ezekre koncentráljam a vizsgálataimat.

A 6.4. fejezetben kijelölt paramétereken elvégzett faktor analízis eredménye (7.7. táblázat) szerint a legfontosabb paraméterek:

- 1-es faktor: a_O^{SLE} , $\Delta a_O^{SLE-SLU}$, ΣAl^{LDU} , Al_{sol}^{LDU} , T^{SLE} , $Al^{üstmet}$
- 2-es faktor: ΣAl^{SLU} , ΣAl^{VP} , Al_{sol}^{SLU} , Al_{sol}^{VP}
- 3-as faktor: ΣO^{SLU} , $\Delta \Sigma O^{LDU-SLU}$, $\Delta \Sigma O^{SLU-VP}$
- 4-es faktor: $\Delta t^{SLE-önt}$, $\Delta t^{SLU-önt}$
- 5-ös faktor: $Al^{elődezőx.}$
- 6-os faktor: $\Delta \Sigma N^{SLU-LDU}$, $\Delta \Sigma N^{VP-LDU}$
- 7-es faktor: $\Delta \Sigma Al^{SLU-VP}$, ΔAl_{sol}^{SLU-VP}

A hagyományosan követett technológia esetén legfontosabb befolyással a kezelés elején mért hőmérséklet (T^{SLE}), az aktívóxi-gén-szint (a_O^{SLE}) és kezelés közbeni változása ($\Delta a_O^{SLE-SLU}$), a végdeoxidálás során adagolt alumínium mennyisége ($Al^{üstmet}$), illetve a belőlük származó össz- illetve oldott alumíniumtartalmak és változások (ΣAl^{LDU} , Al_{sol}^{LDU} , ΣAl^{SLU} , ΣAl^{VP} , Al_{sol}^{SLU} , Al_{sol}^{VP}). Ezen paraméterek befolyásolása a legfontosabb feladat, ezek mellett a reoxidáció elkerülése is kiemelt jelentőségű, amit a 7.8. táblázat is alátámaszt.

7.1.3.2. Korrelációanalízis

A Statistica program segítségével elvégeztem a Spearman-féle rangkorrelációs vizsgálatokat: a kapott táblázat nagy mennyiségű korrelációt mutatott (5.sz. melléklet), ezért csak a kagylószűkülés szempontjából leglényegesebbeket emelem ki (7.8-9. táblázat). Megfigyelhető, hogy bár korrelációk száma nagy – nagyobb minta miatt kisebb korreláció is elegendő lehet a kimutatási határhoz –, de az értékük meglehetősen alacsonyak.

Kagylószűkülés szempontjából megvizsgáltam a korrelációanalízis eredményeként megkapott táblázatot (5.sz. melléklet) és kiemeltem azokat, amelyek megmutatják a kezelés vége és a végpróba vétele közötti összoxigén-szintben mért változással ($\Delta \Sigma O^{SLU-VP}$) kapcsolatos összefüggéseket (7.8. táblázat).

7.8. táblázat Az első sorozat kezelés vége és a végpróba vétele közötti összoxigén-szintben mért változás ($\Delta \Sigma O^{SLU-VP}$) és a ráható paraméterek korrelációi

ΣO^{SLU}	$\Delta \Sigma O^{LDU-SLU}$	$\Delta \Sigma N^{VP-LDU}$	FeO^{SLU}
0,942	-0,462	-0,303	0,410

7.9. táblázat Az első sorozatnál a kezelés végén mért összoxigén-szintre (ΣO^{SLU}) ható paraméterek korrelációi

	$\Delta \Sigma N^{VP-LDU}$	FeO^{SLU}	$\Delta t^{SLE-önt}$
ΣO^{SLU}	-0,316	0,398	-0,288

7.7. táblázat Faktoranalízis eredménye (első sorozat)

Variable	Factor Loadings (Varimax normalized) Extraction: Principal components (Marked loadings are >.700000)						
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7
a_o^{LDA}	0,305	0,274	-0,229	0,343	-0,181	-0,048	0,561
a_o^{SLE}	0,920	-0,171	0,123	-0,012	0,023	0,006	0,137
a_o^{SLU}	0,215	-0,279	0,160	0,205	-0,639	0,080	0,491
$\Delta a_o^{SLE-SLU}$	0,924	-0,155	0,115	-0,025	0,066	0,001	0,107
ΣO^{LDU}	0,324	-0,459	-0,115	0,015	0,089	-0,672	0,130
ΣO^{SLE}	0,309	-0,048	0,038	-0,146	0,001	-0,824	0,121
ΣO^{SLU}	-0,049	-0,008	-0,165	-0,865	0,269	-0,184	0,007
ΣO^{VP}	0,648	-0,301	0,170	0,276	-0,067	0,147	-0,082
$\Delta \Sigma O^{LDU-SLU}$	0,264	-0,312	0,054	0,711	-0,156	-0,317	0,084
$\Delta \Sigma O^{SLU-VP}$	-0,124	0,028	-0,178	-0,860	0,265	-0,193	0,017
ΣN^{LDA}	-0,511	0,204	-0,113	-0,013	-0,002	-0,117	-0,348
ΣN^{LDU}	-0,278	0,517	0,735	0,003	-0,084	-0,103	-0,090
ΣN^{SLE}	-0,227	0,605	0,681	-0,095	-0,099	-0,100	0,024
ΣN^{SLU}	-0,142	0,448	0,742	0,031	-0,005	-0,277	0,317
ΣN^{VP}	-0,390	0,205	0,720	0,055	0,006	-0,160	-0,408
$\Delta \Sigma N^{LDU-LDA}$	0,198	0,258	0,705	0,014	-0,068	0,012	0,217
$\Delta \Sigma N^{SLU-LDU}$	0,170	0,027	0,236	0,052	0,122	-0,356	0,734
$\Delta \Sigma N^{VP-SLU}$	-0,308	-0,282	-0,001	0,031	0,014	0,133	-0,874
ΣAI^{LDU}	-0,921	0,018	0,169	0,037	0,033	0,161	-0,137
$\Sigma AISLE$	-0,921	-0,008	0,190	0,114	0,069	0,127	-0,053
ΣAI^{SLU}	-0,106	0,870	0,065	0,086	0,344	-0,001	0,031
ΣAI^{VP}	-0,105	0,859	0,181	0,201	-0,102	0,113	0,078
$\Delta \Sigma AI^{SLU-VP}$	-0,009	0,081	-0,202	-0,200	0,823	-0,205	-0,081
AI_{sol}^{LDU}	-0,938	0,010	0,126	0,060	0,098	0,169	-0,134
AI_{sol}^{SLE}	-0,906	0,011	0,207	0,129	0,102	0,164	-0,055
AI_{sol}^{SLU}	-0,125	0,851	0,088	0,065	0,372	0,191	0,142
AI_{sol}^{VP}	-0,176	0,874	0,100	0,188	-0,035	0,091	0,088
ΔAI_{sol}^{SLU-VP}	0,046	0,216	0,006	-0,181	0,769	0,219	0,129
FeO^{SLES}	0,339	-0,396	0,207	-0,673	-0,045	0,075	-0,188
FeO^{SLUS}	0,189	-0,225	-0,079	-0,799	-0,154	0,031	-0,040
$FeO^{SLES-SLUS}$	0,362	-0,415	0,510	-0,084	0,145	0,096	-0,297
T^{LD1}	-0,089	0,156	-0,582	-0,136	-0,577	-0,114	-0,178
T^{LD2}	0,418	0,049	-0,255	-0,266	-0,689	-0,036	-0,011
T^{SLE}	0,669	-0,251	0,423	-0,039	-0,167	-0,302	-0,174
T^{SLU}	0,400	0,021	0,243	0,020	-0,287	0,308	0,657
$T^{\text{önt}}$	0,347	-0,097	0,165	-0,301	-0,366	-0,441	0,042
$t^{SLE-\text{önt}}$	-0,039	0,500	-0,003	0,627	0,153	-0,044	0,034
$t^{SLU-\text{önt}}$	-0,202	0,432	-0,076	0,569	0,295	0,177	0,271
t^{SL}	0,271	-0,204	0,165	-0,275	-0,321	0,186	-0,533
t^{csap}	0,344	0,120	0,153	0,095	-0,304	-0,463	-0,501
$AI^{elődezo}$	0,129	0,075	0,799	0,319	0,090	0,223	0,280
$AI^{salakred}$	0,138	-0,063	0,749	-0,021	-0,125	0,081	-0,115
$AI^{üstmet}$	0,784	-0,008	0,267	0,030	-0,167	-0,196	0,042
LD Ar	-0,504	0,353	-0,516	-0,071	-0,361	-0,063	-0,038
Argon ^{Felső}	-0,122	-0,476	0,557	0,432	0,030	-0,114	-0,092
Argon ^{Lágy}	0,209	0,454	0,170	-0,313	0,001	0,450	-0,099
Prp.Totl	0,198	0,136	0,130	0,107	0,083	0,062	0,083

Mint látható, *igen nagy hatással van a kezelés végén mért összoxigén-szint (ΣO^{SLU}) a szűkülési hajlamot legjobban jellemző ΣO^{SLU-VP} -ra*, ezért megvizsgáltam az ehhez tartozó korrelációkat is (7.9. táblázat). Említésre méltó szerepe van *a kezelés során mért összoxigén-tartalom változásnak ($\Delta \Sigma O^{LDU-SLU}$)* és tapasztalt *reoxidációs hatásoknak* is: mind a *levegő oxigén-tartalma* (ezt jelzi a nitrogén-tartalomban mért változás - $\Delta \Sigma N^{VP-LDU}$), mind az *üstsalak vasoxid-tartalma okozta oxidációnak* (FeO^{SLU}). **(2. Tézis)**

Fontos eredmény az, hogy bebizonyosodott, milyen komoly befolyással van az öntésre várás során tapasztalt összoxigén-tartalom változásra és ezáltal az oxidok lerakódására, a kezelés elején mért jellemzőkre (ΣO^{LDU} , ΣAl^{LDU} , Al_{sol}^{LDU}) az aktív oxigén-szintek, a felúszásra rendelkezésre álló időtartam és az üstsalak összetétele (7.1.2.3. fejezet)

7.1.4. Adatbázis értékelése

Mivel az ásványtani vizsgálatok rámutattak az oxidok mennyiségének szerepére, ezért *az acél összoxigén-tartalmának* a gyártási folyamat során, különböző technológiai állapotokban mért eredményeit vizsgálva kerestem a kagylószűküléshez vezető jelenségeket, a hatásuk mérésének lehetőségeit. (7.10. táblázat). Szerencsére sikerült 10 adagnál a közbensőüstből is próbát venni, majd meghatározni az ottani összoxigén-tartalmat. Ez igen fontos információval szolgált annak megértéséhez, hogy hol és milyen mértékben zajlik az acél oxidtartalmának távozása az olvadékból a salakba.

7.10. táblázat A különböző időszakokban mért átlagos összoxigén-tartalmak és változások [ppm]

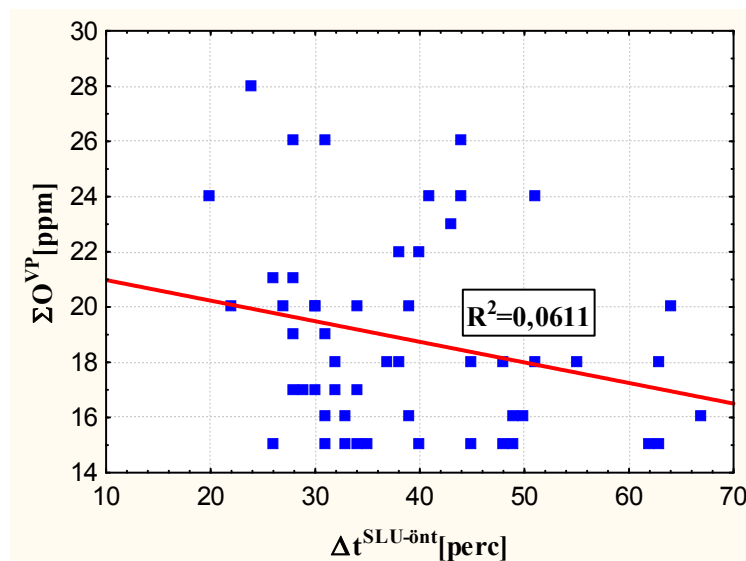
ΣO^{LDU}	ΣO^{SLU}	$\Sigma O^{KÜ}$	ΣO^{VP}	$\Delta \Sigma O^{LDU-SLU}$	$\Delta \Sigma O^{SLU-VP}$	$\Delta \Sigma O^{SLU-KÜ}$	$\Delta \Sigma O^{KÜ-VP}$
102,2	68,4	41,1	19,2	33,8	49,2	27,3	21,9

Jól látható, hogy a végpróba összoxigén-tartalma tökéletesen teljesítette az összetételi előírás által megszabott $\Sigma O^{VP} < 50$ ppm-es értéket, de csak a kezelés utáni jelentős csökkenésnek köszönhetően, amely mindenképpen vizsgálandó. Bár nem sikerült a közbensőüstből minden adagnál mintát venni, mégis bebizonyosodott, hogy *a mért csökkenés 55 % a kezelés vége és az öntés kezdete között az öntőüstben, a többi 45 % pedig a közbenső üstöt elhagyva teljesült. Az oxid zárványok egy része valószínűleg fel tudott úszni az öntőüst, közbensőüst illetve a kristályosító tetején képzett salakba* (a kristályosítósalak Al_2O_3 -tartalma a felhasznált öntőporra jellemző 7,66 %-ról megnőtt 31,38 %-ra). *Az öntés során a relatíve komoly mennyiségű visszamaradt oxidzárvány olyan lerakódást képezhetett az öntő- és közbensőüst kagylókban, illetve a hozzájuk csatlakoztatott sugárvédő- illetve merülőcsőben, ami megmagyarázza a közel 40 %-os öntés közbeni beavatkozási arányt* (7.1 táblázat). Az öntőüst kagylójában és a sugárvédőcsőben kirakódott oxidok mennyiségére $\Delta \Sigma O^{SLU-KÜ}$ értékéből, a közbensőüst kagylójában és a merülőcsőben képződött lerakódásról pedig a $\Delta \Sigma O^{KÜ-VP}$ -ből lehet következtetni.

Ahhoz, hogy megtaláljam a kagylószűkülést előidéző hatásokat és a technológia módosítására tett javaslataimat elkészíthessem: diagramokon ábrázoltam a mérések eredményeit. A változás mértékének és irányának meghatározásához trendvonalat vettem fel, aminek legfontosabb jellemzője az iránytangense, illetve az illeszkedését jellemző R^2 érték.

A Stokes-törvény szerint a pihentetés, tehát az üstmetallurgiai kezelés vége és az öntés megkezdése közötti idő nagysága pozitív hatással van a tisztaság növelésére, mint a 7.5. ábra is mutatja az öntésre várás idejének (átlag 38,3 perc) növekedésével a végpróba zárványtartalma csök-

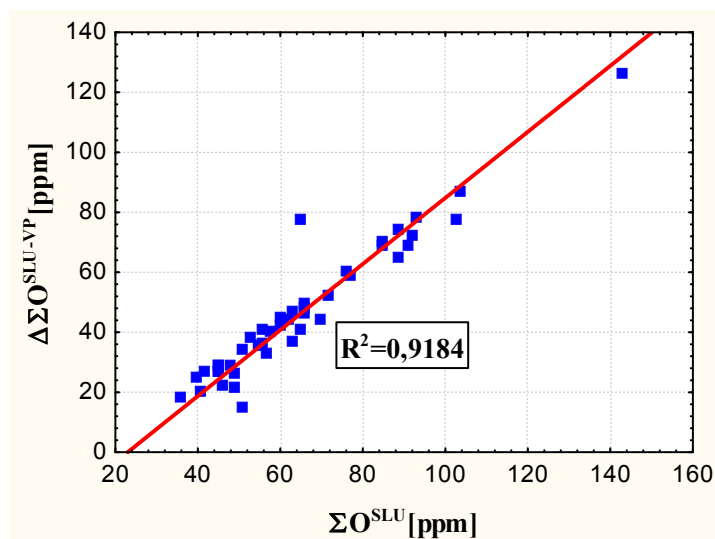
ken, azaz megnőtt az acélból eltávozott zárványok száma. De egyrészt nem lehet teljesen egyértelmű kapcsolatot kimutatni (túlzottan alacsony a regresszió mértékét jelző R^2 index) közöttük, másrészt nem lehet biztosan tudni, hogy hová távoztak az oxidzárványok (salakba úsztak fel, vagy kirakódtak). Nem utolsó sorban az elhűlés veszélye miatt **nem a pihentetéssel elért tisztulás a megoldás, hanem sokkal inkább a megfelelő intenzitású tisztító hatású argonos agitálás.**



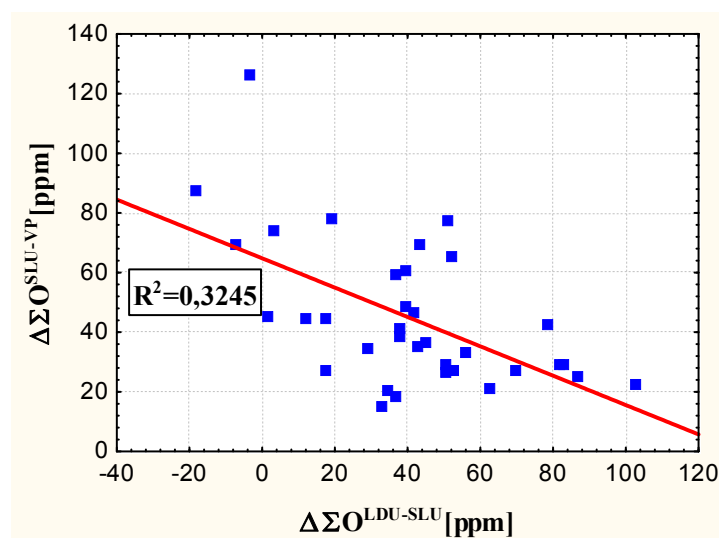
7.5. ábra Az öntésre várás időtartamának hatása a végpróba összoxigén-tartalmára

7.1.4.1. A kezelés utáni összoxigén-tartalom változására ható paraméterek

Az ásványtani vizsgálatok alapján a kagylószűkülés legfontosabb előidézőjeként – hőmérsékletet leszámítva – az acél üstmetallurgiai kezelésének vége és a végpróba vétele közötti összoxigén-szint változását ($\Delta\Sigma O^{SLU-VP}$) azonosítottam. Mivel közvetlenül nem lehet ezt a változást befolyásolni, ezért meg kell keresni az erre ható paramétereket, majd ezeken keresztül lehet mérsékelni a lerakódások mennyiségét. Az elvégzett statisztikai vizsgálatok két paramétert (ΣO^{SLU} , $\Delta\Sigma O^{LDU-SLU}$) jelölték meg, mint az erre a legfontosabb befolyással rendelkezőket, ezért első lépésben ezeket vettem össze a $\Delta\Sigma O^{SLU-VP}$ -vel (7.6-7. ábra).



7.6. ábra A kezelés végén mért összoxigén hatása a kezelés utáni összoxigén változásra



7.7. ábra A kezelés során mért összoxigén-tartalom változás hatása a kezelés utáni összoxigén változásra

A 7.6,7. ábra világosan rámutat, hogy a $\Delta\Sigma O^{SLU-VP}$ minimalizálása érdekében **törekedni kell a minél alacsonyabb kezelés végi összoxigén-tartalomra** (ΣO^{SLU}), ennek három lehetősége van:

- a lehető legkisebb csapolás utáni összoxigén-tartalom (ΣO^{LDU}) elérése,
- az üstmetallurgiai kezelés során a kirakódásra hajlamos szilárd oxidok (pl. Al_2O_3) képződésének minimalizálása
- az üstmetallurgiai kezelés alatt a szilárd zárványok – elsősorban az oxidok pl. $CaO.(Al_2O_3)_6$ – mennyiségének csökkentése.

ezért megvizsgáltam az ezeket befolyásoló egyéb hatásokat.

7.1.4.2. A kezelés utáni összoxigén-tartalom változására ható paraméterek szabályozása

a) Csapolás utáni összoxigén-szint csökkentése

A szilíciumszegény, alumíniummal csillapított acél gyártásakor – elődezoxidálásként – csapolás közben nagy mennyiségben adagolnak alumíniumot. Az **alumínium egyik feladata az acél szabad állapotú oxidtartalmának alumíniumoxiddá alakítása** (3.1. fejezet), a másik pedig a **visszamaradt aktívoxigén-szinttel való egyensúly tartása** (Al_{sol}^{LDU})

Mivel a szilíciumszegény, alumíniummal csillapított acél csapolás után mért összoxigén-tartalma (ΣO^{LDU}) túlnyomórésze a csapoláskor keletkezett alumínium-oxidból áll, ezért **ahhoz, hogy az összoxigén-tartalmat mérsékelhessük, csökkenteni kell a csapolás előtti aktívoxigén-szintet**. Amennyiben csapolás előtt sikerül 100 ppm-mel mérsékelni a szabadoxigén mennyiségét (7.1,2), akkor csökkenteni lehet a dezoxidálási célból a csapoláskor adagolt alumínium tömegét.

$$\Delta a_O^{LDA-SLE} = 600 \text{ ppm csökkentésére} \rightarrow 1,275 \text{ kg Al/t acél} \quad (7.1)$$

$$\Delta a_O^{LDA-SLE} = 500 \text{ ppm csökkentésére} \rightarrow 1,06 \text{ kg Al/t acél} \quad (7.2)$$

Ha a kezelés végi aktívoxigén-szint (a_O^{SLU}) nem túlzottan alacsony az előírthoz (5>ppm) képest, akkor az azzal egyensúlyt tartó oldott alumínium-tartalom (Al_{sol}^{LDU}) is mérsékelhető:

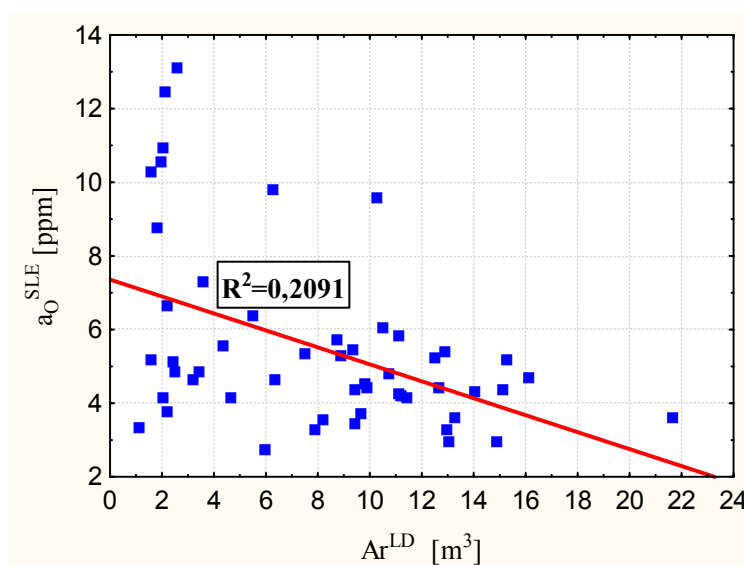
$$Al_{sol}^{LDU} \quad 0,06 \% \text{ előírás biztosítására} \rightarrow 0,6 \text{ kg Al/ t acél} \quad (7.3)$$

$$Al_{sol}^{LDU} \quad 0,05 \% \text{ előírás biztosítására} \rightarrow 0,5 \text{ kg Al/ t acél} \quad (7.4)$$

Összességében így több mint $\sim 0,3$ kg Al/t acél adagolása takarítható meg, ami közel 60 ppm-nyi összoxigén-tartalom csökkenést eredményezhet.

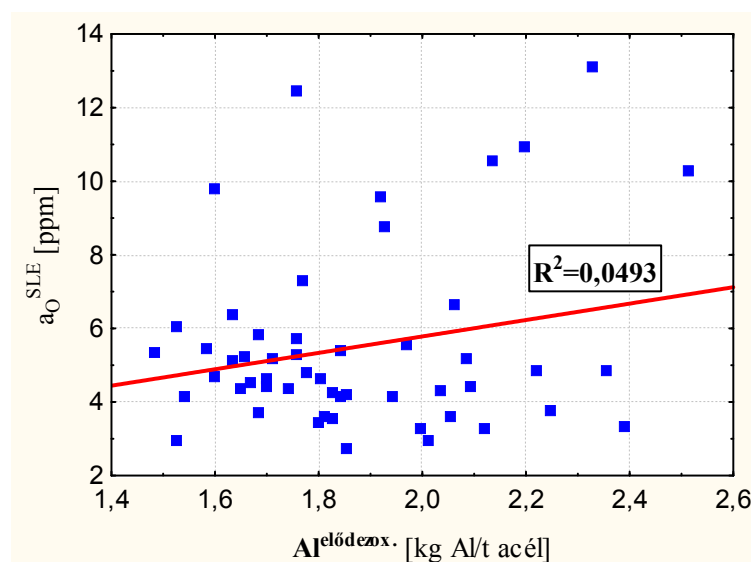
Csapolás előtt a primerkemencében mérhető aktívoxigén-szintet az olvadék hőmérséklete erősen befolyásolja, mivel *az acél oxigénoldó képessége nagyban függ a hőmérsékletétől*. Egy olyan üzemben, *ahol nincs mód az űstmetallurgiai kezelés során a hevítésre*, ott a primerkemencében kell *az olvadékot* olyan mértékben *túlhevíteni*, hogy akkora hőtartalékkal rendelkezzen az acél, *ami biztosítja a zavartalan kezelést és öntést*. A *túlhevített acél magas szabadoxigén-tartalmát* a kemencefenékbe épített porózustéglákon keresztül befújt inertgázzal lehet *mérsékelni* (4.1. fejezet), erre a *csapolás előtti időszakban az argon* a legalkalmasabb.

Amennyiben az utánöblítésként befúvott argon mennyisége eléri a $\sim 10\text{m}^3$ (140 tonnás adagsúly esetén) értéket, akkor az alumíniumadagolás mérséklése mellett is elérhető a csapolás utáni 5 ppm-es aktívoxigén-szint. (7.8. ábra)



7.8. ábra A konverterben végzett argonos utánöblítés hatása a kezelés elején mért aktívoxigén-szintre

Megvizsgálva a csapoláskor adagolt alumínium hatását a csapolás után mért oldott oxigéntartalomra (7.9. ábra), szembeűnően, hogy mennyire alacsony a korreláció ($R^2=0,0493$), ami jól mutatja azt, hogy a kezelés elején mért aktívoxigén-szint nem csak az elődezoxidálási célból adagolt alumínium tömegétől függ. Fontos hatással van rá számos más tényező is: pl. hőmérséklet, utánöblítéskor adagolt argon mennyisége stb.



7.9. ábra A csapolás közben adagolt alumínium hatása a kezelés elején mért aktívoxigén-szintre

További előnye a kezelés elején mért alacsony aktívoxigén-szintnek (a_O^{SLE}), hogy a kezelés során kevesebb alumínium adagolása is elegendő az előírt érték biztosítására. A kevesebb alumínium kevesebb alumíniumoxid képződését jelenti, illetve a kevés részletben történő – akár egyszeri – adagolás miatt elegendő idő marad a kezelésvégi tisztító hatású lág argonöblítésre.

b) Az összoxigén-tartalom csökkentése az üstmetallurgiai kezelés során

Kezelés során az összoxigén-tartalom mérséklésének két fő módja van:

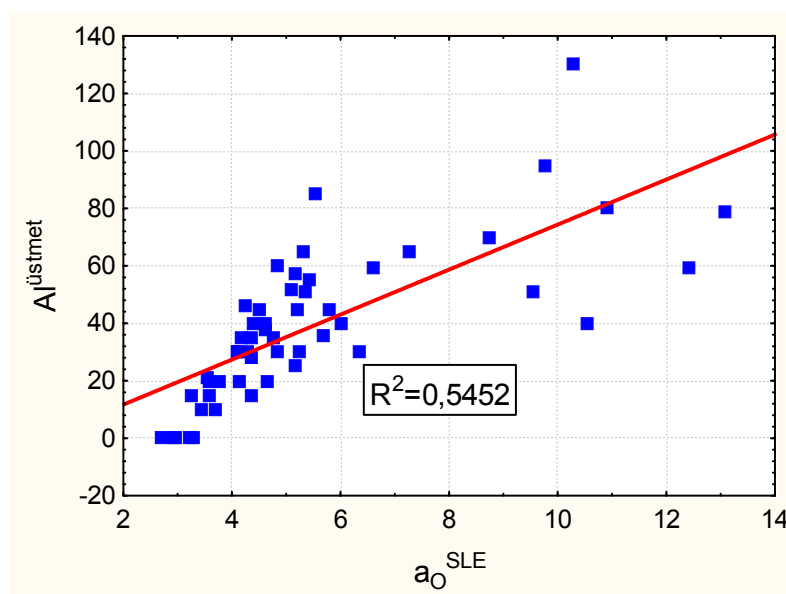
- az oxidok eltávolítása,
- újabb oxidok képződésének minimalizálása.

Az oxidok eltávolítása természetes felúszással vagy inertgázos agitálással történhet (4.2. fejezet). Az előbbi a gyártásszervezés, illetve az elhűlés veszélye miatt korlátozott, az utóbbi viszont megfelelő technológiával sikeresen kivitelezhető. *Az üstfenékbe épített porózus kövön (köveken) át – megfelelő intenzitású – argon átengedésével jó hatásokkal mérsékelhető az olvadék zárványtartalma.*

Az oxidképződés mérséklésének lehetséges módjai:

- kezelés során kisebb mértékű aktívoxigén-szint korrekció,
- reoxidáció megakadályozása:
 - atmoszférától való elszigetelés: salakfelszakadás elkerülése,
 - salakbekeveredés megakadályozása,
 - alacsony vasoxid-tartalmú üstsalak.

Amennyiben csapolás előtt a primerkemencében megfelelő argonos utánöblítéssel a kezelés megkezdéséig 4-5 ppm-re sikerül csökkenteni az aktívoxigén-szintet és az oldott alumínium-tartalmat közelíteni az előírt értékekhez, akkor minimalizálható az adagolandó alumínium tömege és így a képződött alumíniumoxid mennyisége. (7.10. ábra)



7.10. ábra A kezelés elején mért aktívoxigén-szint és a kezelés során adagolt alumínium mennyisége közötti összefüggés

A reoxidáció első két típusa **elkerülhető a felső argonbefúvás elhagyásával, illetve megfelelő intenzitású tisztító hatású argonos alsóöblítéssel**. A salak okozta reoxidáció a primer salak csapoláskori visszatartásával vagy az üstsalak eltávolításával, hígításával esetleg redukálásával oldható meg.

Mivel az üstmetallurgiai kezelés során szükséges hőtartalékot – utólagos hevítési lehetőség híján – csak a konverterben történt túlhevítéssel biztosítható, ezért igen gyakran a kezelés során – rosszabb esetben a végén – hűtésre van szükség. Erre a célra **a felső argonbefúvás** megszokott gyakorlat, ami azonban a fent említett ok miatt **igen káros az acél tisztaságára és önthetőségére. Ezért az eddigi gyakorlat hasznossága erősen megkérdőjelezhető.**

Csapoláskor átkerült primersalak tömegének meghatározása

Az üstsalak vasoxid-tartalma (FeO^{SLE} , FeO^{SLU}) a reoxidáció folyamatos utánpótlását biztosíthatja, amennyiben annak a mangánoxiddal együttes összege meghaladja az 1-2 %-ot. Sajnos kísérleteim során a kezelés utáni salak átlagos összetételében a vasoxid lényegesen meghaladta ezt a szintet (átlag $\text{FeO}^{\text{SLU}}=7,23\%$), ami komoly reoxidációs veszélyt jelent. Az üstsalak okozta reoxidáció mértékének érzékeltetésére elvégeztem a primerkemencéből átkerült salak tömegének meghatározását, a 3.2.2.2. fejezetben ismertetett négyféle számítási módszer szerint (**7.11. táblázat**).

Mint látható az átlagos értékhez az FeO -mérleg szerinti számított tömeg áll legközelebb.

Fontos tanulság, hogy a 14 adagra számolt **átkerült salaktömege nagy szórást mutat**, mert 360,42 kg és 1882,72 kg között változott az átkerült tömeg, **ami különösen a csapoláskor képződött salakképzők+oxidok összegéhez képest mutat igen rossz képet.**

Amíg ilyen nagy mennyiségben kell számolni az átkerült salakkal, és az előírt visszamaradó oldott alumínium-tartalom viszonylagosan magas (átlagosan: $\text{Al}_{\text{sol}}^{\text{SLU}}=0,052\%$) **addig a reoxidáció veszélye mindig fent áll bármilyen egyéb módon igyekeztünk is elkerülni. (4. Tézis)**

7.11. táblázat Csapoláskor átkerült primersalak tömegének számítási eredményei

Adag-szám	salakképzőkötve- zők oxid- jai [kg]	Számított tömeg [kg] (különböző mérlegek alapján)				Átlag [kg]	Átlagtól eltérés [%]			
		FeO- szerint	MnO- szerint	SiO ₂ - szerint	Al ₂ O ₃ - szerint		FeO- szerint	MnO- szerint	SiO ₂ - szerint	Al ₂ O ₃ - szerint
530054	1043,42	858,73	733,14	635,86	851,57	769,83	11,55	-4,77	-17,40	10,62
530055	925,64	373,97	332,87	270,27	464,56	360,42	3,76	-7,64	-25,01	28,89
530058	908,26	386,21	497,58	404,44	372,99	415,31	-7,01	19,81	-2,62	-10,19
530059	982,14	885,65	869,11	862,95	905,46	880,79	0,55	-1,33	-2,03	2,80
530086	1066,99	921,77	855,81	840,49	1543,01	1040,27	-11,39	-17,73	-19,20	48,33
530087	1070,63	585,70	894,56	751,46	1457,47	922,30	-36,50	-3,01	-18,52	58,03
530088	855,37	1367,70	1877,43	1804,86	2480,88	1882,72	-27,36	-0,28	-4,14	31,77
530090	1114,00	1242,10	1287,84	851,18	950,68	1082,95	14,70	18,92	-21,40	-12,21
530118	1131,56	622,98	580,41	418,82	479,13	525,34	18,59	10,48	-20,28	-8,80
530119	1386,58	637,20	545,15	534,31	578,39	573,76	11,06	-4,99	-6,88	0,81
530120	1576,23	796,54	444,43	362,73	534,08	534,44	49,04	-16,84	-32,13	-0,07
530122	900,52	1191,69	432,69	265,13	535,30	606,20	96,58	-28,62	-56,26	-11,70
530154	1013,73	695,02	866,18	729,62	1344,30	908,78	-23,52	-4,69	-19,71	47,92
530157	1037,12	277,75	487,22	437,05	635,94	459,49	-39,55	6,04	-4,88	38,40
<i>Átlag érték</i>	1072,30	774,50	764,60	654,94	938,13	783,04	-1,09	-2,35	-16,36	19,81

Levegő okozta reoxidáció mértékének meghatározása a nitrogén-tartalom változása alapján

A levegő felvétel mértékének meghatározására alkalmas az acél hidrogén és nitrogén-tartalmának vizsgálata. A hidrogén-tartalom mérése nehézkes, a nitrogén viszont ma már könnyen meghatározható nem csak égetéssel, hanem spektrometriai eljárásokkal is. A kísérleteim során megvizsgáltam a nitrogén-tartalom növekedését a az acélgéztás különböző szakaszaiban. (7.12. táblázat).

7.11. táblázat Nitrogén-tartalom változása az acélgéztás különböző szakaszaiban

$\Delta\Sigma N^{\text{LDU-LDA}}$	$\Delta\Sigma N^{\text{SLU-LDU}}$	$\Delta\Sigma N^{\text{VP-SLU}}$
20,67	2,13	5,11

Világosan kitűnik, hogy a légkör okozta reoxidáció legnagyobb mértékben csapolás közben történik. Ennek mértéke szoros összefüggésben van a csapolási időtartamával, amit csak a csapolási keresztmetszet növelésével lehetne mérsékelni, ami azonban a salakvisszatartás – előzőleg már kimutatott – elégtelensége miatt kerülendő.

A kezelés során, illetve utána tapasztalt nitrogén-tartalom változások ($\Delta\Sigma N^{\text{SLU-LDU}}$, $\Delta\Sigma N^{\text{VP-SLU}}$) átlagos értékeinek változása alapján a reoxidációra való következtetés, sajnos az átlagos mérési pontatlanság miatt ($\pm 2\text{ ppm}$) nem tekinthető megbízhatónak.

7.1.5. Az első mérésorozat értékelése

Az ásványtani vizsgálatok kimutatták, hogy a lerakódások ~90 %-a valamilyen oxid, amely nagyjából dezoxidálásból eredő endogén, a kisebb része salakból, illetve a tűzállófalazatból származó exogén zárvány, ezen oxidok mennyiségét az összoxigén-tartalommal (ΣO) lehet jellemezni. A zárványok jelentős része az űstmetallurgiai kezelés során eltávozik a salakba, de **a kezelés vége és az öntés közötti összoxigén-tartalomban bekövetkezett változás ($\Delta \Sigma O^{SLU-VP}$) azt mutatja, hogy a kezelés után is folytatódik a tisztulás. (2. Tézis)** Azt meghatározni, hogy ez a folyamat hol és milyen arányban történik: pontosan nem lehet, de a közbensőüstből vett minták összoxigén-tartalmát ($\Sigma O^{KÜ}$) összehasonlítva a végpróbával egyértelmű, hogy a tisztulás nem ér véget az űstben, hanem a folytatódik egészen az acél megszilárdulásáig. A $\Delta \Sigma O^{SLU-KÜ}$ és $\Delta \Sigma O^{KÜ-VP}$ értékek tájékoztatást nyújtanak arra, hogy ez a folyamat két lépcsőben történik:

- a kezelés végét követően felúszás az űstsalakba, illetve a sugárvédőcsőben történő lerakódás,
- a közbensőüst és a kristályosító között a közbensőüst salakba, illetve a kristályosító salakba távozás, esetleg a közbensőüst kagylójában vagy a merülőcsőben képződik szilárd réteg.

Bár ezek aránya nem határozható meg pontosan, de vélelmezhető az, hogy a felúszottak és a lerakódottak megoszlása állandó, így már kijelenthető, hogy **a nagyobb változás ($\Delta \Sigma O^{SLU-VP}$) nagyobb, a kisebb pedig kisebb lerakódást eredményezhet.**

Az endogén, illetve exogén zárványok mennyiségét a dezoxidálás, illetve az argonkezelés optimalizálásával lehet mérsékelni:

- Megvizsgálva a lerakódásra képes oxidok mennyiségét jól jellemző kezelés utáni összoxigén-szint változást ($\Delta \Sigma O^{SLU-VP}$): a korrelációvizsgálat és az adatbázis közvetlen értékelése is egybehangzóan kijelölte az erre ható legfontosabb két paramétert (ΣO^{LDU} , $\Delta \Sigma O^{LDU-SLU}$). Ezek szabályozásával jelentősen csökkenthető a lerakódások kialakulásához vezető, a kezelés utáni összoxigén-tartalom változás ($\Delta \Sigma O^{SLU-VP}$). Ezek módja a konverterben történő megfelelő mennyiségű argonos utánöblítés, illetve a elődezoxidációra és korrekcióra használt alumínium mennyiségének csökkentése.
- Az exogén zárványok mennyisége az űstben végzett argonkezelés minőségétől függ.

Ahhoz hogy mérsékelhető legyen a kagylószükületek száma, a tapasztaltak alapján összeállítottam a harmadik sorozatnál alkalmazandó javaslataimat:

- Konverterben minimum 10 m³-nyi argonos utánöblítés segítségével csökkenthető a csapolás előtti aktív oxigén-szint (a_O^{SLE}) és hőmérséklet (T^{SLE}), ezáltal mérséklődik az űstmetallurgia során adagolandó alumínium illetve hűtésre használt felső argonbefűvás mennyisége.
- Csökkentendő a csapoláskor adagolt alumínium tömege, mert 1,6 kg Al/t acél feletti rész már jellemzően oxidként jelentkezik, ami rontja az acél tisztaságát.
- Javítani kell a salakvisszatartást a salak vasoxid-tartalmának csökkentése céljából.
- Kerülni kell a felső argonbefűvást a tisztaságrontó hatása miatt.
- Tisztító hatású, kis intenzitású alsó argonadagolással kell az űstmetallurgiai kezelést befejezni.

A harmadik sorozatra érvényes módosított technológiára tett javaslataim megtételekor a fenti megállapításokat is figyelembe vettem.

7.2. Második kísérletsorozat

A kalciumkezelést Dunaújvárosban nem a kagylószükülés elkerülésére alkalmazzák, hanem a szilíciumszegény alumíniummal csillapított acélok hengerelhetőségét javítandó a visszamaradt

oldott alumínium-oxid zárványtartalom modifikációjára. *A kalciumos kezelés a céljától függetlenül a kagylószűkülési hajlam mérséklésére is alkalmas*, ez jó lehetőség volt, arra hogy az acél önthetőségére gyakorolt hatását megvizsgáljam.

A második sorozatra az első kiértékelését követően 2011. januárjában került sor, itt is az első kísérletsorozatnál már megjelölt (1/2010 AC KP) kísérleti programot követték. A 46 adag most is egymáshoz nagyon hasonló acélminőségekből állt (P310NB, S355MC, S420MC, QStE 380), gyártási előírásokat a 6.sz. mellékletben ismertetem. Az előírt technológiától ezúttal sem volt eltérés, csak az 5.4. fejezetben ismertetett kiegészítő méréseket kértem. A második sorozatban 10 szekvensben összesen 46 adag öntését vizsgáltam. Itt is az első három szekvens merülőcsöveit vizsgáltam ásványtani módszerekkel.

7.2.1. Szűkülések aránya

A szűkülések gyakoriságában bekövetkezett változást legjobban, a kalciummentes gyártáshoz viszonyítva (7.13. táblázat) lehet látni.

7.13. táblázat Öntés közbeni beavatkozások aránya a második kísérletsorozatnál

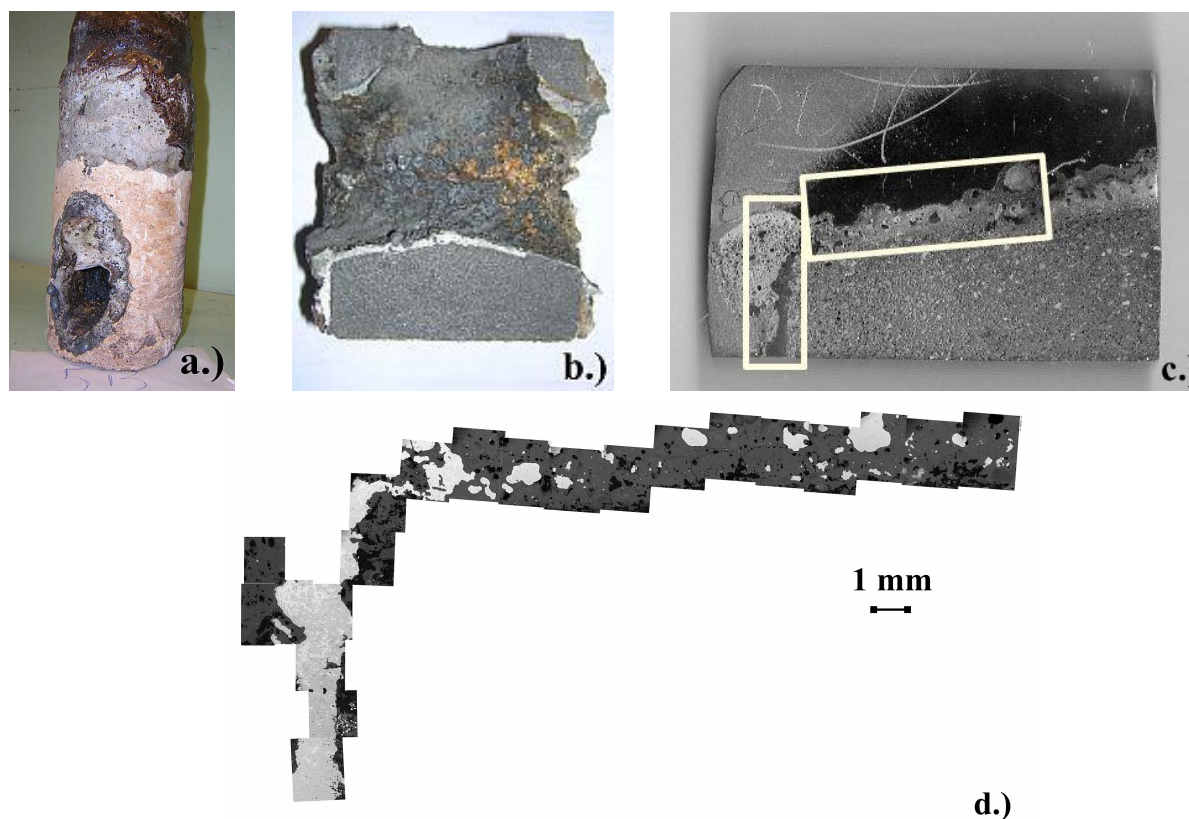
Öntés közbeni beavatkozások	Kalciummal nem kezelt első sorozat (54 adag)		Kalciummal kezelt második sorozat (46 adag)	
Letapadás miatti dugómozgatás	3 adag	5,56 %	-	-
Üstkagyló tisztítása oxigénnel	14 adag	25,93 %	2 adag	4,35 %
Merülőcső tisztítása oxigénnel	4 adag	7,41 %	1 adag	2,17 %
Összesen		38,9 %		6,52 %

A táblázat egyértelműen bizonyítja, hogy *a kalciumos kezelés hatására a kagylószűkülés gyakorisága a töredékére csökkent*, ezért a harmadik sorozatban az alkalmazott technológia módosítására tett javaslataim nem érintették a kalciummal kezelt acélok gyártását. **(5. Tézis)**

7.2.2. Tapadvány vizsgálat

Az első három szekvensből származó hat darab használt merülőcső közül ismét hármat (szekvensenként egyet-egyet) vizsgáltunk. Mivel a merülőcsövek kívülről hasonlóak voltak, ezért csak a második sorozatról készült felvételeket ismertetem (7.11. ábra). A használt merülőcsöveket hossztengejük mentén elvágtuk, melyek közül *egyedül a második szekvensből származóban találtam tapadványt*. A talált tapadványt vizsgáltuk tovább elektronmikroszkóppal. Jól látható, hogy az első kísérletsorozathoz képest elenyésző a tapadvány mérete (7.11. ábra), ezért az első vizsgálat alkalmával készült képekkel ellentétben nem csak vonalmentén vizsgálódunk, hanem a tapadvány egyik feléről készült csiszolat kétharmadát tanulmányoztuk.

A vizsgálat során (7.11c ábra) elektronmikroszkóppal viaszszórt elektron felvételek készültek, amiket összeillesztettünk (7.11d ábra). Az ábrán megfigyelhető, hogy a kirakódás jelentős mennyiségű fehér színű acélcseppből és vasoxidból áll. A szürke alpmátrix vasszilikátot, kalcium-alumínátot és alumínium-oxidot tartalmaz. Az elektronmikroszkópos vizsgálatok során kapott képeket, digitális képelemző szoftverrel a szürkeségi érték különbség alapján egyesével kerültek elemzésre, eredményeket az elektronsugaras mikroszondás elemzéssel nyert összetételekkel (7.14. táblázat) párosítva ismertetem. A táblázatból jól látható, hogy túlnyomórészt üvegszerű alumínium-kalciszilikátot és acélcseppeket találtunk. Az utóbbi a porózus szerkezetbe záródott acélból származik, az előbbi pedig az öntőporból és az acélból felszállt nemfemes zárványokból képződő kristályosítósalakra vezethető vissza.



7.11. ábra Második sorozat második szekvens merülőcsöve (*a* – külső felület, *b* – belső felület, *c* – tapadvány, *d* – összeillesztett SEM felvételek)

7.14. táblázat, A második sorozat második szekvens tapadványán elvégzett digitális képelemzés összesített százalékos eredménye

Fázisok szín szerint	Átlagos mennyiség [%]	Főkomponensek [%]			
fehér	10,59	FeO:94,49	MnO:3,9	SiO ₂ :1,61	
halványszürke	19,58	FeO:95,58	MnO:4,33		
középszürke	58,50	Al ₂ O ₃ :39,65	CaO:35,63	SiO ₂ :21,03	MgO:1,09
sötétszürke	10,55	Al ₂ O ₃ :78,35	CaO:18,43		
üreg	0,83	porozitásból származó			

7.2.3. Röntgen pordiffrakciós vizsgálat

A másik két sorozattal ellentétben itt elhanyagolható mértékű volt a merülőcső külső felületén (7.11a ábra) talált nemfémes anyagok alkotta kirakódás. Ez a kirakódott kéreg nem vonta be a teljes felületet, hanem csak a kiömlők felett képzett egy-egy kinövést, továbbá fontos megjegyezni, hogy az előző vizsgálat során talált porszerű anyagtól eltérően itt szilikát-üveges jellegű anyagot találtam. Az első és második sorozatból származó merülőcsövek külső részéről a kinövéseket leválasztottuk és röntgen-pordiffrakciós vizsgálatnak vetettük alá (7.15. táblázat). Az eredmények szerint a kinövések túlnyomórészt CaOAl_2O_3 (CA) zárványokból álltak, amelyek az öntés hőmérsékletén folyékonyak, így érthető hogy miért nem porjellegű formában voltak. A második szekvensből származó mintánál megjelent a $(\text{CaO})_{12}(\text{Al}_2\text{O}_3)_7$ is, ami az eutektikus összetétel, azaz a legalacsonyabb olvadásponttal rendelkezik, valószínűleg ez bezáródás lehet. Találtunk még $\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$ (CA₂) zárványokat és spinellt is, amelyek bár magasabb olvadásponttal

rendelkeznek (1750 °C, 2135 °C), de mennyiségük 30 % körüli, azaz kevésbé befolyásolják az acél önthetőségét. Az acélt gyártása során nem ötvözték szilíciummal, a kirakódás mégis tartalmaz némi mennyiségben, ez minden bizonnyal az öntőporból származik, amit jól alátámaszt a kirakódás csekély mennyisége is.

A merülőcsövek belső falazatán (**7.11b ábrák**) minimális lerakódást találtam, de a teljesség miatt elemeztük: a lekapart minták összetételei a **7.16. táblázatban** olvashatók. Itt is túlnyomórészt CaOAl_2O_3 -ot találtunk, mellette grossitot (CaAl_4O_7)-ot, spinellt és $\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$.

7.15. táblázat A második sorozat első és második szekvenséből származó merülőcsövek külsejéről származó kirakódások röntgen-pordiffrakciós elemzési eredményei:

1.szekvens		2.szekvens	
CaOAl_2O_3	70,6 %	CaOAl_2O_3	49,3 %
$\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$	4,3 %	$\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$	0,7 %
$\text{CaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	8,0 %	$\text{CaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	8,9 %
MgOAl_2O_3	17,1 %	MgOAl_2O_3	30,2 %
		$(\text{CaO})_{12}(\text{Al}_2\text{O}_3)_7$	8,5 %
		SiO_2	2,4 %

7.16. táblázat A második sorozatból származó merülőcsövek belső faláról származó porfrakcióinak átlagos összetétele

1.szekvens		2.szekvens		3.szekvens	
$\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$	12,1 %	$\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$	20,3 %	$\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$	36,5 %
CaOAl_2O_3	52,3 %	CaOAl_2O_3	42,0 %	CaOAl_2O_3	34,3 %
$\text{CaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	1,0 %	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	0,9 %	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	2,8 %
$\text{FeMn}(\text{SiO}_4)$	1,3 %	$\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_6$	10,9 %	$\text{CaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$	2,4 %
MgOAl_2O_3	31,4 %	MgOAl_2O_3	26,2 %	MgOAl_2O_3	19,0 %

7.2.4. Második sorozat értékelése

A kalciumos kezelés –bár nem ez volt az elsődleges cél – a *kagylószerűkést esélyét jelentősen mérsékelte* (ezt mutatja a 46 adagnál tapasztalt mindössze 3 beavatkozás), mert a kirakódások mennyiségét minimálisra csökkentette, ezért nem tartottam az alkalmazott technológia módosítását szükségesnek.

7.3. Harmadik kísérletsorozat

A második sorozatnál szerzett jó tapasztalatok után csak a kalciummal nem kezelt szilícium-szegény alumíniummal csillapított acélok gyártási technológiájában találtam korrigálandó lépéseket. Az első sorozattal megegyező acélminőség, a szilíciumszegény, alumíniummal dezoxidált acélsalád egyik jellegzetes tagjának az St24-nek – és hozzá hasonlóknak – gyártástechnológiájának a 7.1.5 fejezetben összefoglalt tapasztalatok alapján tett javaslatok szerinti módosítását kértem. A *célom* az volt, hogy a *kirakódások mennyiségét mérsékeljem, az erre hajlamos nemfémes zárványok számának csökkentésével*. A javaslataim alapján készült el a 1/2011/AC KP kísérleti program (7.sz. melléklet).

7.3.1. Harmadik sorozat technológiájának módosítására tett javaslatok

A kísérletsorozat során ~20 adag gyártását terveztem úgy, hogy csak azon adagok számítottak be a kísérletsorozatba, amelyeknél érvényesíteni tudtuk az alábbiakat:

- lehetőleg utánfűvás nélküli adagok,
- az első sorozat tanulságának megfelelően – az acélmű által kiadott aktuális Acél Gyártási Előírással (2.sz. melléklet) egybehangzóan – a konverterben történő 3 perc 500 l/perc intenzitású, összesen legalább 10 m³ argon utánöblítés betartása,
- csapolás közben – az előírt utánöblítés megléte esetén – a legfeljebb 1,6 kg/t Al-mokkával végzett elődezoxidálás,
- salakvisszatartás,
- a salak redukálása magas fémes alumíniumtartalmú aluminátsalakkal,
- az üstmetallurgiai kezelés elején intenzív (~400 l/perc, 3 perc) homogenizáló alsó argonöblítés,
- huzaladagolással a kezelés végére (legfeljebb) 4-5 ppm aktívoxigén-szint biztosítása,
- a kezelés közben max. 300 l/perc alsó argonöblítés,
- a kezelés végén az utolsó huzal bevitelét követően 6-8 perc max. 150-200 l/perc intenzitású zárványtalanító hatású alsó argonöblítés,
- az öntés során amennyiben a vizsgált szekvensnél az előírt technológiával gyártott adagok közé kerül egyéb az előírt feltételektől eltérően gyártott adag, akkor vizsgálat céljára legalább az egyik merülőcső kicserélése,
- amennyiben lehetőség nyílik egy szekvens (5 adag) St24 acélminőség kalciumos kezelése.

Voltak javaslatok, amelyek teljesítése nem okozott gondot:

- a salakredukálása magas fémes alumíniumtartalmú aluminátsalakkal, elégtelen salakvisszatartás esetén az üstsalak csillapítása kisméretű darabos alumíniummal,
- az üstmetallurgiai kezelés elején intenzív (~400 l/perc, 3 perc) homogenizáló alsó argonöblítés,
- huzaladagolással a (legfeljebb) 4-5 ppm aktívoxigén-szint biztosítása,
- a kezelés közben max 300 l/perc alsó argonöblítés.

A javasolt módosítások közül ötöt – üzemszervezési, illetve műszaki okok miatt – nem lehetett az összes adagnál teljesíteni:

- konverterben a fűvatást követően legalább 10m³-nyi argonos utánöblítés,
- csapolás közben – az előírt utánöblítés megléte esetén – a legfeljebb 1,6 kg/t Al-mokkával végzett elődezoxidálás,
- üstmetallurgiai kezelés során a felső argonöblítés elhagyása,
- kezelés végén min.6-8 perc legfeljebb 150-200 l/perc tisztító hatású argonöblítés,
- az öntés során amennyiben a vizsgált szekvensnél az előírt technológiával gyártott adagok közé kerül egyéb az előírt feltételektől eltérően gyártott adag, akkor vizsgálat céljára legalább az egyik merülőcső kicserélése.

A többi kérésemet sajnos üzemviteli okokból nem sikerült teljesíteni:

- kizárólag utánfűvás nélküli adagok,
- salakvisszatartás,
- egy szekvens St24 acélminőség kalciumos kezelése.

Mivel nem tudták az összes adagnál teljesíteni a kéréseimet (ennek következtében a tervezett 20 helyett összesen 8 szekvens 35 adagját vizsgáltam), ezért ahhoz hogy a módosítások hatása értékelhető legyen először minősíteni és kategorizálni szükséges az egyes adagokat.

7.3.2. Harmadik sorozat adagjainak a javasolt módosítások betartása szerinti minősítése

A harmadiknál sorozatnál üzemszervezési okok miatt nem sikerült minden adagnál betartani az általam javasoltak közül a négy legfontosabb módosítást:

- konverterben a fűtést követően legalább 10 m³-nyi argonos utánöblítés,
- legfeljebb 1,6 kg Al/ t acél-os elődeoxidálás,
- üstmetallurgia során a felső argonöblítés elhagyása,
- kezelés végén min. 6-8 perc legfeljebb 150-200 l/perc tisztító hatású argonöblítés,

ezért az adagokat kategóriákba soroltam, aszerint, hogy a kéréseim közül mennyi és melyik teljesült. A harmadik sorozatot szekvensenként és egyesével is csoportosítottam, illetve értékeltem.

Az előírt technológiai módosításoktól való nagyarányú eltérés miatt a nyolcból két szekvenst (második és hatodik) elhagytam, a maradék 27 adagot több szempontból is csoportosítottam:

- konverterben megfelelő argonos utánöblítést kapott/nem kapott adagok (16/11 db)
- előírt 1,6 kg Al/ t acél -os elődeoxidálás teljesült/nem teljesült (13/14 db)
- felső argonnal kezelt/ nélküli adagok (9/18 db),
- lágy, tisztító argonöblítést kapott/nem kapott adagok (15/12 db),
- felső argon kezelés nélküli + lágy, tisztító argonöblítést kapott adagok (12 db),
- legfeljebb egy előírást teljesítő adagok (8 db),
- legalább két előírást teljesítő adagok (19 db),
- legalább három előírást teljesítő adagok (13 db),
- mind a négy előírást teljesítő adagok (4 db).

Az összesen tizenhárom kategóriát egyrészt a csoportba tartozó kevés adag miatt (pl. mind a négy előírást összesen négy adagnál sikerült betartani), másrészt az értékelés elaprózottsága miatt szűkítenem kellett. Értékeléskor az összes hatásnál csak az alábbi főkategóriákba tartozó adagokat vizsgáltam:

- első sorozat (54 adag)
- harmadik sorozatnál kettes és hatos szekvens elhagyása után maradt 27 adag
- felső argon kezelés nélküli + lágy, tisztító argonöblítést kapott adagok (12 db)
- legalább három előírást teljesítő adagok (13 db)

Természetesen az egyes hatások megvizsgálásánál az adott esetben az értelemszerűen odatarozó többi, elhagyott kategóriát is vizsgáltam.

7.3.3. Kagylószűkülések aránya

Bár a legalább három előírást teljesítő adagok álltak a legközelebb a javaslataim betartásához, de kevés volt közöttük a teljes szekvens – csak harmadik szekvens három vizsgált adagja –, ez megnehezítette az ilyen jellegű értékelést. Így a szűkülések arányának összevetésekor az első sorozatot inkább a második csoporttal (2, 6 szekvens elhagyása után maradt 27 adag) hasonlítottam össze (7.17. táblázat)

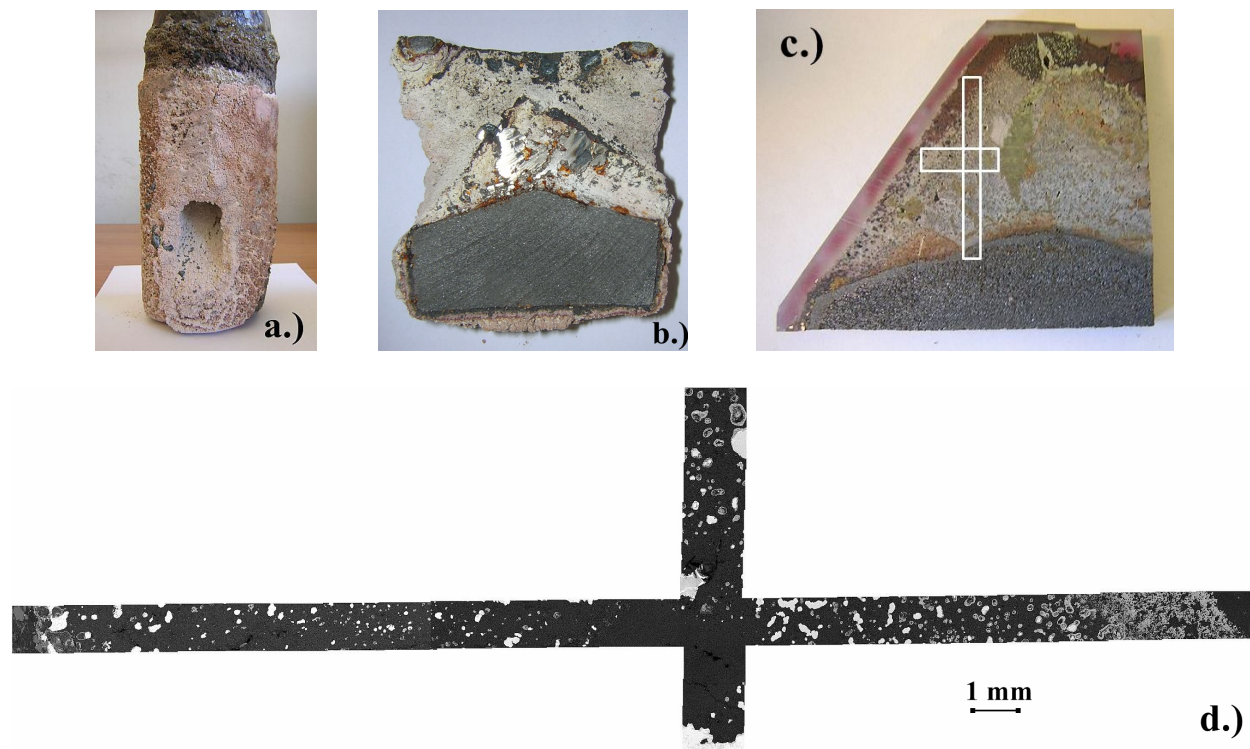
7.17. táblázat Öntés közbeni beavatkozások aránya a harmadik kísérletsorozatnál

Öntés közbeni beavatkozások	Hagyományos technológia szerint (54 adag)		Módosított technológia szerint (27 adag)	
Letapadás miatti dugómozgatás	3 adag	5,56 %	3 adag	11,11 %
Üstkagyló tisztítása oxigénnel	14 adag	25,93 %	2 adag	7,40 %
Merülőcső tisztítása oxigénnel	4 adag	7,41 %	-	2,17 %
Összesen	21 adag	38,9 %	5 adag	18,51 %

Még annak ellenére is **megfeleződött a kagylószűkülés jeleit mutató adagok aránya**, hogy a 27 adagból mindössze a fele (13 adag) teljesítette a négy javasolt módosításból legalább hármat.

7.3.4. Tapadványvizsgálat

A harmadik sorozatnál mivel nem tudták minden adagnál az összes technológiai módosítást betartani, ezért több mintát választottam: tapadvány vizsgálatra ötöt, poranalízisre hármat. Mivel a vizsgált merülőcsövek egymáshoz nagyon hasonlóak voltak és a bennük talált tapadvány alakja, mérete, illetve a róluk készült SEM felvételek is nagy egyezést mutattak, ezért csak az első szekvensről készült felvételeket mutatom be. (7.12. ábra),



7.12 ábra Harmadik sorozat első szekvens merülőcsöve (*a* – külső felület, *b* – belső felület, *c* – tapadvány (a mintavétel helye bejelölve) *d* – összeillesztett BSE felvételek)

A használt merülőcsövek külső és belső felületéről valamint a benne talált tapadványról készült fotókat a **7.12a, b, c ábráin** ismertetem, ezúttal is készültek a tapadványokról SEM felvételek (**7.12d ábra**). A módosított technológia (harmadik sorozat) szerint gyártott adagoknál öntésénél alkalmazott merülőcsövek tapadványairól készült vizsgálatok (elektronmikroszkópos mikroanalízis és képelemzés) összesített eredményeit foglalja össze a **7.18. táblázat**. Az általános technológia szerint gyártott (első sorozat) adagoknál meglepetésemre talált **kalcium-aluminát itt** elhanyagolható mennyiségben (**csak nyomokban**) **fordult elő**, összetétele (**7.19. táblázat**) igen hasonló volt az első sorozatnál (7.3 táblázat) találthoz ami igazolja, hogy a korábban találtak nem véletlenszerűen bekerült szennyezések voltak.

7.18. táblázat Harmadik kísérletsorozat tapadványain elvégzett digitális képelemzés összesített százalékos eredményei

szín	Sötét szürke	Fehér	Világos szürke	Fekete
azonosított fázis	Al_2O_3	Fe	$\text{FeO}-\text{FeAl}_2\text{O}_4$	üreg
1.szekvens	82,59 %	6,59 %	10,30 %	0,51 %
3.szekvens	86,76 %	9,06 %	3,35 %	0,83 %
5.szekvens - 5 adag	78,57 %	9,55 %	11,81 %	0,07 %
5.szekvens - 3 adag	79,68 %	13,66 %	6,38 %	0,27 %
8.szekvens	82,70 %	11,01 %	5,79 %	0,49 %
átlag	82,06 %	9,97 %	7,53 %	0,43 %

7.19. táblázat Harmadik kísérletsorozat tapadványaiban talált kalcium-aluminátok százalékos összetétele

fázis	Al_2O_3	CaO	SiO_2	MgO	FeO
1. mérés	84,00 %	13,79 %	1,67 %	-	0,53 %
2. mérés	89,59 %	7,97 %	0,3 %	1,25 %	0,9 %
3. mérés	89,59 %	7,97 %	0,3 %	1,25 %	0,9 %
átlag	87,73 %	9,91 %	0,76 %	0,83 %	0,78 %

A tapadványok mérete némileg mérséklődött, a kirakódások nemcsak a mért eredmények szerint voltak porózusabbak (átlag 0,43 %) az első sorozathoz viszonyítva (átlag 0,38 %), hanem szemmel láthatóan is jelentős a különbség. Mint előzőleg is említettem, nem sikerült minden vizsgált adagnál tartani a technológiában javasolt módosításokat, ezért nem szabad egységesen kezelni a vizsgált öt tapadványt. Szerencsésebb kiemelni a többi közül azokat, ahol nagy arányban sikerült a javaslataimat betartani (harmadik szekvens első három és az ötödik szekvens utolsó három adagja) (**7.20. táblázat**). A kapott eredmények már jobban mutatják a gyártástechnológiában történt változtatások hatásait: még jelentősebb a különbség az üregek (porozitás) mennyiségében (0,38 %→0,55 %) és a $\text{FeO}-\text{FeAl}_2\text{O}_4$ mennyiségében (FeAl_2O_4 összetétele: **7.21. táblázat**) (6,06 %→4,87 %)

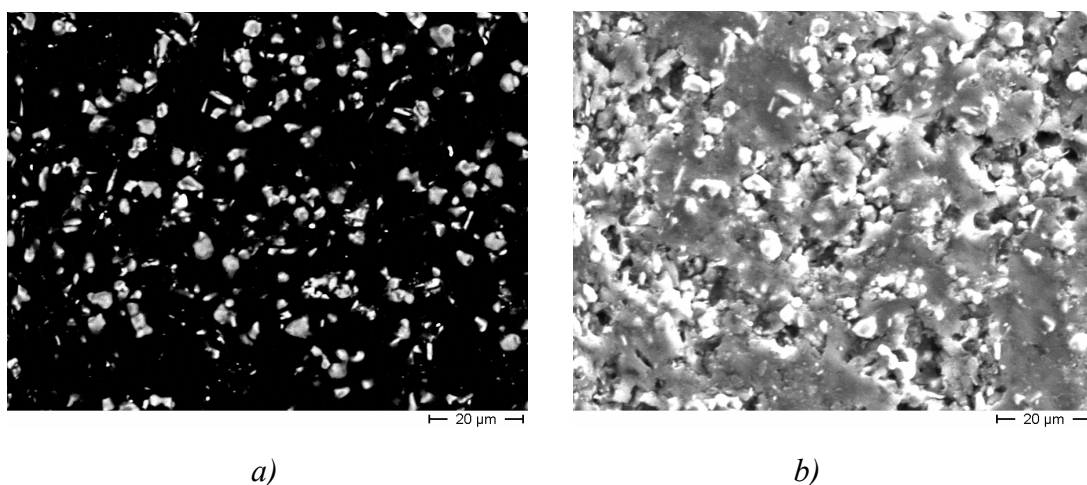
7.20. táblázat Harmadik kísérletsorozat harmadik és ötödik (utolsó három adag) szekvensének tapadványain elvégzett digitális képelemzés összesített százalékos eredményei

azonosított fázis	Al_2O_3	Fe	$\text{FeO}-\text{FeAl}_2\text{O}_4$	üreg
3.szekvens	86,76 %	9,06 %	3,35 %	0,83 %
5.szekvens - 3 adag	79,68 %	13,66 %	6,38 %	0,27 %
átlag	83,22 %	11,36 %	4,87 %	0,55 %

7.21. táblázat Harmadik kísérletsorozat tapadványaiban talált FeAl_2O_4 százalékos összetételei

fázis	FeO	Al_2O_3	SiO_2	MgO	CaO
1. mérés	73,06 %	21,07 %	4,08 %	1,64 %	0,15 %
2. mérés	45,77 %	48,1 %	4,9 %	1,08 %	0,15 %
3. mérés	34,64 %	64,43 %	0,88 %	-	0,04 %
átlag	51,16 %	44,53 %	3,29 %	0,91 %	0,11 %

Ezúttal is megvizsgáltam a tapadványok szerkezetének túlnyomórészt kitevő alapszövetet (7.13. ábra), ami itt is nagyon hasonló volt az első sorozatnál találthoz (7.2 ábra), fő alkotója ezúttal is alumínium-oxid volt, a mikroporozitás is megegyezett (12%).



7.13. ábra Harmadik sorozat negyedik szekvenséből származó tapadvány alapszövege
(*a* – SE felvétel, *b* – BSE felvétel)

7.3.5. Röntgen pordiffrakciós vizsgálat

A merülőcsövek belső és külső felületéről származó pormintákat pordiffrakciós vizsgálattal elemeztük (7.22-23. táblázat).

7.22. táblázat Harmadik kísérletsorozat merülőcsöveinek külsejéről származó porminták százalékos összetétele

	Al_2O_3	MgAl-spinell	$\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$	$\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_6$	Fe_2O_3
3.szekvens	74,50 %	13,30 %	2,20 %	5,80 %	2,20 %
6.szekvens	79,40 %	11,90 %	1,40 %	4,50 %	0,70 %
8.szekvens	80,65 %	10,35 %	0,90 %	4,25 %	1,90 %
átlag	78,18 %	11,85 %	1,50 %	4,85 %	1,60 %

7.23. táblázat Harmadik kísérletsorozat merülőcsöveinek belső felszínéről származó porminták százalékos összetétele

	Al_2O_3	MgAl-spinell	$\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$	$\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_6$	Fe_2O_3
3.szekvens	71,7 %	7,4 %	14,1 %	0,6 %	2,9 %
6.szekvens	60,8 %	7,4 %	17,1 %	10,5 %	0,8 %
8.szekvens	69,0 %	18,05 %	6,3 %	2,0 %	2,35 %
átlag	67,17 %	10,95 %	12,50 %	4,37 %	2,02 %

A 7.1.5. fejezetben javasoltak eredményességét bizonyítják a módosított technológia szerint gyártott adagok merülőcsöveinek vizsgálata során kapott eredmények, különösen ha a 6.szekvens eredményeit elhagyjuk (kevésbé teljesültek a gyártásra vonatkozó javasolt módosítások). Az első sorozathoz viszonyítva jelentősen mérséklődtek a külső felületen talált – tűzálló anyagokból származó – MgAl-spinellek (21,6 %→12,72 %) és a – fedő- és öntőporból eredő – kalcium-aluminátok aránya (5,47 %→1,3 %), illetve a belső felszínen találtaké is (16,6 %→11,85 %) és (9,46 %→5,02 %). Azaz **a javasolt módosítások hatására nagyban csökkent a porjellegű kirakódások a magas olvadási hőmérsékletű exogén eredetű zárványtartalma, ezáltal a kagylószűkülés lehetősége is mérséklődött. (5. Tézis)**

A **kalciummentes acélgyártásnál** mind a röntgen pordiffrakciós vizsgálat, mind elektronmikroszkópos felvételek kimutattak olyan összetételű **kalcium-aluminátot**, amely az acélgyártás hőmérsékletén szilárd halmazállapotú (7.6. ábra). Azonban míg az általánosan alkalmazott technológia szerint gyártott adagoknál olyan mennyiségben találtam, ami reoxidáció feltételezésére adott okot, addig **a javasolt módosítások szerint készülteknél már jelentősen kisebb arányban fordultak elő. (2. Tézis)**

7.3.6. Technológia módosítások hatása a mérési eredményekre

Kagylószűkülésre visszavezethető öntés közbeni beavatkozások aránya (7.15. táblázat) az első sorozathoz viszonyítva megfelelő volt, ami a javaslataim eredményességét igazolja, a lerakódások vizsgálata szintén igazolták a változtatások hasznosságát. Ezek mellett fontosnak tartottam megvizsgálni, hogy a módosítások mennyiben változtatták meg a gyártás közben mérhető fontosabb értékeket (8.sz. melléklet).

A jelen körülmények között az öntés közbeni lerakódáshoz túlnyomórészt az oxidok kiválása vezet, ezért meghatároztam, hogy melyik az a mutató, amelyekkel ez számszerűen jellemezhető. Vizsgálataim szerint legpontosabban az összoxigén-tartalom kezelés utáni változása ($\Delta\Sigma^{\text{SLU-VP}}$) áll arányban a lerakódásra képes oxidok mennyiségével, ezért a javaslataim hatását legegyszerűbben erre vonatkoztatva lehet minősíteni. Mivel a $\Delta\Sigma^{\text{SLU-VP}}$ közvetlenül nem befolyásolható, ezért az első sorozat adatainak értékelése során (7.1.5. fejezet) statisztikai módszerekkel feltártam azokat a mérhető paramétereket, amelyek a legnagyobb befolyással vannak rá: a kezelés végi összoxigén-szint (Σ^{SLU}) és annak a kezelés közbeni változása ($\Delta\Sigma^{\text{LDU-SLU}}$). Mivel még ez a kettő is csak közvetve szabályozható, ezért megkerestem azokat a paramétereket, amik optimalizálásával (közvetve) csökkenthetem a $\Delta\Sigma^{\text{SLU-VP}}$ értékét:

- Csapolás után mért aktívoxigén-szint ($a_{\text{O}}^{\text{SLE}}$)
- Üstmetallurgiai kezelés során bekövetkezett aktívoxigén-szint változás ($\Delta a_{\text{O}}^{\text{SLE-SLU}}$)
- Üstmetallurgiai kezelés során adagolt alumínium tömege ($\text{Al}^{\text{üstmet}}$)

Ezen paraméterek technikai jellegű beavatkozásokkal próbáltam befolyásolni:

- a konverterben minimum 10 m³-nyi argonos utánöblítés,

- csapoláskor adagolt alumínium tömegének csökkentése legfeljebb 1,6 kg Al/t acél –ra,
- az üstmetallurgiai kezelés során a felső argonbefúvás elhagyása,
- az üstmetallurgiai kezelés végén legalább 6-8 perc tisztító hatású, kis intenzitású (150-200 Nl/perc) alsó argonadagolás.

A javaslataim hatásainak közvetlen értékelésekor eltekintettem a faktoranalízistől és a korrelációvizsgálatától, mert azoknak az első sorozat során nyert adatok analizálásánál volt az a feladatuk, hogy rámutassanak azokra a paraméterekre, amik beavatkozást igényelnek. Ezúttal inkább közvetlenül vizsgáltam a javasolt változtatások hatásait: ugyanazon táblázatban illetve diagramon tüntettem fel a kiindulási állapotot jellemző első sorozat mellett

- a harmadik sorozat adagjai közül azon 13 adatait, amelyek (a négy legfontosabb közül) legalább három módosítást teljesítette,
- annak a hat szekvensnek (összesen 27 adag) az adatait, amelyek a fenti 13 adagot tartalmazták.

Az egyes beavatkozások hatását ellenőrizendő, feltüntettem a harmadik sorozat adagjai közül azokat is, amelyek az aktuális javasolt módosítást teljesítették, illetve nem teljesítették.

7.3.6.1. Javaslatok hatása a lerakódások képződéséhez vezető paraméter értékek szabályozására

Mint az első sorozat értékelésénél bebizonyítottam, hogy a kezelés utáni összoxigén-tartalom változása ($\Delta\Sigma^{\text{SLU-VP}}$) van a legnagyobb befolyással a kagylószűküléshez vezető lerakódásokra, azonban ezt közvetlenül nem lehet befolyásolni. Akkor kimutattam, hogy melyek azok a paraméterek, amik szabályozásával nagyban csökkenthet ez az érték, ezért első lépésben az általam javasolt módosítások hatását ezen értékekre vonatkozóan elemeztem:

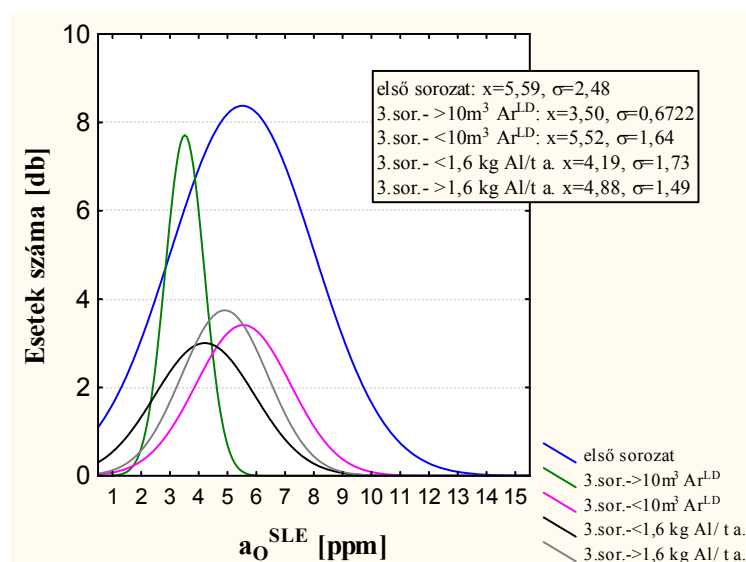
a) Csapolás után mért aktívoxigén-szint (a_O^{SLE})

A kezelés elején mért aktívoxigén alacsonyabb szintje (**7.14. ábra**) több szempontból is pozitívan befolyásolja az üstmetallurgiai kezelést: a kezelés során kevesebb dezoxidálás szükséges és így kevesebb alumíniumoxid képződik, illetve kisebb oldott alumínium-tartalom szükséges. Emiatt a javaslataim kialakítása során törekedtem a csapolás után mért aktívoxigén-szint mérséklésére, ezért kértem a konverterben történő min. 10 m³-nyi argonos utánöblítést.

A csapolás után mért összoxigén-tartalom módosítására kértem az elődezoxidálásként adagolt alumínium tömegének 1,6 kg Al/t acél mennyiségre csökkentését, ami szintén befolyásolhatta a csapolás után mért aktívoxigén-szintet, ezért megvizsgáltam ennek a hatását is.

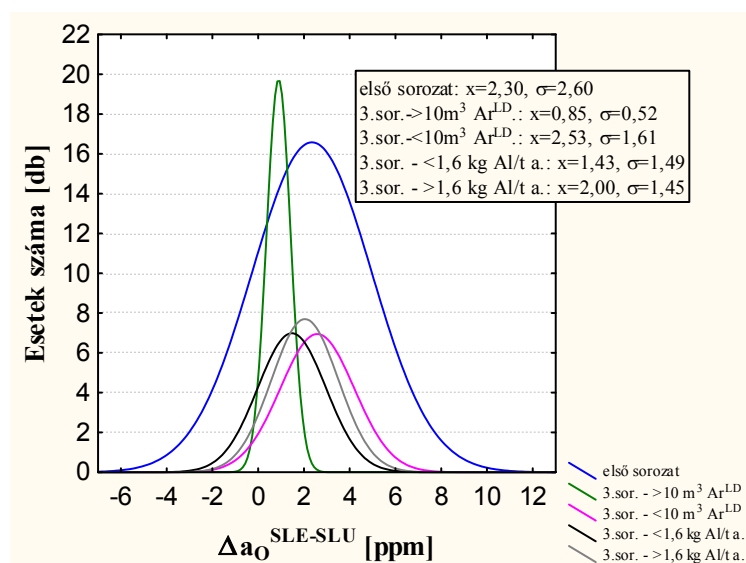
Teljesültek az elvárásaim: több mint 2 ppm-el csökkent az átlagos csapolás utáni aktívoxigén-tartalom és a „kiszámíthatósága” is jelentősen javult, alig harmad akkora sávban szóródtak a mért értékek.

Az elődezoxidálási célból adagolt alumínium tömegének változása is előnyös irányba befolyásolta az aktívoxigén-szintet, ami a beavatkozás kockázatosságát is csökkenti.



7.14. ábra A kezelés kezdetén mért aktívóxi-gén-szint (a_O^{SLE}) eloszlása

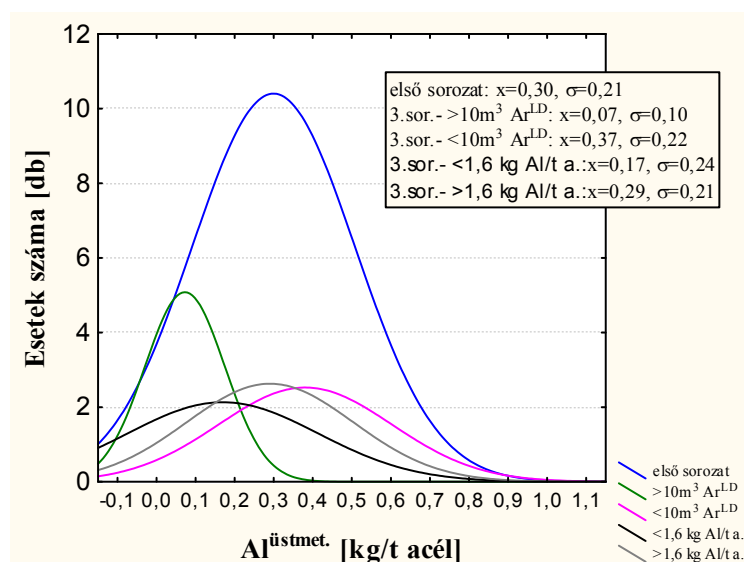
b) Üstmetallurgiai kezelés során bekövetkezett aktívóxi-gén-szint változás ($\Delta a_O^{SLE-SLU}$)



7.15. ábra Üstmetallurgiai kezelés során mért aktívóxi-gén-szint változás ($\Delta a_O^{SLE-SLU}$) eloszlása

Az alacsonyabb kiinduló érték meghozta a várt eredményt (7.15. ábra): **azon adagoknál, amelyek a konverterben megfelelő (legalább 10 m³-nyi) argonos öblítést kaptak, lényegesen kevesebb dezoxidálás is elégséges volt. (3. Tézis)**

c) Üstmetallurgiai kezelés során adagolt alumínium tömege ($Al^{üstmet}$)



7.16. ábra Üstmetallurgiai kezelés során adagolt alumínium fajlagos tömegének ($\text{Al}^{\text{üstmet.}}$) eloszlása

A kezelés során elért aktívoxigén-szint csökkenés kevesebb alumínium adagolása mellett teljesült (7.16. ábra), ami a képződött alumíniumoxidok mennyiségét mérsékelve volt jó hatással a kagylószűkülést kiváltó lerakódások képződésére.

7.3.6.2. Lerakódás-képződéshez vezető paraméterek

Miután bebizonyosodott, hogy a javaslataim jó hatással voltak az összoxigén-tartalomra és az értékükben bekövetkezett változásokra leginkább befolyással való paraméterekre (a_o^{SLE} , $\text{Al}^{\text{üstmet.}}$, $\Delta a_o^{\text{SLE-SLU}}$), megvizsgáltam a közvetlen hatásukat is.

Összehasonlítva az összoxigén-tartalmakat és változásait (7.24. táblázat) világosan látszik, hogy bár a végpróba összoxigén-tartalma ($\Sigma\text{O}^{\text{VP}}$) enyhe emelkedést mutat, de a végtermékre vonatkozó előírást ($<50 \text{ ppm}$) még így is kényelmesen teljesítette. A kagylószűkülési hajlam szempontjából ezektől viszont sokkal lényegesebb, a kezelés utáni összoxigén-tartalom változásában ($\Delta\Sigma\text{O}^{\text{SLU-VP}}$) bekövetkezett 53 %-nyi csökkenés. ***Ez a kiugró javulás annak köszönhető, hogy a kezelés közben tapasztalt összoxigén-szint ($\Delta\Sigma\text{O}^{\text{LDU-SLU}}$) változás több mint 75 %-kal nőtt, azaz a megfelelő tisztító hatású javaslataim (felső argon befűvás elhagyása, csökkentett intenzitású alsó öblítés) meghozták a várt eredményt. (3. Tézis)***

7.24. táblázat A különböző időszakokban mért átlagos összoxigén-tartalmak [ppm] és változások

	$\Sigma\text{O}^{\text{LDU}}$	$\Sigma\text{O}^{\text{SLU}}$	$\Sigma\text{O}^{\text{VP}}$	$\Delta\Sigma\text{O}^{\text{LDU-SLU}}$	$\Delta\Sigma\text{O}^{\text{SLU-VP}}$
első sorozat	102,2	68,4	19,2	33,8	49,2
legalább három javaslatot teljesítő adagok	104,5	44,9	21,7	59,6	23,2
mind a 4 javaslatnak megfelelt adagok	112,0	46,0	19,5	88,0	26,5

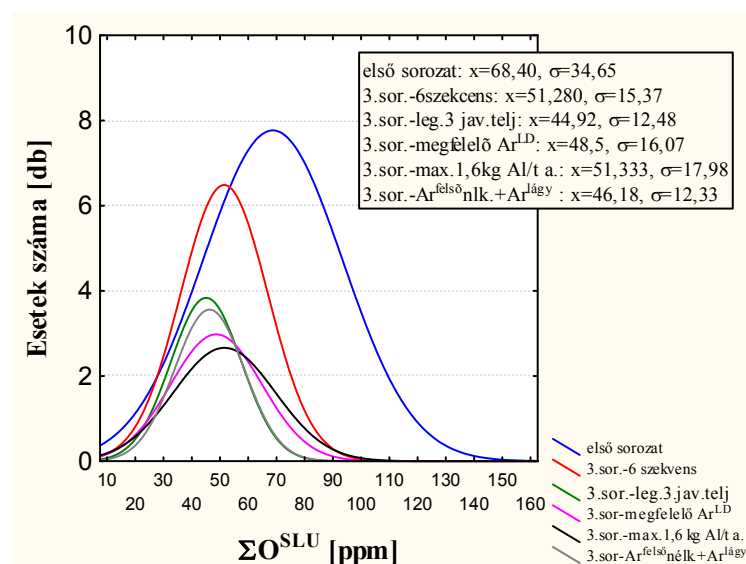
A 7.16 táblázatban ábrázolt megfigyelt szűkülési gyakoriságot összevetve ezen adatokkal bebizonyosodott, hogy jó irányban haladtam, amikor megtettem javaslataimat.

A javasolt módosítások hatásait közvetlenül is megvizsgáltam, egyrészt a szűküléshez vezető mutatók átlagértékeiben bekövetkezett változásokat vizsgáltam, másrészt az értékekre vonatkozó szórást, ami megmutatta, hogy a javasolt változások biztonságosabbá, kiszámíthatóbbá tették-e a gyártást.

a) Kezelés végén mért összoxigén-tartalom (ΣO^{SLU})

A kezelés végi összoxigén-tartalomban (7.17. ábra) jelentős mérséklődést tapasztaltam mind az átlagértékekben, mind a hozzájuk tartozó szórásban: az előbbi harmadával csökkent, az utóbbi 60 %-kal mérséklődött. Ezek **a változások is megerősítik azt, hogy megfelelő irányba indultam el, de nem szabad a javasolt módosításokat csak részlegesen betartani, mert bár mindegyiknek megvan a maga kedvező hatása, de egymást tovább tudják erősíteni.**

A 7.17. ábra és a 7.17. táblázat összevetése alapján kijelenthető, hogy ha a kezelés végén az összoxigén-tartalom (ΣO^{SLU}) 50 ppm alatt marad, akkor jó eséllyel elkerülhető az oxidzárványok olyan mértékű lerakódása, ami az önthetőséget zavarja.



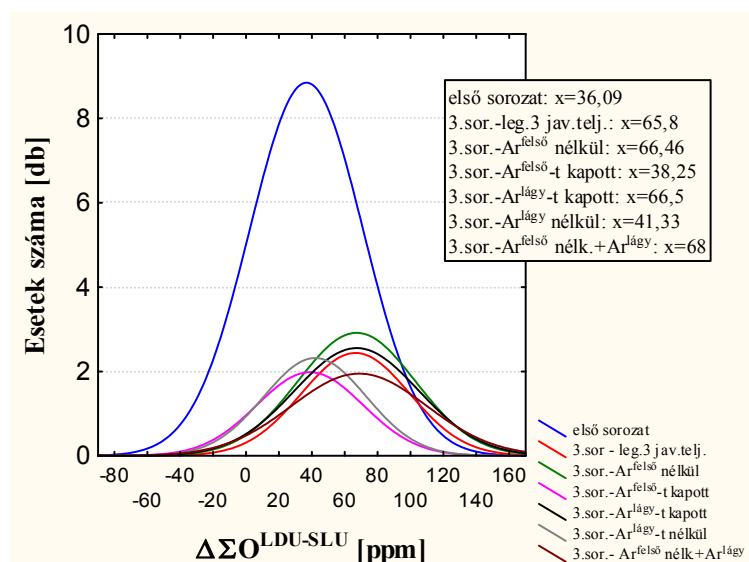
7.17. ábra Kezelés végén mért összoxigén-tartalom (ΣO^{SLU}) eloszlása

b) Kezelés közbeni összoxigén-tartalom változás ($\Sigma O^{LDU-SLU}$)

Mint a 7.24. táblázatban látható a csapolás utáni ~100 ppm-nyi összoxigén-tartalom lecsökkentése mindenképpen fontos feladat. Az első sorozat eredményei rámutattak arra, hogy erre általános esetben kevés figyelmet fordítanak, megelégszenek azzal, hogy a kezelés végén az aktív oxigén 4 ppm alatt marad, illetve a végpróbában az összoxigén-tartalom átlag 20 ppm körül van. Azonban a 7.11. táblázat felhívta a figyelmet arra, hogy **a tisztulás legnagyobb részt – a jelenlegi gyakorlat esetén – az öntésre várás közben történik, ami részben a lerakódások képződésében teljesül.** Ezek miatt tartottam szükségesnek a kezelés közbeni olvadéktisztítás javítását az argonozási technika módosításával.

Két technológiai módosítást javasoltam: felső argonkezelés elhagyását és a kezelés végén legalább 5 perc tisztító hatása kis intenzitású (max. 200 l/perc) alsó argonöblítést. A javaslataim hatását (7.18. ábra) megvizsgálva világosan kitűnik, hogy mindkettő igen jó hatással volt az összoxigén-szint csökkenésére: igazolódtak az elvárásaim.

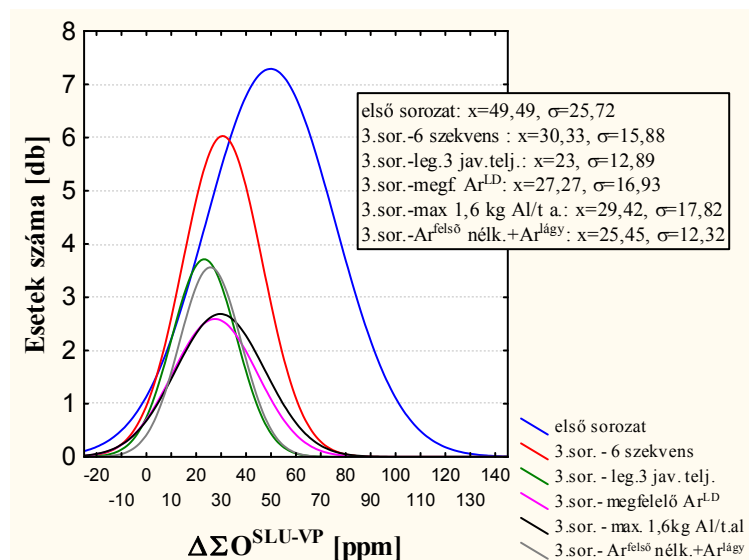
A 7.1.4.2. fejezetben felvetődött felső argon befűvés, mint gyakorlat elhagyásának jogossága beigazolódott, pozitív hatása az önthetőségre a jelenlegi gyakorlattal összevetve ragyogóan bizonyítást nyert.



7.18. ábra Kezelés során bekövetkezett összoxigén-tartalom változás ($\Delta\Sigma O^{\text{LDU-SLU}}$) eloszlása

c) Kezelés utáni összoxigén-tartalom változás ($\Sigma O^{\text{SLU-VP}}$)

A kagylószűkülés első számú okozójaként azonosítottam a kezelés utáni összoxigén-tartalom csökkenését, mert az olvadékból eltávozott oxidok jelentős része az önthetőséget rontva az öntő-szerelvényeken képzett lerakódást. Javasataimmal az ezt leginkább befolyásoló paraméterek mindegyikében komoly változást sikerült elérnem, amit mind a szűkülések arányában, mind a lerakódások minőségében szintén sikerült érvényesítenem. De ahhoz, hogy teljes magabiztossággal kijelenthessem, hogy valóban sikerült a kezelés utáni összoxigén-tartalom csökkenését elérnem és ezzel összefüggnek a fent említett eredmények, összevetettem az első sorozattal (7.19. ábra).



7.19. ábra Kezelés utáni összoxigén-tartalomban történt változás ($\Delta\Sigma O^{\text{SLU-VP}}$) eloszlásai

Az első sorozathoz viszonyítva a harmadik sorozat hat vizsgált szekvensénél mért adatok szerint a $\Delta\Sigma O^{\text{SLU-VP}}$ átlagos értéke közel 40 %-kal csökkent, a javasataim közül legalább hármat teljesítő adagoknál még jelentősebb volt ez a változás (53,5 %). A javasolt módosítások hatásait

egyeseivel megvizsgálva, megállapítható, hogy mindegyik beavatkozás jelentősen javított, de ezek közül is kiemelkedett a kezelés közbeni argonkezelés optimálása. Az átlagértékbeli javuláshoz hasonlóan kedvező változást tapasztaltam a szórásoknál: megfeleződött a sáv, amiben szóródtak az értékek.

A gyártás közben mért értékek is bizonyítják a javasolt módosítások eredményességét, mutatják, hogy még további tartalékok vannak a rendszerben ahhoz, hogy még jobban optimalizálhassuk a rendszert. Fontos megjegyezni az acélgyártás bonyolult rendszerében nem elég a négy javaslatból csak egyet-egyet betartani, mert a javaslatok összefüggnek ezért a rendszer könnyen „elbillenne”. Ezt bizonyítja az, hogy a legalább három előírást teljesítő adagok értékei sokkal kedvezőbbek voltak a legfeljebb egyet teljesítőkkal szemben.

8. Összefoglalás, értékelés

8.1. Kagylószűkülés oka, megelőzésének lehetőségei

A kagylószűkülés fő oka – az alacsony öntési hőmérsékleten kívül – az acélolvadék magas olvadási hőmérsékletű nemfémes zárványtartalmából, az öntőszervelvényeken képződött leraakódás. A lerakódott réteg javarészt oxidokból és szulfidokból áll, amik az acélgyártás folyamán kerültek az acélolvadékba. A zárványok endogén eredetű része túlnyomórészt a dezoxidáció, kéntelenítés és a nem kellően megelőzött reoxidáció során képződtek. Az exogén zárványok a salakból, illetve a tűzállófalazatból származnak.

A reoxidáció során az atmoszférából, salakból vagy a tűzállóanyagokból származó oxigén az acélolvadék oxigénnel nagy vegyrokonságot mutató komponenseivel lép reakcióba. *Hidegen hengerelhető acélok esetén, reoxidációkor az acél oldott alumíniumtartalma képez leggyakrabban az acélgyártás hőmérsékletén szilárd alumíniumoxidot. Különösen veszélyes a kezelés befejeztét követően lezajlott reoxidáció,* mert ekkor már nehezen eltávolítható kisméretű oxidok képződnek. Megoldás lehet az alacsony vasoxid-tartalmú üstsalak, megfelelő tűzállóanyagok alkalmazása, illetve a légkörtől való elszigetelés.

A kagylószűkülés arányának mérséklése az üstmetallurgiai eszközökkel végzett acéltisztaság javítással, illetve a szilárd zárványok modifikációjával érhető el.

Bár a Stokes-törvény szerint a pihentetés közben a zárványok felúszása megtörténhet, de az idő végeessége miatt egyéb megoldásokkal kell élni. *A tisztaságjavítására* a modern üstmetallurgia széles eszközparkot vonultat fel, amelyek közül a *legelterjedtebb az üstfenékbe épített porózustéglán keresztül áramoltatott kis intenzitású argongáz.* Bár az üstmetallurgia számos eszközt kínál az acél tisztaságának javítására, mégsem rendelkezik minden acélmű ezekkel. Még mindig sok vasműben nincs lehetőség utólagos hevítésre, így az elhűlés veszélye miatt az üstmetallurgia számára szánt idő korlátozott. Ilyen üzemekben különösen nehéz a kagylószűkülést olyan acélminőségeknél elhárítani, ahol *hideghengerelhetőség miatt alacsony karbontartalom mellett a szilíciumot is nélkülözni kell, ezért nagymértékű alumíniumos adagolás szükséges.* Ezeknél az acélokban az előírt magas oldott alumíniumtartalom miatt, az üstsalak nagy vasoxid-tartalmából eredően a reoxidáció esélye nagyobb, így a leraakódás képződése gyakoribb.

Az el nem távolított alumíniumoxid zárványok könnyűszerrel alacsonyabb olvadási hőmérsékletű alumináttá alakíthatók. A zárványmodifikáció leggyakoribb formája a kalciumos kezelés, de természetesen annak is megvannak a maga veszélyei: az elégtelen vagy túlzott adagolás.

Mára az acélművek túlnyomórésze a sikeres salakvisszatartással, modern üstmetallurgiai megoldásokkal sikeresen elkerüli az öntőszervelvények keresztmetszetének csökkenésével járó önthetőségi gondokat, de még mindig van számos olyan vasmű, ahol szerényebb az eszközpark.

Mivel nem ritka az ilyen üzem (pl. az ISD Dunafer Zrt is ilyen), **ezért mindenképpen aktualitása van ennek a témának**: még mindig újszerű és fontos következtetések vonhatók le, ami széles tudományos érdeklődésre tarthatnak számot.

8.2. Kísérletek összefoglalása

Üzemi kísérleteim során, három méréssorozatban összesen 135 adag gyártása történt. Az első sorozat az aktuálisan alkalmazott technológia szerint gyártott, szilíciumszegény alumíniummal csillapított acélok gyártását ölelte fel. A kalciumos kezeléssel gyártott második sorozatba nem avatkoztam be, az aktuális technológia szerint gyártott adagokat vizsgáltam. **A kagylószerűülés arányát az acéltisztaság növelésével megoldó harmadik sorozat lefolytatása során, a javaslataim szerint módosított technológia szerint készültek az adagok.**

A kísérletek elérték céljukat, az első sorozat gyártása során tapasztalt **közel 40 %-os kagylószerűülésre** visszavezethető beavatkozási arányt **a kalciumos kezelés esetén hatodára csökkent, javaslataim alapján módosított technológia szerint gyártott** (kalciummal nem kezelt) **adagoknál pedig felére sikerült lecsökkenteni.**

Az első sorozat mért adatai, illetve használt merülőcsövei alapján sikerült beazonosítanom a kagylószerűülés – a hőmérséklet mellett a legjelentősebb – okozójaként, az üstmetallurgiai kezelés vége és az öntés közbeni összoxigén-tartalom csökkenését. A rendelkezésre álló adatokat statisztikai módszerekkel elemeztem és metallurgiai szempontok szerint értékeltem, majd ezek alapján elkészítettem a technológiára vonatkozó javasolt módosításokat. A módosított technológia szerint gyártott adagoknál beigazolódtak a felismert összefüggések, és jelentősen javultak a gyártás során nyert számadatok.

Üzemi körülmények között elvégzett kísérletek során gyűjtött mintákat egyetemi laboratóriumokban vizsgáltam és így kézzelfogható **eredményekkel sikerült bizonyítanom, hogy a hidegen hengerelhető acélok esetén metallurgiai eszközökkel kevésbé jól felszerelt üzemben is jelentősen mérsékelhető a kagylószerűülések okozta önthetőségi gondok aránya.**

8.3. Lerakódások vizsgálatának összegzése

A három sorozat merülőcsövein végzett vizsgálatok eredményeit összevetve jelentős különbségeket találtam:

A kalciummentes acél öntése során:

- Az alkalmazott merülőcső külső és belső felületén porjellegű kirakódásokat, a merülőcső alsó részén porózus szerkezetű tapadványt találtam.
- **A kalciummentes gyártásnál a javaslataim alapján mind a tapadvány szerkezetében, mind a kirakódott porfrakciók összetételében mérséklődött az öntőüst salakjának bekeveredését bizonyító nemfémes zárványok mennyisége.**
- **A tapadvány kalcium-aluminát tartalma elhanyagolható szintre csökkent, a makroporozitás mérséklődött.**
- A javaslataim alapján módosított technológia szerint gyártott adagok esetében **porfrakció** összetétele nagyban változott: **a spinellek és kalcium-aluminátok aránya jelentősen csökkent.**

A **kalciummal kezelt adagok** öntése esetén:

- **Merülőcsövek külső felületén a kirakódás elenyésző mennyiségű.** Ennek állaga és összetétele is eltért: többségbe kerültek az alacsony olvadási hőmérsékletű kalcium-aluminátok.
- **A belső felületen is az előzőekhez képest elhanyagolható mennyiségben** találtam az olvadék nemfémes tartalmából származó réteget.

- A legjelentősebb különbséget a merülőcső belsejére kirakódó, kagylószűkülést okozó tapadvány méretében tapasztaltam.
 - *A vizsgált három darabból mindössze az egyiknél találtam tapadványt*, de még ennek a mennyisége is elenyésző a korábban vizsgáltakhoz képest.
 - A talált tapadványt pásztázó elektronsugaras mikroszkóppal megvizsgáltuk: az elkészült felvételek jól mutatják, hogy *a csekély mennyiségű tapadvány jellemzően az öntőporból és az acélbezáródásokból*.
 - Az elektronsugaras mikroszondás elemzés során túlnyomórészt az öntés végén a merülőcsőbe jutott öntőporral keveredett salakot és az ebbe bezáródott, oxidálódott acélcseppeket találtam.

A kagylószűkülés megakadályozására egyik legjobb (bár nem a legolcsóbb) **megoldás az acél megfelelő kalciumos kezelése**. A kalciumos kezelés azonban csak körültekintő gyártás, megfelelő technológiafigyelem mellett hatékony. **Túlzott vagy éppen túl csekély kalciumadagolás magas olvadási hőmérsékletű kalcium-aluminátokat eredményezhet, amik nem elhárítják, hanem éppen hogy fokozzák a tapadványképződést, ezáltal a kagylószűkülést.**

A **másik** (olcsóbb) **megoldás a megfelelő argonos öblítési technológia**, amivel egyrészt mérsékelhető az exogén zárványok bekerülése, másrészt jelentős mértékű zárványfelúsztatás válik lehetségessé.

8.4. Javasolt módosítások hatásainak értékelése

A kalciumos kezelés, bár Dunaújvárosban jelenleg nem a kagylószűkülés mérséklése miatt alkalmazott, de mégis jó hatással van az önthatóságra: a kagylószűkülésre visszavezethető zavarok száma mintegy 80 %-kal csökkent, ezért megfontolandó a kiterjesztése a többi minőségre is. Mivel a kalciummal kezelt adagoknál nem találtam javítandó lépéseket, ezért csak a szilícium-szegény, alumíniummal dezoxidált (kalciummal nem kezelt) acélok esetén javasoltam technológiai módosításokat.

A javasolt módosítások eredményeinek ellenőrzésére megvizsgáltam a mért adatokban történt változásokat: összevettem a bázis (első sorozat) értékét, a különböző módosítások (7.3.1. fejezet) eredményeivel. Ezt a feladatot, a 36 metallurgiai szempont szerint kiválasztott paraméter átlagos eredményeinek összehasonlításával végeztem el (9.sz. melléklet).

Az első sorozat tanulságai és a szakirodalom alapján összeállított javaslataim szerint, módosított technológiai utasítás készült. **A módosításokat bár nem sikerült a teljes harmadik sorozatnál érvényesíteni, a javaslataimhoz legközelebb eső hat szekvens öntése közben a első sorozathoz képest, felére esett a kagylószűkülésre visszavezethető öntés közbeni beavatkozások száma.** A javaslataim szerint gyártott adagok eredményeit statisztikai módszerekkel elemeztem, és átlagértékek alapján is értékeltem. A két módszer eredményei egybeestek: igazolták, hogy a javasolt módosítások betartása esetén az acélgyártás optimálható. A merülőcsővekben talált lerakódások vizsgálata is megerősítette, hogy a reoxidációra utaló kalcium-aluminátok mennyisége jelentősen mérséklődött a javaslataim hatására.

A 9.sz. melléklet értékei alapján az egyes beavatkozások hatásai:

- Legalább 10m³-nyi, konverterben történt argonos utánöblítés:
 - csökkent az a_0^{SLE} , így az üstmetallurgiai kezelés során kevesebbel kellett csökkenteni az aktívoxigén-szintet, ezért kisebb mennyiségű alumínium ötvözése is elég volt, ami kevesebb alumínium-oxid képződéssel járt együtt. **(3. Tézis)**
 - Az argonos utánöblítés hatására magasabb a salak vasoxid-tartalma, ezért több volt a salak okozta reoxidáció, azaz elengedhetetlen a csapoláskori salakvisszatarthatás megoldása.

- Alacsonyabb volt a kezelés elején a hőmérséklet, így kevesebb szükség volt a gyors hűtőhatású felső argonfúvatásra, ennek köszönhetően volt idő az alsó lágy argonöblítésre és rövidült az üstmetallurgiai kezelés időtartama.
- A kevesebb alumíniumadagolás ellenére magasabb volt a végpróbában az össz- és az oldotalumínium-tartalom (Al_{sol}^{VP} , ΣAl^{VP}).
- Felső argonfúvás elkerülése:
 - Megnőtt az üstmetallurgiai kezelés során az összoxigén-tartalom ($\Delta \Sigma O^{SLU-LDU}$) csökkenése, az öntésre várás közben viszont mérséklődött az összoxigén-szint változása ($\Delta \Sigma O^{VP-SLU}$), ezáltal a lerakódások képződésének esélye is.
 - Jelentősen csökkent a kezelés végén mért összoxigén-szint (ΣO^{SLU}). **(3. Tézis)**
 - Alacsonyabb volt a nitrogéntartalom növekedése, ami légkör okozta reoxidációt csökkenését jelzi ($\Delta \Sigma N^{VP-LDU}$).
- Kezelés végén lágy, tisztító argonöblítés:
 - Magas volt az üstmetallurgiai kezelés során a zárványtartalom csökkenését jelző összoxigén-tartalom mérséklődése ($\Delta \Sigma O^{SLU-LDU}$).
 - Jelentősen csökkent a kezelés végén mért összoxigén-szint (ΣO^{SLU}). **(3. Tézis)**
 - A végpróbában mért össz- és oldotalumínium-tartalom (Al_{sol}^{VP} , ΣAl^{VP}) magasabb volt, ami a reoxidáció mérséklődését mutatja.
 - Lényegesen nem nőtt az üstmetallurgiai kezelés hossza.

*

A célkitűzésekben foglaltakat sikerült teljesítenem, olyan összefüggéseket tudtam feltárni, melyek alapján metallurgiai javaslatokat fogalmaztam meg, amelyeket bármelyik hevítési lehetőséggel nem rendelkező acélmű – illetve olyan üzem is, amelyik bár rendelkezik vele gazdasági szempontból alkalmanként kerülné – felhasználhat a kagylószűkölések arányának csökkentésére.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton köszönöm meg minden kedves segítőm hozzájárulását értekezésem elkészítéséhez. Különösen hálás vagyok témavezetőmnek, mentoromnak Dr. Károly Gyula professzornak, amiért minden feltételt megteremtett és segítséget megadott ahhoz, hogy az elképzeléseimnek megfelelően készülhessen el ezen dolgozat.

Az ISD Dunafer Zrt. dolgozóinak, akik minden tőlük telhetőt elkövettek a kísérleteim sikeres kivitelezéséért, közülük is sok köszönettel tartozom Józsa Róbertnek, aki szakmai és baráti tanácsokkal segítette munkámat.

Köszönet illeti az egyetemi és intézeti professzorokat, kollégákat is, amiért tanácsaikkal támogattak munkámban.

9. Új tudományos eredmények, tézisek

Az értekezésemben elért új tudományos eredményeket (téziseket) a következőkben fogalmazom meg:

Nagyszámú ipari adagon elvégzett kísérletekkel bizonyítottam, hogy a hidegen hengerelhető **szilíciumszegény, Al-mal csillapított acélok önthetősége hagyományos (hevítési lehetőség nélkül) üstmetallurgiai kezeléssel is jelentősen javítható** (7.táblázat) a kagylószűkülést okozó zárványok mennyiségének csökkentésével. A 140 tonnás adagot gyártó és nem kielégítő salakviszszatartással rendelkező acélművek esetén érvényes paramétereket határoztam meg, amiket eltérő feltételekkel rendelkező üzemek a mutatók megfelelő illesztésével szintén alkalmazhatnak.

1. **Kalciumos kezelés nélkül gyártott adagoknál** ásványtani (hazánkban az acélgyártás területén eddig még nem használt) vizsgálatok segítségével igazoltam, hogy **az öntés közben keletkezett lerakódások, tapadványok döntő többsége (~90 %-a) az öntés hőmérsékletén szilárd halmazállapotú oxid.** (3.táblázat)
 - Ezen belül az argonozási technika függvényében a lerakódásokban számottevő (>24 %) az exogén eredetű (aluminát és spinell) zárványok részaránya.
 - A Ca-aluminátok jelenléte (5-10 % illetve 1,54 %,) a Ca-adagolás hiányában a salak okozta reoxidációt bizonyítja és az argonozási technológia hiányosságaira utal.
2. Nagyszámú kísérleti adag statisztikai elemzésével bizonyítottam, hogy **a kagylószűkülési hajlam az üstmetallurgiai kezelés végén és az öntés közben mért összoxigén-tartalom különbségével jól jellemezhető.** A szűkülés gyakoriságát
 - az üstmetallurgiai kezelés során bekövetkezett összoxigén-tartalom csökkenése mérsékli,
 - az üstmetallurgiai kezelés végén mért összoxigén-tartalom növeli,
 - az atmoszférából, ill. az üstsalak FeO-tartalmából származó reoxidáció elősegíti.
3. Megállapítottam, hogy **a kagylószűkülési hajlam a következő technológiai megoldásokkal eredményesen csökkenthető:**
 - **a lépcsős Al-dezoxidáció hatásának fokozása** a primerkemencében alkalmazott meghatározott mértékű (legalább 10 m³) argonos utánöblítéssel, aminek hatására csapoláskor alacsony aktívoxigén-szint biztosítható;
 - **az üstmetallurgiai kezelés végére kialakuló összoxigén-tartalom csökkentése** a reoxidáció lehetőségének korlátozásával, amire a következő lehetőségek alkalmazhatók:
 - a nagy FeO-tartalmú primersalak visszatartása csapolás közben,
 - az átkerült salak redukálása (FeO-tartalmának csökkentése) valamilyen dezoxidáló hatású szer adagolásával,
 - az argonos felső fúvatás kiiktatása, miáltal csökken a salak és az acélfürdő keveredése és a légkör reoxidáló hatása,
 - csökkentett intenzitású (legfeljebb 200 Nliter/perc) legalább 6-8 perc időtartamú argonos alsóöblítés az üstmetallurgiai kezelés végén, ami hatékonyan csökkenti az acélfürdőben maradt zárványok mennyiségét.
4. Mivel a csapolás során az üstbe kerülő primersalak növeli a reoxidációt ezért a veszélyének megítélése céljából **új módszert dolgoztam ki az üstbe kerülő primersalak mennyiségének meghatározására:**

$$m_{salak}^{átkerült-primer} = \frac{m^{sk.+oxid} \cdot FeO^{SLE}}{FeO^{LD} - FeO^{SLE}} \quad [kg]$$

A módszer arra is alkalmas, hogy a salak dezoxidálásához szükséges reagens mennyiségét meghatározzuk. Fenti képlet felhasználásával megállapítottam, hogy a jelenlegi adottságok mellett adagonként 300 – 1800 kg oxidáló primersalak kerülhet az üstbe.

5. A jelenlegi technológia körülmények között amennyiben a javasolt technológiai módosítások nem valósíthatók meg, akkor ***a kagylószűkülés veszélye eredményesen csökkenthető a kialakult aktívoxigén-szint függvényében alkalmazott Ca-adagolással*** (7.13. táblázat), aminek eredményeként az acélfürdő hőmérsékletén folyékony halmazállapotú Ca-aluminátok alakíthatók ki.

Summary

Influence of nozzle clogging in continuous casting of cold-rolled steels by secondary steelmaking without heating

The dissertation investigates the cause of nozzle clogging in continuous casting of especially low-silicon Al-killed steels.

The formation of deposits inside and outside the nozzles (nozzle of ladle and tundish, submerged entry nozzles) used in continuous casting of especially low-silicon Al-killed mild steels may often cause nozzle clogging and casting disorder. Nozzle clogging primarily occurs in the production of steels where non-metallic inclusions with a higher melting temperature than that of the steel (1530 – 1570 °C) are formed (e.g. Al_2O_3 , CaS). The solid inclusions of deposits are the results of oxidation, deoxidation, desulphurization and reoxidation. Technological experience has shown that the application of Ca-treatment and removing of solid inclusions usually eliminate this phenomenon.

I have done 135 industrial experiments in ISD Dunafer Corporation and mineralogical analyses at the University of Miskolc. I have made some statistical analyses for data processing on database from measurements of my experiments. I have done factor analysis and Spearman rank order correlations as well.

In order to understand deposit formation and the way it can be avoided, I have carried out detailed mineralogical analyses of the deposits formed on the inner and outer surfaces of the nozzles by X-ray powder diffractometer, SEM and micro X-ray probe. Results obtained from the deposits formed during the casting of Al-killed steels show that the alumina inclusions at the wall of the nozzle form the matrix of the dangerous deposits. It has shown the amount of alumina is very important data. The amount of alumina could be determined by total oxygen measurement of steels.

I compared the tendency of nozzle clogging at actual methods and the result of my innovations.

One of methods was the Ca-treatment. It turned out to be a good process, because the Ca-treatment resulted liquid inclusions, which do not form deposits. The tendency of nozzle clogging was reduced by 80%.

I demonstrated that the decrement in the amount of total oxygen between the end of secondary steelmaking and the casting of steel is the essentially cause of nozzle clogging. The statistical analysis has shown the amount of total oxygen could be affected by argon stirring in the primary furnace and in the ladle at secondary steelmaking. I have shown when the amount of total oxygen at secondary steelmaking was decreased then the tendency of nozzle clogging was lower. The upper argon blowing could make reoxidation by mixing of ladle slag, which serious problem because in ISD Dunafer the amount of FeO in the ladle slag is too high (~8%). Its cause is the inadequate control of carry-over at the end of tapping. I made an equation for amount of primary slag in the ladle slag.

The intensity of argon bottom stirring is essential, because the solid inclusion can levitate by argon bubbling in case of low stirring intensity.

If we can use the argon stirring in primary furnace then the amount of active oxygen could be decrease so that the aluminium demand and quantity of total oxygen also reduced.

As a result of the trial the tendency of nozzle clogging was reduced by 50%.

Irodalomjegyzék

- [1] L.A.Frank: Castability - From Alumina to Spinels
Iron and Steelmaker April, 1999, pp. 33-39
- [2] M. Nadif, J. Lehmann, M. Burty M., JF. Domgin : Az acél reoxidációja és az üstkagyló eltömődése folyamatos öntésnél: áttekintés
BKL. No.V, 2007, pp. 2-8.
- [3] Károly Gyula: Si-mentes, Al-mal dezoxidált acélok öntése során fellépő kagylószőkülések elhárítása
InnoFerCo Acéltanácsadó, Kutató és Fejlesztő Kft tanulmánya, 1996.
- [4] Károly Gyula: Üstmetallurgia és Folyamatosöntés Tantárgyi segédlet
PowerPoint bemutató, Miskolc Egyetem Metallurgiai és Öntészeti Tanszék, 2006
- [5] C.E.Cicutti, J.Madías and J.C.González: Control of microinclusions in calcium treated aluminium killed steels
Ironmaking and Steelmaking Vol.24, No.2, 1997, pp. 155-159
- [6] R. Dekkers, B. Blanpain, P.Wollants, F. Haers, C. Vercruyssen, and B. Gommers: Non-metallic inclusions in aluminiumkilled steels
Ironmaking and Steelmaking Vol.29, No.6, 2002, pp. 437-444
- [7] F. Fuhr, C. Cicutti: Relationship Between Nozzle Deposits and Inclusion Composition in the Continuous Casting of Steels
Iron and Steelmaker December, 2003, pp. 53-58
- [8] M.J Heesom: Physical and chemical aspects of nozzle blockage during continuous casting
Calcium Treatment Symposium, Glasgow, 1988, pp.69-81
- [9] Károly Gy.-S.Ghazaly : A kalciumos kezelés szerepe a folyamatos öntésre kerülő nagy tisztaságú acélok üstmetallurgiai kezelésekor
IV. Diósgyőri Folyamatos Öntés Szimpózium, Miskolc, 1990,
- [10] T. Schulz, D. Janke, H.-P. Heller, B. Lychatz: Entwicklung umweltfreundlicher Stranggießschlacken
Stahl und Eisen 128 (2008) Nr.4 pp.65-78
- [11] F.Pellicani - B.Durand - A. Gueussier: Guidelines for calcium treatment of steel and state of calcium retained
Calcium Treatment Symposium, Glasgow, 1988, pp.15-22
- [12] Farkas Ottó: Nyersvasmetallurgia
Tankönyvkiadó, Bp, 1989
- [13] Szabó Zoltán: Alacsony zárványtartalmú acél gyártásának feltételei
Dunafer Műszaki Gazdasági közlemények No.4, 2006, pp. 203-208
- [14] Outokumpu HSC Chemistry® for Windows 2002
- [15] Simon Sándor- Károly Gyula: Acélkohászat I.
Tankönyvkiadó, Bp, 1983
- [16] W.Tiekink, R.Boom C, A.Overbosch, J.: Initial stages of alumina formation
VII. Clean Steel Conference, Balatonszéplak, 2007
- [17] Rob Dekkers: Non-metallic Inclusions in Liquid Steel
Ph.D. értekezés, Katholieke Universiteit Leuven, 2002 Juni
- [18] Dr.Károly Gyula et al.Az argonos átöblítés hatékonyságának növelésével a Si-szegény, Al-mal dezoxidált, nagyszilárdságú acélok gyártástechnológiájának fejlesztése
MeAKKK Zárójelentés, 2006.június
- [19] George Kaptay: HT Interfacial Forces, Energies and Phenomena
Materiels for a PhD course
- [20] Szabó Andrea: Szilícium-szegény, alumíniummal dezoxidált acéltisztaságának javítása argonos átöblítés finomításával
Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem Metallurgiai és Öntészeti Tanszék, 2009.

- [21] Lifeng Zhang (Dr.), Brian G. Thomas (Prof.): Inclusions in continuous casting of steel
XXIV National Steelmaking Symposium, Morelia, Mich, Mexico, 26-28, Nov.2003, pp. 138-183.
- [22] K.Sasai, Y. Mizukami: Reoxidation Behaviour of Molten Steel in Tundish
ISIJ International, Vol. 40, 2000, pp. 40-47
- [23] Szentgyörgyi Csaba: Az acélgártás közben fellépő reoxidációs folyamatok tisztaságrontó hatásainak vizsgálata
BKL. Július-Augusztus, 1995, pp. 249-252.
- [24] Jánosfy Gyula: Alumíniummal csillapított, szilíciumszegény lágyacélok fém-alumínium-tartalmának és oxigénszintjének szabályozása
Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem Metallurgiai Intézet, Vaskohászattani Tanszék, 1997
- [25] Józsa Róbert – Gyerák Tamás: A salakvisszazárás bevezetése a hatása az acél tisztaságára, valamint önthetőségére a DUNAFERR Acélművek Kft konvertereinél
V.Anyag és energiatakarékosság a vaskohászatban konferencia, Balatonszéplak 1993.május 13
- [26] <http://www.landinst.com/products/info/slag-detection-system>
- [27] http://www.amepa.de/html/c22_e.html
- [28] http://www.aimnet.it/allpdf/pdf_pubbli/4_05/vai4.pdf
- [29] Ch.Repovc: Öntősugár-védőcsövek alkalmazása, hatásuk az acélminőségre
IV. Diósgyőri Folyamatos Öntés Szimpózium, Miskolc, 1990
- [30] Dr. Tardy Pál, Dr. Verő Balázs, Dr. Fauszt Anna, Réger Mihály: A folyamatos öntés öntőporai: típusok és hatásmechanizmusok
IV. Diósgyőri Folyamatos Öntés Szimpózium, Miskolc, 1990,
- [31] Károly Gy: Si-mentes, Al-mal dezoxidált acélok öntése során fellépő kagylószökülések elhárítása
InnoFerCo Acéltanácsadó, Kutató és Fejlesztő Kft tanulmánya, 1996.
- [32] Dr.Tardy Pál: Nemzetközi tapasztalatok a folyamatos öntés során kialakuló kagylószökülésről
A folyamatos öntési technológia és a minőségbiztosítás fejlesztése az ISD Dunafer Zrt-nél c. konferencia Dunaújváros, 2011. január 28.
- [33] Szikra Tamás: A kombinált fűvás szerepe a hidegen hengerelhető LD-acélok gyártásánál
Miskolci Egyetem Kohómérnöki Kar, Diplomatervezés, 1991.
- [34] W.Krieger, F.Hubner, A.Patuzzi, R.Apfolterer: LD-Prozeß mit Bodenspülung – Maßnahmen, Möglichkeiten, Ergebnisse
Stahl u. Eisen 1985 Nr.12 pp.673-678
- [35] E.T.Turkdogan: Steel deoxidation, inclusion shape control and microsegregation in continuous casting
Iron and Steel Inst. 1989 (5) pp.61
- [36] M.Söder, P.Jonsson, L.Jonsson: Inclusion Growth and Removal in Gas-Stirred Ladles
Steel Research Int. 2004 (2) pp.128-138
- [37] Szabó Andrea: Zárványképződési folyamatok az alumíniummal csillapított szilícium-mentes acéolvadékokban
Kerpely Antal Doktori Iskola: Kutatószemináriumi előadás 2008
- [38] W.Pluschke: Grundoperationen pfannenmetallurgischer Prozesse
Stahl u. Eisen 1981 Nr.13-14 pp.97-103
- [39] Szabó Zoltán: A zárványok átalakítása az acélok kalciumos kezelésével.
Dunafer Műszaki Gazdasági közlemények No.1, 2007, pp. 25-30
- [40] Guozhu YE, Par JONSSON, Thore LUND: Thermodynamics and Kinetics of the Modification of Al_2O_3 Inclusions,
ISIJ International, Vol. 36, Supplement, 1996, pp. S105-S108
- [41] Norbert Bannenberg: Si-mentes acélok önthetőségének javítása CaAl-beles huzal adagolásával
Acélgártási segédlet, Dunaújváros
- [42] Károly Gy.-S.Ghazaly : A kalciumos kezelés szerepe a folyamatos öntésre kerülő nagy tisztaságú acélok üstmetallurgiai kezelésekor
IV. Diósgyőri Folyamatos Öntés Szimpózium, Miskolc, 1990,
- [43] H.K. Tönshoff, W. Kaestner und R. Schnadt: Metallurgische Auswirkungen der Calciumbehand-

- lung von Stahlschmelzen auf das Stranggießen
Stahl und Eisen No.16, 1989 (109) , pp.743-750
- [44] M.K.Sardar, S.Mukhopadhyay, U.K.Bandopadhyay, S.K.Dhua: Optimisation of Inclusion Chemistry by Improved Steel Cleanliness and Optimum Calcium Treatment
Steel Research International No.2, 2007 (78), pp. 136-140
- [45] Zajzon Norbert: Műszeres ásványhatározás
Kézirat, Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar, Miskolc 2011
- [46] Lehota József - Marketingkutatás az agrárgazdaságban
Kempelen Farkas Digitális Tankönyvtár, www.tankonyvtar.hu 2001
- [47] Horvai György (szerkesztő) – Sokváltozós adatelemzés (Kemometria)
Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 2001

Mellékletek jegyzéke

- 1. LD Acélgyártási és Öntési Lap és Kémiai elemzések - minta**
- 2. Acél Gyártási Előírások – első, harmadik sorozat**
- 3. 01/2010/AC KP kísérleti program**
- 4. Első sorozat során gyűjtött fontosabb mérési adatok**
- 5. Első sorozaton végzett korrelációanalízis eredménye**
- 6. Acél Gyártási Előírások – második sorozat**
- 7. 01/2011/AC KP kísérleti program**
- 8. Harmadik sorozat során gyűjtött fontosabb mérési adatok**
- 9. Vizsgált paraméterek átlagos értékei - első, harmadik sorozat**

1. LD Acélgyártási és Öntési Lap és Kémiai elemzések - minta

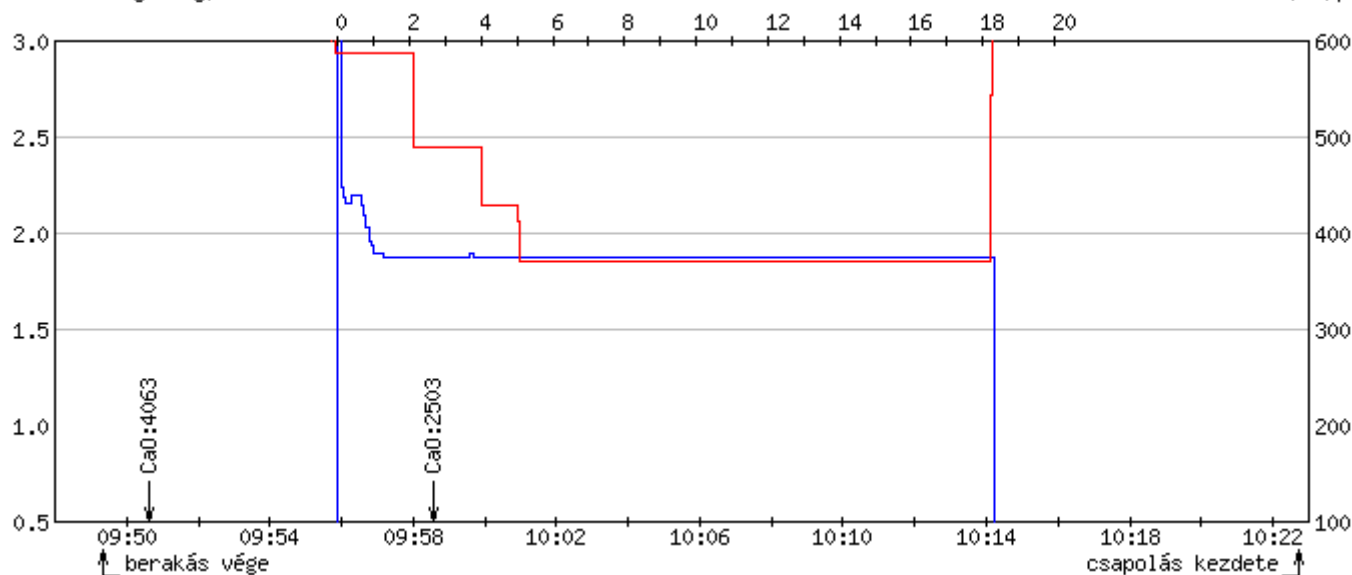


I. LD Acélgyártási Lap
AC_01_008-0.verzió

Készült a ACORACLE rendszerrel
Tabló azonosító : MO-01
2011.05.05 10:16:37

ADAGSZÁM: 535740 **Gyártás dátuma: 2011.05.04** **Kampány/falazat: 93/74**
Cél minőség: St 24 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
.04 0.202 0.012 .014 .007 .059 .044 .002 .001 .003 .043 .039 .001 36 37 1
Gyártószemélyzet:
Műszak: 1 Acélgyártó: Kovács Balázs
Műszakos üzemvezető: Szilárdi Zsolt Olvasztár: Oravecz Zoltán
Fúvatásvezető: Simon Attila Elegymester: Fúzesi Tamás
Tolózárszerelő: Papp Sándor SL kezelő: Nyári László

Hulladékok: Régi adagolható AN1:04.00 Báláz.uj hullad.ULS1:00.00 | Szilárd vas: 000.00
Vegy.hull.báláz.AVS1:03.20 Gépek,ac.öntv.ARM1-2:00.00 | Folyékony vas: 115.00
Salakból kiterm.AÖV1:04.20 Betétbe adagolt FeMn:00.00 | Salakhúzás: Nem
Vasúti bon.nehéz AN3:00.00 Betétbe adagolt FeSi:00.00 |
8mm f.nehéz AN1(>8):00.00 Betétbe egyéb ötvöző:00.00 | C Mn Si S P
Vegy.hull.ollóz.AVO1:00.00 Régi adagol.AN2,ALO1:00.00 | 4.26 0.76 0.57 .015 .067
Kov.üz. új hull.AR1:00.00 Belső achul.UN2,UL1b:14.00 | (Cr: 0.022)
Betonacél AR2,ARS1:00.00 Forgácsbrikett AFS1:02.40 | Hőfok: 1256°C (09:30:00) *
Cu ötvöző:00.00 Sredder hullad.ALh1:02.60 |
Külső új ad.UN1,UL1k:00.00 Hulladék összesen:30.40 | Összesen: 115.00
Berakás: 09:48 - 09:49 Kanálszám: 4 Beöntés: 09:52 - 09:54
Lándzsa magasság,m 02 intenzitás,m3/p



T.idő	Oxigén	Mész	Folyp v.brik	LDsal.	HBI	Pellet	MgO	Koksz	Dolom
Főfúvatás: (09:55:54-10:14:13)	18.33	6955	6566	0	0	0	0	0	0
Összesen	18.56	6955	6566	0	0	0	0	0	0

	pr.idő	C	Mn	S	P	Cu	Cr	Ni	Mo	Hőfok °C, idő
1.LDA	(10:20:00)	0.029	.140	.020	.005	.06	0.047	.039	.005	1674(10:17:27) 1656(10:22:06)

Celox mérések: 10:18:06->611.8ppm,1668°C; 10:18:58->0°C;

	SiO2	CaO	FeO	MnO	MgO	Al2O3	SumS	P2O5	Báz.
1. LDS	14.25	46.54	27.47	6.32	1.63	2.51	0.13	1.05	03.27
Acélcsapolás: 10:22:43 - 10:28:10					Salakcsapolás: 10:32:06 - 10:32:56				
5.47 perc					0.83 perc				

Salakviisszazárás: Igen

Üstszám: 15/79/2

Az utolsó fúvatásig felhasznált N2: 25.10 m3

Ar: 15.62

Az utánöblítésre felhasznált

Ar: 17.11

Ötvözés

idő	FeMn	Al	CaO	AL-s.P
10:25:02	117			
10:25:07		257		
10:25:34			711	
10:25:50				50
10:28:11		28		
Összesen	117	285	711	50

Alsó argon öblítés

Kezelőhely	kezdet	vége	idő	menyiség
I. LD	10:22:44	10:26:42	3.97	767
I. LD	10:28:30	10:31:25	2.92	568
I. LD	10:32:54	10:37:38	4.73	1854
I. LD	10:38:00	10:42:04	4.07	1026
I. LD	10:43:18	10:46:27	3.15	309
I. LD	10:47:28	10:48:38	1.17	446
I. LD	10:49:25	10:50:06	0.68	103
Összesen:			20.68	5073

Üstmetallurgia

SL kezelés: 10:31:59 - 10:49:43 17.73 perc

A R G O N			P O R /		H U Z A L		
Kh kezdet	idő	menyiség	Kh. Megnevezés	kezdet	idő	menyiség	(argon)
			(1)Al 99% 13mm	10:38	0.70	20	0
			(1)Al 99% 13mm	10:47	0.79	25	0

	C	Mn	Si	S	P	Al	V	Nb	Mo	Cu	Cr	Ni	Ca	N	B	idő
1.LDU	.03	0.206	0.012	.017	.005	.049	.002	.001	.004	.06	0.044	.040				10:34
1.SLEA	.03	0.208	0.011	.016	.006	.049	.002	.002	.004	.06	0.044	.040				10:38
1.SLUA	.03	0.211	0.011	.015	.007	.059	.002	.002	.004	.06	0.045	.040				10:56

Celox mérések:

10:32->4.32ppm,1620°C,Al.034%; 10:38->3.48ppm,1606°C,Al.039%; 10:42->

>2.96ppm,1599°C,Al.046%;

10:47->3.33ppm,1594°C,Al.033%;

	SALAK	SiO2	CaO	FeO	MnO	MgO	Al2O3	SumS	P2O5	Báz.
1.SLES		7.91	57.43	9.69	3.07	3.09	18.17	0.16	0.38	7.26
1.SLUS		7.98	55.71	7.29	3.18	3.57	21.72	0.17	0.28	6.98

Megjegyzések:

01/2011/AC/KP

acélgyártó

ADAGSZÁM : 535740 Műszak szám : 1 Bizonylat dátum:2011-05-04 13:04
Szelvény: B10 -B10 Programozott minőség: St 24

ÖNTŐ SZEMÉLYZET:Váltó műszak

Foly.ir.kormányos: Gallai Béla
Foly.ir.öntő: Bukor Gábor
Nagyüst kezelő: Bilinszki Norbert
Öntő: Juhász Gábor | Szabó Péter |
FAM kormányos: Nagy Gyula | Sebestyén László |

KEZELÉS UTÁNI PRÓBA

C :0.026 Mn:0.211 Si:0.011 S:0.015 P:0.007 Cu:0.063 Cr:0.045 Ni:0.040
Al:0.058 V:0.002 Nb:0.002 Mo:0.004 Ox.:0.000 B:0.000 Ca:0.000 N:0.0000

NAGYÜST | **KRISTÁLYOSÍTÓ** **3.szál** | **4.szál**
Üstszám: 15 Nagyüst nyitás: 0 | Száma: 421422 | 471472
Kezdő súly(t): 207.00 11:15 | Öntés száma: 1265 | 401
Befejező súly(t): 81.20 12:07 | Vízmennyiség m3: 344.2 | 333.0
Nettó súly(t): 125.80 | Szinttartás: AUTO | AUTO
Fordító villa: 1 | Mozgató/motorsz: 12/8 | 11/5
 | Öntőpor: Prosimet D7SAT | Prosimet D7SAT
Sugárvédő típusa: PUYANG CLT TGY
3.szál(m): 33.6-ig 4.szál(m): 33.6-ig

KÖZBENSŐ ÜST

szám kocsi adag dugó 1/2 **bélés** **fedőpor**
14 4 1 Ves.(hasznalt) Jematun 20H Nermat BF

ÖNTÉSI HŐMÉRSÉKLET | **MÁSODLAGOS HŰTÉS** **3.szál** | **4.szál**
Min öntési hőmérséklet: 1556°C * idő:11:34 | 1/A zóna,m3/óra: 16.54 | 16.52
Max öntési hőmérséklet: 1563°C idő:11:44 | 1/B zóna,m3/óra: 23.32 | 23.30
Hőfok különbség: 7°C | 2 zóna,m3/óra: 15.58 | 15.54
 | 3 zóna,m3/óra: 13.47 | 13.39
ÖNTÉSI SEBESSÉG 3.szál | 4.szál | 4 zóna,m3/óra: 10.87 | 10.89
Ajánlott: 0.65 0.65 | 5 zóna,m3/óra: 9.56 | 9.54
Átlag: 0.58 0.58 | Összesen: 89.34 | 89.18

3.szál: B10 **B R A M M Á K** 4.szál: B10
ÖNTÉSI IDŐ | ki- mű- ki- mű-
Öntésre várás: 51 perc | szám hossz súly vágva szak | szám hossz súly vágva szak
Kezdet: 11:19 2011.05.04 | 1 301L 8400 15.624 0 1 | 401L 8400 15.624 0 1
Vég: 12:17 2011.05.04 | 2 302L 8400 15.624 0 1 | 402L 8400 15.624 0 1
Tartam: 58 perc | 3 303L 8400 15.624 0 1 | 403L 8400 15.624 0 1
----- | 4 304L 8400 15.624 0 1 | 404L 8400 15.624 0 1
EGYEBEK
3.szál 4.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: 0.000
Összesen,t: 1.488
Össz 4 33600 62.496 0 4 33600 62.496 0
Adag: 8 db Hossz: 67200 mm Súly: 124.992 t Kivágva: 0 mm 0.000
t

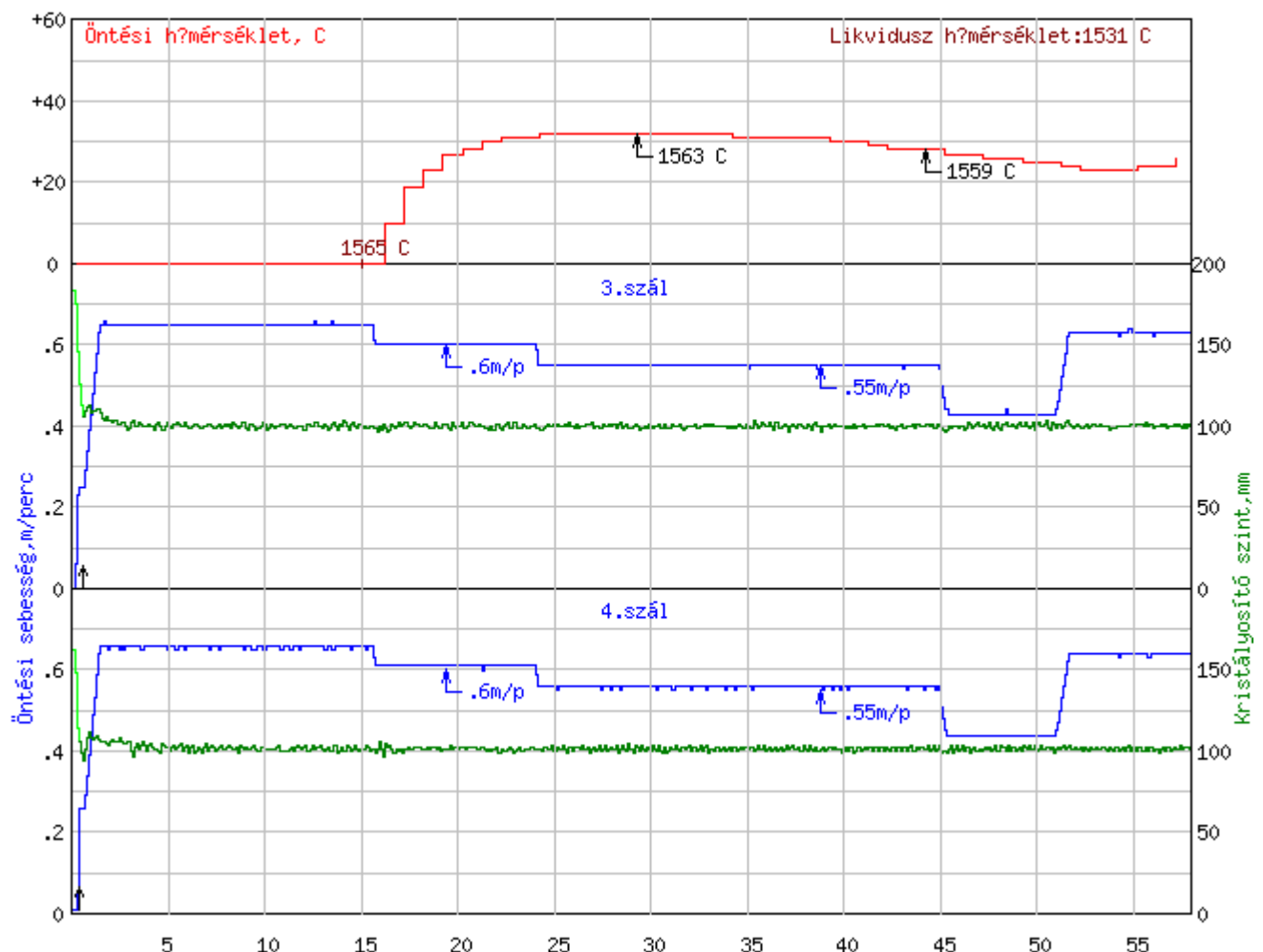
ADAGSZÁM : 535740 Műszak szám : 1 Bizonylat dátum:2011-05-04 13:04
Szelvény: B10 -B10 Programozott minőség: St 24

M E R Ü L Ö K				MINŐSÍTÉS	
3.szál	m	4.szál	m	AcGyE kód: 1040/0	
RHI-TX18 (1.)	.00	RHI-TX18 (1.)	.00	Öntési osztály: 1	

BEAVATKOZÁSOK						Felület:		
3.szál	m	-	m	4.szál	m		-	m
Lassítás	9.50	-	30.00	Lassítás	9.50		-	30.00

Ellenőrzésvezető

Megjegyzés: Próbavétel: 4/8.4-25.2 m-nél.
01/2011/AC/KP
301, 401-es bramma csiszolás /CS/.
Lassítás term. vez. utasításra adagra várás miatt.



FAM műszakos üz.véz.

ADAGSZÁM:535740

Acélpróbák:

Típus	s.sz.	C	Mn	Si	S	P	Al	ΣO	N	Ca	Casol	Alsol	CE	C _{Pcm}	a _O	Elemzés időpontja	Megjegyzés
N	1	4.260	0.764	0.566	0.015	0.067										2011.05.04 09:50	
LDA	1	0.029	0.140	0.002	0.020	0.005	0.607		.0017						611,8	2011.05.04 10:20	
LDU	1	0.026	0.206	0.012	0.017	0.005	0.049	118	.0035			.043				2011.05.04 10:34	
SLEA	1	0.026	0.208	0.011	0.016	0.006	0.049	65	.0038			.045			4,32	2011.05.04 10:38	
SLUA	1	0.026	0.211	0.011	0.015	0.007	0.059	55	.0036			.056			3,33	2011.05.04 10:56	
VP	1	0.037	0.202	0.012	0.014	0.007	0.044	37	.0036			.042	0.086	0.054		2011.05.04 12:25	Minősítő próba

Salakpróbák:

Típus	s.sz.	SiO ₂	CaO	FeO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	össz S	P ₂ O ₅	Bázicitás	Elemzés időpontja	Megjegyzés
LDS	1	14.25	46.54	27.47	6.32	1.63	2.51	0.13	1.05	3.27	2011.05.04 11:00	
SLES	1	7.91	57.43	9.69	3.07	3.09	18.17	0.16	0.38	7.26	2011.05.04 11:32	
SLUS	1	7.98	55.71	7.29	3.18	3.57	21.72	0.17	0.28	6.98	2011.05.04 11:35	

Kiegészítő elemzések

Típus	s.sz.	Alkotó	Érték	M.E.	Elemzés időpontja	Megjegyzés
VP	1	O	0.0037	%	2011.05.04 12:45	

Megjegyzés:

- Megfelelő utánöblítés
- sikeres salakvisszazárás
- salakba 25 kg Al
- 6 perc lágy argon után 25 kg Al
- Túl magas ΣO^{VP}=37 ppm
- Rövid idő az öntés megkezdése és a SL kezelés között (20 perc)

2. Melléklet



Acélmű Gyártási Előírás

Név: St 24
Szabványszám: 104. VGYU

AcGyE:1040

Vezérminőségkód:100004
0.módosítás

Kémiai összetétel %				Ötvözési javaslat		Fúvatás végi paraméterek	
Elfogadási kritérium		Belső	Anyag %	kg			
C:	- 0.06	- 0.06	FeMn carb.:			C-tartalom:	0.04 %
Mn:	- 0.30	0.15 - 0.30	FeSiMn:			Hőmérséklet:	1650 °C
Si:	- 0.03	- 0.03	FeSi:			Salak bázicitás:	3.00
P:	- 0.020	- 0.020	CaSi:				
S:	- 0.020	- 0.020	Al:	250		Betétösszeállítás:	
Al:	0.020 - 0.060	0.025 - 0.050	FeV:			salakhúzás:	nem
V:	-	-	FeNb:			Acélhulladék:	Normál
Nb:	-	-	FeMo:				
Cu:	- 0.15	- 0.15	FeP:			Adaggyártás:	
Cr:	- 0.15	- 0.15	FeCr carb.:			Alsó gázöblítés:	ált.techn.
Ni:	- 0.15	- 0.15	FeCr aff.:			Utánöblítés:	9 m ³
Ti:	-	-	Al a salakba:			(3 perc 500 l/perc)	
Mo:	-	-	Ti-szivacs:			Salakvisszazárás:	igen
B:	-	-	FeB:			Szekunder salak:	
N:	-	-	FeMn aff:			fajtája:	menny:
T _{likv} (felső-alsó)	1533°C	1526°C				CaO+CaF ₂	800
T _{likv} (átlag)	1529°C						
öntés				Üstmetallurgia			
Öntési hőm.:	1545 °C-1570 °C			Kezelés előtti hőmérséklet: 1615 °C			
Öntési osztály:	1			Kezelés utáni hőmérséklet: 1595 °C			
Húzási seb.B09:	0.70			Kezelés			
(m/perc) B10:	0.65			mennyfelső Aralsó Arakt. O max. [ppm]			
B11:	0.62	ssz. fajtája:		[kg]	[perc]	[perc]	előtte utána
B12:	0.60	1/1 Argonozás		-	2	8	- 4.0

Megjegyzés:Csapolás elején elődeoxidálás 40 kg koksodarával. Al-mokka a fél adag lecsapolása után. Öntés-kor a reoxidáció elkerülésére tömítőgyűrűs védelem.
Csiszolás nélkül a TK-re irányítható ha,
--a kristályosító beállítás üzemmódban műk. (A=6 mm, f=85 1/p v. A=11 mm, f=95 1/p),
--aktív oxigén SL kezelés végén < 5 ppm,
--összox.-tart. végpr.-ban < 50 ppm, N felv. a végpr. és a közb.üst pr. alapján < 10 ppm,
--öntési hőmérséklet <=1575 °C.
--A szekvens első és utolsó brammáját valamint az öntési rendellenességgel rendelkező brammákat csiszolóra kell irányítani (a nem megfelelő brammák kivételével!).
Cu+Cr+Ni: max 0.2500

Dátum: 2007.05.04

Kémiai összetétel %			Ötvözési javaslat		Fúvatás végi paraméterek	
Elfogadási kritérium	Belső	Anyag %	kg			
C:	- 0.06	- 0.06	FeMn carb.:			
Mn:	- 0.30	- 0.30	FeSiMn:		C-tartalom:	0.04 %
Si:	- 0.03	- 0.03	FeSi:		Hőmérséklet:	1650 °C
P:	- 0.020	- 0.020	CaSi:		Salak bázicitás:	3.00
S:	- 0.020	- 0.020	Al:	250		
Al:	0.020 - 0.060	0.025 - 0.050	FeV:		Betétösszeállítás:	
V:	-	-	FeNb:		salakhúzás:	nem
Nb:	-	-	FeMo:		Acélhulladék:	Normál
Cu:	- 0.15	- 0.15	FeP:			
Cr:	- 0.15	- 0.15	FeCr carb.:		Adaggyártás:	
Ni:	- 0.15	- 0.15	FeCr aff.:		Alsó gázöblítés:	ált.techn.
Ti:	-	-	Al a salakba:		Utánöblítés:	9 m ³
Mo:	-	-	Ti-szivacs:		(3 perc 500 l/perc)	
B:	-	-	FeB:		Salakvisszazárás:	igen
N:	-	-	FeMn aff:		Szekunder salak:	
					fajtája:	menny:
T _{likv} (felső-alsó)	1533°C	1526°C			CaO+CaF2	800
T _{likv} (átlag)	1529°C					

öntés
Üstmetallurgia

Öntési hőm.: **1545 °C-1570 °C**

Öntési osztály: **1** Kezelés előtti hőmérséklet: **1615 °C**

Húzási seb.B09: **0.70** Kezelés utáni hőmérséklet: **1595 °C**

(m/perc) B10: **0.65** Kezelés mennyifelső Aralsó Arakt. O max. [ppm]

B11: **0.62** ssz.fajtája: [kg] [perc] [perc] előtte utána

B12: **0.60** 1/1 Argonozás - 2 8 - 4.0

Megjegyzés: Az előírt húzási sebességek 30°C-os túlhevítésig érvényesek. 31-40°C-ig 0,02-vel, 41-50°C-ig 0,03-mal, 50°C felett 0,10 m/perccel kell csökkenteni az előírt max.húzási sebességet.

Megjegyzés:Csapolás elején elődeoxidálás 40 kg kokszzarával. Al mokka a fél adag lecsapolása után. Öntéskor a reoxidáció elkerülésére tömítőgyűrűs védelem.

Csiszolás nélkül a TK-re irányítható ha,

--a kristályosító beállítás üzemmódban műk. (A=6 mm, f=85 1/p v. A=11 mm, f=95 1/p),

--aktív oxigén SL kezelés végén < 5 ppm,

--összox.-tart. végpr.-ban < 50 ppm, N felv. a végpr. és a közb.üst pr. alapján < 10 ppm,

--öntési hőmérséklet <=1575 °C.

--A szekvens első és utolsó brammáját valamint az öntési rendellenességgel rendelkező brammákat csiszolóra kell irányítani (a nem megfelelő brammák kivételével!).

Cu+Cr+Ni: max 0.3000

Dátum: 2007.05.04

Kémiai összetétel %			Ötvözési javaslat		Fúvatás végi paraméterek	
Elfogadási kritérium	Belső	Anyag %	kg			
C:	- 0.05	- 0.05	FeMn carb.:			
Mn:	- 0.25	0.15 - 0.25	FeSiMn:		C-tartalom:	0.03 %
Si:	- 0.03	- 0.03	FeSi:		Hőmérséklet:	1650 °C
P:	- 0.020	- 0.020	CaSi:		Salak bázicitás:	3.00
S:	- 0.020	- 0.020	Al:	250		
Al:	0.020 - 0.060	0.025 - 0.050	FeV:		Betétösszeállítás:	
V:	-	-	FeNb:		salakhúzás:	nem
Nb:	-	-	FeMo:		Acélhulladék:	Extra
Cu:	- 0.10	- 0.10	FeP:			
Cr:	- 0.05	- 0.05	FeCr carb.:		Adaggyártás:	
Ni:	- 0.06	- 0.06	FeCr aff.:		Alsó gázöblítés:	ált.techn.
Ti:	-	-	Al a salakba:		Utánöblítés:	9 m ³
Mo:	-	-	Ti-szivacs:		(3 perc 500 l/perc)	
B:	- 0.0010	- 0.0010	FeB:		Salakvisszazárás:	igen
N:	- 0.008	- 0.008	FeMn aff:		Szekunder salak:	
					fajtája:	menny:
T _{likv} (felső-alsó)	1533°C	1528°C			CaO+CaF2	800
T _{likv} (átlag)	1531°C					

öntés
Üstmetallurgia

Öntési hőm.: **1545 °C-1570 °C**

Öntési osztály: **1** Kezelés előtti hőmérséklet: **1615 °C**

Húzási seb.B09: **0.70** Kezelés utáni hőmérséklet: **1595 °C**

(m/perc) B10: **0.65** Kezelés mennyifelső Aralsó Arakt. O max. [ppm]

B11: **0.62** ssz.fajtája: [kg] [perc] [perc] előtte utána

B12: **0.60** 1/1 Argonozás - 2 8 - 4.0

Megjegyzés: Az előírt húzási sebességek 30°C-os túlhevítésig érvényesek. 31-40°C-ig 0,02-vel, 41-50°C-ig 0,03-mal, 50°C felett 0,10 m/perccel kell csökkenteni az előírt max.húzási sebességet.

Megjegyzés:A fúvatás felétől argonos alsóöblítés. Al mokka a fél adag lecsapolása után. Öntéskor a reoxidáció elkerülésére tömítőgyűrűs védelem.

Csiszolás nélkül a TK-re irányítható ha,

--a kristályosító beállítás üzemmódban műk. (A=6 mm, f=85 1/p v. A=11 mm, f=95 1/p),

--aktív oxigén SL kezelés végén < 5 ppm,

--összox.-tart. végpr.-ban < 50 ppm, N felv. a végpr. és a közb.üst pr. alapján < 10 ppm,

--öntési hőmérséklet <=1575 °C.

--A szekvens első és utolsó brammáját valamint az öntési rendellenességgel rendelkező brammákat csiszolóra kell irányítani (a nem megfelelő brammák kivételével!).

Cu+Cr+Ni: max 0.1500

Dátum: 2010.03.18

Kémiai összetétel %				Ötvözési javaslat		Fúvatás végi paraméterek			
Elfogadási kritérium		Belső		Anyag % kg					
C:	- 0.04	- 0.04	FeMn carb.:						
Mn:	- 0.30	0.15 - 0.30	FeSiMn:			C-tartalom:		0.03 %	
Si:	- 0.03	- 0.03	FeSi:			Hőmérséklet:		1650 °C	
P:	- 0.015	- 0.015	CaSi:			Salak bázicitás:		3.00	
S:	- 0.015	- 0.015	Al:	250					
Al:	0.020 - 0.060	0.025 - 0.050	FeV:			Betétösszeállítás:			
V:	-	-	FeNb:			salakhúzás:		igen	
Nb:	-	-	FeMo:			Acélhulladék:		Extra	
Cu:	- 0.10	- 0.10	FeP:						
Cr:	- 0.05	- 0.05	FeCr carb.:			Adaggyártás:			
Ni:	- 0.05	- 0.05	FeCr aff.:			Alsó gázöblítés:		ált.techn.	
Ti:	-	-	Al a salakba:			Utánöblítés:		9 m ³	
Mo:	-	-	Ti-szivacs:			(3 perc 500 l/perc)			
B:	0.0020 - 0.0040	0.0020 - 0.0040	FeB 22 %:	40		Salakvisszazárás:		igen	
N:	- 0.007	- 0.007	FeMn aff:			Szekunder salak:			
						fajtája:		menny:	
T _{likv} (felső-alsó)		1533°C	1529°C			P jel Al-salak		50	
T _{likv} (átlag)		1531°C				CaO+CaF2		900	
öntés				Üstmetallurgia					
Öntési hőm.: 1545 °C-1570 °C									
Öntési osztály:		1	Kezelés előtti hőmérséklet: 1615 °C						
Húzási seb.B09:		0.70	Kezelés utáni hőmérséklet: 1595 °C						
(m/perc) B10:		0.65	Kezelés		mennyfelső Aralsó Arakt. O max. [ppm]				
B11:		0.62	ssz.fajtája:		[kg]	[perc]	[perc]	előtte	utána
B12:		0.60	1/1 Argonozás		-	2	8	-	4.0
Megjegyzés: Az előírt húzási sebességek 30°C-os túlhevítésig érvényesek. 31-40°C-ig 0,02-vel, 41-50°C-ig 0,03-mal, 50°C felett 0,10 m/perccel kell csökkenteni az előírt max.húzási sebességet.									

Megjegyzés:Fúvatás felétől argonos alsóöblítés. Al-mokka a fél adag lecsapolása után. Öntéskor a reoxidáció elkerülésére tömítőgyűrűs védelem.
Csiszolás nélkül a TK-re irányítható ha,
--a kristályosító beállítás üzemmódban mük. (A=6 mm, f=85 1/p v. A=11 mm, f=95 1/p),
--aktív oxigén SL kezelés végén < 5 ppm,
--összox.-tart. végpr.-ban < 50 ppm, N felv. a végpr. és a közb.üst pr. alapján < 10 ppm,
--öntési hőmérséklet <= 1575 °C.
--A szekvens első és utolsó brammáját valamint az öntési rendellenességgel rendelkező brammákat csiszolóra kell irányítani (a nem megfelelő brammák kivételével!).

Dátum: 2007.03.31

Kémiai összetétel %				Ötvözési javaslat		Fúvatás végi paraméterek	
Elfogadási kritérium		Belső		Anyag %	kg		
C:	- 0.08	-	0.08	FeMn carb. 76 %:	250		
Mn:	0.25 - 0.40	0.25	0.35	FeSiMn:		C-tartalom:	0.04 %
Si:	- 0.03	-	0.03	FeSi:		Hőmérséklet:	1650 °C
P:	- 0.025	-	0.025	CaSi:		Salak bázicitás:	3.00
S:	- 0.030	-	0.025	Al:	250		
Al:	0.020 - 0.060	0.025	0.050	FeV:		Betétösszeállítás:	
V:	-	-	-	FeNb:		salakhúzás:	nem
Nb:	-	-	-	FeMo:		Acélhulladék:	Normál
Cu:	-	-	-	FeP:			
Cr:	-	-	-	FeCr carb.:		Adaggyártás:	
Ni:	-	-	-	FeCr aff.:		Alsó gázöblítés:	ált.techn.
Ti:	-	-	-	Al a salakba:		Utánöblítés:	9 m ³
Mo:	-	-	-	Ti-szivacs:		(3 perc 500 l/perc)	
B:	-	-	-	FeB:		Salakvisszazárás:	igen
N:	-	-	-	FeMn aff:		Szekunder salak:	
						fajtája:	menny:
T _{likv} (felső-alsó)		1532°C	1524°C			CaO+CaF ₂	800
T _{likv} (átlag)		1529°C					

öntés
Üstmetallurgia

Öntési hőm.: **1545 °C-1570 °C**

Öntési osztályok: **1 2** Kezelés előtti hőmérséklet: **1615 °C**

Húzási seb.B09: **0.70 0.67** Kezelés utáni hőmérséklet: **1595 °C**

(m/perc) B10: **0.65 0.62** Kezelés mennyfelső Aralsó Arakt. O max. [ppm]

B11: **0.62 0.59** ssz.fajtája: [kg] [perc] [perc] előtte utána

B12: **0.60 0.57** 1/1 Argonozás - 2 8 - 4.0

Megjegyzés: Az előírt húzási sebességek 30°C-os túlhevítésig érvényesek. 31-40°C-ig 0,02-vel, 41-50°C-ig 0,03-mal, 50°C felett 0,10 m/perccel kell csökkenteni az előírt max.húzási sebességet.

Megjegyzés:Csapolás elején elődeoxidálás 40 kg kokszzdarával. Al-mokka a fél adag lecsapolása után. Öntés-kor a reoxidáció elkerülésére tömítőgyűrűs védelem.

Csiszolás nélkül a TK-re irányítható ha,

--a kristályosító beállítás üzemmódban műk. (A=6 mm, f=85 1/p v. A=11 mm, f=95 1/p),

--aktív oxigén SL kezelés végén < 5 ppm,

--összox.-tart. végpr.-ban < 50 ppm, N felv. a végpr. és a közb.üst pr. alapján < 10 ppm,

--öntési hőmérséklet <=1575 °C.

--A szekvens első és utolsó brammáját valamint az öntési rendellenességgel rendelkező brammákat csiszolóra kell irányítani (a nem megfelelő brammák kivételével!).

Dátum: 2008.05.09

Nyilvántartási szám:

Előkészítette:

.....
Józsa Róbert
metallurgiafejlesztési főosztályvezető

Ellenőrizte:

.....
Lukácsi István
termelésvezető

Jóváhagyta:

.....
Gyerák Tamás
gyárvezető

Jóváhagyás dátuma:
2010.04.01.

Dokumentum birtokosok:	Aláírás:	Dátum:
1. Gyárvezető		
2. Termelésvezető		
3. Metallurgiafejlesztési főosztályvez.		
4. Termelési osztályvezető		
5. Technológiai vezető		
6. Konverter üzemvezető		
7. FAM üzemvezető		
8. Termelésvezetés területi irattár		

1.) Előzmények:

A Miskolci Egyetem és az ISD Dunafer Zrt között K+F szerződés jött létre az acélok reoxidációjának vizsgálatáról. Ehhez a témához szorosan kapcsolódik Harcsik Béla doktoranduszi dolgozatának feladatköre. A téma kidolgozásának segítésére egy szakmai team alakult, amely meghatározta a vizsgálatok rendjét.

2.) A vizsgálati program terjedelme

A vizsgálat elsősorban a Si-mentes Al-al csillapított lágyacélok gyártása és öntése közbeni reoxidációs hatások feltárására, másodsorban a Si-mentes Ca-al kezelt acélok vizsgálatára irányul.

A program folyamán kb. 50 adag Si-mentes lágyacél (HH-i acélok: St24, FeP05, DD14, EK4, stb.) és néhány adag Si-mentes CaAlFe huzallal kezelt acél vizsgálatára kerül sor.

A vizsgált szekvensek a napi gyártási programban a jelen kísérleti program számával kerülnek megjelölésre. A szekvensek gyártását délelőttre kell programozni.

Felelős: **Bálint József termelési osztályvezető**

3.) A vizsgálat mérési és próbavételi rendje

A mérések és próbavételek műszaki felügyelet mellett történnek. A felügyeletet Harcsik Béla, Dr. Szabó Zoltán, az Acélmű képviselői és a Technológiai Igazgatóság munkatársai látják el (napi egyeztetéssel).

3.1.) A konverternél

- hőmérsékletmérés,
- acélpróba,
- salakminta,
- aktív oxigénmérés.

A műszaki felügyeletet ellátó személy által kijelölt adagoknál, utánfűvés után a leírt méréseket és próbavételeket meg kell ismételni.

Az üstpróba kivétele a technológia szerint történik.

3.2.) Az üstmetallurgiai kezelőállásban

1-2 perc alsó Ar kezelés után:

- hőmérsékletmérés,
- aktív oxigén mérés,
- acélpróba,
- salakminta.

A kezelés után:

- hőmérsékletmérés,
- aktív oxigénmérés,
- acélpróba,
- salakminta.

A minták kivételéért felelős: **SL kezelő.**

Az acélmintákból össz. oxigénelemzést is kell kérni. Ca-os kezelésnél a kezelés utáni és a végpróbából fémes és össz. Ca elemzést kell kérni.

Felelős: **A műszaki felügyeletet biztosító személy.**

3.3.) A Folyamatos acélöntőműben

A közbenső üstből:

- Induló adagnál a nagyüstből kifolyt 25 tonna után üstmetallurgiai hosszú szondával próbavétel,
- Minden adagnál a technológiában előírtak szerint 1/3 és 2/3 leöntése esetén acélpróba kivétel. (Azonosítás: adagszám/KÜ25, adagszám/KÜVP1, adagszám/KÜVP2)

A kristályosítóból:

- 1/3 és 2/3 leöntése után normál végpróba és salakpróba kivétele.
(Salakpróba azonosítás: adagszám/KR1, adagszám KR2)

Felelős: **öntőmester és műszaki felügyeletet ellátó személy.**

A salakmintákat és a közbensőüstből kivett acélpróbákat össze kell gyűjteni és együtt kell bejuttatni a laborba.

Felelős: **öntőmester és műszaki felügyeletet ellátzó személy**

A kivett acélpróbákból össz. oxigén, Ca kezelés esetén össz.- és fémes Ca elemzést kell kérni.

Felelős: **műszaki felügyeletet biztosító személy**

4.) A program értékelése

A mérési program kiértékelése az Acélmű és a Technológiai igazgatóság bevonásával a Miskolci Egyetem feladata.

4. Melléklet Első sorozat során gyűjtött fontosabb mérési adatok

adagszám	a _o [ppm]				ΣO [ppm]					
	a _o ^{LDA}	a _o ^{SLE}	a _o ^{SLU}	Δa _o ^{SLE-SLU}	ΣO ^{LDU}	ΣO ^{SLE}	ΣO ^{SLU}	ΣO ^{VP}	ΔΣO ^{LDU-SLU}	ΔΣO ^{SLU-VP}
530053	849,8	8,75	3,31	5,44				21		
530054	526,8	4,36	2,9	1,46	140	97	143	17	-3	126
530055	544,1	4,35	3,08	1,27		84	66	17		49
530056	766,8	5,17	3,39	1,78	113	158		19	113	
530057	843,2	3,76	3,02	0,74	92,5	69	89	15	3,5	74
530058	528,8	3,68	3,02	0,66		35		15		
530059	500,2	5,15	2,68	2,47	71	87	131	15	-60	116
530083	927,5	10,55	3,04	7,51	113	111	57	24	56	33
530085		9,54	2,67	6,87	82	123	129	20	-47	109
530086	511,4	4,28	3,13	1,15	108	117	66	20	42	46
530087	637,2	5,54	2,77	2,77	130	101	48	19	82	29
530088	394,7	3,53	3,01	0,52	62	39	60	15	2	45
530090		3,23	2,63	0,6	118		67	16	51	51
530116	885,5	4,83	3,09	1,74	100	136	49	23	51	26
530118	711,4	3,25	2,63	0,62	80	62	175	17	80	
530119	591,9	4,38	2,94	1,44	128	96	45	16	83	29
530120	779,7	10,91	3,28	7,63	115	133	45	18	70	27
530122	526,1	2,91	2,72	0,19	73	38	36	18	37	18
530154	664,9	4,18	3,39	0,79	98	61	45	18	53	27
530156	682	3,58	2,89	0,69	74	73	56	75	18	
530157	560,5	3,6	2,94	0,66	79,5	41	62	18	17,5	44
530158	965,8	4,84	2,8	2,04	78		85	16	-7	69
530160	659,6	4,24	2,5	1,74	60	16	42	15	18	27
530256	428,9	4,66	3,08	1,58	76	62	41	21	35	20
530258	300	2,95	2,79	0,16	80,5		51	17	29,5	34
530259	753,2	4,1	2,83	1,27	73	94	109	22	73	
530260	690,4	4,5	2,79	1,71		96	92	20		72
530285		5,1	2,9	2,2			65	24		41
530286	494,8	2,7	2,69	0,01			63	16		47
530287	505,1	3,42	3,17	0,25	106	67	66	18	40	48
530288	757,5	12,43	3,08	9,35	141,5	94	89	24	52,5	65
530289	892,3	10,28	3,29	6,99	112	71	49	28	63	21
530290	675,5	6,6	2,79	3,81	86	109	104	17	-18	87
530291	511,2	5,79	2,89	2,9	139	95	60	18	79	42
530292	532	4,37	3,04	1,33		91	85	15		70
530293	667,4	5,2	3,13	2,07	143,5	180	92	15	51,5	77
530294	610,6	4,75	2,91	1,84	112,5	122	93	15	19,5	78
530295	376	3,29	2,79	0,5	116	86	76	16	40	60
530306	496,3	4,6	2,81	1,79	101,5		56	20	45,5	36
530307	551,1	5,32	3,03	2,29	82	77	70	26	12	44
530308	695,1	9,77	3,17	6,6		123	63	26		37
530309	543,7	7,26	2,61	4,65	134,5	112	91	22	43,5	69
530310		6,35	3,1	3,25	149	162	46	24	103	22
530335	690,7	4,1	2,92	1,18	84	65	51	36	33	15
530336	715,4	30,56	2,88	-2,88			103	26		77
530337	491,8	155,4	3,1	-3,1			58	18		40
530338	611,2	6,02	3,21	2,81	91	65	53	15	38	38
530339	733,2	4,14	3,15	0,99	98	58	55	20	43	35
530341	590,7	5,42	2,87	2,55	94	60	56	15	38	41
530340	606,3	5,25	4,16	1,09		85	72	20		52
530342	554,1	5,67	3,23	2,44	124,5			20		
530343*	1077	13,09	3,08	10,01	114	124	77	18	37	59
530344		4,63	2,98	1,65	127	68	40	15	87	25
530345		5,35	3,07	2,28	95,5	80	45	16	50,5	29

*sárga háttérrel jelölve a Kiugróérték-vizsgálat során kiszűrt adatok

4. Melléklet folytatása

adagszám	$\Delta\Sigma$ [ppm]			ΣAl [ppm]				Al_{sol} [ppm]			
	$\Delta\Sigma_{\text{LDA}}^{\text{LDU-}}$	$\Delta\Sigma_{\text{LDU}}^{\text{VP-}}$	$\Delta\Sigma_{\text{SLU}}^{\text{VP-}}$	$\Sigma\text{Al}^{\text{LDU}}$	$\Sigma\text{Al}^{\text{SLU}}$	$\Sigma\text{Al}^{\text{VP}}$	$\Delta\Sigma\text{Al}_{\text{VP}}^{\text{SLU-}}$	$\text{Al}_{\text{sol}}^{\text{LDU}}$	$\text{Al}_{\text{sol}}^{\text{SLU}}$	$\text{Al}_{\text{sol}}^{\text{VP}}$	$\Delta\text{Al}_{\text{VP}}^{\text{SLU-}}$
530053	14	1	1	280	550	430	120	210	480	420	60
530054	19	-1	-3	500	580	470	110	430	560	460	100
530055	18	6	3	540	480	420	60	480	450	410	40
530056	17	5	2	510	450	360	90	410	420	360	60
530057	19	4	-2	660	560	450	110	570	540	450	90
530058	16	8	3	690	560	440	120	610	550	420	130
530059	17	8	10	490	590	500	90	410	570	490	80
530083	25	0	4	300	570	460	110	190	550	440	110
530085	24	-3	-2	610	620	540	80	520	590	530	60
530086	23	4	3	670	520	430	90	570	490	420	70
530087	23	9	6	510	580	490	90	420	520	480	40
530088	16	11	12	780	530	440	90	640	510	430	80
530090	21	-1	-4	650	520	330	190	570	470	320	150
530116	20	10	4	520	520	430	90	440	480	410	70
530118	22	-3	-8	650	610	510	100	550	590	500	90
530119	29	1	-7	490	640	530	110	440	590	520	70
530120	20	5	-5	240	560	480	80	130	540	470	70
530122	21	5	9	830	670	570	100	750	650	560	90
530154	31	-3	3	700	470	470	0	560	460	450	10
530156	27	5	8	620	530	430	100	540	510	420	90
530157	21	1	-4	590	620	510	110	510	610	500	110
530158	34	14	16	580	530	460	70	490	480	450	30
530160	17	14	13	590	660	560	100	510	620	550	70
530256	16	4	2	520	530	430	100	430	510	420	90
530258	13	20	24	640	560	450	110	550	540	430	110
530259	31	12	13	490	640	500	140	410	620	490	130
530260	48	2	7	570	620	550	70	520	600	530	70
530285	22	3	-4	370	520	390	130	320	480	390	90
530286	8	4	-2	860	740	600	140	690	710	570	140
530287	26	2	6	620	490	440	50	500	470	430	40
530288	10	7	4	210	370	270	100	140	340	260	80
530289	37	5	0	250	550	530	20	140	510	480	30
530290	32	2	3	510	610	500	110	380	590	480	110
530291	16	14	18	370	520	410	110	300	410	410	0
530292	24	4	0	710	530	430	100	540	500	420	80
530293	21	3	-4	580	540	440	100	430	480	430	50
530294	23	9	6	540	560	480	80	410	490	470	20
530295	34	16	15	1020	530	410	120	910	500	400	100
530306	14	10	5	460	570	450	120	400	540	440	100
530307	18	23	16	440	460	400	60	350	430	390	40
530308	17	17	15	270	480	380	100	180	430	360	70
530309	23	4	4	360	600	430	170	290	560	420	140
530310	8	19	10	400	550	450	100	330	530	440	90
530335	9	10	-1	560	600	440	160	450	540	430	110
530336	13	0	5	200	480	350	130	100	430	330	100
530337	12	-3	-6	120	590	470	120	60	570	460	110
530338	18	13	13	400	550	450	100	330	540	440	100
530339	7	12	8	420	490	460	30	330	450	450	0
530341	14	13	10	380	600	500	100	310	570	490	80
530340	12	13	11	1230	520	410	110	1100	490	400	90
530342	17	11	6	560	520	430	90	460	480	420	60
530343*	49	-2	-10	300	600	490	110	170	570	480	90
530344	17	28	30	400	530	440	90	320	510	430	80
530345	13	16	10	510	480	410	70	420	440	400	40

4. Melléklet folytatása

adagszám	salak FeO [%]			Hőmérsékletek [°C]				időtartamok [perc]			
	FeO ^{SLES}	FeO ^{SLUS}	ΔFeO ^{SLES-SLUS}	T _{LDI}	T _{SLE}	T _{SLU}	T _{önt}	Δt ^{SLE-önt}	Δt ^{SLU-önt}	Δt ^{csap.}	t _{üstmet.}
530053	9,22	8,47	0,75	1653	1617	1601	1556	36	26	10	7,15
530054	9,16	8,06	1,1	1668	1613	1597	1565	44	32	12	5,15
530055	6,04	5,45	0,59	1693	1623	1599	1571	46	28	18	6,05
530056	10,83	9,62	1,21	1646	1620	1596	1558	41	31	10	7,28
530057	11,89	10,63	1,26	1647	1615	1600	1559	49	40	9	6,93
530058	7,08	7,3	-0,22	1672	1614	1600	1563	61	48	13	6,82
530059	10,28	7,94	2,34	1682	1617	1594	1556	54	35	19	7,33
530083	11,36	9,25	2,11	1674	1640	1599	1560	73	44	29	6,93
530085	8,99	6,97	2,02	1684	1631	1600	1569	39	27	12	6,92
530086	9,14	8,5	0,64	1695	1628	1599	1562	47	30	17	6,55
530087	6,51	5,61	0,9	1657	1629	1592	1565	54	28	26	6,85
530088	9,13	7,21	1,92	1673	1620	1599	1569	64	45	19	7,7
530090	7,66	6,38	1,28	1655	1609	1594	1554	37	31	6	6,62
530116	7,57	5,81	1,76	1652	1625	1597	1555	63	43	20	5,33
530118	7,46	5,82	1,64	1664	1609	1592	1559	46	34	12	6,08
530119	5,68	4,57	1,11	1689	1616	1600	1567	65	50	15	5,38
530120	4,73	3,75	0,98	1662	1634	1602	1565	81	63	18	6,53
530122	5,73	4,91	0,82	1680	1606	1594	1542	66	51	15	7,1
530154	7	5,63	1,37	1683	1627	1599	1559	58	38	20	6,08
530156	9,89	6,3	3,59	1677	1613	1594	1566	43	29	14	4,78
530157	4,21	4,81	-0,6	1669	1614	1602	1556	67	55	12	5,13
530158	6,18	5,4	0,78	1652	1625	1605	1575	83	67	16	5,82
530160	8,13	7,07	1,06	1675	1617	1602	1557	77	63	14	4,35
530256	5,37	6,13	-0,76	1671	1628	1594	1567	55	28	27	5,32
530258	11,3	10,38	0,92	1647	1598	1592	1550	38	30	8	4,7
530259	11,04	8,26	2,78	1645	1612	1599	1552	51	40	11	5,78
530260	4,46	5,85	-1,39	1654	1624	1598	1563	60	39	21	4,78
530285	10,16	9,37	0,79	1659	1620	1589	1566	59	41	18	7,98
530286	10,53	11,39	-0,86	1663	1605	1600	1561	56	49	7	8,05
530287	15,94	14,37	1,57	1663	1606	1600	1562	55	48	7	8,68
530288	11,8	9,22	2,58	1687	1636	1600	1563	36	20	16	7,92
530289	11,32	7,04	4,28	1660	1644	1605	1575	45	24	21	8,08
530290	8,19	7,96	0,23	1683	1639	1595	1566	48	29	19	7,48
530291	10,75	7,72	3,03	1680	1626	1594	1567	49	32	17	7,62
530292	9,75	9,32	0,43	1678	1631	1596	1569	58	31	27	7,33
530293	10,36	9,33	1,03	1687	1632	1595	1569	58	34	24	7,2
530294	8,53	8,02	0,51	1686	1630	1599	1576	55	26	29	7,08
530295	9,15	5,37	3,78	1643	1631	1594	1558	57	39	18	6,82
530306	6,12	6,31	-0,19	1658	1613	1595	1569	38	22	16	6,35
530307	8,69	6,51	2,18	1664	1626	1594	1564	53	31	22	6,88
530308	11,4	7,27	4,13	1683	1644	1606	1567	46	28	18	6,42
530309	9,13	6,04	3,09	1659	1636	1595	1565	59	38	21	5,98
530310	9,17	5,82	3,35	1671	1635	1602	1570	70	51	19	7,07
530335	8,06	5,28	2,78	1666	1612	1597	1571	36	20	16	5,23
530336	15,35	9,82	5,53	1640	1620	1595	1563	56	44	12	4,93
530337	16,91	9,73	7,18	1682	1625	1606	1559	67	45	22	5,4
530338	2,17	1,98	0,19	1687	1630	1599	1560	74	49	25	5,23
530339	7,91	5,58	2,33	1678	1615	1602	1557	77	64	13	5,18
530341	10,31	6,23	4,08	1661	1629	1593	1562	52	33	19	5,22
530340	8,96	5,91	3,05	1671	1628	1602	1570	52	34	18	5,25
530342	6,37	6,11	0,26	1677	1636	1598	1569	44	30	14	6,1
530343*	11,55	8,23	3,32	1644	1635	1605	1564	56	37	19	6,53
530344	11,96	9,06	2,9	1647	1609	1597	1548	74	62	12	6,23
530345	4,62	5,2	-0,58	1688	1636	1604	1567	48	33	15	6,43

4. Melléklet folytatása

adagszám	Al ötvözés [kg Al/t acél]			Argonozás		
	Al ^{elődezőx..}	Al ^{salakred.}	Al ^{üstmet.}	Ar ^{LD} [m ³]	Ar ^{Felső} [perc]	Ar ^{Lágy} [perc]
530053	1,93	0	0,50	1,87	0	0
530054	1,65	0	0,25	9,43	0	0
530055	1,74	0	0,20	15,18	8,54	0
530056	2,09	0	0,18	1,6	1,63	1,80
530057	2,25	0	0,14	2,21	0	1,75
530058	1,69	0	0,07	9,71	0	2,33
530059	1,71	0	0,41	15,33	0	2,43
530083	2,14	0	0,29	1,99	0	2,60
530085	1,92	0	0,36	10,31	1,65	2,00
530086	2,04	0	0,21	14,05	0	0
530087	1,97	0	0,61	4,42	4,19	1,10
530088	1,83	0	0,15	8,21	0	4,37
530090	2,00	0	0	7,96	3,93	0
530116	2,36	0,11	0,43	2,52	2,07	0
530118	2,12	0	0,11	12,98	1,6	2,35
530119	2,09	0	0,29	12,66	0	2,15
530120	2,20	0	0,57	2,1	3,32	0
530122	2,01	0	0	13,1	0	0
530154	1,86	0	0,25	11,25	3,46	0
530156	1,81	0	0,14	21,7	3,47	2,18
530157	2,06	0	0,11	13,32	0	1,63
530158	2,22	0	0,21	3,44	0	0,00
530160	1,83	0	0,33	11,13	0	1,68
530256	1,60	0	0,14	16,19	0	1,88
530258	1,53	0,05	0	14,92	0	0,00
530259	1,94	0,26	0,21	2,11	0	0,00
530260	1,67	0	0,32	9,83	2,37	0,00
530285	1,64	0	0,37	2,5	0	1,88
530286	1,86	0	0	5,99	0	5,14
530287	1,80	0	0,07	9,45	0	2,73
530288	1,76	0	0,42	2,17	2,22	0,00
530289	2,51	0,27	0,93	1,65	3,25	1,32
530290	2,06	0,16	0,42	2,22	0	3,22
530291	1,69	0	0,32	11,13	0	0,85
530292	1,70	0	0,11	9,89	0	1,52
530293	1,66	0	0,32	12,58	0	0,00
530294	1,78	0	0,25	10,81	0	0,00
530295	2,39	0,14	0	1,15	7,37	0,00
530306	1,70	0	0,29	6,36	2,37	0,00
530307	1,49	0	0,46	7,53	14,85	0,00
530308	1,60	0,16	0,68	6,28	9,24	0,00
530309	1,77	0	0,46	3,62	0	0,00
530310	1,64	0	0,21	5,58	0	1,78
530335	1,84	0	0,21	11,49	5,92	6,20
530336	1,89	0	0,68	2,09	5,63	0,00
530337	1,71	0	0,86	11,05	4,47	2,75
530338	1,53	0	0,29	10,53	1,87	0,00
530339	1,54	0	0,14	4,66	0	0,00
530341	1,59	0	0,39	9,38	2,3	0,00
530340	1,76	0	0,21	8,9	5,96	0,00
530342	1,76	0	0,26	8,79	0	0,00
530343*	2,33	0	0,56	2,59	0	3,00
530344	1,81	0	0,27	3,25	2,13	0,00
530345	1,84	0	0,36	12,92	7,52	0,00

5. Első sorozaton végzett korrelációanalízis eredménye

	a_0^{LDA}	a_0^{SLE}	a_0^{SLU}	$a_0^{\text{LDA-SLE}}$	$a_0^{\text{SLU-SLE}}$	ΣO^{LDU}	ΣO^{SLU}	ΣO^{VP}	$\Sigma O^{\text{LDU-SLU}}$	$\Sigma O^{\text{SLU-VP}}$
a_0^{LDA}	1	0,466	0,280	0,999	0,482	0,103	0,005	0,313	0,116	-0,002
a_0^{SLE}	0,466	1	0,354	0,450	0,971	0,434	0,129	0,425	0,399	0,001
a_0^{SLU}	0,280	0,354	1	0,270	0,209	0,299	-0,233	0,269	0,362	-0,188
$a_0^{\text{LDA-SLE}}$	0,999	0,450	0,270	1	0,467	0,091	0,003	0,309	0,117	-0,002
$a_0^{\text{SLU-SLE}}$	0,482	0,971	0,209	0,467	1	0,386	0,128	0,387	0,364	-0,019
ΣO^{LDU}	0,103	0,434	0,299	0,091	0,386	1	0,080	0,193	0,682	0,204
ΣO^{SLU}	0,005	0,129	-0,233	0,003	0,128	0,080	1	-0,007	-0,480	0,942
ΣO^{VP}	0,313	0,425	0,269	0,309	0,387	0,193	-0,007	1	0,337	-0,226
$\Sigma O^{\text{LDU-SLU}}$	0,116	0,399	0,362	0,117	0,364	0,682	-0,480	0,337	1	-0,462
$\Sigma O^{\text{SLU-VP}}$	-0,002	0,001	-0,188	-0,002	-0,019	0,204	0,942	-0,226	-0,462	1
$\Delta \Sigma N^{\text{LDU-LDA}}$	0,269	0,021	-0,168	0,275	0,061	-0,001	0,218	-0,018	-0,067	0,246
$\Delta \Sigma N^{\text{VP-LDU}}$	-0,150	0,049	0,036	-0,158	0,034	-0,092	-0,316	-0,082	0,052	-0,303
$\Delta \Sigma N^{\text{SLU-LDU}}$	0,167	0,135	0,237	0,165	0,133	0,298	-0,153	0,002	0,150	-0,165
$\Delta \Sigma N^{\text{VP-SLU}}$	-0,204	-0,007	-0,108	-0,209	-0,018	-0,240	-0,134	-0,019	-0,052	-0,115
$\Sigma \text{Al}^{\text{LDU}}$	-0,380	-0,759	-0,226	-0,368	-0,813	-0,422	0,046	-0,465	-0,471	0,131
$\Sigma \text{Al}^{\text{SLU}}$	-0,074	-0,137	-0,569	-0,057	-0,032	-0,280	-0,029	-0,264	-0,193	-0,050
$\Sigma \text{Al}^{\text{VP}}$	0,049	-0,130	-0,346	0,065	-0,041	-0,340	-0,134	-0,258	-0,083	-0,155
$\Delta \Sigma \text{Al}^{\text{SLU-VP}}$	-0,148	-0,165	-0,333	-0,147	-0,140	0,128	0,129	0,024	-0,143	0,180
$\text{Al}_{\text{sol}}^{\text{LDU}}$	-0,390	-0,786	-0,259	-0,379	-0,834	-0,413	0,022	-0,428	-0,453	0,094
$\text{Al}_{\text{sol}}^{\text{SLU}}$	-0,146	-0,201	-0,512	-0,131	-0,118	-0,368	-0,061	-0,266	-0,234	-0,096
$\text{Al}_{\text{sol}}^{\text{VP}}$	0,031	-0,139	-0,364	0,048	-0,045	-0,344	-0,106	-0,287	-0,113	-0,118
$\Delta \text{Al}_{\text{sol}}^{\text{SLU-VP}}$	-0,228	-0,274	-0,367	-0,226	-0,255	-0,115	0,106	-0,056	-0,282	0,099
FeO^{SLE}	0,097	0,131	0,091	0,096	0,129	0,230	0,280	0,142	0,082	0,250
FeO^{SLU}	-0,062	0,000	0,025	-0,061	0,012	0,118	0,398	0,020	-0,119	0,410
$\Delta \text{FeO}^{\text{SLE-SLU}}$	0,213	0,218	0,056	0,212	0,205	0,178	0,034	0,289	0,276	-0,100
T^{LD1}	-0,243	0,130	0,205	-0,248	0,109	-0,009	-0,028	-0,170	0,092	-0,035
T^{SLE}	0,263	0,802	0,351	0,253	0,748	0,390	0,151	0,281	0,305	0,100
T^{SLU}	0,363	0,260	0,481	0,361	0,208	0,053	-0,038	0,076	0,070	-0,054
$t^{\text{SLE-önt}}$	0,009	-0,037	0,032	0,020	-0,038	-0,050	-0,288	-0,206	0,158	-0,190
$t^{\text{SLU-önt}}$	0,014	-0,257	-0,043	0,025	-0,258	-0,112	-0,258	-0,254	0,061	-0,139
$t^{\text{csap.}}$	-0,013	0,479	0,188	-0,012	0,460	0,149	0,004	0,091	0,213	-0,003
$t^{\text{üstmet.}}$	-0,049	0,211	0,115	-0,049	0,207	0,276	0,199	0,003	0,250	0,118
$\text{Al}^{\text{elődecox.}}$	0,467	-0,041	-0,079	0,478	-0,033	-0,025	-0,027	-0,002	0,055	-0,033
$\text{Al}^{\text{salakred.}}$	0,122	0,032	-0,017	0,118	0,036	-0,115	-0,025	0,231	-0,048	-0,074
$\text{Al}^{\text{üstmet.}}$	0,396	0,838	0,154	0,387	0,872	0,284	0,092	0,395	0,355	-0,035
Ar^{LD}	-0,516	-0,401	-0,153	-0,510	-0,388	-0,375	-0,182	-0,384	-0,202	-0,168
$\text{Ar}^{\text{Felső}}$	0,117	0,122	0,128	0,109	0,081	0,076	-0,112	0,216	0,234	-0,172
$\text{Ar}^{\text{Lágy}}$	-0,085	-0,116	-0,140	-0,073	-0,084	-0,260	0,015	-0,147	-0,164	-0,123

5. Melléklet folytatása

	$\Delta\Sigma N^{\text{LDU-LDA}}$	$\Delta\Sigma N^{\text{VP-LDU}}$	$\Delta\Sigma N^{\text{SLU-LDU}}$	$\Delta\Sigma N^{\text{VP-SLU}}$	ΣA_I^{LDU}	ΣA_I^{SLU}	ΣA_I^{VP}	$\Delta\Sigma A_I^{\text{SLU-VP}}$	$A_{\text{sol}}^{\text{LDU}}$
a_0^{LDA}	0,269	-0,150	0,167	-0,204	-0,380	-0,074	0,049	-0,148	-0,390
a_0^{SLE}	0,021	0,049	0,135	-0,007	-0,759	-0,137	-0,130	-0,165	-0,786
a_0^{SLU}	-0,168	0,036	0,237	-0,108	-0,226	-0,569	-0,346	-0,333	-0,259
$a_0^{\text{LDA-SLE}}$	0,275	-0,158	0,165	-0,209	-0,368	-0,057	0,065	-0,147	-0,379
$a_0^{\text{SLU-SLE}}$	0,061	0,034	0,133	-0,018	-0,813	-0,032	-0,041	-0,140	-0,834
ΣO^{LDU}	-0,001	-0,092	0,298	-0,240	-0,422	-0,280	-0,340	0,128	-0,413
ΣO^{SLU}	0,218	-0,316	-0,153	-0,134	0,046	-0,029	-0,134	0,129	0,022
ΣO^{VP}	-0,018	-0,082	0,002	-0,019	-0,465	-0,264	-0,258	0,024	-0,428
$\Sigma O^{\text{LDU-SLU}}$	-0,067	0,052	0,150	-0,052	-0,471	-0,193	-0,083	-0,143	-0,453
$\Sigma O^{\text{SLU-VP}}$	0,246	-0,303	-0,165	-0,115	0,131	-0,050	-0,155	0,180	0,094
$\Delta\Sigma N^{\text{LDU-LDA}}$	1	-0,371	-0,207	-0,176	0,162	0,206	0,294	-0,182	0,143
$\Delta\Sigma N^{\text{VP-LDU}}$	-0,371	1	0,038	0,821	-0,017	-0,252	-0,241	-0,196	-0,019
$\Delta\Sigma N^{\text{SLU-LDU}}$	-0,207	0,038	1	-0,493	-0,116	0,035	-0,031	0,095	-0,113
$\Delta\Sigma N^{\text{VP-SLU}}$	-0,176	0,821	-0,493	1	0,030	-0,243	-0,178	-0,246	0,027
ΣA_I^{LDU}	0,162	-0,017	-0,116	0,030	1	0,088	0,109	-0,049	0,982
ΣA_I^{SLU}	0,206	-0,252	0,035	-0,243	0,088	1	0,831	0,346	0,114
ΣA_I^{VP}	0,294	-0,241	-0,031	-0,178	0,109	0,831	1	-0,131	0,112
$\Delta\Sigma A_I^{\text{SLU-VP}}$	-0,182	-0,196	0,095	-0,246	-0,049	0,346	-0,131	1	-0,011
$A_{\text{sol}}^{\text{LDU}}$	0,143	-0,019	-0,113	0,027	0,982	0,114	0,112	-0,011	1
$A_{\text{sol}}^{\text{SLU}}$	0,205	-0,251	-0,001	-0,219	0,156	0,958	0,821	0,304	0,190
$A_{\text{sol}}^{\text{VP}}$	0,280	-0,246	-0,027	-0,182	0,109	0,840	0,992	-0,116	0,111
$\Delta A_{\text{sol}}^{\text{SLU-VP}}$	-0,124	-0,178	0,023	-0,187	0,077	0,442	0,053	0,813	0,114
FeO^{SLE}	-0,098	-0,053	-0,164	0,039	-0,287	-0,142	-0,196	0,226	-0,332
FeO^{SLU}	-0,099	-0,227	-0,167	-0,115	-0,096	-0,096	-0,166	0,251	-0,151
$\Delta\text{FeO}^{\text{SLE-SLU}}$	-0,058	0,113	-0,101	0,177	-0,368	-0,142	-0,168	0,092	-0,365
T^{LD1}	-0,091	-0,050	0,012	-0,047	0,067	-0,085	0,047	-0,295	0,050
T^{SLE}	0,187	0,073	0,130	0,022	-0,377	-0,221	-0,167	-0,248	-0,434
T^{SLU}	-0,078	-0,011	0,199	-0,111	-0,161	-0,003	0,177	-0,180	-0,156
$t^{\text{SLE-önt}}$	0,121	0,078	-0,015	0,119	-0,040	0,180	0,308	-0,133	-0,056
$t^{\text{SLU-önt}}$	0,013	0,048	-0,037	0,104	0,067	0,195	0,298	0,009	0,087
$t^{\text{csap.}}$	0,221	0,062	0,066	0,061	-0,240	-0,031	0,026	-0,249	-0,296
$t^{\text{üstmet.}}$	0,106	-0,094	0,115	-0,140	-0,001	-0,158	-0,109	-0,085	-0,071
$A_I^{\text{elődezox.}}$	0,491	-0,330	0,045	-0,336	0,150	0,204	0,230	0,042	0,148
$A_I^{\text{salakred.}}$	0,253	0,250	-0,095	0,225	-0,061	0,027	0,030	0,079	-0,066
$A_I^{\text{üstmet.}}$	0,026	-0,045	0,090	-0,046	-0,770	-0,020	-0,002	-0,109	-0,767
A_r^{LD}	-0,089	-0,047	-0,096	-0,001	0,405	0,145	0,172	-0,168	0,420
$A_r^{\text{Felső}}$	-0,113	0,168	0,067	0,120	-0,134	-0,358	-0,331	-0,154	-0,108
$A_r^{\text{Lágy}}$	0,046	-0,347	0,147	-0,379	0,106	0,362	0,294	0,196	0,084

5. Melléklet folytatása

	AL_{sol}^{SLU}	AL_{sol}^{VP}	ΔAl_{sol}^{SLU-VP}	FeO^{SLE}	FeO^{SLU}	$\Delta FeO^{SLE-SLU}$	T^{LD1}	T^{SLE}	T^{SLU}
a_0^{LDA}	-0,146	0,031	-0,228	0,097	-0,062	0,213	-0,243	0,263	0,363
a_0^{SLE}	-0,201	-0,139	-0,274	0,131	0,000	0,218	0,130	0,802	0,260
a_0^{SLU}	-0,512	-0,364	-0,367	0,091	0,025	0,056	0,205	0,351	0,481
$a_0^{LDA-SLE}$	-0,131	0,048	-0,226	0,096	-0,061	0,212	-0,248	0,253	0,361
$a_0^{SLU-SLE}$	-0,118	-0,045	-0,255	0,129	0,012	0,205	0,109	0,748	0,208
ΣO^{LDU}	-0,368	-0,344	-0,115	0,230	0,118	0,178	-0,009	0,390	0,053
ΣO^{SLU}	-0,061	-0,106	0,106	0,280	0,398	0,034	-0,028	0,151	-0,038
ΣO^{VP}	-0,266	-0,287	-0,056	0,142	0,020	0,289	-0,170	0,281	0,076
$\Sigma O^{LDU-SLU}$	-0,234	-0,113	-0,282	0,082	-0,119	0,276	0,092	0,305	0,070
ΣO^{SLU-VP}	-0,096	-0,118	0,099	0,250	0,410	-0,100	-0,035	0,100	-0,054
$\Delta \Sigma N^{LDU-LDA}$	0,205	0,280	-0,124	-0,098	-0,099	-0,058	-0,091	0,187	-0,078
$\Delta \Sigma N^{VP-LDU}$	-0,251	-0,246	-0,178	-0,053	-0,227	0,113	-0,050	0,073	-0,011
$\Delta \Sigma N^{SLU-LDU}$	-0,001	-0,027	0,023	-0,164	-0,167	-0,101	0,012	0,130	0,199
$\Delta \Sigma N^{VP-SLU}$	-0,219	-0,182	-0,187	0,039	-0,115	0,177	-0,047	0,022	-0,111
ΣAl^{LDU}	0,156	0,109	0,077	-0,287	-0,096	-0,368	0,067	-0,377	-0,161
ΣAl^{SLU}	0,958	0,840	0,442	-0,142	-0,096	-0,142	-0,085	-0,221	-0,003
ΣAl^{VP}	0,821	0,992	0,053	-0,196	-0,166	-0,168	0,047	-0,167	0,177
$\Delta \Sigma Al^{SLU-VP}$	0,304	-0,116	0,813	0,226	0,251	0,092	-0,295	-0,248	-0,180
Al_{sol}^{LDU}	0,190	0,111	0,114	-0,332	-0,151	-0,365	0,050	-0,434	-0,156
Al_{sol}^{SLU}	1	0,823	0,530	-0,149	-0,098	-0,143	-0,071	-0,239	0,012
Al_{sol}^{VP}	0,823	1	0,047	-0,188	-0,161	-0,165	0,050	-0,187	0,162
ΔAl_{sol}^{SLU-VP}	0,530	0,047	1	0,125	0,158	0,032	-0,281	-0,270	-0,170
FeO^{SLE}	-0,149	-0,188	0,125	1	0,822	0,617	-0,252	0,006	0,035
FeO^{SLU}	-0,098	-0,161	0,158	0,822	1	0,121	-0,182	-0,127	-0,056
$\Delta FeO^{SLE-SLU}$	-0,143	-0,165	0,032	0,617	0,121	1	-0,191	0,143	0,043
T^{LD1}	-0,071	0,050	-0,281	-0,252	-0,182	-0,191	1	0,303	0,193
T^{SLE}	-0,239	-0,187	-0,270	0,006	-0,127	0,143	0,303	1	0,242
T^{SLU}	0,012	0,162	-0,170	0,035	-0,056	0,043	0,193	0,242	1
$t^{SLE-önt}$	0,241	0,303	0,002	-0,194	-0,235	-0,051	0,016	0,059	0,252
$t^{SLU-önt}$	0,283	0,304	0,149	-0,079	-0,139	0,008	-0,146	-0,253	0,274
$t^{csap.}$	-0,035	0,005	-0,181	-0,152	-0,206	0,048	0,295	0,665	-0,076
$t^{üstmet.}$	-0,212	-0,109	-0,181	0,333	0,399	-0,041	0,114	0,224	-0,015
$Al^{elődecox.}$	0,176	0,217	0,025	-0,015	-0,108	0,064	-0,287	0,024	0,198
$Al^{salakred.}$	0,038	-0,032	0,127	0,202	0,049	0,223	-0,217	0,172	-0,001
$Al^{üstmet.}$	-0,096	-0,012	-0,253	0,167	0,037	0,308	0,037	0,563	0,174
Ar^{LD}	0,177	0,189	-0,085	-0,367	-0,238	-0,281	0,584	-0,270	-0,169
$Ar^{Felső}$	-0,332	-0,349	-0,106	-0,087	-0,313	0,322	-0,044	0,157	-0,021
$Ar^{Lágy}$	0,391	0,299	0,253	0,215	0,248	0,054	0,064	-0,134	0,063

5. Melléklet folytatása

	$t^{\text{SLE-önt}}$	$t^{\text{SLU-önt}}$	$t^{\text{csap.}}$	$t^{\text{üstmet.}}$	$Al^{\text{elődezőx.}}$	$Al^{\text{salakred.}}$	$Al^{\text{üstmet.}}$	Ar^{LD}	$Ar^{\text{Felső}}$	$Ar^{\text{Lágy}}$
a_0^{LDA}	0,009	0,014	-0,013	-0,049	0,467	0,122	0,396	-0,516	0,117	-0,085
a_0^{SLE}	-0,037	-0,257	0,479	0,211	-0,041	0,032	0,838	-0,401	0,122	-0,116
a_0^{SLU}	0,032	-0,043	0,188	0,115	-0,079	-0,017	0,154	-0,153	0,128	-0,140
$a_0^{\text{LDA-SLE}}$	0,020	0,025	-0,012	-0,049	0,478	0,118	0,387	-0,510	0,109	-0,073
$a_0^{\text{SLU-SLE}}$	-0,038	-0,258	0,460	0,207	-0,033	0,036	0,872	-0,388	0,081	-0,084
ΣO^{LDU}	-0,050	-0,112	0,149	0,276	-0,025	-0,115	0,284	-0,375	0,076	-0,260
ΣO^{SLU}	-0,288	-0,258	0,004	0,199	-0,027	-0,025	0,092	-0,182	-0,112	0,015
ΣO^{VP}	-0,206	-0,254	0,091	0,003	-0,002	0,231	0,395	-0,384	0,216	-0,147
$\Sigma O^{\text{LDU-SLU}}$	0,158	0,061	0,213	0,250	0,055	-0,048	0,355	-0,202	0,234	-0,164
$\Sigma O^{\text{SLU-VP}}$	-0,190	-0,139	-0,003	0,118	-0,033	-0,074	-0,035	-0,168	-0,172	-0,123
$\Delta \Sigma N^{\text{LDU-LDA}}$	0,121	0,013	0,221	0,106	0,491	0,253	0,026	-0,089	-0,113	0,046
$\Delta \Sigma N^{\text{VP-LDU}}$	0,078	0,048	0,062	-0,094	-0,330	0,250	-0,045	-0,047	0,168	-0,347
$\Delta \Sigma N^{\text{SLU-LDU}}$	-0,015	-0,037	0,066	0,115	0,045	-0,095	0,090	-0,096	0,067	0,147
$\Delta \Sigma N^{\text{VP-SLU}}$	0,119	0,104	0,061	-0,140	-0,336	0,225	-0,046	-0,001	0,120	-0,379
ΣAl^{LDU}	-0,040	0,067	-0,240	-0,001	0,150	-0,061	-0,770	0,405	-0,134	0,106
ΣAl^{SLU}	0,180	0,195	-0,031	-0,158	0,204	0,027	-0,020	0,145	-0,358	0,362
ΣAl^{VP}	0,308	0,298	0,026	-0,109	0,230	0,030	-0,002	0,172	-0,331	0,294
$\Delta \Sigma Al^{\text{SLU-VP}}$	-0,133	0,009	-0,249	-0,085	0,042	0,079	-0,109	-0,168	-0,154	0,196
$Al_{\text{sol}}^{\text{LDU}}$	-0,056	0,087	-0,296	-0,071	0,148	-0,066	-0,767	0,420	-0,108	0,084
$Al_{\text{sol}}^{\text{SLU}}$	0,241	0,283	-0,035	-0,212	0,176	0,038	-0,096	0,177	-0,332	0,391
$Al_{\text{sol}}^{\text{VP}}$	0,303	0,304	0,005	-0,109	0,217	-0,032	-0,012	0,189	-0,349	0,299
$\Delta Al_{\text{sol}}^{\text{SLU-VP}}$	0,002	0,149	-0,181	-0,181	0,025	0,127	-0,253	-0,085	-0,106	0,253
FeO^{SLE}	-0,194	-0,079	-0,152	0,333	-0,015	0,202	0,167	-0,367	-0,087	0,215
FeO^{SLU}	-0,235	-0,139	-0,206	0,399	-0,108	0,049	0,037	-0,238	-0,313	0,248
$\Delta FeO^{\text{SLE-SLU}}$	-0,051	0,008	0,048	-0,041	0,064	0,223	0,308	-0,281	0,322	0,054
T^{LD1}	0,016	-0,146	0,295	0,114	-0,287	-0,217	0,037	0,584	-0,044	0,064
T^{SLE}	0,059	-0,253	0,665	0,224	0,024	0,172	0,563	-0,270	0,157	-0,134
T^{SLU}	0,252	0,274	-0,076	-0,015	0,198	-0,001	0,174	-0,169	-0,021	0,063
$t^{\text{SLE-önt}}$	1	0,863	0,329	-0,129	0,019	-0,176	0,005	-0,054	-0,257	0,049
$t^{\text{SLU-önt}}$	0,863	1	-0,131	-0,165	0,115	-0,175	-0,188	-0,093	-0,299	0,080
$t^{\text{csap.}}$	0,329	-0,131	1	0,090	-0,192	0,027	0,426	0,047	0,129	-0,015
$t^{\text{üstmet.}}$	-0,129	-0,165	0,090	1	0,169	0,019	0,035	-0,313	-0,232	0,301
$Al^{\text{elődezőx.}}$	0,019	0,115	-0,192	0,169	1	0,211	-0,005	-0,360	-0,002	0,196
$Al^{\text{salakred.}}$	-0,176	-0,175	0,027	0,019	0,211	1	0,111	-0,316	0,113	-0,120
$Al^{\text{üstmet.}}$	0,005	-0,188	0,426	0,035	-0,005	0,111	1	-0,325	0,284	-0,115
Ar^{LD}	-0,054	-0,093	0,047	-0,313	-0,360	-0,316	-0,325	1	-0,062	0,105
$Ar^{\text{Felső}}$	-0,257	-0,299	0,129	-0,232	-0,002	0,113	0,284	-0,062	1	-0,284
$Ar^{\text{Lágy}}$	0,049	0,080	-0,015	0,301	0,196	-0,120	-0,115	0,105	-0,284	1

6. Acél Gyártási Előírások – második sorozat

Acélmű Gyártási Előírás

<http://term.zrt.dunaferr.hu/pls/owa/minoseg.acgyelap.page?gyesza...>



Acélmű Gyártási Előírás

AcGyE:4362

Vezérműködőkód:440012

1.módosítás

Név: P310NB Si mentes
Szabványszám: 436. VGYU

Kémiai összetétel %					Ötvözési javaslat		Fúvatás végi paraméterek				
Elfogadási kritérium			Belső		Anyag % kg						
C:	0.14	- 0.17	0.14	- 0.17	FeMn carb. 76 %:	2000					
Mn:	1.15	- 1.35	1.15	- 1.30	FeSiMn:		C-tartalom:		0.04 %		
Si:		- 0.03		- 0.03	FeSi:		Hőmérséklet:		1670 °C		
P:		- 0.020		- 0.020	CaSi:		Salak bázicitás:		3.00		
S:		- 0.012		- 0.012	Al:	200					
Al:	0.030	- 0.070	0.040	- 0.070	FeV:		Betétösszeállítás:				
V:	-		-		FeNb:		salakhúzás:		igen		
Nb:	-		-		FeMo:		Acélhulladék:		Extra		
Cu:	-		-		FeP:						
Cr:	-		-		FeCr carb.:		Adaggyártás:				
Ni:	-		-		FeCr aff.:		Alsó gázöblítés:		ált.techn.		
Ti:	-		-		Al a salakba:		Utánöblítés:		12 m ³		
Mo:	-		-		Ti-szivacs:		(4 perc 500 l/perc)				
B:	-		-		FeB:		Salakvisszazárás:		igen		
N:	- 0.009		- 0.009		FeMn aff.:		Szekunder salak:				
							fajtája:		menny:		
							CaO+CaF2		900		
							F jelű Al-salak		25		
							P jelű Al-salak		50		
T _{kv} (felső-alsó)					1517°C 1512°C						
T _{kv} (átlag)					1515°C		Költségesoport száma:		4		
öntés					Üstmetallurgia						
Öntési hőm.:					1530 °C - 1555 °C						
Öntési osztályok:					2 3		Kezelés előtti hőmérséklet: 1610 °C				
Húzási seb.B09:					0.67 0.67		Kezelés utáni hőmérséklet: 1580 °C				
(m/perc) B10:					0.62 0.62		Kezelés				
B11:					0.59 0.59 ssz. fajtája:		menny		felső Ar alsó Ar akt. O max. [ppm]		
B12:					0.57 0.57 1/1 Argonozás		[kg]		[perc] [perc] előtte utána		
B13:					0.57 0.57 1/2 CaAlFe-huzal 40/30/30		160		- - 3.5 2.2		
B14:					0.48 0.48 1/3 Argonozás		-		3 5 - 2.2		
B15:					0.48 0.48						
Megjegyzés:							Az előírt húzási sebességek 30°C-os túlhevítésig érvényesek. 31-40°C-ig 0,02-vel, 41-50°C-ig 0,03-mal, 50°C felett 0,10 m/perccel kell csökkenteni az előírt max.húzási sebességet.				
Melegbeadás:							nem				
Előnyújtás:							nem				

Megjegyzés: A fúvatás felétől argonos alsóöblítés. Csapolás elején elődeoxidálás 40 kg kokszdarával. Al mokka a fél adag lecsapolása után. Oxigéntartalmat az üstmetallurgiánál a CaAlFe huzal adagolás előtt ~ 3,5 ppm-re állítsuk be. A Ca kezelés és a korrekciók után az aktív oxigénszintnek 2,2 ppm alatt kell lenni! Öntéskor a reoxidáció elkerülésére tömítőgyűrűs védelem.Végpróbából N, O, Ca elemzés.

Al/N: min 2.2000

Előkészítette:

Jóváhagyta:

Dátum: 2009.05.29



Acélmű Gyártási Előírás

Név: S355MC Si mentes
Szabványszám: K02, VGYU

AcGvE:K022

Vezérminőségkód:K40002
 Módosítás

Kémiai összetétel %				Ötvözési javaslat		Fűtás végéi paraméterek	
Elfogadási kritérium				Belső	Anyag %	kg	
C:	0.05	- 0.08	0.05	- 0.08	FeMn carb.:		
Mn:	0.60	- 0.80	0.60	- 0.80	FeSiMn:		C-tartalom: 0.04 %
Si:	-	- 0.03	-	- 0.03	FeSi:		Hőmérséklet: 1665 °C
P:	-	- 0.020	-	- 0.020	CaSi:		Salak bázicitás: 3.00
S:	-	- 0.012	-	- 0.012	Al:	200	
Al:	0.030	- 0.070	0.040	- 0.070	FeV:		Betétösszeállítás:
V:	-	-	-	-	FeNb:		salakhúzás: igen
Nb:	0.015	- 0.030	0.015	- 0.030	FeMo:		Acélhulladék: Extra
Cu:	-	-	-	-	FeP:		
Cr:	-	-	-	-	FeCr carb.:		Adaggyártás:
Ni:	-	-	-	-	FeCr aff.:		Alsó gázöblítés: ált.techn.
Ti:	-	-	-	-	Al a salakba:		Utánöblítés: 12 m³
Mo:	-	-	-	-	Ti-szivacs:		(4 perc 500 l/perc)
B:	-	-	-	-	FeB:		Salakviisszazárás: igen
N:	-	-	-	-	FeMn aff 80 %:	900	Szekunder salak:
							fajtája: mennyi: 900
							CaO+CaF2 25
							F jelű Al-salak 25
							P jelű Al-salak 50
Tiukv(felső-alsó)			1528°C	1522°C			
Tiukv(átlag)			1525°C				Költségsoport száma: 5
Öntési hőm.:	1545 °C	-1565 °C					Üstmetallurgia
Öntési osztály:	4						
Húzási seb.B09:	0.55						
(m/perc) B10:	0.53						
B11:	0.53	ssz.					
B12:	0.48	1/1					
B13:	0.48	1/2					
B14:	0.45	1/3					
B15:	0.45	1/4					
Megjegyzés:	Az előírt húzási sebességek 30°C-os túlhevítésig érvényesek. 31-40°C-ig 0,02-vel, 41-50°C-ig 0,03-mal, 50°C felett 0,10 m/perccel kell csökkenteni az előírt max.húzási sebességet.						
Melegbeadás:	nem						
Előnyújtás:	nem						
Megjegyzés:	A fűtás felétől argonos alsóöblítés. Csapolás elején elődeoxidálás 40 kg kokszzarával. Al moka a fél adag lecsapolása után. Oxigéntartalmat az üstmetallurgiánál a CaAlFe huzal adagolás előtt ~ 3,5 ppm-re állítjuk be. A Ca kezelés és a korrekciók után az aktív oxigénszintnek 2,2 ppm alatt kell lenni! Öntéskor a reoxidáció elkerülésére tömítőgyűrűs védelem. Végpróbából N, O, Ca elemzés.						
Előkészítette:	Jóváhagyta:						

Dátum: 2008.04.14



Acélmű Gyártási Előírás

AcGyE:K042

Vezérminőségkód:K50002

1.módosítás

Név: S420MC Si mentes
Szabványszám: K04. VGYU

Kémiai összetétel %				Ötvözési javaslat		Fúvatás végi paraméterek	
Elfogadási kritérium				Anyag %	kg		
C:	0.06	- 0.08	0.06 - 0.08	FeMn carb.:			
Mn:	0.80	- 1.00	0.85 - 1.00	FeSiMn:		C-tartalom:	0.04 %
Si:		- 0.03	- 0.03	FeSi:		Hőmérséklet:	1670 °C
P:		- 0.020	- 0.020	CaSi:		Salak bázicitás:	3.00
S:		- 0.012	- 0.012	Al:	200	Betétösszeállítás:	
Al:	0.030	- 0.070	0.040 - 0.070	FeV:		salakhúzás:	igen
V:		-	-	FeNb:		Acélhulladék:	Extra
Nb:	0.035	- 0.050	0.035 - 0.050	FeMo:			
Cu:		-	-	FeP:			
Cr:		-	-	FeCr carb.:		Adaggyártás:	
Ni:		-	-	FeCr aff:		Alsó gázöblítés:	ált.techn.
Ti:		-	-	Al a salakba:		Utánöblítés:	12 m ³
Mo:		-	-	Ti-szivacs:		(4 perc 500 l/perc)	
B:		-	-	FeB:		Salakvisszazárás:	igen
N:		-	-	FeMn aff 80 %:	1300	Szekunder salak:	
						fajtája:	ennyi:
						CaO+CaF ₂	900
						F jelű Al-salak	25
						P jelű Al-salak	50
T _{max} (felső-alsó)		1526°C	1521°C			Költségcsoport száma:	5
T _{max} (átlag)			1524°C			Üstmetallurgia	
Öntési hőm.:		öntés	1545 °C - 1565 °C				
Öntési osztály:		4		Kezelés előtti hőmérséklet:	1620 °C		
Húzási seb.B09:	0.55			Kezelés utáni hőmérséklet:	1590 °C		
(m/perc) B10:	0.53			Kezelés	ennyi	felső Ar	alsó Ar
B11:	0.53	ssz	fajtája:	[kg]	[perc]	[perc]	akt. O max. [ppm]
B12:	0.48	1/1	Argonozás	-	2	3	előtte
B13:	0.48	1/2	CaAlFe-huzal 40/30/30	160	-	-	utána
B14:	0.45	1/3	FeNb-huzal 65%	95	-	-	10.0
B15:	0.45	1/4	Argonozás	-	3	5	3.5
							2.2
Megjegyzés:	Az előírt húzási sebességek 30°C-os túllevegítésig érvényesek. 31-40°C-ig 0,02-vel, 41-50°C-ig 0,03-mal, 50°C felett 0,10 m/perccel kell csökkenteni az előírt max. húzási sebességet.						
Melegbeadás:	nem						
Előnyújtás:	nem						
Megjegyzés:	A fúvatás felétől argonos alsóöblítés. Csapolás elején elődeoxidálás 40 kg kokszzarával. Al moka a fél adag lecsapolása után. Oxigéntartalmat az üstmetallurgiánál a CaAlFe huzal adagolás előtt ~ 3,5 ppm-re állítsuk be. A Ca kezelés és a korrekciók után az aktív oxigénszintnek 2,2 ppm alatt kell lenni! Öntéskor a reoxidáció elkerülésére tömítőgyűrűs védelem. Végpróbából N, O, Ca elemzés.						
	Si+2.5P: max 0.0800						
Előkészítette:	Jóváhagyta:						

Dátum: 2008.04.01



Acélmű Gyártási Előírás

AcGyE:K084

Vezérminőségkód:K40003

0.módosítás

Név: QStE 380 TM Si mentes

Szabványszám: K08. VGYU

Kémiai összetétel %				Ötvözési javaslat		Fúvatás végi paraméterek	
Elfogadási kritérium				Anyag %	kg		
C:	0.06	- 0.08	0.06	- 0.08	FeMn carb.:		
Mn:	1.00	- 1.30	1.05	- 1.25	FeSiMn:	C-tartalom:	0.04 %
Si:		- 0.03		- 0.03	FeSi:	Hőmérséklet:	1680 °C
P:		- 0.020		- 0.020	CaSi:	Salak bázicitás:	3.00
S:		- 0.012		- 0.012	Al:	200	
Al:	0.030	- 0.070	0.040	- 0.070	FeV:	Betéthőszállítás:	
V:		-		-	FeNb:	salakhúzás:	igen
Nb:	0.030	- 0.045	0.030	- 0.045	FeMo:	Acélhulladék:	Extra
Cu:		-		-	FeP:		
Cr:		-		-	FeCr carb.:	Adaggyártás:	
Ni:		-		-	FeCr aff.:	Alsó gázöblítés:	ált.techn.
Ti:		-		-	Al a salakba:	Utánöblítés:	12 m ³
Mo:		-		-	Ti-szivacs:	(4 perc 500 l/perc)	
B:		-		-	FeB:	Salakvisszazárás:	igen
N:		-		-	FeMn aff 80 %:	1600	
						Szekunder salak:	
						fajtája:	ennyi:
						CaO+CaF ₂	900
						F jelű Al-salak	25
						P jelű Al-salak	50
Ti _{kv} (felső-alsó)			1525°C	1520°C			
Ti _{kv} (átlag)				1523°C		Költségsoport száma:	5
			öntés			Üstmetallurgia	
Öntési hőm.:			1545 °C	- 1565 °C			
Öntési osztály:			4		Kezelés előtti hőmérséklet:	1620 °C	
Húzási seb.B09:			0.55		Kezelés utáni hőmérséklet:	1590 °C	
(m/perc) B10:			0.53		Kezelés	ennyi	felső Ar
B11:			0.53	ssz.	fajtája:	[kg]	alsó Ar
B12:			0.48			[perc]	akt. O max. [ppm]
B13:			0.48		1/1 Argonozás	-	előtte
B14:			0.45		1/2 CaAlFe-huzal 40/30/30	160	utána
B15:			0.45		1/3 FeNb-huzal 65%	90	
					1/4 Argonozás	-	
Megjegyzés:							
Melegbeadás:			nem				
Előnyújtás:			nem				

Megjegyzés: A fúvatás felétől argonos alsóöblítés. Csapolás elején elődeoxidálás 40 kg kokszzarával. Al mokka a fél adag lecsapolása után. Oxigéntartalmat az üstmetallurgiánál a CaAlFe huzal adagolás előtt ~ 3,5 ppm-re állítsuk be. A Ca kezelés és a korrekciók után az aktív oxigénszintnek 2,2 ppm alatt kell lenni! Öntéskor a reoxidáció elkerülésére tömítőgyűrűs védelem. Végpróbából N, O, Ca elemzés.

Előkészítette: Jóváhagyta:

Dátum: 2008.04.16

Nyilvántartási szám:

Előkészítette:

.....
Józsa Róbert
technológiai vezetőmérnök

Ellenőrizte:

.....
Lukácsi István
termelésvezető

Jóváhagyta:

.....
Gyerák Tamás
gyárvezető

 Jóváhagyás dátuma:
2011.04.11.

Dokumentum birtokosok:	Aláírás:	Dátum:
9. Gyárvezető		
10. Termelésvezető		
11. Technológiai vezetőmérnök		
12. Metallurgiafejlesztési főosztályvez.		
13. Innovációs igazgató		
14. AVKL igazgató		
15. Termelési osztályvezető		
16. Technológiai vezető		
17. Konverter üzemvezető		
18. FAM üzemvezető		
19. Termelésvezetés területi irattár		

1. ELŐZMÉNYEK

Jelen kísérleti program az acélok reoxidációjának vizsgálatára összeállított 01/2010/AC KP folytatásának tekinthető.

Ebben a kísérleti programban Si-mentes lágyacélok és Ca-al kezelt Si-mentes acélokat vizsgáltunk az öntés közbeni kagylószűkülés szempontjából.

Az Si-mentes lágyacélok esetén sok esetben volt észlelhető kagylószűkülés, még a Ca-al kezelt acéloknál gyakorlatilag nem lépett fel ez a jelenség.

2. A KÍSÉRLETI PROGRAM CÉLJA

Jelen kísérleti programban azt a célt tűztük ki, hogy az acélgyártás és az üstmetallurgiai kezelés néhány paraméterének megváltoztatásával csökkenjen a készacél tisztasága, ami az összoxigéntartalom csökkenésében és az önthetőség javulásában mutatkozik.

3. A KÍSÉRLETI PROGRAM VÉGREHAJTÁSA

A vizsgálatba 4 szekvens Si-mentes Al-al csillapított lágyacélt vonunk be, amelynek a gyártá-sát és üstmetallurgia kezelését az alábbiak szerint kell elvégezni:

3.1. LD gyártás

- A gyártás délelőtt, műszaki felügyelettel történhet.
Felelős: Hortörsi László, Jacsó Rudolf
- A gyártást az adott minőségű acél ACGYE-ben előírt paraméterei szerint kell végezni.
- Utánfűvatott adag nem képezheti a vizsgálat tárgyát.
- Az adagokat alsó öblítéses konverterben min. 3 perc 500 l/perc utánöblítéssel kell legyártani.
- Csapolás közben kb. 1,6 kg/t Al-os elődezoxidáció (220-230 kg/adag).
- A salakot a konverterben vissza kell zárni
- Szekunder salakképzéskor a salak redukálásához 2 zsák P-jelű felzékot (~50 kg alu-minátsalakot) kell használni.

3.2. Üstmetallurgiai kezelés

- Az üstmetallurgiai kezelést 3 perc 400 l/perc intenzitású homogenizáló alsó Ar-átöblítéssel kell kezdeni.
- Az acél aktív oxigénszintjét Al-huzal adagolással 4 ppm alá kell csökkenteni.
- A szükséges további Ar-kezelés intenzitása max. 300 l/perc lehet.

-
- A kezelés végén az utolsó huzaladagolást követően 6-8 perc max. 150-200 l/perc intenzitású lágyargonkezelést kell alkalmazni.

3.3. Próbavételek, mérések

- Az adagok kezelése közben a technológiában előírt próbákat kell kivenni (kezelés előtti acél és salak, kezelés utáni acél és salak). Az acélpróbákból összoxigén elemzést kell kérni.
Felelős: acélgyártó
- A hőmérséklet és aktívoxigén mérések az érvényes technológia szerint történjenek.

3.4. Acélöntés

- Az adagok öntése az előírt technológia szerint történjen.
- Szűkülésre utaló jelenségek esetén néhány esetben helyszíni egyeztetést követően merülőt kell cserélni a használt merülőt félre kell tenni vizsgálat céljából.
- A végpróbákat 1/3 és 2/3 leöntése után duplán kell kivenni (kontrollelemzésük Miskolcon fog megtörténni). A plusz próbákat összegyűjtve kell a laborba juttatni).
Felelős: öntőmester és Bárdi Zoltán
- A végpróbákból összoxigénelemzést kell kérni.
Felelős: műszakos termelésvezető

4. A PROGRAM ÉRTÉKELÉSE

A program értékelését az Acélmű és a Technológiai Igazgatóság és a Miskolci Egyetem érintett képviselői közösen végzik.

Felelős: Hortörsi László, Móger Róbert, Harcsik Béla

8. Melléklet Harmadik sorozat során gyűjtött fontosabb mérési adatok

adagszám	a _o [ppm]				ΣO [ppm]				
	a _o ^{LDA}	a _o ^{SLE}	a _o ^{SLU}	Δa _o ^{SLE-SLU}	ΣO ^{LDU}	ΣO ^{SLU}	ΣO ^{VP}	ΔΣO ^{LDU-SLU}	ΔΣO ^{SLU-VP}
535740	611,8	4,32	3,33	0,99	118	55	37	63	
535741	491,3	2,90	2,47	0,43	52	84	23	-32	61
535742	-	3,52	3,11	0,41	120	31	21	89	10
535743	689,7	3,40	2,65	0,75	100	50	25	50	25
535759	-	3,70	2,93	0,77	72	36	22	36	14
535760	448,5	3,74	2,21	1,53	74	39	21	35	18
535761	489,8	2,60	2,44	0,16		44	17		27
535762	660,3	4,33	2,66	1,67	77	38	17	39	21
535781	554,3	2,90	2,38	0,52		69	24		45
535782	428,7	2,50	2,39	0,11	110	40	17	70	23
535783	458,4	3,23	2,80	0,43	179	53	16	126	37
642113	523,5	5,96	3,22	2,74	107	70	30	37	40
535845	588,4	3,03	2,43	0,60		35	18		17
535846	614,4	4,60	3,04	1,56	86	42	17	44	25
535847	672,5	4,80	3,35	1,45	118	58	16	60	42
642114	657,7	8,78	3,32	5,46	100	61	17	39	44
642119	499,4	7,58	2,50	5,08	110	53	33	57	20
642120	903,0	5,45	2,75	2,70	154		19		
535866	-	4,31	2,78	1,53	93	32	30	61	2
535867	506,9	5,54	2,89	2,65	72	61	21	11	40
535868	470,3	5,14	2,86	2,28	167	34	20	133	14
535869	523,2	4,50	2,68	1,82	132	30	21	102	9
642121	928,4	6,38	3,03	3,35	72	44	36	28	
535870	-	8,12	3,07	5,05	112		21		
535871	528,8	4,63	3,19	1,44		64	17		47
642128	845,6	6,82	3,49	3,33	81	39	18	42	21
535893	763,8	4,12	2,74	1,38	222	56	18		38
535894	703,0	3,95	2,81	1,14	57		19		
535895	724,7	4,26	2,95	1,31	75	27	21	48	6
642129	495,9	3,60	3,12	0,48		78	19		59
642138		4,37	2,61	1,76	124	52	21	72	31
535914	552,2	3,49	2,38	1,11	169	41	16	128	25
642139	-	7,68	3,01	4,67	94	69	20	25	49
535915	711,1	2,82	2,54	0,28	91	43	20	48	23
535916	838,9	4,41	2,53	1,88	83	53	17	30	36

*sárga háttérrel jelölve a Kiugróérték-vizsgálat során kiszűrt adatok

8. Melléklet folytatása

adagszám	$\Delta\Sigma N$ [ppm]			ΣAl [ppm]				Al_{sol} [ppm]			
	$\Delta\Sigma N_{LDA}^{LDU-}$	$\Delta\Sigma N_{LDA}^{VP-}$	$\Delta\Sigma N_{SLU}^{VP-}$	ΣAl_{LDA}^{LDU}	ΣAl_{SLU}^{SLU}	ΣAl^{VP}	$\Delta\Sigma Al_{VP}^{SLU-}$	Al_{sol}^{LDU}	Al_{sol}^{SLU}	Al_{sol}^{VP}	ΔAl_{sol}^{SLU-}
535740	18	1	0	490	590	440	150	430	560	420	140
535741	24	5	-3	770	770	600	170	730	750	590	160
535742	13	2	1	730	520	420	100	510	500	410	90
535743	19	-2	-7	690	560	470	90	640	520	440	80
535759	18	10	6	640	540	400	140	590	510	370	140
535760	24	5	-1	700	730	610	120	630	700	600	100
535761	26	12	19	800	770	640	130	740	750	630	120
535762			6	0	550	450	100	0	530	440	90
535781	22	2	-3	830	760	600	160	790	730	550	180
535782	22	5	3	800	750	630	120	740	730	600	130
535783	20	9	10	640	590	470	120	600	530	460	70
642113	10	6	8	470	470	350	120	370	410	330	80
535845	19	3	-2	710	690	590	100	660	670	570	100
535846	30	1	-1	570	530	450	80	470	510	440	70
535847	28	0	3	430	430	340	90	370	390	320	70
642114	23	12	-2	250	510	420	90	200	470	390	80
642119	9	24	22	340	630	510	120	270	610	490	120
642120	13	3	-4	350	660	500	160	280	620	490	130
535866	25	3	1	550	540	430	110	510	520	420	100
535867	24	1	-3	500	470	380	90	380	440	360	80
535868	26	12	8	550	570	440	130	360	520	410	110
535869	18	9	11	490	660	520	140	420	630	510	120
642121	14	3	5	440	450	380	70	350	440	370	70
535870	20	24	26	450	540	330	210	320	480	320	160
535871	6	12	11	500	530	470	60	390	500	460	40
642128	15	5	0	450	450	370	80	390	420	350	70
535893	45	-4	-4	560	600	450	150	450	590	440	150
535894	5	19	-13	620	680	520	160	540	510	510	0
535895	21	4	2	740	560	480	80	650	540	470	70
642129	3	6	1	560	490	390	100	530	450	380	70
642138	9	6	-1	740	570	460	110	640	540	440	100
535914	15	-5	-8	720	700	570	130	640	670	560	110
642139	27	14	15	420	580	500	80	330	560	490	70
535915	19	-4	-5	930	650	500	150	730	620	490	130
535916	19	10	4	530	590	530	60	470	550	520	30

8. Melléklet folytatása

adagszám	salak FeO [%]			Hőmérsékletek [°C]			időtartamok [perc]			
	FeO ^{SLES}	FeO ^{SLUS}	ΔFeO ^{SLE-SLU}	T ^{LD1}	T ^{SLE}	T ^{SLU}	Δt ^{SLE-önt}	Δt ^{SLU-önt}	Δt ^{csap.}	t ^{üstmet.}
535740	9,69	7,29	2,4	1674	1620	1594	47	30	5,47	17
535741	10,73	7,47	3,26	1663	1604	1602	35	23	5,38	12
535742	7,37	5,94	1,43	1639	1616	1601	40	24	5,57	16
535743	9,53	7,38	2,15	1718	1622	1591	47	24	5,1	23
535759	10,71	6,09	4,62	1649	1626	1598	45	25	4,7	20
535760	6,47	4,51	1,96	1674	1621	1598	34	22	4,48	12
535761	6,94	6,49	0,45	1673	1617	1602	50	34	4,48	16
535762	5,29	5,30	0,01	1683	1617	1593	62	37	4,78	25
535781	12,20	8,25	3,95	1681	1614	1593	37	26	4,05	11
535782	3,53	5,42	-1,89	1675	1611	1592	49	34	4,15	15
535783	12,91	9,03	3,88	1667	1614	1599	62	52	3,87	10
642113	14,20	8,55	5,65	1675	1645	1591	41	20	5,55	22
535845	10,55	8,31	2,24	1666	1612	1596	52	37	5,07	15
535846	9,04	8,44	0,6	1672	1631	1604	58	40	4,8	18
535847	11,81	9,24	2,57	1659	1630	1602	69	51	4,75	18
642114	7,60	6,48	1,12	1709	1655	1597	48	22	6	26
642119	5,74	4,61	1,13	1674	1635	1588	47	24	8,23	23
642120	7,98	5,82	2,16	1672	1628	1600	55	41	5,58	15
535866	8,56	7,71	0,85	1691	1623	1600	52	41	4,27	11
535867	4,15	4,16	0,01	1679	1642	1604	72	51	4,22	21
535868	5,38	4,04	1,34	1665	1623	1599	56	37	4,88	19
535869	5,60	4,93	0,67	1652	1622	1597	56	33	4,45	23
642121	7,98	6,64	1,34	1694	1656	1592	43	27	5,02	16
535870	7,51	5,16	2,35	1658	1624	1600	73	56	4,05	17
535871				1651	1627	1597	85	65	4,33	20
642128	7,16	4,21	2,95	1700	1658	1594	47	20	4,3	27
535893	12,50	8,27	4,23	1627	1618	1596	51	43	7,23	8
535894	11,34	8,44	2,9	1673	1626	1601	58	42	7,17	16
535895	6,81	5,70	1,11	1680	1637	1602	60	37	7,1	23
642129	10,90	7,90	3	1646	1610	1599	39	29	4,37	10
642138	3,99	3,15	0,84	1680	1637	1593	47	22	4,33	25
535914	7,14	7,60	-0,46	1679	1613	1596	64	44	5,82	20
642139	9,23	6,49	2,74	1663	1655	1604	80	50	4,12	30
535915	12,84	8,64	4,2	1678	1613	1598	60	42	5,83	18
535916	8,94	5,37	3,57	1677	1627	1600	57	27	6,68	30

8. Melléklet folytatása

adagszám	Al ötvözés [kg Al/t acél]			Argonozás		
	Al ^{elődeox..}	Al ^{salakred.}	Al ^{üstmet.}	Ar ^{LD} [m ³]	Ar ^{Felső} [perc]	Ar ^{Lágy} [perc]
535740	1,84	0,20	0,32	17,11	0	0
535741	1,69	0,21	0	20,95	2,18	0
535742	1,64	0	0,07	2,72	0	7
535743	1,71	0	0	32,43	0	11,47
535759	1,92	0	0,11	0,78	0	7
535760	1,74	0	0,11	15,8	6,35	3,25
535761	1,78	0,22	0	17,34	8,51	0
535762	1,64	0	0,29	11,56	4,45	7,5
535781	1,73	0,31	0	22,93	2,37	4,8
535782	1,61	0	0	21,19	3,45	7,47
535783	1,61	0,18	0	15,12	0	5
642113	1,51	0	0,43	0	2,58	0
535845	1,67	0	0	13,51	0	7,1
535846	1,75	0,31	0,08	6,32	0	8,1
535847	1,84	0	0,32	2,56	0	0
642114	1,72	0,14	0,82	0	6	0
642119	1,76	0	0,67	0	0	5,5
642120	2,06	0	0,61	0	0	0
535866	1,32	0	0,18	23,18	0	3
535867	1,69	0	0,25	4,62	0	8,25
535868	1,62	0	0,36	2,91	0	8
535869	1,64	0	0,33	3,59	0	6,5
642121	1,72	0	0,39	0	1,68	0
535870	1,88	0	0,43	0,61	7,89	0
535871	1,70	0	0,50	3,36	0	0
642128	1,88	0	0,46	0	8,27	0
535893	2,17	0	0,25	0,94	0	0
535894	1,71	0	0,11	10,81	0	6
535895	1,85	0,17	0,04	13,71	3,1	8,35
642129	1,75	0	0,25	0	0	0
642138	2,13	0	0,21	0	6,18	2
535914	2,13	0	0,11	12,65	0	9,25
642139	2,17	0	0,54	0	0	7,15
535915	1,92	0	0	22,51	0	14
535916	1,92	0,30	0,18	17,16	2,12	0

9. Vizsgált paraméterek átlagos értékei - első, harmadik sorozat

		a _o [ppm]				ΣO [ppm]					ΔΣN [ppm]		
		a _o ^{LDA}	a _o ^{SLE}	a _o ^{SLU}	a _o ^{SLU-SLE}	ΣO ^{LDU}	ΣO ^{SLU}	ΣO ^{VP}	ΣO ^{LDU-SLU}	ΣO ^{SLU-VP}	ΔΣN ^{LDU-LDA}	ΔΣN ^{VP-LDU}	ΔΣN ^{VP-SLU}
ELSŐ SOROZAT -54 db		637,70	5,49	2,99	2,51	102,2	68,4	19,2	39,4	49,5	20,7	7,2	5,1
HARMADIK SOROZAT	ÖSSZES - 35 db	616,71	4,61	2,82	1,79	103,4	49,4	20,4	55,4	29,0	19,1	6,3	3,0
	2,6 szekvens nélkül - 27db	624,28	4,55	2,82	1,72	105,4	51,3	20,7	55,7	30,3	19,1	5,0	0,9
	2,6 szekvens - 8db	587,68	4,83	2,80	2,03	95,7	42,7	19,3	54,2	23,5	19,1	11,1	10,0
	>10 m ³ Ar ^{LD} - 16 db	612,71	3,50	2,65	0,85	102,5	48,5	20,5	59,2	27,3	19,1	3,8	-1,6
	<10 m ³ Ar ^{LD} - 11 db	636,90	5,52	2,99	2,54	108,2	53,8	20,8	52,5	32,9	19,1	6,1	3,3
	max.1,6 kg Al/ t acél - 13 db	556,83	4,19	2,76	1,43	102,0	51,3	21,7	55,3	29,4	18,8	5,7	0,1
	>1,6 kg Al/ t acél - 14 db	686,11	4,88	2,88	2,00	108,6	51,2	19,6	56,1	31,3	19,4	4,4	1,7
	Felső Ar nélkül - 18 db	619,58	4,44	2,83	1,61	112,9	49,2	20,5	66,5	28,1	19,4	4,4	0,9
	Felső Ar-nal - 9 db	633,09	4,77	2,82	1,95	91,5	55,0	20,9	38,3	34,1	18,3	6,1	0,9
	Lágy argonozott - 15 db	581,11	4,20	2,70	1,50	107,3	46,0	20,6	66,5	25,3	18,9	5,5	1,5
	Lágy Ar nélkül - 12 db	680,40	4,99	2,98	2,01	103,0	58,0	20,7	41,3	37,4	19,3	4,4	0,3
	Felső Ar nélkül+lágy Ar - 12 db	584,67	4,45	2,74	1,71	110,0	46,2	20,6	68,0	25,5	18,2	5,9	1,7
	max 1 előírásnak felel meg - 8 db	743,57	5,59	3,00	2,59	109,6	55,6	19,5	46,7	36,0	20,3	4,8	0,5
	legalább 2 előírásnak megfelel - 19 db	572,09	4,11	2,75	1,36	103,6	49,6	21,2	59,3	28,0	18,6	5,1	1,1
	legalább 3 előírásnak megfelel - 12 db	570,68	3,99	2,69	1,30	104,5	44,9	21,7	65,8	23,0	18,8	5,5	1,1
	mind a 4 előírásnak megfelel - 4 db	609,88	3,40	2,67	0,73	112,0	46,0	19,5	88,0	26,3	15,8	7,3	-3,0

	ΣAl [ppm]				Al_{sol} [ppm]				salak FeO [%]		
	$\Sigma \text{Al}^{\text{LDU}}$	$\Sigma \text{Al}^{\text{SLU}}$	$\Sigma \text{Al}^{\text{VP}}$	$\Delta \Sigma \text{Al}^{\text{SLU-VP}}$	$\text{Al}_{\text{sol}}^{\text{LDU}}$	$\text{Al}_{\text{sol}}^{\text{SLU}}$	$\text{Al}_{\text{sol}}^{\text{VP}}$	$\Delta \text{Al}_{\text{sol}}^{\text{SLU-VP}}$	FeO^{SLES}	FeO^{SLUS}	$\Delta \text{FeO}^{\text{SLES-SLUS}}$
ELSŐ SOROZAT -54 db	523,5	552,8	453,7	99,1	430,0	519,6	441,7	78,0	8,91	7,23	1,68
ÖSSZES - 35 db	570,3	590,9	474,6	116,3	489,1	556,3	458,3	98,0	8,6	6,6	2,2
2,6 szekvens nélkül - 27db	588,1	592,6	477,4	115,2	508,9	557,0	460,7	96,3	9,0	6,8	2,4
2,6 szekvens - 8db	510,0	585,0	465,0	120,0	422,5	553,8	450,0	103,8	7,2	5,5	1,7
>10 m ³ Ar ^{LD} - 16 db	693,8	648,5	525,4	123,1	625,4	607,7	507,7	100,0	9,6	7,4	2,8
<10 m ³ Ar ^{LD} - 11 db	490,0	540,7	432,9	107,9	400,7	510,0	417,1	92,9	8,4	6,3	2,1
max.1,6 kg Al/ t acél - 13 db	619,2	613,1	492,3	120,8	545,4	570,0	472,3	97,7	9,1	7,1	2,3
>1,6 kg Al/ t acél - 14 db	559,3	573,6	463,6	110,0	475,0	545,0	450,0	95,0	8,8	6,6	2,4
Felső Ar nélkül - 18 db	572,2	587,2	469,4	117,8	486,7	550,0	455,6	94,4	9,3	7,2	2,2
Felső Ar-nal - 9 db	620,0	603,3	493,3	110,0	553,3	571,1	471,1	100,0	8,4	6,1	2,8
Lágy argonozott - 15 db	648,7	622,0	507,3	114,7	558,0	584,7	490,0	94,7	8,5	6,9	2,1
Lágy Ar nélkül - 12 db	512,5	555,8	440,0	115,8	447,5	522,5	424,2	98,3	9,5	6,8	2,7
Felső Ar nélkül+lágy Ar - 12 db	613,3	605,0	491,7	113,3	515,8	564,2	477,5	86,7	8,8	7,0	2,0
max 1 előírásnak felel meg - 8 db	472,5	535,0	427,5	107,5	396,3	498,8	410,0	88,8	9,3	6,4	2,9
legalább 2 előírásnak megfelel - 19 db	636,8	616,8	498,4	118,4	556,3	581,6	482,1	99,5	8,8	7,0	2,1
legalább 3 előírásnak megfelel - 12 db	646,2	617,7	499,2	118,5	558,5	578,5	480,8	97,7	8,7	7,0	2,0
mind a 4 előírásnak megfelel - 4 db	665,0	630,0	512,5	117,5	610,0	557,5	495,0	62,5	11,1	8,3	2,8

	Hőmérsékletek[°C]			időtartamok [perc]				Al ötvözés [kg]			Argonozás		
	T ^{LDI}	T ^{SLE}	T ^{SLU}	$\Delta t_{\text{önt}}^{\text{SLE}}$	$\Delta t_{\text{önt}}^{\text{SLU}}$	$\Delta t^{\text{csap.}}$	t _{üstmet.}	Al ^{elődezőx.}	Al ^{salakred.}	Al ^{üstmet.}	LD Ar [m ³]	Felső Argon [perc]	Lágy Argon [perc]
ELSŐ SOROZAT -54 db	1668	1623	1598	55,1	38,3	6,4	16,8	261,6	3,0	41,6	8,04	2,06	1,12
ÖSSZES - 35 db	1672	1627	1598	53,7	35,2	5,1	18,5	249,8	8,2	33,6	9,04	1,86	4,19
2,6 szekvens nélkül - 27db	1673	1627	1598	53,0	34,4	5,3	18,6	251,3	9,5	32,3	9,78	1,34	4,48
2,6 szekvens - 8db	1668	1626	1597	56,0	37,9	4,6	18,1	245,0	3,9	38,1	6,55	3,61	3,22
>10 m ³ Ar ^{LD} - 16 db	1679	1618	1597	52,3	35,3	5,4	17,0	244,8	14,8	10,0	18,71	1,02	5,88
<10 m ³ Ar ^{LD} - 11 db	1668	1634	1598	53,6	33,6	5,3	20,1	257,3	4,6	52,9	1,48	1,65	3,18
max.1,6 kg Al/ t acél - 13 db	1676	1624	1597	49,9	33,0	5,0	17,0	229,2	9,1	23,5	13,16	1,28	5,12
>1,6 kg Al/ t acél - 14 db	1670	1629	1598	55,8	35,7	5,6	20,1	271,8	9,9	40,4	6,64	1,41	3,88
Felső Ar nélkül - 18 db	1668	1624	1598	56,1	38,8	5,3	17,3	252,1	5,4	31,7	9,34	-	5,46
Felső Ar-nal - 9 db	1682	1632	1596	46,8	25,7	5,3	21,2	249,7	17,7	33,3	10,66	4,03	2,51
Lágy argonozott - 15 db	1673	1624	1598	56,1	37,3	5,3	18,8	248,4	9,1	20,4	12,14	0,59	7,73
Lágy Ar nélkül - 12 db	1673	1630	1597	49,0	30,8	5,3	18,4	254,8	10,0	47,1	6,83	2,28	0,42
Felső Ar nélkül+lágy Ar - 12 db	1672	1625	1598	58,0	38,6	5,4	19,4	249,9	5,8	25,1	10,36	-	7,94
max 1 előírásnak felel meg - 8 db	1675	1637	1597	51,9	30,8	5,6	21,4	266,8	7,8	57,5	2,58	3,14	0,25
legalább 2 előírásnak megfelel - 19 db	1672	1622	1598	53,4	35,9	5,2	17,5	244,7	10,2	21,6	12,81	0,58	6,26
legalább 3 előírásnak megfelel - 12 db	1674	1622	1597	53,1	36,2	5,1	16,9	234,6	8,6	18,2	13,76	0,45	7,25
mind a 4 előírásnak megfelel - 4 db	1681	1619	1597	54,8	38,8	5,3	16,0	235,0	6,3	3,8	17,97	-	7,39