

**Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola**

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

Ph.D. értekezés tézisei

Harsik Béla
okl. kohómérnök

Tudományos vezető:
Prof. Dr. Károly Gyula
egyetemi tanár



Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar
Metallurgiai és Öntészeti Intézet

Miskolc

2011

1. Bevezetés, célkitűzés

Az acélt felhasználó iparágak a minőségre vonatkozó igényeiket folyamatosan emelik, ebből fakadóan is az acélgyártási technológia folyamatos fejlesztést igényel. Sok egyéb mellett az acél összetételének, illetve szennyező-tartalmának mind alacsonyabb szintre csökkentése miatt a dezoxidációnak és kéntelenítésnek is egyre hatékonyabb és gazdaságosabb módjait alkalmazzák. Az egyre alacsonyabb szintre szorított aktívoxigén-tartalom és kénelőírás biztosítása mind több olyan nemfémes zárvány képződésével jár együtt, amelyek nemcsak az acél zárványtartalmát növelik, hanem az önthetőséget is ronthatják. Az elvárt igen alacsony oxigénszint 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 ásványképződési törvények miatt – a szűkült keresztmetszetek mentén lerakódásra hajlamosak.

A minőségi acélgyártáshoz szükséges zártöntés széles elterjedése miatt egyre gyakoribbá váltak az öntőszerelvényeken képződött nemfémes zárványokból álló lerakódások okozta öntési gondok. 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 üstmetallurgiai kezelések nélkül a folyamatos öntés összes problémája nem hárítható el. A folyamatos öntéssel együtt-egyidőben fejlődő üstmetallurgia fejlődéstörténete során az egyszerűbb ill. bonyolultabb vákuumtechnikai megoldásokat követően a hevítés (üstkemence) fejlődött. Vannak viszont üzemek (s ilyen az ISD Dunaferri Zrt. is), ahol az üstmetallurgiai fejlesztések terén az injektációs kezelések voltak a fejlesztés mozgatórugói. Így elmaradt a vákuumozó, ill. az üstkemence telepítése → ma a versenyképesség megtartása mellett fontos annak ismerete, hogy az adott technológiai adottságok birtokában hogyan, miképpen lehet pl. a kagylószűkülések magas arányát csökkenteni.

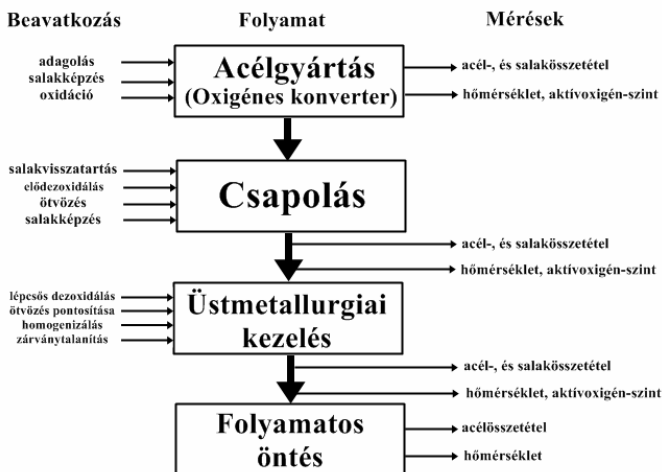
Értekezésemben ezért a hidegen hengerelhető, szilíciumszegény alumíniummal csillapított acélok kagylószűkülés jellegű önthetőségi problémáinak mérséklését tűztem ki célul az utólagos hevítés lehetőségével nem rendelkező acélművek esetén.

2. Kísérleti körülmények

A vizsgálataim tárgyául választott hidegen hengerelhető, szilíciumszegény, alumíniummal csillapított lágyacél-család gyártásánál az előírt <4 ppm aktív-oxigén-szintet lépcsős dezoxidálással szilícium nélkül, viszonylag kis mennyiségű mangán (összetételi előírás: 0,15-0,30 %) adagolása mellett, túlnyomórészt alumíniummal érik el. Az alumínium jelentős mennyiségű alumínium-oxidot képez a dezoxidálás során, amely a magas olvadáspontja (2050°C) miatt szilárd halmazállapotú. A szilárd zárványok okozta kagylószerűképzésre visszavezethető beavatkozások gyakorisága tette indokolttá a kutatásomat, ezért a kagylószerűképzésre visszavezethető önthetőségi beavatkozások arányának mérséklésére, a szilárd zárványok lerakódásának megakadályozására végeztem vizsgálataimat.

A szakirodalom tanulmányozása alapján kísérlettervet készítettem. Vizsgálataim színhelyeül az ISD Dunaferri Zrt-t választottam. A dunaújvárosi cég biztosította a kísérleti gyártást, a Miskolci Egyetemen pedig a szükséges kiegészítő laboratóriumi méréseket, lerakódások vizsgálatát végeztem el.

Ahhoz, hogy az önthetőség javítására a szakirodalomból ismert kétféle eljárás (a zárványtartalom csökkentése, illetve a kalciumos zárványmodifikáció) hatékonyságát kísérleti úton megvizsgálhassam, egy három részből álló kísérletsorozatot terveztem. Első lépésben a jelenleg követett gyártási módszer (1.ábra) – bázishelyzet – megismeréséhez szükséges 54 adagból álló mérésorozatot végeztem el.



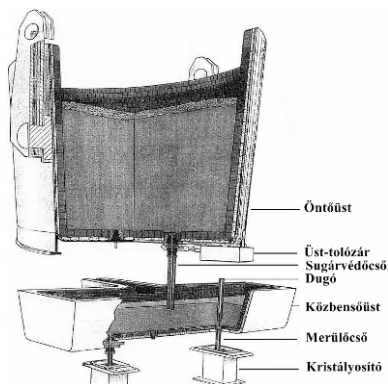
1. ábra Az acélgártás technológiai lépései és mérései

A meghatározott alapállapotról, egy kellően nagyszámú adatbázist állítottam fel, amely értékelése után összeállíthassam javaslataimat a kagylószűkülés arányának mérséklésére szolgáló technológia módosításokra.

A második sorozat 46 adagjának gyártása során megvizsgáltam a kalciumos zárványmodifikáció hatását.

A harmadik kísérletsorozatnál, az első mérésorozat tanulságai alapján az önthetőséget az acél növelt tisztaságával kívántam javítani. Ennek megfelelően – a javaslataim alapján módosított technológia szerint gyártott – újabb 35 adagból álló mérésorozatot vizsgáltam.

A Dunaújvárosban alkalmazott folyamatos öntés során szekvenszekben öntik az acélbrammákat. Egy szekvens a rendelésállomány függvényében általában 4-8 adagból áll. A szekvens folyamán ugyanazon közbensőüsttel (**2. ábra**), benne a beépített két kagylóval és lehetőleg ugyanazzal a sugárvédőcsővel, illetve két merülőcsővel öntik le az adagokat, ezért különösen fontos a kagylószűkülés elkerülése. Dunaújvárosban a kirakódás miatti kagylószűkülés az öntő- és közbensőüst kagylóinál, illetve a sugárvédő- és merülőcsöveknél tapasztalható.



2. ábra A dunaújvárosi folyamatos öntés technológiai sémája

A vizsgálati lehetőségeimet korlátozta az a nyilvánvaló 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 a használt merülőcsövek vizsgálatai során nyert eredményekre és az adagok gyártása közben mért, illetve a számított adatokra alapoztam a következtetéseimet.

3. Kísérleti eredmények

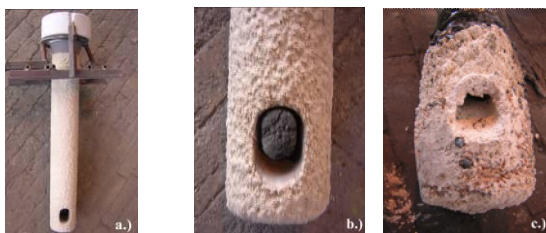
A zárványok mennyiségének és forrásának vizsgálata

Kagylószükülésre utalásként az öntési lapokon található megjegyzés szolgál, de mivel 4-8 adagból álló szekvensekben öntik le az acélt, ezért a szükülés jelenségét nem lehet külön-külön az egyes adagokra vonatkoztatni, hanem a teljes szekvensre – esetleg az egész sorozatra – kell értelmezni, mint hajlamot. A kiindulási helyzetet bemutató első sorozatnál során igen magas arányban (38,9%) tapasztaltam kagylószükülésre visszavezethető önthetőségi zavart. (1.táblázat)

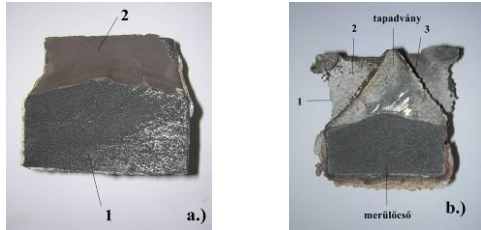
1. táblázat. A bázishelyzetet reprezentáló sorozatnál az öntés közbeni beavatkozások száma/előfordulási %

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 %

Az első sorozat öntésénél használt merülőcsövek (3,4. ábra) ásványtani módszerekkel (pordiffrakciós méréssel és elektronmikroszkópos mikroanalízissel) történő vizsgálata során megállapítottam, hogy a lerakódások 90%-a valóban a várákozásnak megfelelően valamilyen oxid (a többi rész acélbezáródás, illetve üreg), túlnyomórészt alumínium-oxid. (2.táblázat)



3. ábra Merülőcső kívülről (a-új teljes, b-új vég, c-használt vég)



4. ábra Elemzési mintákvételi helyei az elvágott (a- új; b-használt) merülőcsövön

2. táblázat A bázishelyzetű kísérletsorozat lerakódásainak átlagos összetételei

Mintavétel helye	Al ₂ O ₃	MgAl-spinell	CaO(Al ₂ O ₃) ₆	CaO(Al ₂ O ₃) ₂	Fe, FeO	Fe ₂ O ₃
Belső felszín	69,63%	16,63%	8,33%	1,13%	-	3,97%
Külső felszín	64,33%	21,60%	4,57%	0,90%	-	2,83%
Tapadvány	84,51%	-	1,54%	-	16,76%	-

A talált endogén és exogén eredetű – az acél öntési hőmérsékletén szilárd – zárványok a dezoxidációra, a nem kellően megakadályozott reoxidációra és a nem megfelelő argonozási technológiára vezethetők vissza.

Mivel a lerakódások túlnyomórészt oxidokból álltak, megállapítottam, hogy a talált zárványok mennyiségére az üstmetallurgiai kezelés vége és az öntés között, az osszoxigén-tartalomban bekövetkezett változás ($\Delta\Sigma^{\text{SLU-VP}}$) van a legnagyobb hatással.

A kalciumos zárványmodifikáció hatásvizsgálata

A szakirodalom által javasolt kalciumos zárványmodifikációjának hatását vizsgáltam a második kísérletsorozat során. Ez a módszer bevett technológiaként használatos minden minőségi acélt gyártó üzemben, ezért fontosnak tartottam a lerakódások képződésére gyakorolt hatásának vizsgálatát. Az aktuálisan alkalmazott technológia szerint gyártott 46 adagnál, a kalciumos kezelést nem kapottakhoz viszonyítva a lerakódások mértéke drasztikusan csökkent (mindössze egy mintánál találtam: **5.ábra**), a szűkülés aránya hatodára esett. (**3.táblázat**)



5. ábra A kalciummal kezelt sorozat második szekvensénél használt merülőcső metszete

3. táblázat Öntés közbeni beavatkozások száma/előfordulási aránya

Öntés közbeni beavatkozások	Kalciummal kezelt második sorozat (46 adag)	
Letapadás miatti dugómozgatás	-	-
Üstkagyló tisztítása oxigénnel	2 adag	4,35 %
Merülőcső tisztítása oxigénnel	1 adag	2,17 %
Összesen	3 adag	6,52 %

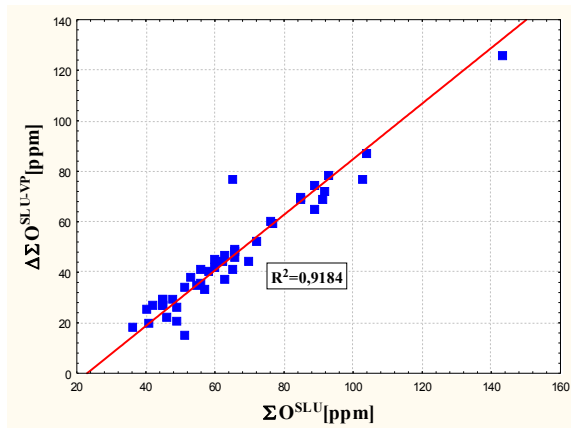
Mivel az első sorozatban vizsgált szilíciumszegény, alumíniummal csillapított acéloknál igen jelentős (38,9%), a második kísérlet sorozatnál vizsgált kalciummal modifikálnál viszont elhanyagolható volt a lerakódások képződése és az ebből eredő szűkült adagok aránya, ezért csak a kalciumos kezelést nem kapott adagok technológiájának korszerűsítését terveztem.

A kalciumos zárványmodifikációval nem rendelkező gyártástechnológia fejlesztése

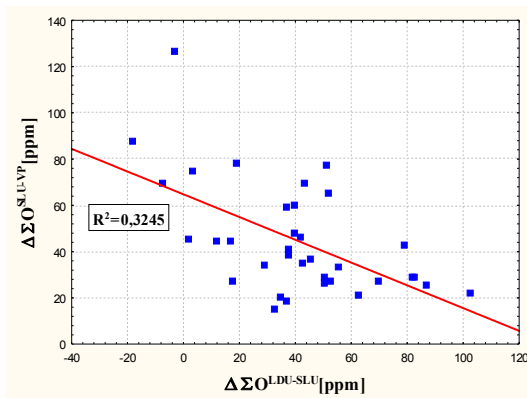
Az adaggyártás során az üzemszerűen mért és gyűjtött adatok mellett további, kiegészítő méréseket kértem. A kagylószűkülés szempontjából kiválasztott legfontosabb 52 paraméter értékelése alapján terveztem megtenni javaslataimat. Első lépésben a vizsgált esetszámhoz viszonyítva túlzottan sok paraméteret metallurgiai megfontolások szerint redukáltam 36-ra, majd a kapott eredményeket statisztikai módszerrel, faktoranalízissel értékelttem. A faktorvizsgálat rámutatott azon paraméterekre, amelyek a legnagyobb befolyással vannak a többire: a kezelés elején mért hőmérséklet (T^{SLE}) és aktívoxigén-szint ($a_{\text{O}}^{\text{SLE}}$), illetve ennek a kezelés közbeni változása ($\Delta a_{\text{O}}^{\text{SLE-SLU}}$). Továbbá a végdeoxidálás során adagolt alumínium mennyisége ($Al^{\text{üstmet}}$), illetve a belőle származó össz- illetve oldott alumínium-tartalmak és változások (ΣAl^{LDU} , $Al_{\text{sol}}^{\text{LDU}}$, ΣAl^{SLU} , ΣAl^{VP} , $Al_{\text{sol}}^{\text{SLU}}$, $Al_{\text{sol}}^{\text{VP}}$). Ahhoz hogy a kagylószűkülési haj-

lamot csökkentsem, a kijelölt paraméterek közül korrelációvizsgálattal megkerestem azokat, amelyekkel a lerakódások képződésére való hajlamot legjobban jellemző, azaz az üstmetallurgiai kezelés vége és az öntés közötti összoxigéntartalomban ($\Delta\Sigma\text{O}^{\text{SLU-VP}}$) bekövetkezett változást befolyásolni lehet (6-7.ábra):

- Az üstmetallurgiai kezelés végén mért összoxigén-tartalom ($\Sigma\text{O}^{\text{SLU}}$),
- Az üstmetallurgiai kezelés során bekövetkezett összoxigén-tartalom változás ($\Delta\Sigma\text{O}^{\text{SLU-LDU}}$).



6. ábra A kezelés végén mért összoxigén hatása ($\Sigma\text{O}^{\text{SLU}}$) a kezelés során kialakuló összoxigén változásra



7. ábra A kezelés során mért összoxigén-tartalom változás ($\Delta\Sigma\text{O}^{\text{LDU-SLU}}$) hatása a kezelés utáni összoxigén-tartalom ($\Delta\Sigma\text{O}^{\text{SLU-VP}}$) csökkenésre

Mivel ezeket közvetlenül nem lehet változtatni, ezért megvizsgáltam hogyan lehet közvetve befolyásolni:

- Konverterben végzett megfelelő argonos utánöblítés,
- Lépcsős dezoxidálás finomítása,
- Üstsalak vasoxidul-tartalmának mérséklése,
- Üstmetallurgiai kezelés során alkalmazott argonozási technológia korrekciója.

Az első sorozat tapasztalatai alapján megtettem a harmadik méréssorozat adagjai gyártástechnológiájának módosítására tett – 140 tonnára vonatkoztatott – javaslataimat:

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

Az első sorozatnál kimutatott a kagylószűkülésre legnagyobb befolyással rendelkező paramétereknél (a_{O}^{SLE} , $\Delta a_{O}^{SLE-SLU}$, ΣO^{SLU} , $\Delta \Sigma O^{LDU-SLU}$, $Al^{üstmet}$) a javasolt módosítások hatására olyan változásokat tapasztaltam, amelyek igazolták az elvárásaimat: javultak az átlagértékek, csökkentek a szórások.

A kagylószűkülési hajlamot legjobban az erre visszavezethető öntési zavarok számával lehet jellemezni, ezért megvizsgálva ezt a mutatót megállapítottam, hogy annak ellenére, hogy nem sikerült a javasolt módosításokat egyetlen teljes szekvensnél sem érvényesíteni, annál a hatnál, amelynél a legtöbb adag teljesített a négy előírásból legalább hármat (27 adagból 13) megfelelődött a zavarok aránya. (4.táblázat)

4. táblázat. Módosított technológiájú sorozatnál az öntés közbeni beavatkozások száma/előfordulási aránya

Öntés közbeni beavatkozások	Harmadik sorozat (27 adag)	
Letapadás miatti dugómozgatás	3 adag	11,11%
Üstkagyló tisztítása oxigénnel	2 adag	7,40 %
Merülőcső tisztítása oxigénnel	-	2,17 %
Összesen	5 adag	18,51 %

4. Új tudományos eredmények

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

1. Kísérleti módszerekkel megállapítottam, hogy *a hidegen hengerelhető, szilíciumszegény, alumíniummal csillapított acélok* – az öntés hőmérsékletén szilárd halmazállapotú zárványok mennyiségével és minőségével összefüggésben álló – *kagylószerű kialakulás gyakorisága, a hevítési lehetőséget nélkülöző üstmetallurgiai kezelés esetén,*
 - 1.1. *a technológiai paraméterek célirányos módosításával és szigorú betartásával* – annak nehézségei és más zavaró körülmények (pl. reoxidáció) kedvezőtlen hatása ellenére is – *minimálisan 50%-kal;*
 - 1.2. *a kalciumos zárványmodifikáció révén 70-80%-kal csökkenthető.*
2. Ásványtani vizsgálataim igazolják, hogy *a kalciumos zárványmodifikációban nem részesült adagoknál,* a nem megfelelő argonozási folyamat következményeként,
 - 2.1. *az öntés közben lerakódott , együttesen 90% az öntés hőmérsékletén szilárd oxid-mennyiségben belül,* a kagylószerű kialakulás folyamatot elősegítő, *exogén eredetű (aluminát és spinell) zárványok előfordulnak* amint arra a következő két táblázat utal:

Az ásványtani vizsgálatok során talált lerakódások összetétele

Sorozat (vizsgált adagok száma)	Dezoxidációból eredő oxidok aránya a lerakódásokban	
	tapadványban	porfrakciókban
Hagyományos technológia (54 adag)	90,57 %	64,33 %
Módosított technológia (27 adag)	89,59 %	78,18 %

Sorozat (vizsgált adagok száma)	Salakból származó oxidok aránya a lerakódásokban	
	tapadványban	porfrakciókban
Hagyományos technológia (54 adag)	1,54 %	22,50 %
Módosított technológia (27 adag)	~ 0	11,85 %

fennmaradó rész üreg, fémcsapadék vagy oxidálódott acélbezáródás

2.2. a lerakódások tartalmaznak salakból származó kalcium-aluminátot erős reoxidációra utalva a következő táblázat vizsgálati eredményei szerint

Nem megfelelő argonozási technológiával gyártott acél folyamatos öntésénél talált kalcium-aluminát lerakódások elemzett mennyisége

Mintavétel helye	Kalcium-aluminát koncentráció
Tapadvány*	1,54 terület%
Merülőcső belső felszínéről származó por	9,46 tömeg%
Merülőcső külső felszínéről származó por	5,47 tömeg%

*merülőcső belső felületén talált szivacsos szerkezetű lerakódás

3. Kísérleti, illetve statisztikai vizsgálatokkal bizonyítottam, hogy a kagylószűkülés gyakorisága alapvetően az üstmetallurgiai kezelés vége és az öntés közötti összoxigén-tartalom csökkenésével mérsékelhető, amire a legerősebb hatással

- az üstmetallurgiai kezelés alatt történő összoxigén-tartalom változás ($\Delta\Sigma O^{LDU-SLU}$) növelése;
 - az üstmetallurgiai kezelés végén mért összoxigén-tartalom ($\Delta\Sigma O^{SLU}$) mértékének csökkentése;
 - az atmoszférából (értékét jelzi a $\Delta\Sigma N^{VP-LDU}$), illetve az üstsalakból származó (FeO^{SLU}) oxigén okozta reoxidáció mérséklése
- van a hatástényezők alábbi korrelációja mellett.

Az üstmetallurgiai kezelés és az öntés közötti összoxigén-tartalom változásra ható paraméterek korrelációja*

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

*0,05-ös szignifikancia szint esetén megfelelő korreláció: $-0,27 > x > -1$, $1 > x > 0,27$

4. Kísérletekkel bizonyítottam, hogy a kagylószűkülések aránya, hevítés nélküli üstmetallurgiai kezelés esetén (is), az alábbi technológiai beavatkozásokkal jelentősen mérsékelhető:

- 4.1.** a lépcsős dezoxidálás eredményeit fokozó, minél kisebb üstmetallurgiai kezelés elején mért aktívoxigén-szint (a_O^{SLE}) biztosításához szükséges **hatékonyabb alumíniumos dezoxidáció érdekében a primerkemencében** – az adag-nagyság függvényében meghatározott (140t-ás adagnál $>10m^3$) mértékű –

argonos utánöblítésre (Ar^{LD}) van szükség, az alábbi kísérleti hatásmértékek bázisán:

Beavatkozások hatása az üstmetallurgiai kezelés elején mért aktívoxigén (a_O^{SLE})-szintre

Beavatkozás (140 tonna acél)	a_O^{SLE} [ppm]
$>10 \text{ m}^3 \text{ Ar}^{LD} *$	3,50
$0-8 \text{ m}^3 \text{ Ar}^{LD} *$	5,52

4.2. az üstmetallurgiai kezelésvégi, minél kisebb összoxigén-tartalom (ΣO^{SLU}) célját szolgáló, **kisebb mértékű reoxidáció, illetve fokozott acéltisztaság érdekében:**

- **a nagy vasoxid-tartalmú primersalak visszatartása csapolás közben vagy annak kezelése;**
 - **az argonos felsőfúvós kiiktatása**, az üstsalak bekeveredésének és az atmoszférával létrejövő reakció elkerülése céljából,
- a mért alábbi hatáseredmények alapján:

Felső argon befúvás hatása az üstmetallurgiai kezelés végén mért összoxigén-szintre (ΣO^{SLU})

beavatkozás	ΣO^{SLU} [ppm]
Felső Ar nélkül	49,2
Felső Ar-nal	55,0

4.3. tisztító hatású (lág)argonos alsóöblítés (6-8 perces legfeljebb 150-200 Nl/perc, **az acéltömeg függvényében**),
A kapott alábbi eredmények alapján

A lág alsó argonöblítés hatása az üstmetallurgiai kezelés végén mért összoxigén (ΣO^{SLU})-szintre

beavatkozás	ΣO^{SLU} [ppm]
Lág argonozott	46,0
Lág Ar nélkül	58,0

5. A primerkemencéből történő csapolás közben átkerült primersalak mennyiségének pontos meghatározására új számítási módot dolgoztam ki, melynek a

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

- $m_{\text{salak}}^{\text{át került-primer}}$: csapoláskor konverterből üstbe átkerült salak tömege, kg
- $m^{\text{sk.+oxid}}$: csapolás során beadagolt salakképző, dezoxidáló és ötvöző anyagokból származó salak mennyiség növekmény, kg
- FeO^{SLE} : az üstmetallurgiai kezelés elején az üstsalak FeO-tartalma, %/100
- FeO^{LD} : konvertersalak FeO-tartalma, %/100

matematikai formája révén **bizonyossá vált, hogy az elégtelen salakvisszazárási technológia esetén** – a reoxidációt nagymértékben elősegítő 300-1800 kg – **oxidáló hatású primer salak kerül át.**

6. A kutatómunka eredményeként szükségesnek ítélt technológiai fejlesztések érvényre jutása esetén a kagylósűkülés és a hevítési lehetőséggel kombinált költségigényes üstmetallurgiai kezelés, illetőleg a kalciumos modifikáció igénye lényegében elmaradhat vagy mérséklődhet, ellenkező esetben viszont nem.

5. Az értekezés tudományos eredményeinek jelentősége és hasznosításuk lehetőségei

A tézisekben megfogalmazott tudományos eredmények újszerű ismeretekkel bővítik a hidegen hengerelhető acélok folyamatos öntésével kapcsolatos ismereteket.

Egy olyan technológiai metodust dolgoztam ki az elméleti összefüggések alapján elvégzett üzemi kísérletek eredményeként (3., illetve 4.1, 4.2. tézisek), amelyek közvetlenül alkalmazhatók az ipar számára: olyan üzemek részére (mint például az ISD Dunaferr Zrt.), ahol nem áll rendelkezésre utólagos hevítési lehetőség. Azonnal hasznosíthatóak az értekezés megállapításai olyan acélművekben is, ahol bár megvan a lehetőség az üstmetallurgiai kezelés során az utólagos melegítésre, de gazdaságossági szempontból redukálni kívánják a költségeket.

Kézzel fogható és bevezetésre alkalmas része az értekezésnek a lépcsős dezoxidálás során felhasznált alumínium tömegének a korábbihoz képest akár ~10-20%-os csökkentése, ami éves szinten milliós nagyságrendű megtakarítást eredményez (4.1 tézis).

Olyan ásványtani elemzéseket végeztem el, amiket korábban az acélgyártás területén még nem alkalmaztak, így olyan újszerű eredményekre jutottam, amik a jelenleg alkalmazott üstmetallurgiai eszközök közül néhányat előtérbe helyeznek, mások hasznosságát viszont megkérdőjeleznék (1. illetve 2.1, 2.2 tézis).

A kísérleteim során nem csak a kagylósűkűlések arányát sikerült 50-80%-kal mérsékelni, hanem a késztermék zárványossági – az értekezésben nem részletezett – mutatói is jelentősen javultak, ami további előnyöket biztosít a végfelhasználók részére.

Az értekezésem eredményei egy tudományos kutatómunka és a közeljövőben két darab BSc. szakdolgozat elkészültében is hasznosulnak. A TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV -2010-0001 pályázat keretében végzendő tevékenység kiinduló pontjául szolgálhatnak a téziseimben leírt eredmények és a kutatásaim során összegyűjtött adatbázis (5., 6. tézis).

Az eredmények gazdagítják az egyetemi oktatás tananyagát is és egyben, a további kutatómunkákhoz újabb témáötleleteket (pl. csapolás közbeni salakvisszatartás módjainak, illetve a folyamatos öntőműben történő lágyargonos öblítés hatásainak vizsgálata stb.) gerjesztenek.

6. Az értekezés témakörében megjelent publikációk

Cikkek folyóiratokban:

- Harcsik Béla*
1. **Szekvensöntésvégi merülőcsöveken lerakódó tapadványok vizsgálatának tanulságai** 2011.08.
Bányászati és Kohászati Lapok. No.3, 2011, pp. 6-10.

Bela Harcsik, Pal Tardy, Gyula Karoly

 2. **Examination of nozzle clogging in continuous casting**
elbírálás alatt

Harcsik Béla – Károly Gyula

 3. **Szilíciumszegény, alumíniummal dezoxidált acéloknál a kagylószerűkések mértékének mérséklése**
Bányászati és Kohászati Lapok. (megjelenés alatt)

Konferencia cikkek és előadások:

- Harcsik Béla*
1. **The Effect of Reoxidation in Continuous Casting of Steel** 2009.03.19.
MICROCAD 2009, Section D, Miskolc, pp.1-6.

Harcsik Béla

 2. **Acélok önthetőségének kagylószerűkések jellegű önthetőségi problémái** 2009.04.05.
XI.Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Máramarossziget, 2009. pp. 59-63

Harcsik Béla

 3. **Investigation of sources of nozzle clogging** 2009.04.24
16th International Students' Day of Metallurgy, Ostrava
CD-melléklet

Gyula Karoly, El-Ghazaly, Béla Harcsik, Andrea Szabó

 4. **The Effect of Flow Induced by Argon Stirring on the Cleanliness of Low Silicon, Aluminium Killed Steels** 2009.09.09
Conference on Modelling Fluid Flow CMFF'09 - CD-melléklet

- Harcsik Béla*
5. **Kalciumszulfid hatása az acélok önthetőségére** 2010.04.10
 XII.Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia,
 Nagyenyed, 2010., pp.55-59.
- Harcsik Béla*
6. **Effect of calcium sulphide at casting of steels** 2010.09.18
 17th International Students' Day of Metallurgy, Aachen,
 2010., pp.40-43.
- Harcsik Béla, Dr. Kardos Ibolya, Józsa Róbert*
7. **Kagylószűkülés okainak vizsgálata az ISD DUNAFERR** 2011.04.02
Zrt-nél XIII.Bányászati, Kohászati és Földtani Konferen-
 cia, Gyergyószentmiklós, 2011., pp.76-79.

Konferencia előadások:

- Harcsik Béla* 2008.11.13
1. **Acélok önthetőségének vizsgálata**
 Doktoranduszok Fóruma Kari Szekcióülés, 2008
- Harcsik Béla*
2. **Reoxidáció elleni védelem vizsgálata az ISD Dunaferr** 2009.11.05
Zrt. Acélművében
 Doktoranduszok Fóruma Kari Szekcióülés 2009
- Harcsik Béla*
3. **Folyamatosöntésnél kagylószűküléseket okozó**
tapadványok ásványtani vizsgálata 2011.05.02
 Műszaki anyagtudományi kutatási eredmények
 disszeminációja a GOP-1.1.2-08/1 pályázat keretében -
 Uni-Flexys konferencia, 2011