

# Üstsalak okozta reoxidáció vizsgálata a konverteres acélgártás technológiájában

**Konverteres acélgártás során reoxidáció olyan esetekben következhet be, amikor a csapolás során konvertersalak kerül a lecsapolt acélra, és amikor a szabad acélfelület érintkezik a levegővel. A dezoxidált acélfürdőn elhelyezkedő nem megfelelő minőségű üstsalak visszaoxidálja az acélt, ez káros zárványképződéshez vezet és növeli az adagolt dezoxidálószer mennyiségét, valamint csökkenti a kéntelenítés hatásfokát. Ez mind gazdasági, mind minőségi szempontból hátrányos. Az elvégzett üzemi mérések értékeléséből kiderült [1], hogy az ISD Dunafer Zrt. acélművében az üstsalak minősége elmarad a kívánttól, ezért megvizsgáltam, hogy ez milyen további problémákat okoz. A felmerült gondok hatékony kezelésének módszereivel is foglalkoztam.**

## Az üstsalak szerepe a technológiában

A konverterből történő csapolással egyidejűleg megkezdik az üstsalak képzését. Az üstsalak (szekunder salak) égetett mészből, az ötvözőelemek és dezoxidálószer oxidjaiból, valamint az acélüstbe esetlegesen átkerült konvertersalak (primer salak) alkotóiból áll. A megfelelő minőségű üstsalak ismérvei a következők:

- kis FeO- és MnO-tartalom,
- jó hígfolyósság (kis viszkozitás),
- megfelelő homogenitás,
- nagy bázicitás.

A kis FeO- és MnO-tartalom azért fontos, mert a dezoxidált acélfürdőt ezek az aktív salakalkotó oxidok újraoxidálják, ennek következtében a fürdőben oldott alumínium egy része nemkívánatos  $Al_2O_3$  zárványokká alakul, amelyek rontják az acél öntetőségét és minőségét [2]. A salak kis FeO- és MnO-tartalmát hatásosan megfelelő salakvisszatartással érhetjük el a primer kemencéből történő csapolás során.

A hígfolyós salak az acélfürdő felü-

letét elzárja az atmoszférától, s ezzel a légkörből történő gázfelvételt mérsékli.

Ha a salak az acélgártás hőmérsékletén nagy viszkozitású, esetleg részben szilárd kérget alkot a fürdőn, akkor a különböző üstmetallurgiai műveletek elvégzése nehezkessé válik, például a fürdő svédlandzsás felső argon kezelése, porbeles huzalkezelése, acél- és salakminta kivétele.

A salak nagy bázicitása által biztosítható a jó kéntelenítés [3].

## Salakminta-vételezés és adatgyűjtés

Az acélgártás folyamán a technológiában előírtak szerint acél- illetve salakmintát vesznek az adagból. A mintákat az acélmű saját laboratóriumába küldik, ahol az acélmintákat optikai emissziós spektrométerrel, a salakmintákat röntgenfluoreszcens analízis segítségével elemzik. A vizsgálati eredmények egy belső adatbázisba kerülnek.

Vizsgálataimhoz olyan adagokat választottam, amelyeket az üstmetal-

lurgiai művelet során zárványmodifikáció céljából CaFe-huzallal kezeltek [4].

A választást egyrészt a megbízhatóbb salakmintavétel lehetősége indokolta, ugyanis az így kezelt adagoknál az üstmetallurgiai kezelőállomáson az első salakminta kivétele előtt 2 perces, 900 l/perc térfogatáramú felső argonos kezelést hajtanak végre, ami a salak inhomogenitását csökkenti. Másrészt a kalciummal kezelt adagok esetében így képet kaphatunk arról is, hogy a salakminőség hogyan befolyásolja a kalciumos kezelés hatékonyságát.

Az értékelés megbízhatósága végett nagyszámú, 463 darab CaFe-huzallal kezelt adagot vizsgáltam meg.

Vizsgálataim alapjául a következő mért paraméterek szolgáltak:

- porbeles huzalkezelés előtti és porkezelés utáni acélminta összetétele,
- végpróba acélminta összetétele,
- porbeles huzalkezelés előtti és porkezelés utáni salakminta összetétele,
- adagolt CaFe- és Al-huzal mennyisége,
- az adagok tömege.

A szövegben és ábrákon előforduló rövidítések könnyebb értelmezhetősége miatt az 1. táblázatban foglaltam össze a használt jelöléseket.

A gyártott adagok azonosítására szolgáló adagszám szerint rendeztem a vizsgálatomhoz szükséges adatokat. Első lépésben az adagok tömegének, az adagolt huzal mennyiségének és a PEA- és PUA-minták Al- és Ca-tartalomra vonatkozó adatainak segítségével kiszámítottam az üstmetallurgiai kezelés alatt bekövetkező leégés mértékét. A következő lépésben a PES- és PUS-minták értékeinek figyelembevételével számoltam ki a FeO változásának mértékét. Ezek után a százalékos FeO-változást sávosan felosztottam, és ehhez szűrtem ki a hozzá tartozó Al- és Ca-változás mértékét. A sávokba termé-

*Szatmáry László 2011-ben a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán anyagmérnöki BSc-oklevelet szerzett hőenergia-gazdálkodás, hőkezelés szakirányon. Ugyanezen a karon folytatta tanulmányait 2011-ben kohómérnök MSc-képzésen. 2009-től a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának Tüzeléstani és Hőenergia Intézeti Tanszékén végez tudományos munkát. Több sikeres TDK-dolgozata és OTDK-eredménye van. Jelenleg a Metallurgiai és Öntészeti Intézettel közösen az acélméltallurgiai salakok hatásainak vizsgálatával foglalkozik.*

1. táblázat. Jelölésrendszer

Jelölés	Értelmezés
PEA	porbeles huzalkezelés előtti acélpróba
PUA	porbeles huzalkezelés utáni acélpróba
PES	porbeles huzalkezelés előtti salakpróba
PUS	porbeles huzalkezelés utáni salakpróba
VP	acél végpróba
$\Delta Al_1$	acél Al-tartalom változása a PEA és PUA között
$\Delta S_1$	acél S-tartalom változása a PEA és PUA között
$\Delta FeO$	FeO-tartalom változása a PES és PUS között
$\Delta Al_2$	acél Al-tartalom változása a PUA és VP között
$S_2$	acél S-tartalom változása a PUA és a VP között
$FeO_{PUS}$	FeO-tartalom a porbeles huzalkezelés utáni salakpróbában
$\Delta Ca$	acél Ca-tartalom változása a PUA és VP között
$\Delta N$	acél N-tartalom változása a PUA és VP között

szerszerűleg eltérő számú számolt érték esett, ezért ezeknek az értékeknek az átlagát vettem. Az adatok nagy szórásából adódóan volt olyan sáv, ahová nem tartoztak értékek, ezeket a diagramok szerkesztése során üres oszloppal jeleztem. Hasonló kiértékelési módszert alkalmaztam az alábbi értékelések során is.

**Összefüggések keresése**

A következő technológiát érintő kérdésekre kerestem választ:

- Hogyan befolyásolja a szekunder salak FeO-tartalmának változása az űstmetallurgiai kezelés folyamán az alumínium és kalcium leégését?
- Hogyan változik a kéntelenítés hatásfoka az űstben a salak FeO-tartalom változásának következtében?
- A salaknak az űstmetallurgiai kezelés végén mért 4%-nál nagyobb FeO-tartalma az öntés megkezdéséig milyen hatást gyakorol az acél-füzdőre?

- Mi okozza a kalciumtartalom jelentős csökkenését az űstmetallurgiai kezelés során?

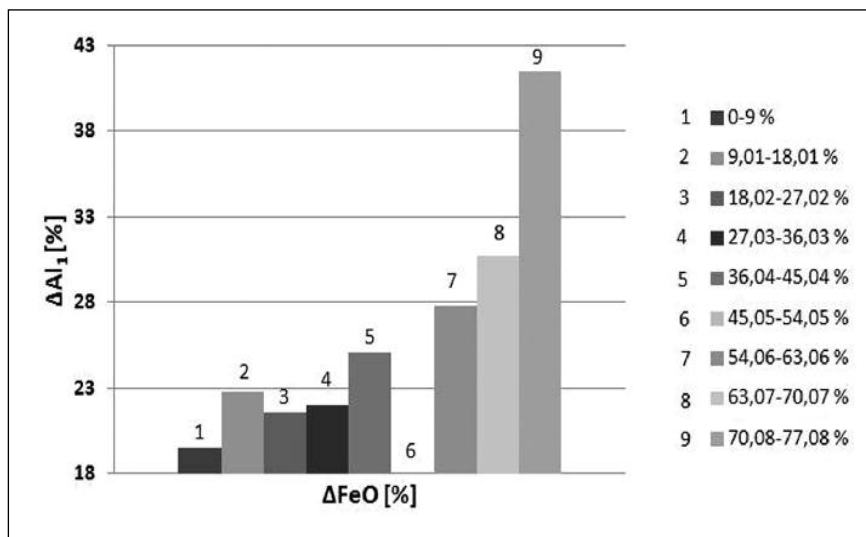
Ezekre a kérdésekre a választ az acélmű adaggyártási adatbázisából származó adatok kiértékelésével, valamint az üzemi szakemberek segítségével kerestem, akik hasznos tanácsokkal láttak el a kiértékeléssel kapcsolatban.

**Vizsgálati eredmények**

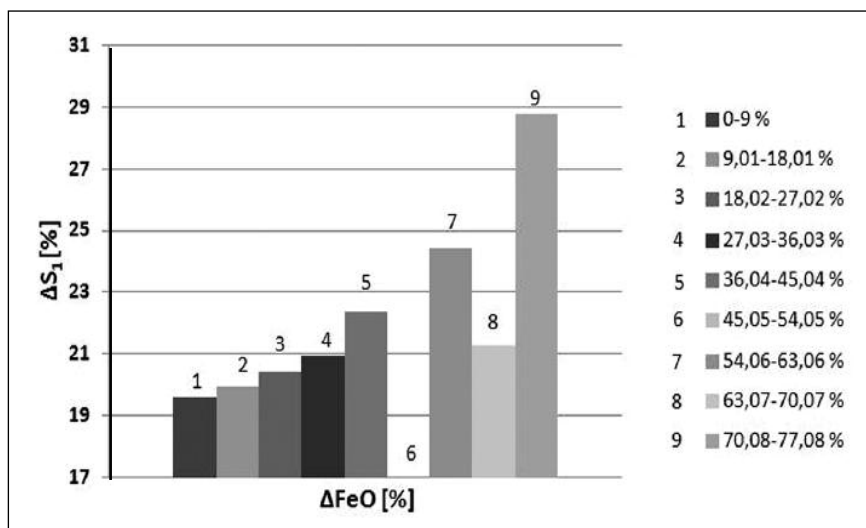
Az 1. ábráról leolvasható, hogy minél nagyobb volt a szekunder salak FeO-tartalmának százalékos csökkenése az űstmetallurgiai kezelés alatt, annál

nagyobb volt a füzdő Al-tartalmának csökkenése. Ez magyarázható a

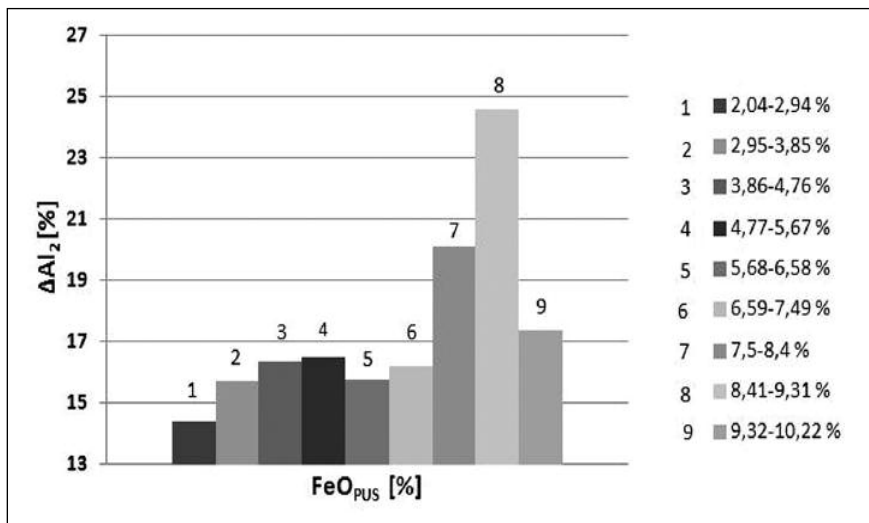
reoxidáció fellépésével, ilyenkor a salak elvártnál nagyobb FeO-tartalmának hatására megemelkedik a füzdő oxigéntartalma, amely az adagolt alumíniummal reakcióba lépve  $Al_2O_3$  képződéshez vezet. Az űstmetallurgiai kezelés során számításaim szerint átlagosan 88,83%-os Ca-leégéssel számolhatunk, a salak FeO-tartalmának változása és a Ca-leégés mértéke között nem találtam erős összefüggést, ezért annak diagramban való ábrázolásától eltekinttem. Itt jegyzem meg, hogy az 1. és 2. ábrán nem ábrázoltam a salak 45,04-54,05 közötti FeO-tartalmának megfelelő Al-tartalom-változás mértékét, mivel ebbe a tartományba mérési eredmények nem estek.



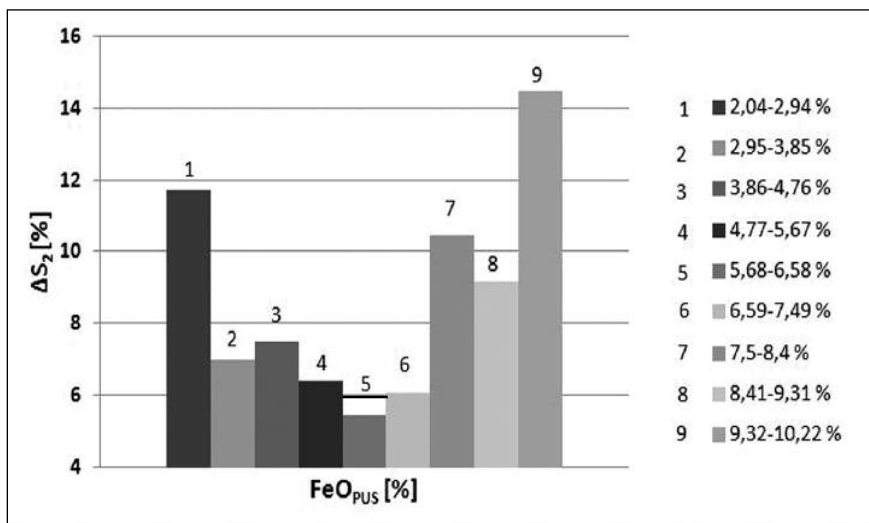
1. ábra. Az űstsalak FeO-tartalom-változásának és az acél alumíniumtartalom-változásának összefüggése az űstmetallurgiai kezelés során



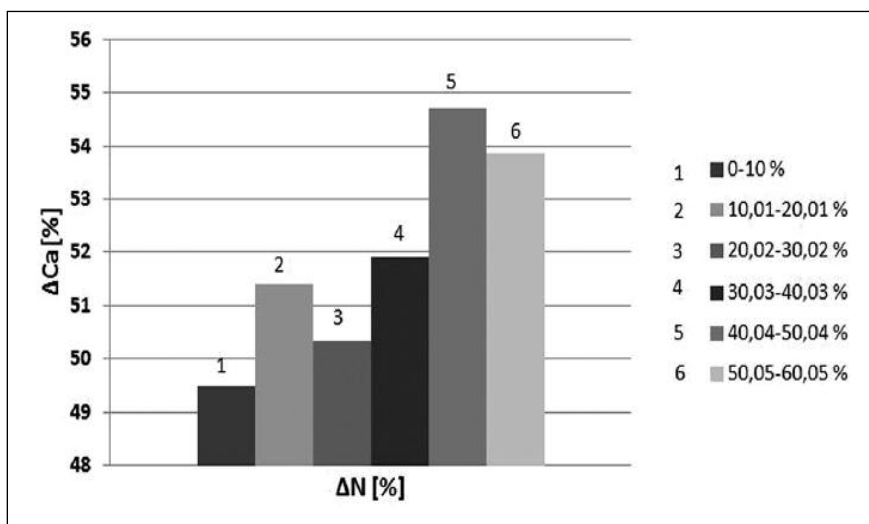
2. ábra. Az űstsalak FeO-tartalom-változásának és az acél kéntartalom-változásának összefüggése az űstmetallurgiai kezelés során



■ 3. ábra. A porbeles huzalkezelés utáni üstsalak FeO-tartalom és az acél alumínium-tartalom-változásának összefüggése a porbeles huzalkezelés utáni próba és a végpróba között



■ 4. ábra. A porbeles huzalkezelés utáni üstsalak FeO-tartalom és az acél kéntartalom-változásának összefüggése a porbeles huzalkezelés utáni próba és a végpróba között



■ 5. ábra. Az acél nitrogén- és kalciumtartalom-változásának összefüggése a porbeles huzalkezelés utáni próba és végpróba között

Számításaim során a PEA- és PUA-próba kéntartalmának változását egyeztettem össze a salak FeO-tartalmának változásával. Eredményül azt kaptam, hogy minél nagyobb volt a FeO csökkenése, annál jobban nőtt a kéntartalom csökkenésének mértéke, vagyis a kéntelenítés hatásfoka. Ezt támasztja alá a 2. ábrán bemutatott eredmény. Hasonló eredményeket kaptam ahhoz, mint amikor salak FeO-tartalom változásának és az alumínium leégésének kapcsolatát vizsgáltam az üstmetallurgiai kezelés alatt. Minél nagyobb volt a porbeles huzalkezelés utáni salak FeO-tartalma, annál nagyobb mértékű volt az alumínium leégése az üstmetallurgiai kezelés befejezése és a végpróba kivétele közötti időszakban. Ez a hatás is a salak okozta reoxidáció bekövetkezésével magyarázható. Az összefüggést a 3. ábrával szemléltetem. A kalcium leégését vizsgálva a fent említett időszakban átlagosan 50,16%-os értéket kaptam, de itt sem találtam olyan összefüggést a porkezelés utáni salak FeO-tartalma és a kalciumleégés mértéke között, ami közlésre érdemes lett volna.

A porbeles huzalkezelés utáni salak FeO-tartalmának növekedésével összefüggésben csökkent a kéntartalom változásának mértéke, vagyis csökkent a kéntelenítés hatásfoka. Itt is megerősítést nyer az a tény, miszerint minél nagyobb a salak FeO-tartalma, annál nehezebb megfelelő kéntelenítést végezni [5]. Sajnos a salakmintavétel bizonytalanságának következtében olyan kiugró, teljesen irreális eredményeket is kaptam (4. ábra – 7,5%-nál nagyobb FeO-sávok esetén), amiket figyelmen kívül lehetne hagyni, de mivel nem szerettem volna elkendőzni a mérésekből származó bizonytalanságot, így szerepeltettem azokat is a diagramon.

Az 5. ábrán ismertetem az acélminták kalcium- és nitrogéntartalmának változását a porkezelés után és a végpróba között. Megállapítható, hogy a nitrogéntartalom növekedése – vagyis a légkörrel való érintkezés mutatószáma – a kalciumtartalom fokozott leégéséhez vezet. Az üstmetallurgiai kezelés befejezése után már főként a légkör okozta reoxidáció játszik szerepet a kalcium leégésében.

## A reoxidáció hatás csökkentésének módszerei

Mint a fentiekből már lehet tudni, a salak okozta reoxidációt a legjobban azzal tudjuk csökkenteni, hogyha az átkerült konvertersalak mennyiségét csökkentjük. Ezt hatékony salakviszataratással érhetjük el. A salakviszataratás a következő káros folyamatok megszüntetésére szolgál:

- előfolyás a konverterből a csapolóüstbe,
- acél és salak együttfolyás,
- utófolyás a csapolás végén.

Az előfolyás mérséklésére azért van szükség, mert a csapolás kezdetekor a nyitott csapolónyíláson keresztül a konverter alatt várakozó üstbe konvertersalak folyik át. Ezt a salakfolyást viszonylag egyszerű módszerekkel lehet kezelni, egy lehetőség az a megoldás, amikor a nyílást ideiglenesen eltorlaszolja olyan dugaszanyaggal, amely a folyékony acél hatására kilökődik vagy kiég onnan.

Az acél és salak együttfolyását a legnehezebb megakadályozni, ekkor ugyanis a csapolás során fellépő áramlások következtében az acélsugár salakot ragadhat magával, ez ellen teljes mértékben nem tudunk védekezni, viszont bekövetkezésének valószínűségét csökkenteni tudjuk a csapolónyílás és az azt körülvevő falazatrész rendszeres karbantartásával. Főleg a falazat és a nyílás kopásának előrehaladtával jelentkezik ez a fajta probléma, amikor káros turbulenciák lépnek fel az áramlásban. A csapolás végéhez közeledve gondoskodnunk kell arról, hogy az

acél kifolyásának végén megakadályozzuk a rajta elhelyezkedő salak konverterből való kijutását.

Az utánfolyást különböző módszerekkel lehet mérsékelni, illetve megszüntetni:

- salakviszazáró golyó,
- salakdárda,
- csapolónyílás tolozár segítségével.

Az ISD Dunafer Zrt.-nél a fent említett első módszert alkalmazzák, ennek lényege, hogy a csapolás végének közeledésével manipulátor segítségével olyan sűrűségű zárógolyót (6. ábra) dobnak a konverterbe, amely az acél és a salak fázishatáron elhelyezkedve akkor zár le, amikor a salak szintje eléri a csapolónyílás szintjét. A golyós visszazárás hatékonyságát nagyban befolyásolják a kopások következtében fellépő turbulenciák, ugyanis ezek megakadályozhatják a megfelelő pozícióba való elhelyezkedését.

Salakdárda (7. ábra) alkalmazásával csökkenthető a rossz áramlási körülmények következtében meghiúsult salakzárás. A dárda fő jellegzetessége a hosszú vezetőrúd, amely egyfajta pozicionáló és vezető szerepet játszik. Segít pontosan a csapolónyílásba helyezni a dugót (8. ábra), valamint a fürdőszint folyamatos magasságával együtt mozogva a csapolás végeztével elzárja a nyílást [6]. Használatához szintén manipulátorra van szükség, a használatára kísérleteket folytattak az ISD Dunafer Zrt.-nél, de komolyabb infrastrukturális átalakítások nélkül a módszer nem valósítható meg, viszont pozitív hatást gyakorolhatna a salakviszataratás hatásosságára.



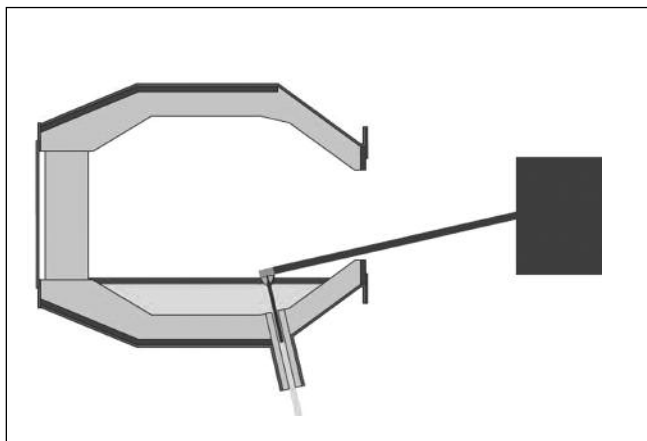
■ 6. ábra. Salakviszazáró golyó

A csapolónyílásra szerelt tolozár (9. ábra) nyújtja a legnagyobb biztonságot a salakviszataratás szempontjából.

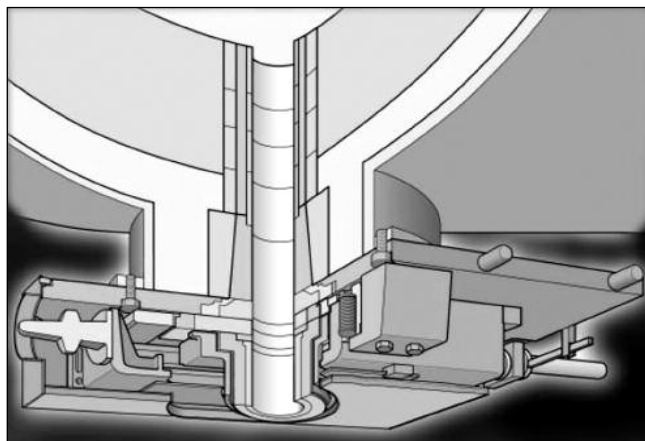
Megakadályozza a salakelőfolyást, valamint megfelelő érzékelő berendezésekkel felszerelve az utófolyást is hatékonyan tudja megakadályozni [7, 8]. Hátránya a viszonylag bonyolult szerkezetében, nagyobb beruházási és üzemeltetési költségeiben mutatkozik meg. Gazdasági szempontból hátrányos tulajdonságait mindenképp elensúlyozni tudja az a tény, hogy mivel jelentősen csökkenti a salakátfo-



■ 7. ábra. Salakdárda



■ 8. ábra. Salakdárda alkalmazásának sematikus ábrázolása



■ 9. ábra. Csapolónyílás tolozár

lyást az üstbe – annak káros hatásával egyetemben – hosszabb távon az acél jobb minőségén és a megta-  
karított hozaganyagokon keresztül megtérülhet a többletberuházás.

### **Összefoglalás**

Az ISD Dunafer Zrt. acélművében végzett mérések értékelésével bemutattam olyan fontos összefüggéseket, amelyek segítséget nyújthatnak a gyártási technológiai javítására, ezzel hozzájárulva a gyártott acélminőség javulásához, valamint az acélgégyártás gazdaságosabbá tételéhez. A reoxidáció elkerülésével, illetve mérséklésével csökkenteni lehet az adagolt alumínium és kalcium leégésének mértékét, ezzel kapcsolatban pedig a káros zárványképződés mértékét [9]. Minél alacsonyabb szinten tudjuk tartani a szekunder salak FeO-tartalmát – vagyis csökkenteni tudjuk az átke-  
rült primer salak mennyiségét – annál jobb kéntelenítési hatásfokot és kisebb leégési veszteséget tudunk elérni. Az öntés folyamán ügyelni kell a légkör okozta reoxidáció elkerülésére, ha sikerül csökkenteni annak hatását, akkor kisebb kalciumleégéssel számolhatunk, ezzel fokozható a kalciumos kezelés hatásfoka [10]. A bemutatott salakvisszatartási technológiák segítséget nyújthatnak abban, hogy a salak okozta reoxidáció mértékét csökkentjük. Használatukkal az üstsalak jellemzőit pozitívan befolyásolhatjuk, ami növeli annak hatásos-

ságát, így közvetve és közvetlenül is hozzájárul az acélgégyártás minőségének és gazdaságosságának növeléséhez, ami a jelenlegi piaci helyzetben mindenképp előnyére válhat bármelyik kohászati vertikumnak.

### **Köszönetnyilvánítás**

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt részeként az Európai Unió támogatásával – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében –, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

### **Irodalom**

- [1] Szatmáry L.: Üstmetallurgiai salak reoxidációs képességének vizsgálata. XIV. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia konferencia kiadványa, 2012, pp. 99–102.
- [2] Szabó Z.: Alacsony zárványtartalmú acél gyártásának feltételei. Dunafer Műszaki Gazdasági Közlemények, No. 4, 2006, pp. 203–208.
- [3] Burghardt, H., Neuhofer, G.: Stahlerzeugung, Leipzig, 1983, p. 582.
- [4] Szabó Z.: A zárványok átalakítása az acélok kalciumos kezelésével. Dunafer Műszaki Gazdasági Közlemények, No. 1, 2007, pp. 25–30.
- [5] Józsa R., Gyerák T.: A salak-

visszazárás bevezetésének hatása az acél tisztaságára, valamint önthetőségére a Dunafer Acélművek Kft. konvertereinél. V. Anyag- és energiatakarékosság a vaskohászatban konferencia, Balatonszéplak, 1993

- [6] Howanski, W. S. Kalep, T. Swift T.: Optimizing BOF Slag Control Through the Application of Refractory Darts, AISTech 2006. The Iron & Steel Technology Conference and Exposition, Cleveland, Ohio, 2006
- [7] Berghöfer, A., Steiner B.: Verbesserter Abstich hochreiner Stähle mit LD-Konvertern bei Salzgitter Flachstahl, Stahl und Eisen, No.1 2012 (132), pp. 37–41.
- [8] Böcher, G., Kempken, J., Schnurrenberger, E., Rietmann, K., Müller, H.: Slag free tapping with INTERSTOP Tap Hole Gate Type 120. International ATS Steelmaking Days, Paris, France, 9–10. December 1997
- [9] L. Zhang, Thomas, B. G.: Evaluation and control of steel cleanliness – review, 85<sup>th</sup> Steelmaking Conference Proceedings, ISS-AIME, Warrendale, PA, 2002 pp. 431–452.
- [10] Szabó A.: Szilíciumszegény, alumíniummal dezoxidált acél tisztaságának javítása argonos átöblítés finomításával, PhD-disszertáció, Miskolc, 2009

VERES ZSOLT – SZURDÁN SZABOLCS – ROÓSZ ANDRÁS

## **Gáznitridálás a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében**

*A nitridálás, mint termokémiai eljárás, második virágkorát éli. Egyre gyakrabban alkalmazzák mind szerkezeti, mind szerszámacélok felületi kezelésére. Az eljárással nagymértékben meg lehet növelni a kezelt darab felületi keménységét és kopásállóságát. A Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet által működtetett SLR-5 típusú berendezés lehetővé teszi, hogy feltárjuk a nitridálás alkalmazásának új lehetőségeit.*

### **Bevezetés**

A Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében jelentős hagyománya van a fémekben lejátszódó fémteni folyamatok vizsgálatának, az anyagok szerkezete és tulajdonságai kö-