

HARCSIK BÉLA – KÁROLY GYULA

## A kagylószűkülések mértékének csökkenthetősége szilíciumszegény, alumíniummal dezoxidált acéloknál

*A szekvensöntésvégi merülőcsöveken lerakódó tapadványok vizsgálatának [1] tanulsága, hogy a lerakódásokat akkor kerülhetjük el leginkább, ha metallurgiai módszerekkel és a reoxidáció elleni védelemmel megelőzzük nagyobb mennyiségű  $Al_2O_3$ -zárvány lerakódását. Természetesen a technológiai adottságoktól nem tekinthetünk el. Olyan üzemben, ahol csapolást követően nincs hevítési lehetőség (s ilyen üzem a Dunaferre is), a tapadványvizsgálat eredményei szerint célszerű az lenne, ha Ca-os kezeléssel az öntés hőmérsékletén szilárd  $Al_2O_3$ -zárványok folyékony állapotú Ca-aluminátokká alakulhatnának át. Ehhez viszont egy jól dezoxidált olvadékba, rendkívül pontosan és hatékonyan kell a Ca-ot beötvöznünk, egyébként a  $CaO-Al_2O_3$  binér diagramból kikövetkeztethetően kicsi az esélyünk, hogy olvadék állapotú Ca-aluminátok képződjenek, ezért nem szívesen kockáztatjuk meg a Ca-os kezelést Si-szegény acélok esetében.*

*Az alábbiakban annak lehetőségét vizsgáljuk, hogy a gyártástechnológiai paraméterek optimális beállításával Ca-mentes acéloknál is elkerülhessük a kagylószűküléseket, ehhez nyilván – a tapadványvizsgálatok eredményeiből adódóan – technológiamódosításokra van szükség.*

### Célkitűzés

A Si-szegény, Al-mal dezoxidált (St24 típusú) acélok jelenlegi gyártástechnológiáját alapul véve egy kísérlet-sorozatban értékelendő a tapadványképződéshez vezető zárványok képződése a lépcsős dezoxidáció ill. a csapolástól az öntés befejeztéig fellépő reoxidáció során, majd ezen tanulságok és vizsgálati eredmények birtokában egy finomított gyártástechnológiával megvizsgálni a kagylószűkülések arányának csökkenthetőségét Ca-os kezelés nélkül.

### A jelenlegi technológia vizsgálata a kagylószűkülés szempontjából

A jelenleg érvényben lévő technoló-

gia alapulvételéhez (kiindulópontként) 10 szekvens, összesen 54 adagjára kiterjedő kísérlet-sorozatot végeztünk a Dunaferreben egy kiegészített próbavételi rendszert figyelembevevő módon.

A próbavételi rend kialakítása során az vezetett: minél több információt szerezni a tisztaság időbeli alakulásáról, a gyártási technológia és a minőség kapcsolatáról. Nyilván a források és az utánpótlások okozhatják a termékben maradó oxidzárványokat, s ezek mennyiségét, konzisztenciáját tudjuk befolyásolni metallurgiai eszközökkel (a lépcsős dezoxidációval, de leginkább **argonos átöblítéssel**, ill. **Ca-os modifikálással**).

A kísérlet-sorozatban megfigyelt 54 adag gyártását jellemző gyártás-

technológiai paraméteradatok sokfélék. Az értékelendő adatbázis kiinduló adataiként azokat választottuk ki, melyek elvi megfontolásokból adódóan befolyásolhatják a kagylószűkülést, ezek száma 36 (ld. 1. táblázat).

A kísérlet-sorozatban nyert adatbázis több ezer adatot tartalmaz, ezek – üzleti titkot nem sértve – a kutatási jelentésben [2], ill. Harcsik Béla disszertációjának mellékleteiben [3] rögzítettek. Nem is az adatbázis a sokatmondó, hanem annak elemzése.

- először az ún. adatszűrés során a sok ezer adat mindegyikét egyenként számításba kellett vennünk, tartalmaznak-e próbavételi, egyéb objektív vagy szubjektív hibát. Az adatok egy részénél (pl. a  $\Sigma$ oxigén-tartalmaknál) kontroll-elemzéseket végeztünk ott, ahol túl nagy volt a párhuzamosan elvégzett mérések szórása, avagy kiugró értékek voltak az eredmények. Az **adatszűrésen, kiugróérték-vizsgálat** során módosításra szorult adatok száma természetesen nem számottevő, összességében 1%-on belüli volt (ezen belül a kiugróérték vizsgálata során az adatoknak csupán 0,58%-a – 7388-ból 43 – esett ki a Gauss-görbe  $\mu$  (átlagérték)  $\pm 3\sigma$  (szórásérték)-tartományából, így az adatbázisból).

- Az adatszűrésen, kiugróérték-vizsgálaton átesett adatok értékelése matematikai statisztikai alapon történt az alábbi sorrendben.

A **faktoranalízis** a megfigyelt változók számának „csökkentésére” használatos. A változók számát úgy kívánjuk csökkenteni, hogy a műveletvégzés a lehető legkevesebb információvesztéssel járjon, vagyis a transzformált sokaságról az eredeti

*Harcsik Béla életrajzát 2011/3. számunkban közzeltük.*

*Dr. Károly Gyula 1968-ban került a Vaskohászattani Tanszékre, ahol kutató, docens, 1989-től egyetemi tanár, végül 1995-től a Metallurgiai és Öntészeti Intézet igazgatója volt. Tudományok doktora fokozatát 1986-ban üstmetallurgia témakörű értekezésével szerezte. 2011 júniusától professor emeritusként dolgozik.*

1. táblázat. Az adatbázis összeállításakor figyelembe vett gyártástechnológiai paraméterek a kalciummal nem kezelt – Si-szegény, Al-mal dezoxidált – acéladagoknál\*

a <sub>o</sub> [ppm]			ΣO [ppm]			ΔΣO [ppm]			
a <sub>o</sub> <sup>LDA</sup>	a <sub>o</sub> <sup>SLE</sup>	a <sub>o</sub> <sup>SLU</sup>	Δa <sub>o</sub> <sup>SLE-SLU</sup>	ΣO <sup>LDU</sup>	ΣO <sup>SLU</sup>	ΣO <sup>VP</sup>	ΔΣO <sup>LDU-SLU</sup>	ΔΣO <sup>SLU-VP</sup>	
ΔΣN [ppm]				salak FeO [%]					
ΔΣN <sup>LDU-LDA</sup>		ΔΣN <sup>SLU-LDU</sup>		ΔΣN <sup>VP-SLU</sup>		ΔFeO <sup>SLE-SLU</sup>		FeO <sup>SLE</sup>	FeO <sup>SLU</sup>
ΣAI [ppm]				Al <sub>sol</sub> [ppm]					
ΣAI <sup>LDU</sup>	ΣAI <sup>SLU</sup>	ΣAI <sup>VP</sup>	ΔΣAI <sup>SLU-LDA</sup>	Al <sub>sol</sub> <sup>LDU</sup>	L <sub>sol</sub> <sup>SLU</sup>	Al <sub>sol</sub> <sup>VP</sup>	ΔAl <sub>sol</sub> <sup>SLU-VP</sup>		
Hőmérsékletek [°C]				Időtartamok [perc]					
τ <sup>LD1</sup>	τ <sup>SLE</sup>	τ <sup>SLU</sup>	Δt <sup>SLE-önt</sup>	Δt <sup>SLU-önt</sup>	Δt <sup>csap.</sup>	t <sup>üstmet.</sup>			
Al ötvözés [kg]				Argonozás					
Al <sup>elődezo.</sup>	Al <sup>salakred.</sup>	Al <sup>üstmet.</sup>	Ar <sup>LD</sup> [m <sup>3</sup> ]	Ar <sup>felső</sup> [perc]	Ar <sup>lág</sup> [perc]				

\* időpontok: LDA (ráfuvatás előtt a konverterben), LDU (közvetlenül a csapolást követően az üstben), SLE (üstmetallurgiai kezelés kezdetén), SLU (üstmetallurgiai kezelés befejeztekor), VP (a leöntött acél végpróbájában)

sokaságával azonos következtetéseket lehessen levonni. Az eljárás – egy erre alkalmas szoftver felhasználásával – arra is felvilágosítást ad, hogy mely változók a fontos (főfaktor), illetve kevésbé fontos (elhagyható) változók a vizsgált jelenségre vonatkozóan. A faktorok sorszáma mutatja meg a paraméterek „fontossági sorrendjét”, vagyis az 1-es faktorúak vannak a legjelentősebb hatással a többire, ezt követően ezen paraméterek közötti **korrelációvizsgálatot** végeztünk.

A faktoranalízis, majd a korrelációvizsgálat jelöli ki, mely paraméterek között érdemes **regressziós összefüggéseket** keresnünk, melyek már konkrét beavatkozásokra is utalhatnak. Nyilván a regressziós összefüggéseknél sokféle algebrai összefüggés számításba jöhet, gyakorta átgondolandó, hogy a kapcsolat lineáris volta lehet a valós, vagy egyfajta exponenciális lefutás; elfogadni ezek közül szoros korrelációnak csak azt szabad, ahol a szórásból összetevődő R<sup>2</sup> értéke egy minimumot meghalad, kisebb esetszámnál egy kisebb (0,2-0,3-as), nagyobb esetszámnál

egy nagyobb (0,3-0,5-ös) értéket. A jelenlegi technológiával gyártott 54 adagnál (továbbiakban az első kísérletsorozatban) a faktoranalízis eredménye az alábbi: Főfaktorok:

- 1-es faktor: a<sub>o</sub><sup>SLE</sup>, Δa<sub>o</sub><sup>SLE-SLU</sup>, ΣAI<sup>LDU</sup>, ΣAI<sup>SLE</sup>, Al<sub>sol</sub><sup>LDU</sup>, Al<sub>sol</sub><sup>SLE</sup>, Al<sup>üstmet.</sup>
- 2-es faktor: ΣAI<sup>SLU</sup>, ΣAI<sup>VP</sup>, Al<sub>sol</sub><sup>SLU</sup>, Al<sub>sol</sub><sup>VP</sup>

A főfaktorok alapján a jelenlegi technológia esetén a legfontosabb befolyással az aktívoxigén-szintek és változásai, az adagolt alumínium mennyisége, illetve a belőlük származó össz-, illetve oldott alumíniumtartalmak vannak a többi paraméterre.

Nincs a főfaktorok között a ΣO<sup>VP</sup>, s ez azt mutatja, hogy nincs olyan kizárólagos gyártástechnológiai paraméter, ami direktben szorosan befolyásolná az öntésre kerülő acél tisztaságát; az oxigénszint alakulása elsősorban az aktívoxigén-tartalmakból indul ki, a lépcsős dezoxidáció során alkalmazott Al-adagolás mennyisége és módja szabja meg az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-típusú zárványok keletkezési és majdan

eltávozási körülményein keresztül (azaz sokkal inkább érdekes, hogy a ΔΣO<sup>SLU-VP</sup> értéke hogyan alakul, ennek mélyebb vizsgálata folyamatban van).

Elvégezve a Spearman-féle rangkorrelációt, a végpróba összoxigéntartalma (ΣO<sup>VP</sup>) és a ráható paraméterek korrelációi a 2. táblázatban foglaltak szerinti.

A 2. táblázat számos korrelációt mutat. Megfigyelhető, hogy bár a korrelációk száma nagy (nagyobb esetszám miatt kisebb korreláció is elegendő lehet a kimutatási határhoz), de az értékek meglehetősen alacsonyak. Az mindenesetre kiolvasható, hogy az öntésre kerülő acélban a zárványtisztaság (ΣO<sup>VP</sup>) erősen függ a csapolásra kerülő acél oxigénszintjétől (a<sub>o</sub><sup>SLE</sup>, Δa<sub>o</sub><sup>SLE-SLU</sup>) a lépcsős dezoxidáció mikéntjétől (Al<sup>üstmet.</sup>), s a tisztulást nehezítheti a szekunder salak nagy FeO-szintje (ΔFeO<sup>SLE-SLU</sup>), ill. a tisztulást segítheti a kezelés végétől az öntés kezdetéig történő pihentetési idő (t<sup>SLU-önt</sup>) növelése.

Sajnos a Dunaferrben üstkemence nincs, így a pihentetési idő növelésé-

2. táblázat. Az első sorozat esetén a végpróba összoxigén-tartalma és a ráható paraméterek korrelációi

a <sub>o</sub> <sup>SLE</sup>	Δa <sub>o</sub> <sup>SLE-SLU</sup>	ΣAI <sup>LDU</sup>	ΣAI <sup>SLE</sup>	Al <sub>sol</sub> <sup>LDU</sup>	Al <sub>sol</sub> <sup>SLE</sup>	Al <sub>sol</sub> <sup>VP</sup>	ΔFeO <sup>SLE-SLU</sup>	t <sup>SLU-önt</sup>	Al <sup>üstmet.</sup>	LD Ar
0,377	0,274	-0,438	-0,516	-0,403	-0,496	-0,286	0,309	-0,296	0,364	-0,335

**3. táblázat.** A kísérleti adagok aktívoxigén-szintje a konverterben, ill. üstmetallurgiai kezelés alatt az üstben, az elődeoxidációhoz adagolt Al-mokka ill. az üstmetallurgiai kezelés alatt használt Al-huzal hatása

	Aktívoxigén-szint ( $a_O$ ) [ppm]				Al-mokka csapoláskor kg/t	$\Delta a_O$ /kg Al csapoláskor [ppm/kg]	Al üstmet. során kg/t	$\Delta a_O$ /kg Al üstmet. során [ppm/kg]
	LD1.	LD2.	SLE	SLU				
utánfúvatás nélkül	699,764	580,189	9,251	2,971	1,813	2,544	0,278	0,085
utánfúvatással	641,158	810,217	6,911	3,050	2,193	2,673	0,370	0,067
átlag	685,113	637,696	8,731	2,988	1,897	2,576	0,298	0,081

re – technológiai adottságok miatt – lehetőség nincs; a salakvisszatartás ugyancsak a technológiai adottságok függvénye (6-8%-nál lejjebb az FeO-tartalom nem vihető), így a zárványosság csökkentésére elsősorban a dezoxidáció optimalizálása nyújthat lehetőséget, s ezen belül elsősorban az  $a_O^{SLE}$ , ill. a  $\Delta a_O^{SLE-SLU}$  értéke.

A 3. táblázat voltaképpen az acél-adagok aktívoxigén-tartalommal ( $a_O$ , ppm) jellemezhető oxigénszintjeiről adnak képet.

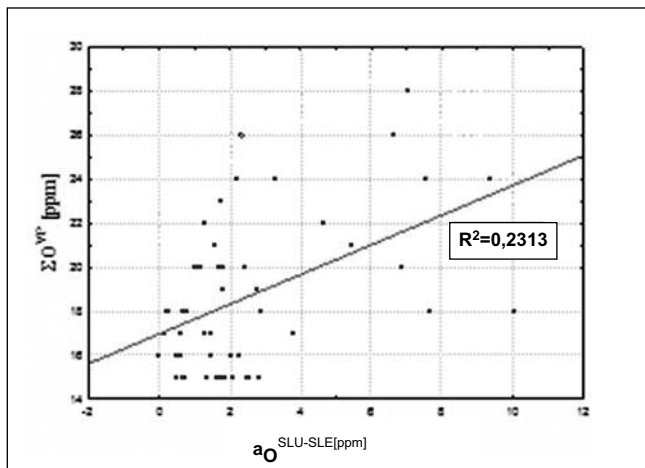
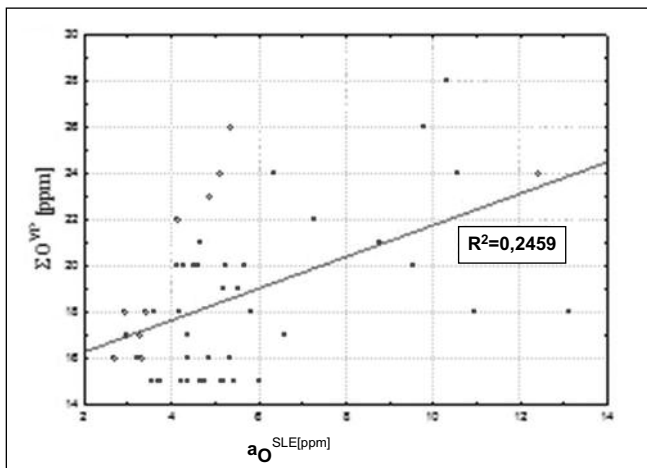
Amint a 3. táblázat mutatja, a kísérlet sorozat során szinte minden adagnál sikerült az aktívoxigén-mérés. Az átlagok bemutatásából ugyan nem látszik, de sajnos az mutatná azt is, hogy túl sok adagnál (12 adagnál, az adagok 21%-ánál) van – hőmérséklet, ill. S- és C-tartalom-eltérés miatti – utánfúvatás, ezt az aktívoxigén-tartalmak úgy jelzik, hogy az utánfúvatott adagok kb. 220-230 ppm-mel magasabb aktívoxigén-tartalmúak. Az utánfúvatás nélküli adagoknál az aktívoxigén-szint a csapolást megelőzően az argonos átöblítés hatására 550-600 ppm-re áll be, míg utánfúvatott adagnál ez átlagosan kb. 230 ppm-mel magasabb érték, 700-1000 ppm közötti szóródással (az 54 adagnál az átlag: ~640 ppm).

Elődeoxidációhoz a technológiai előírás: ~2 kg/t Al-mokka adagolása, ez viszont a gyakorlatban egyrészt erősen szóródó (1,496 és 2,756 közötti, azaz az eltérés az előírásoktól  $\pm 35\%$ ), ami indokolt lehet az eltérő oxigénszintek miatt. Miután viszont sem szublandzsa nincs Dunaújvárosban, ahol az oxigénszint mérése lehetséges, sem ennél a Si-szegény, Al-mal dezoxidált acélnál üzemszerűen a csapolást megelőzően az aktívoxigén-szint mérés technológiaszerűen nincs előírva: szükséges a ~2 kg/t mennyiség revíziója. Hiszen az eltérő kiinduló értékek miatt utánfúvatás nélküli adagoknál a fajlagos Al-mokka hatása ( $\Delta a_O$ /kg Al) 2,544 ppm/kg-nyi, míg utánfúvatott adagoknál ez 2,673 ppm/kg-nyi. Emiatt várhatólag az üstmetallurgiai kezelés elejére is fennmarad az az állapot, hogy az utánfúvatott adagoknak magasabb az oxigénszintje, holott az amúgyis magasabb  $Al_2O_3$ -tartalom miatt jó lenne hatékonyabb elődeoxidáció. Tehát **ha tudjuk, hogy utánfúvatott adagot kell elődeoxidálni, akkor emelendő az elődeoxidációhoz alkalmazott Al-mokka mennyisége az átlaghoz képest további 5-10%-kal** (melyből

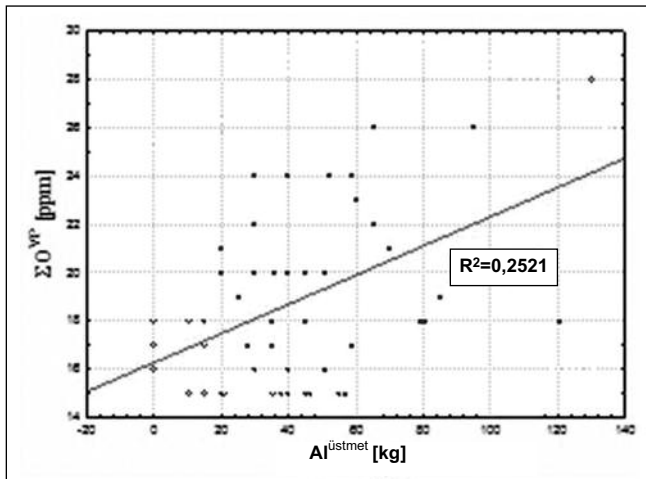
még több  $Al_2O_3$  képződik, de mivel az elődeoxidációnál képződött zárványok eltávolításának van meg a legnagyobb valószínűsége, ez az önthe-tőségi gondjainkon segíthet).

Az elődeoxidációként adagolt Al-mokka hatása: az üstmetallurgiai kezelés kezdetére az aktívoxigén-tartalom a kemencében mért 640 ppm-nyi átlagértékről 8,7 ppm-re csökkent (utánfúvatás nélküli adagoknál 6,9, utánfúvatott adagoknál 9,2 ppm). Ezek kiváló értékek, már-már túldeoxidáltságra utalnak (ennek tudatában 5-10%-nyi Al-mokka meg is takarítható, mert még akkor is könnyen biztosítható az üstmetallurgiai kezelés során – ha van Ar-átöblítés – a 4 ppm alatti érték).

Ha a kezelés végére kívánatos aktívoxigén-szint ( $\leq 4$  ppm) biztonsággal elérhető kevesebb Al-mal is, akkor tegyük azt, kevesebb  $Al_2O_3$  eltávolításáról kell gondoskodnunk, de ha kerüljük az utánfúvatást, s hatékonyan végezzük csapolást megelőzően az argonos átöblítést, akkor 380-300 ppm-mel alacsonyabb oxigénszintről kell indítanunk az elődeoxidációt, ami tetemes mennyiségű  $Al_2O_3$ -zárvány képződését teszi elkerülhetővé, miközben lényeges meny-



**1. ábra.** Kezelés elején mért oxigén (a) és a kezelés során történt aktívoxigén-változás (b) hatása a végpróba összoxigén tartalmára



■ 2. ábra. Az üstmetallurgiai kezelés során a dezoxidáció továbbfolytatásához adagolt Al-huzal hatása a végpróba összoxigén-tartalma

nyiségű Al-adagolást takaríthatunk meg. Ennek feltétele viszont a ráfúvatásmentes gyártás és a hatékony argonöblítés, ami üstkemence hiányában gyakorta nem biztosítható.

A fémes Al-tartalom beállítása fontos feladat, viszont ezt kellő hatékonysággal csak alacsony oxigénszint mellett lehet elvégezni, nem az elődezoxidáció, hanem sokkal inkább az üstmetallurgiai kezelés során.

A fenti eredmények azt mutatják, hogy az a technológiai előírás, miszerint az aktív-oxigén-tartalmat az üstmetallurgiai kezelés során 4 ppm alá kell csökkenteni, hogy a kellő tisztaság mellett a fém Al-tartalmát – bízva a reoxidáció elleni védelemben – szabályozni és beállítani tudjuk, helyes törekvés, de csak akkor, ha a dezoxidáció ellenőrzött lépésekben, túlzott  $Al_2O_3$ -képződés elkerülésével történhet.

- Az eddigi eredmények arra utalnak, hogy a Si-szegény, Al-mal dezoxidált acélokban átlagosan 1,9 kg/t Al-mokka hatására az aktív-oxigén-szint 5-7 ppm-re csökkenthető, ami túlzott elődezoxidációt jelent. Nagy mennyiségben képződhet  $Al_2O_3$ , emellett jelentős oldott Al-tartalom is kimutatható: célszerű az 1,9 kg/t Al-mokka mennyiséget 1,6-1,7 kg/t értékre csökkenteni, előbbi mennyiséget normál – utánfúvatás nélküli – adag gyártása esetén, utóbbi mennyiséget utánfúvatásos adag gyártásakor.
- Nem lenne olyan nagy gond, hogy a konvertersalak FeO-tartalma oly magas értékű – ez természetes –, ha csapoláskor nem lenne olyan erősen szóródó a salakvisszatartás

val a FeO-tartalom mérséklésével min. 6-8%-ra lecsökkentendő, hogy a kiszámíthatatlan reoxidáció bizonytalan Al-leégést, továbbá túlzott  $Al_2O_3$ -képződést ne okozzon.

- Üstmetallurgiai kezelés során a dezoxidáció finomítás csupán. Salakkorrekció alkalmazásával kellően híg salak mellett a fémes Al-tartalom jó hatásfokkal beállítható, de a képződött  $Al_2O_3$  időbeni eltávolításához az alsó argonos átöblítés paraméterei csak akkor tisztító hatásúak, ha van min. 6-8 percen keresztül 100-150 l/perc intenzitást meg nem haladó, lágy argonos átöblítés.
- Üstmetallurgiai kezelés során a felső argonozás nem megengedhető. Semmi sem indokolja, mert semmit nem pótol, ugyanakkor a zárványfelúszást nehezíti.

A felsorolt szempontok számszerűsítetten multilineáris regresszióval azért is nehezen kimutathatók, mert valójában Dunaújvárosban a hőmérsékletszabályozási nehézségek (az üstkemence hiánya!) olyan adottságok, melyek mellett egyelőre nem lehet kellőképpen a salakösszetétel szabályozni, a szükséges lágy argonos átöblítést (esetleg csupán a kívánatos pihentetést) biztosítani. Rendkívül szűk az a technológiai lehetőség, amellyel így a kagylósűkülés – megfelelő minőség mellett – kiküszöbölhető, de dunaújvárosi kollégáinkkal együtt tovább kívánjuk bővíteni azt az adatbázist, amelynek értékelésénél a multilineáris regresszió mellett faktoranalízissel a főkompo-

4. táblázat. A második sorozatnál legalább három technológiamódosítással készült adagoknál a módosított paraméterek hatása a többi paraméterre

	Al <sup>elődezox</sup>	LD Ar	Argon <sup>Felső</sup>	Argon <sup>Lágy</sup>
$a_{O^{SLE}}$		-0,621		
$a_{O^{SLU}}$			-0,620	
$\Delta\Sigma O^{LDU-SLU}$	-0,640			-0,673
$\Sigma Al^{SLU}$			0,620	
$\Sigma Al^{VP}$			0,631	
$Al_{sol}^{LDU}$		0,726	0,621	
$Al_{sol}^{SLU}$			0,627	
$Al_{sol}^{VP}$			0,579	
		-0,653		

mértéke. Abban az esetben, ha a salakvisszatartás nehézségeibe ütközik, ott salakkorrekció-

nensek hatásai vizsgálhatók.

#### Módosított technológiával gyártott adagok vizsgálata

Egy újabb kísérletsorozat (továbbiakban 2. kísérletsorozat) indítottunk a fentiek alapján kidolgozott technológiai módosításokkal, melyek főleg az alábbi négy szempontot foglalták magukban:

- Konverterben utánfúvatás nélkül készüljenek az adagok, s kellő (3 percen keresztül 500 l/perc intenzitással), összesen legalább 10 m<sup>3</sup>-nyi argonos utánöblítés történjen.
- Csapolás közben redukált (max. 1,6 kg/t) mennyiségben történjen Al-mokkával az elődezoxidáció, majd az üstmetallurgiai kezelés során csökkentett mennyiségű Al-huzallal állítsuk be a max. 4 ppm-nyi aktív-oxigén-tartalmat.
- Üstmetallurgia kezelés során a felső argonozást kerüljük.
- A kezelés végén az utolsó huzal bevitelét követően 6-8 perces, max. 150-200 l/perc intenzitású, zárványtalanító hatású alsó argonöblítésre kerüljön sor.

A fenti technológiamódosításokkal 6 szekvensben 27 adag készült. E 27 adagból sajnos csupán 4 adagnál volt mindegyik technológiamódosítás biztosított, 13 adagnál a felsorolt 4 technológiai javaslatból legalább 3. Nyilván a kicsi esetszám szükségessé teszi, hogy az általunk ideálisnak tekintett 4 adag mellett a 13 adag ill. a 27 adag átlagát is vizsgálat tárgyává tegyük.

A **faktoranalízis** tekintetében a második kísérletsorozatban gyártott **27 adagot együtt vizsgálva** a jelentős paraméterek közé került a konverterben történt argonöblítés, az üstsalak kezelés előtti vasoxidul-tartal-

5. táblázat. Öntési zavarok száma/előfordulási %-a

Öntési zavarok	Hagyományos technológia szerint (54 adag)		Hagyományos technológia szerint (27 adag)	
	Szám	Arány	Szám	Arány
Letapadás miatti dugómozgatás	3 adag	5,56%	3 adag	11,11%
Üstkglyó tisztítása oxigénnel	14 adag	25,93%	2 adag	7,40%
Merülőcső tisztítása oxigénnel	4 adag	7,41%	–	2,17%
<b>Összesen</b>		<b>38,90%</b>		<b>18,51%</b>

ma és kezelés alatti változása illetve a felső argonfúvatás.

A három előírást teljesítő 13 adagnál igen fontos a hatása az üstsalak FeO-tartalmának, a reoxidációnak, a felső- illetve a lágy alsó argonkezelésnek, a kezelési lépcsők időtartamainak.

- 1-es faktor:  $a_{O}^{SLE}$ ,  $\Delta a_{O}^{SLE-SLU}$ ,  $\Sigma Al^{LDU}$ ,  $Al_{sol}^{LDU}$ ,  $FeO^{SLES}$ ,  $FeO^{SLUS}$ ,  $\Delta FeO^{SLES-SLUS}$ ,  $T^{SLE}$ ,  $Al^{üstmet}$ ,
- 2-es faktor:  $a_{O}^{SLU}$ ,  $\Sigma Al^{SLU}$ ,  $\Sigma Al^{VP}$ ,  $Al_{sol}^{SLU}$ ,  $Al_{sol}^{VP}$ ,  $Argon^{Felső}$

A Spearman-féle rangkorrelációs vizsgálatokat a második sorozatból a legalább három technológiamódosítással készült 13 adag 36 paraméterre szűkített állományán végeztük el (4. táblázat).

Világosan kitűnik, hogy a technológiamódosítási javaslatok elérték céljukat: nagyon jól érvényesül a hatásuk olyan paramétereknél, amelyek az acél nemfemes zárványtartalmára közvetlen befolyással vannak. Különösképpen kiemelendő, hogy az  $a_{O}^{SLE}$  ill.  $Al^{üstmet}$  értéke azt mutatja, hogy a megfelelő LD argonkezelés esetén az üstmetallurgiai kezelés során kevesebb alumíniumadagolás volt szükséges, ezáltal csökkent az oldott alumíniumoxid-tartalom, ami a kagylóban talált tapadvány fő alkotója.

A javasolt technológiamódosítások kimutatható legfontosabb hatásai:

- Megfelelő argonos utánöblítés konverterben ( $Ar^{LD}$ ) hatása:
  - Csökkent az  $a_{O}^{SLE}$ , így az üstmetallurgiai kezelés során kevésbé kellett csökkenteni az aktívoxigén-szintet, ezért kisebb mennyiségű alumínium ötvözése is elég volt, ami kevesebb alumíniumoxid képződéssel járt együtt.
  - Az argonos utánöblítés hatására magasabb a salak vasoxidul-tartalma, ezért több volt a salak okozta reoxidáció, azaz elengedhetetlen a csapoláskori salakviszogatás megoldása.
  - Alacsonyabb volt a kezelés elején

a hőmérséklet, így kevesebb szükség volt a gyors hűthetőségű 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 összes és az oldott alumíniumtartalom.
- Csökkentett alumíniumadagolás elődeoxidáláskor:
  - Nem nőtt az  $a_{O}^{SLE}$ , sőt csökkent, így itt is érvényesültek az  $Ar^{LD}$  hatásánál leírtak.
  - Itt is igaz, hogy a kisebb alumíniumadagolás ellenére magasabb volt a végpróbában az összes és az oldott alumíniumtartalom, tehát akár további csökkentésre is lehetőség nyílhat.
- Felső argonfúvatás elkerülése:
  - Alacsonyabb volt a nitrogéntartalom növekedése, amit a légkör okozta reoxidáció csökkenése jelez.
  - A salak vasoxidul-tartalma a bekeveredés csökkenése miatt kisebb mértékben csökkent, ami a reoxidáció csökkenésére utal.
  - Az üstmetallurgiai kezelés hosszának csökkenése, ami betudható annak a ténynek, hogy a túl magas hőmérséklet miatt gyakran a kezelés végén felső argonfúvatást alkalmaztak az intenzív hűthetősége miatt, így az elhúzódott időben.
- Kezelés végén lágy, tisztító argonöblítés:
  - A végpróbában mért összes és oldott alumíniumtartalom magasabb volt, ami a reoxidáció mérséklődését mutatja.
  - Kevesebb volt a salak vasoxidul-tartalmának a csökkenése, ezáltal a salak okozta reoxidációnak a mértéke.
  - Lényegesen nem nőtt az üstmetallurgiai kezelés hossza.

\*

A technológiamódosítások figyelembevételével gyártott második kísérletsorozatban – annak ellenére, hogy a gyártott 27 adagból mindössze 13 teljesített a négy javasolt módosításból legalább hármat – felére csökkent a kagylószűkülés jeleit mutató adagok aránya (5. táblázat). Azoknál az adagoknál, melyek a technológiamódosítás szerint készültek, kagylólerakódás ki sem volt mutatható.

A tapadványok mérete is némileg mérséklődött, a kirakódások nemcsak a mért eredmények szerint voltak porózusabbak (átlag 0,43%) az első sorozatéhoz viszonyítva (átlag 0,38%), hanem szemmel láthatóan is jelentős a különbség. Az általános technológia szerint gyártott (első sorozat) adagoknál meglepetésre talált kalcium-alumínát (ami nyilvánvalóan a reoxidáció során a salakbekeveredés eredménye) itt elhanyagolható mennyiségben (csak nyomokban) fordult elő, ami a lágy argonos átöblítésnek köszönhető.

## Irodalom

- [1] Harcsik B.: Szekvensöntésvégi merülőcsöveken lerakódó tapadványok vizsgálatának tanulságai. BKL Kohászat 2011/3. pp. 6–10.
- [2] Uni-Flexys Kft.: Kutatási zárójelentés a Dunaferri Zrt. részére. 2011. szeptember
- [3] Harcsik B.: PhD disszertáció 2011. szeptember

## Köszönetnyilvánítás

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