

ményeit, a csévélési hőmérséklet és a csévélési hőmérsékletre való lehűlési sebesség hatását a nitridkiválás mértékére.

A melegen hengerelt kísérleti anyagot 75%-os fogyással hidegen hengereltük, majd a melegen hengerelt állapokra vonatkozó módszer továbbfejlesztésével kimutattuk a hidegen hengerelt állapotban végbemenő nitridkiválási folyamatot. Megállapítottuk, hogy a nitridkiválási folyamat hidegen hengerelt állapotban sokkal gyorsabban végbemegy, mint lágy, melegen hengerelt állapotban. A megadott kinetikafüggvények segítségével az ipari hőkezelés optimalizálható, a kiváló mélyhúzóhatóság feltételei biztosíthatók [19, 20].

Irodalom

- [1] *Tranta F.*: BKL Kohászat 146 (2013) 22–27.
- [2] *Kléber X., Dobránszky J., Vincent A.*: Anyagvizsgálók lapja 1 (2001) 6–9.
- [3] *Wilson, F. G., Gladman, T.*: International Materials Reviews 33

- (1988) 221–286.
- [4] *Beeghly, H. F.*: Analytical Chemistry 21 (1949) 1513–1519.
- [5] *Meyzaud, Y., Pamiere, P.*: Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie 71 (1974) 415–434.
- [6] *Biglari, M. H., Brakman, C. M., Mittemeijer, E. J., Van Der Zwaag, S.*: Metallurgical and Materials Transactions A 26 (1995) 765–776.
- [7] *V. Massardier, V. Gue'taz, J. Merlin, M. Soler.* Materials Science and Engineering A 355 (2003) 299–310.
- [8] *Massardier, V., Lavaire, V. N., Soler, M., Merlin, J.*: Scripta Materialia 50 (2004) 1435–1439.
- [9] *Brahmi, A., Borrelly, R.*: Acta Materialia 45, (1997) 1889–1897.
- [10] *Ferrer, J. P., de Cock, T., Capdevila, C., Caballero, F. G., de Andre's, C. G.*: Acta Materialia 55 (2007) 2075–2083.
- [11] *Rawling, R., Tambini, J.*: Journal of Iron and Steel Institute 181 (1956) 302–308.
- [12] *Chen Yin-li, Wang Yan, Zhao Ai-min.*: Journal of Iron and Steel Research, International 19 (2012) 51–56.
- [13] *Satyam, S. S., Kishor, B. J.*: Journal of Materials Engineering and Performance 12 (2003) 157–164.
- [14] *Saboonchi, A., Hassanpour, S.*: Applied Thermal Engineering 28 (2008) 1630–1637.
- [15] *Nordheim, L., Gorter, C. J.*: Physica 2 (1935) 383–390.
- [16] *Felde, I., Mucsi, A.*: International Heat Treatment and Surface Engineering (2013), DOI 10.1179/1749514813Z.00000000086, megjelenés alatt
- [17] *Christian, J. W.*: The Theory of Transformation in Metals and Alloys, Pergamon, The Netherlands, 2002.
- [18] *Réti, T., Gergely, M., Tardy, P.*: Materials Science and Technology 3 (1987) 365–371.
- [19] *Mucsi, A., Felde, I., Réger, M., Szabados, O., Földi, J.*: Proceedings of the 6th International Quenching and Control of Distortion Conference Including the 4th International Distortion Engineering Conference. Chicago, USA, (2012) 839–847. (<http://www.asminternational.org/portals/site/www/AsmStore/ProductDetails/?vgnnextoid=4f3d29417f1c7310VgnVCM100000621e010aRCRD>)
- [20] *Réger M., Mucsi A.*: Hidegen hengerelt szalagok lágyítási műveletének gyártástechnológiai felülvizsgálata és optimalizálása, Kutatási Tanulmány az ISD Dunaferr Dunai Vasmű Zrt. részére, 2011. november

MÓGER RÓBERT

Átépitésre leállított nagyolvasztóban a kialakult tapadványok vizsgálata

A nagyolvasztói tapadványképződési folyamatokkal kapcsolatosan számos elmélet született, melyek többé-kevésbé eltérnek egymástól, mivel ezeket a folyamatokat alapvetően meghatározza a berendezés konstrukciója is. Ezen kívül a beadagolt alapanyagok és a kohói járatvezetés is döntően képes befolyásolni a tapadványképződési folyamatok mértékét. Jelen dolgozatban az alkáliák (Na, K) és a cink (Zn) nagyolvasztóra kifejtett káros hatásai közül főként a tapadványképződéssel kapcsolatos folyamatok vizsgálatára került sor. A vonatkozó szakirodalmi áttekintés után az ISD DUNAFERR Zrt. I. sz. nagyolvasztójában kialakult tapadványokkal kapcsolatos vizsgálatokról esik szó.

Bevezető

A nagyolvasztóba bekerülő alkáliák (a nátrium és a kálium), valamint a cink számos módon, károsan befolyásolják a nagyolvasztói folyamatokat. Ezek közül is az egyik legjelentősebb negatív hatásuk, hogy növelik a tapadványképződés mértékét, ezzel pedig a nagyolvasztók egyenletes anyagoszlop-levonulá-

sát akadályozzák. Mindezek hatására az üzemelési paraméterek romlását idézik elő, így komoly gazdasági, környezetvédelmi problémákat eredményeznek. A témával kapcsolatosan megjelent korábbi cikkünkben részletesen foglalkoztunk azzal, hogy milyen módon kerülnek be ezek a tapadványképző elemek a nagyolvasztóba [1].

Móger Róbert okleveles kohómérnök. 1998-ban a Miskolci Egyetem Dunaújvárosi Főiskolai Karán, majd 2001-ben a Miskolci Egyetemen szerzett kohómérnöki diplomát. 1998-ban kezdő üzemmérnöként a Dunaferr Acélművek Kft. Nagyolvasztóművében helyezkedett el. Később technológus, technológiai osztályvezető, majd termelésvezető-helyettesként dolgozott. Jelenleg az ISD DUNAFERR Zrt. Technológiai Igazgatóságán metallurgiafejlesztési főosztályvezető.

A nagyolvasztói tapadványképző- és szakirodalmi áttekintése

A tapadványképző elemek közül az alkáliák egy része a beadagolt betéttel, másik része a tüzelő- ill. redukálóanyagként funkcionáló koksszal kerül a nagyolvasztókba. Az elegyalkotók alkáliatartalma alapvetően függ azok eredetétől és feldolgozási módjától. Egy előkészített (pelletizált illetve agglomerált) Fe-hordozó kálium- és nátriumtartalma alacsonyabb, mint a kohókba esetlegesen adagolt nyers érceké. Hasonló mértékű a szennyezőanyag-bevitel a koksszal is, melynek minőségromlásában nagy szerepe van az alkáliáknak [2]. A koks alkáliatartalmát a beszerzett szén Na- és K-tartalma határozza meg.

A nagyolvasztókba történő cinkbevitel főként a zsugorítványgyártáshoz visszajáratott belső vaskohászati hulladékokkal (konverteriszap, Dorriszap, kohói szállópor) történik. Az eredeti alapanyagok (vasérc, pellet, koks) cinktartalma jóval kisebb mértékű.

A nagyolvasztókba bejutott – fentebb említett – szennyezők vagy a torokgázzal (por ill. gáz formájában), vagy a salakkal ürülnek ki a nyersvasgyártási folyamatból. A kohó medence, nyugvó és akna alsó részében az alkáliák és a cink nagymértékű dúsulása-körforgása figyelhető meg, amely a kohó torokrészén az alapanyagokkal együtt bekerült szennyezőanyagok többszörösét is elérhetik.

Az alkáliák és a cink nagymértékű dúsulása megakadályozhatja az anyagoszlop folyamatos, egyenletes levonulását, így növelve a járatzavarok kialakulásának esélyét.

Ugyancsak negatív következménye az említett szennyezők kohóban, nagy koncentrációban történő előfordulásának, hogy képesek nagymértékben lecsökkenteni a kohók kampanyidejét azáltal, hogy reakcióba lépnek a kohó falzatát alkotó vegyületekkel, valamint azzal, hogy egyfajta ún. tapadványréteget képeznek a kohó falzatán. A nyersvasgyártás körülményei – mint az enyhén bázikus salak ($B_1 \approx 1,00-1,15$) vagy a magas égéshőmérséklet ($T_{\text{elm}} \approx 2000-2300$ °C) – között bármiféle alacsony alkáli- és cinkterhelés esetén is azok

nagymértékű dúsulása jöhet létre a nagyolvasztókban.

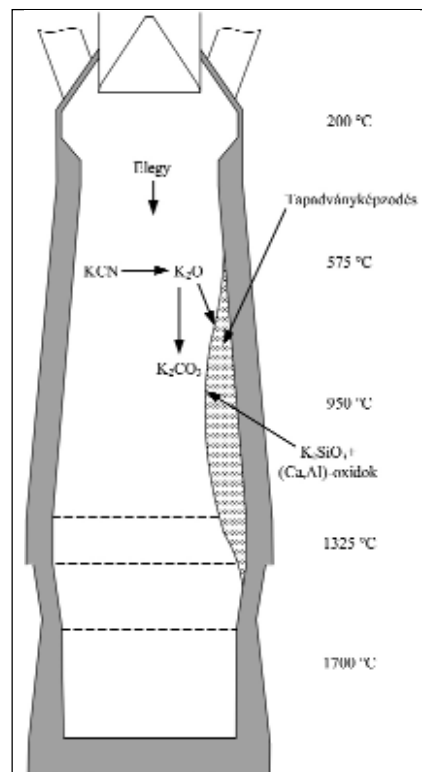
Az alkáliák hatásmechanizmusa a nagyolvasztókban

A nagyolvasztókba bekerült nátrium- és káliumvegyületek lényegében a nagyolvasztó minden egyes részén valamilyen módon károsan befolyásolják az abban zajló metallurgiai, fizikai és kémiai folyamatokat. Ezek az alábbiak lehetnek:

- tapadványképződés, és az ebből következő anyagoszlop-levonulási zavarok;
- a tűzálló falazat kopása, eróziója;
- az alkáliavegyületek körforgása révén a fajlagos koks felhasználás növekedése;
- az Fe-hordozók (pellet, zsugorítvány) lágyulás- és olvadáspontjának csökkenése;
- a vasérc pelletek duzzadása és szétesése, valamint a zsugorítvány szétesése;
- a koks mechanikai tulajdonságainak romlása;
- a cianidképződésben betöltött szerepe miatti környezetvédelmi problémák [3].

A tapadványképződéssel foglalkozó szakcikkekben leírtak alapján [4–7] meglehetősen kicsi a hasonlóság a különböző kohók tapadványainak összetételében, elhelyezkedésében. Mindezek ellenére azonban a tapadványokat szerkezetük alapján két csoportba lehet sorolni. Bizonyos tapadványok lamináris felépítést mutatnak, váltakozva – egyfajta rétegződést mutatva – található bennük fémvas és a salakalkotókhöz kapcsolódó alkáliavegyületek. Az ilyen típusú tapadványokat lamináris struktúrájú tapadványoknak nevezzük. Az ettől eltérő szerkezetű tapadványoknál nem fedezhető fel ilyen struktúra, így azokat nem lamináris felépítésűnek tekinthetjük. Egy jellemző nagyméretű tapadvány feltételezett kialakulása és elhelyezkedése látható az 1. ábrán [3].

Számos elmélet létezik a tapadványok kialakulásával kapcsolatosan. Ez azért van így, mert minden egyes nagyolvasztónak saját életpályája van, és az a modell részleteiben csak arra az egy nagyolvasztóra alkalmazható. Még az azonos típuskohók esetében is az eltérő átépítési idők miatt,



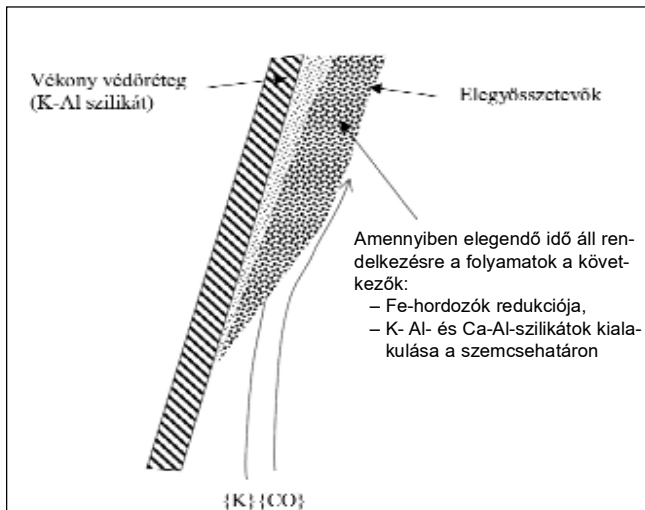
■ 1. ábra. A kohói tapadvány jellemző elhelyezkedése és kialakulása [3]

különböző részmodelleket szükséges alkalmazni. A szakemberek között abban sincs egységes álláspont, hogy az alkáliák jelenléte az előfeltétele a tapadványképződésnek vagy csupán csak súlyosbítja a már kialakult helyzetet [2, 8–11]. Abban azonban mindenki egyetért, hogy az alkáliák egyértelműen káros hatással bírnak a nagyolvasztók működésére.

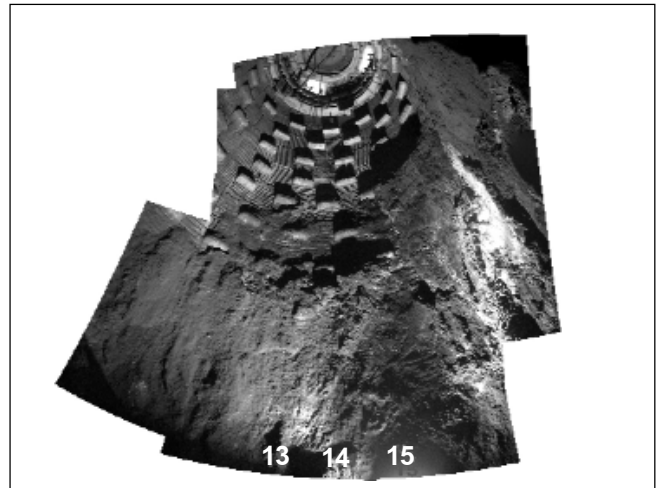
A Luleå-i kísérleti kohóban vizsgálták a tapadványképződés körülményeit. A tapadványok kialakulásában nagy szerepet tulajdonítottak a falazaton, hűtőlapokon kialakult vékony védőrétegnek, mely védi a falazatot és a hűtési rendszert. Az elemzések alapján ezek főként káliumtartalmú vegyületekből ($KAlSi_3O_8$) épültek fel.

Amennyiben valamilyen okból az anyagoszlop levonulása megakadt (kohóállás, járatzavar) a kialakult védőréteg hízásnak indult a jelen lévő elegyalkotók Fe-, Si-, Mg-tartalma, valamint a felfelé áramló kálium reakciójának eredőjeként, és létrehozták a tapadványréteget főként a kohóakna felső részében.

A tapadványok elemzése alapján megállapítható, hogy a vas-oxid már nagyrészt redukálódott állapotában (FeO) volt jelen, viszonylag magas



■ **2. ábra.** A kohói tapadvány kialakulása a kohó megállása vagy járatzavar esetén [7]



■ **3. ábra.** Az ISD DUNAFERR Zrt. átépítésre leállított I. sz. nagyolvasztójának falazata a leállást követően (13–15. fűvorfémek között)

(10-15% FeO) értékkel. A tapadványok nagyságrendekkel több káliumot tartalmaztak, mint nátriumot, köszönhetően a termodinamikailag stabilabb Na-vegyületeknek, amelyek így a salakba kerültek. A kálium főként alumínium- (KAlSiO₄), és magnézium- (K₂MgSiO₄) komplex vegyületek formájában fordult elő. A tapadványok cinktartalma mindössze 0,02% volt, ugyanakkor a kohó cinkterhelése is alacsony értéken alakult. A hőelemek hőmérséklet-szórásainak elemzéséből egyértelműen megállapítható volt a tapadványképződés helye, ideje.

A 2. ábrán a tapadványok feltételezett kialakulására vonatkozó illusztráció látható. A kohó akna falazatát egy vékony K-Al-szilikát védőréteg borítja normál üzemmenet mellett. Amennyiben a kohójárat megbomlik és/vagy az anyagoszlop megakad, vagy bármilyen okból kifolyólag a kohóval le kell állni, a fent látható módon kezd vastagodni a védőréteg. A tapadványt a részben redukálódott érc FeO-tartalma alkotja, valamint a redukálógázzal felfelé áramló kálium által képzett komplex vegyületek hizlalják, melyek a szemcsehatárokon jönnek létre és egyfajta „ragasztóként” funkcionálnak [7].

A cink hatásmechanizmusa a nagyolvasztóban

A nagyolvasztóba bekerült cinkvegyületek – hasonlóan az alkáliákhoz – károsan befolyásolják a nagyolvasztói folyamatokat, melyek a következők:

- tapadványképződés, és az ebből

következő anyagoszlop-levonulási zavarok;

- a tűzálló falazat kopása, eróziója, melyre többféle teória létezik (penetráció, eutektikum-képzés);
- a cinkvegyületek körforgása révén a fajlagos kokszfelhasználás növekedése;
- a cianidképződésben betöltött szerepe miatt környezetvédelmi problémák [12].

A szakirodalom legalább két különböző módon osztályozza a tapadványokat. Az egyik csoportosítási módról már beszéltünk, amely szerint megkülönböztetünk réteges és nem réteges tapadványokat. A másik besorolási mód a nagyolvasztóban történő elhelyezkedés szerinti különbségtétel, ahol az akna alsó és felső tapadványairól beszélünk.

Az utóbbi típust vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a felső tapadványok nagy tömegben tapadnak meg a falon és főként egymást követő cink–cinkoxid és szállópor–finomkarbon rétegek alkotják. A kialakulásukra vonatkozó elmélet az, hogy a rétegek létrejötte összefüggésben van a kohó torokrészében uralkodó körülményekkel, elsősorban a hőmérséklettel és az oxigénpotenciállal.

A másik típusú tapadvány, amely az akna középső és alsó zónájában található, részben redukálódott ércszemcsékből, kokszzemcsékből és az ezeket összekötő cinkből, cink-oxidokból áll. Ezen zóna körülményei között a cink gőzfázisbeli koncentrációja elég nagy, ami növeli a nagymértékű tapadvány kialakulásának a lehe-

tőségét. A magasabb hőmérséklet és a nagyobb parciális cink-nyomás kedvez a cink–tűzálló anyag és a cink–elegy közötti kémiai reakcióknak.

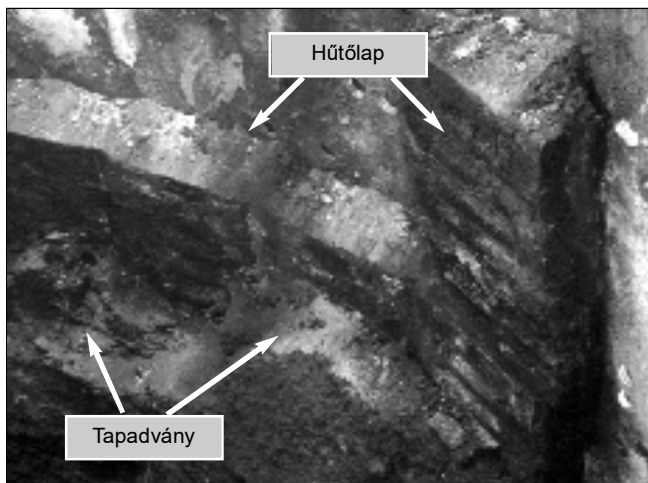
A cink jelenléte a nagyolvasztóban növekvő fajlagos kocszfogyasztást eredményez, melynek egyik magyarázata az, hogy a tapadványok kialakulásával a kohójáratot meghatározó gázpermeabilitás és gázárameloszlás széles határok között változik, ami egyenetlen kohójáratot és kedvezőtlen gázkihasználást eredményez. A tapadványok okozta keresztmetszet-csökkenés ugyanis csatormás járatot okoz, így megnövekszik a redukálógáz sebessége, aminek következtében lecsökken az indirekt redukció mértéke [5, 12, 13].

A nagyolvasztóakna alsó részéről vett tapadványminta vizsgálata

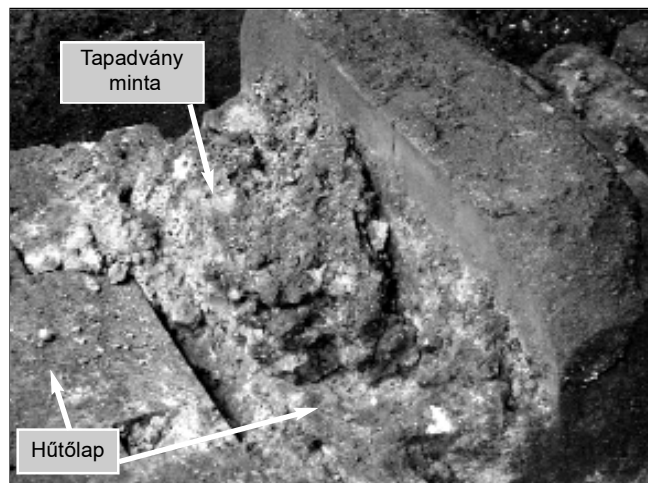
Az ISD DUNAFERR Zrt. átépítésre leállított I. sz. nagyolvasztóakna alsó részéből tapadványminta kivételére került sor. A tapadványmintákból kémiai és ásványfázis-vizsgálatokat végeztünk annak megállapítására, hogy a tapadványképződési folyamat a vizsgált nagyolvasztó működési körülményei között milyen formában megy végbe.

A nagyolvasztóakna alsó részéből vett tapadványminta kivétele, azok előkészítése vizsgálatra

Az említett I. sz. kohót 2013. január 22-én állították le a kifúvatási procedúrát követően. A nagyolvasztó kika-



■ 4. ábra. A nagyolvasztó-akna alsó részén elhelyezkedő hűtőlapokon lévő tapadványok a kibontást megelőző percekben



■ 5. ábra. A vizsgálatra kijelölt 2. sz. tapadványminta a nagyolvasztóakna alsó részéről kibontott hűtőlapon

parását, a medencében maradt anyag eltávolítását 2013. február 6-án kezdték meg. A nagyolvasztó leállítását követően a falazat állapotát a 3. ábra illusztrálja.

Az ábra a fúvósíktól a nagyolvasztó torokrésze felé, a 4. sz. fúvóforma felől látható területet mutatja. Az ábra alján láthatók a tapadvány alatti fúvóforma pozíciók, a könnyebb azonosíthatóság érdekében. A nagyolvasztó közel teljes kerülete mentén hasonló mértékű a tapadvánnyal borított terület. Észrevehető, hogy az akna alsó, szénpoza és a nyugvó részén jelentős mértékű tapadvány található. Az akna középső részén kismértékű, míg az akna felső részén semmiféle tapadvány nem található, igaz, falazat sem.

A tényleges tapadványminták kivételére (2013. május 5-én), az akna alsó részén lévő hűtőlapok kibontásakor (4. ábra) került sor. A nagyolvasztóakna középső és felső részében kismértékű vagy semmiféle tapadványt nem lehetett detektálni, így a mintákat szükségszerűen csak az akna alsó részéből lehetett kivenni.

A 4. ábrán látható, hogy a tapadvány vastagsága a hűtőlap vastagságát (250 mm) is meghaladja.

A nagyolvasztóból eltávolított hűtőlapokról összegyűjtött tapadványok közül kettőt választottunk ki kémiai- és ásványfázis-vizsgálat céljára, melyek közül az egyiket – még a hűtőlapról történő leválasztás előtti állapotában – az 5. ábra mutatja.

A nagyolvasztóból kibontott hűtőlapokról eltávolított tapadványmintákat az ISD DUNAFERR Zrt. Innovációs Igazgatóságán a hűtőlap függőleges síkjára merőlegesen elvágták, és mintánként 2-2 metszetet készítettek belőlük.

A nagyolvasztóakna alsó részéből kivett tapadványminta kémiai és ásványtani vizsgálata

A tapadványminták kémiai elemzését az ISD DUNAFERR Zrt. Anyagvizsgáló és Kalibráló Laboratóriumok Igazgatóságán, míg az ásványfázis vizsgálatokat a Miskolci Egyetem Ásványtani-Földtani Intézetében végezték.

A kémiai vizsgálatokhoz hullámhossz diszperzív röntgenfluoreszcenciás spektrométer (WD-XRF) készüléket használtak. A 11Na és a 92U elemtartományban a periódusos rendszer összes elemét vizsgálták, mely-

ből a vizsgálat szempontjából fontosabb elemeket mutatjuk be.

Az ásványfázis-vizsgálatokat röntgen-pordiffrakciós (XRD) eljárással végezték. Vizsgálatra előkészített két tapadványminta fotója látható a 6–7. ábrán a léptékek feltüntetésével. Az ábrák melletti nyilak a tapadványminta hűtőlappal közvetlenül érintkező oldalától (alul) mutatnak a nagyolvasztómunkatér irányába (felül). A nyilaknak megfelelő irányban a tapadványminta különböző rétegei, részei növekvő hőmérsékletértékekkel jellemezhetők, a nagyolvasztó működése közben.

A nagyolvasztóakna alsó részéből kivett tapadványminták elemzési adatainak kiértékelése

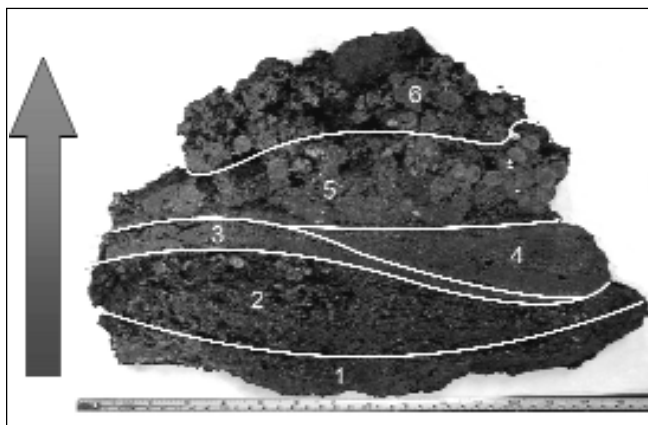
Az 1. sz. tapadványminta kémiai összetételére vonatkozó részletes elemzési eredmények az 1. táblázatban találhatóak [14].

Az 1. sz. tapadványminta kémiai elemzési adatait megvizsgálva az alábbiak fogalmazhatók meg:

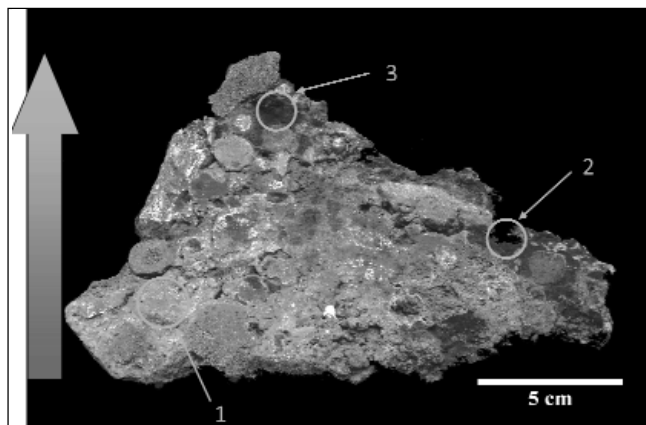
- a tapadványmintában anyagrétegződések figyelhetők meg (1–6 rétegek), melyek elemzése külön-külön is megtörtént;

1. táblázat. A nagyolvasztóakna alsó részéből kivett 1. sz. tapadványminta kémiai analízise

Réteg	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	S	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	ZrO	BaO	PbO	C
	%																
1	20,90	17,50	32,00	1,81	4,90	10,30	0,56	0,18	0,130	0,26	0,45	7,20	3,24	0,0056	0,035	0,026	0,33
2	21,50	16,70	29,80	2,17	7,20	10,50	0,48	0,15	0,071	0,32	0,74	7,30	2,70	0,0090	0,055	0,018	0,18
3	20,40	17,00	32,50	2,43	7,20	9,50	0,74	0,18	0,053	0,30	0,95	6,30	2,19	0,0069	0,040	0,015	0,12
4	19,10	15,90	33,60	2,33	7,30	10,90	0,55	0,18	0,210	0,24	0,88	6,10	2,18	0,0045	0,058	0,012	0,2
5	19,00	15,80	42,10	1,58	5,50	7,30	0,51	0,19	0,170	0,24	0,66	4,06	2,32	0,043	0,028	0,060	0,31
6	15,20	12,90	56,40	1,39	2,71	4,19	0,39	0,21	0,200	0,14	0,26	2,68	2,08	0,0020	0,016	0,054	0,92



■ **6. ábra.** A kémiai vizsgálatra kijelölt 1. sz. tapadványminta metszeti képe a rétegződések bejelölésével



■ **7. ábra.** A kémiai vizsgálatra kijelölt 2. sz. tapadványminta metszeti képe a mérőhelyek bejelölésével

- az 1-es réteg a hűtőlaphoz a legközelebb helyezkedik el, míg a 6-os a nagyolvasztó munkateréhez a legközelebb;
- az 1–4-es rétegben kevesebb az Fe_2O_3 -tartalom, mint az 5–6-os rétegben, ami azzal magyarázható, hogy az előbbi rétegeknek több idő állt rendelkezésre a redukcióhoz (hosszabb ideje a hűtőlapra tapadtak);
- az Al_2O_3 -tartalom jól mutatja azt, hogy az 1–4. rétegek közel azonos időben, azonos salakösszetétel mellett rakódtak a hűtőlap felületére, míg az 5–6. rétegek egy jellemzően más salakösszetétel mellett, szignifikánsan kisebb Al_2O_3 -tartalom mellett tették ezt;
- a különböző rétegekben a tapadványképző elemek (ill. vegyületeik) részaránya is megerősíti az előző pontban említetteket, azaz hogy az 1–4. rétegekben jellemzően nagyobb a tapadványképző elemek részaránya, mind az 5–6 rétegekben;
- amennyiben a tapadványminta 1–4. rétegeit összehasonlítjuk az 5–6. rétegekkel, a fentiekén kívül az alábbiak állapíthatók meg:
 - o az 1–4. rétegek közel azonos időszakban, vagy azonos összetételű ércbetét adagolása esetében alakultak ki;
 - o az 1–4. rétegek kialakulásakor az ércbetétben nagyobb volt a tapadványképző elemek részaránya (a nagyolvasztó alkália- és cinkterhelése);
 - o az 1–4. rétegek kialakulásakor a nagyolvasztóban a kohósalak összetétele és hőmérséklete kedvezett az alkália-körforgás

kialakulásának, azaz ebben az esetben a nagyolvasztó valószínűleg erőteljesen bázikusabb salakkal és magasabb csapolási hőmérséklettel működött.

A 2. sz. tapadványminta mérőhelyeinek kémiai összetételét a 2. táblázat mutatja [14].

A 2. sz. tapadványminta esetében a hűtőlaptól a nagyolvasztó-munkatér irányában három kijelölt mérőhelyre (1–3) vonatkozólag részletes kémiai vizsgálat történt. Ezek eredményeit megvizsgálva az alábbiak fogalmazhatók meg:

- a tapadványmintában anyagrétegződések nem figyelhetők meg, ugyanakkor homogénnek sem tekinthető, szigetszerűen változik a kémiai összetétel;
- az 1–2. mérőhelyek közel azonos összetételűek, magas Fe_2O_3 -tartalommal (>60%), a tapadványképző elemek közül a Zn-tartalom a meghatározó (ZnO: kb. 2,0%);
- a 3. mérőhely összetételében a C-tartalom dominál (60,0%), azaz főként kokszból áll, a tapadványképző elemek közül a K-tartalom a jellemző (K_2O : 1,3%);
- állaga jóval porózusabb volt, könnyebben tört összehasonlítva az 1. sz. tapadványmintával, ami feltételezhetően a koksz jelenléte miatt következett be.

Az 1. sz. tapadványminta részletes, rétegenkénti ásványfázis-vizsgá-

lata is megtörtént, melynek eredményét a 3. táblázat tartalmazza [14].

Az 1. sz. tapadványminta ásványfázis vizsgálatának elemzési adatait áttanulmányozva az alábbiak fogalmazhatók meg:

- a tapadványmintában anyagrétegződések figyelhetők meg, melyek elemzése külön-külön is megtörtént;
- a Na- és K-tartalmú tapadványképző elemek – a kémiai- és az ásványfázis vizsgálatokból következően – főként az amorf fázisban található, azaz nem rendeződnek kristályráccsal meghatározható szilárd fázisba;
- a cink jelentős része szfalerit (ZnS) formában található, mellyel összefüggésben a tapadványrétegek között jellemző tendencia nem fedezhető fel;
- az 1–4. és az 5–6. rétegek közötti különbség ennél a vizsgálati módnál is tetten érhető elsősorban a

2. táblázat. A nagyolvasztóakna alsó részéből kivett 2. sz. tapadványminta kémiai analízise

m/m%	Mérőhelyek		
	1	2	3
SiO_2	2,88	1,80	7,78
Al_2O_3	0,63	0,45	3,36
P	0,03	0,02	0,05
MgO	0,32	0,20	0,20
CaO	6,79	5,30	2,71
Na_2O	0,20	0,18	0,23
K_2O	0,45	0,92	1,34
Fe_2O_3	65,49	62,41	20,98
SO_2	0,27	0,35	2,41
MnO	0,63	0,36	0,19
ZnO	1,89	2,45	0,71
C			60,04
illó	20,43	25,56	

3. táblázat. A nagyolvasztóakna alsó részéből kivett 1. sz. tapadványminta ásványfázis- vizsgálatának eredménye

Ásványfázis neve	Ásványfázis képlete	1. réteg	2. réteg	3. réteg	4. réteg	5. réteg	6. réteg
		tömeg %					
Wüstit	FeO	27,9	24,6	29,2	32,7	24,3	25,3
Merwinít	Ca ₃ Mg(SiO ₄) ₂	17,5	18,1	7,8	26,3	14,0	6,8
Szفالerit	ZnS	3,2	1,7	5,3	3,4	2,8	3,5
Braunit	Mn ₇ O ₈ (SiO ₄)		1,2	5,3	0,8	1,3	
Fe	Fe	2,2		0,3		5,3	6,3
Larnit	Ca ₂ SiO ₄			0,0		2,2	10,2
Hedenbergit	CaFeSi ₂ O ₆	2,8			1,6	1,0	7,7
Kalcium-szilikát	Ca ₂ (SiO ₄)	22,1	0,6	5,9	5,5	12,0	1,9
Bredigit	Ca ₁₄ Mg ₂ (SiO ₄) ₈		7,8	6,9	7,7		
Magnézium-szulfát	MgS ₂ O ₃ (H ₂ O) ₆	2,0	2,6	5,8	4,6	1,9	
Magnézium vas-oxid	(MgO) _{0,432} (FeO) _{0,568}			1,7	0,5		
Wollastonit 1A	CaSiO ₃					2,0	
Srebrodolskit	Ca ₂ Fe ₂ O ₅					3,5	
Kalcit	CaCO ₃					2,2	
Amorf		22,3	43,3	31,7	17,3	27,4	38,4

merwinít és a larnit ill. bredigit ásványfázisok esetében;
 – önálló Fe-részecskék főként az 5–6. rétegekben – a munkatér közelében – fedezhetők fel.

A 2. sz. tapadványmintára vonatkozólag is elkészült a kijelölt három területhez tarozó ásványfázis-vizsgálat, melynek eredményét a 4. táblázat tartalmazza [14].

A 2. sz. tapadványminta ásványfázis-vizsgálatának elemzési adatait áttanulmányozva az alábbiak fogalmazhatók meg:

- a tapadványmintában az 1–2 mérőhelyek ásványfázisai több vonatkozásban is hasonlóságot mutatnak egymáshoz, míg a 3. mérőhelyen detektált teljesen eltérő képet mutat;
- a Na- és K-tartalmú tapadványképző elemek – a kémiai és az ásványfázis-vizsgálatokból következően – főként az amorf fázisban találhatóak, azaz nem rendeződnek kristályráccsal meghatározható szilárd fázisba;
- az Fe az 1 mérőhelyen főként wüstit és goethit, cohenit, a 2. mérőhelyen magnetit és cohenit, míg a 3. mérőhelyen akaganeit formában található;
- a karbon részaránya a hűtőlap felületétől a munkatér irányába (1→3. mérőhely) nő, azaz a munkatérhez közelebbi helyeken magasabb.

Következtetések, eredmények összefoglalása

Az ISD DUNAFERR Zrt. átépítésre leállított I. sz. nagyolvasztójából kivett

tapadványminták alapján a következők állapíthatók meg:

- a vizsgált nagyolvasztóból kivett tapadványok vizsgálata alapján a tapadványok struktúrája lamináris és nem lamináris is lehet, egyazon magassági zónán belül is;
- a nagyolvasztóba beadagolt alapanyagok összetételének megváltozása alapvetően módosítja a tapadvány kémiai- és ásványfázis-összetételét, melyet a vizsgálat során kivett lamináris tapadványok rétegenkénti kémiai elemzése bizonyít;
- a nagyolvasztóba beadagolt alapanyagok alkália- és cinktartalma – az elvégzett kémiai- és ásványfázis-vizsgálatok alapján – részt vesz a tapadványképződési folyamatokban, azonban elsősorban a

lamináris tapadványok esetében;

- a lamináris és nem lamináris tapadványok kémiai- és ásványfázis-összetétele jelentős különbséget mutat (ill. merwinít és wüstit). A lamináris tapadványok jóval nagyobb mértékben tartalmaznak SiO₂-, Al₂O₃- és MgO-tartalmú vegyületeket, ennek megfelelően a merwinít és a wüstit ásványfázis is nagyobb részarányban található meg bennük;
- a nem lamináris tapadvány szilárdsága jóval kisebb, ami a tapadványba beépült kokszzsemcséknek köszönhető;
- a Na- és K-tartalmú tapadványképző elemek – a kémiai- és az ásványfázis-vizsgálatokból következően – főként az amorf fázisban

4. táblázat. A nagyolvasztóakna alsó részéből kivett 2. sz. tapadványminta ásványfázis-vizsgálatának eredménye

Ásványfázis neve	Ásványfázis képlete	1. mérőhely	2. mérőhely	3. mérőhely
		tömeg %		
Akaganeit	Fe+3O(OH)			16,7
Bicchulit	Ca ₂ (Al ₂ SiO ₆)(OH) ₂		1,6	
Kalcit	CaCO ₃	4,4	2,2	1,0
Karbon	C		4,5	73,3
Cohenit	Fe ₃ C	9,7	2,6	0,7
Goethit	Fe+3O(OH)	12,4	1,9	
Grafit	C		8,4	
Gipsz	CaSO ₄ •2H ₂ O	2,8		0,6
Magnetit	Fe _{0,99} Fe _{1,97} Cr _{0,03} Ni _{0,01} O ₄	1,39	11	
Kvarc	SiO ₂	3,1	2,2	1,6
Szillimanit	Al ₂ SiO ₅		0,5	5,5
Wüstit	FeO	6,7		0,6
Cinkit	ZnO	4,2		
Amorf		55	65	

találhatók, azaz nem rendeződnek kristályráccsal meghatározható szilárd fázisba.

Az eddigiekben elvégzett vizsgálatok alapján, a nagyolvasztóakna alsó részén kialakuló tapadványrétegre vonatkozólag, az alábbiak állapíthatók meg:

– a lamináris tapadványok a már nagyrészt redukálódott vas-oxidból, kalcium- és szilikátvegyületekből alakulnak ki, melyben a tapadványképző elemek (Na, K, Zn) közül főként a cink tekinthető a tapadványokat összetartó „ragasztószernek”. Ezek a tapadványok a kohójárat és a beadagolt alapanyagok függvényében „híznak fel”, majd válnak le a hűtőlapokról. Ezek a tapadványok nagy kiterjedésűek lehetnek;

– a nem lamináris tapadványok főként kocszszemcsékből és az azokat körbevevő-összekötő salakalkotókból (főként amorf formában) állnak, melyek kiterjedése – mechanikai tulajdonságaik miatt – jóval kisebb, mint a fentebb említett tapadványtípusnak.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti az ISD DUNAFERR Zrt. Nagyolvasztómű vezetőit, hogy lehetővé tették és támogatták a kutatási tevékenységet; az Anyagvizsgáló

és Kalibráló Laboratóriumok Igazgatóság szakembereinek a kémiai elemzések, míg a Miskolci Egyetem Ásványtani-Földtani Intézet szakembereinek az ásványfázis-vizsgálatok elvégzéséért. Külön köszönetemet szeretném kifejezni PhD-témavezetőmnek, dr. Farkas Ottó professor emeritusnak szakmai útmutatásaiért.

Felhasznált irodalom

[1] Móger, R., Rokszin, Z.: A kohókba jutó kén alkáliák és a cink eltávolításának metallurgiai lehetőségei, Bányászati és Kohászati Lapok. 145. évfolyam. 2012/5. (szakcikk)

[2] Van Niekerk, W. H., Dippenaar, R. J., Kotze, D. A.: The influence of potassium on reactivity and strength of coke, with special reference to the role of coke ash. J. S. Afr. Inst. Min. Metall., Vol. 86, No. 1. January, 1986, pp 25–29.

[3] Jouhari, A. K., Reddy, P. S. R., Mohapatra, B. K., Misra, V. N.: Proceedings of the seminar on raw material preparation for metallurgical industries; Problems & Solution, April 8–9, 2002, Regional Research Laboratory (Council of Scientific & Industrial Research) pp 62–63.

[4] Lu, W. K., Holditch, J. E.: Alkali control in blast furnace: theory and practice

[5] Davidson, J.: Scaffold formation and removal in BF's. Steel Times International, March, 1987, pp 23–24.

[6] Samuelson, C.: Impurity flows due to waste recycling. Lulea Technical University Minerals and Metals Recycling Research Centre Report, April, 2000.

[7] Erikson, J.: Accretion formation in the blast furnace. Examination of accretions in LKAB's EBF. MEFOS előadás. January, 2001.

[8] Chernov, N. N., Demidenko, T. V., Marder B. F., Pochekailo, I. E., Taranovskii, V. V.: Distribution of alkali compounds in a large blast furnace. Metallurg, No. 5. May, 1983, pp 12–14.

[9] Zhou, Q., Bi, X.: The circulation of alkalis and fluorine in the blast furnace and their detrimental effects on the reduction degradation of sinter and pellets. Scandinavian Journal of Metallurgy, Vol.16, No. 2. 1987, pp 57–66.

[10] Rankin, W. J., See, J. B.: The alkali problem in the blast furnace. Minerals Sci. Engineering, Vol. 9, No. 2. April, 1977, pp 68–82.

[11] Benesch, R., Ledzki, A., Kopec, P., Stachura, R., Migas, P., Klimczyk, A., Mazanek, K.: Behaviour of alkalies in sintering and blast furnace processes – the alkalies balances at Sendzimir steel plant. Metallurgy and Foundry Engineering, 1997, Vol. 23., No. 3, pp. 291–307.

[12] Biswas, A.K.: Principles of blast furnace ironmaking. SBA Publications, Calcutta, 1981. pp 297–298.

[13] Zherebin, B. N.: Zinc in blast furnaces. Steel, 1991, pp 451–452.

[14] Móger R.: A nagyolvasztói falazat hűtési intenzitása változtatásának hatása a tapadványképződési folyamatokra. Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. Kutatószemináriumi előadás. 2013. június 25.

Szakmai kirándulás Dunaújvárosban

Az OMBKE Vaskohászati Szakosztály budapesti helyi szervezet 25 tagja vett részt azon a szakmai kiránduláson, amelynek célja ezúttal az ISD Dunafer Zrt. nyersvasgyártásának megismerése volt.

Október 11-én ragyogó napsütés fogadta az egyesület tagjait Dunaújvárosban, ahol a kötelező munkavédelmi oktatás meghallgatása, majd a gyárlátogatás idejére biztosított védőköpeny és sisak átvétele után autóbusszal érkeztek a Nagyolvasztómű területére. A vendégek szakmai kíséretére a helyiek képviselőiben Hevesi Imre, Tóth Balázs és Józsa



■ Rácalmási csoportkép