

Irodalom

- [1] Proc. of 14th Global Car Body Benchmarking Conference, Automotive Circle International, 2012, Bad Nauheim, Germany.
- [2] Automotive Circle International Inside Edition, Gothenburg, September 2011.
- [3] H. Mohrbacher: Delayed Cracking in Ultra-high Strength Automotive Steels: Damage Mechanisms and Remedies by Microstructural Engineering, Proc. of Materials Science and Technology (MS&T) 2008, p. 1744.
- [4] J. W. Morris Jr., C. S. Lee and Z. Guo: ISIJ International, Vol. 43 (2003), No. 3, p. 410.
- [5] M. Glatzer: Tagungsband zum 4. Erlanger Workshop Warmblechumformung 2009
- [6] G. Lovicu et al.: Hydrogen Embrittlement of Advanced High Strength Steels for Automotive Use, Proc. of 2nd Int. Conf. on Super High Strength Steels, Italy, 2010.
- [7] J. Mura, T. Gerber, S. Sikora and F.-J. Lenze: Tagungsband zum 7. Erlanger Workshop Warmblechumformung, 2012.
- [8] J. Bian: Progress in press hardening technology and innovative alloying designs, Proc. Of the 1th Taiwan Symposium on Fundamentals and Applications of Mo and Nb alloying in high performance steels, Taipei 2011, TMS in print.
- [9] J. Bian, H. Mohrbacher: Novel alloying design for press hardening steels with better crash Performance, Proc. of AIST International Symposium on New Developments in Advanced High Strength Sheet Steels, 2013, Colorado USA, p. 251.
- [10] J. Bian and H. Mohrbacher: Process technology and steel development in press hardening, BAC2013 Baosteel Shanghai, China.
- [11] T. Maki and I. Tamura: Tetsu-to-Hagané, Vol. 67 (1981), p. 852–866.
- [12.] S. Morito, H. Saito, T. Ogawa, T. Furuhashi, T. Maki: ISIJ International, Vol. 45 (2005), No.1, p. 91–94.
- [13] C. Wang, M. Wang, J. Shi, W. Hui, H. Dong; J. Mater. Sci. Technol., Vol.23 No.5, 2007, p. 659.
- [14] L. Cuddy, J. Raley: J. Met. Trans., A14 No. 10 (1983), p. 1989.

MÓGER RÓBERT – FARKAS OTTÓ

A nagyolvasztó aknarészében elhelyezkedő tapadványok hatása a gázkihasználásra

A nagyolvasztó falazatán kialakult megvastagodott tapadványréteg károsan befolyásolja az anyagoszlop levonulását, hatással van a nagyolvasztó energetikai egyensúlyára is, amely végső soron a CO₂-kibocsátás növekedését okozza. A kutatómunka célja az volt, hogy matematikailag is értelmezhető összefüggéseket találjunk a vonatkozó hatástényezők összefüggésrendszerének feltárásához.

Megvizsgáltuk, hogy melyek azok a zónák, amelyek esetében a tapadványréteg vastagságának kiemelt jelentősége van és ez milyen hatással van a nagyolvasztó gázáramlási viszonyaira. Hőátadási modell, tapadványrétegből vett minták és a nagyolvasztó jellemző működési paramétereinek statisztikai elemzésével meghatároztuk a nagyolvasztói tapadványréteg vastagságának, és ennek a gázkihasználásra gyakorolt hatásának megállapítására szolgáló matematikai modelleket.

Bevezető

A nagyolvasztóba az alapanyagokkal beadagolt alkáliák és cink számos káros hatása mellett [1–3], részt vesz a nagyolvasztói tapadványképződési folyamatokban [4, 5]. Ezek kialakulási mechanizmusára vonatkozó véle-

mények eltérőek [6, 7]. Ugyanakkor a tapadványok gázáramlást, CO₂-kihasználást befolyásoló hatására vonatkozólag korlátozott információk állnak rendelkezésre.

Kutatási programot indítottunk annak érdekében, hogy a tapadványképződés és a gázáramlási viszonyok kapcsolatrendszerét feltárjuk, konkrét összefüggést keressünk a tapadványréteg vastagsága és a redukáló gáz metallurgiai kihasználása között.

A kutatási programhoz szükséges működési adatokat az ISD Dunaferr Zrt. 2. sz. nagyolvasztójának mérési adatbázisa biztosította. A hőátadási modellszámításokhoz szükséges tapadványminták ugyanezen vállalat átépítésre leállított 1. sz. nagyolvasztójából származnak. A tapadványminták hővezetési tényezőjének mérése a Miskolci Egyetemen történt.

Elméleti háttér

A nagyolvasztó falazatának belső oldalán kialakult – különböző méretű, nagyságú, morfológiájú és darabszámú – tapadványoknak a nagyolvasztójárat egyenletességét gátló, valamint különböző üzemzavarokat (anyagoszlop megakadás, zuhanás, medencelehűlés stb.) gerjesztő hatása mellett feltételezhető, hogy befolyást gyakorol a gáz/anyagoszlop hőátadási, valamint a vas-oxid redukciós folyamatainak hatékonyságára, azaz az áramló gáz hőtani és metallurgiai kihasználásának mértékére.

A tapadványok hatást gyakorolnak

Móger Róbert és dr. Farkas Ottó szakmai életrajzát 2013/3. számunkban közzöltük.

a nagyolvasztó torokrésze felé áramló redukálógáz sebességére, irányára, amelynek elméleti magyarázatát az alábbiakban foglaljuk össze.

A gravitációhatás figyelmen kívül hagyásával, konstans gázsűrűség feltevézésével specializált formátumú Bernoulli-egyenlet szerint:

$$p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = p_1 \text{ (=konstans nyomás),}$$

melyben p_1 és p_2 az eredeti és módosult gáznyomás (sztatikai nyomás), ρ a gázsűrűség, v pedig a gáz sebessége. A képletből következik, hogy az áramlási útvonal azon szakaszán, ahol kisebb a nyomás, ott nagyobb a sebesség és viszont.

Az aknafalon képződött tapadvány a gázáramot tehát lényegében a Venturi-cső elvének megfelelően működteti, azaz az eredeti Bernoulli-képletből levezethetően, a kiinduló gázáramsebesség (v_1) és áramlási keresztmetszet (q_1) szorzata egyenlő a szűkített keresztmetszet (q_2) és az ott kialakult gázáramsebesség (v_2) szorzatával, vagyis

$$q_1 \cdot v_1 = q_2 \cdot v_2$$

Ebből következik, hogy

$$v_2 = \frac{q_1}{q_2} \cdot v_1.$$

azaz a tapadvány kialakulásának tartományában leszűkült áramlási keresztmetszet magasságának térségében a gázáramsebesség, az eredeti és a leszűkült áramlási keresztmetszet hányadosával növelt mértékben nagyobb lesz. Ezt a hatást szemléltettük az 1. ábra bal oldalán található nagyolvasztómetszeten.

Mint hogy a hőátadás és az indirekt vasoxid-redukció folyamatához rendelkezésre álló időtartam a gázsebesség növekedése révén a tapadvány magassági tartományában csökken, így reálisan feltételezhető, hogy a gázkihasználás mértéke ott, a tapadvány vertikális és horizontális kiterjedésének függvényében csökken.

A gáz CO-tartalmával lejátszódó indirekt vasoxid-redukció legkedvezőbb hőmérséklet-tartománya (850–950 °C) [8], az akna alsó zóna térsége. Ezt a térséget az 1. ábra jobb oldalán, a sematikus nagyolvasztóábrán megjelöltük. A kiemelt zóna – hőmérsékletét tekintve – lényegében egybeesik a kohézív zóna szolidusz határológörbéje és annak az aknafal-

ra vetített metszetét jelentő nagyolvasztó aknaszakasszal [9]. A továbbiakban ezt az aknaszakaszt vizsgáljuk részletesen, annak érdekében, hogy a falazaton elhelyezkedő tapadványnak a redukáló gáz metallurgiai kihasználására vonatkozólag releváns megállapításokat tehesünk.

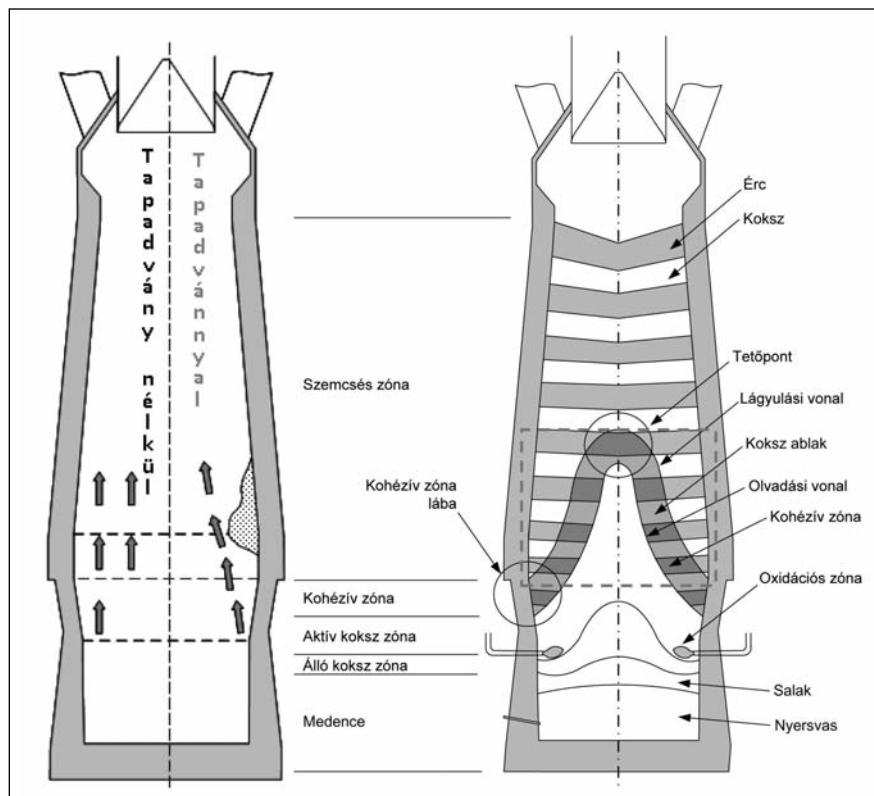
Az elfogadható alapelv szerint, a kialakuló tapadványréteggel helyenként megvastagodott aknafalazat külső – pánccélzat felé eső – rétege alapvetően kisebb hőmérsékletű, mint a tapadványmentes falazaté. Azaz azonos hűtővízáram-jellemzők (beáramló hűtővíz-tömegáram, -hőmérséklet) esetén a tapadványréteget hordozó aknafalfelület hűtésével távozó hűtővízhőmérséklet-növekedésének mértéke annál kisebb, minél vastagabb – tehát radiális irányban minél kiterjedtebb – a képződött tapadvány.

Vizsgálat

A vizsgált nagyolvasztó hűtőlapjain soronként elvégzett jellemző hűtővíz-paraméter mérési eredményei megerősítették, hogy a nagyolvasztó nyugvórészére támaszkodó kohézív zóna lábázat csökkenti a felfelé áramló redukáló gáz, falazatnak – és így a hűtővíznek – átadott hőmennyiségét. A nagyolvasztóakna alsó részétől jelentősen nő a hűtővízzel „elszállított” hőmennyiség, ami azt jelzi, hogy a gázok a kohézív zóna koksablakain keresztül a nagyolvasztó szilárd halmazállapotú anyagokat tartalmazó térfogatrészebe kerültek. Ezen magassági szinttől felfelé beszélhetünk klasszikus tapadványképződési folyamatokról, melyek szilárd halmazállapotú elegyalkotókból jönnek létre. A fentieknek megfelelően a kohézív zóna szolidusz határológörbéje és annak az aknafalazatra vetített merőleges metszete által meghatározott zónát tárgyaljuk részletesen az alábbiakban.

A nagyolvasztó egyenletes járata csak úgy valósulhat meg, ha mind a szilárd, mind pedig az olvadákszónában megfelelő mértékű a gázáramlás. Az olvadákszóna vizsgálatától jelen kutatás során eltekintettünk, azt gázáramlás szempontjából megfelelőnek tételeztük fel.

A szilárdzónában a megfelelő mér-



■ 1. ábra. A nagyolvasztó aknafalazatán elhelyezkedő tapadvány hatása a redukálógáz áramlási irányára és a gázkihasználás szempontjából kiemelt jelentőségű nagyolvasztózóna kijelölése

tékű és eloszlású gázáramlást leginkább a gázpermeabilitási és a gázkihasználási paraméterek mutatják. Ezen jellemzők segítségével olyan időszakokat választottunk ki, amely kedvezőnek (megfelelő gázkihasználás és gázpermeabilitás) és ami kedvezőtlennek (csekély gázpermeabilitás és kismértékű gázkihasználás) tekinthető. A gázáramlási szempontból „kedvezőnek” minősítettük azt az időszakokat (2012. 09. 07–17.), ahol:

- az adott időszakra vonatkozó gázkihasználás átlagos értéke > 42%,
- az adott időszakra vonatkozó gázpermeabilitás átlagos értéke > 0,85.

Míg „kedvezőtlennek” tekintettük azt a periódust (2012.10.13–23.), ahol

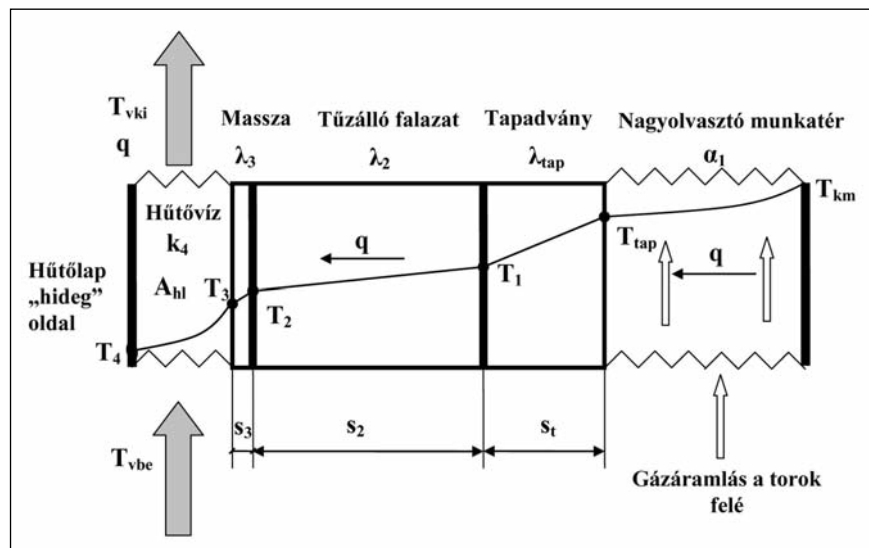
- az adott időszakra vonatkozó gázkihasználás átlagos értéke < 38%,
- az adott időszakra vonatkozó gázpermeabilitás átlagos értéke < 0,75.

A két gázáramlási időszakban a nagyolvasztóba adagolt alapanyagok összetétele és részaránya (60% zsugorítvány és 40% pellet), valamint a torokpáncél-pozíciók is lényegében megegyeztek.

Az eredmények részletezése

A két – gázáramlás szempontjából markánsan különböző – időszak 3000-3000 jellemző paraméterét feldolgozva az alábbi megállapítások tehetők:

- a „kedvező gázáramlási időszak” átlagos falazat- és hűtőlaphőmérsékletek a nagyolvasztóakna alsó részén és az akna középső részén egyértelműen nagyobb értékeket mutatnak, azaz ebben az időszakban a falazaton kismértékű tapadványréteg volt jelen, ami megfelelő gázáramlást biztosított, ellentétben a „kedvezőtlen gázáramlási időszakkal”. Az akna középső része fölötti zóna említett hőmérsékletei nem térnek el markánsan egymástól a két időszakban;
- a tapadvánnyal terhelt falazatú (kedvezőtlen gázáramlási) időszakban – a tapadványok gázáramlási irányt és sebességet módosító hatása miatt – az elegy felszíne felett mért hőmérsékletek – különö-



2. ábra. A nagyolvasztó hűtési modellje beépített hűtőszervény esetén

A hőátadási modellen feltüntetett jelölések értelmezése:

- T_{km} – a nagyolvasztó-munkatér hőmérséklete a vizsgált hűtőlap környezetében
- T_{tap} – a tapadványréteg nagyolvasztó-munkatér irányába eső felületi hőmérséklete
- T_1 – a samott tűzálló falazatnak a tapadvány irányában eső felületi hőmérséklete
- T_2 – a vizsgált hűtőlap hűtőbordái között elhelyezkedő massa samott tűzállófalazat irányába eső felületi hőmérséklete
- T_3 – a vizsgált hűtőlap „melegoldali” hőmérséklete
- T_4 – a vizsgált hűtőlap „hidegoldali” hőmérséklete
- T_{vbe} – a vizsgált hűtőlapba belépő hűtővíz hőmérséklete
- T_{vki} – a vizsgált hűtőlaphoz távozó hűtővíz hőmérséklete
- S_1 – a tapadvány rétegvastagsága
- S_2 – a samott tűzállófalazat rétegvastagsága
- S_3 – a samott tűzállófalazat és a vizsgált hűtőlap közötti massa rétegvastagsága
- α_1 – a hőátadási tényező a nagyolvasztó munkatérében
- λ_{tap} – a tapadvány hővezetési tényezője
- λ_2 – a samott tűzállófalazat hővezetési tényezője
- λ_3 – a samott tűzállófalazat és a vizsgált hűtőlap közötti massa hővezetési tényezője
- k_4 – a vizsgált hűtőlap hőátviteli tényezője (konstrukciós alapadat)
- A_{hl} – a hűtőlap felülete
- q – hőáramsűrűség

sen a nagyolvasztó tengelye mentén – nagyobbak, mint a tapadványmentes falazatú (kedvező gázáramlási) időszak esetében.

Hőátadási modell kidolgozása

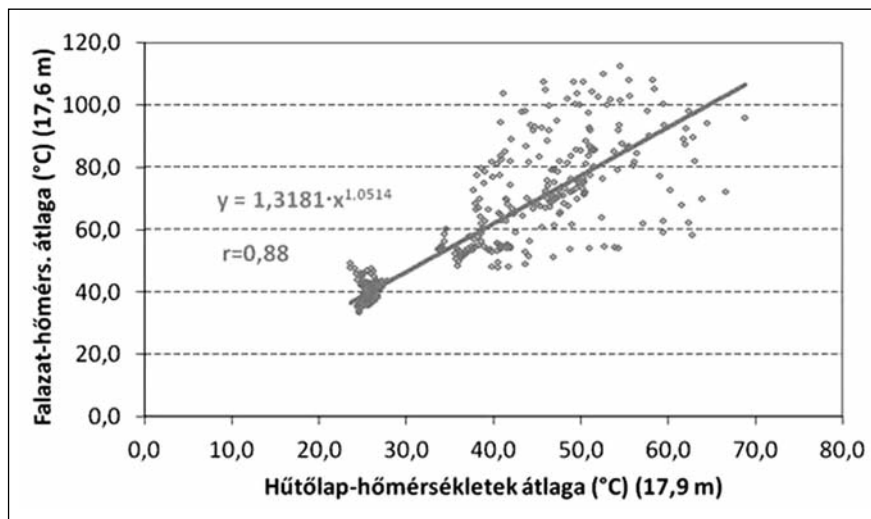
A nagyolvasztóakna hőátadási folyamatainak, a tapadványréteg vastagságának vizsgálatához hőátadási modellt dolgoztunk ki. A korábbi szakirodalomban bemutatott modellhez képest [10], az általunk kidolgozott modell figyelembe veszi a nagyolvasztó-munkatér és a tűzálló falazat közötti hőátadási folyamatot, valamint a különböző tűzálló falazatkomponenseket. A modellben lehetőség van a különböző hőátviteli tényezővel rendelkező hűtőlaphoz vizsgálatára is. A

modell felépítését a 2. ábra mutatja be.

A könnyebb érthetőség érdekében a hűtőlap nagyolvasztópáncél felé eső oldalát „hidegoldalnak”, míg a munkatér irányába eső oldalt „melegoldalnak” neveztük el.

Hőátadási modell alkalmazása

Annak érdekében, hogy a tapadványképződés, vagy a tapadványleválás folyamata viszonylag egyszerűen mérhető paraméterekkel megfigyelhető legyen, az előzőekben bemutatott hőátadási modellel a nagyolvasztóakna alsó részén elhelyezkedő (17,6 m magassági szint) hűtőlappjainak „hidegoldali”, mért hőmérsékletértékeit vizsgáltuk. Az adott nagyolvasztó vizsgált magassági szintjének



■ 3. ábra. Az akna-alsórész (≈18 m) falazat- és hűtőlap-hőmérsékletei közötti kapcsolat

kiválasztási okát a következő fejezetben részletesen elemezzük.

Ezek alapján a tapadványnak a hűtőlap „hidegoldali” hőmérsékletének függvényében mutatkozó vastagságát meghatározó alábbi regressziós összefüggést állítottuk fel:

$$y = 7633,3 \cdot e^{-0,1204x} \quad r = 0,90 \quad (1)$$

A kedvező korrelációs együtthatóval rendelkező összefüggésben y a tapadvány vastagsága mm-ben, x a hűtőlap „hidegoldali” hőmérséklete °C-ban.

Mint hogy a hűtőlap(ok) „hidegoldali” hőmérsékletei (x), és az azonos szinten (17,9 és 17,6 m) mért falazathőmérsékletek (y) között meghatározott, és a 3. ábrán szemléltetett, valamint az

$$y = 1,3181 \cdot x^{1,0514} \quad r = 0,88 \quad (2)$$

képlettel kifejezett összefüggés igen szoros, természetes, hogy a tapadványréteg vastagságát a falazathőmérsékletek függvényében meghatározó

$$y = 4 \cdot 10^7 \cdot x^{-3,246} \quad r = 0,86 \quad (3)$$

egyenlet is erős kapcsolatot tanúsít az y (mm) és az x (°C) értékei között, amint azt a 4. ábrában feldolgozott mérési eredmények mutatják.

A fenti ábra két pontserege a vizsgálatra kiválasztott két periódust (kedvezőtlen és kedvező gázáramlási időszakok) jellemzik.

Igy a rendelkezésre álló és egy-

szerűbben mérhető, vagy legmegbízhatóbb bázisértékeket biztosító paraméterek (hűtőlap- vagy falazathőmérséklet) megválasztásával (esetleg ellenőrzés végett mindkettő figyelembevételével) nyomon követhető a tapadványképződés, ill. -leválás folyamata.

Nagyolvasztóakna-alsórész falazat- és hűtőlap-hőmérsékletek és a gázkihasználás kapcsolata

A nagyolvasztóakna alsó részének (16,0–20,8 m-ig) átlagos falazat- és hűtőlap-hőmérsékletei tehát markánsan különböznek egymástól a vizsgált két időszakban. A kapcsolatrendszer feltárása érdekében, a nagyolvasztó mindkét vizsgált időszakának gázkihasználási adatait (1 óras átlagértékek) együttesen ábrá-

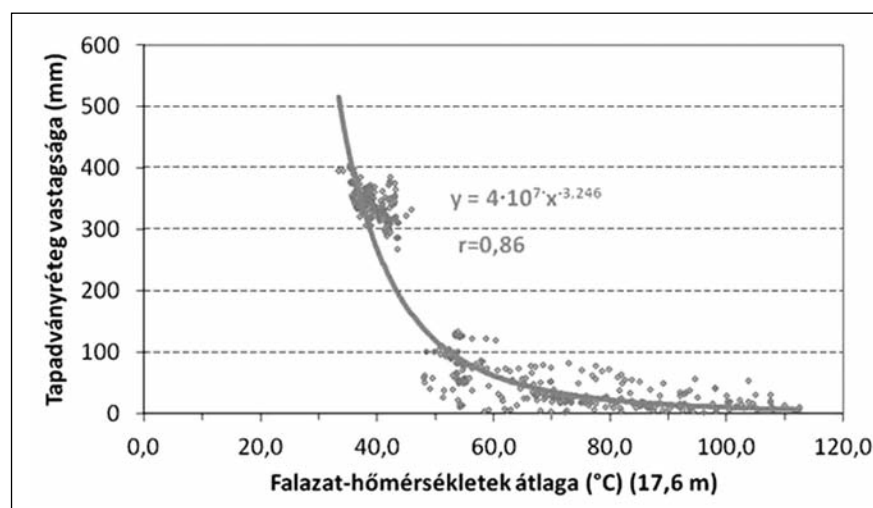
zoltuk az alsó aknarész falazathőmérsékleteinek függvényében az 5. ábrán.

Tapadványképződés szempontjából a kohézív zóna szolidusz hőmérsékleteinek helyét jelző „harangfelület”, illetőleg függőleges metszetében a „haranggörbe” magassága által meghatározott akna-alsórésznek van kiemelkedő jelentősége. A vonatkozó nyomásviszonyok arra utalnak, hogy ennek – az időben kismértékben változó kiterjedésű – tartománynak a magasságában helyezkednek el a vizsgált nagyolvasztó ≈ 16, ≈ 18 és ≈ 21 m-es magasságának kerületein működő mérőhelyek.

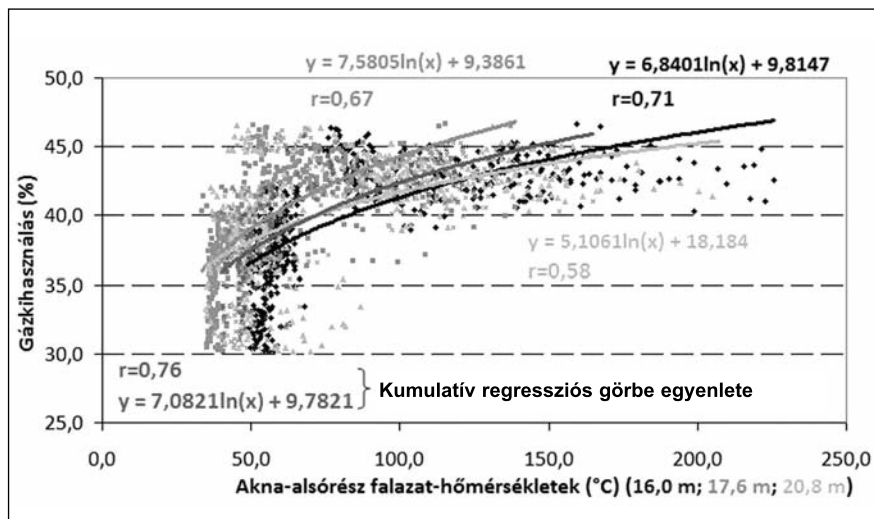
A nagyolvasztóakna alsó részének három különböző magassági szintjére vonatkozó mérési adatok felhasználásával végzett regresszióanalízis eredményét az 5. ábrán megjelenített három regressziós görbe, illetve azok korrelációs együtthatói mutatják. Az ábrán bemutatott összefüggések egyértelmű tájékoztatást adnak az akna alsó részének falazathőmérsékletei és a gázkihasználás mértékének változása között.

A gáz CO-tartalmával lejátszódó indirekt vasoxid-redukció legkedvezőbb hőmérséklet-tartományát (850–950 °C) magába foglaló három mérési zóna (16,0; 17,6 és 20,8 m) 4,8 m kiterjedésű aknartartományára vonatkoztatott mérési adatok regresszióanalízisének eredményeként az alábbi matematikai formulák születtek:

$$16,0 \text{ m-es magasságra vonatkozólag } y = 6,8401 \cdot \ln x + 9,82 \quad r = 0,71 \quad (4)$$



■ 4. ábra. Az akna-alsórész (≈18 m) falazathőmérsékletei és az ott létrejött tapadványvastagság összefüggése



■ 5. ábra. Az akna-alsórész falazat-hőmérsékletei és a gázkihasználás kapcsolata

17,6 m-es magasságra vonatkozólag
 $y = 7,5805 \cdot \ln x + 9,39$ $r = 0,67$ (5)

20,8 m-es magasságra vonatkozólag
 $y = 5,1061 \cdot \ln x + 18,18$ $r = 0,58$ (6)

ahol y a gáz CO-kihasználása

$$(\eta_{CO} = \frac{CO_2}{CO+CO_2} \cdot 100,$$

térfogat %-ban, CO és CO₂ a torokgáz alkotói, térfogat %-ban kifejezve, x az akna-alsórész falazat-hőmérséklete, °C-ban.

A matematikai összefüggések, illetve az azokat megjelenítő regressziós görbék láthatóan jól harmonizálnak, és a folyamatra ható más tényezők (a hidegszélnyomás, a koks reakcióképessége, az érc redukálhatósága, a primersalak-képződés, az elegyalkotók és a koks elrendeződése stb.) közreműködésének szem előtt tartásával, jónak mondható korrelációs együtthatók is a sztochasztikus kapcsolat erősségét tanúsítják.

Az akna térségében süllyedő anyagáram irányába haladva látható, hogy egyre mélyebb (20,8; 17,6; 16,0 m) aknamagasságok mérési szintjeire vonatkozó függvénykapcsolat erőssége (r) fokozatosan növekszik (0,58; 0,67; 0,71), arról tanúskodva, hogy az akna alsó tartományában a tapadvány(ok) kialakulásának hatása a gázkihasználásra egyértelműbb, mint a felsőbb zónákban.

Az akna-alsórész bemutatott három meghatározó magassági szintjének falazat-hőmérséklet átlagértékei mutatják a legerősebb korrelációs

kapcsolatot ($r = 0,76$) a gázkihasználással, mutatva azt, hogy mindhárom szint együttes kumulatív hatása egyértelműbben befolyásolja a gázkihasználás mértékét.

Ennek a megállapításnak alapja és oka minden bizonnyal a gázáramlási viszonyoknak, az akna alsó térségében kialakult speciális módozatában rejlik. Ugyanis az akna egyre mélyülő tartományában – a kohézív zóna megjelenésének következtében – a felső (szilárd) zónákban még kör keresztmetszetű áramlási felülete, egyre kisebb szélességű körgyűrűvé válva, lecsökkent áramlási felületet hoz létre. Következésképpen valamely adott és azonos nagyságú tapadvány a leszűkült áramlási keresztmetszetnek nagyobb hányadát zárja el és ennek arányában megnövekedett gázsebességet, s így kisebb tar-

tózkodási időt generálva, a gázkihasználás csökkentésére határozottabb hatást fejt ki.

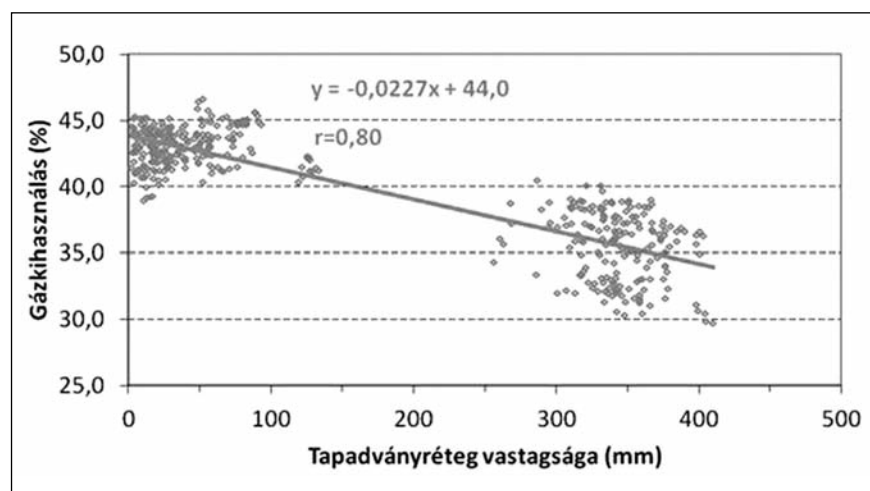
A gázkihasználás értékei – mivel a torokgázelemzés eredményeire épülnek – természetesen a különböző magassági zónákban képződött tapadványok arra gyakorolt hatásainak összességét mutatják. A ≈ 16 , ≈ 18 és ≈ 21 m-es zónák mérési eredményeinek elkülönített vizsgálata ezért csak kiegészítő jellegű és csupán a sztochasztikus kapcsolatok erősségének (korrelációs együtthatók) kialakításában tanúsított szerepük viszonylagos mértékének feltárását szolgálja.

A kapott eredmények – mérési zónáktól elkülönített – összevont értékelése révén meghatározott kumulatív regressziós görbe matematikai egyenletét az alábbi formula adja:

$$y = 7,0821 \cdot \ln x + 9,78 \quad r = 0,76 \quad (7)$$

amely függvényt az 5. ábra szintén megjeleníti. (Az x és y jelentése azonos a zónákra vonatkoztatott egyenletekével.) A kumulatív görbe láthatóan jól általánosítja az egyes mérési síkokra vonatkozó eredményeket, jó korrelációs együtthatót produkálva.

Ugyanakkor a 60–80 °C-os hőmérséklet-tartományban – amely egyfajta választóvonalnak tekinthető a tapadvánnyal terhelt illetve a tapadványmentes falazat között – a 17,6 m-es magasságban mért eredményeket hordozó összefüggés és annak regressziós görbéje tanúsítja a legreálisabb kölcsönhatást, amint azt



■ 6. ábra. Az akna alsórészének (≈ 18 m) tapadványréteg-vastagsága és a nagyolvasztó gázkihasználása közötti összefüggés

az 5. ábra egyértelműen mutatja. Ezért és a megjelölt magassági zónában rendelkezésre álló hűtőlap-hőmérsékleti mérési lehetőségek eredményeinek felhasználhatósága miatt a továbbiakban a 17,6 m ill. a 17,9 m-es zóna képezi a vizsgált tartományt.

Az 5. ábrán feltűnik, hogy a gázkihasználás változását az aknahőmérsékletek módosulásának függvényében bemutató pontsereg mezője ≈ 80 °C-os falazat-hőmérsékletekig, csekély mértékben növekvő falazat-hőmérsékletekre is ugrásszerűen emelkedik, minthogy – a 4. ábra tanúsága szerint – ebben a ≈ 80 °C-ig növekvő hőmérséklet-tartományban csökken a tapadványréteg vastagsága a legnagyobb intenzitással. A tapadványréteg megszűnése, vagy hiánya esetén a gázkihasználás gyakorlatilag beáll az arra ható ismert tényezők által meghatározott érték-sávba. Azaz a pontsereg mezője a falazat-hőmérséklet további növekedésétől csaknem függetlenné válik, s így az ábrázolásban gyakorlatilag közel vízszintes marad. A pontsereg mező-sávjának 60–80 °C-on bekövetkező, közel 90°-os törését a regressziós görbék nem követ(het)ik tökéletesen.

Megállapítható tehát, hogy ≈ 80 °C-nál nagyobb falazat-hőmérséklet-nél, annak növekedése gyakorlatilag már nincs számottevő összefüggésben a gázkihasználással, minthogy az arra ható tapadvány jelenléte már csekély.

A tapadványréteg vastagsága és a gázkihasználás kapcsolata

A tapadványképződés és a gázkihasználás összefüggéseiről 6. ábra nyújt tájékoztatást, melyben a regressziós görbe egyenlete:

$$y = -0,0227 \cdot x + 44,0 \quad r = 0,80 \quad (8)$$

Ennek megfelelően a tapadványréteg vastagságának minden 10 mm-es növekedése a CO-kihhasználást 0,227%-kal csökkenti, következésképpen a fajlagos kokszfogyasztást 1,6 kg/t nyv., a CO₂-emissziót pedig 5,2 kg/t nyv. mennyiséggel növeli. Az ábrán – hasonlóan a korábban bemu-

tatottakéhoz – a két, a gázáramlás szempontjából markánsan különböző adathalmaz elkülönül egymástól.

Összefoglalás

A nagyolvasztóba kerülő alkáliák és cink egyik káros hatása a falazaton kialakuló tapadványképzésben betöltött szerepük. A tapadványok számos problémát okozhatnak a nyersvasgyártás során, melyek közül az egyik legfontosabb a gázáramlást módosító hatásuk. Ennek meghatározása érdekében vizsgálatokat végeztünk a gázkihasználás mértékének módosulására vonatkozóan az ISD Dunaferr Zrt. 2. sz. nagyolvasztóján különböző mértékű tapadvánnyal terhelt falazat esetén.

A vizsgálatokhoz egy hőátadási modellt állítottunk fel, amelynek segítségével – a tapadvány hővezetési tényezőjének ismeretében – a hűtőlap ún. „hidegoldali” ill. a falazat-hőmérséklete alapján sikerült meghatározni a tapadvány rétegvastagságát.

A vizsgálatok elsősorban a gázkihasználás és a tapadvány rétegvastagsága közötti kapcsolatra terjedtek ki. Az eredmények azt bizonyítják, hogy a kohézív zóna szolidusz görbéje és annak falazatra eső merőleges vetülete által határolt aknatérfogatrész kiemelt jelentőségű a gázkihasználás szempontjából. Azaz abban az esetben, ha az említett térfogatrészben tapadványképződés következik be, az jelentős mértékben – 10 mm rétegvastagság növekedés esetén 0,23%-kal – csökkenti a gázkihasználás mértékét.

Ennek oka, hogy az említett zónában megy végbe a CO-val történő indirekt redukció jelentős része, másrészt pedig, hogy a kohézív zóna által egyébként is szűkebb térfogatrészben kialakult tapadvány tovább csökkenti a szabad áramlási keresztmetszetet. Ennek következtében a gázsebesség megnő, ami a CO-val történő gázredukció időfaktora miatt, csökkenő CO-kihhasználást eredményez a redukáló gázban.

A tapadványképződés ellenőrzése tehát alapvető fontosságú a nagyolvasztót üzemeltetők számára mind energetikai, mind környezetvédelmi szempontból.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ez úton szeretnék megköszönni az ISD Dunaferr Zrt. Nagyolvasztómű, Technológiai Igazgatóság, Energetikai Igazgatóság, Anyagvizsgáló és Kalibráló Laboratóriumok Igazgatóság vezetőinek, munkatársainak valamint a Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Intézeti Tanszék és a Kerámia- és Szilikát-mérnöki Intézeti Tanszék dolgozóinak a munkájukhoz biztosított támogatását.

Irodalom

- [1] Lin, R., Harting, W., Hochhaus, J.: Investigation of chlorine and alkali impacts on the blast furnace operation. The 5th European Coke and Ironmaking Congress. 12–15 June 2005, Stockholm, Sweden
- [2] Hári L.: A cianidok képződésének sajátosságai a nyersvasgyártásban. BKL Kohászat 2002. február–március. 135. évfolyam, 2-3.szám
- [3] 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.
- [4] Benesch, R., Ledzki, A., Kopec, P., Stachura, R., Migas, P., Klimczyk, A., Mazanek, K.: Behaviour of alkalis in sintering and blast furnace processes – the alkalis balances at Sendzimir steel plant. Metallurgy and Foundry Engineering, 1997, Vol. 23., No. 3, pp 291–307.
- [5] Zherebin, B. N.: Zinc in blast furnaces. Steel, 1991, pp 451–452.
- [6] Chernov, N. N., Demidenko, T. V., Marder B. F., Pohekailo, I. E., Taranovskii, V. V.: Distribution of alkali compounds in a large blast furnace. Metallurg, No. 5. May, 1983, pp 12–14.
- [7] Erikson, J.: Accretion formation in the blast furnace. Examination of accretions in LKAB's EBF. MEFOS presentation
- [8] Farkas O.: Nyersvasmetallurgia. Tankönyvkiadó, Budapest, 1989.
- [9] Development of the ULCOS Low CO₂ Blast Furnace Process at the LKAB Experimental BF in Lulea; J. van der Stel et al., paper presented at METEC 27 June-1 July 2011, Düsseldorf.
- [10] EC Cont. No.:7210-PR/199. Investigation of accretion formation in a blast furnace shaft. 2005. pp 52–53.