

NADIF, M. – LEHMANN, J. – BURTY, M. – DOMGIN, JF.*

Az acél reoxidációja és az üstkagyló eltömődése folyamatos öntésnél: áttekintés

Az acél tisztaságának a hatása az acél tulajdonságaira hosszú időn át főként a minőségi hosszútermékeknel (gumiabroncs-betéthuzal, golyóscsapágyacélok...) és a HIC (hidrogén okozta repedésnek ellenálló) acélok esetében volt világos. Manapság sok vizsgálat közvetlen összefüggést mutat az acél teljes oxigéntartalma vagy a salak összetétele és a késztermék felületi hibáinak a mértéke között.

Ez a cikk áttekintést ad az acéolvadék reoxidációja és a bemerülő üstkagyló eltömődése elleni küzdelem különböző aspektusairól, amelyek lényegesek a termékek megkívánt tisztaságának az eléréséhez: a reoxidáció mértékének meghatározása, a salakok, a levegő és a tűzálló anyagok okozta reoxidáció korlátozása, az argoninjektálás szabályozása, az üstkagylóeltömődés csökkentésének mechanizmusai és módjai.

A reoxidáció mennyiségi jellemzése

Manapság több, egymást kiegészítő módszer áll rendelkezésre: a salak FeO-tartalmának és vastagságának a mérése; a reoxidációval kialakult zárványok azonosítása és a dezoxidációs termékek nyomjelzése ritka földfémekkel alumíniummal csillapított acélokban; a lehetséges reoxidációs források megállapítása BaO, SrO, ill. a megfelelő karbonátok segítségével, vagy a La detektálás és a SIMS (másodlagos ion tömegspektrometria) vizsgálat kombinációjának felhasználásával [1, 2].

Az ARCELOR kidolgozott egy, az alumíniummal csillapított acélokra alkalmazható lantános nyommeghatározó módszert [3]. A lantánt a dezoxidációs zárványok vegyi nyomjelzőjeként használják. Ez a közvetlen nyomkövető módszer nem igényli a lantán aktiválását. Lehetséges a lerakódások megfigyelése is az üstdugón vagy a beömlő kagylón. A fázisdiagram szerint, közvetlenül a La adagolása után a jelzett zárvá-

nyoknak LA-nak vagy LA₁₁-nek kell lenniük. A képződött LA zárványoknak reakcióba kell lépniük a reoxidációs alumínium-oxid zárványokkal (LA+10A → LA₁₁), de a reakció gyakran nem teljes. Valóban a SEM-elemzés (pásztázó elektronmikroszkóp) La_x zárványokat tár fel. Figyelmet kell fordítani a lantanadaleknak az oxidált alumíniumtartalomhoz (T[O]) való igazítására: célszerű az LA₁₁ képződésére törekedni, hogy ne zavarják a zárványok jellemzőit és viselkedését [3].

A salakok okozta reoxidáció vizsgálata

Amikor egy oxidos salak dezoxidált fémfürdővel érintkezik, jelentős oxigén- és dezoxidálószer-koncentrációs gradiensek alakulnak ki. A salak/fém határfelület közelében az acél oldalon lévő reakciózónában az oldott oxigén és a dezoxidáló elem aktivitása olyan, hogy zárványok válnak ki. A reoxidációs zárványok káros hatása függ a termék alkalmazásától és az acélfajta összetételétől.

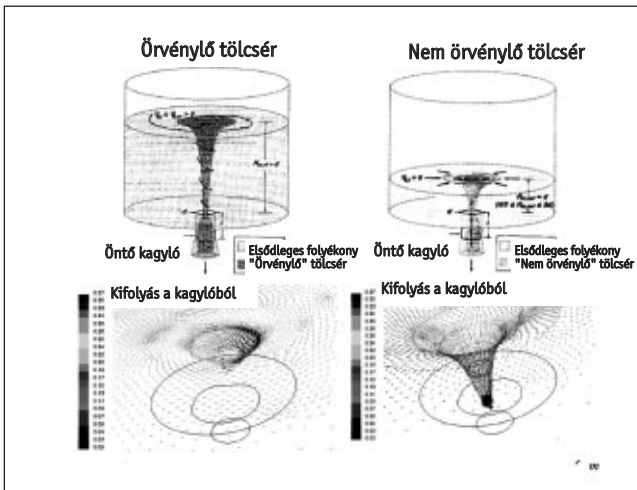
Különösen Ti-SULC (titánnal stabilizált rendkívül kis karbontartalmú) minőségek esetén, Al₂TiO₅ zárványok válnak ki Al₂O₃ helyett, ha az acélfajta Al-tartalma túlságosan kicsi a Ti-tartalomhoz képest [4]. Ezek az AlTiO_x zárványok ártalmasak az eltömődés és a szintingadozások szempontjából [5], lásd a kagyló eltömődéséről szóló részt ebben a cikkben.

Az üstök ürtésekor salak sodródik az acélfürdőben örvénylő vagy nem örvénylő tölcserék megjelenése következtében. A numerikus szimuláció hasznos eszköz a salak csapolás közbeni viselkedésének az előrejelzéséhez, továbbá a berendezés működésének és a technológiai paraméterek hatásának az értékeléséhez (1. ábra) [6].

Módszereket dolgoztak ki a salaküstbe való átjutásának az elkerülésére. A leggyakoribbak: lándzsa a konverterhez és excentrikus fenékcspolás (EBT) a villamos ívkemencéhez. Jelenleg egy infravörös kamerás detektáló rendszer alkalmazása terjed a hatékonyság javításához [1]. Az üstben a salak által okozott reoxidáció bizonyos fokig csökkenthető az Al-mal csillapított acélok salakjának csillapításával, főként a recirkulációs vákuumozó (RH) technológiánál [1, 2]. A salakcsillapítást elsősorban alumíniumalapú termékekkel végzik, de előfordul CaC₂ alkalmazása is. Ezt főként bázikus oxigénes kemence (BOF) csapolásakor valósítják meg, néha a szekundér metallurgia végén is. Általában FeO<5%, vagy méginkább 2% elérésére törekszenek. Ti-mikroötvöztetésű, ultra kis C-tartalmú (Ti-SULC), gépkocsialkatrészek számára gyártott acél esetén ez a költséges gyakorlat már nem kötelező, feltéve, hogy az acél Al-tartalma helyileg mindig elégséges a káros AlTiO_x zárványok képződésének az elkerüléséhez az acél-

Elhangzott a 7. Nemzetközi Tiszta Acél (Clean Steel) Konferencián (Balatonfüred, 2007. június 4-6.)

* Arcelor Mittal, Arcelor Research Industrial Operations, Maizières, Franciaország



■ **1. ábra.** Örvénylő és nem örvénylő tölcser szemléltetése egy üstben (Felül: a [7] hivatkozásból származó ábrák, alul: az Arcelor numerikus szimulációjából vett ábrák [6])

gyártási folyamat minden mozzanatában [5].

A salak átjutását az üstből a közbenső üstbe gyakran olyan elektromágneses salakdetektálás alkalmazásával gátolják meg, amilyen az AMEPA® rendszer [8]. A termékek átállási salakokkal összefüggő hibaaránya 50-100%-kal csökkenthető (2-a ábra), némi különbségekkel a minőség összetétele függvényében [9]. Az ilyen salakdetektáló rendszer használata, az üst tolozárának automatikus zárásával összekapcsolva, csökkenti a hibák arányát átálláskor, de az állandósult öntés során is. Következésképpen az egy közbenső üstbe öntött adagok száma növelhető állandó, jó minőségi szinten a teljes periódus alatt (2-b ábra).

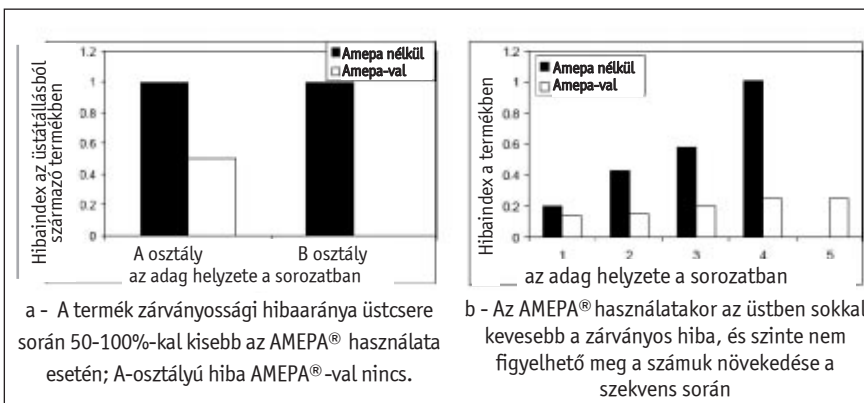
Újabb az AMEPA® jelkezelését tökéletesítették, lehetővé téve a salakcseppek észlelését az acélsugarban, ami az üstsalak eredetű hibák csökkenéséhez vezet [10].

Az üstben lévő acél mennyiségét csök-

lőnek a hatékonyságát [11].

A salakátvitel hatását csökkentő megoldásokként olyanokat azonosítottak, mint az átmenő fémmennyiség csökkentése, bemeztett üstcsapoló kúpos véggel, a közbenső üst növelt befogadó képessége, turbulenciát csökkentő gátak alkalmazása [12]. Az üst-közbenső üst közötti harangalakú védőburkolat [1] vagy újabb az LTC® rendszer [13] lehetővé teszi a biztonságos, felszín alatti nyitást, ezáltal hatékony módszer az emulgeált acél-salak keverék képződésének és a termékbe való bejutásának a megakadályozására.

A folyékony acél kisebb zárványtartalmát a fémmel kevésbé reagáló üstsalak alkalmazásával bizonyították [9]. A 3. ábra mutatja az üstsalak FeO-tartalmának 17%-ról 8%-ra való csökkentésének a hatását a közbenső üstben lévő folyékony fémbe talált nagy, salakos zárványokra [9].



■ **2. ábra.** Az üst tolozárának automatikus zárásával összekapcsolt salakdetektáló rendszer hatékony ipari eszköz a hibák korlátozásához üstcsere és állandósult öntés során [9]

kenteni lehet az ürítési tölcser megjelenésekor, az üst döntésével vagy lejtőfenék alkalmazásával. Jelentős javulást értek el argon injektálásával is a csapolónylás környezetében a csapolás végső lépései során [1, 6]. Az Arcelor Mittalnál Liege-ben nagyon biztató eredményekkel végeztek ipari kísérleteket, amikor megvizsgálták ennek a Clean Steel Block® néven ismert készü-

A reoxidáció a közbenső üstben elkerülhető jól záró és nem reoxidáló hatású fedősalakkal, amilyen a folyékony, CaO-ban dúsalak 5-10% MgO-val a közbenső üst-bélésével való reakció korlátozására [2]. Az Arcelor által végzett numerikus szimulációk is a nagyobb viszkozitású és felületi feszültségű közbenső üst-salak kedvező hatásának a korlátozására (a minőségtől függően). Ez az üstsalakra is igaz [9].

Az atmoszféra által okozott reoxidáció

Az üstben szabályozni kell a keverés intenzitását, hogy megelőzzék a fedőréteg felszakítását a gázcsóvával, és biztosítsák az üst tömör zárását és semlegesítését.

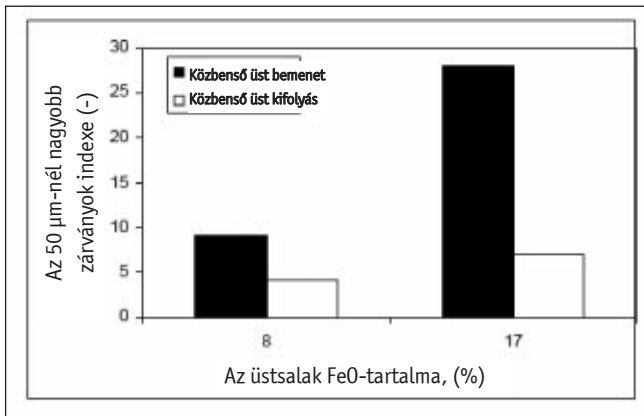
A közbenső üst töltések erős reoxidáció mutatható ki az első üstkagylókban a lerakódás szerkezetének a vizsgálatával, Lanal nyomjelzett acélban (1. táblázat és 4. ábra) [3]. A közbenső üst nem-oxidáló előmelegítése előnyös az oxidáló előmelegítéssel generált felrakódásoktól való megszabadulás érdekében. A közbenső üst lefedése és a közbenső üst atmoszférájának elősemlegesítése hatékony módszer a sorozat kezdetén az első öntött termékek közbenső üstben lévő levegővel való visszaoxidálásának a megelőzéséhez [1]. A nyommérések/számítások az üst védőcsőben, a dugóban és a bemeztülő kagylóban a légkörnél kisebb nyomást mutatnak, különösen a tolozár vagy a dugó közelében [1, 14]. Lényeges a tűzálló darabok és az összeállítás tömör zárásának biztosítása és az argon injektálásával történő védelem.

A tűzálló anyag által okozott reoxidáció

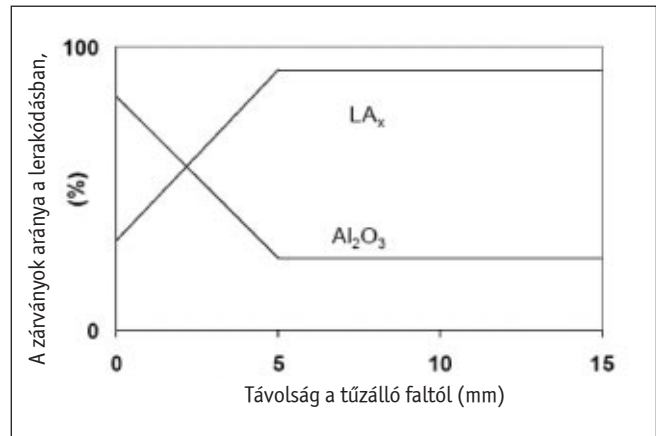
Az üstfal bélését tiszta acélok gyártásához általában jó minőségű tűzálló anyagokból készítik, pl. kis szilíciumdioxid-tartalmú

1. táblázat. A nyomjelzett zárványok arányának változása az öntés alatt, a dezoxidációs zárványok La-os nyomjelzése után [3]

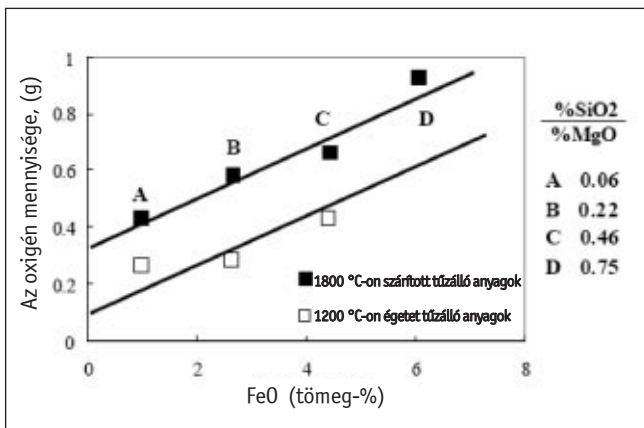
Minták	A zárványok aránya (%)	
	La-nal jelölt dezoxidációs zárványok	Reoxidációs zárványok La nélkül
Az RH-OB kezelés vége	100	0
A közbenső üst töltésének a vége	90	10
Közbenső üst (fél adag)	10	90



■ **3. ábra.** A közbenső üstben lévő acélban kevesebb nagy, salakos zárványt számláltak, amikor az üst- és a közbenső üst salak dezoxidált és kevésbé reaktív volt [9].



■ **4. ábra.** A lerakódás szerkezete üstkagylókban, a dezoxidációs zárványok lantános nyomjelzésével [3]



■ **5. ábra.** Összefüggés az acélban lévő alumíniummal lekötött oxigén mennyisége és a tűzálló anyagok FeO-tartalma között egy óra elteltével [15]

alumíniumoxidból. Dolomitbélésű üst és MgO-C salakvonal alkalmazása esetén, a korrózió következtében Mg megy át az acélba spinell vagy CaO-Al₂O₃-MgO zárvány képződésével. A közbenső üst felszórta MgO bélése lehet a reoxidációs zárványok eredete az acél MgO-val és vízzel végbemenő reakciói révén (lehetséges a Mg átvitele is az acélba).

A folyékony acél tűzálló termékek okozta reoxidációja nő, ha a tűzálló anyag MgO-tartalma csökken [15]. Az 5. ábra mutatja, hogy a fő reakció, amely ezt a reoxidációt okozza, a vasoxidok redukciója, ami növekszik a tűzálló anyagok szilíciumdioxid-tartalmával, azaz az olivin arányával.

Az 5. ábra azt is megerősíti, hogy a víztartalom fontos tényező. A fémfürdőbe merülés előtt 1200°C-on égetett tűzálló anyagok kevésbé okoznak reoxidációt, mint az egyszerűen, 180°C-on szárított tűzálló anyagok.

Más kísérletek során [15] a magnézium átvitelét vizsgálták a magnézium-oxid tűz-

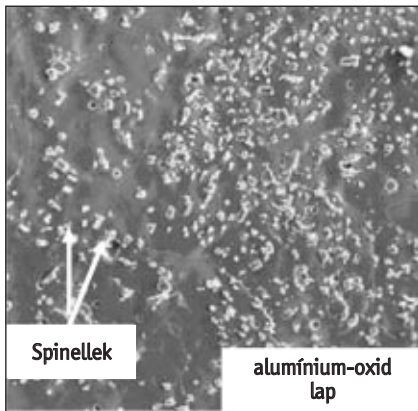
később spinellek képződéséhez vezethet, amelyek hozzájárulhatnak a lerakódásokhoz öntött alumínium-oxid tűzálló anyagokon, részt vehetnek az eltömődésben, és ártalmasak lehetnek bizonyos termékekre. A reoxidációs termékek az acél és a tűzálló anyag közötti határfelületnél részben szilárd reakcióréteg képződéséhez vezethetnek. Ennek a reakciórétegnek az összetétele, valamint fizikai állapota (azaz a folyékony fázisának a százalékos aránya), az egyik tűzálló anyagról a másikra változik. Magnézium-oxid csak a 75%-nál nagyobb MgO-tartalmú tűzálló anyagok esetében van jelen a szilárd reakciórétegben. A reakciórétegnek ezek a jellemzői közvetlenül hatnak a Mg-átvitel mértékére [15]. A közbenső üst tűzálló anyagainak a választása legyen kompromisszum: a 75%-nál nagyobb MgO-tartalmú tűzálló anyagok kedveznek az általános tisztaságnak, a reoxidáció minimalizálása révén, míg a spinell mennyisége sokkal nagyobb lesz. A spinell zárványok különösen ártalmasak a tiszta

álló anyagokból Si-Mn-nal dezoxidált acélok esetében, alumínium-oxid lap bemeztésével és az alumínium-oxid kristályok spinellé átalakulása mértékének a mérésével a lap felületén, képelemzéssel (6. ábra). A Mg átmenete a folyékony acélba növekszik a tűzálló anyag MgO-tartalmával (7. ábra), és

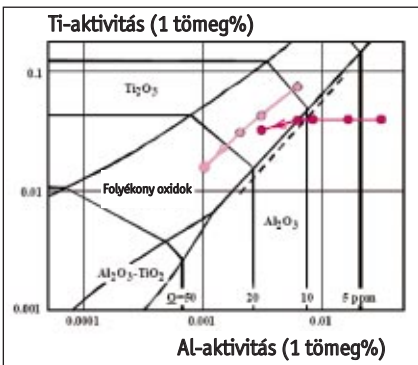
hosszútermékek (abronchuzal- vagy golyóscsapágyacélok) tulajdonságaira nézve [15].

A magnéziumoxidos tűzálló anyag folyékony acél általi redukciójának egy másik példáját adják az Al-Ti-vel dezoxidált acélokkal végzett laboratóriumi kísérletek [4]. A vizsgált tűzálló anyag közel tiszta magnézium-oxid volt (95% MgO, 3,5% SiO₂, 1,5% CaO), és különböző Al- és Ti-tartalmú acélokkal érintkezésben vizsgálták a viselkedését. A reoxidációs termékek nem csak alumínium-oxid zárványok, de a természetük, valamint a képződésük az acél kiinduló Al- és Ti-tartalmától is függ. A kísérletek jól egyeznek a CEQCSI (Chemical Equilibrium Calculation for the Steel Industry) salakmodellel végzett számításokkal. 0,03% Al és 0,04% Ti kiinduló összetétel esetén, először csak az Al folyamatos csökkenése indul meg, és a Ti-tartalom csak akkor kezd csökkenni, amikor az Al-tartalom hozzávetőleg 0,006%-ot ér el (8. ábra). A megfigyelt zárványok főként alumínium-oxid zárványok és spinellek keverékéből állnak, a spinell aránya a reakcióidővel nő. 0,006% Al és 0,08% Ti kiinduló tartalom esetén az Al- és a Ti-tartalom együtt csökken a kísérlet folyamán. A zárványok két típusát figyelték meg: spinellek, ill. Al₂O₃-ban és TiO₂-ben dús folyékony fázis. Ilyen komplex oxidokat figyeltek meg lerakódásként folyamatos öntő üstkagylókon, IF (interstitial-free) acélminőségek öntése során, és szerepüket az üstkagyló eltömődésének a mechanizmusában gyakran figyelembe veszik (9. ábra) [4].

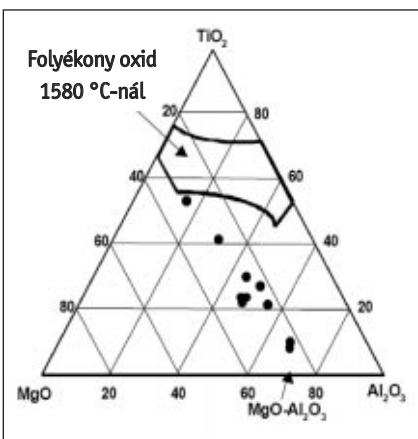
A folyamatos öntőmű alumínium-oxid-grafit részei bonyolult reakciók helyei: CO-képződés a tűzálló anyag szennyezőinek (Na₂O, K₂O, Fe₂O₃ vagy szilícium-dioxid)



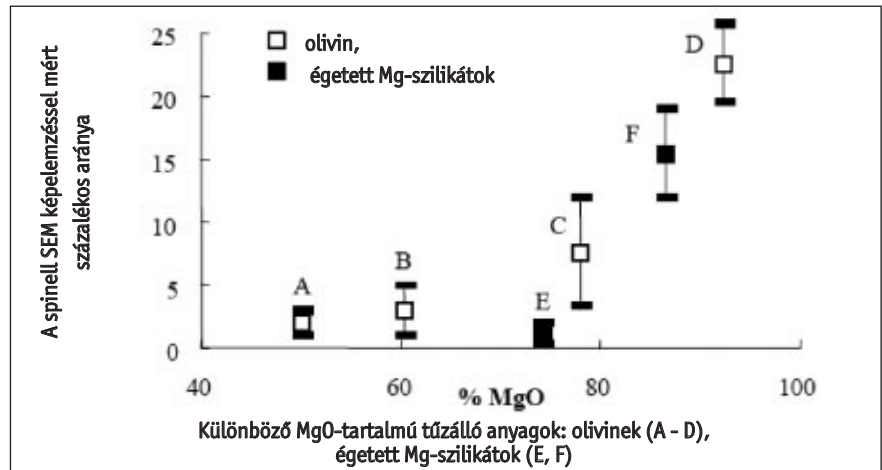
■ **6. ábra.** Alumínium-oxid lap felületének SEM képe (77,8% MgO, 15,1% SiO₂, 1,4% CaO, 1,3% Al₂O₃, 1,9% Fe) [15]



■ **8. ábra.** Az Al- és Ti-tartalom alakulása két kísérletben, az Fe - 0,12% Mn - 0,03% Si - Al - Ti - O rendszer számított egyensúlyi diagramján, 1580°C-on ábrázolva. A szaggatott vonal a határ az olvadék + spinel és az Al₂O₃ + spinel tartományok között, 0,5 ppm Mg esetén [4]



■ **9. ábra.** Al-Ti-nal dezoxidált acél magnézium-oxid tüzálló anyaggal történt reoxidációja következtében képződött zárványok kísérleti összetétele (fekete pontok). Ezek a zárványok spinel és folyékony oxid különböző arányú keverékei. A folyékony oxidos tartomány kiterjedését CEQCSI-vel számítva, 1580°C-on, a vastag vonal mutatja [4]



■ **7. ábra.** Alumínium-oxid lap spinellel borított felületének aránya a tüzálló anyag összetételének függvényében, kétórás folyékony acélba merítés után [15]

redukciója révén, a CO redukciója az acél által, és egy első zárványréteg képződése az alumíniummal csillapított acéllal való érintkezés helyén (2. táblázat). C-mentes bélés használata hatékonyan korlátozza ezeket a reakciókat [16].

Az üstkagyló eltömődésének vizsgálata

Az „eltömődés” szót akkor használják, amikor a dugó gyorsan felemelkedik vagy pedig „kidugulás” megy végbe, amit a dugó hirtelen süllyedése jelez; mindkettő a szint nagy ingadozásával jár a kristályosítóban. Ekkor fennáll az öntött féltermék leminősítésének a veszélye, és javításra lehet szükség. Az öntési folyamatot illetően az eltömődés gyakran az öntés megszakadásához vezet, korlátozva az egy közbenső üstre jutó adagok számát. A folyamatos öntőkagyló eltömődése nagyobb termelési költségeket, fokozott biztonsági kockázatot, kisebb termelékenységűt, nagyobb belső leminősítési arányt, és végül vevői visszautasítást eredményez. A tüzálló darabokon, például Ti-ULC acél öntése után vastag fehér anyag

található a kagyló felső részén, míg a furata gyakran tiszta.

Az újabb eredmények a kritikus technológiai paraméterek hatását bizonyítják az eltömődésre [17]. Sok paraméter hat, és nem csak a folyamatos öntés számít, hanem a szekundérmetallurgiai eljárás is.

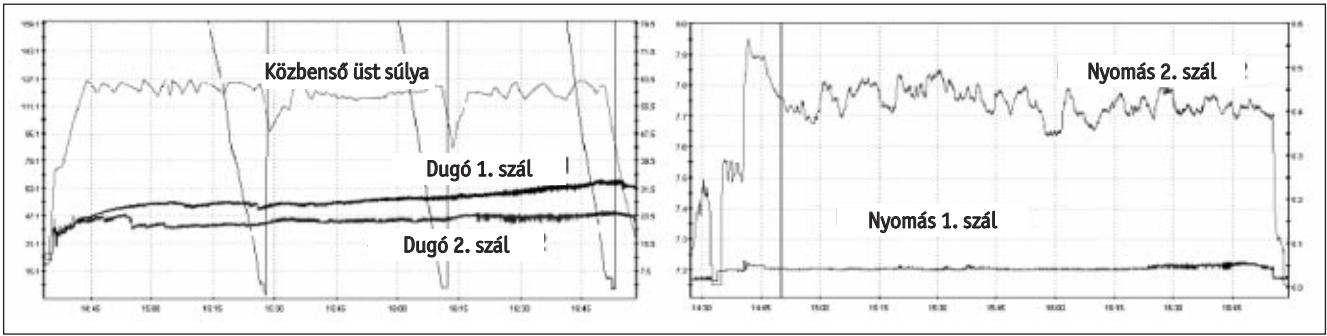
Az eltömődést csökkenti az argon injektálása, amelyet általában a dugórúdon át végeznek. Argon injektálása nélkül aligha lehetséges több mint 600 tonnát önteni egy kagylón át, komoly felületminőségi problémák nélkül. Ha két szál közül csak az egyik lép fel eltömődés (10. ábra) [5], az gyakran speciális problémára utal az argonadagoló körben. A megfelelő nyomás jó index lehet: nulla és lapos jel. Az öntés alatt a dugóba lépő gáz összetételének innovatív on-line és real-time elemzését végezték el [14]. Kimutatták, hogy a levegő beszívódás lehetősége az argonkörbe eltömődéshez vezet. Tömör csatlakozások esetén nem észlelhető a levegő (nitrogén) nyoma.

A megoldások közül a következőket javasoljuk [5]:

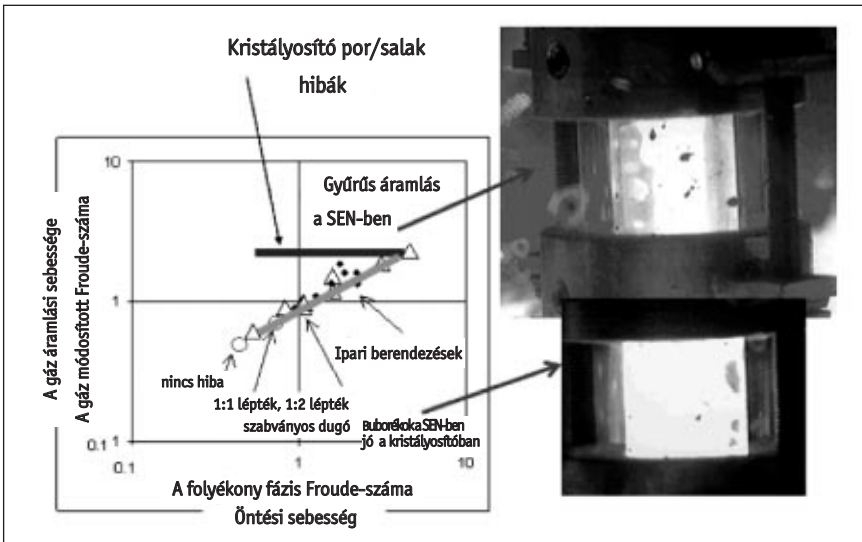
- különös figyelmet kell fordítani a dugó és

2. táblázat. Alumínium-oxid képződése a folyamatos öntőkagyló anyaga és az Al-mal csillapított folyékony acél közötti határfelületnél [16]

Tüzálló anyag $P_{O_2} = 10^{-17}$ atm	Határfelület	Acél $P_{O_2} = 10^{-17}$ atm
$C_{(s)} + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_{(g)}$	$C_{(s)} \rightarrow C_{(Fe)}$	$\leftarrow [Al]_{Fe}$
$CO_{(g)} \rightarrow C_{(Fe)} + [O]_{Fe}$	$Al_2O_3 (s)$	$\leftarrow [O]_{Fe}$
$MO_{(s)} + C_{(s)} \rightarrow M_{(g)} + CO_{(g)}$	$M_{(g)} \rightarrow M_{(Fe)}$	$\leftarrow Al_2O_3 (s)$
	Oxid kiválás	
M: Si, Na, K		



■ 10. ábra. Eltömődés csak az egyik szálon: szivárgást észleltek az argont adagoló körben [5]



■ 11. ábra. A gyűrűs áramlás és a buborékos áramlás közötti átmenet képe. Az argonáramlás túlzott sebessége a fém-salak határfelület erős zavarását okozza a kristályosítóban [18]

az argonkör szerelésére,
 – fémcsőveket kell használni, és azokra felügyelni,
 – kalibrált tömegáramlás-szabályozókat kell használni,
 – általában 5-7 liter/perc értékre kell állítani az argonáramot (11. ábra). Ezt célszerű az öntési sebességhez igazítani [18], állandó argon – folyékony acél áramlási arányt tartva a bemerülő üstkaagylóban, és elkerülni a kristályosítóban az erős fém-salak keveredést. 3-4 t/perc öntési sebesség esetén tipikusan 7-10 liter/perc alkalmazható,
 – a dugó csúcsánál mintegy 2 mm átmérőjű, kalibrált fúvókát vagy többlyukú dugót célszerű használni [19].

A tűzálló darabok minősége és terméste hatást gyakorol az injektálásra névleges argonáramlási sebességnél. Az argonkörbe levegő szívódhat be. Különös gondot kell fordítani a tűzálló darabok szerelésére. Nem ritkán okoznak problémákat a tűzálló anyag minőségének a módosulásai/változásai/eltérései. Az eltömődési és hibain-

dex erősen változhat a tűzállóanyag-szállítók között, sőt egy szállító adagjai között is. Hatékony tűzállóanyag-megoldás az úgynevezett alumínium-oxid kagyló karbonmentes béléssel: kevesebb oxidáló gáz a tűzálló anyagból, jobb hőszigetelés és kisebb érdesség magyarázza a hatékonyságát [16]. Az ilyen tűzálló anyag előmelegítését szabályozni kell.

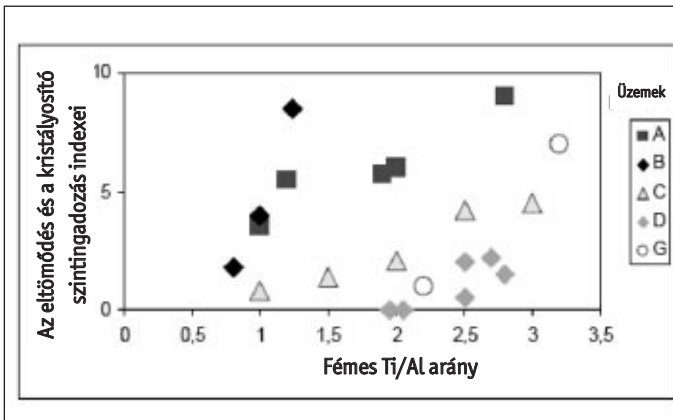
A dezoxidációs zárványok lantános nyomkövetése, valamint a folyékony acélban és a lerakódásokban lévő zárványok közötti összefüggés világosan mutatja [3]: az eltömődés a szekundér metallurgiai folyamatban képződött szilárd nemfém zárványok lerakódása a tűzálló darabokon. Ezek a zárványok karbonacélok esetén főként alumínium-oxid és aluminátok, Ti-nal stabilizált rozsdálló acélok esetében pedig titán-oxidok és TiN. A későbbi reoxidáció és nitrogénfelvétel zavarja az öntést. A zárványkiválás a fém hőmérsékletének esésével másodrendű paraméter. A teljes zárványmennyiségnek mindössze néhány százaléka elegendő a kagyló furatának az elzá-

rásához. A tűzálló darab alakja és az olvadék áramlása a turbulencia miatt hat a zárványok lerakódására [20].

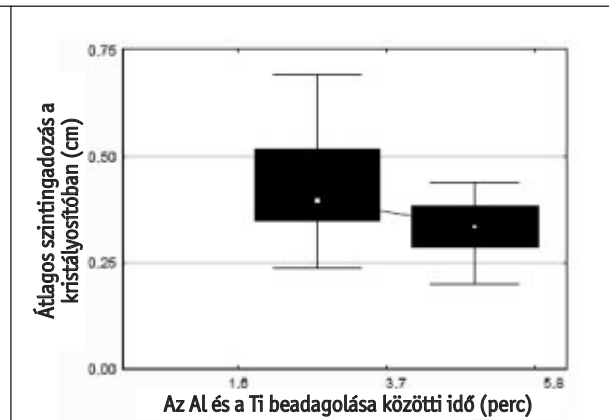
Az eltömődés összefügg a zárványpopulációkkal, amikor mindkét szál érintett. Ez egyszerű módszer az eltömődés valószínű eredetének értékeléséhez. Az eltömődés sebessége nő a zárványtartalommal és a zárványok méretével [5]. A dezoxidáció, ill. a reoxidáció során képződött nagyméretű, nem stabil $AlTiO_x$ zárványok – amelyek akkor képződnek, ha helyileg nincs elég alumínium a Ti megvédéséhez az oxidációtól – károsak az eltömődésre és szintingadozására a kristályosítóban [5]. Ezek képződése meggátolható kellő Al/Ti aránnyal a folyékony acélban és elegendő idővel az Al és a Ti adagolása között, hogy teljes lehessen az alumíniumos dezoxidáció a Ti hozzáadása előtt (12. és 13. ábra) [5].

A Ca-kezelés az alumíniummal csillapított acélok esetén az egyik megoldás az eltömődésre. Lehetséges az argon nélküli öntés. Ca-ötvözet adagolásakor az öntési hőmérsékleten folyékony kalcium-aluminátok képződnek. Az adalék mennyisége függ a fém összetételétől és a teljes oxigéntartalomtól. A szilárd kalcium-aluminátok az eltömődés szempontjából károsak [21]. Az egyik ok a sikertelen Ca-kezelés, a másik a fém és salak közötti reakció. Különösen ártalmasak lehetnek a kalcium-aluminát zárványok az Al-mal csillapított minőségekben az üstsalak CaO- és alumíniumoxid-tartalma közötti túl nagy arány, (14. ábra), az acél és a dolomit üst közötti reakciók (15. ábra), az üstsalak átvitele vagy a kalciumot tartalmazó ferroötvözetek használata következtében.

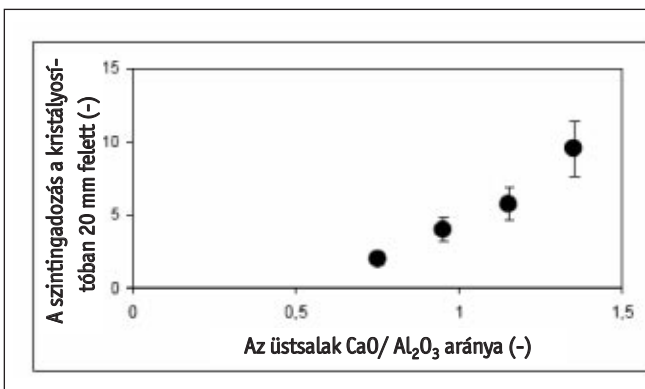
Néhány százalék Ca-aluminát elegendő ahhoz, hogy súlyos eltömődést okozzon (16. ábra). Az Arcelor gyors röntgensugaras módszert dolgozott ki, amely lehetővé teszi a ferroötvözetek Ca-tartalmának a meghatározását 0,01%-ig [22]. A korai öt-



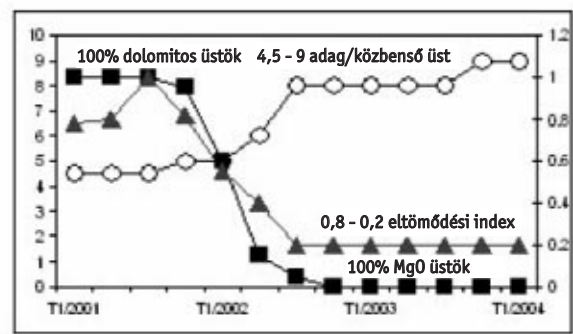
■ 12. ábra. Az eltömődés és a szintingadozás a kristályosítóban a fémes titán/alumínium aránytól függően [5]



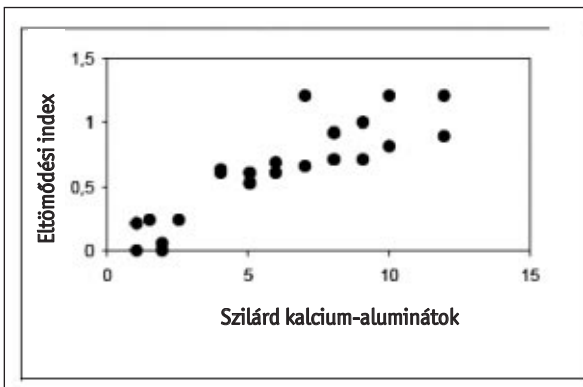
■ 13. ábra. A hosszabb várakozási idő az Al és Ti beadagolása között korlátozza a vegyes oxidok képződését és csökkenti a szintingadozást a kristályosítóban [5]



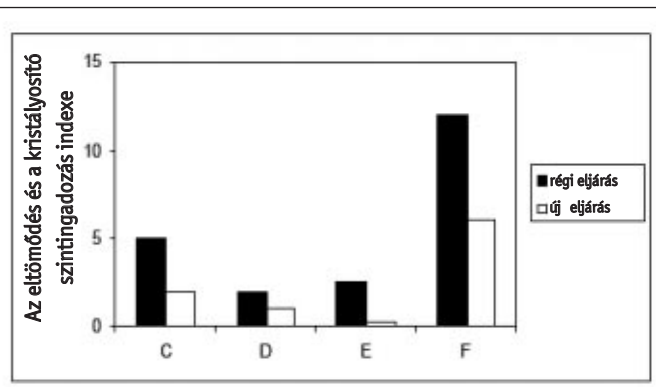
■ 14. ábra. Az üstsalak CaO-Al₂O₃-tartalma közötti arány csökkentése előnyös az eltömődés csökkentéséhez [5]



■ 15. ábra. Dolomit üst nélkül erősen nőtt a szekvens öntés hossza és javult a minőség [5]



■ 16. ábra. Néhány százalék kalcium-aluminát elég ahhoz, hogy súlyos eltömődést okozzon [5]



■ 17. ábra. A korai ötvözés vagy a ferroötvözetek helyes kiválasztása nagyon hatékony (C-F jelű üzemek tapasztalata)

vözés vagy a ferroötvözetek e módszer használatával történő kiválasztása lehetővé teszi az ilyen nem kívánatos zárványok elkerülését (17. ábra).

Hatékony mód a zárványpopuláció bármely változásának az észlelésére a közbenső üstből vett minták rendszeres online minősítése olyan gyors módszerrel mint a PDA (Pulse Discrimination Analysis) [23].

Következtetések

A káros reoxidáció korlátozása az acélgártás és az öntés különböző szakaszaiban lényeges a termékek megkívánt minőségének az eléréséhez. Az acél kellő tisztaságának a biztosításához minden intézkedést meg kell tenni: tiszta acélnak kell érkeznie a folyamatos öntő berendezéshez, tömör öntőművi tűzálló anyagokra és argonos

semlegesítés alkalmazására van szükség, el kell kerülni az acél szennyezését az öntési sorozat indulásakor vagy új üst nyitásakor.

A tiszta, kis karbon tartalmú, alumíniummal csillapított és a Ti-SULC acélfajták öntése szabályozott argoninjektálást és helyesen kiválasztott tűzálló anyag használatát és ellenőrzését igényli. A kulcskérdés azonban a zárványmennyiség szabályozása. Mind a folyamatos öntés, mind a

szekundér metallurgiai eljárás fontos. Kulcspont a dezoxidációs zárványok kis mennyisége és az acél minimális káros reoxidációja. A hatékony, hosszú sorozathoz vezető intézkedéseket meghatározták, érvényesítették, és azok ma normák az Arcelor európai üzemében. Jellemzően 1600 tonna Ti-SULC acélt lehet önteni egy bemező tölcserrel [22].

Fordította: Szende György

Irodalom

- [1] *NADIF, M. – BURTY, M. – LEHMANN, J.*: et al (Arcelor Research, France), "Control of steel re-oxidation and CC nozzle clogging", IISI study on Clean Steel: State of the Art and Process Technology in Clean Steelmaking, Literature survey, IISI Committee on Technology (TECHCO), © International Iron and Steel Institute 2004, pp. 87-164
- [2] *CUI, J. – ZHI, J. – ZHENG, J. – JIANG, X. – CHEN, H. – ZHANG, L. – MOU, J.*: (Baoshan, P.R. China and University of Illinois, Urbana, USA), "Castability Improvement of the Slab Continuous Casting at Baosteel", ECCC 2005, Nice, June 20-22, 2005
- [3] *BURTY, M. – DUNAND, P. – RITT, JP. – SOULARD, H. – BLANCHARD, A. – JEANNE, G. – PENET, F. – PLUQUET, R. – POISSONNET, I.*: (Arcelor France), "Control of DWI steel cleanliness by lanthanum tracing of deoxidation inclusions, ladle slag treatment and a methodical approach", 80th Steelmaking Conference proceedings, Chicago, April 1997, pp. 647-653
- [4] *DOMGIN, JF. – GARDIN, P.*: (Arcelor Research, France), "Limitation of slag entrainment in tundish and consequent reduction of ladle heel", SOHN Symposium International "Advanced Processing of Metals and Materials", San Diego, August 2006
- [5] *SANKARANARAYANAN, R. – GUTHRIER, I.L.*: (Montreal Univ., Canada), "Slag entraining vortexing funnel formation during ladle teeming: Similarity criteria and scale-up relationships", Ironmaking and Steelmaking, Vol. 29, N°2, 2002
- [6] *WUNNENBERG, K.*: (HKM, on behalf of IISI Clean Steel WG), "IISI Study on Clean Steel", ECCC 2005, Nice, June 20-22, 2005
- [7] *BURTY, M. – DOMGIN, J.F. – PUSSÉ, C. – SOULARD, H.*: (Arcelor Research, France), "How to maximize metal cleanliness in transient casting periods in tundish?", Scanmet II, Lulea, Sweden, June 6-9, 2004
- [8] *PETRY, S. – GESELL, M. – BEIRER, G. – GRZIWOTZ, U.*: (Thyssen Krupp Steel AG, Germany), "Prevention of Ladle Slag Carry-over by an Advanced Slag Detection System", ECCC 2005, Nice, June 20-22, 2005
- [9] *LANGE, M. – CLAES, J. – JOLY, A.*: (Arcelor Chertal), "Clean Steel Block - New developments towards clean steel", La Revue de Métallurgie-CIT, June 2003
- [10] *BURTY, M. – TAVERNIER, H. – DOMGIN, JF. – PUSSÉ, C.* (Arcelor Research, France) – *RUSSIER, H. – BECQUERELLE, P. (U&A) – SIRUGUE, O.*: (IUP Imphy), "Methodology of fluid flow assessment in tundish to control metal cleanliness", 4th European Stainless steel science and Market Conference, La Vilette (Paris), June 2002
- [11] *ANDRY, E.* (Arcelor Cockerill-Sambre, Chertal) – *BOISDEQUIN, V.*: (Vesuvius Systems Division, Belgium), "New "Clean Steel" Ladle Slide Gate Installed in Arcelor Chertal", ECCC 2005, Nice, June 20-22, 2005
- [12] *SJÖSTRÖM, U. (MEFOS) – BURTY, M. – GAGGIOLI, A. – RADOT, JP.*: (Arcelor), "An experimental study of argon injection and aspiration of air into stopper rods in continuous casters", 1998 Steelmaking Conference proceedings, Toronto, March 1998, pp. 63-72
- [13] *LEHMANN, J. – BOHER, M. – KAERLE, MC.*: (Arcelor Research), "An experimental study of the interactions between liquid steel and a MgO based tundish refractory", Proceedings of the 2nd International Symposium on advances in refractories for the metal industry, Montreal, Canada, 1996, pp. 25-29.
- [14] *RUBY-MEYER, F. – LEHMANN, J. – GAYE, H.*: (Arcelor), "Thermodynamic analysis of inclusions in Tideoxidized steels", Scandinavian Journal of Metallurgy, 29 (2000), 206-12
- [15] *GUIBAN, M. A. – POIRIER, J. – DE LORGERIL, J. – GUYOT, V. – DIOT, C.* (Arcelor) – *HANSE, E. – DUMAS, P.*: (Vesuvius), "Development of new continuous casting refractories to reduce alumina clogging", 26th McMaster Symposium on Iron and Steelmaking, Hamilton, June 2-4, 1998
- [16] *SUMIDA, M. (NSC), – NADIF, M. (Arcelor Research, France), – TUSSET, V.*: (CRM), "ULC and LC grades", IISI study on Clean Steel: State of the Art and Process Technology in Clean Steelmaking, Industrial Practice Worldwide, IISI Committee on Technology (TECHCO), © international Iron and Steel Institute 2004, pp.365-405
- [17] *BURTY, M. – PEETERS, L. – PERRIN, E. – MÜNZER, S. – COLUCCI, P. – SALVADORI, D. – SCHADOW, F. – VALCARCEL, JM. – CLAES, J.*: (Arcelor FCSE), "Some keys to reach long-sequence casting", Stahl und Eisen / Revue de Métallurgie, Nov. 2005
- [18] *BURTY, M. – LARRECQ, M. – PUSSÉ, C. – ZBACZYNIAK, Y.*: (IRSID), "Experimental and theoretical analysis of gas and metal flows in submerged entry nozzles in continuous casting", La Revue de Métallurgie-CIT, October 1996, pp. 1249-1255
- [19] *BURTY, M. (Arcelor Research) – GESELL, M. (TKS) – DE SANTIS, M.*: (CSM), "Behaviour of argon bubbles in the casting machine", ECSC 7210/PR/ 013 97- C3 project, July 1997 – June 2000
- [20] *DAWSON, S.*: (BRITISH STEEL), "Tundish nozzle blockage during the continuous casting of Al-killed steel", I&SM 17/4, pp. 33-42, April 1990
- [21] *FAULRING, GM. – FARELL, JW. – HILTY, DC.*: "Steel flow through nozzles: influence of calcium", Electric Furnace Conference proceedings, Vol. 37 (1979), pp. 219-229
- [22] *VALCARCEL, J. – PEETERS, L. – BURTY, M. – SCHADOW, F. – PERRIN, E. – COLUCCI, P. – SALVADORI, D.*: (Arcelor FCSE), "Zero clogging at continuous casting", ATS International Days, Paris, December 14-15, 2006
- [23] *MEILLAND, R. – RUBY-MEYER, F. – BURTY, M. – MEDINA-DIAZ, F.*: (Arcelor FCSE), "Use of PDAOES technique in Arcelor steel plants", ATS International Days, Paris, December 15-16, 2005

Pereházy Károly: Az európai kovácsoltvas-művesség története

Az európai kovácsoltvas-művesség történetét és tárgyi emlékeit szakszerűen ismertető, szép stílusban írt, páratlan értékű könyvet vehet kezébe a vasművesség és kultúrtörténet iránt érdeklődő olvasó. A könyv második és egyben bővített kiadás; az első 1984-ben jelent meg. Sajnálatos, hogy a szerzője, *Pereházy Károly* e második kiadást már nem élhette meg, de ennek előszavát még megírta: záró – talán búcsúzó – mondata: „A rég elfogyott kötet jelenlegi, reprezentatívabb közreadása reményeim szerint a szakmabelieknek és a sajátos művészet iránt érdeklődőknek egyaránt újdonságot jelent, és remélhetőleg sok új barátot szerez magának a művességnek.” Köszönet illeti a kiadás szerkesztőit, *Német Anikó Annamáriát* és *Lőrinczi Zsuzsát*. Őket is idéznem kell: „Az igényes kivitelű kiadással reményeink szerint méltó emléket állítunk e letűnőben lévő művességnek és annak talán utolsó igazán avatott hazai szakértőjének, e kötet szerzőjének, aki saját bevalása szerint a kovácsoltvas-remek szelme volt.” Bizton állíthatjuk, hogy mind a szerző, mind a szerkesztők reményei teljesültek. A kovácsoltvas-művesség története az általános művészettörténet és művelődéstörténet egyik speciális, jobbára az építészethez tapadó ága, melynek emlékei – főként ajtók, kapuk, rácsok – az egymást követő építőművészeti korok ípartörténetének vonásait is viselik. Az egyes, könyvben vizsgált korszakok változó alakzatát, szerkezetét, stílusát szemléltető képeken és leírásokban ismerhetjük meg.

A preromán vasművesség az ókori kultúrák, az ókeresztény, bizánci és barbár népek művészetének stílusjegyeit viselnék, ha tárgyi emlékei maradtak volna. Nem maradtak, de számos régi ábrázolás bizonyítja, hogy a vasnak az építészetben való tudatos felhasználása az ajtódeszkákat összefogó egyszerű vaspántokkal kezdődött.

A román kor kezdetét Kr. u. 1000 körülre teszik. A magas színvonalú római civilizációt a népvándorlás elpusztította. Az újonnan kialakult feudális társadalmi rendben Európa szellemiségét évszázadokon át az egyház határozta meg. A művé-

szi kovácsolás fontosabb területei a templomok, kolostorok és várak voltak: legrégebbi vas emlékeink az ajtóvasalatok, amelyek már nem egyszerűen a deszkákat összetartó pántok, hanem közöttük a mezőket díszítő elemekkel is kiegészítették. A megmaradt magyar ajtópánt emlékek kevéssé díszesek, de céljaiknak megfeleltek. A vasrácsok közül egyszerűségükben is szép ajtórácsokat, szentélyrácsokat, kápolnarácsokat ismerünk meg Európa néhány templomából.

A gótikus korban városházák, raktárak, nagyobb polgári házak, középületek is épültek, így a kovácsoltvas-művesség hatóköre kitágult. Szépen díszített ajtópántok, ajtóvasalások, vaslemezzel bevont vasajtók készültek és maradtak meg napjainkig hazánkban is. A gótikus rácsok sok változatának szöveges és képi bemutatása külön tanulmánynak is beillik. A lemezki-vágások és domborítások műveleteivel készült, csodálatra méltó európai szentség-házajtók rácsai között a magyar remekművek is tekintélyes helyet kapnak.

A reneszánszban a világi és egyházi építészet egyensúlyba került egymással, az egyházi építmények mellett paloták, tőzsdék, iskolák, könyvtárak, kastélyok épültek. Új esztétikai hatást jelentett a féemberakás és maratás, a tausírozás, majd a perspektivikus ábrázolás. Az ajtópántok

egyszerűsödtek. A rácsok sűrűbb hálózattal, több díszítőelemmel, finomabb kivittel készültek. A kor vasművességében a németeké a vezető szerep. A német műlakatosok híres művészek által készített metszetek után kovácsolták műveiket.

A barokk építészet kiemelkedő alkotásai voltak az uralkodói, egyházfejedelmi és főúri paloták és kastélyok. Mint az építészetet, úgy a vasművességet is a díszítőelemek bősége jellemzi. A német-osztrák vasművesség központja Bécs. Itt kiemelhető a Belvedere főkapuja (1. ábra); már csak azért is, mert azt az 1720-as években az a *Johann Georg Oegg* mester készítette, akinek a kezei alatt tanult *Fazola Henrik*, a később Egerbe szegődött lakatos, az európai híru egrí rácsok és kapuk kovácsa és a diósgyőri (háromi) vasgyár alapítója. Az olvasó szebbnél szebb, Európa különböző részeiből származó rácsokban gyönyörködhet és olvashat alkotóikról. Az egykori Magyarország területéről ugyancsak sok szép vasműves emlék maradt meg ebből a korból.

A rokokó a barokk fejlődésének utolsó, fényes korszaka. A csodálatos paloták fényűzően dekoratív vasművészeti remekeket kaptak. Természetesen most is a rácsoké a főszerep. A rokokó kovácsoltvas-művességét a francia *Jean Lamour* és a német *Johann Georg Oegg* munkássága



■ 1. kép. Bécs, a Belvedere főkapuja

fémjelzi. A külföldi rácsok sokasága mellett Sümeg, Eger, Fertőd, Gödöllő, Pécel, Fertőszéplak, Tata, Tihany és Kassa kovácsoltvas remekei is megjelennek a képeken. A Kárpát-medence legjelentősebb rokokó emléke az egri Megyeháza két kapurácsa és felülvilágító rácsa.

A klasszicizáló késő barokk művészete a polgárság ízlésének megfelelő formákat keresi. A rokokó túlzottan díszes vasművességének ellenáramlataként jelenik meg egy egyszerűbb ornamentikával, visszatekint a klasszikus formákhoz. E fejezetben a magyar világi vasművesség is rangos helyet kap.

A művészeti formák évszázadokig töretlen fejlődése a XIX. században abbamarad, a klasszicizmus jegyében alkotó művészek a régi formákat másolják. A vasművesség alkotásai a praktikumot szolgálják. A tűzikovácsolást kiváltja a hidegalakítás, a korszak végére megjelenik az öntöttvas is, és számos területen kiszorítja a kovácsvasat. Az ajtópántok és vasajtók készítése rutinfeladattá egyszerűsödik. Rácsból a művészeti megjelenésben jelentéktelenebb munkák száma nőtt, ezért közülük a könyv is csak keveset emel ki. A kor átlagszínvonala fölé emelkedő munkának tekinthető a budavári Dísz tér 13. sz. ház lépcsőházkapuja.

A historizmus korszakában a romantika az öntöttvasé, az eklektika a kovácsoltvasé. Az eklektikára jellemzően a korábbi művészeti stílusokból válogatott elemek jelennek meg. A vasművesség mai mesterei számára különleges feladatokat jelent a régi épületek felújítása eredeti vasműves kapukkal, lambériákkal, rácsokkal együtt.

Magyarországon a vasművesség ragyogó korszaka ez, igazi virágkora. Sok kitűnő, európai hírnevet szerzett műlakatosunk van. Nevüket a könyv is megörökíti. A korszak talán legnagyobb mestere *Jungfer Gyula*; munkái közül az Andrassy u. 88-90. ház kapuját mutatjuk be (2. ábra). A magyar művészek rangját érzékelteti, hogy a korszak itt képeken bemutatott és nevesített 13 művészi munkájából 11 mű magyar.

A szecesszió vasművességének jellemzője a díszítések vonalrendszerének kusza futása, vastagítása, vékonyítása. A secessió = elszakadás azt fejezi ki, hogy a mű-

vészet elszakad a megelőző történeti stílusoktól; új szemlélet, új dekorativitásra való törekvés jelenik meg. A szecesszió, mint stílus megenged a műalkotásba nemzeti motivitást is beépíteni. Hazánkban a milenniumi évek kedvező feltételeket teremtettek a keleti beütésű (perzsa, török) magyaros stílus megteremtésének. Számos kiváló hazai műlakatos alkotott remekművet itthon és Európa-szerte.

A népi vasművesség termékei a különféle szerzők, háztartási felszerelések, gyertyatartók, ajtó- és ablakrácsok, kopogtatók, ostyasütők, szélkakasok, temetői sírkeresztek stb. Ezeknek elsősorban használati értékük volt, de az évszázadok előrehaladtával már díszeket is hordoztak. A falusi templomok és közösségi épületek felszerelését általában a helybeli mesterek készítették, így sok templomi és kápolnai rács, persely, keresztelőkút és állvány falusi kovács munkája.

A könyv igen szép nyomdatechnikával készült kereken 200 – igen apró betűkkel írt – oldala 235 képpel több kötetnyi terjedelmű tudományos anyagnak felel meg. További 27 oldalon 1375 hivatkozás, névmutató (540 névvel) és képjegyzék növeli tudományos értékét.

A maga művészeti területén páratlan értékű könyv bizonyosan maradandó hatással lesz olvasóira. E sorok írójának – mint kohásznak – az érzelemvilágához a forrasztott vas (forrasztott acél) korszakában kézzel kovácsolt vaslemezből, vas-



■ 2. ábra. Budapest, az Andrassy út 88-90. parkkapuja

szalagból és vasrudacsokból álló, a lakatosok, kovácsok vagy klastromi barátok által alakított és Isten nagyobb dicsőségére tűzben egybeforrasztott gótikus és reneszánsz vasremek állnak közelebb. A gazdag uralkodók, főurak és főpapok a maguk nagyobb dicsőségére művészekről rendelt tervek alapján hengerelt folytacél lemezekből, szalagokból és alakos rudakból műlakatosok által, fejlett technikával alakított és összeszerelt művészi remekei viszont örömmel töltenek el. Ismét bebizonyosodott, hogy a vas (acél) nem csak nélkülözhetetlen szerkezeti anyag, hanem kovácsolva (vagy öntve) az emberiséget gyönyörködtetni is képes.

📖 Sziklavári János

A könyv kapható az OMM Öntödei Múzeumában, ára: 5000 Ft.