



Károly Gyula – Kiss László – Károly Zoltán

ACÉLOK ÜSTMETALLURGIAI KEZELÉSE

Miskolci Egyetem
2012/13



Károly Gyula - **Kiss László** - **Károly Zoltán**
műsz. tud. doktora dr. techn. PhD
Prof. emeritus c. egy. docens

ACÉLOK ÜSTMETALLURGIAI KEZELÉSE

A digitális tananyag a TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0071 számú, *Kompetencia alapú, korszerű, digitális komplex tananyagmodulok létrehozása és on-line hozzáférésük megvalósítása fémtechnológiákhoz kapcsolódó felsőfokú műszaki képzési területeken* című projekt keretében készült

Lektorálta:

Dr. Szőke László
a műsz. tud. kandidátusa
c. egyetemi tanár

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	3
ELŐSZÓ.....	5
1. AZ ÜSTMETALLURGIÁVAL SZEMBENI ELVÁRÁSOK.....	6
2. AZ ÜSTMETALLURGIAI BERENDEZÉSEK FEJLESZTÉSTÖRTÉNETE	10
2.1 A hagyományos öntőüst szerepe az üstmetallurgiában.....	10
2.2 Egyszerű vákuumkezelési eljárások.....	14
2.3. Kombinált üstmetallurgiai eljárások	17
2.3.1. LF-kemence.....	20
2.3.2. CAS-OB ill. IR-UT kemence	22
2.3.3. VAD, VOD, ASEA-SKF eljárások	24
2.3.4. RH-OB ill. KTB eljárás.....	30
2.4. Injektációs technológiák	32
2.4.1. A porbefűvós kezelés helye és szerepe az acélgyártásban.....	32
2.4.2. Az Al-huzalos kezelés sajátosságai.....	38
2.4.3. A porbeles huzalos kezelés helye és szerepe az acélgyártásban	42
2.4.3.1. A porbeles huzalos kezelés kialakításának mozgatórugói	42
2.4.3.2. A porbeles huzalos kezelés módjai, sajátosságai	45
2.4.3.3. A porbeles kezelésnek a porbefűvós kezeléssel szembeni előnyei külföldi tapasztalatok összegző értékelése alapján	49
3. AZ EGYES ÜSTMETALLURGIA KEZELÉSEK FŐBB SZEMPONTJAI	51
3.1. Oxigénszint-szabályozás üstmetallurgiai eszközökkel	51
3.1.1. Az acéolvadék oxigénszintjének mérése.....	53
3.1.2. Dezoxidáció az öntőüstben klasszikus kicsapós módszerekkel.....	57
3.1.3. Dezoxidáció az öntőüstben nem klasszikus üstmetallurgiai módszerekkel	59
3.2 Reoxidáció az üstmetallurgiai kezelések során	64
3.3. Acélok kicsapós és diffúziós kéntelenítése az üstmetallurgiában.....	66
3.3.1. A kéntelenítés nemzetközi trendje	67
3.3.2. Az alumíniumkohászati salakok szerepe a kéntelenítésben	71
3.3.3. Laboratóriumi vizsgálatok.....	73
3.3.4. Dunaújvárosi üzemi kísérletek	74
3.4. Acélok tisztítása argonos átöblítéssel.....	76
3.4.1. Az argonos átöblítés eredményezte áramlási viszonyok tanulmányozása	77
3.4.2. A tisztasági fok javíthatósága az áramlási viszonyok módosításával	83
AZ ÜSTMETALLURGIÁVAL SZEMBENI ELVÁRÁSOK (2.fejezet) ÉS A SZÜKSÉGES KEZELÉSI MŰVELETEK (3.fejezet) ÖSSZHANGJÁNAK MEGTEREMTÉSE	85
4. Bevezetés az üstmetallurgiába	89
4.1. Üstmetallurgia fejlődése.....	89
4.2. Ötvözők mennyiségének számítása.....	90
4.2.1. Elemi beadagolások.....	90
4.2.2. Előötvözetek adagolása	91
4.2.3. Keverési idő.....	92
4.2.4. Ötvözés időzítése.....	92
4.2.5. Az adalékok hűtő hatása.....	92
4.3. Üstmetallurgia szimulációja	92
4.3.1. A szimuláció működtetése	94
4.3.2. A gyártható acélfajták jellemzése.....	95
4.3.3. Adaggyártás.....	96

IRODALOMJEGYZÉK.....	102
TESZTFELADATOK.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.

ELŐSZÓ

250 évvel ezelőtt, Mária Terézia királynő 1762. október 22-i rendeletével indult be – a világon elsőként – a bányász-kohász akadémiai szintű képzés a selmeci tanintézetben. Az 1867-es osztrák-magyar politikai kiegyezéssel a selmeci akadémia magyar állami intézmény lett. Kerpely Antal professzor az 1872-ben alapított Vaskohászat és Vasgyártás Tanszéken még az 1872/73-as tanévben megjelentette az első magyar nyelvű kohászati tankönyvet, a kétkötetes Vaskohásztan-t. A hazai kohómérnökképzés azóta eltelt 140 éve során – Selmecen-Sopronban-Miskolcon – a tematikában, az oktatásszervezésben, a jegyzetellátottságban számos változás következett be, most, a 2012/2013-as tanév során a kor követelményeinek megfelelően – a TÁMOP-4.1.2.A-1-11/1 sz. pályázat elnyerése alapján megindult jegyzet korszerűsítés során – elsőként jelennek meg digitális jegyzetek az acélgyártás témakörében (az egymásra épülés sorrendjében az alábbiak):

Károly Gyula:
Acélmetallurgia alapjai

Károly Gyula – Józsa Róbert:
Konverteres acélgyártás

Károly Gyula – Kiss László - Harcsik Béla:
Elektroacélgyártás

Károly Gyula – Kiss László - Károly Zoltán:
Acélok üstmetallurgiai kezelése

Károly Gyula – Réger Mihály – Harcsik Béla:
Acélöntés, speciális acélgyártás

Tardy Pál – Kiss László – Károly Gyula:
Speciális acélok gyártásának metallurgiai, energetikai, környezetvédelmi, minőségbiztosítási szempontjai
*

Tardy Pál – Károly Gyula:
Acélgyártásnál a technológiafejlesztés, adagvezetés elméleti megfontolásai, vertikális szempontjai

Kiss László – Józsa Róbert – Harcsik Béla:
A primer acélgyártás technológia tervezésének, technológiafejlesztésének gyakorlati szempontjai

Kiss László – Józsa Róbert – Harcsik Béla:
Az üstmetallurgia és a folyamatos öntés technológia tervezésének, technológiafejlesztésének gyakorlati szempontjai

Az utóbbi 3 jegyzet az Európai Unióban mindmáig egyetlenként elfogadott közös tananyag, a steeluniversity magyar nyelvű adaptációját ill. hazai vonatkozásokkal kiegészítését jelenti, mely rövidesen a www.steeluniversity.org honlapon található. Jegyzetkorszerűsítéseink során figyelembe kellett vennünk, hogy az a mai kohómérnökképzés négyes lépcsőjének (felsőfokú szakképzés-BSc képzés-MSc képzés-PhD képzés) megfeleljen, segítse az elméleti felkészülés mellett a gyakorlatorientált mérnökképzést is. Ezen jegyzetek mindegyike a www.tankönyvtar.hu honlapon, ill. a Vaskohászat és Vasgyártás tanszék mai jogutódjának, a Miskolci Egyetemen működő Metallurgiai és Öntészeti Intézet-nek a honlapján (www.metont.uni-miskolc.hu) tekinthető meg.

Szerzők

1.AZ ÜSTMETALLURGIÁVAL SZEMBENI ELVÁRÁSOK

Az acélgéártás gyakorlatában napjainkban az a tendencia vált világszerte uralkodóvá, hogy a primer acélgéártó kemencékben (többsnyire konverterekben avagy elektrókemencékben) oxidáló periódus alatt géártott acélt csapolást követően, az üstben kiegészítő üstmetallurgiai műveletekkel oly mértékig finomítják, hogy az a kohászati vertikumból kibocsátott termék piaci elvárásainak, eladhatóságának legkedvezőbb feltételeit – metallurgiai szempontból – kielégítse.

A felhasználói igények erősen szóródóak, az eladhatóság feltételei erősen különbözöek, érthetően – az utóbbi félvszázadban – az üstmetallurgiai megoldásoknak rendkívül széles változata alakult ki. Az üstmetallurgia szakirodalma rendkívül gazdag. A közelmúlt évtizedeinek szakirodalmaiból kiragadva és kiemelve elég Knüppel professzor [1] *Grundlagen und Verfahren der Pffannenmetallurgie* címmel 1983-ban, Holappa professzor [2] *Ladle injections metallurgy* címmel 1982-ben, Lange professzor [3] *Thermodynamic and kinetic aspects of secondary steelmaking processes* címmel 1988-ban megjelent összefoglaló jellegű tanulmányára. Három nemzetközi vákuummetallurgiai [4-6], ill. négy *Scaninject* [7-10] konferencia anyagára, Ototani professzor [11] 1986-ban *Calcium Clean Steel* címmel, Székely professzornak társszerzőkkel [12] 1988-ban *Ladle Metallurgy* címmel megjelent könyvére utalni. Pozitívan említhető, hogy e témakörben 1970-ben hazánkban indult el a *Clean Steel konferenciasorozat* indításával e témakör felgyorsítása. A jegyzet írása évében már a konferencia-sorozat 8. alkalommal is igen nagy külföldi érdeklődés mellett zajlott le.

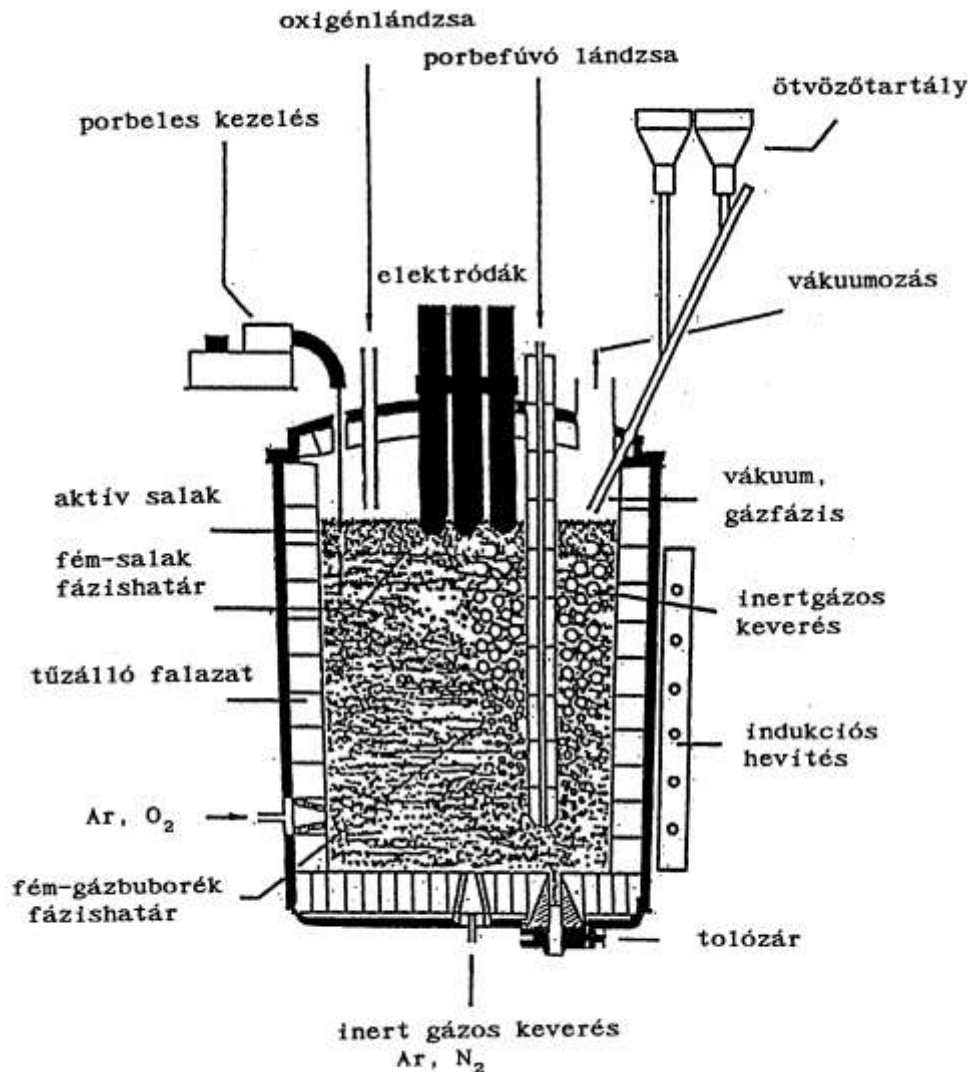
Az üstmetallurgia ma az 1. ábra szerinti beavatkozásokat „tudja” elvégezni. Elvben mindez egy üstben elvégezhető, gyakorlatban nem és nincs is rá szükség. Kérdés: a géártandó acélok minőségével megfogalmazódó igényeink közül, a csak üstmetallurgiai kezelésekkkel biztosítható igények kielégítése, milyen szelektív módszerrel végezhetők optimálisan hatékonyan és optimálisan gazdaságosan?

Mi ma a minden piacon versenyképesen eladható acélok minőségével szembeni elvárás? Ez elsősorban a tisztaság iránti igény folytonos növekedésével jellemezhető, a Clean Steel konferenciák alapján ez az 1. táblázat szerint változott [13].

1. táblázat A tiszta acél összetételi kritériumainak változása az utóbbi félvszázadban [13]

Összetétel, ppm	Időszak			
	1960	1980	2000	2020
Karbon	250	150	20	10
Foszfor	300	150	100	30
Kén	300	30	10	10
Nitrogén	150	70	30	20
Összoxigén	30	30	10	10
Hidrogén	6	6	1	1
Σ tartalom	1036	436	171	81

Ilyen mérvű tisztaságot egyetlen primer acélgyártó berendezésből sem tudunk biztosítani hatékonyan elvégzett üstmetallurgiai kezelés nélkül, sőt: az üstmetallurgiánál még természetes kíváncsalom továbbá, a megbízható és jó önthetőség, a gazdaságos szekvensöntés, a reprodukálható minőség, a kiváló dezoxidáltsági szint, a megfelelő – felületi és belső hibákat nem eredményező, a mechanikai, technológiai, élettartam-tulajdonságokat javító – zárványosság, a biztos és gazdaságos mikroötvözés, stb.



1. ábra Az acélok üstmetallurgiai kezelésének lehetőségei, eszközei egy idealizált üstbe sűrítve

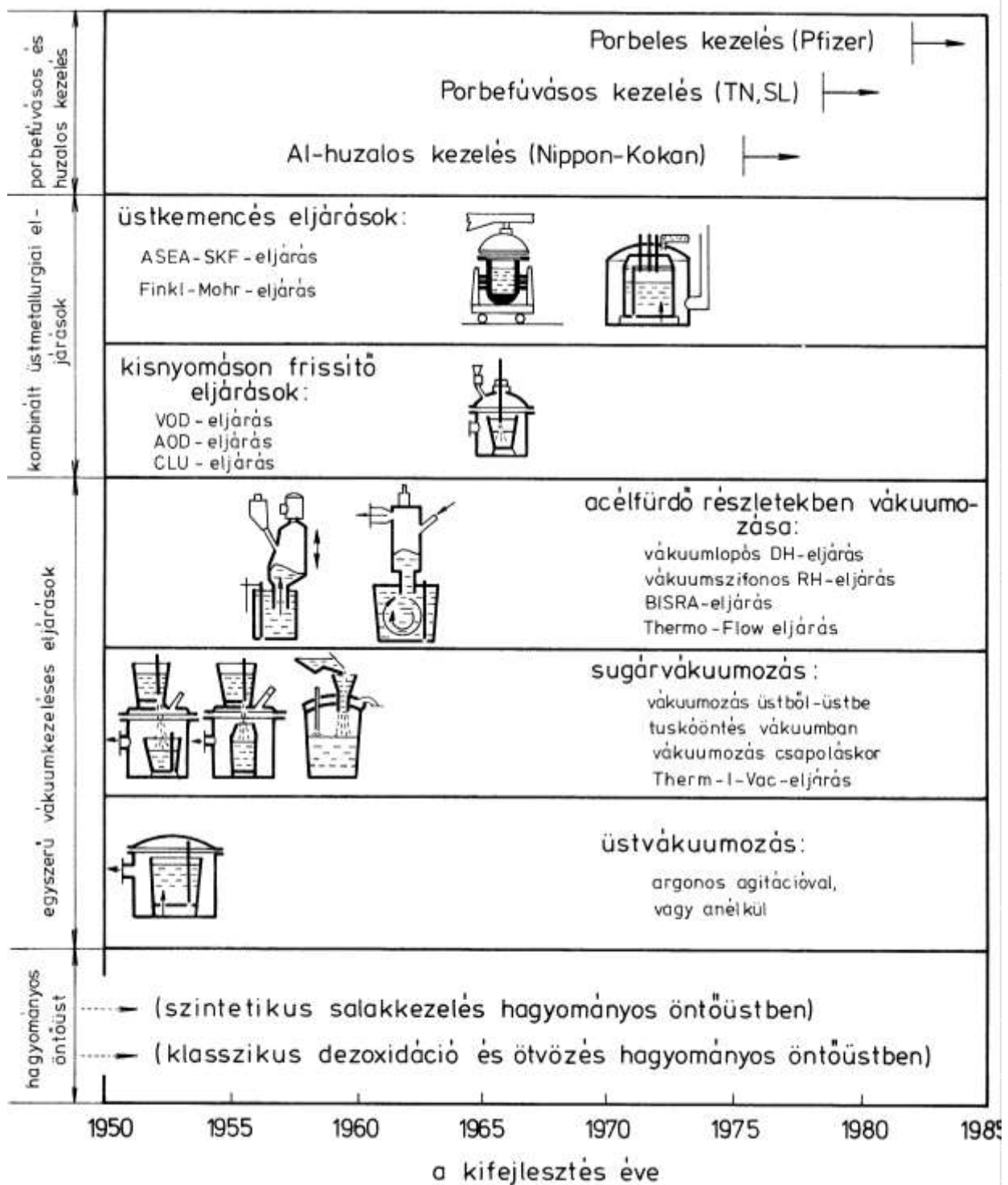
A megfogalmazódó igények szerint az üstmetallurgiával szembeni elvárások (üstmetallurgia kezelési módok) az alábbiak:

- Igen fontos az oxidos primer kemencei salak távoltartása az üsttől csapoláskor, ill. az üstbe esetlegesen átjutott primer salaknak a korrekciója, felváltása az elérendő metallurgiai szempontoknak (dezoxidáció, kéntelenítés, mikroötvözés és ötvözés, stb.) megfelelően
→ *salakviisszatartás, salakkorrekció, új salakképzés*

- Igen fontos az üstbe csapolt acél megfelelő keverése a hőmérséklet ill. az összetétel homogenizálása céljából:
→**termikus és összetételi homogenizáció**
- A megoldások széles skálájával segítettő a primer kemencében el nem végezhető dezoxidáció:
→**hatékony és gazdaságos dezoxidáció**
- Segítettő a primer kemencében el nem végezhető kéntelenítés:
→**hatékony és gazdaságos kéntelenítés**
- Segítettő a primer kemencében el nem végezhető mikroötvöztetés és ötvöztetés:
→**hatékony és gazdaságos összetétel-beállítás**
- Vákuumozás segíthet alkalmazása a C-, a Σ oxigéntartalom, a hidrogén- ill. nitrogéntartalom csökkentésében:
→**vákuumozás**
- Az újraoxidálódás, az újrafoszforszálódás elkerülésében (megelőzésében) hatékonyabb reoxidáció elleni védelem:
→**reoxidáció elleni védelem**
- Túlhevített acélfürdő hőmérsékletének csökkentése (Ar., hűtőhulladék), nem elég meleg acélfürdő esetén – főleg, ha a folyamatos öntésig az üstben lévő acélt várakoztatni kell – hevítés a kívánt csapolási és öntési hőmérsékletek elérésében:
→**hevítés**
- A zárványosság csökkentése az acél pihentetésével, argonos átöblítésével:
→**argonos átöblítés**

A felsorolt kezelési módok egyidejű elvégzése, az 1. ábra szerinti idealizált üstben, rendkívül bonyolult, esetenként ellentétes hatások kompromisszumos megoldásaként lennének elvégezhetőek, jóval az optimum feletti költségen.

Az igények prioritását alapulvéve, számos szelektív módon elvégezhető kezelési mód alakult ki az elmúlt fél évszázadban. Ennek egyfajta – kialakulások idő szerinti sorrendiségét alapulvevő – csoportosítását mutatja a 2. ábra.



2. ábra Az üstmetallurgiai berendezések (megoldások) kialakulása az elmúlt 60 évben

2. AZ ÜSTMETALLURGIAI BERENDEZÉSEK FEJLESZTÉS-TÖRTÉNETE

A 2. ábra az üstmetallurgia elvárások kielégítésére létrehozott berendezések fejlesztéstörténetét mutatja a múlt század közepétől napjainkig. Valamennyi üstmetallurgiai kezelés (üstmetallurgiai salak kialakítása, homogenizálás, dezoxidálás, reoxidáció elleni védelem, kéntelenítés, vákuumozás, ötvözés, hevítés, zárványtartalom-csökkentés, stb.) hatékonysága megköveteli, hogy a szóban forgó üstmetallurgiai folyamat fizikai-kémiai feltételeihez optimalizáljuk a technológiai műveleteket.

Egy-egy üstmetallurgiai kezelési mód elvégzése – mivel berendezés-igényes minden folyamat – egy-egy üstmetallurgiai berendezés kifejlesztését (esetlegesen átalakítását) igényelte. Ilyen berendezéssel már jellemezhetjük azt is, hogy milyen üstmetallurgia kezelési mód elvégzésére van lehetőségünk hatékony vagy kevésbé hatékony módon.

A 2. ábra a múlt század közepétől indul, ezen időszak a II. világháborút követő időszak, melytől a világméretű rombolást követően egy újabb ipari forradalom kezdetének lehettünk tanúi. Sokféle megfontolást alapulvéve az ábra szerkesztése 1985-ben záródik, nem azért, mert az ábra akkor készült, hanem azért, mert az ötvenes évektől máig eltelt 60 év első felében történtek meg az üstmetallurgiai fejlesztések. Azóta a fejlesztés látszólag nyugvópontra került, nincs újabb lényegesen új üstmetallurgiai kezelési mód, a meglévő berendezésekkel elvégezhető kezelések hatékonyságának növelése ma az aktuális feladat. Ezt igazolja a 3. ábra is, amely évtizedenként mutatja a fejlesztéstörténetet. A fejlesztés az 1980-as években jut a csúcusra, a szelektív injektálásos technológiák világszerte történő bevezetésével.

*

Az elmúlt 60 év során kifejlesztett üstmetallurgiai módszerek csoportosítására nincs egységesen elfogadott elv, megítélésünk szerint ezek lényegében a 2. ábra szerint az alábbi négy lényeges csoportba sorolhatók:

- üstmetallurgia hagyományos öntőüstben
- egyszerű vákuumkezeléses eljárások
- kombinált üstmetallurgiai eljárások
- injektálásos technológiák

Előbb sorra vesszük ilyen csoportosításban a különböző üstmetallurgiai eljárások ismérveit, majd ezt követően mivel egyrészt a korábban kialakult (és lezártak vélt) csoportokban sem állt meg a fejlesztés, másrészt az üstmetallurgiai műveletek sokszor kombináltan jelentkeznek – sorra vesszük berendezéstől függetlenül az üstmetallurgiával szembeni elvárásokat kielégíteni szándékozó üstmetallurgiai gyakorlatot, azaz csapolástól az öntés megkezdéséig elvégzendő metallurgiai feladatokat.

2.1 A hagyományos öntőüst szerepe az üstmetallurgiában

Amint azt a 2. ábra mutatja, üstmetallurgia az üstmetallurgiai berendezések fejlesztését megelőző évtizedek során is volt, erősen korlátozott méretekben és hatékonysággal. Hagyományos, szokásos öntőüstökben ugyanis – szintetikus salak és fürdőátkeverés nélkül – a me-

tallurgiai folyamatok közül csupán az ötvözés és a dezoxidáció végezhető el több-kevesebb sikerrel. Korlátozó tény, hogy

- a folyékony fürdő üstben tartózkodási ideje alatti hőmérsékletesés a kezelési időt erősen behatárolja,
- az üstben lévő – közel stacioner állapotú fürdő összetételbeli és hőmérsékletesési gradiensek miatt, korlátozottak a lehetőségek nagyobb mennyiségű ötvözőanyagok beadagolására,
- az ötvözés és a dezoxidálás hatásfokát rontja a csapoláskor üstbe kerülő salak, a reoxidáció, a salak-fém reakciók korlátozott lehetősége, stb. olyannyira, hogy ezek a hatások erősebbek, mint összességében a fürdőnek a csapolás előtti oxigéntartalma.

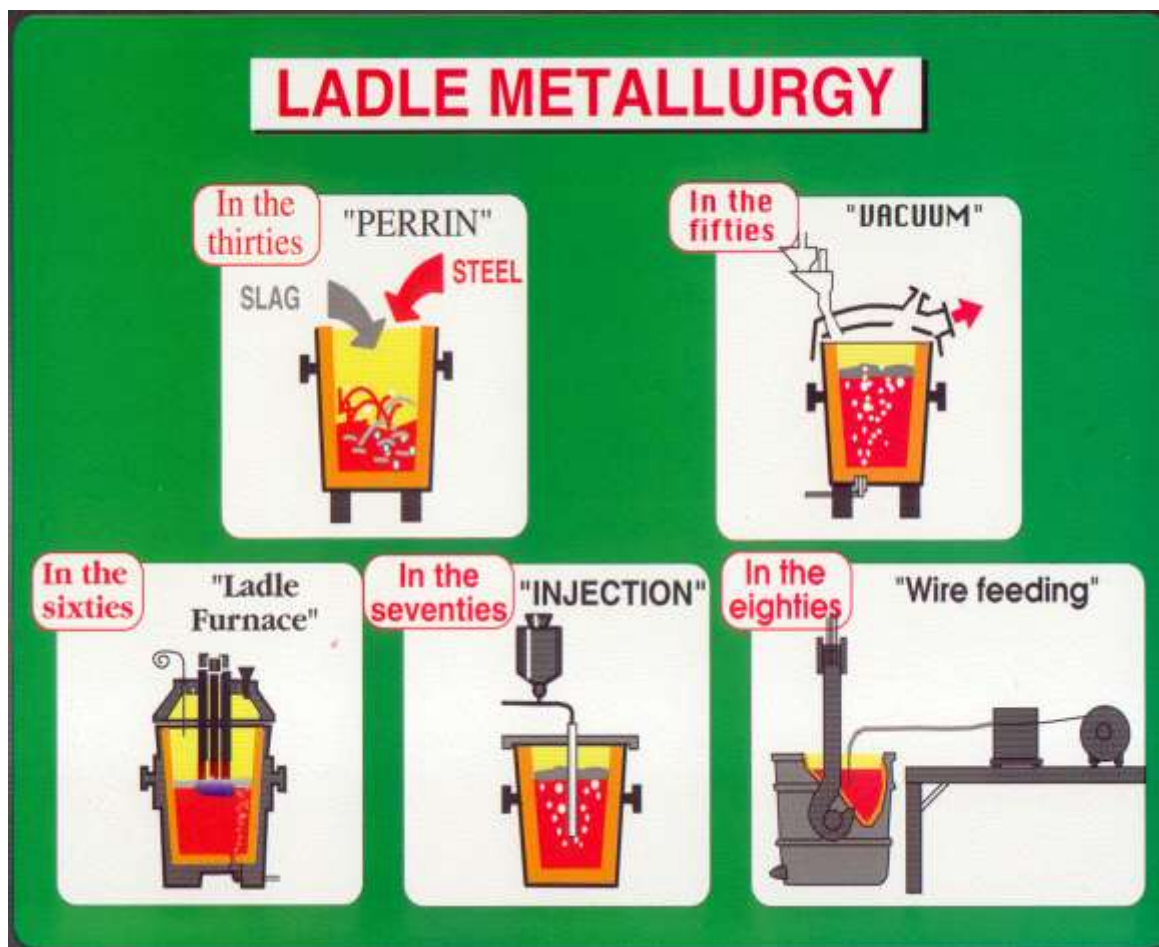
A korlátozó tényezőket figyelembe véve ma csak az ellenőrzött és reprodukálható csapolás, valamint az üstbe adagolás módszereinek folyamatos javítása teszi lehetővé a hagyományos üstök alkalmazását csupán korlátozott mértékű ötvözés és dezoxidáció elvégzésére.

A hagyományos öntőüstökben lejátszódó salak-fém reakciók messzemenőbb kihasználásához szintetikus salak és fürdő átkeverés (gázátöblítés) szükséges. A szintetikus salakkezelést Perrin, egy francia kohász vezette be még a múlt század 30-as éveiben (lásd 3. ábra). A kemencén kívül hidegen összekevert égetettmész-folypát csapolás közben került az üstbe, s a csapoláskor a kemencéből az üstbe mintegy 4-5 m magasból beeső folyékony acélsugár szabadesésének hatására keveredett össze az olvadék a salakképző anyagokkal, s végezte el azt a – többnyire kéntelenítési – folyamatot, amit egy szintetikus salaktól ilyen körülmények között elvárni lehet. De ez volt a kezdet, a mai korszerű üstmetallurgia sem nélkülözheti a szintetikus salakkezelést (nem mint önálló üstmetallurgia kezelést, hanem mint egy kombinált üstmetallurgia kezelés fontos elemét).

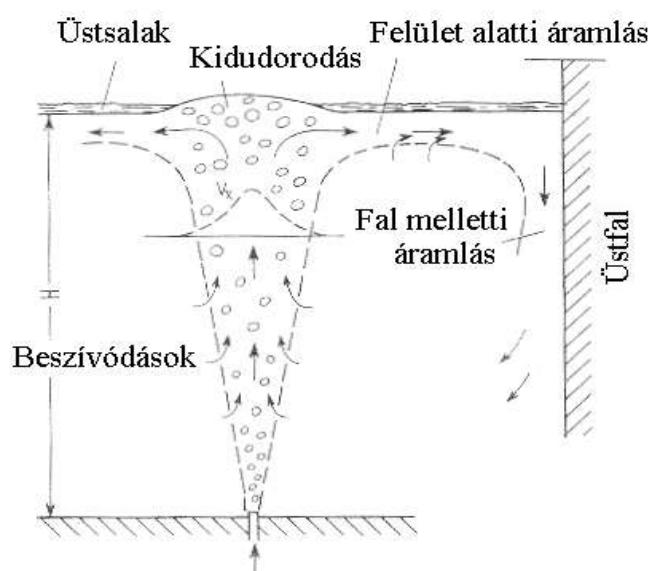
Az acélfürdő Ar-os keverése az acélfürdő összetétel- és hőmérséklet-eloszlás homogenizálásának és a zárványeltávolítása gyorsításának régóta alkalmazott egyszerű módszere.

Technikailag az Ar-os befúvatás történhet felülről vezetett merülőláncsán, üstfenékbe épített gázáteresztő porózus téglán vagy fúvókán keresztül. W.Pluschke [14] szerint a gyakoribb és a zárványok csökkentése érdekében hatékonyabb fenéken keresztüli átkeverésnél a 4. ábra szerinti áramlásképp alakul ki, többnyire buborékáramlás mellett. A diagram jól mutatja a keverés hatását, ugyanakkor korlátait is: az átkeverésnél holt zónák maradnak, s a felületen a reoxidáció nő. Ez is okozza, hogy az Al-os dezoxidációnál az Al-kihozatal oly kicsi és ingadozó értékű.

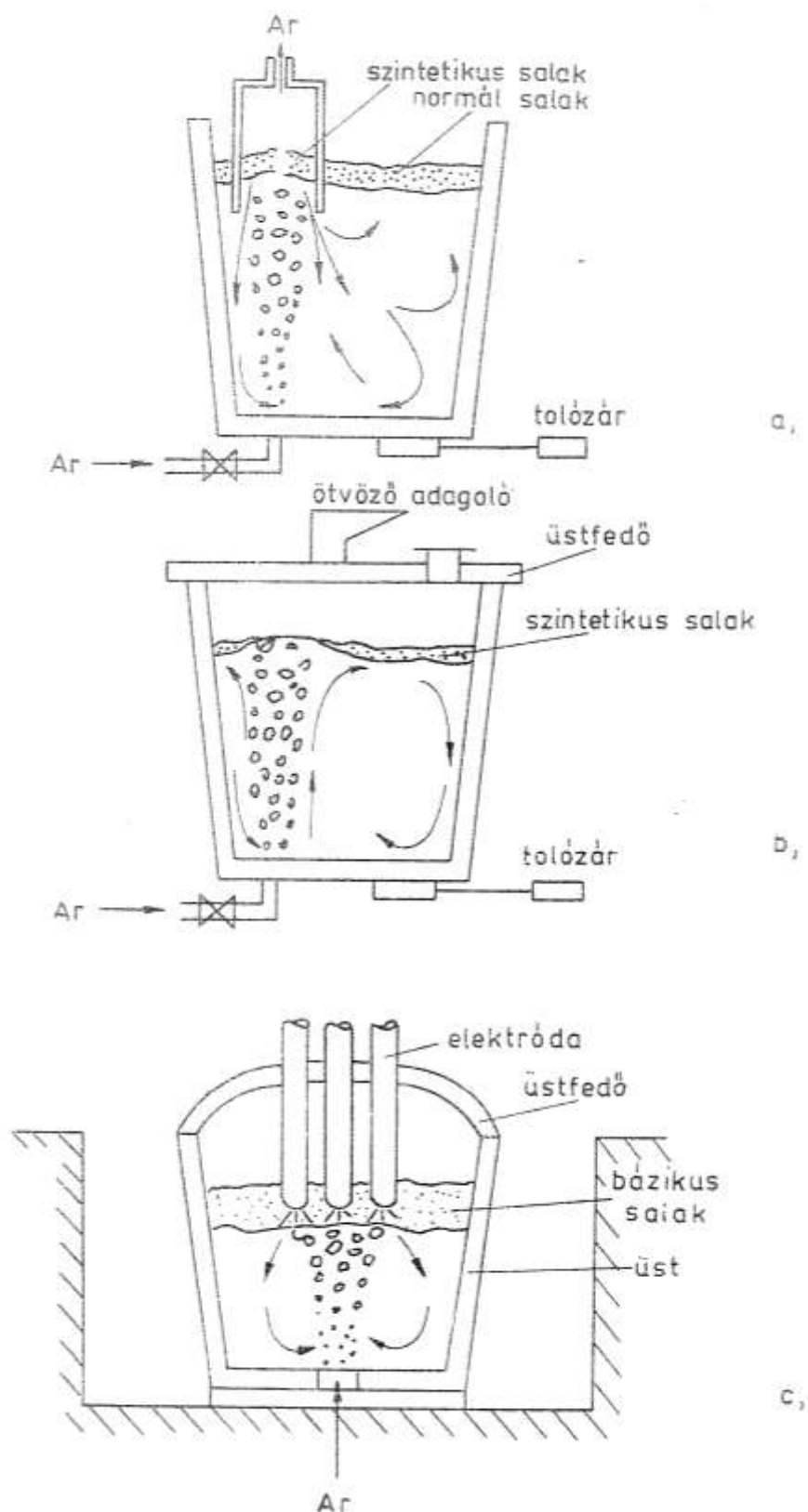
Hazai acélgyártó üzemünk mindegyike alkalmazza az Ar-os átkeverést, a tapasztalatok egyértelműen arra utalóak, hogy ez a fürdő összetételi és hőmérsékleti homogenizálására megfelel ugyan és gyakorta szükséges megoldás, önálló üstmetallurgia kezelésként ma már nem állja meg a helyét, kombinált üstmetallurgia kezelésnek viszont fontos része.



3. ábra A különböző üstmetallurgiai berendezések (egyben kezelési módok) fejlődéstörténete az elmúlt évtizedekben. [15-16]



4. ábra Az üstfenéken keresztüli Ar-átöblítés hatása az üstben lévő acéolvadéokra [14]



5. ábra A szintetikus salak alkalmazását Ar-os átöblítéssel kombinált SAB(a), CAB(b) ill. LF(c) eljárások

Az ún. SAB (Sealed Argon Bubbling), a CAB (Capped Argon Bubbling) ill. az LF (Ladle Furnace) eljárásoknál (5. ábra), ahol a $\text{CaO}:\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 40:40:20$ % körüli összetételű szintetikus salak mellett zárt térben, vagy a felület egy részére kiterjedően a fenéken keresztül befúvatott Ar-os keverés biztosít hatékony fém-salak keveredést. Az LF-eljárásnál ezt egyidejű hevítés segíti. Ezek a szintetikus salakkezelést, az Ar-os átkeveréssel kombináló újabb megoldások, a minőségi tömegacéloknál sok esetben eredményesen működtethetők. Kisebb reoxidáció miatt az Al-kihozatal is javul, hatásaik viszont mai megítélés szerint szerények az ún. kombinált üstmetallurgiai eljárásokhoz képest, ezért műszaki-gazdasági megfontolások szükségesek alkalmazásukhoz.

2.2 Egyszerű vákuumkezeléses eljárások

A hagyományos üstöket felhasználó üstmetallurgiai módszerek önmagukban az acélok finomításában szerény előrehaladást jelentettek, előbb-utóbb elkerülhetetlenné vált az acélok gáztartalmának szűkebb korlátok közé szorítása vákuumozással. A folyékony acél vákuumozásának számos variációs lehetősége van, a 2. ábra szerinti csoportosítást követve

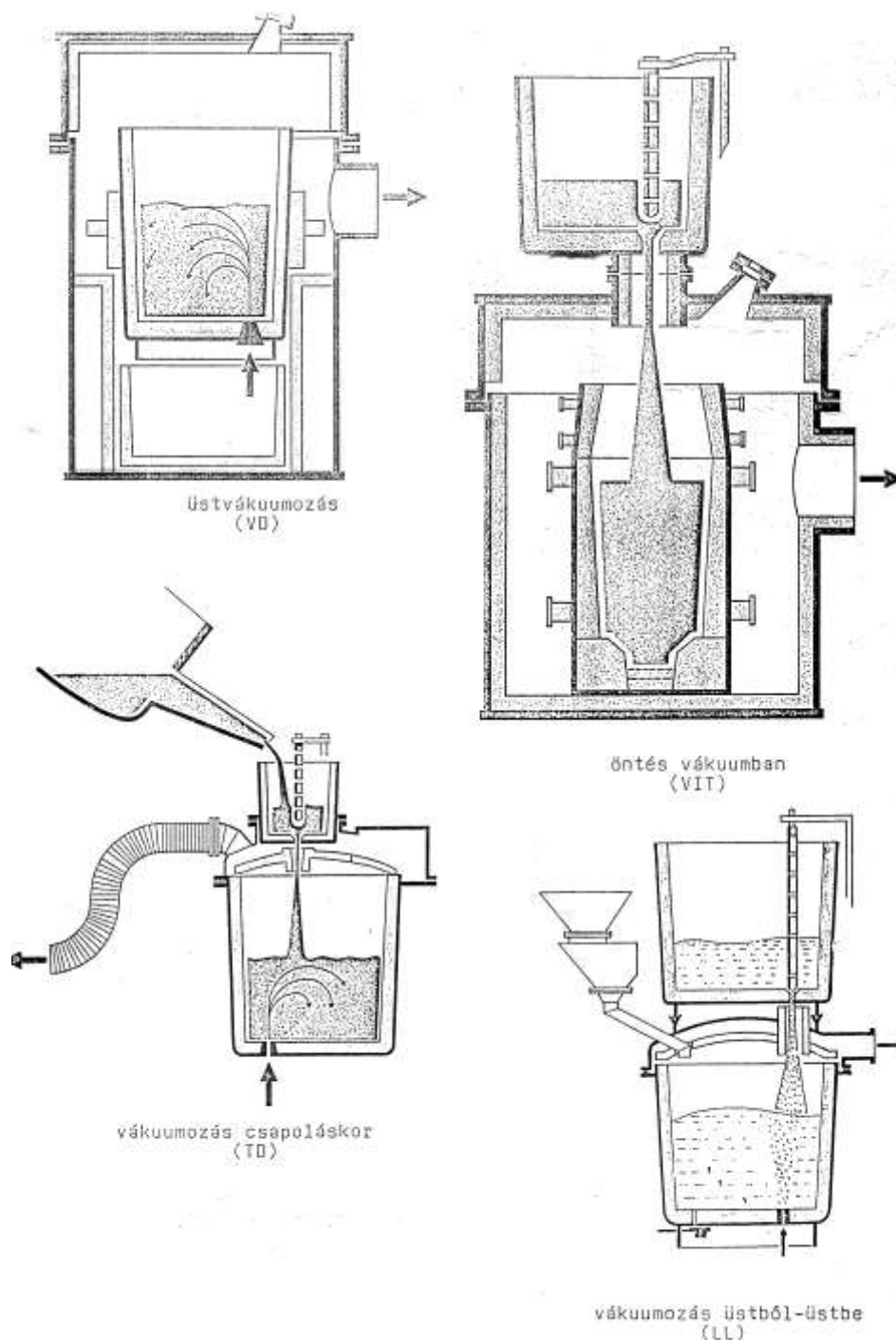
- a vákuumozás legkezdetlegesebb formája az üstben történő gáztalanítás (VD),
 - modernebb változat a sugárvákuumozás (TD, LL, VIT),
 - s végül elterjedt formái az acélfürdőt részletekben vákuumozó eljárások (RH, DH).
- (a jelölésekben való eligazodást segíti a 2. táblázat).

2. táblázat Hevítést nem alkalmazó (A), ill. hevítéssel is dolgozó (B) üstmetallurgiai berendezések ismérvei

	Jelölés	Jelölés jelentése	Első berendezés üzembe helyezése
A	TD, LL, VIT	Sugárvákuumozás	1953
	DH	Dortmund – Hörder process	1956
	VD	Üstvákuumozás	1959
	RH	Ruhrstahl – Heraeus process	1959
	CAS	Composition Adjustment by Sealed Argon Bubling	1975
	TN	Porbefűvés	
		Porbeles kezelés	1975
B	VAD	Vacuum Arc Degassing	1965
	LF	Ladle Furnace	1965
	VOD	Vacuum Oxygen Decarburisation	1969
	ASEA-SKF		1969
	RH-OB	Ruhrstahl – Heraeus process with Oxygen Blowing	1972
	CAS -OB	Composition by Sealed Argon Bubling with Oxygen Blowing	1977
	KTB	Kawasaki Top Blowing	1986

Üstben történő gáztalanításra először hazánkban, a Csepeli Acélműben került sor [17,18] főleg a csőacélok, ill. a szuperötvözetek kezelése céljából. Itt a vákuumban történő kezelési idő, valamint a végvákuum értéke függvényében a H_2 -tartalom 50-70 %-kal, az oxigéntartalom 30-50 %-kal csökkent, igényként jelentkezett viszont a fürdő 30-40 °C-os túlhevítésének szükségessége (ill. ezzel összefüggésben az üst-előmelegítés biztonságos megoldása).

A sugárvákuumozás telepítésére már az 1960-as évek közepén sor került Diósgyőrött. Az alkalmazott variációkat a 6. ábra szemlélteti.



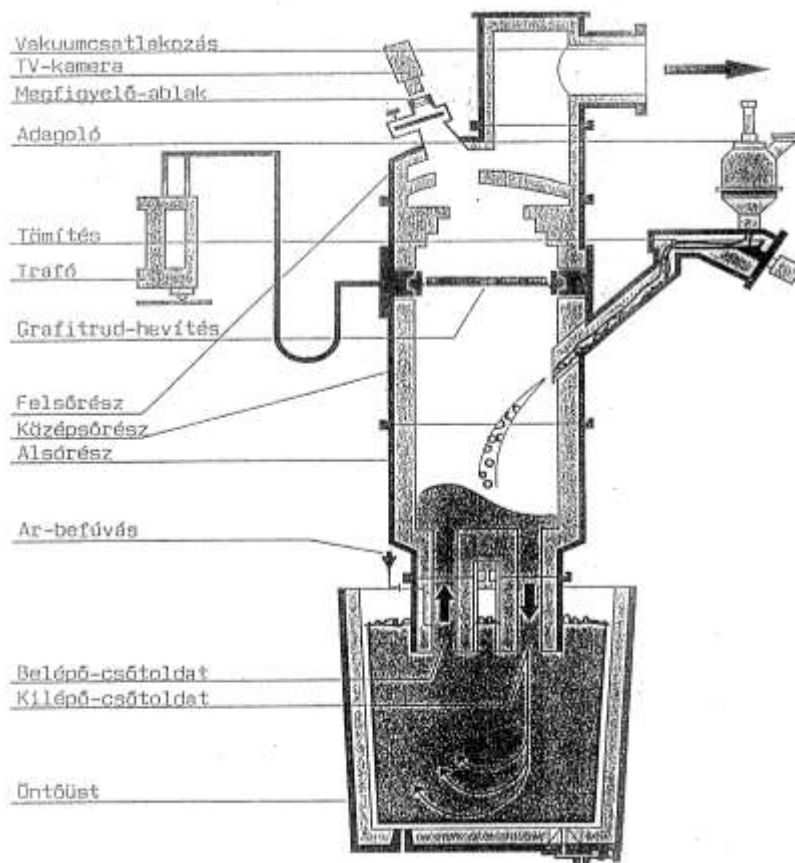
6. ábra Üst ill. sugárvákuumozó eljárások

Az egyszerűbb üstvákuumozó- ill. sugárvákuumozó eljárások a hetvenes évek elejéig elsősorban a gáztartalom csökkentését szolgálták. A hidrogéntartalom csökkenésével elért eredmények az akkori igényszínt jól ki is elégítették (sín- és acélacélok, kovácsolásra szánt nagyobb méretű acélok, fokozott igénybevételnek kitett csőacélok, stb.).

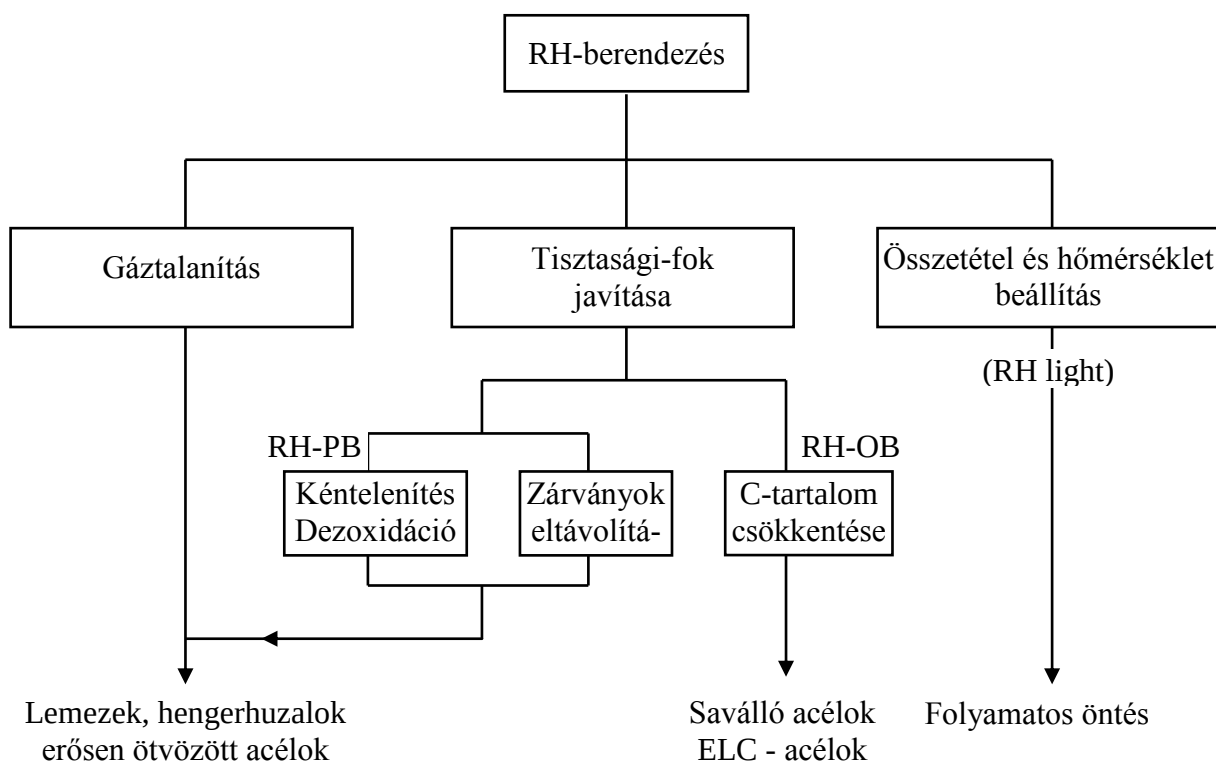
Másodlagos hatásként nem lebecsülendők a próbavételi megoldások, az analízáló automaták kifejlesztése terén elért eredmények. Ugyanakkor hátrányként hamar megmutatkozott az,

hogy csupán a gáztartalom csökkentése nem áll arányban az eljárások alkalmazásának költségeivel, így minden olyan acélműben, ahol ezt követően kombinált üstmetallurgia egység telepítésére kerülhetett sor, az egyszerű üstvákuumozás, ill. a sugárvákuumozás mindegyik változata elvesztette jelentőségét.

Az acélfürdőt részletekben vákuumozó DH ill. RH eljárások megjelenése az üstmetallurgiai eljárások között – az 1970-es évek színvonalán – annyiban hozott új szint, hogy a konverterek kapacitás-növelését ezek az eljárások követni tudták, szemben az üst ill. sugárvákuumozó berendezésekkel, melyeknél az alkalmazhatóság határa max.60-80 t. [19-21] Ezen túlmenően már a kezdet kezdetén remény volt arra, hogy a DH ill. RH eljárásnál sokirányban (pl. tisztasági-fok növelése, hevítés, stb.) fejleszthető az üstmetallurgia. A mai korszerű RH-berendezések (7. ábra) funkciója (8. ábra) olyan, hogy a korábbi gáztalanítás és homogenizálás mellett szelektíven lehet az összetételt és erős korlátok között a hőmérsékletet is beállítani (RH-light) a folyamatos öntést megelőzően. Lehet kénteleníteni, dezoxidálni, részlegesen elvégezhető a zárványok modifikációja is, sőt: a karbontartalom csökkentése.



7. ábra RH-berendezés



8. ábra Az RH-eljárás mai funkciója

A mai korszerű DH- ill. RH-berendezésekben az Ar-befúvatás segítségével, 15-20 perces kezelési idő alatt – hatékony gáztalanítás mellett – a fürdő karbontartalma is igen kis értékre (min. 20 ppm-re) csökkenthető, kezelés közben 2-3 °C/perc hevítési sebesség is biztosítható. Növelhető a dezoxidációhoz felhasznált Al kihozatala, javítható a dezoxidáció találati biztonsága. Nem megoldott viszont a hatékony kéntelenítés, a mikroötvözés és az ötvözés, a hőmérséklet-szabályozás. Ezért is vált indokoltá az 1960-as évek végén, az egyszerű vákuumozási eljárások továbbfejlesztése, melyek az ún. kombinált üstmetallurgiai eljárások kifejlesztéséhez vezettek.

2.3. Kombinált üstmetallurgiai eljárások

Az üstmetallurgiai megoldások sorában (lásd 2. ábra) az 1960-as évek közepéig az volt az általános kép, hogy mindazon üzemeket, melyek nagyobb tömegű kovácsdarabokat, avagy nagyobb tisztaságú acélokat állítottak elő, felszerelték a korábban felsorolt valamelyik gáztalanító egységgel. Biztosítani tudták ezek révén a hidrogéntartalom csökkenése eredményezte pehelymentességet, az oxid-, nitridzárvány-tisztaság javulásával a kedvezőbb mechanikai, technológiai eredményeket.

Az üzembe helyezett egységek jobb kihasználása a gáztalanításnak a frissítésre való kiterjesztését, továbbá ahol csak lehetségessé vált, ott a kétsalakos eljárásnak az egyszalakos eljárással való felváltására törekvést helyezte előtérbe.

A fejlesztések sorában a soron következő lépcső a C-O-rendszer biztosította egyensúly fokozottabb mértékű megközelítése volt, megoldva ezzel az oxigénszegény, szuper kiskarbon-tartalmú acélok gyártásának lehetőségét. Nyilvánvaló ugyan, hogy ez elsősorban a stabilizá-

latlan saválló acélok előállítását volt hivatott elősegíteni, műszakilag azonban igen jelentős előrelépést jelentett a ma legkorszerűbbnek tekinthető üstkemencés eljárások (Finkl-Mohr, ill. ASEA-SKF eljárás) kifejlesztéséhez. Ezek között az ún. kisnyomáson frissítő üstmetallurgiai eljárások között a legismertebbek: a VOD, az AOD és a CLU eljárások.

Mindhárom kisnyomáson frissítő üstmetallurgiai eljárás olyan finomító eljárásnak tekinthető, mely hőenergia bevitelére képes azáltal, hogy az acélfürdő erőteljes frissítése révén kémiai módszerrel pótlólagos hőmennyiséget termel az üstben:

A frissítés közbeni C-O reakcióból származó pótlólagos hőmennyiség felhevítheti az adagot olyannyira, hogy az nagyobb arányú ötvözt is elbír. A három eljárás közül az 1970-es évek elején még a VOD terjedt számottevőbben, majd a későbbiekben az AOD. Ennek oka: vákuum nélkül az üzemelési szabadság (mintavétel, salakolás, stb. könnyebbségei miatt) nagyobb, s ez háttérbe szorítja a VOD-nak azt az előnyét, hogy ott még kisebb C-tartalmat és még jobb krómkihozataalt lehet biztosítani.

Sajnos a kisnyomáson frissítő üstmetallurgiai eljárások egyikénél sem lehet a lefrissítendő C, ill. a hőfejlesztés érdekében oxidálandó fém tömege, a hőmennyiséget igénylő ötvözt mértéke és az optimális öntési hőmérséklet összhangját megteremteni. Ezt csak a hevítőegységet is magában foglaló kombinált üstkemencés eljárásokkal (pl. a vákuum alatt hevítő Finkl-Mohr ill. az atmoszférikus nyomáson hevítő ASEA-SKF eljárásnál) lehetséges. Lényeg a hevítőegység, mellyel az üstmetallurgiai kezelés alatti hőveszteségek pótolhatók, sőt: optimális hőmérsékletszabályozás történhet.

Hőveszteségek a hevítést nem biztosító üstmetallurgiai megoldásoknál (3. táblázat) azért lépnek fel, mert a rendszer maga hőt ad le a környezetének: az adalékanyagokat felmelegíti és megolvasztja, hőt vesz el a tűzállóbélés és sugárzással is távozik hő, főleg az olvadék felső felületéről.

A hőveszteségek a bélés kezdeti hőtartalmától, felépítési és szerkezeti módjától, anyagösszetételétől és vastagságától függenek. A legnagyobb a dolomit, majd utána a timföldben dús falazat, ill. az égetett téglá hővezető-képessége, legkisebb a szilíciumdioxidé. Így a kémiaiailag legalkalmasabb tűzálló bélésanyag hőveszteség szempontjából a legalkalmatlanabb.

A sugárzási veszteségek üstfedéllel minimalizálhatók: napi gyakorlatban viszont az üst széleit nehéz tisztántartani ahhoz, hogy az egyszerű fedél is szorosan illeszkedjék a kezelőüst széleihez.

A hőveszteségeket kompenzálni szükséges, s erre az alábbi három lehetőség nyílik:

1. A primer kemencében az acélfürdő túlhevítése, a csapolási hőmérséklet növelése
2. Az üstmetallurgiai berendezésben atmoszférikus nyomáson elektromos ívvel (LF), avagy plazmával (PLF), újabban esetleg kémiai reakciók révén hevítés (CAS-OB, IR-ÜT),
3. Az üstmetallurgiai berendezésben, vákuumban, elektromos ívvel (VAD), avagy kémiai reakciók révén hevítés (VOD, RH-OB, KTB).

A felsorolt lehetőségek közül az első igen költséges megoldás, jelentősen növeli a bélés-kopást, az adagidőt, s ezek kihatásában korántsem arányosan, igen korlátozottan tud plusz hőmennyiséget biztosítani.

A hevítést nem biztosító üstmetallurgiai eljárások technológiai lehetőségeit a 3. táblázat szemlélteti.

3. táblázat A hevítést nem biztosító üstmetallurgiai eljárások hatásainak összevetése

Metallurgiai és egyéb hatások	Üstvákuumozó ill. sugárvákuumozó eljárások				RH - DH	CAS	Injektálás porbefúvás (X) ill. porbeles (Y) kezelés	
	TD	LL	VIT	VD			X	Y
H ₂ -tartalom csökkentése	●	●	●	●	●			
N-tartalom csökkentése	○			○	○			
Dezoxidáció				●	○		○	●
C-tartalom csökkentése			●	●	●			
Kéntelenítés				●	○		●	○
Foszfortalanítás							●	
Zárványtisztaság javítása	○	○	●	●	●	●	●	○
Zárványok átalakítása					○	○	●	●
Ötvözés					●	●	○	○
Hevítés								
Pufferfunkció								

● Fő hatás

○ Mellékhatás

A hevítést is biztosító üstmetallurgia megoldások jelentős többletköltségűek, azonban jelentős előnyöket biztosítanak, ezt mutatja a 4. táblázat.

4. táblázat Hevítést is biztosító üstmetallurgiai eljárások hatásainak összevetése

Metallurgiai és egyéb hatások	LF	VOD	VAD	ASEA-SKF	CAS-OB	RH-OB-	KTB
H ₂ -tartalom csökkentése		●	●	●		●	●
N-tartalom csökkentése		●	●	○		○	○
Dezoxidáció	●	○	●	●	○	○	○
C-tartalom csökkentése		●	○	●		●	●
Kéntelenítés	●	○	●	●			
Foszfortalanítás	●				○		
Zárványtisztaság javítása	●	○	○	●	●	○	
Zárványok átalakítása	○			○			
Ötvözés	●	●	●	●	●	●	●
Hevítés, °C/perc	Max.4	1-3	1-3	4-5	5-12	5-6	5-8
Pufferfunkció	●		○	●	○	○	○



Fő hatás



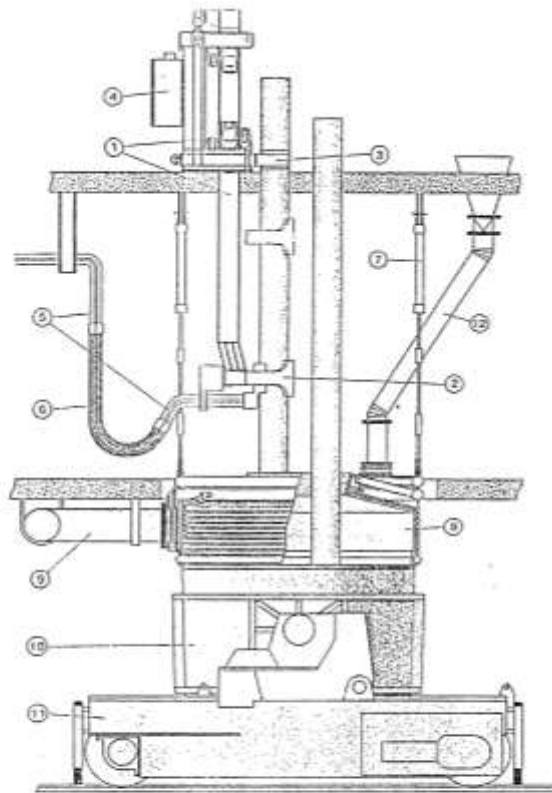
Mellékhatás

2.3.1. LF-kemence

Az LF (Ladle Furnace) – üstkemence – kis teljesítményű elektrókemencének felel meg: az üst foglalja el a kemencepáncélzat helyét. A kemencében fehérsalak alatt végrehajthatók mindazon a folyamatok, amelyek a klasszikus elektroacélgyártás redukáló periódusában lezajlanak: a dezoxidáció, a kéntelenítés, a zárványok eltávolítása, az ötvözés, stb.

Az LF-üstkemencék tartozéka a tűzálló béléses – újabban vízhűtéses (9. ábra) – az üsthöz szorosan illeszkedő fedél, mellyel csökkenthető a salak feletti atmoszférában az oxigén (és a nitrogén) parciális nyomása.

Az ívfűtést általában a salakba merített ívvel hajtják végre, így ez némi védelmet nyújt a tűzálló bélésnek, mivel az ív sugárzásának egy részét elnyeli a salak. Ezen túlmenően a beme-
rített grafitelektródok a salak redukcióját is segítik azáltal, hogy az ív által a salakban terjedő hőmennyiség nagyobb bázikusság mellett is javítja a salak híg folyósságát.



- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1. elektróda-tartó | 7. Üstfedél-hűtés |
| 2. elektródafogó | 8. Üstfedél |
| 3. emelő | 9. füstgáz elszívás |
| 4. szelep | 10. Üst |
| 5. energiacsatlakozás | 11. Üstkocsi |
| 6. hűtővíz csatlakozás | 12. Ötvöző adagolás |

9. ábra Korszerű üst(LF)-kemence szerkezete

Az LF-üstkemence transzformátor-teljesítmény igénye nyilván az üstkapacitás függvénye. Egy 130 t körüli adagsúllyal dolgozó üstkemencénél a szükséges transzformátor-teljesítmény 15-18 MVA között van, amely 2-4 °C/perc hevítési sebességet biztosít (elektródafogyasztás 0.2-0.4 kg/t, össz. villamosenergia-fogyasztás 22-30 kWh/t).

Az LF üstkemencénél az olvadék átkeverése történhet az üstfenékbe épített öblítőtéglán át, és/vagy indukciós keveréssel (Ar-lándzsa itt csak a vésztartalék szerepét töltheti be).

Az LF-üstkemence technológiai hatásai közül kiemelendő, hogy

- 15-20 perces kezelési idő mellett kellő biztonsággal 40-50 °C-kal is csökkenthető a csapolási hőmérséklet,
- a kezelési idő változtatásával kiváló puffert képez a primer kemence és az öntőgép között,
- megfelelő salakvezetés mellett a kezelés végére mind a Σoxigénszint, mind a kéntartalom 20 ppm alá hozható.

Hátrányként jelentkezik, hogy a hidrogén- ill. nitrogéntartalom csökkentése nem számottevő, C-felvétel következhet be, s az ív sugárzása igényli, hogy megfelelő tűzállófalazatot – pl. a salakrétegnél MgO-téglák – használjunk.

A máig üzemelő néhány, PLF-plazmával működő üstkemence (Krupp Stahl, Kobe Steel) még nem nyújtott annyi tapasztalatot, hogy ennek a kemencetípusnak perspektívái megalapozottan megítélhetők lehessenek. Az eddigi eredmények szerint plazmával valamelyest nagyobb hevítési sebesség (4-5 °C/perc) érhető el, s a klasszikus, villamos ívvel üzemelő ívkemencéhez képest a karbontartalom alacsonyabb szinten is biztonságosan beállítható.

2.3.2. CAS-OB ill. IR-UT kemence

Atmoszférikus körülmények között energiát lehet közölni az üstbe csapolt acéllal úgy is, ha az olvadék szabaddá tett, tiszta felületén Al-ot (esetleg Si-ot) égetünk el a



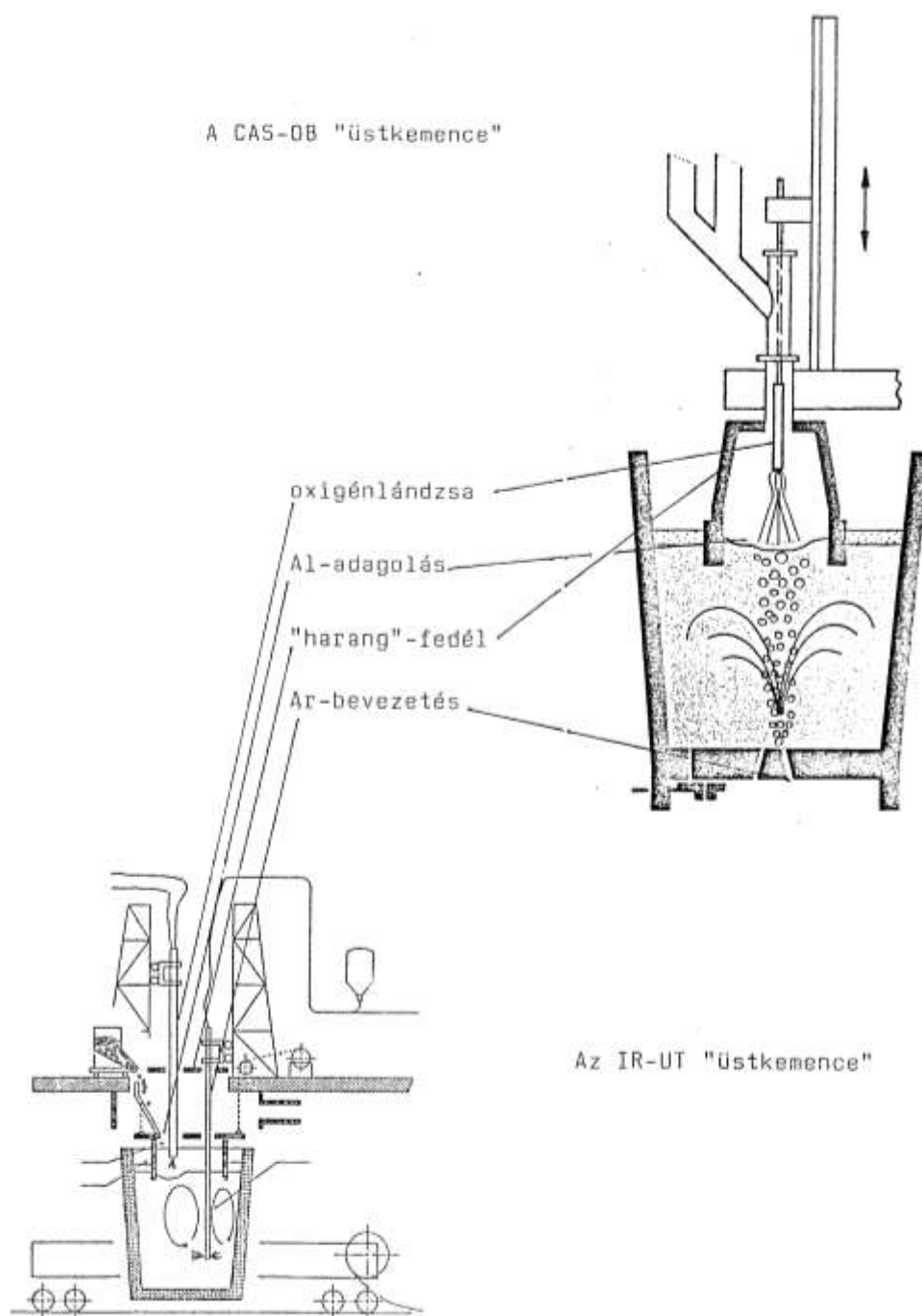
reakciók alapján sztöchiometriailag szükséges oxigénnel. A sztöchiometriai számítások alapján – mivel az acéolvadék 1 °C-kal történő emeléséhez 0.21 kcal/kg hőközlés szükséges,

35 °C-ot képes emelni 1 kg/t Al adagolása, melyhez 0.62 Nm³-nyi oxigén szükséges,

ill.

33 °C-ot képes emelni 1 kg/t Si adagolása, melyhez 0,80 Nm³-nyi oxigén szükséges.

A CAS-OB kemencénél (10. ábra) elérhető hevítési sebesség 10-12 °C/perc, míg az IR-ÚT kemencénél (11. ábra) ez az érték valamelyest kisebb, 8-10 °C/perc. A különbség a hevítési hatások különbözőségéből adódik egyrészt, másrészt abból, hogy a fürdő keverése a két eljárásnál eltérő: a CAS-OB eljárásnál a fenéken keresztül – öblítőtéglán át történő – Ar-bevitel a domináns, az IR-ÚT kemencénél felülről történik lándzsán keresztül az Ar-bevitel.



10-11. ábra A CAS-OB ill. az IR-UT kemence

Ezeknél, az üstmetallurgiai kezeléseknél az Al (ill. esetleg a Si) elégetése az előzetesen bevezetett Ar által szabaddá tett olvadékfelületen történik a fürdőre engedett harang-védelem mellett, így

- a CAS-OB eljárásnál a 12-15 perces kezelést követően klasszikus CAS-eljárás mellett történhet némi összetétel-korrekció és homogenizálás,
- az IR-UT eljárásnál a hevítési periódust követően a fürdőbe injektálással (többnyire porbefúvással) bevezetett CaSi segít a kéntelenítés és a dezoxidáció elvégzésében.

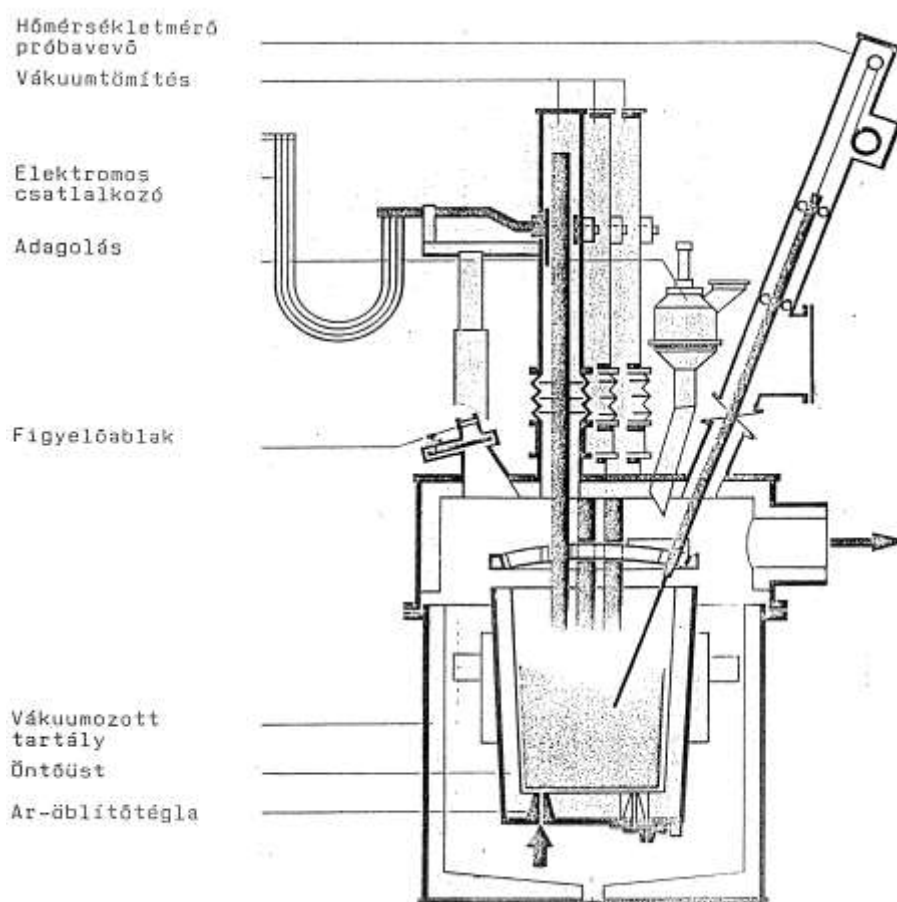
A Σ kezelési idő mindkét eljárásnál 15-25 perc.

Az eddigi eredmények alapján mindkét eljárás viszonylag egyszerű berendezés felhasználására épül, folyamatirányításuk állandóan tökéletesedik, azonban a hevítési lehetőség biztosítása mellett számottevő metallurgiai eredmények nem biztosíthatók.

2.3.3. VAD, VOD, ASEA-SKF eljárások

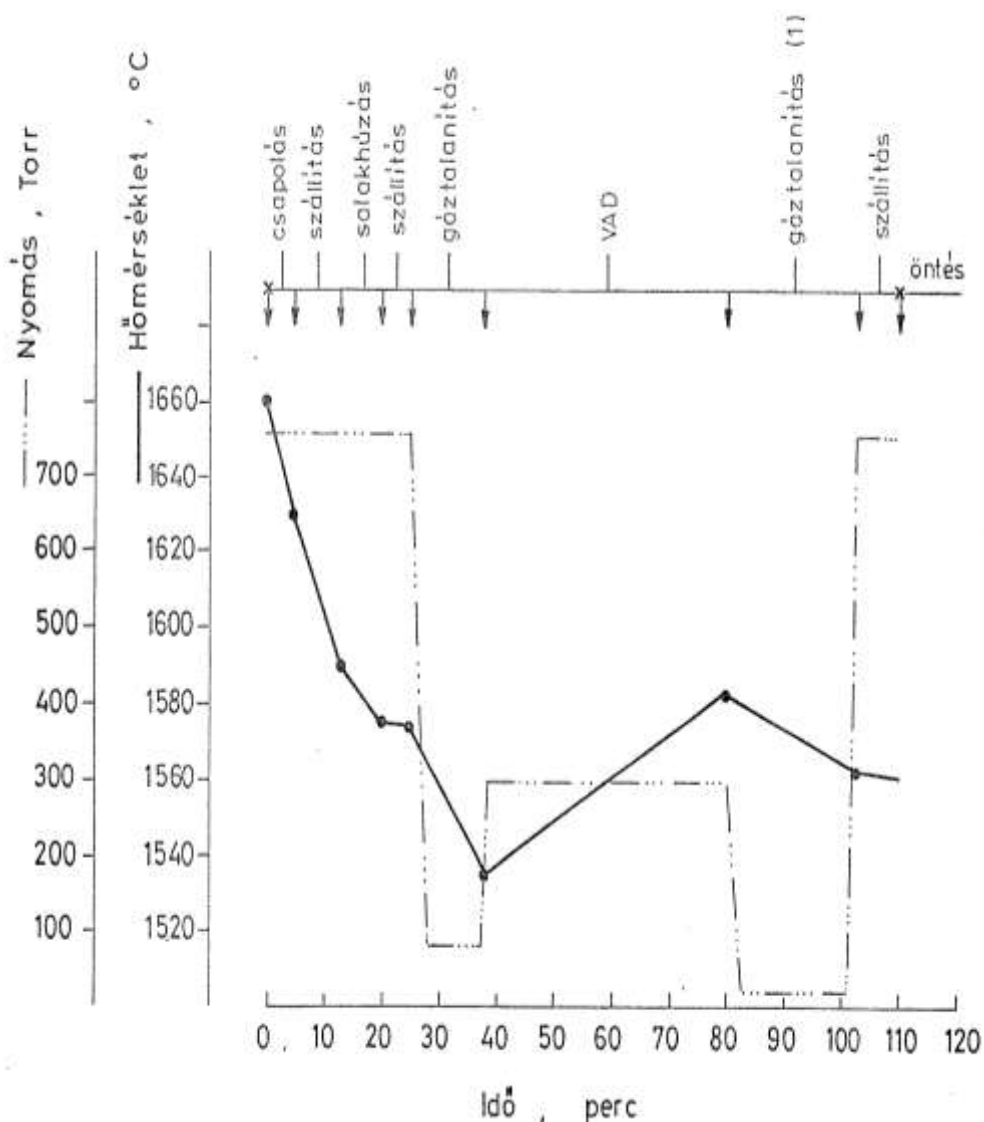
A vákuumban történő klasszikus hevítéses eljárás a VAD-eljárás. Ezt az elvet használja: a Finkl-Mohr és az ASEA-SKF eljárás.

A Finkl-Mohr eljárásban – amely kevésbé terjedt el – a kezelőüstöt egy külön kiképzett tartályba helyezik, mely gyorsan légteleníthető. Az üstben lévő acélon keresztül – a fenékebe épített öblítőtéglán át – Ar-t buborékoltatnak át, miközben elektromos ívvel hevítjük az olvadékot (12. ábra).



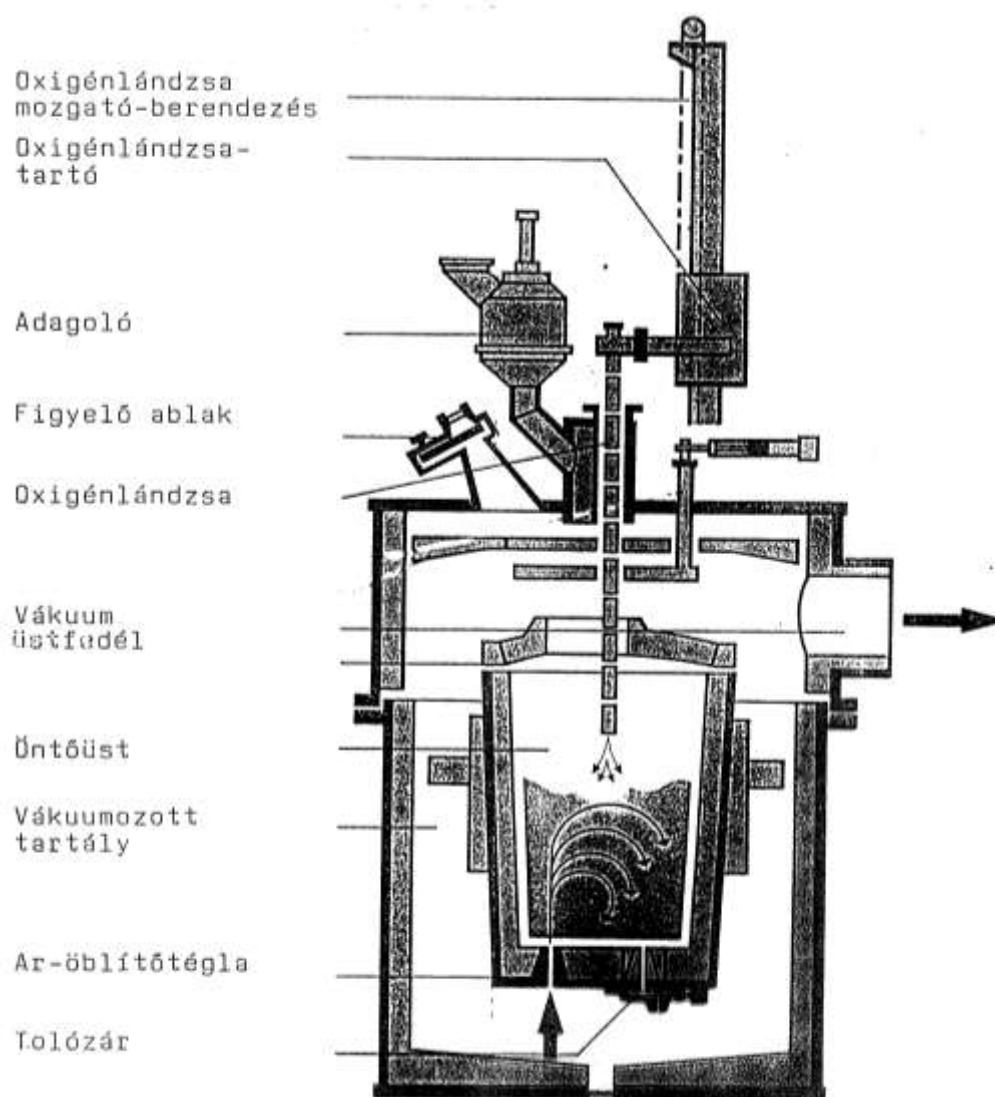
12. ábra A Finkl-Mohr eljárásnál alkalmazott VAD-berendezés elhelyezése

A VAD-berendezésben történő kezelés többféle kombinációra ad lehetőséget, ezek közül mutat be egyet a 13. ábra. Az ábrából kivehető, hogy a vákuum alatti hevítés biztonságosabbá tétele céljából a rendszerbe folyamatosan Ar-t áramoltatunk be. Az elérhető hevítési sebesség nem túl nagy ($1-3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{perc}$), azonban ez esetben nem is a puffertolás a cél, hanem a metallurgiai célok – leginkább a gáztalanítás – biztosíthatósága érdekében a hőveszteségek pótlása, esetleg némi hőmérséklet-szabályozás.

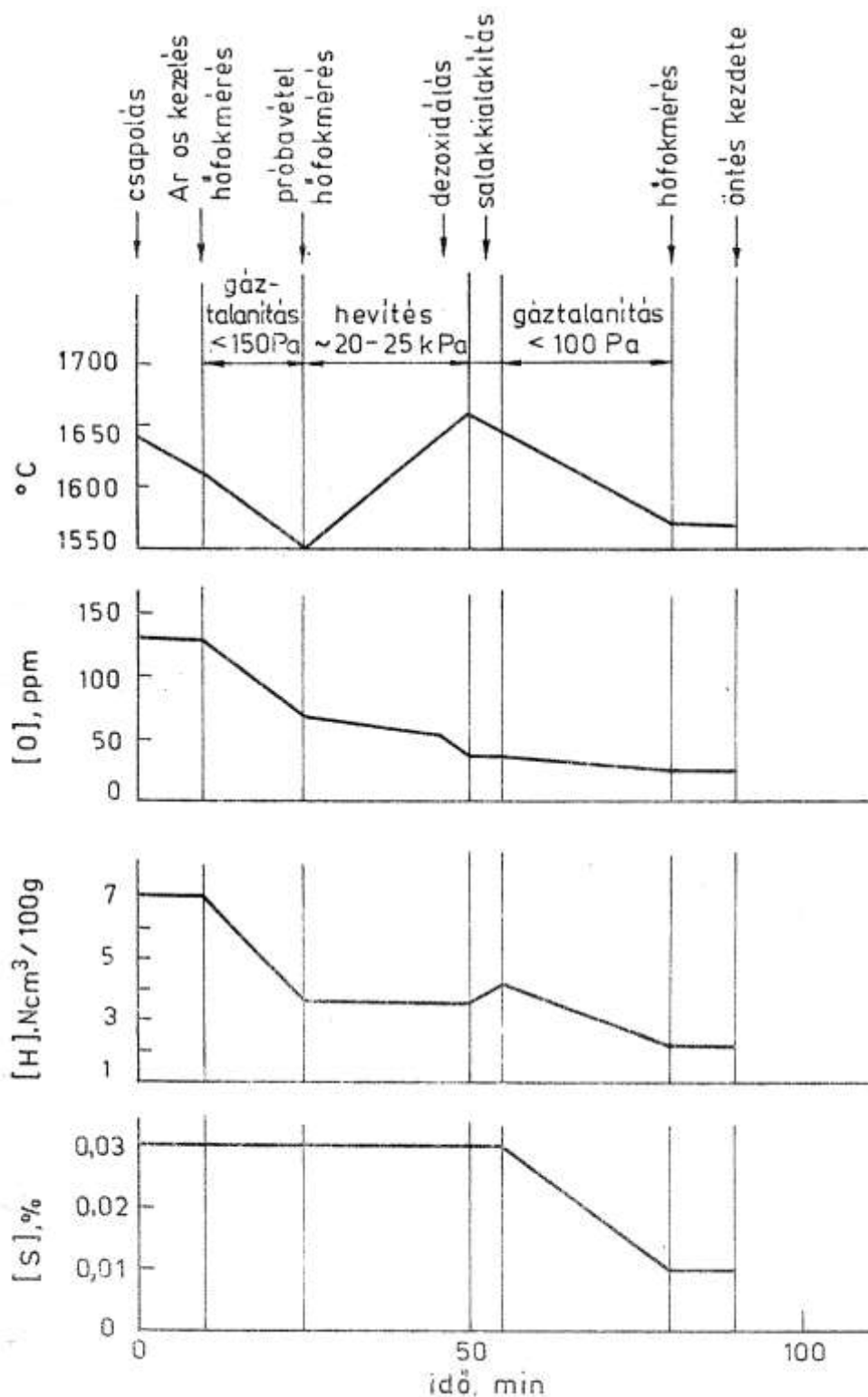


13. ábra Példa egy ötvözetlen acél VAD-berendezésben történő kezelésére

A VOD-berendezésben (14. ábra) a kezeléshez szükséges pluszhőmennyiséget maga a C-oxidáció szolgáltatja (15. ábra) olyannyira, hogy tekinthető ez is hevítőállásnak (a VOD eljárás önmagában is működő, ún. kisnyomáson működő eljárás, igen kis C-tartalmú acélok gyártására korábban kedvelt megoldásként terjedt).



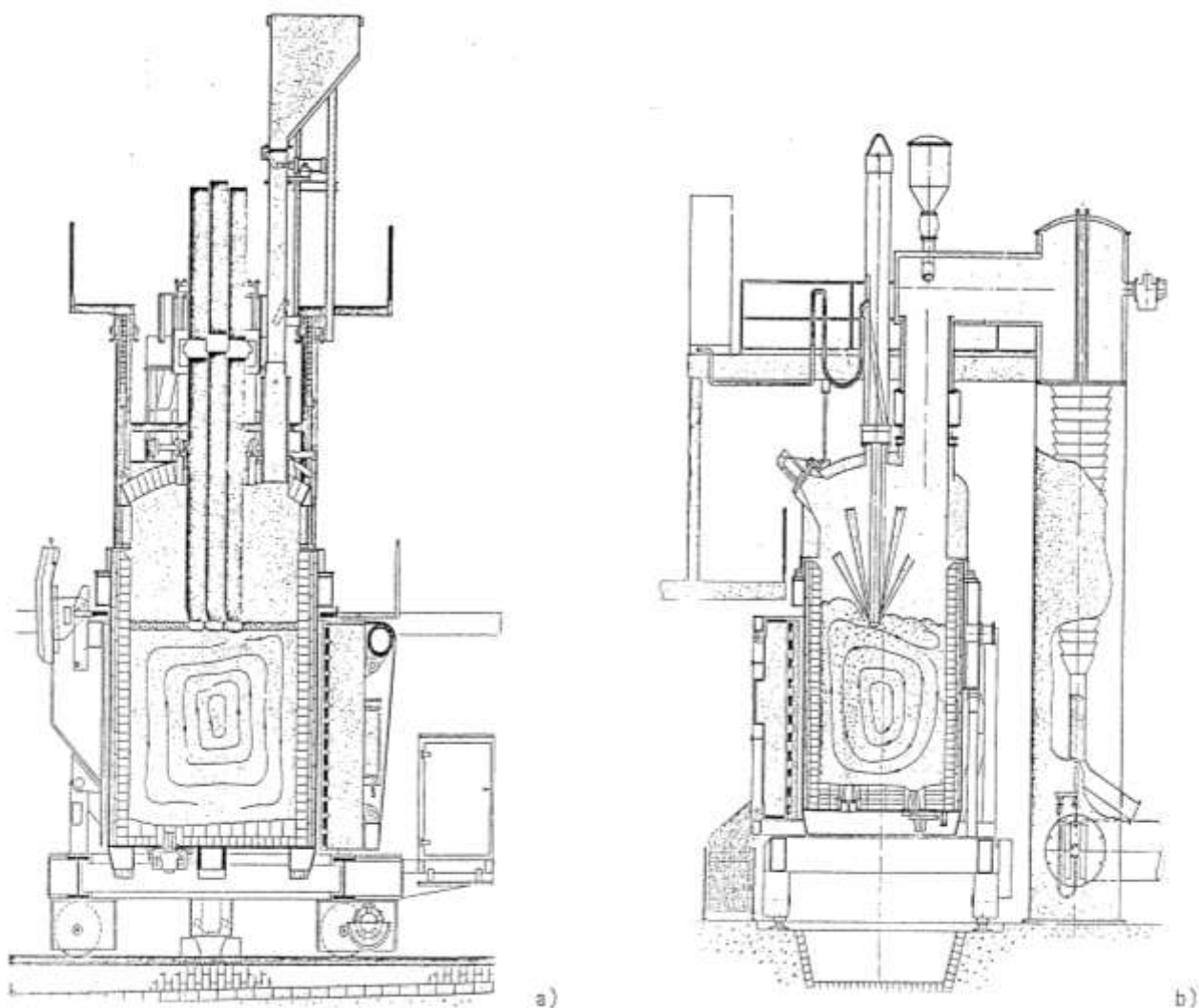
14.ábra Vákuumban frissítő (VOD) eljárás



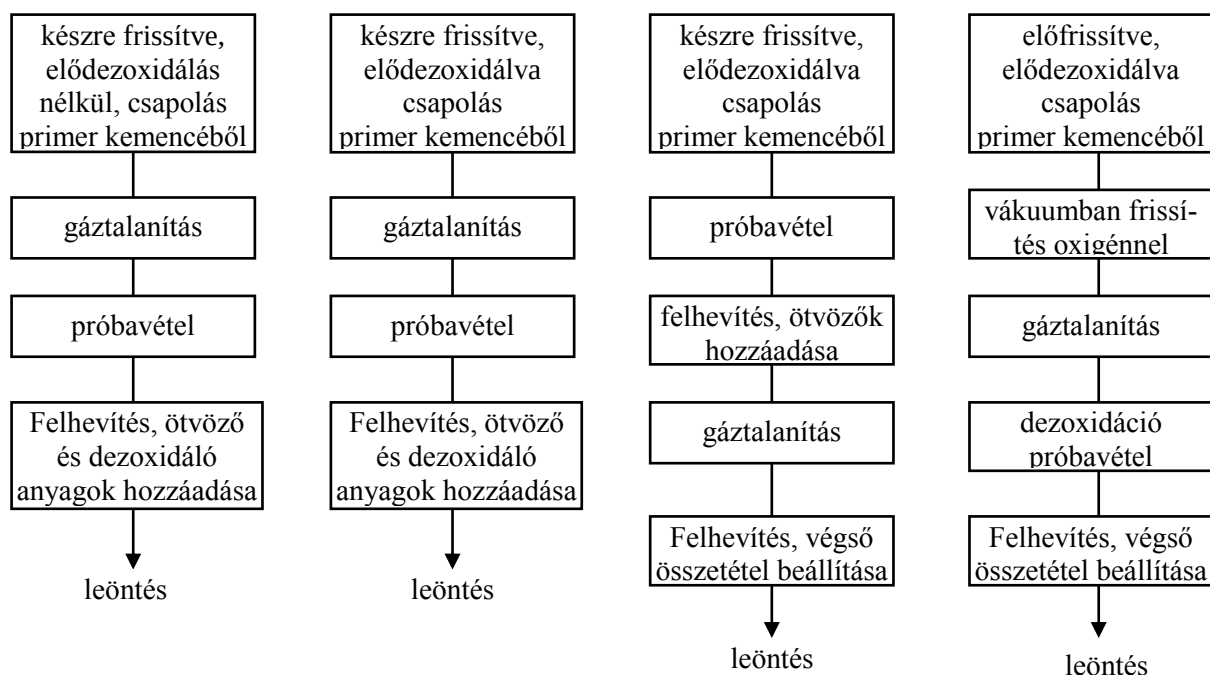
15. ábra A Finkl-Mohr eljárásnál a hevítőegységben lezajló folyamatok

Az ASEA-SKF eljárás minimálisan két műveleti állást használ (Diósgyőrben lényegében 5 állás épült ki: salakoló – 2 db. hevítő – oxigénező – vákuumozó állás). Lényegi eltérés a Finkl-Mohr eljáráshoz képest, hogy a keverés az üstszállító kocsin elhelyezett indukciós tekerccsekkel – és pótlólagos Ar-os keveréssel – történik.

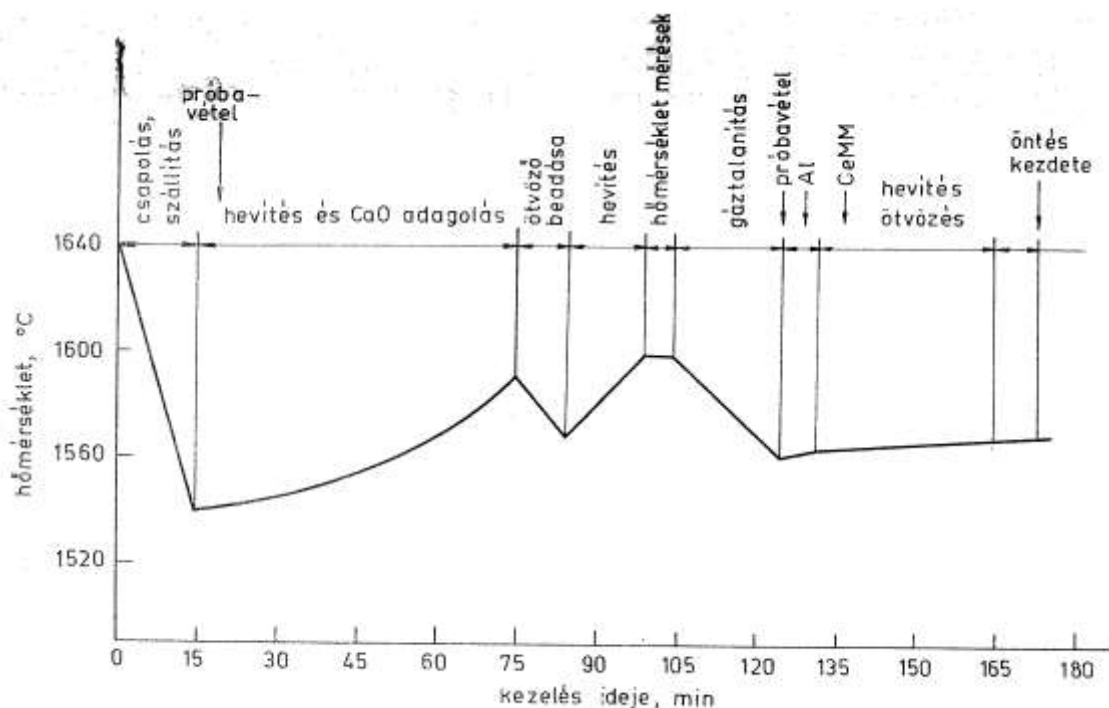
Az ASEA-SKF eljárásnál az egyes műveletek variálásával (16. a-b, ábra, ill. 17-18. ábra) szinte minden metallurgiai cél elérhető →jóval költségesebb úton, mint ugyanezt szelektív célok esetén egyszerűbb berendezésekben. [22-27]



16. a-b, ábra Az ASEA-SKF eljárás egyes műveleti helyei
a, hevítőállás b, vákuumozó és vákuumfrissítő állás



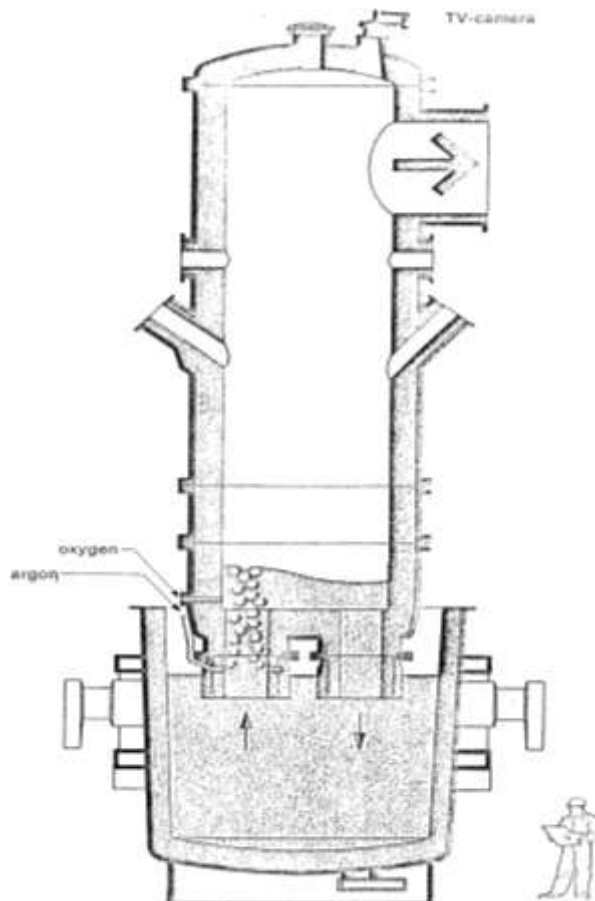
17. ábra Néhány jellegzetes duplex üzemmód ASEA-SKF üstkemencével



18. ábra Kéntelenítési technológiát is magában foglaló ASEA-SKF üstkemencés üzemmód folyamatábrája

2.3.4. RH-OB ill. KTB eljárás

Az RH-OB (Ruhrstahl-Heraeus process with Oxygen Blowing) berendezés, az 1959-ben, a Thyssen A.G által kifejlesztett, ún. részletekben vákuumozó berendezésnek a Nippon Steel Co. által továbbfejlesztett, s 1970-ben elsőként a Muroran-i acélműben üzembe helyezett változata. Szerkezetében hasonló (19. ábra) az RH-berendezéshez azzal a kiegészítéssel, hogy a fürdőbemerülő csőtoldatok végén, az Ar-befúvatás fölött 2-4 oxigénfúvókán át tiszta oxigén-gázt fúvatunk kettős célból:



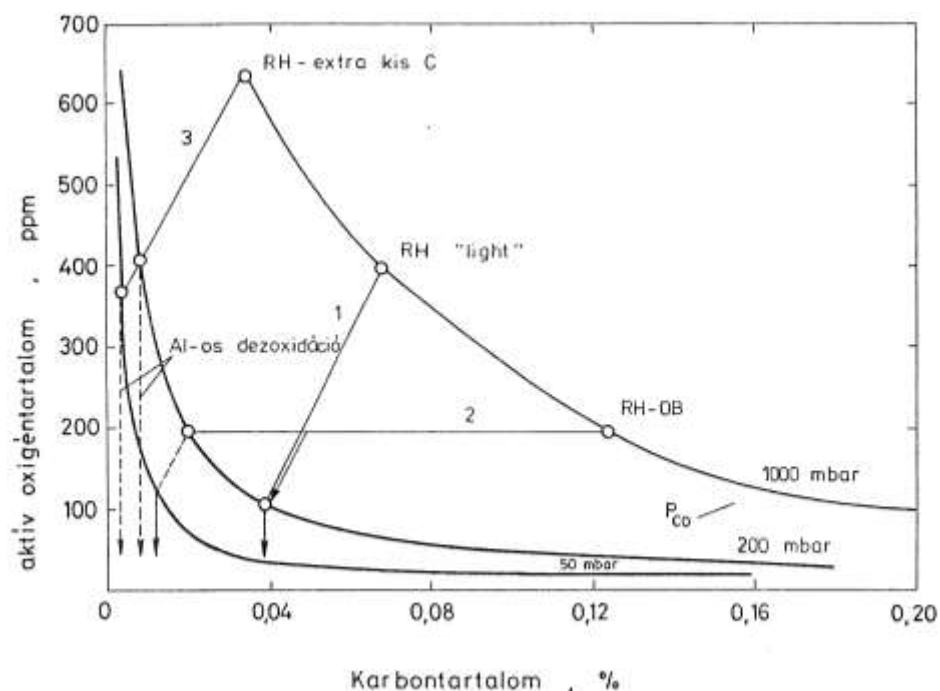
19. ábra Az RH-OB berendezés

- a C oxidációjának intenzívebbé tétele (dekarbonizációja) érdekében
- a hevítésre szolgáló Al elégetése céljából

Az Al elégetésével a melegedés 4-5 °C/perc, alapvetően ez biztosítja a 30-35 perces kezelési idő alatti hőveszteség pótlását, ami alatt a C tartalom csökkentése három úton is (18. ábra) végbemehet:

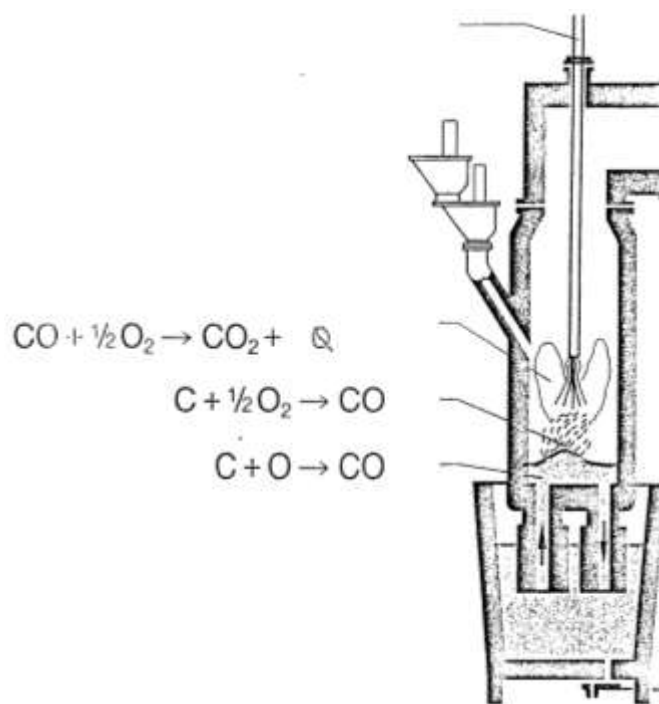
- | | |
|---|--------------------------|
| 1. normál „light” kezelés | kezelési idő: 12-13 perc |
| 2. normál „light” kezelés oxigénadagolással | kezelési idő: 14-16 perc |
| 3. ultra alacsony C-tartalom kezelés | kezelési idő: 35-38 perc |

Természetesen felvetődhet, hogy ez utóbbi oxigén nélkül, RH berendezésben is lejátszódhat: igen, de a relatíve hosszú kezelési idő, hevítési lehetőség nélkül nem, vagy csak igen nehezen biztosítható.



20. ábra RH-OB berendezésben a C-tartalom csökkenthetőségének lehetséges útjai

Az RH-OB berendezésnek egy továbbfejlesztett változata a KTB (Kawasaki Top Blowing) eljárás, amikor az oxigén nem oldalról, hanem lándzsán át felülről jut az RH berendezés alján lévő acélfürdőbe (21. ábra), ahol a korábban keletkezett CO, energia-felszabadulás mellett CO_2 -vé ég el, így a melegedés is nő. Ez növeli a karbonoxidáció sebességét, csökkenti a karbonoxidációra fordítandó időigényt ~2-4 perccel. Mindez együttvéve további 15-30 °C-os csapolási hőmérsékletcsökkentést tesz lehetővé. [16]



21. ábra A KTB-eljárásnál használt oxigén RH-berendezés

2.4. Injektálásos technológiák

A 2.ábra szerint az Al-huzalos kezelés mellett a porbefúvásos kezelés rövid időn belül széleskörűen – így hazánkban is – elterjedt, már csak ezért is fontos a porbeles kezelésre vonatkozó szakirodalom értékelése elején egy olyan összevetést tenni, hogy a szakirodalom szerint indokolt-e a porbeles kezelés bevezetése a porbefúvásos kezelés mellett (vagy ahelyett), azaz a szakirodalom szerint mi lehet a porbeles kezelés előnye a porbefúvásos kezeléshez viszonyítottn.

2.4.1. A porbefúvásos kezelés helye és szerepe az acélgyártásban

Ma már a gyakorlatban is igazolt tény: a porbefúvásos kezelés, melyet erre a célra kiépített szerkezettel végezhetünk (22-23. ábra) rendkívül elmés megoldás. Az acélok tisztaságának javítására megfelelő konstrukcióval bevitt reagens anyag fajlagos felületének növelése révén, a kicsapásos dezoxidáció, a kicsapásos kéntelenítés, továbbá a zárványok mennyiségének és morfológiájának befolyásolása az 5. táblázatban közölt összefoglalás szerint jelentősen gyorsítható, számos egyéb kedvező mellékhatással együtt.

A zárványok morfológiájának kedvezőbbé tételével pl. a törési, fáradási és alakíthatósági jellemzők is javíthatók. Emellett javíthatók a termékek keresztirányú minőségi tulajdonságai, csökkenthető ezáltal a termékek anizotrópiája. A mikroötvözési módszerek bővítésével, a mikroötvözés hatékonyságának a fokozásával a szerkezeti acélok szilárdsági értékei is – a szívósság és a képlékenység megtartása mellett – javíthatók.

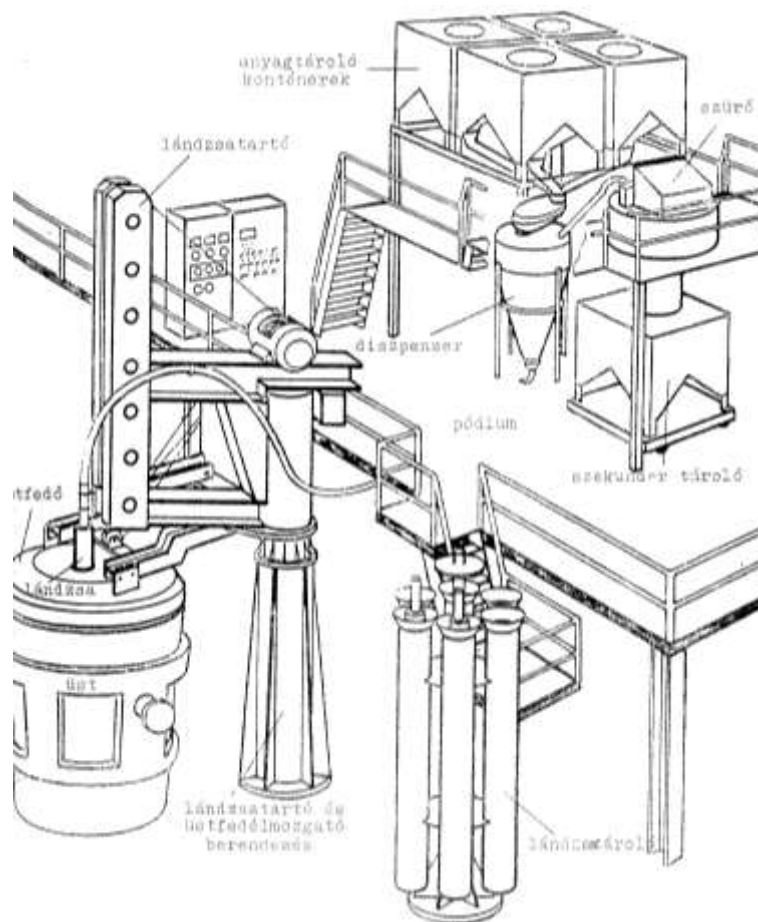
A felsorolt előnyök közül a kívánt siker elérése érdekében több feltételt biztosítanunk kell:

- az üst lehetőleg bázikus bélésű (ld. 24. ábra [28-31]), pl. magnezit vagy dolomit legyen,
- a 8-12 perces időtartamú porbefűvások kezelés kezdetére – a kemencei oxidos salak részbeni visszatartása, csapolást követően Al-mal elvégzett salakredukció és elődeoxidáció, továbbá pótlólagos vízmentes CaO + CaF₂-hozagolás révén – a 6-12 kg/t mennyiségű salak bázicitása ≥ 3 [32-40], s az (FeO+MnO)-tartalom $\leq 3-4$ %-nyi legyen. (ld. 25-26. ábra [33-36, 41]).

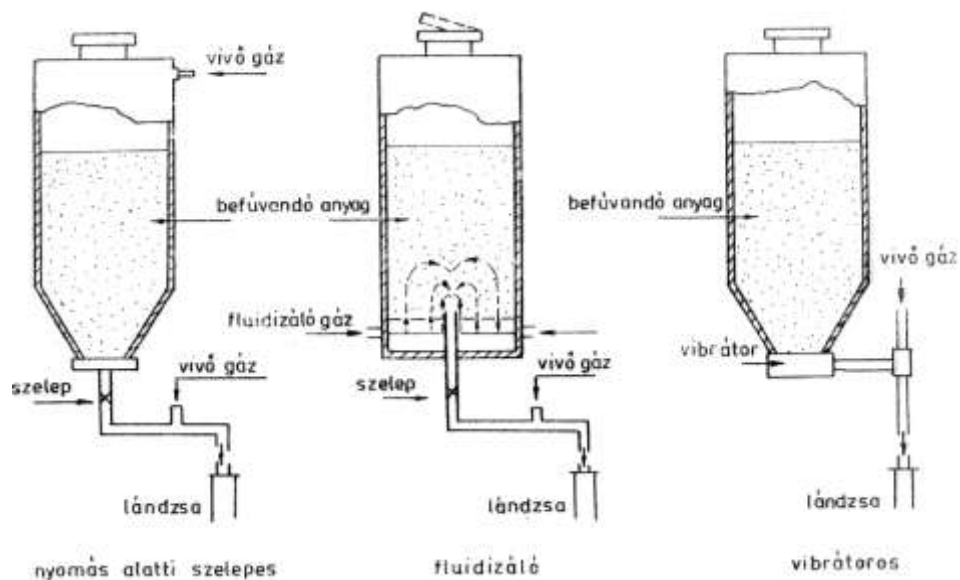
Jól végrehajtott porbefűvások kezeléssel a célul kitűzhető ≤ 50 ppm-nyi Σ oxigénmennyiség, ≤ 20 ppm-nyi oldott oxigénmennyiség azt jelenti, hogy az acélban oldott állapotban maradó Al-mennyiség $\geq 0,01$ % [42-44], s az acélfürdő semleges gázzal történt átbuborékolatása mellett a S-tartalom $\leq 0,005$ %-ra szorítható le [45].

Jól végrehajtott, hatékony porbefűvások kezelés előfeltétele azonban technológiai oldalról az, hogy a befűvások paramétereinek – kikutatott és gyakorlattal bizonyítható – optimumát kell mindenkor biztosítanunk. Az eljárás ugyanis rendkívül érzékeny az alkalmazott paraméterekre (szemcseátmérőre, a fürdő hőmérsékletére, a reagens anyaggal befűjt vízgáz minőségére, mennyiségére és nyomására, s amit itt elsősorban ki kell emelni, a befűjt reagens anyag fajlagos mennyiségére).

Mint ahogy a példaként bemutatott 24. ábrából is kitűnik, a klasszikus porbefűvások kezelésénél alkalmazott CaSi esetében – hangsúlyozandó, hogy a befűvást befolyásoló egyéb paraméterek optimális értéken tartása mellett – ~ 3 kg/t az a fajlagos CaSi mennyiség, ami céljainknak (hatékony dezoxidációnak, jó hatásfokú kéntelenítésnek és a tulajdonságokat kedvezően befolyásoló zárványmorfológia átalakításnak) megfelel. E mennyiség felett a kezelés többet költségre felesleges kiadás, ez alatti mennyiség hatástalan, sőt esetenként káros.



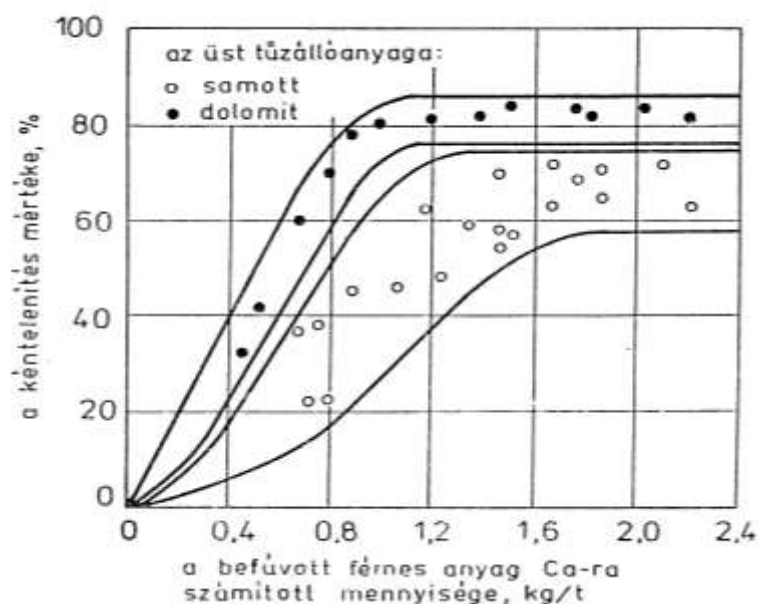
22. ábra A skandináv lándzsás porbefűvő berendezés szerkezeti felépítése



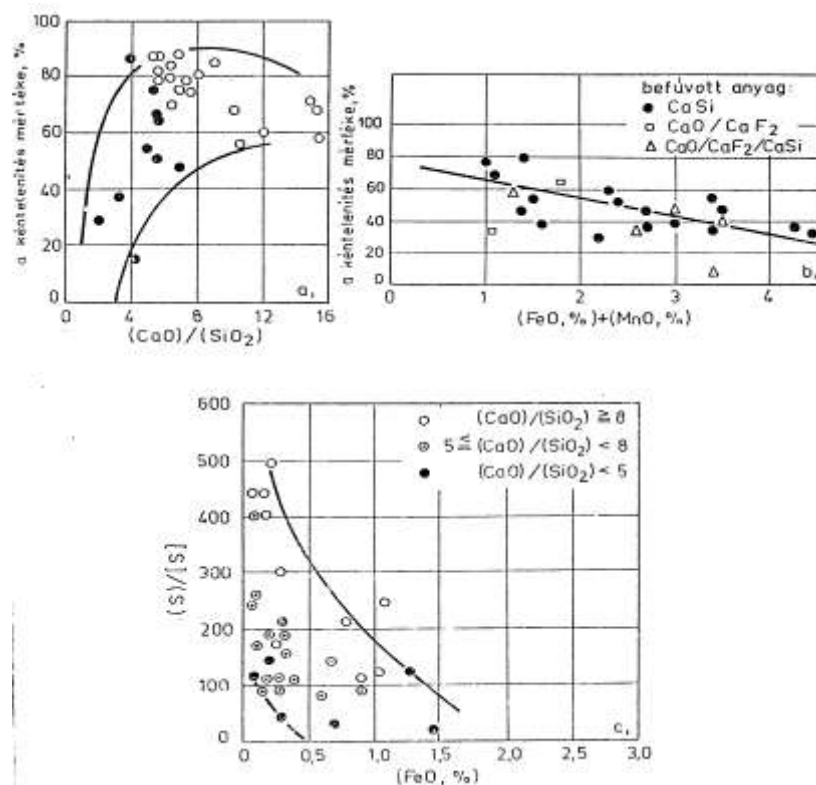
23. ábra A porbefűvő berendezések diszpenzer típusai

5.táblázat Ca-bázisú por alakú anyagok acélfürdőbe történő befűvatasakor végbemenő fontosabb reakciók

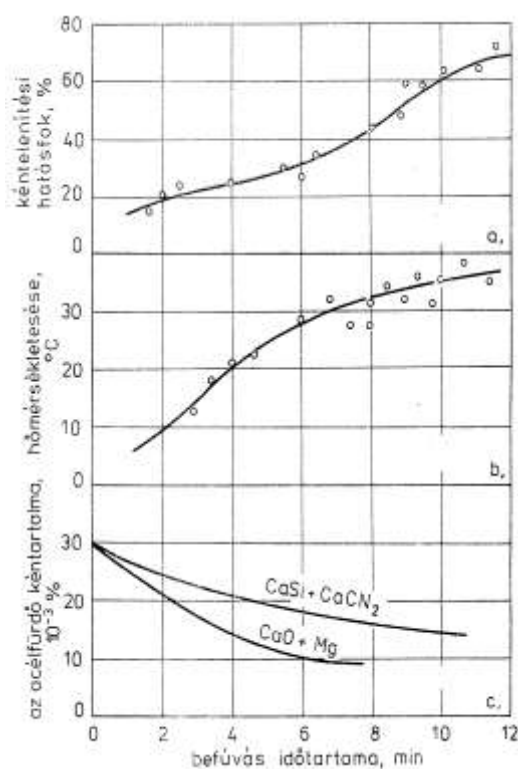
Poranyag	R e a k c i ó	Megjegyzés
A	$\text{CaSi} = \{\text{Ca}\} + [\text{Si}]$ $\{\text{Ca}\} = [\text{Ca}]$ $\{\text{Ca}\} + [\text{S}] = (\text{CaS})$ $\{\text{Ca}\} + [\text{O}] = (\text{CaO})$ $\{\text{Ca}\} + <2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3> = (\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + 2 [\text{Si}] + 3[\text{O}]$ $\{\text{Ca}\} + (\text{MeO}) = (\text{CaO}) + [\text{Me}]$ $(\text{CaO}) + (\text{Al}_2\text{O}_3) = (\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$	CaSi disszociációja Ca-oldódása Kéntelenítés Dezoxidálás Falazat redukciója Zárvány-redukció Zárványmorfológia-módosítás
B	$(\text{CaO}) + [\text{S}] = (\text{CaS}) + [\text{O}]$ $(\text{CaO}) + [\text{S}] + [\text{Me}] = (\text{MeO}) + (\text{CaS})$ $(\text{CaO}) + (\text{Al}_2\text{O}_3) = (\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$	Kéntelenítés Zárványmorfológia-módosítás



24. ábra Az üst falazatának hatása porbefűvatos acélkezelésnél a kéntelenítés mértékére



25. a-c. ábra Porbefúvatásnál a kezelendő acélfürdőt takaró salakréteg bázicitásának ill. (FeO) és (MnO) tartalmának hatása a kéntelenítésre



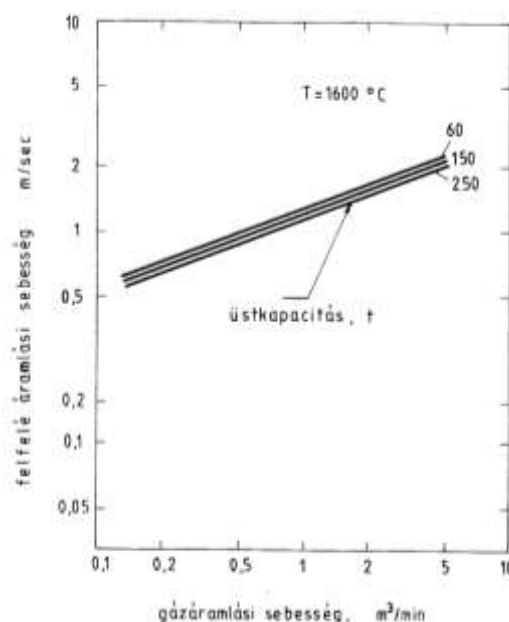
26. a-c. ábra Porbefúvásos acélkezelésnél a befúvás időtartamának befolyásoló hatása

Miután a CaSi hazai gyártása megszűnt, és így csak importból beszerezhető, elkerülhetetlen, hogy foglalkozzunk a CaSi – legalább részbeni helyettesíthetőségének kérdésével. Erre vonatkozóan az 1980-as évek közepén több hazai szakember is végzett kísérletet, ezek eredményeit summázva [46-47] arra a következtetésre lehet jutni, hogy a porbefűvásás többletköltsége gazdaságosabbá tehető a $\text{CaO} + \text{CaF}_2$ –os keverék alkalmazásával. Ez azonban első sorban a kéntelenítésnek kedvező. A CaSi és a $\text{CaO} + \text{CaF}_2$ kombinált adagolására van szükség ahhoz, hogy érezhető javulást érthessünk el az oxidos tisztaság mértékének javulásában is.

A hazai kísérleteket követően megerősítették ezeket, az eredményeket a skandináv lándzsás berendezést kifejlesztő szakemberek is [48]. Így többszörös kontroll eredményeképp kijelenthető, hogy a porbefűvásos kezelés szerepe igenis jelentős, csupán figyelembe kell vennünk, hogy mindez ötvözetgyártásunk és tűzálló- anyaggyártásunk fejlesztését is igényli, gondos technológiai-fegyelem betartása mellett. Figyelembeveendő továbbá, hogy az üzemi bevezetés, a helyi viszonyokra rendkívül érzékeny, ezért minőségként – műszaki és gazdasági szempontból egyaránt – részletekre menő kísérletsorozat után célszerű csak az üzemi alkalmazást elkezdeni és üzemszerűen folytatni.

A porbefűvásos kezelés kiaknázható előnyei mellett természetesen az alkalmazás korlátait is látni kell, melyek közül főleg az alábbiakat – első sorban a porbeles kezeléshez viszonyítottnak – lehet kiemelni:

- porbefűvásos kezelésnél a beviendő reagenst ún. vivőgázzal fűjjük az acélba. Ez a vivőgáz vertikális keveredést idéz elő a befűvő lándzsa körül, gyorsítva a befűvott anyagok felületre kijutását. [49-50]
Y.Samai és R.I.Guthrie [51] mérései szerint (27. ábra) $1 \text{ Nm}^3/\text{min}$, vagy ennél nagyobb gázáramlás sebességénél $\geq 1 \text{ m/sec}$ felfelé áramlási sebesség várható, ami azt jelenti, hogy az üzemi gyakorlatban szokásos 2-3 m-es lándzsamélységnél a befűvott részecskék fürdőben tartózkodási ideje $\leq 3 \text{ sec}$. Azon túl, hogy $\leq 3 \text{ sec}$ még a tökéletes oldáshoz is kevés, a gázbuborékok egyrésze telítődik a befűvott anyag részecskéikkel, s ezek a gázbuborékok a $\leq 3 \text{ sec}$ -on belül még azelőtt a felszínre jutnak, mielőtt a buborékokba záródott reagens anyagok bármilyen hatást kifejthetnének. Mindebből adódóan porbefűvásos kezelésnél a reagens anyagok reakcióba lépésének hatékonysága (azaz a reagens anyagok hasznosulása) – bár a befűvást nélkülöző hagyományos módszerekhez képest jelentős – még mindig eléggé szóródó és a közepes mértéket nem éri el.
- Porbefűvásos kezelésnél – az előző pontban leírtak miatt – a reagens anyag fürdőben tartózkodásának ideje kicsiny. Ahhoz viszont, hogy a mért hatások végbemehessenek, időre van szükség $\rightarrow$ azaz porbefűvásos kezelést sikerrel csak ott alkalmazhatunk, ahol a relatíve nagyobb fürdőben tartózkodási idő biztosítható, azaz porbefűvásos üstmetallurgiai kezelést, szinte kizárólag csak klasszikus üstmetallurgiai kezelés gyanánt végezhetünk egy nagyobb méretű üstben, az ún. öntőüstben, ahol az acélfürdő mélysége min. 2-3 m.
- Tekintettel arra, hogy – az előző pontban leírtak miatt – a porbefűvásos kezelés befejezésétől az öntés kezdetéig még jelentős mértékű reoxidáció léphet fel (attól függően, hogy milyen a reoxidáció elleni védelem), kényesebb acélminőségeknél a dezoxidáció szempontjából az oxigénszint-szabályozás pótlólagos beavatkozást igényel. Mikroötvözésnél csak a kevésbé aktív elemek (pl. a V és a Nb) bevitelére kerülhet sor.



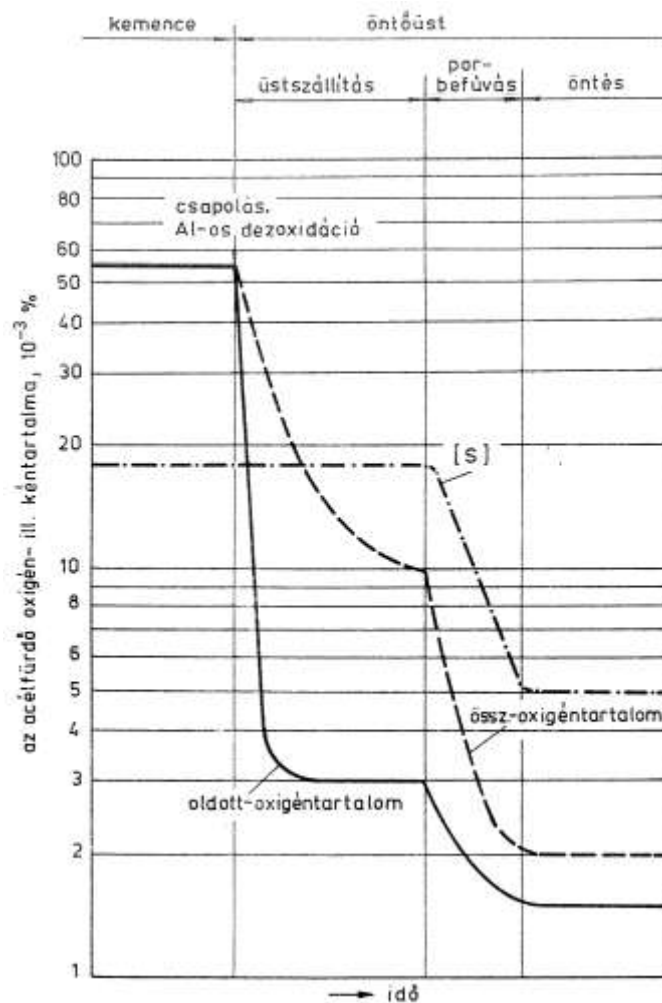
27. ábra Porbefúvásos kezelésnél a befúvott anyagok felfelé áramlásának sebessége az acél-fürdőben 1600 °C-on, különböző kapacitású üstöknél

A felsorolt korlátok ismeretében hangsúlyozni szükséges, hogy a porbefúvásos technológiailag számos lehetőségre ad módot acélgyártásunkban (ld. 28. ábra, főleg a kicsapásos kéntelenítés szempontjából az egyik legolcsóbb hatásos kezelési módszer), kár, hogy az eddigi hazai alkalmazás szinte kizárólag a CaSi alkalmazására épül.

2.4.2. Az Al-huzalos kezelés sajátosságai

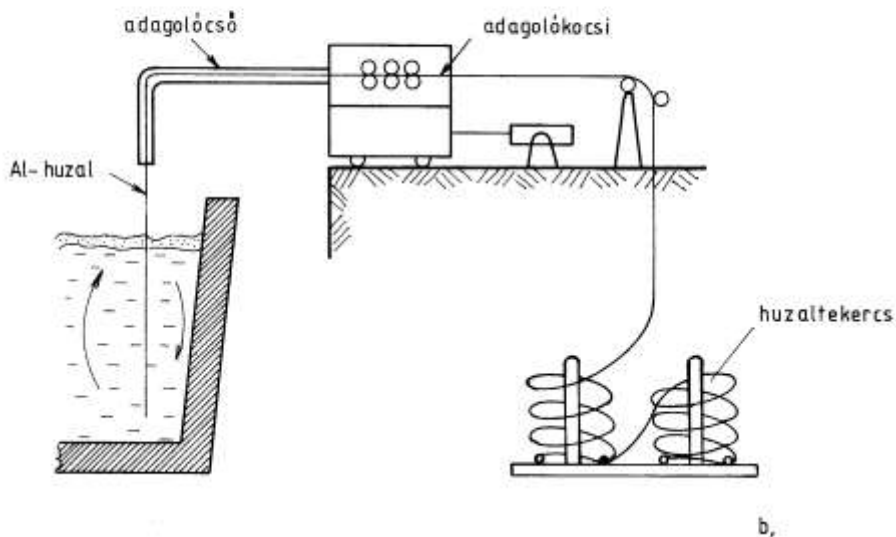
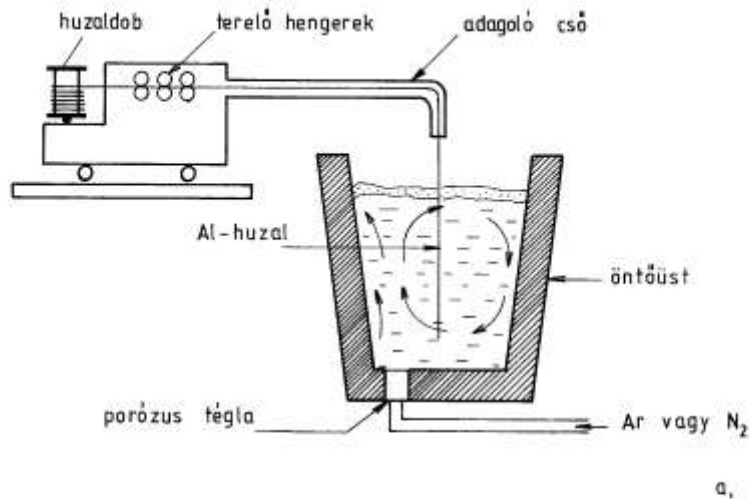
A porbefúvásos kezelés említett korlátainak kiküszöbölésére való törekvés vezetett el a huzalos adagolás bevezetéséhez. Ha a kívánt reagens anyagot huzal – tömör huzal vagy porbeles huzal – formájában sikerül beadagolnunk a folyékony acélfürdő mélyebb részeire, a megolvadás után reakcióba lépő anyagok gyenge keverőhatást kifejtve lassan emelkednek a folyékony fázisban mindaddig, míg a reagens anyag (vagy a reakciótermék) gőzfázisa meg nem jelenik. Mivel a porbefúvásos kezeléshez szükséges vívőgázt a porbeles kezelés nem igényli, porbeles kezeléskor ezért a vívőgáz okozta keverés is elmarad, s ezáltal a tartózkodási idő jelentősen megnő.

A huzalos kezelés kifejlesztése az 1970-es évek elején történt, elsőként tömör Al-mal. Az alapvető indíték az volt – mivel már akkor is az acélgyártás egyre finomabb dezoxidációt és oxigénszint-szabályozást igényelt –, hogy az oxigénszint-szabályozáshoz darabos Al üstbeadagolása pontatlan eredményeket ad, a por alakú Al hasznosulása igen rossz, a dugórúdra helyezett Al-réteg [52-53], továbbá a Sumitomo Művek huzaldarabos megoldása [54] nem tökéletes üzemi megoldás.



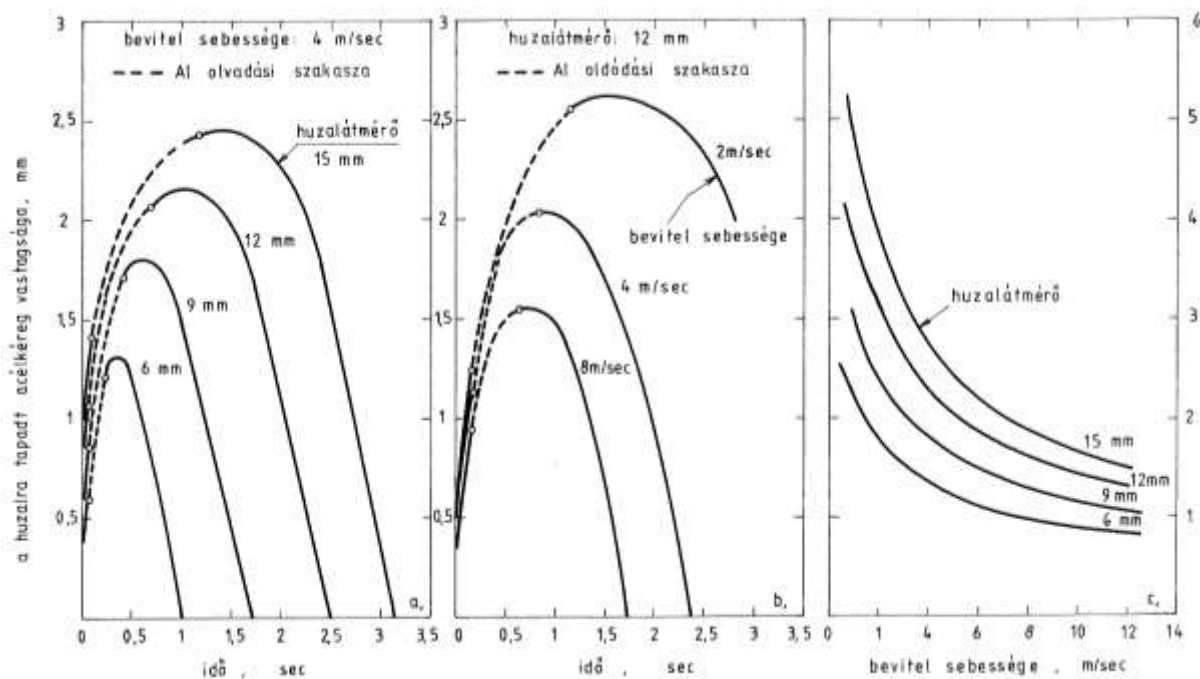
28. ábra Az acélfürdő oxigén- és kén tartalmának alakulása porbefűvásos acélkezelés előtt, ill. alatt.

Elsőként igazi Al-huzalos megoldást a Nippon-Kokan üzemekben vezettek be [55-57]. Ez az első Al-huzalos berendezés (ld. 29. ábra) 0,03-0,06 % közötti Al-tartalom – eddigieknél pontosabb – beállítására szolgált úgy, hogy a 9,5 mm $\varnothing$ -jú Al-huzalt egy arra alkalmas, 0,8-8 m/sec sebességgel adagoló géppel vitték az öntőüstbe. A hőmérsékleti és összetételi homogenitás biztosítására egy porózus fenéktéglán keresztül ~ 3 -5 bar nyomással, nitrogéngázt injektáltak, s ezáltal az Al-felúszás sebessége a 2,5 m/sec értéket is elérte.



29. a-b. ábra Az első Al-huzal adagoló-berendezés a Nippon-Kokan üzemben (a), ill. első európai továbbfejlesztett változata a Hoesch-cégnél (b).

A Nippon-Kokan üzemben bevezetett megoldást fejlesztette tovább B.Redenz, M.Hater és W.Pluschkell [58-59] a Hoesch-cégnél úgy, hogy a 3,5 m-es üstbe 4 m/sec sebességgel a fürdő aljáig vezették be a 12 mm $\varnothing$ -jű huzalt. G.Bner, A.Diener és W.Pluschkell vizsgálatai szerint [60] mikor a huzal az acélfürdőbe hatol – mivel a bevezetett Al-huzal „szobahőmérsékletű” – egy acélréteg kezd a huzal felületéhez tapadni, s ez a réteg egyre vastagodik a huzal jellemzőitől, az adagolási sebességtől és a fürdő túlhevítésétől függően (30 a-c. ábra). Az Al-huzal maga megolvadhat azelőtt, mielőtt a ráfagyott acélburok megolvadna, ez az acélburok teszi lehetővé a sokkal mélyebb behatolást. A huzal tehát – hőelnyelő szerepet betöltve – létrehozza saját átmeneti burkát, s miután a huzalátmérő növekedésével a hőelnyelés mértéke is nagyobb, így a nagyobb szelvényű huzalok mélyebbre hatolnak, mint a kisebbek, ugyanazon lineáris beviteli sebesség esetén. A Hoesch kezdeti kísérleteinél alkalmazott 4 m/sec-os beviteli sebesség mellett a 13 mm $\varnothing$ -jű huzal ~2,4 sec alatt olvad meg (ld.30a. ábra), s ez elvben azt jelenti, hogy a bemerülési mélység ~10 m, ami gyakorta jelenti azt, hogy a huzal sok esetben az üst fenekére is leér, s ott deformálódva elhajlik.



30.a-c. ábra Al-huzaladagolásnál a huzalra tapadt acélkéreg vastagsága 50 °C-al túlhevített fürdőben a huzalátmérő és a beviteli sebesség függvényében

Ma az Al-huzalos kezelés létjogosultsága vitathatatlan, mivel az eddig alkalmazott bármilyen Al-os dezoxidációhoz és mikroötvözéshez képest jobb hatásfokkal képes az Al-ot a fürdőbe vinni az Al-adagolás reprodukálhatósága mellett.

Hazánkban a skandináv-lándzsás porbefűvés kiegészítő megoldásaként jelen van üzeminkben az Al-huzaladagoló berendezés, 8-13 mm $\varnothing$ -jú Al-huzal bevitelére van lehetőség a kezelés alatt, ill. befejeztekor.

Az Al-huzaladagolásnak is vannak bizonyos esetekben objektív korlátai. Ilyen korlát a kagylószükülés veszélye. Sing szerint [61-62] a kagylószükülést a mikroszkopikus alumínium-oxid részecskéknek az üstkagylónál történő felhalmozódása okozza. Ez szerint azért következhet be, mert a határfelületen, nagyon közel a kagyló anyagához az üstből kifolyó acél áramlási sebessége megközelíti a nullát. Azok az alumíniumoxid-részecskék, melyek e határrétegen keresztül haladnak, a falazat-részecskékhez ütközve odatapadnak, odaszugorodnak, s ez a zsugorodott alumíniumoxid-hálóréteg folyamatosan csökkenti a kagyló kiömlőnyílásának méretét. T.R.Meaddowcroft és Milbourne [63] semleges gázzal átfűvott kiömlőnyílás alkalmazását javasolja kiegészítve az öntőkád védelmével, s öntőpor alkalmazásával. Sing speciális gyűrű alakú kagylókiképzésre tesz javaslatot a jelenség elhárítására.

Ma már mindkét területen jelentősek az előrelépések: kiváló öntőporok vannak forgalomban, s a dugós és a tolózásas üstöknél is a kiömlőnyílás védelmében sokat segít az Ar-gáz odavezetés. Ennek a fejlesztésnek az eredményétől függetlenül – főleg az ún. nyitott öntésnél – az a tendencia erősödik [64-65], hogy

- Al-os huzaladagolást az öntőüstbe – porbefűvós kezelés alatt, vagy anélkül – csak addig célszerű ill. szabad alkalmazni, ameddig a fürdőbe kerülő Al mennyisége kagylószüküléshez nem vezet. Ez a gyakorlat szerint igen kis értéket, 0,007-0,008 % Σ Al-ot jelent.

- Amennyiben az oxigénszint-szabályozás, ill. az Al-os mikroötvözés pótlólagos Al-bevitelt tesz szükségessé, ezt egy 1979-ben elfogadott amerikai szabadalom [66] alapján közvetlen a kokillába ill. folyamatos öntésnél a kristályosítóba vezetett kisebb szelvényű Al-huzaladagolás kell, hogy megoldja. Ez a megoldás azonban, a keletkező Al_2O_3 zárványok miatt, minőségi acélok esetében tiltott művelet!

2.4.3. A porbeles huzalos kezelés helye és szerepe az acélgyártásban

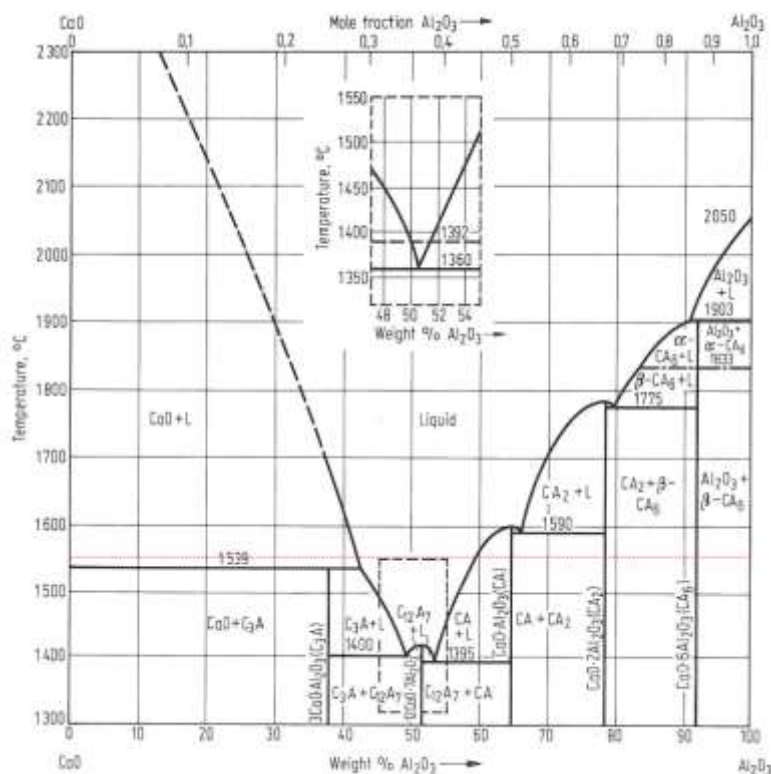
2.4.3.1. A porbeles huzalos kezelés kialakításának mozgatórugói

Az Al-huzaladagolás korlátain enyhít az öntő- és/vagy közbensőüst kiömlőnyílásához odavezetett Ar, valamint a következő technológiai művelet:

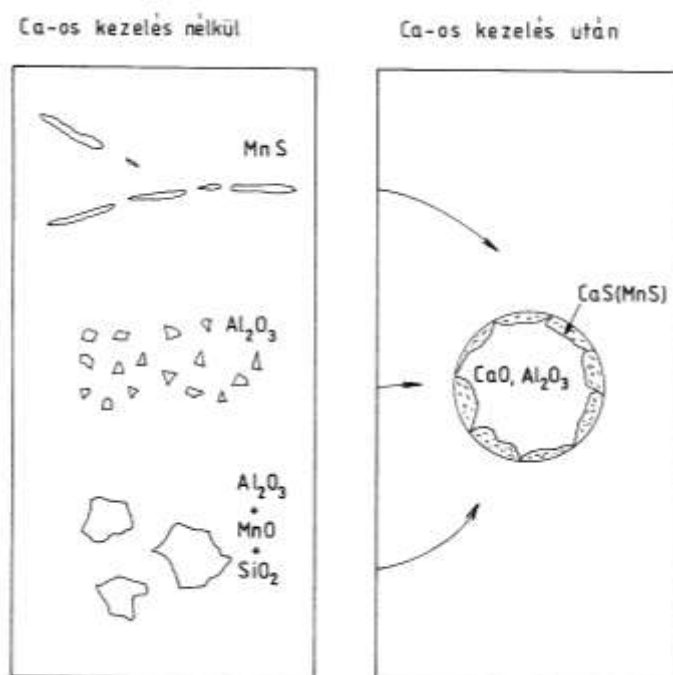
- CaSi-mal történő porbefúvatás után kerül sor az Al-huzaladagolásra,
- Ca-bázisú anyaggal töltött porbeles huzalos kezelést alkalmazunk.

Mindkét esetben a hangsúly a Ca-bázisú fémes anyag fürdőbevitelén van, kihasználva azt a több évtizede megállapított tény [67], hogy a nagy olvadáspontú alumíniumoxid káros hatása leginkább Ca (ill. Ca-bázisú fémes anyag) adagolásával lenne kiküszöbölhető. Hiszen az ebben az esetben képződő kis olvadáspontú kalcium-aluminátok (ld. 31. ábra) kagylónyílás-elzáródást kevésbé okozhatnak, s ez – néhány felhasználási terület, pl. a csapágyacélokat kivéve – kedvezőbb a zárványmorfológia szempontjából is (32. ábra).

A Ca általános hatásáról szóló szakirodalom rendkívül bő, hiszen termodinamikai alapon számított dezoxidáló- és kéntelenítő hatása már az 1950-es évekből jól ismert, kétségtelen viszont, hogy az 1970-es évek elejéig az alacsony ($\sim 810^\circ\text{C}$) olvadáspontú, és 1600°C -on $\sim 1,87$ bar gőznyomású Ca hatékony fürdőbevitelére, üzemileg alkalmas módszer nem állt az acélgyártók rendelkezésére. 1971-ben Torontóban, egy konferencián Hacket és Mc.Tyer számolt be elsőként olyan kísérletekről, amikor fém Ca fürdőbevitelére sikerült csapoláskor az acélsugárba adagolva [68]. Az Union Carbide cégnél végzett kezdeti kísérletek valóban igazolták a Ca-adagolás kedvező hatását a kagylóelzáródások kiküszöbölése szempontjából. A fém Ca-nak acélba való adagolási módszerei tökéletesítésének kutatásai során merült fel az az ötlet, hogy a Ca-ot huzal formájában adagolják az acélba. Ezt a módszert – ún. porbeles huzalként – a Hitachi cég szabadalmaztatta 1975-ben Japánban [69], majd 1978-ban az NSZK-ban és az USA-ban is. Ezt követően az 1980-as évek eleje óta, több szabadalom rendkívül bőven taglalja az új eljárást. A témakör teljes ismeretanyagának felkutatásához on-line irodalomkutatást végeztünk [70], s ennek segítségével több, mint kétszáz – e témakörbe vágó, s az 1980-as években megjelent – szakirodalom anyagát tanulmányoztuk át.



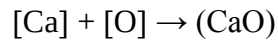
31. ábra A CaO-Al₂O₃ fázisdiagram



32. ábra A Ca-os kezelés hatása a zárványok morfológiájára

A Ca általános hatását elemző szakirodalmak közül különösképp említésre méltó az 1988. június 30-i Glasgow-i konferencia (First Int. Calcium Treatment Symposium) anyaga. Ezen a konferencián M.Nadif és C.Gatellier [71] kísérletekkel igazolta, hogy a Ca oldódása az acélban még a tiszta vas Ca-oldó képességénél is kisebb, 30-100 ppm közötti, az oldhatóságot a

Ni és a C-tartalom jelentősen javítja (33. ábra), a Cr erőteljesen rontja. Az oldódni képes kalcium (ill. számos szerző szerint már a gázalmazállapotú kalcium is) igen hevesen reagálva dezoxidál, ill. kéntelenít

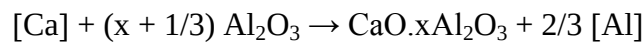


$$\lg K_{\text{CaO}} = \frac{25\,655}{T} + 7,65$$

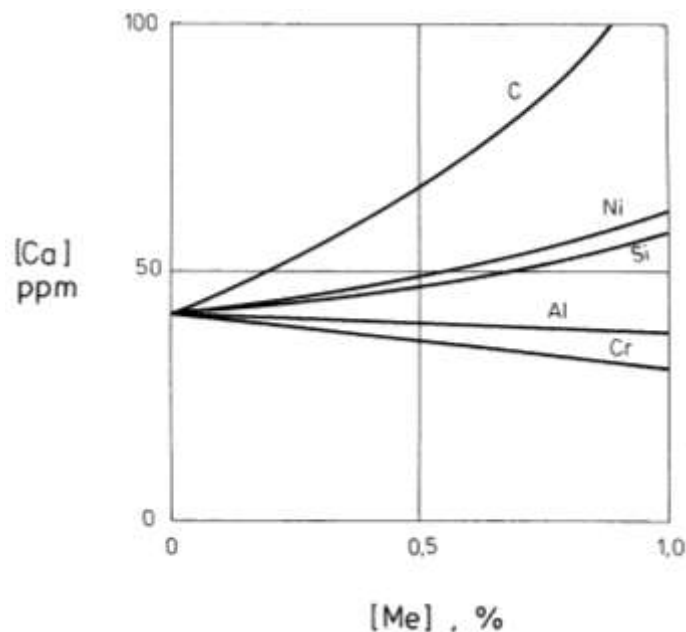


$$\lg K_{\text{CaS}} = \frac{28\,300}{T} + 10,16$$

reakciók lejátszódása alapján, s Turkdogan szerint [72] ezt követően játszódik le a



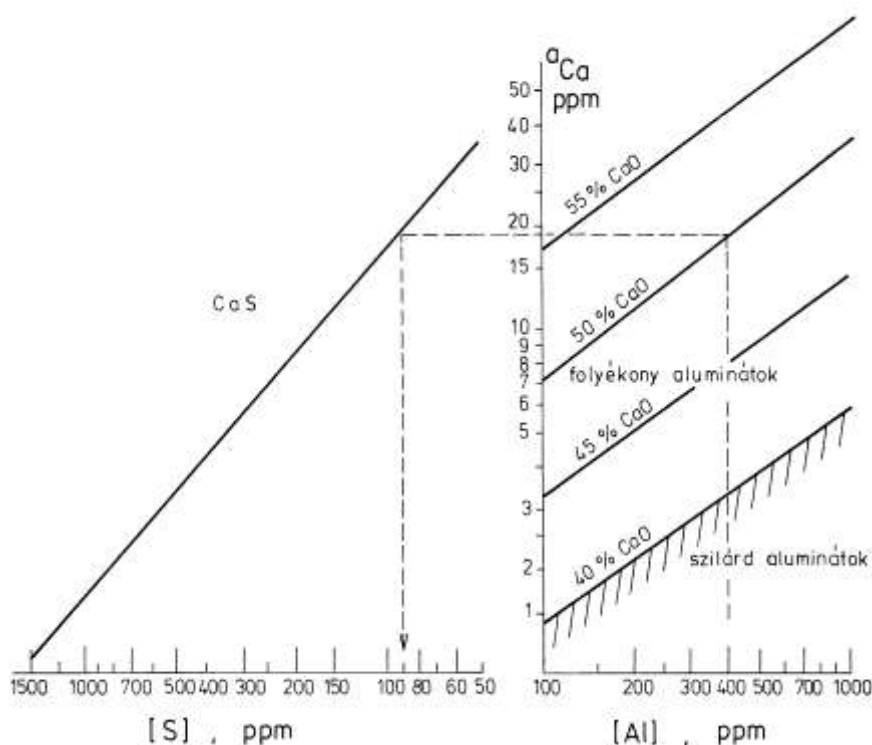
reakció megfelelő feltételek mellett.



33. ábra Az acél fontosabb ötvözőelemeinek hatása a Ca oldódásának az 1600 °C-os acélfürdőben C.Gatellier és tsa. [71] vizsgálatai szerint

Az 1600 °C-ra érvényes Fe-Al-Ca-O-S egyensúlyi diagramot a 34. ábra mutatja [73-74]. Ezen az ábrán látható, hogy 40-55 % CaO-tartalmú aluminátok képződésére van a legreálisabb esély, de R.Kiessling [75] szerint az Al-mal elődezoxidált acél aluminátjai csak akkor modifikálhatók Ca-aluminátokká, ha a Ca/Al arány $\geq 0,06$. Sőt ahhoz, hogy a 31. ábra szerinti legkisebb olvadáspontú aluminátok képződhessenek, melyek a kagylószerűkést meggátolni képesek, a Ca/Al arány $\geq 0,14$ kell lennie. Ebben a modifikációban a Mn-szulfidok átalakítása Ca-szulfidokká, Ca-aluminium-szulfidokká akkor történhet, ha a Ca/S arány min. 0,7.

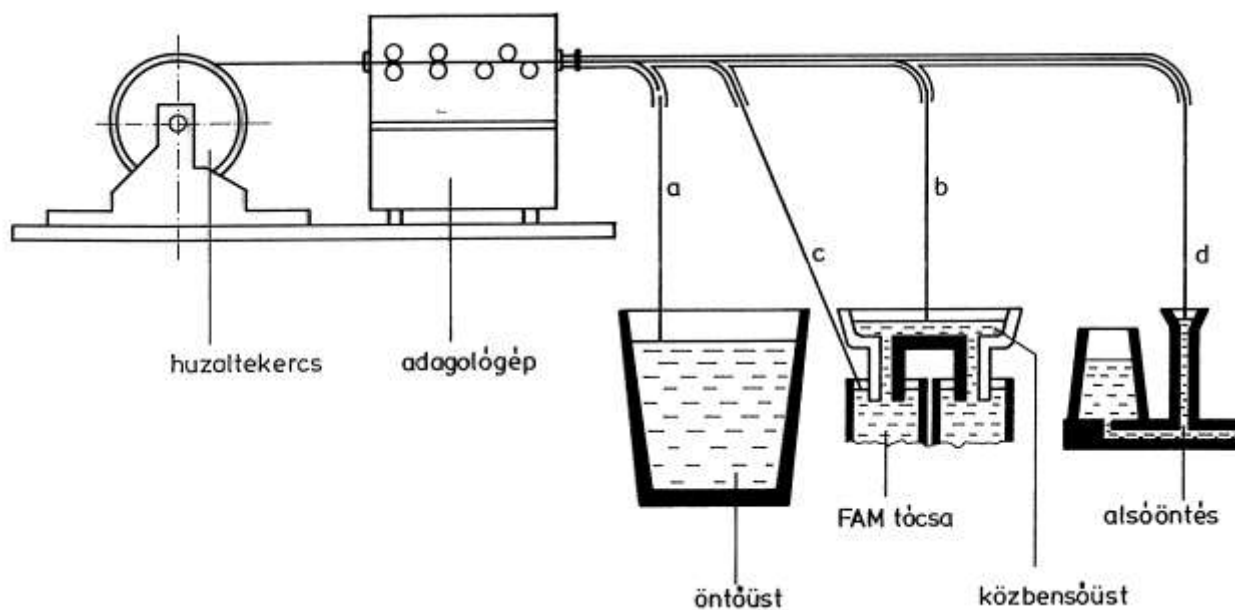
A már említett Glasgow-i konferencia tanulsága, hogy a Ca általános hatása többnyire kikutatott, általánosan elfogadott elvekre épül. A Ca-bevitel nehézségeiből, az elérendő célok különbözőségeiből eredően az alkalmazásra általános recept ma még nincs, igen sok múlik a kezelési módok sajátosságain.



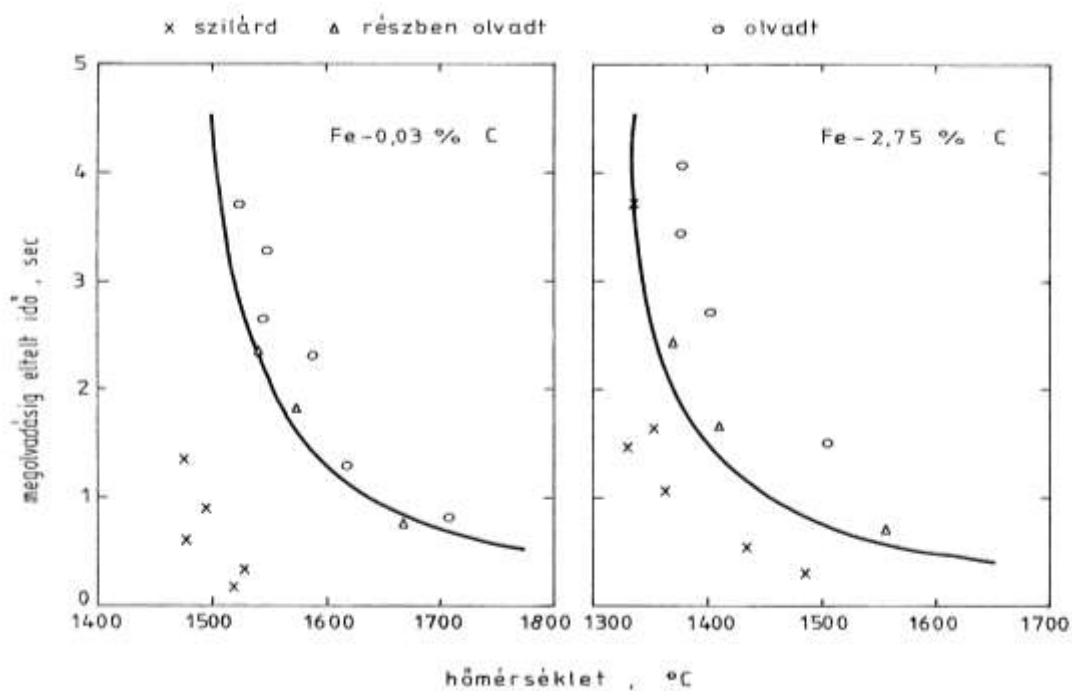
34. ábra Az 1600 °C-ra érvényes Fe-Al-Ca-O-S egyensúlyi diagram [73-74]

2.4.3.2. A porbeles huzalos kezelés módjai, sajátosságai

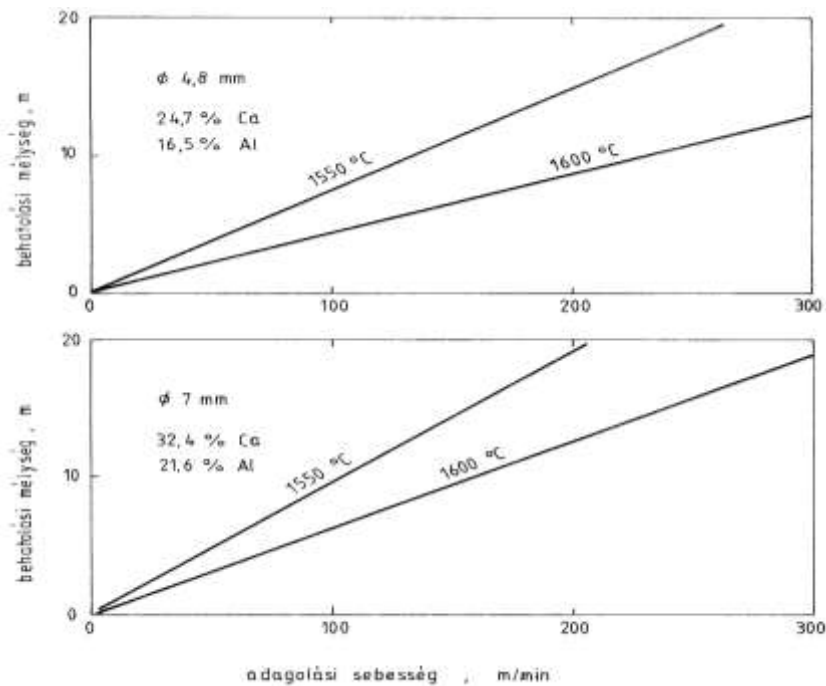
A porbeles kezelés három különböző alaphelyzetét – porbeles kezelés az öntőüstben, porbeles kezelés a közbenső üstben, porbeles kezelés a kristályosítóban – mutatja a 35. ábra. Bármely megoldást is válasszuk, (bár mint azt a később bemutatott 5. táblázat mutatja, a választás sok esetben adott, s nem lehet önkényes), a folyékony acélba kerülő huzal oldódása általában 1-3 sec-ot vesz igénybe. Függetlenül a befűvott anyagtól (a 36. ábrán pl. két különböző C-tartalmú Fe-C fürdőben 4,8 mm $\varnothing$ -jú, CaAl-mal töltött porbeles huzal oldódási időszükséglete szerepel a fürdő hőmérséklete függvényében; jellegében hasonló összefüggést kapunk egyéb összetételű huzalra nézve is. [49-50] Ezt az olvadási időt alapul véve számítható az a behatolási mélység (37. ábra), amikor az oldódás bekövetkezik a különböző adagolási sebességeknél (ez ugyancsak CaAl- huzalokra vonatkozik, de jellegében hasonló összefüggést kaphatunk más anyagok alkalmazásakor is).



35. ábra A porbeles huzaladagolás módozatai



36. ábra 4,8 mm $\varnothing$ -jú 24,7 % Ca, 16,5 % Al-tartalmú porbeles huzal beolvadási ideje két különböző vasolvadékban



37. ábra A porbeles huzal fürdőbehatolási mélysége az adagolás függvényében különböző hőmérsékletű fürdőnél

Természetesen a különböző porbeles huzalok viselkedése az acélfürdőben különböző. A fém Ca-ot tartalmazó porbeles huzaloknál különösképpen fontos (ld. 38. ábra), hogy a huzalt olyan mélyre adagoljuk a fürdőben, hogy a fémes anyag gömbjei lassan úszva felfelé gőzzé nem válnak. A gőzbuborékok ugyanis túlságosan gyorsan a felületre jutnak rontva a Ca-hasznosulásának fokát. Nyilvánvaló, hogy kisebb hőmérsékleten a gőzfázis képződése is kisebb, a Ca hasznosulása is jobb. Ezen túlmenően a Ca átalakulása gömbökké vagy gőzbuborékokká az acélban való diffúziótól is függ. Az oldhatóság növelését és ez által a Ca-hasznosulását segíti több ötvözőelem is, pl. 1 % C-tartalom ~ 90 %-kal, 1 % Si ~ 25 %-kal, 1 % Al ~ 20%-kal növeli a gőznyomást, csökkenti a Ca forrásának megakadályozásához szükséges mélységet. Ebből eredően a CaSi vagy a CaAl ötvözet a nagyobb hőmérsékleten előnyösebb, mint a Ca míg ez utóbbi alkalmazása elsősorban ~ 1550 °C alatt előnyös. Ezt a lehetőséget – a megengedhető kisebb fürdőmélység miatt Ca porbeles huzalként – a közbenső üstben is, a kristályosítóban is kihasználták, de később minőségi okokból (inhomogén acélösszetétel, zárványosság növekedés) ezt a megoldást elvetették.

Porbeles kezelésnél a huzaladagolás hatékonysága természetesen sok egyéb tényező (üst tűzálló falazata, salakösszetétel, acélhőmérséklet, oxigén- és kéntartalom stb.) függvénye is. Ezeknek a tényezőknek állandó értéken tartása mellett lényeges befolyásoló szerepe van az adagolási paramétereknek, melyek közül leginkább

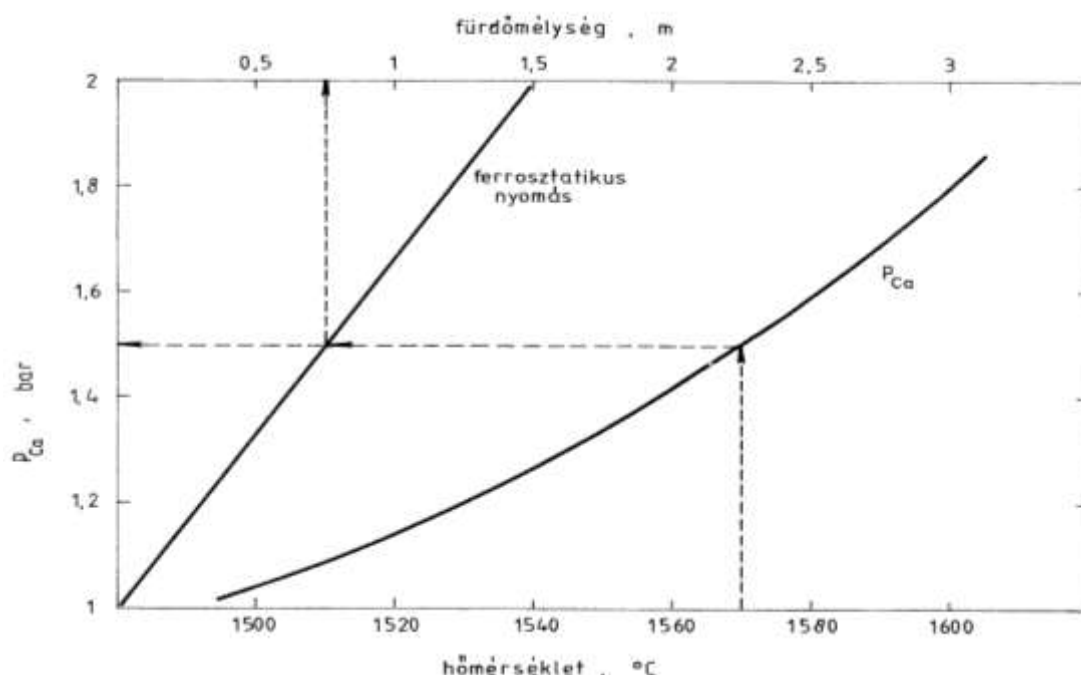
- a huzal keresztmetszete,
- a lágyvas-kéreg vastagsága,
- a beadagolandó pormennyiség,
- az adagolás sebessége

a domináló.

Kezdetben a kanadai- amerikai Pfizer-cégnél Pferrocal néven, majd az amerikai Miller és társa cégnél, TRIMTEC Cored Wires néven kizárólag 3-13 mm $\varnothing$ -jú, körszelvényű porbeles huzalokat gyártottak az alábbi összetételekkel (a maradék Fe mellett):

Ca	(38-45 %)
CaSi	(Ca=30-45 %, Si= 60-45 %),
CaAl	(Ca=26-32 %, Al= 17-22 %),

Ezt követően jelentek meg különböző méretekből az egyéb összetételű (B, Pb, Se, Te, S, Mg, Ti, Ni, C) körszelvényű porbeles huzalok; újabban pedig a négyszögszelvényű huzalok, melyeket elsőként az amerikai érdekeltségű francia Vallourec-cég hozott forgalomba AFFIVAL néven, az előzőekhez hasonló összetétellel, 8 x 4 mm-től 26 x 9 mm-ig terjedő méretskálában. Ez a mérettartomány megfelel 40-400 g/m poradagolásnak, így könnyű kiválasztani azt a huzalt, ami a helyi körülményeknek leginkább megfelel. [76-82].



38. ábra A Ca gőznyomásának és a ferrosztatikus nyomásának a viszonya

A lágyvas-kéreg vastagsága elsősorban a folyékony fűdő mélységétől függ, ill. az adagolás sebességétől. Nyilvánvalóan az lenne az ideális, ha a töltet aránya maximális, a kéreg vastagsága minimális lenne; más oldalról viszont szükséges, hogy a huzal minimális mechanikai stabilitást mutasson, a port a kívánt mélységre eljuttathassa, mielőtt megolvadna. Gyakorlatban a burkolat vastagsága 0,2-0,4 mm. Újabb kísérletek folynak a lágyvasköpeny helyett Al-köpeny alkalmazására.

Az adagolandó huzal mennyisége a beviendő elem mennyiségétől, a kezelendő anyag mennyiségétől és az adagolás hatékonyságától függ. Ez utóbbi az acél minőségétől függően is változik, méginkább függ a beviendő elem leégés-érzékenységétől.

Az adagolás sebessége függ a helyi üzemi feltételektől, a huzal minőségétől stb. Általános recept nem adható, az elsősorban az elérendő cél függvénye, s ezt csak kísérletsorozattal lehet optimalizálni.

2.4.3.3. A porbeles kezelésnek a porbefűvások kezeléssel szembeni előnyei külföldi tapasztalatok összegző értékelése alapján

Az on-line irodalomkutatás segítségével felkutatott szakirodalom elemzése alapján – és nyilván az előzőekben leírtak összegzéseképp – a porbeles kezelés előnyei a porbefűváshoz viszonyítottn az alábbiak:

- A porbeles kezelés előnye, hogy a beadagolt por mennyisége és az acél homogenizálásához szükséges argon áramlási sebessége független egymástól, míg a másik eljárásnál ezek egymás függvényei. Mivel a keveredés mértéke, ezzel a reoxidáció lehetősége a porbeles kezelésnél kisebb, ugyanannyi mennyiségű por beadagolása esetén a hidrogénnel, nitrogénnel, oxigénnel való szennyezettség mértéke is kisebb.
- Porbeles kezelésnél jobb az adagolás hatékonysága. Porbefűvások kezelésnél a por egyrésze gázbuborékban van bezárva (bezáródva), így nem képes reakcióba lépni a folyékony acéllal → bizonyos mennyiségű por bennmarad a gázbuborékokban, s az erősebb fürdőmozgás révén hamar felúszik a felületre, így porbefűváskor a fajlagos porfogyasztás két-háromszor akkora lehet, mint a porbeles kezelésnél.
- A porbeles kezelés további előnye, hogy a hőveszteség kisebb. Ez elsősorban a vívőgáz elhagyásának a hatása. Porbeles kezelésnél 0,5-1,5 kg/t CaSi por bevitelkor a hőmérsékletesés csupán 5-10 °C, harmada-negyede a porbefűvások kezelésnél mért hőmérsékletesésnek. Ebből eredően porbeles kezelésnél kisebb csapolási hőmérséklet is megfelel, mint a porbefűvások kezelésnél.
- Porbeles kezelésnél a beruházási költségek kicsik. A tekercstartóhoz és a huzaladagolóhoz szükséges beruházási költségek jóval kisebbek, mint porbefűvások kezelésnél a befűvő-berendezés beruházási költségei. Ezen túlmenően a portárolás problémái is elkerülhetőek porbeles huzalos kezelés esetén.
- Porbeles kezelésnél számottevően kisebbek az üzemelési és a karbantartási költségek. Nem szükségesek a költséges és drága befűvató lándzsák. Porbeles kezelésnél az üstbél kopása is kisebb, az argonfogyasztás is kevesebb. A porbevitel hatékonysága jobb, az energiaszükséglet kevesebb. Külföldi tapasztalatok szerint a porbeles kezelés üzemelési költsége a porbefűvások kezelés üzemelési költségének harmada-negyede.

A felsorolt előnyök mellett a porbeles huzalos kezelés külön előnye, hogy a por acélfürdőbe vitele szinte tökéletes védelem mellett történik, s ezért ez a leégésre hajlamos anyagoknál (B, Ti, V, Nb, Rf, stb.) rendkívül előnyös beviteli technológiának minősül.

A porbeles kezelés és a porbefűvások kezelés összevetése korántsem jelentheti azt, hogy a porbefűvások kezelés szerepét lebecsülhetjük. A 6. táblázat az alkalmazás elvi lehetőségeit foglalja össze. Eszerint csapolást követően az üstben a porbefűvások kezelés alkalmazásával rendkívül kedvező a kéntelenítés, a dezoxidáció, a zárványmorfológia és a homogenizálás, s ha a beruházásra lehetőség van (ill. ilyen berendezés már rendelkezésre áll), akkor alkalmazása feltétlen indokolt.

6.táblázat A porbefúvásos ill. a porbeles kezelés alkalmazási területei a kéntelenítés, a dezoxidáció, a zárványmorfológia kedvező befolyásolása, a mikroötvöztetés és a megfelelő homogenizáció elősegítése érdekében különböző acéltípusoknál

Alkalmazási terület			CaO+CaF-os porbefúvás az öntőüstben	Al-huzalos kezelés			Porbeles huzalos kezelés		
				Öntő üstben	Közbenső Üstben	Öntés közben	Öntő üstben	Közbenső üstben	Öntés közben
1	Si-mal dezoxidált acéloknál (Al<0,008 %), a reoxidáció elleni védelem megfe- lelő	a*	●	-	-	-	-	-	-
		b**	-	-	-	-	●CaSi	○	-
2	Si-mal dezoxidált acéloknál (Al<0,008 %), a reoxidáció elleni védelem nem megfelelő	a	●	-	-	-	-	-	● CaSi
		b	-	-	-	-	●CaSi	-	● CaSi
3	Al-mal dezoxidált acéloknál (Al>0,008 %), a reoxidáció elleni védelem megfe- lelő	a	●	●	○	-	-	-	-
		b	-	●	○	-	-	-	-
4	Al-mal dezoxidált acéloknál (Al>0,008 %), a reoxidáció elleni védelem nem megfelelő	a	●	-	-	●	-	-	-
		b	-	-	-	●	●CaSi	-	○ CaSi
5	Al-mal dezoxidált , V+Nb-mal mikroötvöztött acéloknál , a reoxidáció elleni védelem megfe- lelő	a	●FeV+FeNb	●	-	-	-	-	-
		b	-	●	-	-	-	●FeV+FeNb	-
6	Al-mal dezoxidált , V+Nb-mal mikroötvöztött acéloknál , a reoxidáció elleni védelem nem megfelelő	a	●FeV+FeNb	●	-	○	-	●FeV+FeNb	○FeV+FeNb
		b	-	●	-	○	-	●FeV+FeNb	○FeV+FeNb
7	Al-mal dezoxidált , B-al vagy Ti- nal-mikroötvöztött acéloknál , a reoxidáció elleni védelem megfe- lelő	a	●	●	-	-	-	●BTi	-
		b	-	●	-	-	-	● BTi	-
8	Al-mal dezoxidált , B-al vagy Ti- nal-mikroötvöztött acéloknál , a reoxidáció elleni védelem nem megfelelő	a	●	●	○	-	-	-	● BTi
		b	-	●	○	-	-	-	● BTi

* a: ha van porbefúvó berendezés **b: ha nincs porbefúvó berendezés ● alkalmazandó megoldás ○ esetleg alkalmazandó megoldás

A porbefúvásos kezelésnél is elengedhetetlen az aktív oxigénszondás elemzéseken alapuló oxigénszint-szabályozás. Ez alapján dönthető el az, hogy szükség van-e az öntőüstben Al-huzalos adagolásra.

Ha az öntőüst és a közbensőüst közötti védelem nem megfelelő, a közbensőüst kagylójának eltömődésével lehet számolnunk, akkor legmegfelelőbb, ha az öntőüstbe Ca-bázisú anyaggal töltött porbeles huzalt adagolunk. Amennyiben az acél mikroötvöztetése az oxigénhez kevésbé nagy vegyrokonságot mutató elemmel történik, akkor ezt bevihetjük porbefúvásos kezeléssel is (az a hazai jelenlegi gyakorlat, miszerint a FeV + FeNb-ot hagyományos módon adagoljuk az üstbe csapolás közben, majd ezt követően hajtjuk végre a porbefúvásos kezelést, elvileg is kifogásolható megoldás). Ennél megnyugtatóbb – leégésre hajlamos anyagoknál pedig egyenesen nélkülözhetetlen megoldás –, hogy a porbefúvásos kezelést követően Al-huzallal jól dezoxidált fürdőbe vigyük be a porbeles huzal formájában a kívánt anyagot.

3. AZ EGYES ÜSTMETALLURGIA KEZELÉSEK FŐBB SZEMPONTJAI

Az üstmetallurgiával szembeni – 1. fejezetben leírt – elvárások abból adódnak, hogy a mai primer kemencékből (oxigénes konverterekből, UHP elektrókemencékből) csapolt acélok összetétele, hőmérséklete, homogenitása, tisztasága, stb. sok tekintetben eltér az öntésre kerülő acélokkal szemben támasztott elvárásainktól. Eltér, mert a mai, nagyobb teljesítményű primer acélgyártó kemencék beolvasztó gépként, oxidáló körülmények között ún. nyersacélokat gyártanak. Az üstbe csapolt – nem megfelelő összetételű, nem eléggé tiszta, nem kellő hőmérsékletű, nem kellően homogén – nyersacélok finomítása az öntés kezdetéig, az üstmetallurgia-ra hárul (e tekintetben csupán az öntőüstben lejárló folyamatokat tekintjük üstmetallurgiai folyamatoknak, az öntés során, az ún. közbensőüstben zajló folyamatokat közbensőüstmetallurgiai folyamatoknak tekintjük és az acélok leöntése témakörben elemezzük).

Az üstmetallurgiai folyamatok már a csapoláskor kezdődnek. A csapolt acél a primer kemencékben zajló erőteljes oxidáció eredményeképp egyensúlyinál lényegesen nagyobb oxigéntartalmú, ilyen körülmények között nem lehetséges hatékony kéntelenítés, nem lehet gazdaságos és pontos ötvözés. Erőteljes és hatékony dezoxidációval kell az oxigénszintet oly mértékre csökkentenünk, ahol már az ötvözés és a kéntelenítés pontosan és gazdaságosan elvégezhető, s emellett feladatunk a hőmérséklet beállítása az öntés kezdetére, esetenként a hőmérséklet, a tisztaság szabályozása, stb. Mindemellett figyelniünk kell az acélolvadék összetételi és termikus homogenitására, a gáztartalomra, a gyártás gazdaságosságára, a technológia kézbe tarthatóságára stb.

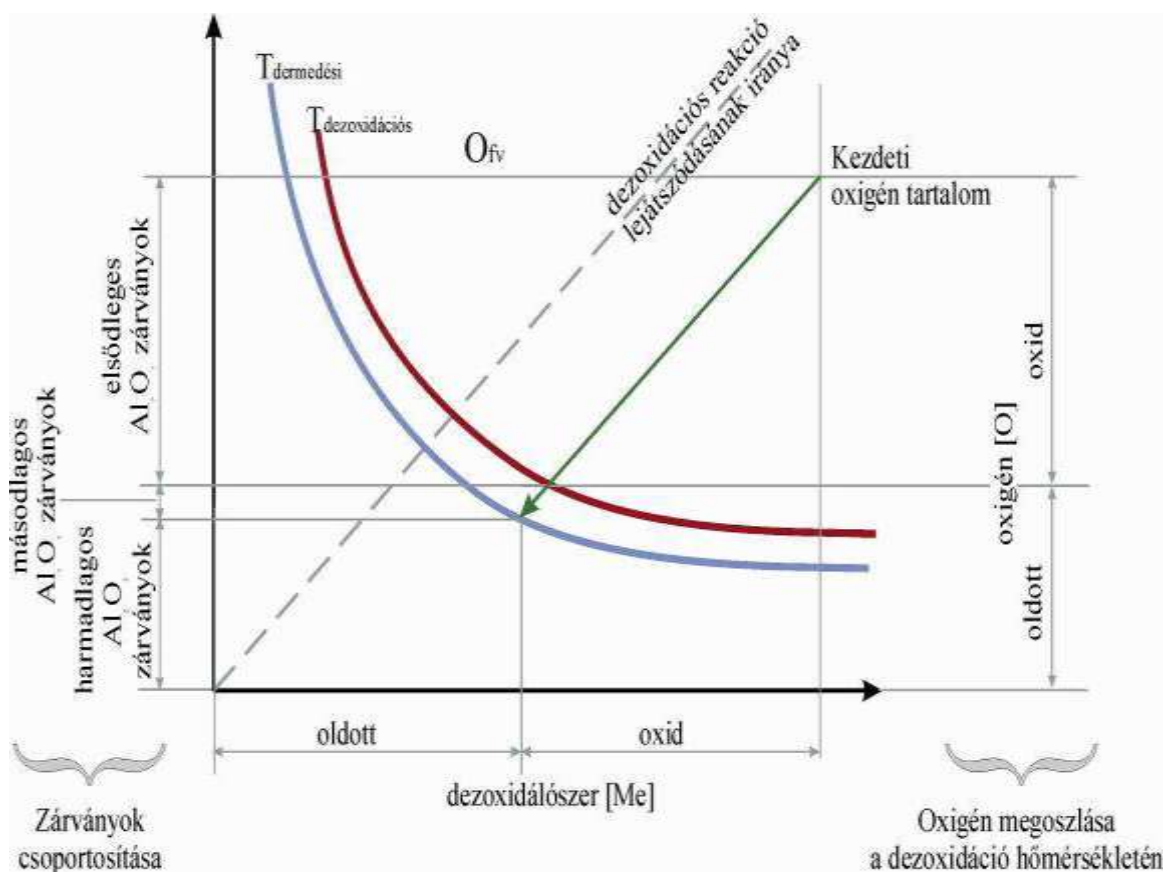
Az üstmetallurgia tehát egy komplex beavatkozást igénylő folyamat, melyhez csupán eszközöknek tekinthetők a 2. fejezetben bemutatott technológiai berendezések. Az acél megrendelésében szereplő minőségi követelmények teljesítéséhez szükséges technológiát, tudatosan kell a kohómérnököknek megtervezni és a kezelési műveleteket a leggazdaságosabb módon kivitelezni.

Az üstmetallurgiai kezelések, az oxigénszint-szabályozásával kell, hogy kezdődjenek. [84] Ennek egyik legfontosabb eleme a hatékony lépcsős dezoxidáció. Azért, hogy a dezoxidáció során elért eredményeink az öntés kezdetéig ne nagyon romoljanak, csapolástól az öntésig hatékony reoxidáció elleni védelemnek kell követnie. Fontos feladat a megfelelő salakvezetés biztosítása, mert csak kellően dezoxidált fürdőt lehet igény szerint kénteleníteni, argonátöblítéssel az acélolvadékot tisztítani, vákuumozással gáztalanítani, pontosan és gazdaságosan ötvözni. Sorra vesszük ezeket, az üstmetallurgiai lépéseket, s ezek birtokában lehet és szabad üstmetallurgiai eszközeink közül a számunkra legalkalmasabbat kiválasztani.

3.1. Oxigénszint-szabályozás üstmetallurgiai eszközökkel

A dezoxidáció lejárására utaló 39. ábra az egyes hőmérsékleti görbékhez tartozó Me_{dezox} -O egyensúlyi viszonyokat mutatja. A csapoláskori (azaz a dezoxidáció szempontjából a kezdeti) oxigéntartalom jelentősen magasabb az oxidációk lejátszódásához szükséges egyensúlyi oxigéntartalmaknál, hiszen ez a túloxidáltság biztosítja a hatékony oxidációt. A túloxidáltság abban jelentkezik, hogy csapoláskor jelentős mennyiségű oldott, ún. aktívoxigén-tartalom

marad vissza a fürdőben, ami később – lehűlés során – más hígán FeO alakjában kiválik, s ez magában is, FeS-dal társulva együttesen méginkább öntéstechnológiai-, alakítástechnológiai-felhasználási gondokat okozhat. Mindenképpen arra kell törekednünk, hogy a hűléskor felszabaduló aktívoxigén-tartalom a Fe helyett egy arra alkalmas más elemmel képezzen olyan oxidot, mely vagy könnyen eltávolítható rövid időn belül az olvadékból, vagy jelenléte kevésbé problematikus. Erre szolgál a dezoxidáció folyamata.



39.ábra A dezoxidáció lejtátszódása [85]

A hatékony dezoxidáció érdekében mindenképpen arra kell törekednünk, hogy

- Egyrészt már csapoláshoz az ún. utánöblítéssel az oxigénaktivitás jelentősen csökkenjen, s az oxigén eloszlása egyenletes legyen. Erre szolgál az ún. utánöblítés a primerkemencékben csapolást megelőzően. Az argonos utánöblítés feladata ugyanis elsődlegesen a túloxidáltság csökkentése, s egyben a fürdő homogenizálása, azaz annak biztosítása, hogy minél kisebb és egyenletesebb oxigénszintről indulhasson a dezoxidáció, s általában a dezoxidáció szabályozható lehessen. (Emellett természetesen a csapolást megelőző Ar-os utánöblítés mellett is lehet a csapolandó acél aktívoxigén-szintje erősen szóródó, hiszen a túloxidáltság mértéke, ami elsősorban a fúvatási karbontartalom és a túlhevített acéolvadék hőmérsékletének a függvénye, nehezen szabályozható. Ennek ellenőrzésére szolgálhat az ún. szublándzsa, ill. ennek hiányában egy aktívoxigén-mérő szonda→a szublándzsa a tananyagában szerepel, az aktívoxigén-mérés azonban sokkal inkább az űstmetallurgia elemző eszköze, ezért ezt később egy külön fejezetben tárgyaljuk). Primer kemencékből csapolt acél aktívoxigén-szintje a túloxidáltság függvényében 400-1000 ppm-nyi lehet, ezt lehet 120-250 ppm-nyi szinttel csökkenteni egy néhány perces hatékony utánöblítéssel.

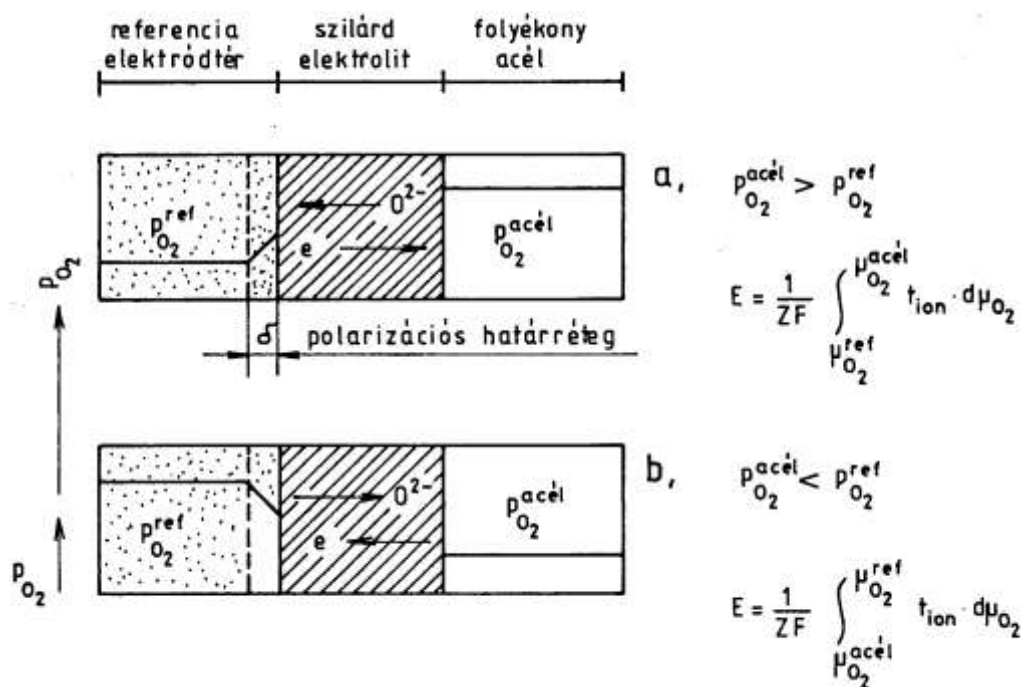
- A dezoxidáció ismert gyakorlati változatai (kicsapásos dezoxidáció, diffúziós dezoxidáció, vákuum-karbonos dezoxidáció) közül a diffúziós dezoxidáció időigényes űstmetallurgiai módszer (a reoxidáció elleni védelem szempontjából a megfelelő salakvezetés el nem hagyható technológiai feladat). A vákuumos-karbonos dezoxidáció csupán vákuumozó berendezés birtokában végezhető el , s akkor is csupán a lépcsős dezoxidáció befejezésekképp (igen nagy tisztaság elérése céljából), a kicsapásos lépcsős dezoxidáció ma minden űstmetallurgiai megoldás velejárója → ezt egészíti ki a reoxidáció elleni védelemként kialakított kis FeO-tartalmú salak, esetenként a vákuumos dezoxidáció.

3.1.1. Az acéolvadék oxigénszintjének mérése.

Elektrokémiai elven működő, ún. szilárd elektrolitos oxigén-meghatározási módszerrel lehet acélfürdőbe merített szonda segítségével 15-30 sec-on belül a fürdő diszponibilis, azaz oldott oxigéntartalmának szintjéről (a szakirodalomban ezt ma aktívoxigén-tartalom meghatározásnak nevezik) képet kapnunk.

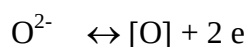
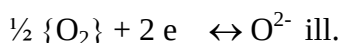
A mérés elve:

Az ún. diszponibilis, vagy más kifejezéssel aktívoxigén-tartalom ($[a_O]$) mérésének elve évtizedek óta ismert, a szakirodalom szerint [86] elsőként K.Kiukkola és Wagner ismerte fel, hogy ilyen mérés céljára – gázt át nem eresztő, de az oxigéniont vezető szilárd elektrolit alkalmazásával – oxigénkoncentrációs cella állítható össze (40. ábra).



40. ábra Az oxigénkoncentrációs galvancia cella elve

Az oxigénkoncentrációs galvánelemben lejátszódó alapvető két elektrokémiai folyamat:



alapján kijelenthető, hogy a szilárd elektrolit két oldalához vezetett fémelektrodák között – árammentes állapotban – elektromotoros erő (E) mérhető, ha a szilárd elektrolit két oldalán lévő, azonos hőmérsékletű cellaterekben az oxigénpotenciál (μ_{O_2}) különböző, azaz a cellaterekben különböző a parciális oxigén-nyomás (p_{O_2}). Ha $p_{O_2}^{acél} > p_{O_2}^{ref}$, akkor a szilárd elektrolitban az oxigénáramlás a 30a. ábra szerinti, míg ha a $p_{O_2}^{acél} < p_{O_2}^{ref}$, akkor a 30b. szerinti. (a 30a-b, ábra mutatja a szilárd elektrolitot és a referencia elektródtér közötti határfelületben jelentkező polarizációs hatás jellegét is, továbbá az elektromotoros erő számítására alkalmas alapösszefüggést).

Az aktív-oxigén-tartalom mérésénél az elektromotoros erő számítására alkalmas alapösszefüggés tulajdonképpen a Nernst-féle összefüggés módosított formája:

$$E = \frac{1}{z \cdot F} \cdot \int_{\mu_{O_2}^{acél}}^{\mu_{O_2}^{ref}} t_{ion} \cdot d \mu_{O_2}$$

ahol

E	elektromotoros erő, V
z	1 mól oxigén elektronjainak száma
F	Faraday állandó (96.487 J.V ⁻¹ .mól ⁻¹)
$\mu_{O_2}^{ref}$	a referencia elektródtérben az oxigén kémiai potenciálja, amely a gyakorlatban alkalmazott valamely fém - fém-oxid (Cr+Cr ₂ O ₃ vagy Mo+MoO ₂ stb.) keverékből lehasadó oxigén ($p_{O_2}^{ref}$) parciális nyomásával arányos
$\mu_{O_2}^{ref}$	$\mu_{O_2}^{O,ref} + RT \cdot \ln p_{O_2}^{ref}$
T	hőmérséklet, K
R	gázállandó (8,3143 J.K ⁻¹ .mól ⁻¹)
$\mu_{O_2}^{acél}$	a vizsgált folyékony acélban az oxigén kémiai potenciálja, ami arányos az aktív-oxigén-tartalommal $\mu_{O_2}^{acél} = \mu_{O_2}^{O,acél} + RT \cdot \ln a_O^2$
t_{ion}	az oxigénion átviteli száma (≤ 1)
a_O	oxigén aktivitása

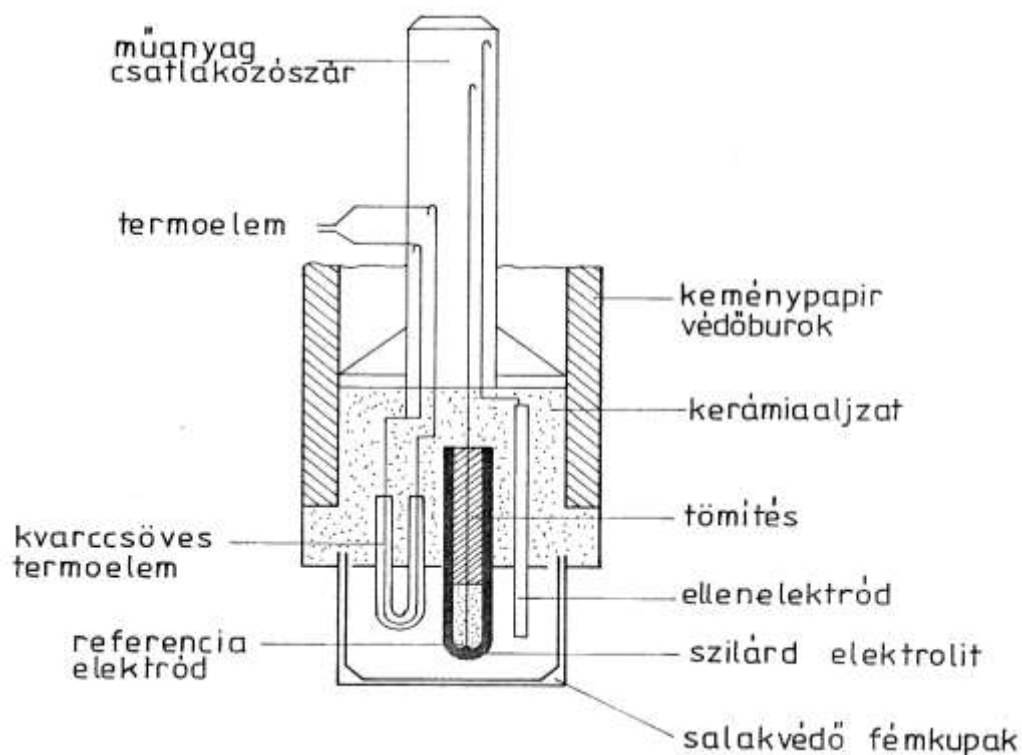
Feltételezve, hogy $t_{ion} = 1$ és D.Janke és Catoul mérései szerint [87-88] a ΔG° értéke -137 120 + 7,79T J.mól⁻¹, az aktív-oxigén-tartalomra az alábbi összefüggést kapjuk:

$$a_O = e^{-\frac{\Delta G_O^\circ}{R \cdot T}} \cdot \left[\left(p_{O_2}^{ref} \right)^{1/4} \cdot e^{-\frac{E \cdot F}{R \cdot T}} \right]^2$$

Az oxigénszondák felépítése, típusai:

Számos oxigénszonda-típust fejlesztettek ki az utóbbi évtizedekben a világon, felépítésük elve természetesen azonos (41. ábra), az összeállítási részletekben azonban jelentős az egyes típusok közötti eltérés. Egy aktív oxigéntartalmat mérő szonda – a típustól függetlenül – az alábbi főbb részletekből áll:

- szilárd elektrolit
- referencia elektród
- ellenelektrod
- hőmérsékletmérő elem
- kerámia aljzat
- a mérőfejet és a csatlakozó szarát védő papírhenger
- csatlakozó aljzat
- védőkupak



41. ábra Acélok aktív oxigéntartalmának mérésére alkalmas szonda mérőfejének sematikus vázlata.

Az Európában beszerezhető ismertebb szondatípusok főbb jellemzőit a 7. táblázat, ezen szondatípusoknál az aktív oxigéntartalom számításához alkalmazott összefüggéseket a 8. táblázat mutatja.

7. táblázat Európában beszerezhető ismertebb szondatípusok főbb jellemzői

	TEM-O-Tip	OXYTIP	FOX	ZIRCOMEX	CELOX
Gyártócég	US Steel USA	IRSID-MECI Franciao.	Ferrottron Németo.	Nippon Kokan Japán	Electro-Nite Belgium
Szilárd elektrolit	ZrO ₂ (CaO)	ZrO ₂ (MgO)	ZrO ₂ (MgO)	ZrO ₂ (CaO)	ZrO ₂ (MgO)
Referencia elekt-ród	Cr + Cr ₂ O ₃	Mo + MoO ₂	Cr + Cr ₂ O ₃	Cr + Cr ₂ O ₃	Cr + Cr ₂ O ₃
Ellenelektrod	Mo - rúd	Mo - rúd	Mo - rúd	Mo - rúd	Acélgyűrű
Hőelem	PtRh 10% Pt	PtRh 18% Pt	PtRh 10% Pt	PtRh	PtRh 10% Pt
Műszer	Leeds and	HB 46	Ferrottron	Zircomex	Celox-Lab

8. táblázat Európában beszerezhető ismertebb szondatípusoknál az aktív oxigéntartalom számításához alkalmazott összefüggések

Szondatípus	Összefüggés
TEM-O-Tip	$\lg a_0 = 4,620 - \frac{13580 - 10,08 \cdot E}{T}$
OXYTIP	$\lg a_0 = 3,884 - \frac{7724 - 10,08 \cdot E}{T}$
FOX	$a_0 = e^{\frac{-32750 + 1,86T}{1,986T}} \left\{ \left[\left(10^{\frac{-74370}{T} + 24,4} \right)^{1/4} + \left(10^{\frac{-37508}{T} + 8,1} \right)^{1/4} \right] \cdot e^{\frac{-23066E}{1,9865T}} - \left(10^{\frac{-74370}{T} + 24,4} \right)^{1/4} \right\}^2 \cdot 10^4$
ZIRCOMEX	$a_0 = e^{\frac{-16486}{T} + 8,2} \left\{ \left[\left(10^{\frac{-74370}{T} + 24,4} \right)^{1/4} + \left(10^{\frac{-86384}{T} + 18,6} \right)^{1/4} \right] \cdot e^{-11,6 \frac{E}{T}} - \left(10^{\frac{-74370}{T} + 24,4} \right)^{1/4} \right\}^2$
CELOX	$\lg a_0 = 4,620 - \frac{13580 - 10,08 \cdot (E + 24)}{T}$

A 7-8. táblázatokban feltüntetett szondatípusok közül az Electro-Nite szondák a legelterjedtebbek, ezeket használjuk hazánkban is (32-33. ábra). E készülékek a

$$\lg a_0 = 4,620 - \frac{13580 - 10,08 \cdot (E + 24)}{T}$$

képlet alapján kiszámítják a próba alapján a primer kemencénél az acéolvadék karbontartalmát is, az űstmetallurgiai állomáson pedig a fém alumínium-tartalmat.



42. ábra

Üstmetallurgiai kezeléseknél alkalmazott
CELLOX-szonda



43. ábra

Aktív oxigénméréseknél alkalmazott műszer

3.1.2. Dezoxidáció az öntőüstben klasszikus kicsapásos módszerekkel

A klasszikus kicsapásos dezoxidációnál a dezoxidáló anyagokat csapolás közben a sugárba adagoljuk. A dezoxidáció eredményét számos befolyásoló tényező (az acéolvadék ill. az üstmetallurgiai salak összetétele, az oxigénszint ingadozása, a dezoxidálóanyag összetétele, morfológiája, az acéolvadék hőmérséklete, a dezoxidálóanyag bevitelének módja. Az üstben egy kezelést követően az aktívoxigén-szint mérésével próbálunk támpontot kialakítanunk a dezoxidáció folytatásához.

A primer kemencénél az utánöblítéssel – az oxigénszint kialakított salak összetétele stb.) alakítja, ezért kell a lépcsőzetességet betartanunk, amikor egy-ingadozása mellett is – csökkenthetővé válik az acéolvadék oxigénszintje, de annak árán, hogy a primer kemencei salak oxidossága nő. Ezért is, de e nélkül is törekvésünk kell legyen, hogy csapoláskor minél kevesebb salak kerüljön az üstbe → ezt a salakszegény csapolást lehetővé tevő eszközökkel, gépi berendezésekkel lehet elérni (amelyeket a primer acélgyártás részeként működtetünk, tehát ott ismertetjük). Ha a salakszegény csapolás nem biztosítható, akkor az üstben lévő acélról az oxidos salak nagy része eltávolítandó (ez már üstmetallurgiai eszközzel, ún. salaklehúzó szerkezettel végezhető).

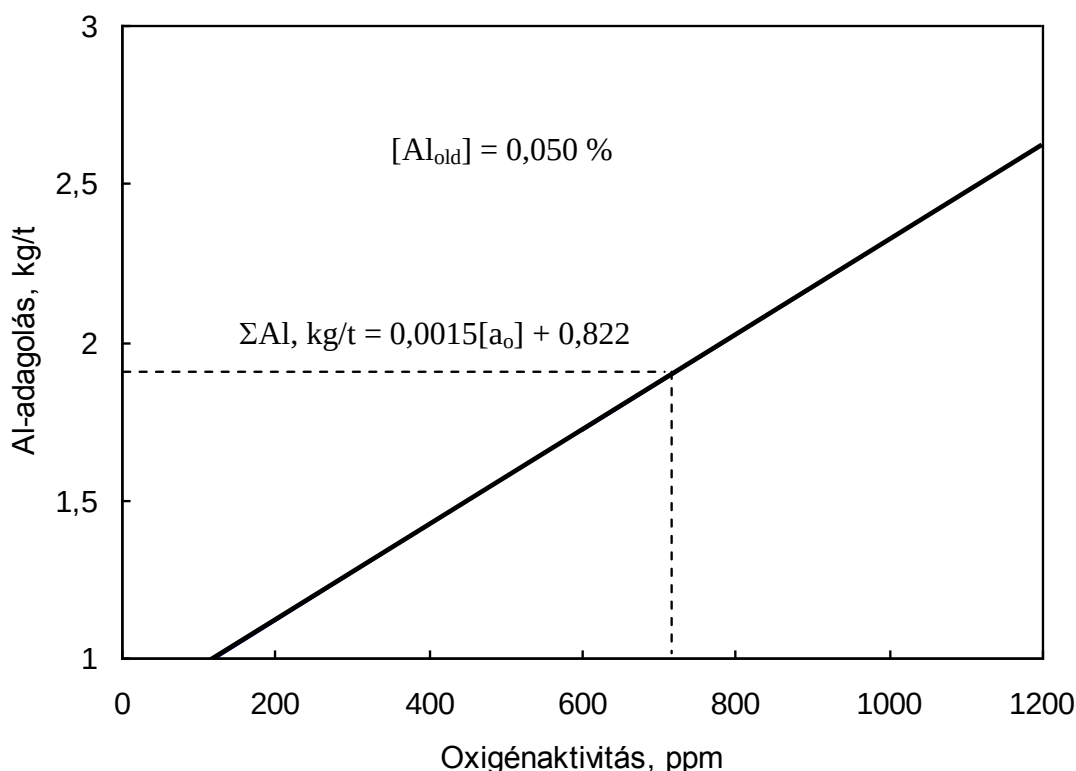
Üstmetallurgiánál a sokféle beavatkozási szempont miatt nehéz egy ideális összetételt előírni, mégis általában az ideális üstmetallurgiai salaknak az alábbi salakösszetételt tekintjük:

FeO + MnO	≤ 1 %
CaO	45-55 %
Al ₂ O ₃	30-45 %
SiO ₂	≤ 6 %
MgO	≤ 10 %

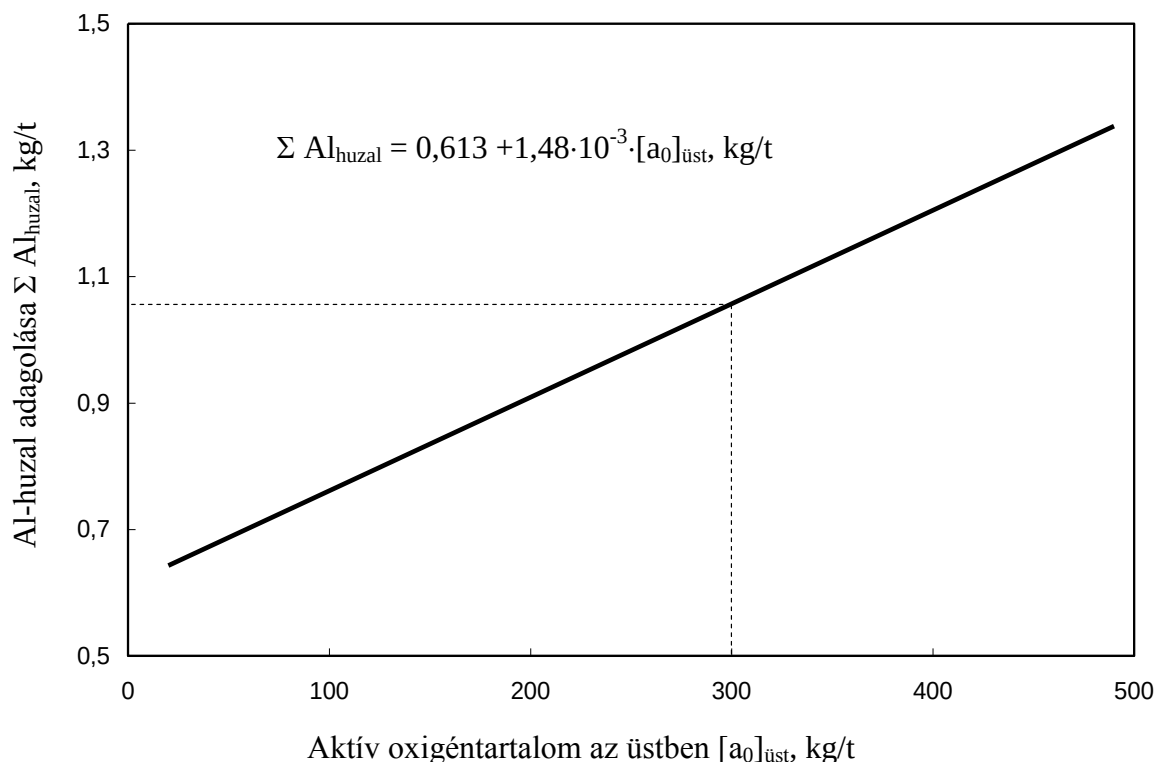
Ahhoz, hogy ez az összetétel elérhető lehessen, a salakvisszatartást ill. a salaklehúzást követően CaO + Al₂O₃ adagolásával kell a salakösszetételt és a salak fizikai-kémia állapotát beállítanunk → ld. a salakkezelés című fejezetet.

Termodinamikai szempontok alapján az alkalmazott (alkalmazható) dezoxidáló anyagok adagolási sorrendje kötött: $\text{Mn}(\text{FeMn}) \rightarrow \text{Si}(\text{FeSi}) \rightarrow \text{Al} \rightarrow \text{CaSi} \rightarrow \text{Rff-keverék}$ (mindezt előzheti egy koksziporos elődezoxidáció). Ezek adagolásának ütemezését is adagról-adagra reprodukálhatóan kell elvégeznünk, hogy a leégések közben tarthatók lehessenek. Ugyanígy az aktív-oxigén-tartalmak méréseinél is a reprodukálhatóság fontos követelmény, ezért adagról adagra követnünk kell az űstmetallurgia során is, egyfajta technológia-próbavételi és analitikai rendet.

A legideálisabb technológiai-próbavételi és analitikai rend betartása mellett is azonban, az oxigénszintek ingadozásai miatt a dezoxidálóanyagok leégései csupán becsülhetőek (csapolás közben pl.: Mn-nál 60-80 %, Si-nál 50-70 %, Al-nál 20-50 %). Oxigénszondás mérésekre építve előbb Carlens darabos Al-ra vonatkozóan mérte ki az adagolandó Al-mennyiségét a csapolást megelőzően, a konverterben mért oxigénaktivitás-értékekre alapozva (44. ábra, [96]), majd Cheng és társai ugyanezt Al-huzalra vonatkozóan mérték ki, az űstben mért oxigénaktivitási értékekre alapozottan (45. ábra, [97]).



44. ábra Az adagolandó darabos Al mennyisége az acél konverterben, csapolás előtt mért oxigénaktivitása függvényében.



45.ábra Az adagolandó Al-huzal mennyisége az üstben lévő acéolvadék oxigénaktivitása függvényében

A két ábra összevetéséből adódik, hogy a dezoxidálóanyagok hasznosulásában jelentős különbségek lehetnek egyféle dezoxidálóanyag esetén is, így a lépcsős dezoxidáció elején célszerű a $\text{Mn(FeMn)} \rightarrow \text{Si(FeSi)}$ sorrendiségét követően előbb olcsóbb, darabos Al-mal az oxigénszintet csökkenteni, majd az öntőüstben, egy aktívoxigén-szint ellenőrzést követően, a dezoxidációt költségesebb, de jobban hasznosuló Al-huzal adagolásával folytatni (ha lehet befejezni). Ez vált gyakorlattá. Általában a $\text{Mn(FeMn)} \rightarrow \text{Si(FeSi)}$ adagolást követő Al-os dezoxidációnál az Al-szükséglet kb. kétharmada darabos Al adagolásával kerül az üstbe, majd a lépcsőzetes dezoxidáció Al-huzal adagolásával fejeződik be klasszikus módon. Így elérhető az acéolvadékban mintegy 3-4 ppm-nyi aktívoxigén-szint, s majd ezt követően kell elsősorban azzal foglalkoznunk, hogy a dezoxidáció során képződött zárványok miképp távolíthatók el a kívánatos tisztasági fokig, s hogyan lehet a dezoxidációs termék bármilyen kedvezőtlen hatását kiküszöbölni, mérsékelni egy megfelelő szintig.

3.1.3. Dezoxidáció az öntőüstben nem klasszikus üstmetallurgiai módszerrel

Vannak esetek, amikor a klasszikus kicsapásos dezoxidáció előző fejezetben leírt módja nem alkalmazható, módosítás, kiegészítés szükséges. Az ilyen nem klasszikus dezoxidáció főleg az alábbi esetekben merülhet fel:

- Si szegény acélnál dezoxidálóanyagként a Si nem jöhet szóba, ilyen esetekben az Al-szükséglet növelése feleslegesen sok Al_2O_3 képződésével járhat, ami önthetőségi ill.

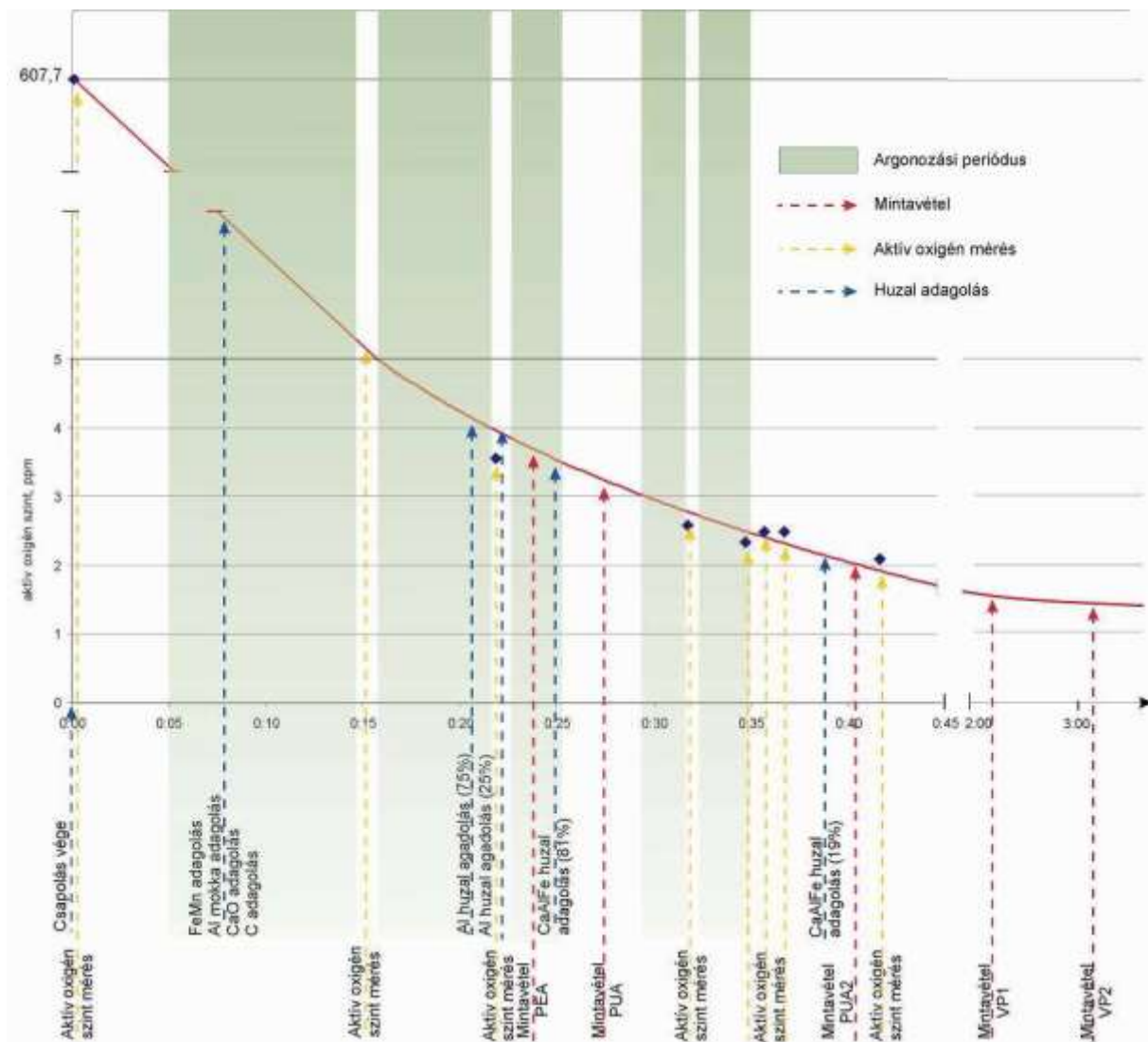
feldolgozási, minőségbiztosítási gondokat okozhat.→végdezoxidációhoz Al-huzal mellett (vagy helyett) CaAl-huzalt kell alkalmaznunk

- Párhuzamos üstmetallurgiai feladatként erőteljesebb kéntelenítésre van szükség, és ha a diffúziós kéntelenítés hatékonysága valamilyen okból nem elégséges és a Si előírás ezt engedi, akkor CaSi huzal adagolásával lehet segíteni a kéntelenítést, (a végdezoxidációt is segíti a CaSi Ca-tartalma)
- Kiskarbontartalmú acéloknál a tisztaság érdekében a vákuum-karbonos dezoxidáció alkalmazása válhat szükségessé.

A nem klasszikus dezoxidációs megoldásoknál elengedhetetlen feltétel, hogy a salak ne lehessen reoxidációs forrás. A vákuum-karbonos dezoxidáció esetén ez egyértelműen adott, hiszen vákuumozást megelőzően az oxidos salak eltávolításra kerül. Más esetben redukáló salakkezelést kell alkalmaznunk.

A kicsapásos dezoxidáció nem klasszikus eseteinél egyértelműen rögzítenünk kell, hogy a klasszikus megoldásokhoz képest nem a teljes dezoxidációt képesek helyettesíteni, hanem csupán a végdezoxidációt. Ez azt jelenti, hogy az üstmetallurgiai kezelés kezdetén továbbra is klasszikus kicsapásos dezoxidációval kell kezdenünk a kezelést, viszont a végdezoxidációhoz Al-huzal mellett (vagy helyett) CaSi-huzalt, vagy CaAl-huzalt használunk aktívoxigén-mérésre alapozva. Kiskarbontartalmú acéloknál speciális esetben, a dezoxidációt vákuum-karbonos dezoxidációval fejezzük be, ha van erre alkalmas vákuumozó berendezésünk.

Példaképp mutatja a 46. ábra a Dunafer Zrt jelenlegi gyakorlatát egy Si-szegény, Al-mal dezoxidált acél üstmetallurgiai kezelésére vonatkozólag.



46. ábra Si-szegény, Al-mal mikroötvözött acél dezoxidálásának gyakorlata a Dunafer Zrt-ben [85]

A lépcsős dezoxidáció a csapoláskor kezdődik azzal, hogy igyekszünk a nyersacél csapolása során a konvertersalakat egy speciális módszerrel az acéltól visszatartani, hiszen ennek $\text{FeO}+\text{MnO}$ -tartalma 20-30 % közötti, ami nyilván sem kinteleníteni, sem dezoxidálni nem képes. Meggátolhatatlan, hogy elő- és/vagy utánfolyásként az üstbe át ne jusson valamennyi (Dunaújvárosban a 130 tonnás konverternél 500-1500 kg-nyi) konvertersalak. Így számolhatunk azzal, hogy az acél csapolásának 4-7 perce alatt a dezoxidációt csak megkezdhetjük, előbb 15-40 kg-nyi koksz, majd 800-1000 kg-nyi $\text{FeMn}+\text{FeMn}_{\text{affin}}$, végül 150-200 kg-nyi darabos Al adagolásával, miközben 50-75 kg-nyi alumíniumkohászati salak mellett 500-1200 kg-nyi kis szemcseméretű égetett mésszel igyekszünk a salak fizikai-kémiai állapotán javítani.

Mindezekkel mind a nyersacélolvadék összetétele változik, mind az üstben lévő salak fizikai-kémiai állapota. A 8. táblázat mutatja a fémolvadékban, a 9. táblázat a salakban bekövetkező változásokat. Szembetűnő a változás, mégis jelentős feladat vár az üstmetallurgiára, hiszen nagy az olvadék oxigénszintje ($a_o=5-7$ ppm, $\Sigma\text{O}=50-60$ ppm), és a kintartalma ($>0,01$ %), befejezetlen az összetétel beállítás és a végdezoxidációt követő mikroötvözés, s a tisztasági fok szabályozása. Mindezek elősegítésére már csapolás előtt és a teljes csapolási idő alatt né-

hány év óta Dunaújvárosban is működik a fenéken keresztüli Ar-os agitáció legegyszerűbb változata: öblítőkövön át 300-400 l/perc intenzitással – ami mellett még szabad acélfelület nem mutatkozik – lehet Ar-t befűjni a csapolás végeztéig. Ettől az Ar-befűvéstől várjuk – a „lágyöblítés” időszakában a befűvési intenzitást 100 l/perc érték alá csökkentve –, hogy a lépcsős dezoxidáció ezen fázisában képződött zárványok felúszása megkezdődhessen, a fürdő összetételi és hőmérsékleti inhomogenitása csökkenjen, számolva azzal, hogy az Ar-átöblítésnek hűtőhatása és ára van.

9. táblázat A nyersacél összetétele* az adaggyártás különböző fázisaiban[98,99]

Elem	A próbavétel ideje			
	csapolást megelőzően	csapolást követően az üstben	huzalos kezelés után az üstben	a végpróbában
C %	0,055	0,055	0,06	0,065
Mn %	0,21	0,78	0,79	0,78
Si %	-	0,008	0,011	0,013
S %	0,013	0,012	0,009	0,008
P %	0,011	0,010	0,011	0,011
Al, ppm	-	0,051 (34)	0,076 (77)	0,059
a _o , ppm	653	6,2	2,1	-
Σoxigén, ppm	-	46	69	32
Hőmérséklet, °C	1682	1625	1595	-

*a Si mentes Al-mal dezoxidált nagytisztaságú acélokra vonatkoztatottan.

10. táblázat A salak összetétele az adaggyártás különböző fázisaiban [98, 99]

Salakkomponens	A próbavétel ideje		
	csapolást megelőzően	csapolást követően az üstben	huzalos kezelés után az üstben
CaO %	52,0	60,9	61,1
SiO ₂ %	16,8	7,3	6,15
FeO %	20,3	8,3	5,8
MgO %	5,4	2,5	3,2
MnO %	1,5	3,6	3,5
Al ₂ O ₃ %	2,7	16,7	19,6
P ₂ O ₅ %	1,2	0,4	0,17
S %	0,08	0,14	0,23
B	3,1	9,2	10,4

A Si-szegény, Al-mal mikroötvözött acélok üstmetallurgiai kezelésének időtartama a Duna-ferr Zrt-ben is a csapolástól az öntés kezdetéig tart. Ezen belül több szakasz különböztethető meg attól függően, hogy milyen az üstmetallurgiai egység, melyet igénybe vehetünk. Dunaújvárosban az ún. SL-lándzsás kezelés az üstmetallurgia magva, melyet előkészít a csapolás alatti – fentebb leír – beavatkozás, s kiegészít a csapolástól –megszakításokkal – az öntésig terjedő argonos átöblítés a folyamatosan figyelt salak korrekciója mellett. A klasszikus SL üstmetallurgiai egység egy porbefűvő berendezés, ehelyett (vagy emellett) a Si-mentes, Al-mal dezoxidált és mikroötvözött acéloknál az Al-huzalos dezoxidációt egy CaAlFe-huzalos

kezelés követ, hiszen Si-mentes acéloknál – az egyébként kiválóan kéntelenítő és egyben dezoxidáló – CaSi-ot mellőzni vagyunk kénytelenek. Ezek bevitelének metallurgiai lépései:

- a csapolás végétől az SL-kezelés kezdetéig eltelt időtartam: 2,5-6,5 perc
- az üstmetallurgiai kezelés teljes időtartama: 20-35 perc
- az Al-huzal bevitele a végdezoxidációhoz – a CaAlFe-huzal Al-tartalmára is tekintettel –: 20-40 kg
- a CaAlFe-huzal mennyisége: ~ 200 kg-nyi (~ 500 m-nyi), a bevitel sebessége: ~ 150 m/perc.
- A üstmetallurgiai kezelés alatti argonozás időtartama: 3-6 perc, amely többnyire öblítőkővön keresztül 300-400 l/perc sebességgel történő Ar-átfúvatásból áll. Azokban az esetekben, amikor szekunder salakképzőként szintetikus salakot használnak kemény, nehezen áttörhető salak esetén a huzaladagolást vagy ötvözést megelőzően felsőlándzsás argonozást alkalmaznak Dunaújvárosban 600-100 l/perc intenzitással. Ez utóbbi esetben a túlzott reoxidáció elhűlése érdekében kerülni kell, hogy nagyobb szabad acélfelület keletkezzen.

A 9. és a 10. táblázat szemléletesen mutatja az üstmetallurgiai kezelés hatását az acélfürdő ill. az üstsalak összetételére. A technológia optimalizálásához azonban az adatbázis értékelésére van szükség, s ebből az alábbi következtetések tehetők:

- A CaAlFe-huzalos kezelés során érzékelhető – 20-40 °C – az acéolvadék hőmérsékletének a csökkenése, ami a szimultán lejátszódó folyamatok közül elsősorban a természetes hővesztésből adódó hőmérsékletcsökkenésnek ill. az Ar-os átöblítés hatásának tudható be. Sajnos a szimultán folyamatok hatásai szét nem választhatók, ezért is direkt összefüggést keresni a $\Delta T = f(\text{CaAlFe})$ között nehézségekbe ütközik.
- Egyértelmű hatása a CaAlFe-huzal adagolásának, hogy az acélok oxigéntartalmával a Ca egy része CaO-dá, az Al egy része Al_2O_3 -dá, az Fe egy része FeO-dá alakul át, s ez valamelyest módosíthat a salak összetételén.
- Végül a CaAlFe-huzalos kezelés egyik, de nem a legfontosabb célja a kéntelenítés. Mind a hőmérsékletesés ellenére, mind a nem egyértelműen változó salakösszetétel mellett némi – 10-40 ppm-nyi – kéntelenítőhatás megmutatkozik, viszont oly kicsi esetenként a kiinduló kéntartalom, hogy a mérési pontatlanság (mérési hiba) nagyobb annál, mint ami tényleges változásként elvárható. A CaAlFe-huzalos kezelés tehát nem igazán a kéntelenítés útja, ennek érdekében a huzaladagolás határon túli növelése nem is előnyös. Úgy kell felfogni: a CaAlFe-huzalos kezelés a pontos végdezoxidáció eszköze, a kéntelenítés járulékos előny, a kéntelenítést a jó fizikai-kémiai állapotú salakokkal kell elvégezni. A CaAlFe-huzalos kezelés viszont némiképp még az egyébként is igen kis (kiválóan kis) aktívoxigén-szintet is képes tovább csökkenteni, viszont ennek ára van: oxidok képződnek, melyeket argonos átöblítéssel időben el kell tudnunk a rendszerből távolítani

3.2 Reoxidáció az űstmetallurgiai kezelések során

Reoxidációnak nevezzük azt a jelenséget, amikor egy, már előzőleg dezoxidált fűrdő – amelyben az aktívoxigén-szint beállítása egy hatékony dezoxidációval már megtörtént – újra oxigénforrással találkozik. A reoxidáció során az acélba bekerült oxigén nem aktívoxigén formájában, hanem vegyületben található, mivel az acél ötvözői – elsősorban az alumínium – által meghatározott oxigénegyensúly nem változhat.

Oxigénforrás lehet a légkör, a tűzállóanyagok és a salak oxid tartalma is. Az acél ötvözői közül az alumínium, a szilícium és a mangán oxidációs reakciójának negatív normál szabadentalpia változása azt jelenti, hogy lejátszódhat a reoxidáció.

A termodinamikai törvényszerűségek miatt az Al_2O_3 zárványok képződésének van a legnagyobb valószínűsége. Mivel minden esetben van oldott alumínium tartalom, ezért reoxidáció esetén egész biztosan fog keletkezni alumínium-oxid. Az ekkor újonnan létrejött zárványok az acél tisztaságának káros befolyásolásán túl kirakódásra hajlamosak, ami a szűkebb keresztmetszetekben (pl. űstkagyló, sugárvédőcső, közbensőűst-kagyló, merülőcső) kagylószűkülést okozhat. A zárványok eltávolításának feltételei ekkor már nem adóttak: nincs meg a kellő idő, illetve a felúszásukat elősegítő fűrdőmozgás. A zárványok kirakódását megakadályozó másik módszer, azaz a morfológiájuk megváltoztatása sem valósítható meg ekkor már. Ezért kiemelt jelentőségű a reoxidáció megakadályozása.

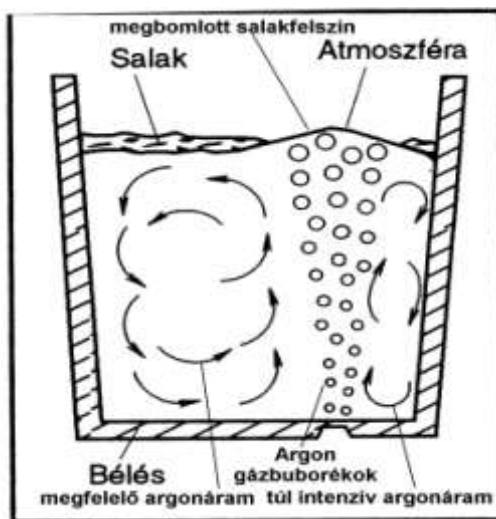
Az űstmetallurgiai kezelések során – reményeink szerint – a reoxidáció korlátozott mértékű, inkább ez az öntés során számottevő. Az öntési szerelvények ill. a légkör általi reoxidáció jelenthetik a számottevő veszélyt. →ezeket majd az acélok öntése fejezetében tárgyaljuk.

Űstmetallurgia alkalmazásánál főleg az alábbi források számottevőek (47. ábra, [100]) a reoxidáció fellépésénél:

- Csapoláskor az űstbe átfolyó acélsugár közvetlenül érintkezik az atmoszférával, ez az érintkezés növelheti az oxigénszintet, viszont még azelőtt éri e hatás az olvadékot, hogy az oxigénszint-szabályozás a dezoxidációval megindulhat. Így a lépcsős dezoxidáció során e hatás figyelembevehető, kiküszöbölhető, hiszen az űstmetallurgiai kezelés előtti oxigénszintről egy aktívoxigén méréssel mindig megbizonyosodunk (46. ábra)
- Az ideális űstmetallurgiai salak kialakítása (salakkezelés) többféle igény kielégítésére szolgál. Kiindulóalap a jó dezoxidálóképesség (ezért szerepel igényként igen kis FeO + MnO -tartalom). A primer kemencében el nem végezhető kéntelenítés alapfeltétele is egy jól dezoxidáló salak, nagy CaO -tartalommal. A nagy CaO -tartalmú salak igényli a salak fizikai-kémiai állapotának javítását, azaz folyósítószer adagolását, amely timföld vagy timföld-bázisú adalékanyag.
- A 10. táblázatban bemutatott eredmények szerint [98, 99] a csapoláskor űstbe részlegesen átkerült primersalak nem teszi lehetővé salakkezelés során egy kellően kis FeO + MnO -tartalmú űstmetallurgiai salak kialakulását, s ez a későbbiekben jelentős reoxidációs forrás lehet. E reoxidációs hatást csökkentheti, ha salakfolyósítóként timföld helyett alumíniumkohászati salakot használunk, hiszen az alumíniumkohászati sa-

lak több-kevesebb fémes Al-tartalmú, s ez képes a salakot menetközben dezoxidálni, sőt: egy része fémes Al-tartalommént az acéolvadékba is bejuthat (csökkentve ezáltal az Al-szükségletet).

- Az üstben történő alsó argonöblítés során túlzott mértékű argonnyomás esetén a fürdő keveredhet a salakkal, abból részecskéket ragadhat el, és ezek bekeveredve az olvadékba, elszennyezik az acélt. Ezek a besodródott salakdarabok egyrészt exogén zárványokat alkotnak, másrészt oxidálva az acél fémesalumínium-tartalmát reoxidációt okozhatnak (47. ábra).



47. ábra Reoxidációs források üstmetallurgia során

A dezoxidáció eredményessége az aktívoxigén-szint mérésével ellenőrizhető, az acél tisztasága azonban nem. Aktívoxigén-elemzéssel a diszponibilis (oldott) oxigéntartalomra kapunk képet, ami nagyon fontos jelzés a lépcsős dezoxidáció számára. Viszont a tisztaság szempontjából az a legfontosabb, hogy a dezoxidáció eredményeképp keletkező zárványok (egyszerűbb oxidok, nitridek, aluminátok, szulfidok, komplexebb oxidok, oxiszulfidok) a gyártás során, legalább az öntés kezdetéig eltávozzanak.

A zárványosság gyártásközi vizsgálata technikailag még nem megoldott. Egyrészt az ismert mintavételi módszerek sem alkalmasak kellően homogén minta vételére, másrészt a nagyszámú zárványvizsgáló metodika között alig találunk olyat, ami gyártásközi beavatkozásokra alkalmas és rövid időn belül adnának megbízhatóan pontos eredményt (talán az OES-PDA módszer és a hagyományos metallográfiai módszerek együttes alkalmazásával kaphatunk majd teljes képet az acélban előforduló zárványok eloszlásáról, méretéről, alakjáról és kémiai összetételéről, ha a mintavételi gondok elháríthatóak lehetnek).

Míg ez a lehetőség nem következik be, addig indirekt módszerként a gázelemzés, az aktívoxigén-mérés, a salakelemzés és a különféle (makro-, mikro- elektronmikroszkópos) zárványvizsgálatok segíthetnek technológiafejlesztési gondjainkon.

3.3. Acélok kicsapásos és diffúziós kéntelenítése az üstmetallurgiában

Néhány speciális acéltípustól (kénőtvezésű automataacélok, növelt kéntartalmú járműipari acélok stb.) eltekintve a kenet az acélgyártók ma is szennyezőelemnek tekintik, a kéntartalom csökkentése (zsargonként helytelenül: a kéntelenítés) ma is az egyik legfontosabb metallurgiai feladat. Éppen ebből eredően a kéntartalom csökkentésének alapelvei (elmélet) és útjai, módjai (gyakorlat) az acélgyártó szakemberek előtt régóta ismertek:

- az



ún. kicsapásos kéntelenítésnél (48. ábra) az acélolvadékban

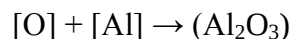
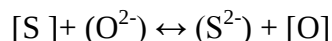
- akár hagyományos úton üstbe adagolt kéntelenítő reagenssel
- akár porbefűvációs kezeléssel
- akár porbeles kezeléssel

hatékony kéntelenítés érhető el, melyet kedvezően befolyásolhat

- a nyersvas előkéntelenítése,
- a csapoláskori elődezoxidáció,
- a kéntelenítő reagensz (FeMn, CaSi, CaAl) adagolásai reoxidáció elleni védelem mellett,

a hatékony fürdőmozgás.

- a diffúziós kéntelenítés



jól ismert folyamatánál

- a jól dezoxidált fürdő (amit ez esetben például az Al-tartalom biztosít),
- s a nagyobb CaO-tartalom

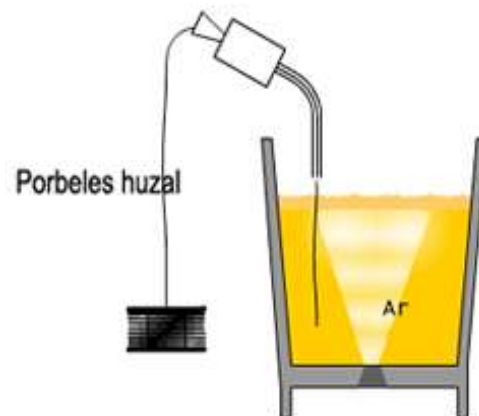
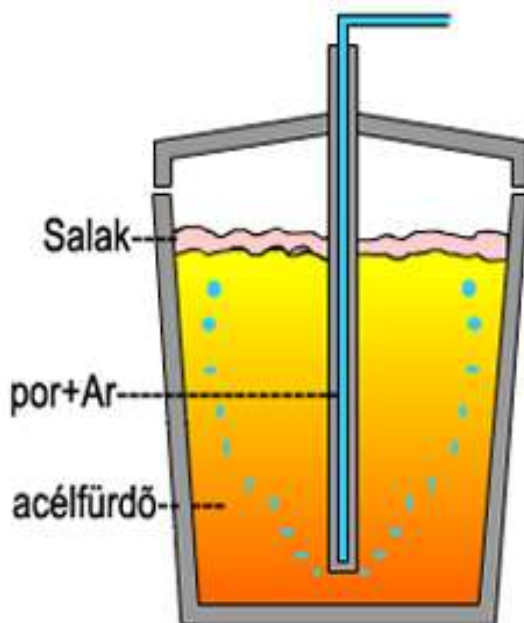
a domináló paraméter, de a diffúzió aktiválása révén jelentős a növelt hőmérséklet, ill. a fürdőmozgás hatása is.

CaO + Al



Kedvezően befolyásoló paraméterek

- nyersvas előkémentelítése
- csapoláskori elődezoxidáció
- kémentelő reagens (FeMn, CaSi, CaAl) adagolása reoxidáció elleni védelem mellett
- hatékony fürdőmozgás



48. ábra Az acélok kémentelítése kicsapós módszerrel az üstmetallurgiában

3.3.1. A kémentelés nemzetközi trendje

A kéntartalom csökkentésének vázolt lehetőségei változatos megoldásokat mutatnak, ezek eredményei eltérőek, beruházási, ill. üzemeltetési költségei szintűgy. A kéntartalom csökkentésének lehetőségei az integrált útvonalon történő acélgyártásnál is más, mint a miniacélműi acélgyártásnál, azonban a primerkemencékben (konverterekben, UHP-kemencékben) elvileg azonos. A lejátszódó oxidációs folyamatok mindkét eljárásnál ugyan képesek a kéntartalom csökkentéséhez elengedhetetlen nagy (O^{2-}) aktivitást biztosítani, azonban ezt jelentős (FeO)-tartalom mellett teszik, s ezért a konverterekben, ill. az elektrókemencékben a kéntartalom csökkentése nem jelentős, csupán ~10-30 %-nyi. Ennek eredményeképpen – ha nincs konver-

terezés előtt, vagy után kéntartalom-csökkentés –, akkor a gyártott acél kéntartalma közel egyenlő a konverterezéshez kerülő nyersvas kéntartalmával.

Ezzel szemben adottak a lehetőségek arra, hogy részben a nyersvas kohón kívüli kezelésével, részben a konverterből kicsapolt acél – kicsapásos ill. diffúziós – üstmetallurgiai kezelésével a gyártandó acél kéntartalma a konverterezéshez kerülő nyersvas kéntartalmának tizedére legyen lecsökkenthető. A metallurgiai lehetőségek tehát adottak, a megoldások költségvonzatai azonban lényegesen eltérőek.

A nemzetközi trend [101] alapján (49. ábra):

- ha az előírt kéntartalom az acélban max. 0,025 % , csak akkor van szükség a nyersvas konverterezés előtti kéntelenítésére, ha a nyersvas kéntartalma lényegesen 0,030 % feletti,
- ha az előírt kéntartalom az acélban max. 0,015 % akkor elkerülhetetlen a nyersvas előkéntelenítése bármelyik ismert módszerrel;
- míg ha az előírt kéntartalom igen kis szintet enged meg maximumként ($< 0,005$ %), akkor bármiképpen is tudjuk a nyersvasat előkénteleníteni, el nem hagyható a konverteracél üstmetallurgiai kéntelenítés.

H. Geck és Langhammer [102] már az 1960-as évek végén ismertette, hogy a nyersvasgyártási paraméterek változtatásával a nyersvas kéntartalma lényegesen módosítható: ha pl. nő az (olaj) és a koksztartalom, akkor nő a csapolandó nyersvas kéntartalma is.

Találunk olyan elképzelést is, melynél ha a csapolandó nyersvas kéntartalmában engedélyeznénk nagyobbakat, akkor költségcsökkentés is elérhető. Ez visszaüthet: a csapoláskor nagyobb kéntartalmú nyersvasból csak hatékony kohón kívüli kéntelenítéssel, avagy a konverterezést követő hatékony üstmetallurgiai kezeléssel lehet kiskéntartalmú acélt gyártani.

Hazánkban – Dunaújvárosban – ma a csapolt nyersvas hatékony kohón kívüli kéntelenítésére a lehetőség szerény, előrelépés ugyan tervbe vett, de pénzügyi nehézségek – bármiféle rentábilis számítási eredményeket figyelembe véve – kéntelenítő berendezés telepítését ma nem teszik lehetővé. Így mindaddig, amíg a csapolt nyersvas hatékony kohón kívüli kéntelenítése meg nem valósulhat a Dunaferriben, addig a kiskéntartalmú konverteracél biztosíthatósága a konverteracél csapolását követő üstmetallurgiai kezelésre marad.

A diffúziós kéntelenítés – kellő hőntartás mellett – arra alkalmas szintetikus salakot igényel. A szintetikus salakos kezelés mai gyakorlatát illetően igen sok publikáció jelent meg az utóbbi évtizedben, ezekből kiolvasható általános tendencia, hogy a salakoktól elvárt szelektív hatások sorában a hőszigetelés, a reoxidáció elleni védelem, ill. a dezoxidáció mellett a megfelelő kéntelenítő képesség az egyik legfontosabb igény. Ez utóbbi érdekében a Ca-bázisú kicsapásos kéntelenítő anyagok (pl. a CaSi) mellett változatlanul terjedőben van az olyan kéntelenítő szintetikus salakok használata, melyekben a $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ arány egyaránt biztosítani képes, hogy

- egyrészt alacsony olvadáspontúak legyenek, (ami az üzemvitel mellett a hatékony diffúziót segíti),
- másrészt szulfidmegkötő-képességük (szulfidkapacitásuk) nagy legyen, (ami a kéntelenítés érdekében szükséges)

W. Posch, H. Presslinger és társai [103] részleteiben vizsgálták e kérdést, s arra a következtetésre jutottak, hogy

- a salak olvadáspontja 1380-1400 °C között kell legyen a hatékony diffúzió érdekében,
- s min. 3-as bázicitással kell dolgozzunk ahhoz, hogy szabad CaO tartalom álljon rendelkezésre a kén lekötésére.

Egyértelmű, hogy ilyen szintetikus salak a konvertersalakból nem alakítható ki, a konvertersalak hasznosítására más módokat (építőipar, mezőgazdaság) kell keresni. A konvertersalak (50. ábra A. pont) helyett – hatékony salakvisszatartással! – nagy bázicitású, s kiváltképp magas Al_2O_3 -tartalmú üstmetallurgiai salakkal (50. ábra B. pont) kell kántelenítenünk. Így a salak szulfidkapacitása is nőhet, s nőhet a kántelenítés L_S -sel kifejezett hatásfoka is. Ez utóbbi kihasználása indokolja azon törekvésünket, hogy kísérleteket végezzünk az alumíniumkohászatban képződő – nagy Al_2O_3 -tartalmú – öntödei salakok acélgyártási hasznosítására, talán így jelentős kiegészítő kántelenítés érhető el különösebb költségfordítás nélkül.

Acél kéntartalma, %

0,01-0,02

<0,005

0,005-0,01

Nyersvas
kéntartalma, %

>0,02

<0,02

>0,02

<0,02

>0,02

<0,02

Nyersvas
kezelés

(CaO, CaC₂, Na₂CO₃)

(Mg-koks)

(CaO, CaC₂, Na₂CO₃)

Konverterezés

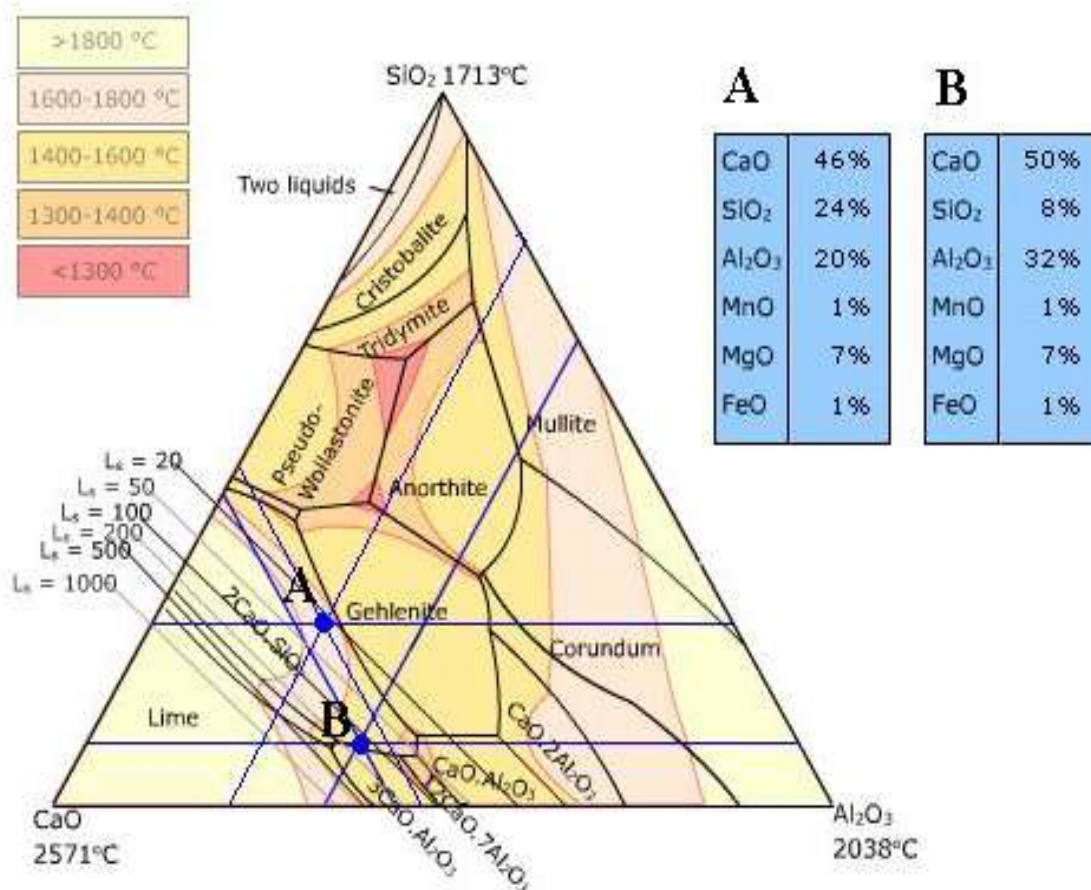
Üstmetallurgiai
kezelés

CaO,
CaSi,
CaAl

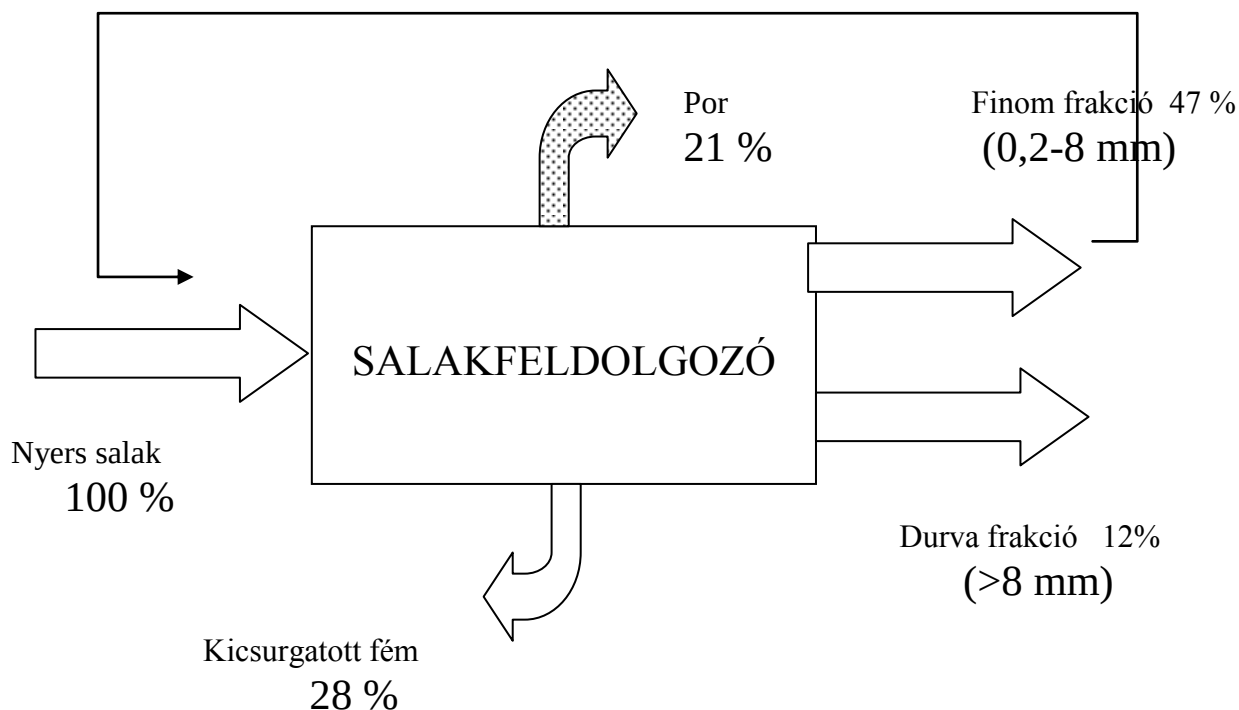
49. ábra Acél kéntartalmának szabályozása integrált acélgyártásnál

3.3.2. Az alumíniumkohászati salakok szerepe a kéntelenítésben

Alumíniumkohászati üzemekben – Inotán és Ajkán – az ún. egalizáló kemencékben a 98-99%-os tisztaságú folyékony alumínium felületére ~0,1 %-ban adagolt adalékok (EBA KS típusú nátriumkarbonát + nátriumszilikofluorid tartalmú kiolvasztó só, ill. EBA T típusú, klór-tartalmú gáztalanító tabletta) hatására évente többszáz tonnányi ún. öntődei salak képződik erősen szóródó fémes Al-tartalommal. Ez a salak mindezideig – veszélyes hulladékként nyilvántartva – halmára került, a folyó gyártás zöme – Bíró-Wagner berendezésben történő szeparálás után (51. ábra) – üzemben belüli újrahasznosításra, ill. – főleg az alumíniumöntődékben betétanyagként – kereskedelmi célú hasznosításra kerül.



50. ábra Primer (A) ill. üstmetallurgiai (B) acélgyártási salakok ternérdiagramja



51. ábra Öntödei salakok Bíró-Wagner berendezésben előállított frakciói

A Bíró-Wagner berendezésből származó

- első szeparátum (folyékony alumínium): a képződő salak 25-28 %-a, melegen visszajáratható,
- második szeparátum (a 8-150 mm-es, ún. durva frakció): a képződő salak 11-12 %-a, Al-tartalma $> 70 \%$, így visszajáratása a kohóba indokolt,
- harmadik szeparátum (a 0,2-8 mm-es, ún. finom frakció): a képződő salak 43-47 %-a, átlagos Al-tartalma 45-50 % közötti,
- negyedik szeparátum (a $< 0,2$ mm-es, ún. por frakció): a képződő salak 20-21 %-a, átlagos Al-tartalma 5-15 % közötti

A halmára kikerült öntödei salakok rendkívül heterogének, ezek újrahasznosíthatóságára ma még sehol sem látszik megnyugtató megoldás. A folyó gyártásból – a Bíró-Wagner berendezésből – kikerülő szeparátumok azonban reprodukálható fizikai állapotúak, reprodukálható kémiai összetételűek, ezért a relatíve magas Al-tartalmuk, ill. Al_2O_3 -tartalmuk miatt az acélgyártásban perspektivikus szintetikus adalékanyagként szóba jöhetnek.

A Miskolci Egyetemen alakult Mechatronikai és Anyagtudományi Kooperációs Kutatóközpont (MeAKKK) egyik kutatómunkájában [104] – a feladat éppen az volt, hogy az alumíniumkohászatban folyamatosan képződő öntödei salak üzemében újra nem hasznosítható része (tehát elsősorban a finom, ill. porfrakció) hasznosítható-e az acélgyártásban kéntelenítő üstmetallurgiai salakként, s ha igen, akkor mik annak a műszaki-gazdasági feltételei.

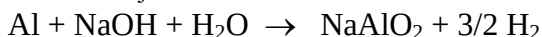
Az alumíniumöntödei salakok acélműi hasznosíthatóságát még néhány évvel ezelőtt is nehezítette, hogy hazánkban ezeket a salakokat veszélyes hulladékként tartották számon, mára vi-

szont átvettük az EU-előírásokat, s eszerint – a hulladékok jegyzékéről szóló 16/2001 (VIII. 18.) KÖM rendeletet módosító 10/2002. (III. 26.) KÖM rendelet szerint az alumínium-öntődei salak az EWC 100316 kódszámmal jelölt anyagként - nem veszélyes hulladék. De miért is lenne az; hiszen méréseink – röntgenspektrométeres ill.mikroszondás mérési eredmények – szerint (11. táblázat) a szóbanforgó finom ill. porfrakció egyáltalán nem tartalmaz olyan alkotót, komponenst, anyagrészt, amely ezen anyag újrahasznosíthatóságát (felhasználhatóságát) környezetvédelmi szempontból megkérdőjelezhetné.

11. táblázat Acélgártásban kántelenítésre használható finom ill. porfrakciójú alumíniumöntődei salakok

Szeparátum	Szemcsefrakció mm	Kémiai összetétel, %					
		Al ¹	Al ₂ O ₃	FeO + SiO ₂	CaO	Egyéb oxid ²	izz. vesz. ³
Finom	<0,25	14,72					
	0,25-0,5	51,51					
	0,50-0,63	55,80					
	0,63-1,25	67,13					
	0,2-1,25	25-35	40-50				
	1,25-1,60	68,06					
	1,60-3,00	82,00					
	3,00 felett	98,36					
	1,25 -8,00	55-56	35-40				
	0,2-8	min 50	40-45	3-5	3-5	<1	4-6
Por	<0,2	12-17	60-70	3-5	3-5	<1	4-6

1.) Al meghatározás módja:



2.) Főleg Fe, Si, Ti-os szennyezettség mellett kloridos, antimonos szennyezettség mutatható ki az Al-szemcsék felületén

3.) Főleg gibbsite (Al₂O₃ · H₂O), ill. Ca-Al nitrid (CaO · Al₂O₃ · 8 H₂O) víztartalma. Kriolit + fluorid nyomokban

A 11. táblázat arra is utal, hogy a fémes Al-tartalom (ill. ebből eredően az Al₂O₃-tartalom is) erősen a szemcsefrakciók arányának függvénye. Főleg a finom frakció esetében – próbavételezési és gazdasági okokból – nehéz az átlagösszetétel üzemszerű vizsgálata, a vizsgálati eredmények alapján el kell fogadnunk, hogy a finomfrakció átlagos fémes Al-tartalma 45-50 %. Ezen átlagösszetételtől túlzott eltérés sem várható, hiszen a szemcsefrakcióknak a szeparátumok kialakulása során bekövetkező változása, ezen tartományon belül is csak mintegy 4-6 %-os koncentrációingadozást engedhet meg.

3.3.3. Laboratóriumi vizsgálatok

Azért, hogy az alumínium-öntődei salakok acélműi alkalmazhatóságának vizsgálata minél jobban előkészített lehessen, előbb a Miskolci Egyetem Vaskohászattani Tanszékén laboratóriumi kísérletsorozat készült különféle kántelenítő salakok kántelenítő képességének relatív

összevetése céljából. Eredetileg 25 kg-os indukciós kemencére tervezett volt a kísérletsorozatot, de ezt az ötletet hamar el kellett vetni, mert sem a kiinduló betétanyag, sem a fürdőmozgás adagról-adagra össze nem vethető, diffúziós kéntelenítésre az indukciós olvasztás nem ideális. Tamman-kemencében egyszerre egyidejűleg 4 db – ún. prokorund – téglében történt az olvasztás, a rendelkezésre álló variációk egy előre elkészített, ~ 0,2% S-tartalmú lágyacél ligatúrából indultak ki. A részletek az MeAKKK vonatkozó jelentésében megtalálhatók, a kísérletek eredményei:

- az alumínium-öntödei salakokból zsugorítványként előállított szintetikus salak önmagában nem kéntelenít jobban, ahogy azt a klasszikus ($\text{CaO}:\text{CaF}_2:\text{Al}$ vagy $\text{CaO}:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Al}$) keverék teszi. Ennek vélhetően oka, hogy a zsugorítványban kicsi a fémes Al-tartalom, hiányzik a szabad CaO-tartalom, magas az FeO-tartalom, s a S-tartalom,
- az inotai öntödei salak – szemcseösszetételétől függetlenül – CaO-dal, ill. Al-mal adagolva a szintetikus salakban meglévő arányától függően eltérő mértékben ugyan, de jelentősen kénteleníthet. Kéntelenítő képessége lényegesen jobb, mintha a zsugorítványként előállított szintetikus salakot javítanánk fel Al-porral.
- a 0,2-8 mm-es finomfrakcióból összeálló szintetikus salak, minden más kéntelenítő anyaghoz képest, kiváló kéntelenítő képességű pótlólagos Al-adagolás nélkül is; a porfrakció hatása sem sokkal marad el a finomfrakcióhoz képest.

3.3.4. Dunaújvárosi üzemi kísérletek

A kísérleti programban elkészített „Acélok üstmetallurgia kezelése előkezelt aluminátos salakok direkt úton való felhasználásával” c. kísérleti technológia – MBE-05-AM-03/3 módosítás – azt célozta meg, hogy az Inotáról beszállított 3 t-nyi finom – 0,2-8 mm-es- alumínium-öntödei salakból a Tűzálló Kft-ben – 40%-nyi frissen égetett CaO-ból és 60 %-nyi öntödei salakból – szintetikus salakkeverék jöjjön létre. Majd csapolást követően e keverék kerüljön be 8-9 kg/t mennyiségben – két részletben – az üstbe: fele félig töltésnél, másik fele csapolás vége előtt 3/4 töltéssel.

A 12. táblázatban feltüntetett eredmények kiegészítéseképp elmondhatók:

- A kéntelenítés hatásfoka (η_s) átlagosan 40 %-os, ez igen jó eredmény! A kéntelenítés természetesen a dezoxidáció és a bázicitás függvénye. 2,3-3,4 ppm-nyi aktívoxigéntartalmak mellett a Σ oxigéntartalom is csupán 13-18 ppm-nyi, ami kiváló dezoxidációra utal, s ez a szintetikus salak magas fémes Al-tartalmára vezethető vissza. Ilyen kiváló dezoxidáció mellett ott nagyobb a kéntelenítés hatásfoka, ahol a bázicitás nagyobb (8-10 körül), s ott kisebb, ahol a bázicitás csupán 5-7 közötti.
- Az öntödei salak kiváló kéntelenítő hatása mellett előnyként kell említeni a hőmértéketvesztesség kérdését. Természetes folyamat, hogy csapolás kezdetétől az üstmetallurgiai kezelés kezdetéig hővesztesség lép fel, s ez normál esetben 400 °C-ot is elérhet. Az öntödei salakok alkalmazásakor a szintetikus salak magas fémes Al-tartalmából adódó aluminotermiás reakciókat kísérő hőfelszabadulás termikusan kompenzáló hatású, azaz kiváló kéntelenítés és dezoxidáció mellett a hőmértéketvesztesség csupán 30 °C-nyi, az-

az csökkenthető Dunaújvárosban a konvertereknél a túlhevítési igény, ami nyilván a tűzállóanyag-tartósságra is kihathat.

- Si-mentes, Al-mal dezoxidált acéloknál további előny, hogy öntödei salak alkalmazása mellett a pótlólagos Al-felhasználás ~ 0,2 kg/t mennyiséggel csökkenthető.
- Az öntödei salak alkalmazásakor pótlólagos előnyként jelentkezik továbbá, hogy amíg a salakvisszazárás technológiája olyan, hogy a primer salak egyrészenek üstbe kerülése el nem kerülhető, addig az üstmetallurgiai salak kialakítása rendkívül nehéz. Öntödei salak jelenlétében viszont, vélhetően a magas Al_2O_3 -tartalomra visszavezethetően, a salak viszkózitása kedvezővé válik, ami enyhít a salakvisszazárás – remélhetőleg átmeneti – káros hatásain.
- A felsorolt előnyök mellett nem szabad a hátrányokról sem elfelejtenünk, s ezek közül az mindenképpen kiemelendő, hogy a heves aluminotermiás reakció előny mellett egyben hátrány is, hiszen csapoláskor nehezíti a csapolás vizuális megfigyelését, s talán e heves aluminotermiás reakció kevésbé lenne zavaró, ha az öntödei salak szemcsefrakciója a nagyobb méret felé tolódna el. Ez hipotézis csupán, hiszen lehet, hogy talán nem is a poros salak, hanem csupán a heves aluminotermiás reakció okozza ezeket a gondokat.

*

A < 2 mm-es részekről megszabadított finomfrakciójú alumínium-öntödei salak nagyobb Al-tartalmú (lásd. 11. táblázat), ezért fajlagosan kevesebb adható az üstbe a túlzott Al-felvétel elkerülése végett. Az üzemszerű kísérletek során ezért maradt a 8-9 kg/t fajlagos anyagfelhasználás, viszont ezen belül az arányokat változtattuk: 700 kg-nyi CaO mellett 200 kg-nyi öntödei salak került a keverékbe. Az eredmények a 13. táblázatban láthatók, összegzésképp az alábbiak állapíthatók meg:

- A 2-8 mm-es finomfrakciójú anyag fémes Al-tartalma 70 % feletti, ezért a dezoxidálhatóság még a fajlagos mennyiség csökkenése mellett is kiválóan érvényre jut! (Si-mentes, kiskarbontartalmú acéloknál a $\Sigma\text{oxigéntartalmak}$ táblázatbeli értékei kiválóak!)

A fajlagos Al-felhasználás csökkenése itt is erőteljesen költségcsökkentő tétel lehet, még a salak fajlagos mennyiségének erőteljes csökkentése mellett is. 200 kg/adagnyi szintetikus salak mellett a 80-100 kg-nyi Al-megtakarítási lehetőség kiváló eredmény

- A kéntelenítő hatás nem éri el az előző sorozatbeli ~ 40%-os értéket, 32-35%-nyi; ez a némi eredménycsökkenés valószínűleg arra vezethető vissza, hogy az Al_2O_3 -arány túlzottan lecsökkent (az előző sorozatban ennek közel duplája volt!), s ezzel a hígfolyság nehezül meg. Voltak olyan kísérleti adagok, ahol az üstmetallurgiai kezelés végére a salak be is kérgesedett.
- A nagyobb Al-tartalmú öntödei salak a hőmérsékletveszteség csökkenése terén látványosan „javít”, csupán 15-25 °C-os hőmérsékletveszteség mutatkozik az üstmetallurgiai kezelés során.
- Bejött az előző sorozathoz képest az a hipotézis, hogy a poros részek kiporzásai okozák elsősorban a csapolás végének megítélését zavaró jelenségeket, ugyanis a 2-8 mm-es öntödei salak használatakor a csapolás közbeni adagolás során nem volt nagyobb kiporzás, mint az egyéb szekunder salakképzők használatakor; elmaradt a heves – fa-

közödes fényjelenség is, bár az utóbbiban közrejátszhat az öntödei salak fajlagos mennyiségének csökkentése is.

13. táblázat A 2-8 mm-es finomfrakciójú alumínium-öntödei salakokkal végzett üzemi kísérletek eredményei

Adag-szám	Minőség	Adagolt salak kg/adag	Kéntelenítési hat. η_s , %	Hőmérséklet veszteség. ΔT , °C	(FeO) % kezelés után	ΣO -tart. ppm kezelés után
588 921	GR36	959	35,71	32	1,86	16
588 922	GR36	996	35,71	22	1,87	17
588 923	GR36	1045	46,15	17	1,74	17
588 924	GR36	1026	36,36	18	1,81	18
588 925	HIILH	1004	36,36	14	1,92	16
588 926	S235JR62	1011	20,00	19	2,85	19
588 927	S235JR62	1008	31,25	25	1,52	19
588 928	S235JR62	1026	35,29	17	5,07	27
588 929	S235JR62	1005	25,00	42	4,67	21
588 930	S235JR62	1163	33,33	25	4,89	19
588 931	SAE1008	769	12,50	26	2,90	29

Az üzemi kísérletek harmadik fázisában a porfrakció hatásának vizsgálata volt a cél. Ezt a célkitűzést az motiválta, hogy hiába perspektivikusak a 0,2-8 mm-es, ill. a 2-8 mm-es finomfrakciójú öntödei salakokkal végzett üstmetallurgiai kísérletek, ha a keverék összeállítása nehézségekbe ütközik. Célszerűnek látszik ezért az üstmetallurgiai reagenst közvetlenül az üstbe adagolni szelektív célok elérése céljából. S ha a kényszerhelyzet feloldódik – azaz az öntödei salakot nem keverékben kell csapolás közben adagolnunk –, akkor a porfrakció is megfelelő lehet a fajlagos Al-felhasználás csökkenthetőségére, a hőmérséklet-veszteség csökkentésére és a salak magasabb Al_2O_3 -tartalmának biztosítására, hiszen a kiporzás elkerülése végett úgyis a 25-30 kg-os zsákos kivitel kell preferálni, s ekkor a porfrakció lényegesen olcsóbb volta a meghatározó. Ott tehát, ahol kevésbé érdekes a kéntelenítés, ott a zsákolt porfrakciójú öntödei salak is megfelelő adalékanyag, ott viszont, ahol számottevő kéntelenítést is várunk, ott – ugyancsak zsákolt kivitelben – a finomfrakciójú öntödei salak a perspektivikus megoldás.

3.4. Acélok tisztítása argonos átöblítéssel

Acélgártás során az ún. inertgázos – gyakorlatban argonos – átöblítés ma már a biztonságos és elterjedt üstmetallurgiai műveletek közé tartozik. Jelentős a szerepe

- a kémiai ill. hőmérsékleti inhomogenitások csökkentésében,
- a gáztartalmak csökkentésében,
- az öntés előtti esetleges túlhevítés mérséklésében,
- a zárványosság szabályozásában.

A Si-szegény, Al-mal dezoxidált acélokban a képződő ún. klasszikus Al_2O_3 -típusú zárványok több-kevesebb jelenlétével mindig számolnunk kell. Ezek a zárványok egyrészt az esetenként fellépő kagylószükületek miatt önthetőségi gondokat is okozhatnak, másrészt nehézséget jelenthetnek az egyre szigorodó tisztasági előírások biztosíthatóságában is. Vannak ma már

olyan üstmetallurgiai megoldások, melyekkel az önthetőségi gondok csökkenthetők, ha komplexebb Ca-aluminátok képződnek Ca-tartalmú anyagok fürdőbe injektálása révén, s a tisztaság is fokozható az ún. lépcsős dezoxidáció pontosításával.

Ezek a megoldások azonban – főleg az analitika és az anyagvizsgálat túl időigényes volta miatt – amellet, hogy jó üzemi adottságok mellett is rendkívül precíz adagvezetést kívánnak, minőségbiztosítási szempontból nehezen kézbentartható technológiai feltételrendszereket igényelnek. Célszerűnek látszik ezért argonos átöblítéssel a képződő zárványok mennyiségének nagyobb részét időben eleve az üstben lévő acélfürdő feletti salakba vinni, melynek két lényegi feltétele van: egyrészt hatékony áramlási viszonyok biztosítása az olvadékfürdőben, másrészt fizikai-kémiai szempontból hatékony salak biztosítása.

3.4.1. Az argonos átöblítés eredményezte áramlási viszonyok tanulmányozása

Az argonos átöblítés során az olvadékban az áramlási viszonyokat - az átöblítés megoldási módjain túlmenően- az uralkodó nyomás és hőmérsékletviszonyok lényegesen befolyásolhatják. A speciális öblítőkővön keresztül befűvott gázbuborékok mozgása által indukált impulzusok - egyébként nyugodt olvadékfürdő esetén - az ún. Stokes törvény

$$V_z = \frac{2 \cdot \pi \cdot g \cdot (\rho_{acél} - \rho_{zárvány}) \cdot d^2}{9 \cdot \mu}$$

V_z : a zárványok felúszásának sebessége, cm/s

g : nehézségi gyorsulás , (9,81 cm/s²)

d : az idealizáltan gömbnek feltételezett zárvány átmérője, cm

$\Delta\rho$: az acélolvadék (fürdő) és a nemfémes zárvány sűrűségkülönbsége

$(\rho_{acél} - \rho_{zárvány})$, ~3-5 g/cm³

μ : a folyékony acél dinamikai viszkozitása, 0,005 kg/ms.

által leírt mechanizmuson túlmenően segíthetik az olvadékban képződő zárványok felúszását.

A Stokes törvény alapján – melynek kiindulópontja, hogy nyugodt fürdőben a nemfémes zárványok fürdőből történő felúszásának és eltávozásának hajtóereje az acélolvadék ill. a nemfémes zárványok sűrűségének a különbsége – az adódik, hogy nyugodt fürdőben a 30-40 µm-es zárványok megközelítőleg 5 perc alatt felúsznak a fürdőből. A ≤5 µm-es zárványok felúszási sebessége oly csekély, hogy eltávozásukra esély sincs. Az acéltermékekben ezért az <30 µm-es endogén zárványok a termékekben visszamaradhatnak.

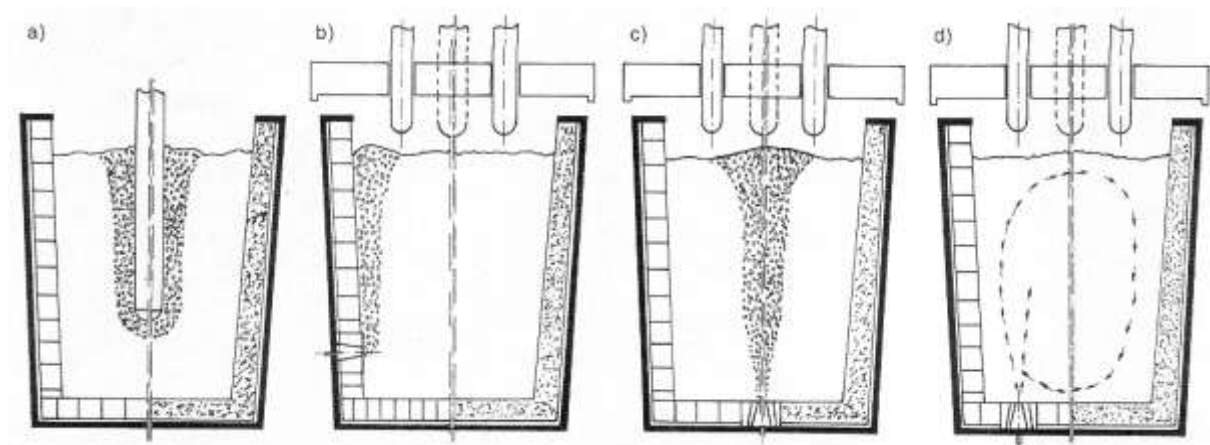
A nyugodt fürdő teóriája azonban a múlté, hiszen az üstmetallurgiai kezelés – mint metallurgiai művelet – eleve fürdőmozgást eredményez, ami önmagában hasznos is lehet pl. az inhomogenitások (kémiai és hőmérsékleti) csökkentésében. A tisztasági-fok alakulását viszont ma már nem lehet a klasszikus Stokes-képlet alapján megítélni, annak módosítása több okból is elengedhetetlen:

- a Stokes-képlet idealizált: gömbszerű zárványokat feltételez, holott ez csak a zárványok egy részénél lehet közelítőleg helyes feltételezés,
- a Stokes-képlet nem veszi figyelembe a zárványok nedvesíthetőségét és az olvadékban uralkodó belső feszültségi viszonyokat,
- a Stokes-képlet más oldalról viszont azt sem veszi figyelembe, hogy az eltérő sebességgel felúszó zárványok találkozásukkor összetapadnak (koagulálnak), ezáltal méretük nő, felúszásuk felgyorsul.

Összegezve: a nyugodt fürdő a mai kétperiódusú acélgyártás üstmetallurgiai szakaszában nem létezik, ezért a sűrűségkülönbségre alapozott felhajtóerővel számoló Stokes-képlet figyelembevétele önmagában nem mérvadó. Az üstmetallurgiai kezelés során az üstben lévő acéolvadék állandó mozgásban van, ahol a turbulens áramlás a meghatározó áramlási forma, amit a felfelé áramló öblítőgáz indukál.

*

Az üstfenékbe asszimetrikusan beépített öblítőkövön keresztüli argonátöblítésnél (52. ábra) a befűjt argongáz előbb apró gázbuborékok formájában jelenik meg az acéolvadékokban, majd felemelkedésük közben méretük egyre nő, az áramlaskép egy felfelé nyíló csonka kúpra emlékeztet (53. ábra [106]). Egy animációs kép segítségével igazolható, hogy a csonka kúp salakkal érintkező részén a gázzal együtt feláramló acéolvadék szétáramlik, a feláramlást előidéző argonfáklya salakmentes fürdőfelszínt hoz létre a feláramlás sebességétől függő mértékben.



52. ábra Üstmetallurgiai kezelés során a gázöblítés lehetséges variációi [105]

Az átöblítéshez az üst fenékébe beépített argonkövön át 3,5-6,5 bar nyomással, 100-500 Ndm³/perc (azaz 0,002-0,0083 Nm³/s) térfogatárammal befűjt argon az olvadt fémbe hatolva szinte azonnal az acél hőmérsékletére melegszik. A felmelegedett argonbuborékok már a képződési helyükön is eléri a 3 cm³-nyi térfogatot, azaz átmérőjük – idealizáltan, a deformációktól eltekintve – min. 1,8-2 cm-nyi buborékoknál a felhajtóerő (ami abból adódik, hogy az üstben lévő acélfürdőben kb. 3 méteres mélység a nyomáskülönbségekből eredően a felszálló argon térfogatáramának ~ 3-5-szörösére növelését eredményezi) az acélhoz képest 0,3-0,4 m/s felszállási sebesség-többletet eredményez a feláramlás helyén [107], ahol egyébként a feláramló acéolvadék sebessége

$$V_a = \sqrt{2 \cdot g \cdot H_f}$$

ahol H_f a felúszás helyén az acélfelszín kiemelkedésének mértéke (0,2-0,3 m). Ilyen kiemelkedés mellett az argon + acélfeláramlás miatti kidudorodás (folt) átmérője 60-70 cm-es, az argon az öblítőkötőtől a kidudorodásig 4-5 másodperc alatt jut el.

A zárványok acélolvadékból történő eltávolításának feltétele, hogy a zárványt magában fogláló acélolvadékre az argonfáklya területén kellő felhajtóerő hasson. Olyan felhajtóerő, ami az üstmetallurgiai kezelés során a rendelkezésre álló – erősen korlátozott – idő alatt képes a tisztátalan olvadékból a zárványt a salakrétegig eljuttatni. Az acélolvadék ugyanis az argonsugár felhajtóerejének hatására mozog, tisztul. Az argonfáklyában a térfogategységben lévő argon buborékokra ható felhajtóerő (F_{1m^3})

$$F_{1m^3} = \rho_{acél} \cdot g \cdot \varepsilon$$

ahol ε az argonfáklya térfogatának megfelelő acéloszlopban lévő argon térfogathányada (azaz az argonfáklyában a gáz és az acél térfogataránya, ami ~5 %). Ha ezt Δz vastagságú rétegre vonatkoztatjuk, akkor megkapjuk az adott acélmennyiségre ható erőt ($F_{\Delta z}$):

$$F_{\Delta z} = \rho_{acél} \cdot g \frac{\delta_{var(z)}}{A_z \cdot V} \cdot A_z \cdot \Delta z = \rho_{acél} \cdot g \cdot \Delta z \frac{\delta_{var(z)}}{V_{acél} + V_b}$$

ahol $\delta_{var(z)}$: az argon térfogatárama (z) szinten
 A_z : Δz rétegvastagságnál az acéloszlop keresztmetszete
 $V_{acél} + V_b$: az argon felúszásának sebessége az üsthöz képest Δz helyen

Az összefüggést elemezve megállapítható, hogy turbulens áramlás esetén az olvadék adott helyén az acélrétegre ható erő annál kisebb, minél nagyobb az acélfeláramlás sebessége. Ezek szerint, ha a zárványok eltávolításához szükséges felhajtóerőt növelni akarjuk, akkor az acélfeláramlás sebessége csökkentendő oly mértékben, amivel a zárvány a salakrétegig még eljut, de az argon-acél feláramlás miatti kidudorodás nem következik be. Így el kell érni, hogy a túlnyomással befúvatott argonos átöblítés mértékét vissza kell fogni olyannyira, hogy a 60-70 cm magas kidudorodás megszűnjön (mindenképp jelentősebb túlnyomással kell indítani az átfúvatást, de utána azt csökkenteni kell, amíg a kidudorodást jelző folt el nem tűnik).

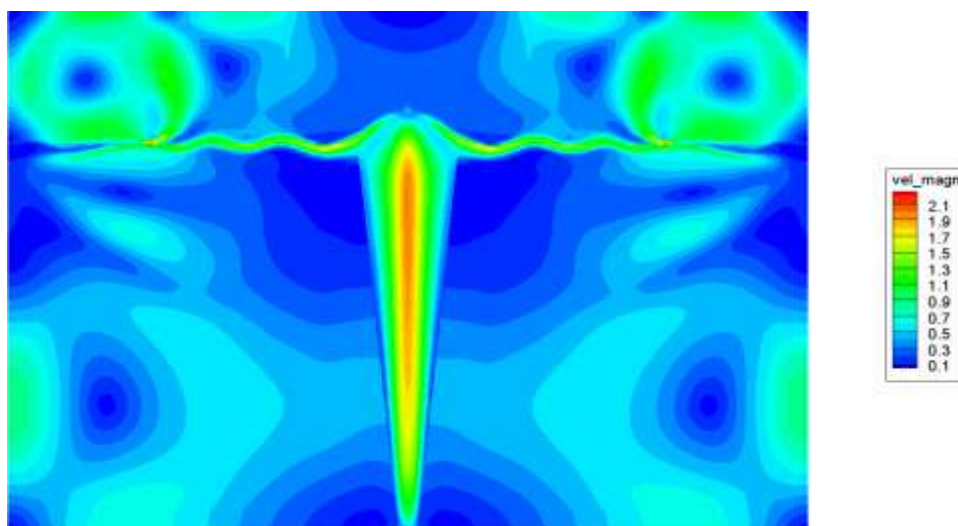
*

Azáltal, hogy argonfáklya alakul ki átöblítés során az üstben lévő acélfürdőben, nyugodt fürdőről, stacionáris viszonyokról nem beszélhetünk. A korábban bemutatott 4. ábra mutatja, hogy lényegében turbulens áramlás jön létre, melyben a nagyobb átmérőjű argonbuborék gyorsabban halad, mint a zárvány. Ha a zárvány nedvesíthető, akkor még magához is ragadva röpti felfelé egészen a salakrétegig, ami a kiáramlásnak útját állja, miközben az argon eltűnik az olvadékból, és összességében létrejön egyfajta turbulencia.

Korábban vizes modellekkel próbálták megismerni az acélüstben lejátszódó folyamatok turbulencia mozgását. Az 1980-as években népszerűvé vált az így készült matematikai modellezés, ami megnyugtató eredményre azonban nem vezetett. Az 1990-es évektől a matematikai modellezést kiegészíti a fizikai modellezés, az áramlások numerikus szimulációja terén elért

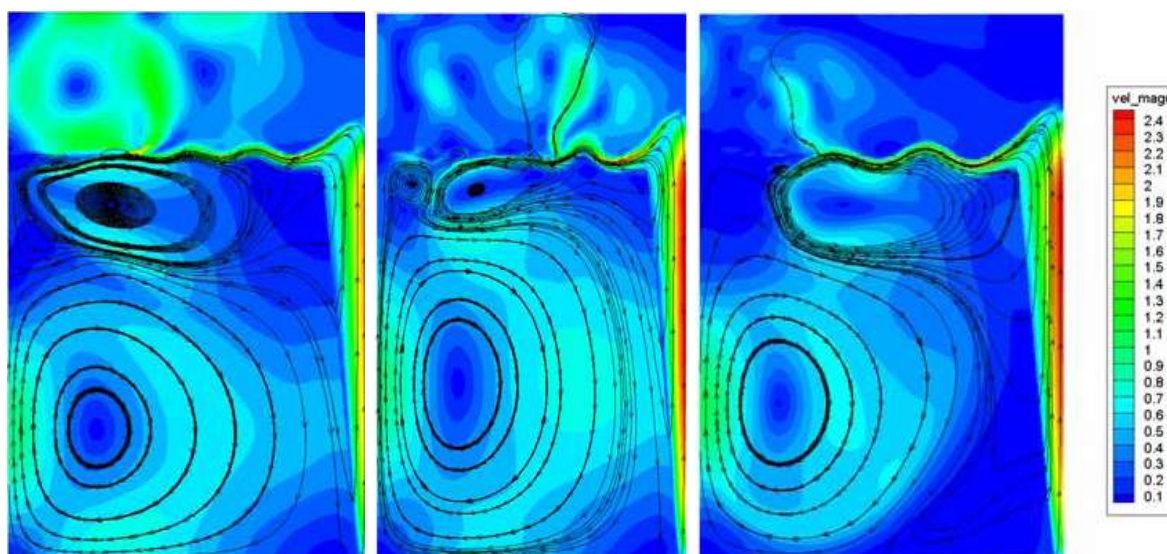
rendkívül gyors fejlődés [107]. A FLUENT szoftverrel a peremfeltételek megadását követően az acél áramlását jellemző erőter számítható. Ezen erőter vizuálisan is sokatmondó, számszerűen pedig lehetőséget ad a technológia tervezésére is.

A szimuláció megerősíti azt a vizuálisan is megfigyelhető jelenséget, hogy az argonoszlop felett feláramló acél – kellő argonáram mellett – a salakréteget áttörve felemelkedik, az argon eltávozik belőle. A felemelkedő acéolvadék egy kidudorodó *dombot* alkot (53.ábra), melyről minden irányban szétáramlik az acél.



53. ábra Feláramló acéloszlop, a felszínen keletkező domb, körülötte a felszínen hullámok

200, 300 és 400 Ndm³/perc argonbefúvatási mennyiségeknél a kidudorodás jellemzői mások és mások (54. ábra és 14. táblázat). Míg pl. 200-400 Ndm³/perc argonbefúvatási értékeknél a feláramlási sebességek 2,1-ről 2,4 m/sec értékre nőnek, addig a kidudorodás magassága 24 cm-ről 35 cm-re nő, aminek következtében a salakmentes folt átmérője 60 cm-ről 72 cm-re nő.

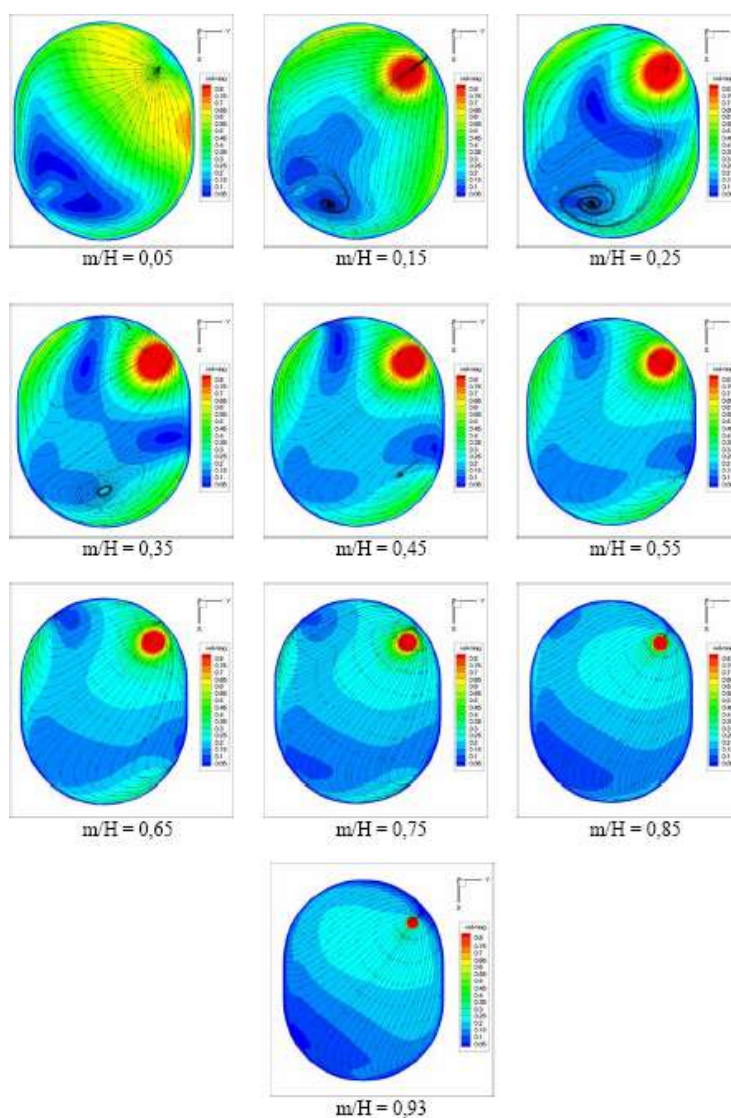


54. ábra 200,300 és 400 Ndm³/perc argonmennyiséghez tartozó feláramlás és dombképződés

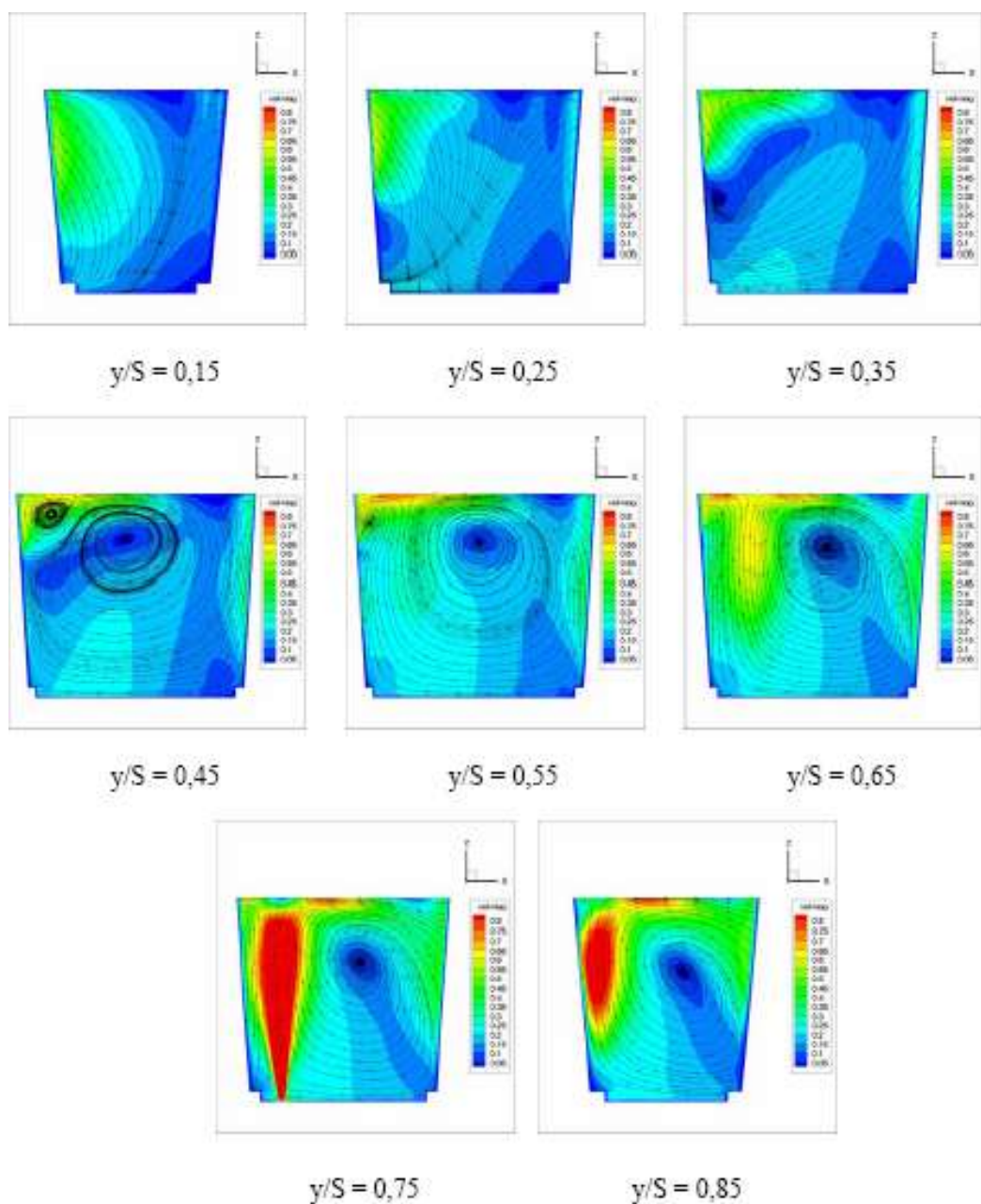
14. táblázat Az acélfelszín felemelkedésének jellemzői

	Argon-kibocsátás [Ndm ³ /perc]		
	200	300	400
salakmentes felszín rész sugara [m]	0,3	0,33	0,36
acélfelszín magassága [m]	2,85	2,85	2,85
„domb” magassága [m]	0,24	0,3	0,35
maximális sebesség [m/s]	2,1	2,2	2,4

Vizuálisan is sokatmondóak az áramképek (55-56. ábra) . Az 55. ábra vízszintes metszeteket , az 56. ábra függőleges metszeteket mutat. Az m/H hányadosban m [m] a vizsgált vízszintes sík felszíntől mért függőleges távolsága, H [m] pedig az acélfürdő mélysége, y/S hányadosban y [m]a vizsgált függőleges sík és az üstfal argon bevezetésével ellentétes oldalától mért távolsága, S [m] az üst szélessége.

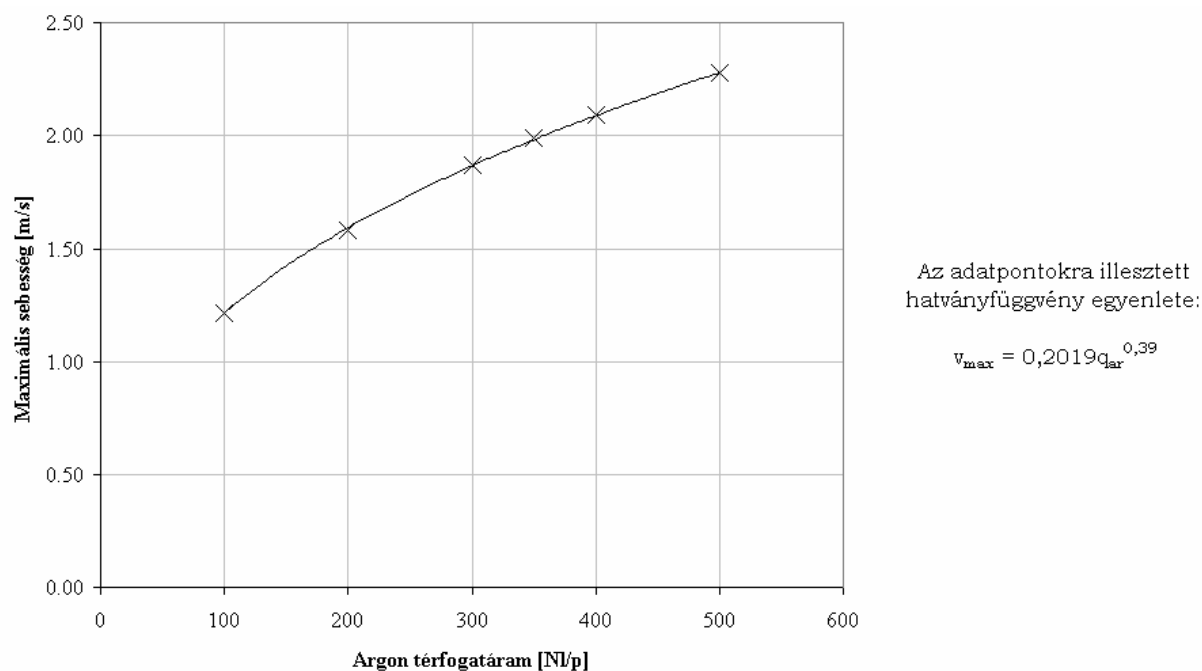


55. ábra Áramképek vízszintes metszetekben 300 Ndm³/perc argon befúvatás esetén



56. ábra Áramképek függőleges metszetekben 300 Ndm³/perc argon befűtás esetén

Természetesen a vizuális képeknél technológiatervezéshez többet mond a számszerűség. Az áramképek kiértékeléséből az adódott, hogy az argon mennyisége függvényében az acél argonfáklyában történő felúszási sebessége 100-500 Ndm³/perc argonmennyiség tartományban 1,22-2,28 m/s értékű, azaz az üstben az acélolvadék feláramlásának sebessége megközelítőleg az argon térfogatáramának köbgyökével arányos (57.ábra). A modellezés eredményei közül kiemelendő, hogy számszerűleg is konkrét eredményeket szolgáltat a tekintetben, hogy ha az Al₂O₃ zárványok felúszásának sebességét kívánjuk emelni, úgy nem a térfogatáram növelésére, hanem annak csökkentésére kell törekednünk.

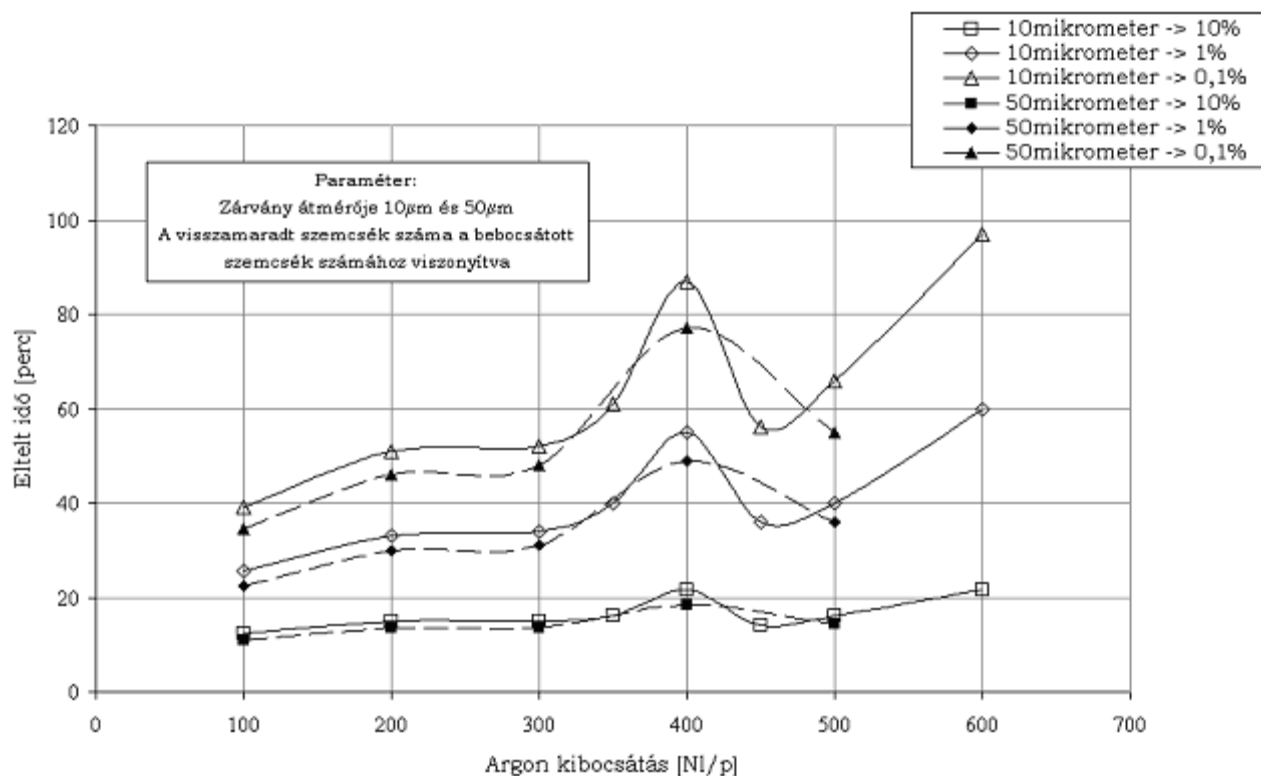


57. ábra Az acél argonfáklyában történő feláramlási sebességének függése az argon mennyiségétől

3.4.2. A tisztasági fok javíthatósága az áramlási viszonyok módosításával

Az áramlási viszonyok tanulmányozása alapján könnyen belátható, és a FLUENT-szoftverrel végzett szimulációs vizsgálatokkal számszerűleg is igazolható, hogy ha a salak olyan fizikai-kémiai állapotú, hogy salakzárványok befogadására képes (ehhez a jó dezoxidálóhatás mellett megfelelő viszkozitási viszonyok is szükségeltetnek), akkor kisebb argon térfogatáramokkal rövidebb idő alatt juttathatók el adott méretű zárványok a salakba, mint a feláramlási sebességek növelése esetén.

Ha a térben elhelyezkedő zárványok mozgásának időbeli lefutását figyeljük a felhajtóerő, ill. a feláramlási sebesség függvényében, akkor összeállítható egy zárványkirakódási diagram (58. ábra).



58. ábra A zárványok kiinduló mennyiségének 10, 1 és 0,1 %-ra történő csökkenéséhez szükséges idő 10 és 50 μm-es zárványméret esetén

A diagramból megállapítható, hogy a Dunaferri körülményei között az Al_2O_3 típusú zárványok, mérete ugyan befolyásoló hatású, a Stokes törvénynek megfelelően, ezért adott fajlagos argonbefúvatás mellett adott zárványmennyiség leválasztásához a nagyobb méretű zárványoknak rövidebb időre van szükségük. Argonátöblítés esetén azonban turbulens áramlás van, ahol a felhajtóerő a domináns. Következésképp az azonos nagyságú zárványok leválasztásához rövidebb időre van szükség kisebb fajlagos argonbefúvatás esetén. Eszerint akkor járunk el helyesen, ha az argonátöblítésnél az argonbefúvatást úgy szabályozzuk, hogy kezdetben a kidudorodást mutató feláramlást a befúvott mennyiség csökkentésével csökkentjük mindaddig, amíg azt az adott argonkő lehetővé teszi. Növelni célszerű ugyanakkor a kezelési időt, amíg azt az üzemvitel lehetővé teszi. A helyes argonátöblítési értékek tehát az alábbiak [108]:

- folyékony acél hőmérsékletének csökkentése (erős keverés): 300 – 500 Ndm^3/perc
- homogenizáló öblítés (közepes keverés) : 250 – 300 Ndm^3/perc
- dezoxidálás / kéntelenítés segítése (gyenge keverés): 150 - 200 Ndm^3/perc
- tisztító (zárványtalanító) öblítés (lágy keverés): 50 - 100 Ndm^3/perc .

Az argonbefúvatás fajlagos mennyiségének megválasztásánál fontos követelmény, hogy az acélgyártóknak folyamatosan figyelniük kell a salak mozgását, ahol az áramlás amplitúdója nem haladhatja meg a 200 mm-t, s a folyékony acél felülete – legalábbis a lágy keverésnél – sehol sem érintkezhet az atmoszférával, hiszen ez reoxidációs forrás lenne.

AZ ÜSTMETALLURGIÁVAL SZEMBENI ELVÁRÁSOK (2.fejezet) ÉS A SZÜKSÉGES KEZELÉSI MŰVELETEK (3.fejezet) ÖSSZHANGJÁNAK MEGTEREMTÉSE

A 3.pontban leírtak szerint az egyes üstmetallurgiai kezelések szelektív feladatok (pl. a dezoxidáció, a kéntelenítés, a gáztalanítás stb.) ellátására alkalmasak, ugyanakkor az acélgyártás szempontjából mindig több (pl. hevítési lehetőség melletti vákuumozás) egyidejűleg fontos eredmény elérhetősége a kívánatos cél.

Az üstmetallurgiával szembeni elvárásokat és a szükséges kezelési műveletek összevetését mutatja a 15. táblázat.

15. táblázat Üstmetallurgiai kezelésekkel elérhető előnyök (elvárások)

Elvárások	Jelentősebb beruházást nem igénylő üstmetallurgiai kezelések				Jelentősebb beruházást igénylő üstmetallurgiai kezelések	
	Salak- kezelés	Lépcsős dezoxidáció	injek- tálás	argo- nozás	Üstkemence	vákumozás
HOMOGENIZÁLÁS				✱		○
ÖTVÖZÉS			○		✱	○
MIKROÖTVÖZÉS		○	✱			
TISZTASÁGI FOK JAVÍ- TÁSA Kéntelenítés Gáztalanítás Zárványosság javítás	✱ ○	 ○	✱ ○	○ ○ ○		✱ ○
KISKARBONTARTALOM BIZTOSÍTÁSA						✱
HEVÍTÉS					✱	
PUFFEROLÁS					✱	

✱ erősen pozitív hatás

○ pozitív hatás

Az üstkemence meghatározó szerepe

Kiindulásképp kell elfogadnunk, hogy összetett, bonyolult üstmetallurgiai feladatok elvégeztetőségének alapja a hevítési lehetőség biztosítása, hiszen ennek hiányában erősen korlátozottak lehetőségeink bármilyen üstmetallurgia művelet elvégzésére. Nem lehet például nagyobb mérvű ötvöztetést végezni, hiszen minden üstbe adagolt anyag hűti a rendszert, ennek ellensúlyozására csupán az üstkemence (2.3. fejezet) használata alkalmas.

Üstkemence hiányában korlátozott az összetétel-beállítási lehetőség, az ötvöztetés és a mikroötvöztetés egyaránt (ezért sem lehet például üstkemence hiányában a Dunaferben az ötvöztetett acélok gyárthatóságáról beszélnünk).

Üstmetallurgiánál a hevítési lehetőség hiánya kizár minden olyan művelet elvégezhetőségét, mely pótlólagos hőbevitelt igényel(het), ilyen például – többek között az időigénye miatt – a dezoxidációnak, ill. a kéntelenítésnek a salakkal diffúziós úton történő csökkenthetősége. A gáztalanítás is csupán korlátozott mértékben történhet csak vákuumozó berendezés használatával (2.2 fejezet), mivel a vákuumozó berendezések gáztalanítóképessége előzetes hevítési lehetőség mellett érvényesíthetők (a gáztalanítás, vákuumozó berendezések híján viszont rendkívül korlátozott mértékű).

Üstkemence hiányában korlátozott a diffúziós dezoxidáció, ill. a diffúziós kéntelenítés, a gáztalanítás.

Kis (extra, szuper) C-tartalmak biztosíthatósága egyidejűleg igényli vákuumozó berendezés létét, s hevítési lehetőséget, hiszen komoly mérvű vákuumozással lehet a $C \cdot O$ szorzat nyújtotta lehetőségből kis C-tartalmat biztosítani.

Üstkemence léte alapvetően meghatározó az üstmetallurgia sokrétű műveleti rendszerének idő és hőigénye miatt, egyben kapocs a primer acélgyártás és az öntés között. E köztes tevékenységgel kapcsolatos egyik legfontosabb elvárásunk az ún. pufferolás, azaz biztosítása annak, hogy a kikészítést követően akkor és olyan hőmérséklettel érkezzen az acél az öntéshez, amikor az öntés ténylegesen elkezdődhet (szekvensöntésnél folytatódhat). Üstkemence hiányában a pufferolás is erősen korlátok közé szorul, a szekvensöntések adagszáma is kis értékű lesz. A szinkron megteremtése a primergyártás $\leftrightarrow$ az üstmetallurgia $\leftrightarrow$ az öntés között meghatározó feltétel. Ennek biztosítója a hőmérsékletszabályozási lehetőség (többnyire a hevítési lehetőség az üstkemencében, néha a hűtési lehetőség argonos átöblítéssel).

Üstkemence hiánya nem engedheti meg a hosszú idejű salakkezelést és lágy argonos átöblítést. Üstkemence hiányában ezért a kicsapásos dezoxidáció ill. kéntelenítés során képződött zárványok salakba juttatása is korlátozott mértékű lehet.

Kiindulásképp kell tehát rögzítenünk, hogy eredményes üstmetallurgiai kezelés egyik alapfeltétele a hevítési lehetőség, az üstkemence léte.

Üstkemence mellett a 15. táblázatban felsorolt elvárások mindegyike többé-kevésbé hatékonyan elvégezhető, az üstkemencén kívüli feltételek megléte esetén. Üstkemence hiányában viszont a 15. táblázatban felsorolt elvárások egyike se biztosítható kellő hatékonysággal és pontossággal (optimálisan és gazdaságosan).

Az üstkemence működését mutatja egy – a jegyzethez mellékelten csatolt – videófelvétel is.

Az egyes üstmetallurgiai kezelések szerepe a vevői elvárások biztosításában

A 15. táblázat részleteiben mutatja az egyes metallurgiai kezelések szerepét az elvárások biztosításában. Ez akkor is igaz, ha az üstkemence nyújtotta hevítési lehetőség elsődlegessége vitathatatlan, annak ellenére, hogy az üstkemence hiányában is kisebb-nagyobb hatékonysággal biztosíthatóak az elvárások egyrésze.

A homogenizálás – mint elvárás – szorítkozhat a kémiai koncentráció kiegyenlítésének elősegítésére, de szorítkozhat a termikus különbözőségek kiegyenlítésére is. A metallurgia műveletek közül ebben kiemelhető az argonos átöblítés szerepe, kisebb mértékben a vákuumozás olvadékmozgást létrehozó hatása (amit az ASEA-SKF eljárásnál az indukciós keverés

jelentősen növel). Gyakorlatban erre leginkább az argonos átöblítést használjuk, oly intenzív átkeveredést biztosítva, ami még nem segítheti elő lényegesen a reoxidáció felléptét. (Túl intenzív fürdőmozgást létrehozó üstfenéken keresztüli argonos átöblítés hatására, a fém-salak-gázfázis érintkezése folytán jelentős reoxidáció léphet fel. Ezért igen fontos az argonos átöblítés hatékonyságának mérhetősége és szabályozhatósága).

Ma már világszerte elfogadott, hogy a porbefúvó lándzsán keresztüli argonbefúvatás kényszermegoldás csupán, annak ellenére, hogy hűtőhatása szelektíve hasznosítható, valamelyes homogenizáló hatása is pozitívan jelentkezhet. Mindezen hatásokat lerombolja az a reoxidációt is előidéző hatása, hogy a salakot és az olvadékot összekeveri, nem tisztító, hanem ellenkező: a zárványosság tekintetében káros, tisztátlanság előidéző hatású. A porbefúvatást arra kell használni, amire eredetileg kitalálták, a kicsapásos dezoxidáció ill. a kicsapásos kén-telenítés hatékonyságának növelhetőségére.

A porbefúvatás technológiáját egy videón keresztül is bemutatjuk.

Az acél végső összetétele az üstmetallurgiai kezelés során állítható be, hiszen a primerkemencébe olyan ötvözőanyag nem vihető be, mely akár részlegesen is oxidálódhat, ezáltal szabályozhatatlanná és gazdaságtalanná teszi a gyártást.

Az ötvözőanyagok egyrésze primerkemencében (Mo, Ni), más része csapolás közben (Mn, Si, Cr) kerülhet az üstbe, rutin alapján jól szabályozható kihozattal. Nagyobb mérvű ötvözésre (Cr, Ni stb bevitelre) ott kerülhet sor, ahol ennek az olvasztásához szükséges hőbevitelre lehetőség van, azaz üstkemencében akkor, amikor már az olvadék aktívoxigén-szintjét a lépcsős dezoxidációval kellően kis szintre csökkenthettük a kihozatal szabályozhatósága érdekében.

Az acéltisztasági fok javítása a minőség tekintetében elengedhetetlen felhasználói követelmény, az acélgyártás „művészete”. A kén-telenítés, a gáztalanítás, a zárványosság szabályozása megoldható, de objektív és szubjektív elemekkel terhelt feladat.

A gáztalanítást segítheti önmagában a kellő időtartamú pihentetés az üstben, ennek hatékonyságát növelheti az alsó argonos átöblítés, a Sieverts-törvény érvényre juttatásához azonban a vákuumozás az igazi megoldás.

Sokféle vákuumozó berendezés állhat rendelkezésünkre, ezek telepítésekor az üstmetallurgiai feladataink egészét kell vizsgálnunk.

Sajnos hazánkban korábban Csepel, majd Diósgyőr leállásával acélgyártásunkban hiányzik a vákuumozás, mint üstmetallurgiai berendezés [109,110], előbb-utóbb Dunaferri termékszerkezetének korszerűsítésénél is elengedhetetlen beruházás lesz egy vákuumozó egység telepítése, hiszen ma már sehol a világon nem építenek olyan acélművet, ahonnan hiányozhat ez az üstmetallurgiai eszköz (természetesen a vákuumozó berendezés telepítését meg kell előznie Dunaújvárosban egy üstkemence telepítése).

A kén-telenítés és a dezoxidáció eredményes elvégzéséhez igen fontos a megfelelő salakkezelés (kezdve a primersalak visszatartásával, az üstbe mégis átjutó primersalak lehúzásával, az ideális üstmetallurgiai salak összetételének és fizikai-kémiai állapotának kialakításával).

Fontos – a megfelelő beavatkozás érdekében – a gyártásközi vizsgálat (a fém ill. salakösszetétel pillanatnyi mérése, az aktívoxigén-tartalom mérése, a hőmérséklet mérése stb.), s a kicsapásos ill. diffúziós dezoxidáció ill. kén-telenítés feltételeinek minél kedvezőbb biztosítása. A

dezoxidálási és kéntelenítési üstmetallurgiai műveleteknél a fontos szerepe van az injektálós technológia (porbefúvásos avagy a porbeles kezelés) alkalmazásának.

Az 5. táblázatban foglaltak és a 46. ábra mutatja, hogy mind elméletileg mind gyakorlatilag adott a lehetőség üstmetallurgiában a kiváló dezoxidációra, ill. a megfelelő kéntelenítésre, mindehhez azonban biztosítani szükséges egyfajta hevítési lehetőséget (ellenkező esetben korlátozottak a lehetőségeink a kéntelenítést, ill. az acéltisztaságot illetően).

A tisztaság fogalma alatt a dezoxidáció ill. a kéntelenítés során szükségszerűen képződő oxidok, szulfidok, komplex oxi-szulfidok visszamaradó mennyiségét értjük. Egyszerű a képlet: ezen zárványokat az igényeknek megfelelő mértékben az olvadékból el kell távolítani. Segíthet ebben egy morfológia-átalakítás is az 5. táblázat szerint, de még hatékonyabb, ha kellő időt biztosítva a tisztuláshoz, csendes argonos átöblítéssel mennyiségüket elfogadható mértékre csökkentjük. Feltétele ennek egyrészt az idővesztéssel együtt járó hővesztés pótolhatósága (üstkemence), olyan csendes argonos átöblítés, ami a zárványok felúszását segíti, de a salak fürdőbekeveredéséhez nem vezet (reoxidáció elleni védelem), s olyan a salakkezelés, hogy az képes legyen az oda felúszó zárványokat befogadni

Sokszorosán beigazolódott arany szabály, hogy az üstkemence kényelmes lehetőséget tud biztosítani ahhoz, hogy a zárványtisztulási folyamat végbemehessen, segítve ezzel az öntéstechnológiai, alakítástechnológiai, és a minőségbiztosítási elvárások teljesítését.

4. Bevezetés az üstmetallurgiába (www.steeluniversity.org)

A www.steeluniversity.org oldalon (4.1. ábra) található a vas- és acélgyártás témakörére vonatkozó e-learning tananyag. A program Steel processing modulja az alábbi egységekből áll:

- virtuális gyártási útvonal áttekintése (Process Route Overview),
- nagyolvasztó (Blast Furnace),
- oxigénes konverter (Basic Oxygen Steelmaking),
- ívfényes elektrokemence (Electric Arc Furnace),
- üstmetallurgia (Secondary Steelmaking),
- folyamatos öntés (Continuous Casting),
- meleghenglerlés (Hot Rolling),
- acél hőkezelése (Heat Treatment of Steel).



4.1. ábra steeluniversity.org nyitóoldala

4.1. Üstmetallurgia fejlődése

Az 1950-es években tettek először kísérletet a hidrogén eltávolítására a **vákuumos gáztalanítással**. Újabban vákuumos gáztalanítót használtak igen kis karbon tartalmú (ULC) acélok 30 ppm-nél (0,003 súly%) kisebb karbon szintjének elérésére. A gáztalanítóknak két fő típusa van: keringtető és nemkeringtető. Keringtető rendszerű az **RH (Ruhrstahl-Heraeus)** gáztalanító, amelyben a folyékony acélt argongáz segítségével – az acél látszólagos sűrűségének csökkentése révén – keringtetik. A nemkeringtető rendszerekben, mint amilyen az **üst gáztalanító**, argont használnak keverőgázként.

Azok a módszerek, amelyekben ötvöző és folyósító adalékokat használnak az acél összetételének finom beállítására és/vagy a zárványok módosítására szintén elterjedtek és magukba foglalják a beles huzalok bevitelét, poralakú adalékok használatát, stb. A **CAS-OB** eljárás (**Ö**sszetétel **b**eállítás **l**ezárt **a**rgonos buborékolatással, **o**xigén **b**efúvatással) előnyös módszert jelent semleges körülmények közti ötvöző bevitelre, ezzel javítva az acél tisztaságát és a beadott komponens „kihozatali arányát”. A kihozatali arány a beadagolt elem azon mennyisége, amely ténylegesen növeli az elem mennyiségét az acélban, szemben a salakban, atmoszférában stb. elveszett hányaddal.

Mivel igen sok üstmetallurgiai acélgyártó eljárás eredménye jelentős hőmérséklet csökkenés, igen gyakran szükséges az üstben levő acél újra hevítése a folyamatok között és/vagy a leön-

tés előtt. Két módszert használnak általánosan: villamos újrahevítést **üstkemence** segítségével és kémiai újrahevítést oxigén és alumínium (vagy szilícium) együttes befűvásával, amikor exotermikus reakció megy végbe hő termelésével.

4.1. táblázat Különböző acélgyártó üstmetallurgiai eljárások összegezése

Eljárás	Gáztalanítás	Újrahevítés	Kikészítés
RH gáztalanító	C,O,H,eltávolítás (plus N,ha kicsi az O és S szint)	Al+O ₂ befűvás	
Üstgáztalanító	C,O,H,eltávolítás (plus N,ha kicsi az O és S szint)		
CAS-OB		Al+O ₂ befűvás	Ötvöző adagolás, semleges argonatmo- szférában
Üstkemence		Villamosan	Ötvöző adagolás
Keverő állomás			Dezoxidált acélkén- telenítése szintetikus salakkal plus erőtel- jes keverés

Manapság egy sor **acélgyártó üstmetallurgiai** berendezést használnak három fő céllal:

- Széles acélválaszték számára teszi lehetővé a szorosabb és igényesebb előírásokat;
- A folyamatos öntőmű szigorúbb ütemezést igényel – az acélgyártó üstmetallurgia ütköző a BOS (oxigénkonverteres acélmű) és a CC (Folyamatos öntőmű) között,
- Az acélgyártó üstmetallurgia finansziális előnyöket biztosíthat.

Ez az interaktív szimuláció célja néhány kulcsfontosságú folyamat ellenőrzés bemutatása az acélgyártó üstmetallurgiában.

4.2. Ötvözők mennyiségének számítása

Ötvözőket különböző okokból adagolnak az üstbe

- végső összetétel beállítása;
- acél dezoxidálása az oldott oxigénnel való reagáltatással és olyan oxidok képződésével, amelyeket a salak abszorbeál;
- zárványmódosításra.

4.2.1. Elemi beadagolások

A legegyszerűbb esetben, amikor egyetlen elemet adagolnak az üstbe, a szükséges adalék mennyiségét: m_{adagolt} -at az alábbi összefüggés adja meg:

$$m_{\text{adagolt}} = \frac{\Delta\%X \cdot m_{\text{adag}}}{100 \%} \quad (4.1.)$$

ahol $\Delta\%X$ a megkívánt növelés súly%-ban (azaz $\%X_{\text{cél}} - \%X_{\text{tényleges}}$)

Példa:

250.000 kg tömegű acél, amely 0,01%Ni-t tartalmaz. Mennyi elemi Ni-t kell beadagolni ahhoz, hogy elérjük a célul kitűzött 1,0% Ni-tartalmat?

$$m_{\text{adagolt}} = \frac{(1,0 - 0,01) \cdot 250.000 \text{ kg}}{100 \%} = 2475 \text{ kg Ni}$$

4.2.2. Előötvözetek adagolása

Többnyire gyakorlatiasabb/gazdaságosabb „**előötvözőket**” adagolni, mint tiszta elemeket. (Az előötvözet kettő vagy több komponens keveréke).

Ilyen esetekben az előötvözetben jelenlevő kérdéses elem mennyiségét kell figyelembe venni.

A „kihozatali arány” – azaz az elem azon mennyisége, amely ténylegesen növeli az elem mennyiségét a folyékony acélban, szemben a salakba jutó hányaddal stb. – szintén figyelembe veendő a számításnál (4.2.).

$$m_{\text{ötvöző}} = \frac{100 \cdot \Delta\%X \cdot m_{\text{adag}}}{\%X_{\text{ötvöző}} \cdot \text{hasznosulás}_{\text{ötvöző}}} \quad (4.2.)$$

Példa:

A 250.000 kg üstben levő acél jelenleg 0,12 %Mn-t tartalmaz a csapoláskor. Határozza meg, hogy mennyi nagy karbontartalmú ferromangánt (HCFeMn) kell beadni 1,4 %Mn tartalom elérésére?

A HCFeMn 76,5 %Mn-t tartalmaz. A Mn-ra tipikus kihozatali arány 95%. Behelyettesítve az adott értékeket adódik:

$$m_{\text{HCFeMn}} = \frac{100 \cdot (1,4 - 0,12) \cdot 250.000 \text{ kg}}{76,5\% \cdot 95\%} = 4403 \text{ kg}$$

$$100\% \times (1,4 - 0,12)\% \times 250\,000 \text{ kg}$$

Előötvözetek adagolásakor az is fontos, hogy biztosak legyünk abban, és ha kell, ki is számítsuk, hogy hogyan hat a többi komponens az acél teljes összetételére. A **felvétel** mennyisége (azaz a növekedés) egy adott elemre a 4.2 egyenlet átrendezésével az alábbi

$$\Delta\%X = \frac{m_{\text{ötvöző}} \cdot \%X_{\text{ötvöző}} \cdot \text{hasznosulás}_{\text{ötvöző}}}{100 \% \cdot m_{\text{adag}}} \quad (4.3.)$$

Példa:

Az előző példát folytatva, a HCFeMn 6,7 %C-t tartalmaz. A C-ra tipikus kihozatali arány 95%. Behelyettesítve az adott értékeket adódik:

$$\Delta\%C = \frac{4403\text{kg} \cdot 6,7\%C_{HCFeMn} \cdot 95\%}{100\% \cdot 250.000\text{ kg}} = 0,112\%C$$

4.2.3. Keverési idő

Fontos tudni, hogy az üstbe adagolt ötvözők **nem** eredményezik azonnal az acél összetételének megváltozását, mert bizonyos időt vesz igénybe a feloldódásuk. A szimulációban elegendő időt kell adni a beadott ötvözők feloldódására a következő törvényszerűségek figyelembevételével:

- A por és finom részecske-adalékok gyorsabban oldódnak fel, mint a durva részecskék és kavicsok;
- Az üst keverése/azaz argonos buborékoltatása) gyorsítja a feloldódás folyamatát és ez is fontos a folyékony acél összetételének homogenizálása szempontjából;
- A keveredési idők nőnek a hőmérséklet csökkenésével ,

Az intenzíven kevert poradalékok nagyobb hőmérsékleteken oldódnak fel gyorsabban.

Kisebb hőmérsékleteken beadott darabos ötvözők oldódása keverés nélkül hosszú időt vesz igénybe és az üstben levő acél nem homogenizálódhat arra az időpontra, amikor eléri az öntőgépet.

4.2.4. Ötvözés időzítése

Üstbe adagolást csapoláskor és az egyes üstmetallurgiai acélgyártás során lehet elvégezni (keverő állomás, gáztalanítók, CAS-OB és üstkemence).

Tömeges adagolásokat normálisan a csapoláskor hajtanak végre, míg a „**korrekciós**” **adagolásokat** a következő szakaszokban végzik.

Nagyfontosságú, hogy a beadagolásokat az acél dezoxidálása előtt vagy után történik-e.

4.2.5. Az adalékok hűtő hatása

Legtöbb adagolás acél hőmérsékletének csökkenését okozza. Ennek szimulálására feltételezhető, hogy minden egyes 1000 kg 6°C fürdő-hőmérséklet csökkenést okoz. (A valóságban a pontos mérték a különböző oldódó anyag hőkapacitásától és oldódási hőjétől függ.)

Egy fontos kivétel az alumínium, amely exotermikusan reagál a jelenlevő oxigénnel (vagy az acélban oldódva, vagy lándzsán át befúvatva) az acél hevítésére.

4.3. Üstmetallurgia szimulációja

A steeluniversity.org oldalon (4.1. ábra) lehetőség van az üstmetallurgiai kezelések modellezésére egy Flash program segítségével.

A program *Steel Processing* részének *Secondary Steelmaking* modulján belül a 15-ös fejezet (*Secondary Steelmaking Simulation*) (4.2. ábra) tartalmazza a szimulációs programot. A Flash program a csapolást bemutató ábrára kattintva indítható el.



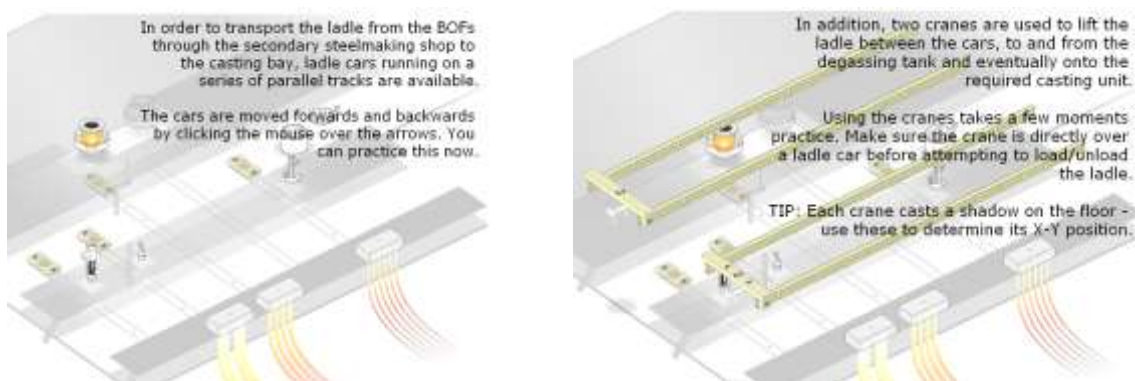
4.2a-b. ábra Az üstmetallurgiai eljárások és a szimuláció nyitóoldala

A szimuláció során lehetőség van megismerni a különböző üstmetallurgiai eljárások (4.3. ábra) működését, az oxigénes konverterből lecsapolt nyersacél – az előírtaknak megfelelő összetételű, hőmérsékletű, zárványtartalmú és az előírt időre a kijelölt folyamatos öntőműbe szállított – készacéllá gyártása során. A rendelkezésre álló széles üstmetallurgia palettából (felső argonos kezelés – *Ar Stir Station*, kémiai hevítés - *CAS-OB*, részletekben vákuumozás – *Recirculating Degasser*, üstkemence – *Ladle Furnace*, vákuumozó kamra – *Tank degasser*) gazdaságossági okok miatt mindig csak a feladathoz feltétlenül szükségeseket tanácsos használni.

A program bemutatja az üzemben belüli szállítás módjait, hogy ezzel is még nagyobb rálátása legyen a felhasználóknak az üzemszervezés folyamataira (4.4. ábra). Az egyes állomásoknál üstáthúzó kocsival lehet a berendezés alá, illetve alól kihúzni az üstöt. Az üstöt az egyes csarnokok között, illetve a folyamatos öntőműbe daruval lehet szállítani.



4.3. ábra Az üstmetallurgiai állomások elhelyezkedése az üzemcsarnokban

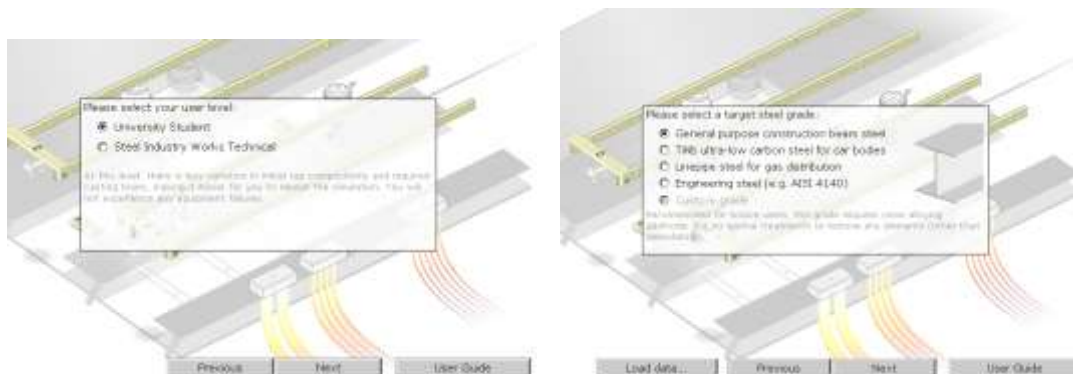


4.4a-b. ábra Az üstmetallurgiai állomások közötti mozgatási lehetőségek: üstáthúzó kocsik, daruk

A konverterből salakmentes a csapolás, az üstök és a berendezések előmelegítése rendben megtörtént, ezért nem kell figyelembe venni az ezekből származó hőveszteséget.

4.3.1. A szimuláció működtetése

Az új képernyőn megnyíló program több szintet (4.5a. ábra) is felkínál a felhasználó részére.



4.5a-b. ábra Nyitóoldal, lehetséges profilok és acélminőségek kiválasztása

– *University student* (egyetemi hallgató) szint

Ezen a szinten az alkalmazótól azt várják el, hogy tudományosan közelítse meg a problémát, felhasználva a releváns termodinamikai és kinetikai elméleteket a különböző eljárás-lehetőségekkel kapcsolatos döntések hozatala érdekében. Például az alkalmazónak ki kell számítania a beadagolandó ötvöző mennyiségét, a gáztalanítás idejét, a hőmérséklet ingadozásokat, stb.

Ezen a szinten nem kell üzemeltetési problémákat megoldani, és az ütemezés viszonylag egyszerű.

– *Steel Industry Works Technical* (üzemi technikus) szint

Ezen a szinten az a kíváncsi, hogy tudományosan közelítsd meg a problémát. De gyakorlatra lehet szert tenni egy sor üzemi problémával kapcsolatban, ami azt igényli, hogy végezzon kiigazításokat tervei és használja fel a tapasztalatait a gyors döntés meghozatalához.

Tipikus üzemeltetési problémákra vonatkozó példák, amelyekkel találkozhat: az öntőműre előírt idő megváltozása, bizonyos acélgyártó egységek helytelen működése vagy rendelkezésre nem állása, az üstszállító kocsijának rossz működése vagy rendelkezésre nem állása, késések a kémiai elemzés eredményeiben stb.

A szint kiválasztása után anyagminőséget (*Target steel grade*) kell választani (4.5b. ábra). Az egyes acélminőségek tömegét, csapolási és végösszetételét, zárványosság szintjét, a folyamatos öntőműbe feladás időpontját és az ekkora elérendő célhőmérsékletét a 4.6. ábra foglalja össze.

Amennyiben többször is futtatjuk ugyanazon acélminőség gyártását, a feltételek többnyire megegyeznek, csak a rendelkezésre álló idő változik véletlenszerűen.

Chosen grade: General purpose construction beam steel

Ladle steel bath mass: ~100000 kg
Tap temperature: ~1650 °C
Aim temperature at caster: 1530-1540 °C
Required inclusion level: Moderate

	Tap	Rim	Min	Max
C	~0.0500	0.1450	0.1300	0.1600
Si	~0.0000	0.2000	0.1500	0.2500
Mn	~0.1200	1.4000	1.3000	1.5000
P	~0.0170	-	-	0.0250
S	~0.0150	-	-	0.0200
Cr	~0.0100	-	-	0.1000
Al	~0.0000	0.0350	0.0250	0.0450
B	~0.0001	-	-	0.0005
Ni	~0.0100	-	-	0.1500
Nb	~0.0000	0.0420	0.0350	0.0500
Ti	~0.0000	-	-	0.0100
V	~0.0000	-	-	0.0100
Mo	~0.0020	-	-	0.0400
Ca	~0.0000	-	-	-
N	~0.0030	-	-	0.0050
H	~0.0003	-	-	0.0005
O	~0.0400	-	-	0.0010

• Within spec • Below spec • Above spec

The ladle is required at: Bloom Caster.
Time until ladle required at caster: 1 hr 18 mins ±5 mins.

Chosen grade: TiNb ultra-low carbon steel for car bodies

Ladle steel bath mass: ~250000 kg
Tap temperature: ~1685 °C
Aim temperature at caster: 1555-1565 °C
Required inclusion level: Very low

	Tap	Rim	Min	Max
C	~0.0300	0.0030	0.0020	0.0040
Si	~0.0000	0.2100	0.1500	0.2500
Mn	~0.1000	0.7500	0.6500	0.8500
P	~0.0080	0.0650	0.0550	0.0750
S	~0.0100	-	-	0.0120
Cr	~0.0100	-	-	0.0500
Al	~0.0000	0.0450	0.0300	0.0550
B	~0.0001	0.0030	0.0010	0.0050
Ni	~0.0100	-	-	0.0800
Nb	~0.0000	0.0200	0.0100	0.0300
Ti	~0.0000	0.0300	0.0200	0.0350
V	~0.0000	-	-	-
Mo	~0.0020	-	-	0.0100
Ca	~0.0000	-	-	-
N	~0.0020	-	-	0.0040
H	~0.0003	-	-	0.0005
O	~0.0600	-	-	0.0005

• Within spec • Below spec • Above spec

The ladle is required at: Slab Caster.
Time until ladle required at caster: 1 hr 25 mins ±5 mins.

Chosen grade: Linepipe steel for gas distribution

Ladle steel bath mass: ~250000 kg
Tap temperature: ~1675 °C
Aim temperature at caster: 1527-1552 °C
Required inclusion level: Very low

	Tap	Rim	Min	Max
C	~0.0500	0.0700	0.0600	0.0800
Si	~0.0000	0.1800	0.1300	0.2300
Mn	~0.1200	1.0500	1.0000	1.1000
P	~0.0070	-	-	0.0080
S	~0.0080	-	-	0.0030
Cr	~0.0100	-	-	0.0600
Al	~0.0000	0.0300	0.0250	0.0350
B	~0.0001	-	-	0.0050
Ni	~0.0100	-	-	0.0500
Nb	~0.0000	0.0150	0.0120	0.0180
Ti	~0.0000	-	-	0.0100
V	~0.0000	-	-	0.0100
Mo	~0.0020	-	-	0.0100
Ca	~0.0000	-	0.0010	0.0050
N	~0.0030	-	-	0.0045
H	~0.0004	-	-	0.0002
O	~0.0400	-	-	0.0007

• Within spec • Below spec • Above spec

The ladle is required at: Slab Caster.
Time until ladle required at caster: 1 hr 40 mins ±5 mins.

Chosen grade: Engineering steel (e.g. AISI 4140)

Ladle steel bath mass: ~100000 kg
Tap temperature: ~1675 °C
Aim temperature at caster: 1558-1578 °C
Required inclusion level: Low

	Tap	Rim	Min	Max
C	~0.1300	-	0.3800	0.4500
Si	~0.0060	-	-	0.4000
Mn	~0.1200	-	0.6000	0.9000
P	~0.0070	-	-	0.0350
S	~0.0080	-	-	0.0350
Cr	~0.0100	-	0.9000	1.2000
Al	~0.0000	-	0.0150	0.0300
B	~0.0001	-	-	0.0050
Ni	~0.1000	-	-	0.3000
Nb	~0.0000	-	-	-
Ti	~0.0000	-	-	-
V	~0.0000	-	-	0.0100
Mo	~0.0020	-	0.1500	0.3000
Ca	~0.0000	-	-	-
N	~0.0030	-	-	0.0050
H	~0.0004	-	-	0.0003
O	~0.0400	-	-	0.0005

• Within spec • Below spec • Above spec

The ladle is required at: Billet Caster.
Time until ladle required at caster: 1 hr 22 mins ±5 mins.

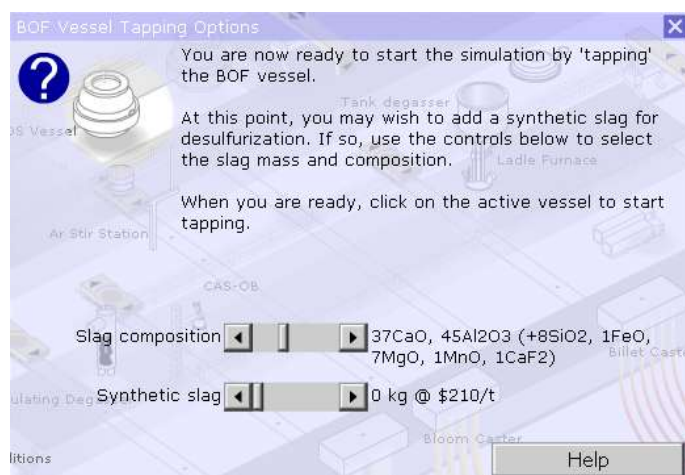
4.6a-d. ábra Összetételi és egyéb előírások az acélminőségek szerint

4.3.2. A gyártható acélfajták jellemzése

- Az általános rendeltetésű **szerkezeti acél (CON)** viszonylag igénytelen típus, amely minimális kezelést igényel és ezért **kezdő alkalmazók** számára ajánlott. Fő feladat, hogy megbizonyosodjon az ötvöző adagolások helyességéről.
- A **TiNb igen kis karbontartalmú acél (ULC)**, a gépkocsi karosszéria részei számára maximálisan 0,0035% C-előírású az optimális alakíthatóság biztosítására. Ez körülbelül tizede a primer acélgyártás végén tipikusan meglevő karbon-szintnek. Fő prioritásod ezért a főlös karbon hatékony eltávolítására megfelelő acélgyártó üstmetallurgiai egység kiválasztása és ellenőrzése.
- A **csővezeték acél (LPS)** gáz szállítására szolgál, igen igényes fajta, mivel a nagy szilárdság és nagy törési szívósság kombinációja extrém kis szennyező (S,P,H,O és N) és zárványszinteket igényel. Csak a nagyobb gyakorlattal rendelkező felhasználónak ajánlott megkísérelni ezt a fajtát.
- A **gépészeti acél (ENG)** hőkezelhető acél típus. Jelentős Cr-t és Mo-t tartalmaz és kis hidrogén szintet igényel.

4.3.3. Adaggyártás

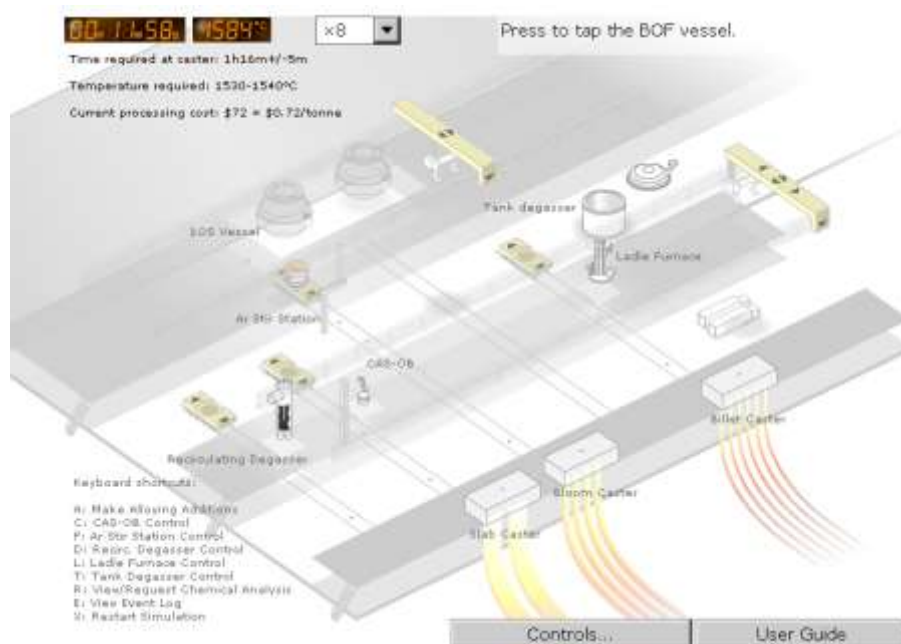
- Az acélminőség kiválasztása után megjelenik egy kérdés (4.7 ábra), miszerint milyen összetételű (33-45 % CaO, 49-37 % Al_2O_3 , 8 % SiO_2 , 1 % FeO, 7MgO, 1 % MnO, 1 % CaF_2) és mennyiségű (0-3000 kg) szintetikus salakot szeretnénk csapolás közben az üstbe kéntelenítési célra adagolni. Az összetételt és a tömeget csúszkák mozgatásával lehet beállítani.
- A szintetikus salak kiválasztása után a konvertertestre kattintva megkezdődik a csapolás.



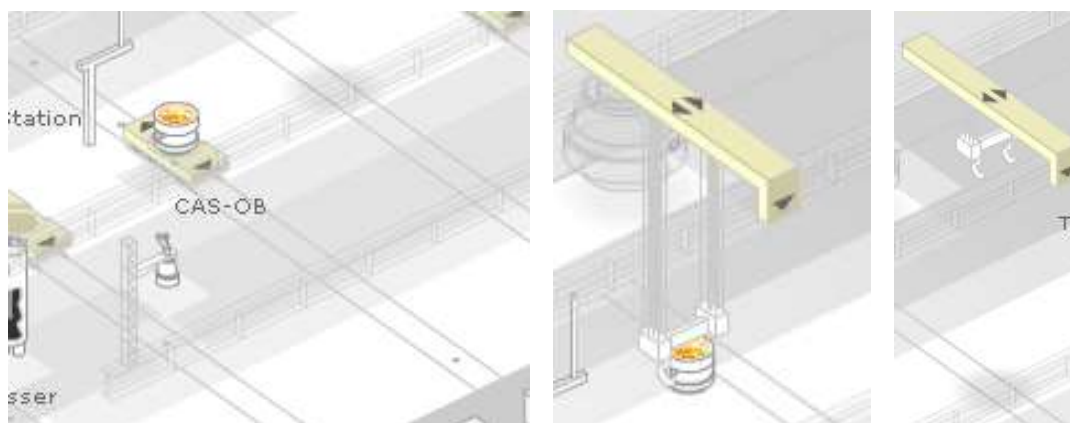
4.7. ábra Szintetikus salak kiválasztása

A csapolást követően az összefoglaló képen (4.8. ábra) megkezdődhet az üstmetallurgiai kezelés. Saját döntésünk, hogy az egyes eljárásokat milyen sorrendben vesszük igénybe. Fontos tudnivalók:

- Az üstöt üstkocsival és darukkal tudjuk a berendezések között mozgatni (4.9. ábra).
- Az üstkocsi a sínen pontokkal jelzett pozíciók között mozgatható (4.9a. ábra) a kocsi elején és végén látható nyilakra kattintva. Amennyiben elindítottuk a kocsit, de meggondoltuk magunkat, menetközben is megváltoztathatjuk az irányát.
- A darukat szintén a daruhídon feltüntetett nyilakkal irányíthatjuk (4.9b. ábra). Az emelést a hídon felül lévő, az emelést-süllyesztést a híd oldalán található nyilakkal végezhethetjük. A pozícionálást segíti a daru árnyéka (4.9c. ábra).



4.8. ábra Az üzemcsarnok összefoglaló képe



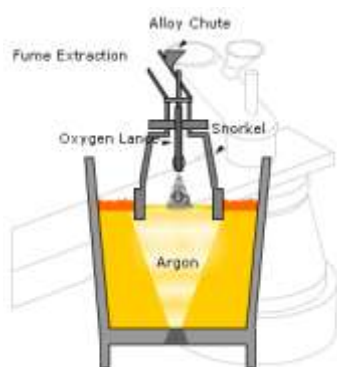
4.9a-c. ábra Üstkocsi és daru mozgatója

- A szimuláció sebessége szabályozható 1-4-8-16-32-64-szoros értékek között,
- Folyamatosan látható a folyamatos öntőműbe érkezés elvárt ideje és az ott megkívánt hőmérséklet, illetve az eddig felmerült költségek.
- A beállított hőmérséklet a vákuumkezelések és a szállítás során is mérséklődik, azaz némi túlhevítés szükséges.
- Az „A” billentyűvel történhet gyártás közben további adagolás (ötvözők, dezoxidálószer, salakképzők, porbeles és porbefűvós kezeléshez szükséges anyagok) (4.10a. ábra).
- Az ötvözők és egyéb hozaganyagok adagolása csak valamelyik állomáson, illetve a konverter alatt történhet.
- Az adagolási ablakban az egyes adalékok nevére állítva a kurzort, megjelennek az adott anyag összetevői és azok hasznosulásai (4.10b. ábra).
- A kiválasztott adalékok tömegét jóvá kell hagyni (4.10c. ábra).
- Az egyes berendezések alá kell beállítani az üstöt, majd a berendezésre kattintva indítható el, illetve állítható le az aktuális kezelés.

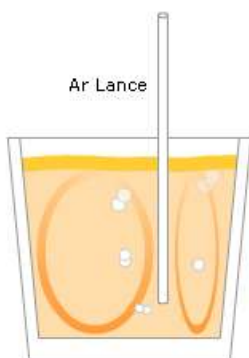
- A „C” billentyűvel lehet megnyitni a kémiai hevítés – CAS-OB vezérlő képernyőjét (4.11b. ábra), a berendezés működési elve a 4.11a. ábrán látható.
- A „F” billentyűvel lehet megnyitni a felső argonos kezelés – Ar Stir Station vezérlő képernyőjét (4.12b. ábra), a berendezés működési elve a 4.12a. ábrán látható.
- A „D” billentyűvel lehet megnyitni a részletekben történő vákuumozás – Recirculating Degasser vezérlő képernyőjét (4.13b. ábra), a berendezés működési elve a 4.13a. ábrán látható. Lehetőség van oxigénes frissítésre. Lehetőség van oxigén befúvásra is, így érhető el az ultra alacsony karbontartalom.
- A „L” billentyűvel lehet megnyitni az üstkemence – Ladle Furnace vezérlő képernyőjét (4.14b. ábra), a berendezés működési elve a 4.14a. ábrán látható.
- A „T” billentyűvel lehet megnyitni a vákuumozó kamra – Tank degasser vezérlő képernyőjét (4.15b. ábra), a berendezés működési elve a 4.15a. ábrán látható.
- Az „E” billentyűvel hívható elő az eseménynapló (4.16. ábra),
- Az „R” billentyűvel vehető minta, illetve előhívható a legutóbbi minta összetétele (4.17. ábra), a minta elemzése 40 dollárba kerül és 3 perc alatt készül el.
- Amennyiben elkészült az adag (megtörtént a hőmérséklet, összetétel és zárványtartalom előírt szintre való beállítása) az előre megjelölt öntőgépre kell feljuttatni az adagot. Az öntésre átadással befejeződött a feladata, megjelenik a gyártási műveletet értékelő táblázat (4.18a. ábra).
- Az „X” billentyűvel újraindítható a szimuláció.



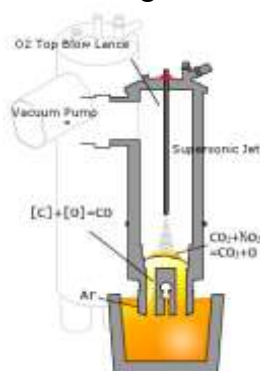
4.10a-c. ábra Adalékanyagok kiválasztása



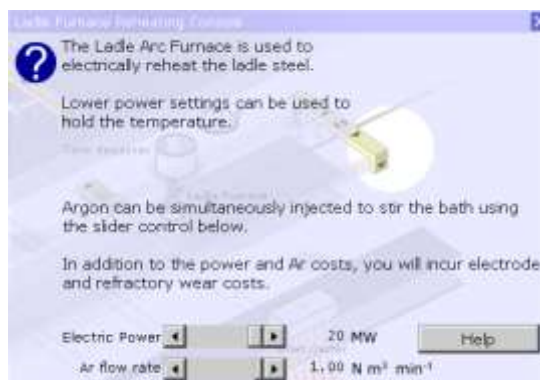
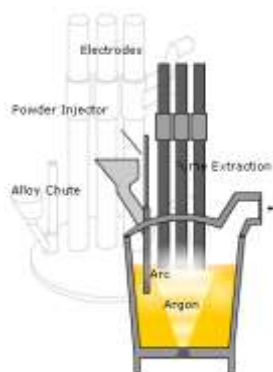
4.11a-b. ábra A kémiai hevítés – CAS-OB eljárás működési elve és vezérlő képernyője



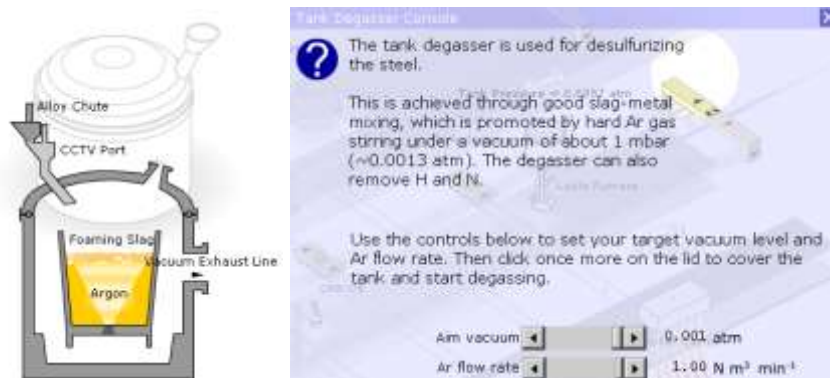
4.12 a-b. ábra A felső argonos kezelés – Ar Stir Station működési elve és vezérlő képernyője



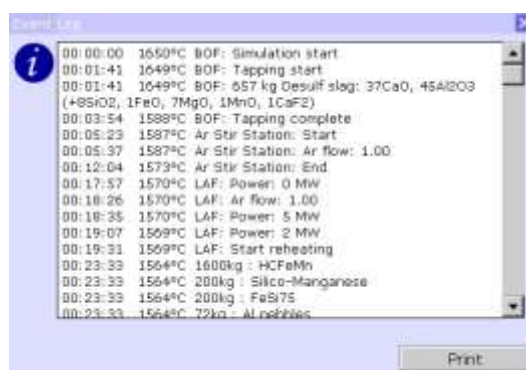
4.13 a-b. ábra Részletekben vákuumozó berendezés – Recirculating Degasser működési elve és vezérlő képernyője



4.14 a-b. ábra Az üstkemence – *Ladle Furnace* működési elve és vezérlő képernyője



4.15 a-b. ábra Vákuumozó kamra – *Tank degasser* működési elve és vezérlő képernyője



4.16. ábra Eseménynapló

Chemical analysis

Analysis time: 00:38:38, Ladle mass: 101863 kg

	Current	Min	Max	Max
C	0.1420	0.1450	0.1380	0.1480
Si	0.2121	0.2080	0.1780	0.2580
Mn	1.2599	1.4000	1.3000	1.5000
P	0.0211	-	-	0.0250
S	0.0066	-	-	0.0200
Cr	0.0090	-	-	0.1000
Al	0.0291	0.0350	0.0250	0.0450
B	0.0001	-	-	0.0005
Re	0.0090	-	-	0.1500
Mo	0.0111	0.0120	0.0150	0.0500
Ti	0.0012	-	-	0.0100
V	0.0000	-	-	0.0100
Nb	0.0020	-	-	0.0400
Co	0.0001	-	-	0.0050
H	0.0001	-	-	0.0005
O	0.0001	-	-	0.0010

This is the most recently available chemical analysis. To initiate a new one (cost \$40, ~3 minutes), click the "Get new" button.

View timeline... Get new Print

4.17. ábra Mintavétel eredménye

Time reported at center: 14:00:00 (hr:min:sec)
Temperature Reported: 1530 (°C)
Current processing cost: \$238.17/ton

Summary of Results

	Target	Actual	
Composition	View analysis	✓	
Time	02h 17h v/h	01h 19h	✓
Temperature	1520-1540°C	1529°C	✓
Inclusions	Moderate	Very low	✓
Caster	Mocon Caster	Mocon Caster	✓
Total Cost		\$23.17/h	

Event Log... Restart Print

Chemical analysis

Analysis time: 01:19:40, Ladle mass: 101973 kg

	Current	Min	Max	Max
C	0.1400	0.1450	0.1380	0.1480
Si	0.2121	0.2080	0.1780	0.2580
Mn	1.2621	1.4000	1.3000	1.5000
P	0.0211	-	-	0.0250
S	0.0065	-	-	0.0200
Cr	0.0090	-	-	0.1000
Al	0.0289	0.0350	0.0250	0.0450
B	0.0001	-	-	0.0005
Re	0.0090	-	-	0.1500
Mo	0.0111	0.0120	0.0150	0.0500
Ti	0.0012	-	-	0.0100
V	0.0000	-	-	0.0100
Nb	0.0020	-	-	0.0400
Co	0.0001	-	-	0.0050
H	0.0001	-	-	0.0005
O	0.0001	-	-	0.0010

View timeline... Get new Print

4.18.a-b. ábra A gyártás minősítése, a lecsapolt acél végösszetétele

Az öntésre átadás után megjelentik meg a gyártási műveletet értékelő ablakban (4.18a. ábra) a program kiértékeli az acélgyártás művelet technológiai műveletét az alábbi paraméterek ellenőrzésével:

- az acél összetétele (4.18b. ábra),
- az öntésre átadás időpontja (összevetve az előírttal),
- az acél hőmérséklete (összehasonlítva az előírttal),
- az acél zárványtartalma (egybevet az előírással),
- a kijelölt öntőgépre érkezett-e az adag,
- a költségek.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] H.Knüppl : Grundlagen und Verfahren der Pfannenmetallurgie, Düsseldorf.1983. pp.509.
- [2] L.E.Holappa: Ladle injections metallurgy, International Metals Rewiews.1982. (2) pp.53-56.
- [3] K.W.Lange : Thermodynamic and kinetic aspects of secondary steelmaking processes International Metals Rewiews.1982. (2) pp.76-89.
- [4] 7th ICVM-kiadvány, 1982. Tokyo
- [5] 8th ICVM-kiadvány, 1985. Linz
- [6] 9th ICVM-kiadvány, 1988. San Diego
- [7] Scaninject II.kiadvány, 1980. Lulea
- [8] Scaninject II.kiadvány, 1983. Lulea
- [9] Scaninject II.kiadvány, 1986. Lulea
- [10] Scaninject II.kiadvány, 1989. Lulea
- [11] T.Ototani: Calcium Clean Steel, Springer Verlag. 1987
- [12] J.Székely, G.Carlsson és L.Helle: Ladle Metallurgy, Springer Verlag. 1988
- [13] R.Fandrich, H.B.Lüngen, C-D.Wuppermann : Secondary metallurgy –status 2007, 7th Clean Steel. 2007. június 4-6 Balatonfüred, pp.28-37.
- [14] W.Pluschke: Grundoperationen pfannenmetallurgischer Prozesse, Stahl u. Eisen.1981.(11-14) pp.97-103.
- [15] Y.Suzuki: Secondary Steelmaking. Review of Present Situation in Japan, Secondary Steelmaking. 1977.május 5-6. London
- [16] The Progress of the Iron and Steel Technologies in Japan in the post decade, Iron and Steel Institute of Japan. Tokyo.1986.
- [17] Simon S., Sziklavári J. és Szőke L: Újabb technológia megoldások az acélgyártásban, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1974.pp.278.
- [18] Szőke L: Folyékony acél vákuumozására vonatkozó eddigi tapasztalatok, BKL. Kohászat, 1965.(2) pp.60-65.
- [19] M.A.Orehoski: Secondary Steelmaking-Refining Processes in the USA, Secondary Steelmaking, London.1977.máj.5-6.
- [20] J.Leach, A.Radgen és G.Sheehan: The Operation of the AOD Process in BSC, Secondary Steelmaking, London.1977.máj.5-6.
- [21] E.Plöckinger: Die Sekundermetallurgie des Stahles, Berg und Hüttenmannische Monatshefte, 1976 (9).pp.340-349.
- [22] L.Cooper, B.Landin: The ASEA-SKF Ladle Furnace, Canadian Metallurgical Quartely, 1971.(2) pp.121-128.
- [23] M.S.Ugla: Le proceblé ASEA-SKF, Circulaire D'informations Techniques. 1975 (3). pp.611-630.
- [24] Swedish practice with ASEA-SKF, Ironmaking and Steelmaking, 1977.(4), pp.4-5.
- [25] K.Brotzmann: Secondary Steelmaking-Present Situation in Europe, Secondary Steelmaking, London. 1977. május 5-6.
- [26] Tolnay L., Kiss L.: Szuperalacsony karbontartalmú korrózióálló acélok gyártása VOD-eljárással az LKM-ben, BKL. Kohászat, 1981.(1)
- [27] Tolnay L., Sziklavári I., Károly Gy. és Sziklavári J.: Making the Bearing Steel with Process Controll ont he LD-ASEA-SKF Route 8th ICVM. Linz, pp.606-615.
- [28] J.M.Dixmier, I.M.Henry: A befűvátásos metallurgia mai helyzete, Előadás a Bp-i Francia Műszaki és Tud.Tájékoztatási Központban, Bp.1980.máj.6.

- [29] H.Kosmider és tsai: Beeinflussung des sulfidischen und oxidischen Reinheitsgrades von Stählen durch Einblasen von Feststoffen in der Pfanne, Stahl und Eisen, 1979.(22).pp.1215-1222.
- [30] I.M.Henry: Utilisations du silico-calcium et de ses derives dans la productions de l'acier Bozel Electrometallurgie kiadvány. Párizs. 1980.
- [31] H.I.Langhammer, H.Abratis és P.Patel: Influence of Injection of Powdered Materials on Oxide and Sulphide Cleanliness of Steel Grades, Scaninject I. Lulea, 1977.pp.13.
- [32] G.Falmo és tsai: Desulfurization of steel in an Acid Ladle Using CaSi and Lime-Fluorspar Mixtures, Scaninject I. Lulea, 1977. pp.15.
- [33] T.Usui és tsai: Produktion of Line Pipe Steel by Gas and Powder Injection, Scaninject. I. Lulea, 1977.pp.1-23.
- [34] W.Holzgruber, D.Hengerer: Die Entschwefelung von Stahlschmelzen der Einblasen pulverförmiger Feststoffe in Ofen und Pfanne. Berg und Hüttenmännische Monatshefte. 1979.(9). pp.278-285.
- [35] Répási G: Metallurgical and Quality aspects of the production of heavy plate sheet and tube steel with low sulphur content. Scaninject I. Lulea.1977.
- [36] E.Förster, E.Spetzler: Desoxidation und Entschwefelung durch Einblasen von Calciumverbindungen in Stahlschmelzen und ihre Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften aus Grobblechen, Stahl und Eisen. 1974 (11), pp. 474-485.
- [37] H.Ushijama és tsai: Ladle Furnace Process in Japan, Dissc. AIME. 1980. pp.99-112.
- [38] B.Tivelius, T.Sohlgren: Secondary Steelmaking by the ASEA-SKF and the TN-process. AIME. 1980. pp.113.124.
- [39] H.Richter és tsai: Application of Injection Metallurgy in Integrated Iron and Steel Works, Scaninject I. Lulea. 1977. 15.
- [40] I.G.Meredith: Development and Use of Lime Base Products for Injection Metallurgy, Scaninject II. Lulea.1980.32.
- [41] K.Wada és tsai: Investigation of Desulphurization and Deoxidation in Injection Metallurgy, Scaninject II. Lulea. 1980. 21.
- [42] R.I.Fruehan: Thermodynamics and Kinetics of Reaction Involving Elements in Ladle Metallurgy. ISM.1983. pp.33-37.
- [43] K.Tahtinen és tsai: Ladle Injection – A way to Continuously Cast Aluminium Killed Steels, Scaninject II. Lulea. 1980. pp.24.
- [44] B.Tivelius, T.Sohlgren: Influence of Different Desulphurizers on the Process Parameter and the Properties of Solid Material During TN Ladle Treatment, DISSC. AIME. 1980. pp.125.
- [45] F.B.Pickering:HSLA Steels – A Decade os Progress, Micro Alloying . 1975.pp.9-30.
- [46] G.Répási, S.Ghazally, P.Tardy, Gy.Károly: Replacing CaSi by injecting CaO-based slag mixtures to improve quality of DX-65 HSLA steel, Scaninject III. Lulea.1983.pp.411-418.
- [47] S.Ghazaly: Metallurgical and physical analysis of Injecting CaSi or CaO-based powders into HSLA structural steel melts, Kandidátusi értekezés. Miskolc, 1983.
- [48] G.Carlsson, L.W.Helle: Multicomponent Injection, Scand. J.Metallurgy. 1985. (14) pp.18-24.
- [49] I.W.Robinson: Wire feeding in ladle metallurgy, Pfizer cég kutatási jelentése, 1983. pp.35.
- [50] I.W.Robinson: Ladle treatment with steel-clad metallic calcium wire, Pfizer cég kutatási jelentése, 1983. pp.20.
- [51] Y.Samai, R.I.Guthrie: Hydrodynamics of Gas Stirred Melts, Met.Trans.B. 1982. pp.193-211.

- [52] G.P.Bernsmann: A New Device for Subsurface Ladle Addition, Journal of Metals, 1971. pp.30-33.
- [53] G.P.Bernsmann: Method for Treating Metallic Melts 1973. U.S.Patent. 3 778 250
- [54] T.Tanoue, Y.Umeda és T.Aoki: Development of New Method of Aluminium Additions, The Sumitomo Search.1973.(9) pp.74-87.
- [55] Y.Umeda, Y.Anzo, M.Sueyasu és T.Aoki: A New Deoxidizing Technique on Liquid Steel by Use of Aluminium, Henry Brutscher Translation, 9172, 1973.
- [56] S.Tanaka: Deoxidation Practice in Continuous Casting (Aluminium-Wire Feeder System), Ironmaking and Steelmaking, 1977.(6) pp.350-354.
- [57] S.Tanaka, H.Uchibori, M.Hanmyo és Uchida: Control of the Soluble Aluminium Content in Continuously Cast Aluminium-Killed Steel by use of an Aluminium-Wire Feeder, Henry Brutscher Translation, 9330, 1974.
- [58] B.Redenz, M.Hater és W.Pluschkell: Adjustment of Aluminium Content to Deep-Drawing Steel Grades, 3.Nemzetközi Acélgéártó Konferencia, 1978. Chicago
- [59] M.Hater, W.Pluschkell: Adjustment of the Aluminium Content of Continuous Casting Melts by Injection of an Aluminium Wire, British Industrial and Scientific Int. Tran. 17919, 1978.
- [60] G.Ebner, A.Diener és W.Pluschkell: Model Computations on the Injection of an Aluminium Wire into Steel Melts., Arch.f.Eisenhüttenwesen, 1978 (2) pp.563-568.
- [61] S.N.Singh: Mechanism of Alumina Buildup in Tundish Nozzles During Continuous Casting of Aluminium Killed Steels, 62th National Open Heart and Basic Oxygen Steelmaking Conference, 1979..Pittsburg
- [62] S.N.Singh: A Practical Solution to the Problems of Alumina Buildup in Nozzles During Continuous Casting of Aluminium Containing Steels, 62th National Open Heart and Basic Oxygen Steelmaking Conference, 1979. Pittsburg
- [63] T.R.Meadowcroft, R.I.Milbourne: A New Process for Continuously Casting Aluminium Killed Steel, National Open Heart and Basic Oxygen Steelmaking Conference, 1971. Pittsburg
- [64] T.F.Dindino, K.D.Raburro: Casting Aluminium Fine Grain Billets, 64th Steelmaking Conference Proceedings
- [65] M.Hater, W.Pluschkell, B.Redenz és H.Wieniewski: Einstellung des Aluminiumgehaltes von Stranggussmelzen durch Einspulen von Aluminiumdraht, Stahl und Eisen, 1978.(16) pp. 821-824.
- [66] M.D.Coward: Apparatus for Producing Aluminium-deoxidized continuously Cast Steel U.S.Patent. 1979. 60 270.
- [67] R.Kiessling, N.Lange: Non-metallic inclusion in steel. Metals Society, London. 1966.11.pp.38.
- [68] F.C.Hackett, I.Melver: Calcium-Beneficial Effects in Steelmaking, Elect. Furnace Proc. AIME. 1971.
- [69] Y.Kenkichi, D.Delhschlagel, A.ajima és T.Hoichi: Verfahren zum Herstellen eines drahtförmigen Verbundzusatzwerkstoffes zur Behandlung von Eisen- oder Stahlschmelzen, Japan Patent. 1975. 90 975.
- [70] A porbeles kezelésre vonatkozó on-line irodalom kutatása, 1984-ig 80 találat, 1984-87 között 92 találat, 1987-90 között 71 találat.
- [71] C.Gatellier, H.Gaye és M.Nadif: Prediction of inclusion in calcium treated steel, First Int.Calcium Treatment Symposium, Glasgow, 1988.jun.30. pp.31-37.
- [72] E.T.Turkdogan: Metallurgical Consequences of calcium retention in liquid and solid steel, First Int.Calcium Treatment Symposium, Glasgow, 1988.jun.30. pp.3-13.

- [73] F.Pellicani, B.Duroud és A.Gueissier: Guidelines for calcium treatment of steel and state of calcium retained, First Int.Calcium Treatment Symposium, Glasgow, 1988. jun. 30. pp.15-22.
- [74] P.Boussard, R.Szezesny, F.Pellicani és A.Gueussier: Resulfurized steels for improved Machinability with Calcium Treatment, First Int.Calcium Treatment Symposium, Glasgow, 1988. jun. 30. pp.103-108.
- [75] R.Kissling: Non metallic inclusion in steel, Metals Society, London. 1969.V. pp.50.
- [76] P.Dewsnap: Some benefits to be derived from calcium treatment of alloy steels, Kézirat, 1984. pp.13.
- [77] D.Hengerer: Újszerű eljárás, amely költségmegtakarítást és minőségjavulást eredményez az acélgégyártásban. Előadás az Osztrák Műszaki Napokon, Bp. 1984. okt. 15-19.
- [78] H.Neubauer, G.Wolf és D.Hengerer: Sekundermetallurgische Schmelzbehandlung durch Drahteinspulen, Berg und Hüttenmannische Monatshefte, 1985.(9) pp.311-315.
- [79] Odermath cég katalógusa, 1984. Chicago
- [80] AFFIVAL cég kiadványa, 1984. Vallourec
- [81] A.Guessier és tsai: In ladle treatment using a new cord wire technique, Iron and Steel Engineer, 1983.okt.
- [82] Pferrocal-cég kiadványai.
- [83] Károly Gy: Dezoxidálás üstmetallurgiai módszerekkel. Üstmetallurgiai kézikönyv, 1990. Dunaújváros. 9/1-69.
- [84] Károly Gy.: Korszerű dezoxidálási technológia kialakítása aktív oxigénmérő készülék alkalmazásával. OMBKE, 1987. pp. 35.
- [85] Szabó A: Szilícium-szegény, alumíniummal dezoxidált acéltisztaságának javítása argonos átöblítés finomításával, PhD értekezés, Miskolc, 2009.
- [86] K.Kiukkola-C.Wagner: Measurements on Galvanic Cells Involving Solid Electrolytes Journal Electrochemical Soc.. 1957. pp. 308-316., 379-387.
- [87] D.Janke: Basic considerations on the design of oxygen probes for continuous measurements in steel melts. Archiv f.Eisenhüttenwesen. 1983. (7) pp.259-266.
- [88] Ph.Catoul: Direkte Bestimmung der Sauerstoffaktivitat in der Stahlschmelze EGKS Programm Messungen in der Eisenhüttenindustrie, Lüttich, 1973.pp.34.
- [89] CELLOX II. Oxygen activity measurements system. Prospektus. 1983. pp.1-6.
- [90] J.P.Carlens: Aluminium Deoxidation and Desulfurisation control in Ladle Metallurgy for Billet and Slab Casters by Means of the Oxygenactivity Measurements with the Cellox Oxygenprobe. Electro-Nite. Hauthalen, 1986.
- [91] M.Chastant, C.Gatellier, M.Olette: Development of an electrochemical probe for measurement in molten steel. SIMAC Conference Proceedings, 1972.Sheffield.pp.11/1-6.
- [92] Sauerstoffmassonde für flüssige Metallbader, Fachberichte Hüttenpraxis, 1984. (1) pp.50.
- [93] L.Holappa, K.Tahtinen, K.Terho: Oxygen Activity Measurement in Steel Melts, Proc.of the IV. Nordic High Temperature Symposium, 1975. pp.47-73.
- [94] Sauerstoff-Massgerät HB 26. Keller Specialtechnik GmbH. Prospektus. No.9/02. 1976. pp.1-5.
- [95] KELLER HB., Gépkönyv.1984.
- [96] Carlens: CELOX Appl. Rep. 1980.
- [97] Cheng et al: Steelmaking Proc. 1985. pp. 275.
- [98] Harcsik Béla : Hidegen hengerelhető acélok folyamatos öntésénél a kagylószűkülés befolyásolása hevítést nem biztosító üstmetallurgiai műveletekkel, PhD értekezés, Miskolc, 2012. pp.97.

- [99] Károly Gy: A folyamatos öntési technológia és a minőségbiztosítás fejlesztése az ISD Dunafernrél, Tanulmány, 2011. pp.34.
- [100] Károly Gy: A csapolás alatti salakvisszatartástól kezdődően az öntés befejeztéig ható reoxidációs források elemzése, UNIFLEXYS tanulmány, Miskolc, 2011. pp.10.
- [101] U. Kalla, H.W. Kreutzer, E. Reichenstein: Stahl und Eisen 1977. pp. 382-393.
- [102] H.G. Geck, J.J. Langhammer: Stahl und Eisen 1968. pp. 1132-1139.
- [103] W. Posch, H. Presslinger, M. Mayr, A. Jungreithmeier, E. Pissenberger: Berg und Hüttenmännische Monatshefte. 2000. pp. 168-175.
- [104] Károly Gy.: MeAKKK szakmai jelentése az alumínium-öntödei salakok hasznosításáról. Miskolc, 2002.
- [105] L.Zhang, B.Thomas : State of the Art in Evaluation and Control of Steel Cleanliness ISIJ Int. 2003 (3) pp.271-291.
- [107] W.Pluschkell: Grundoperationen pfannenmetallurgischer Prozesse, Stahl u. Eisen 1981. (13-14) pp.97-103.
- [107] A metallurgiai üstben kialakuló áramlás numerikus szimulációja, BME Áramlástan Tanszékén készült tanulmány 2005.
- [108] Si-mentes, Al-mal dezoxidált nagyszilárdságú acélok gyártástechnológiájának fejlesztése, Dunaferri megbízásából készült tanulmány, MeAKKK, 2004.pp.23.
- [109] Kiss László: UHP ívkemencék üzeme. Kohászat. 112. évfolyam. 5. szám
- [110] Kiss László: A vákuumos kezelés tapasztalatai Diósgyőrben. Kohászat 113 (1980), 3-4 sz pp.155-159.