

DEMETER DÁNIEL – KOKAS PÉTER

A Linde szerepe a fémkohásban, az „Alacsony hőmérsékletű ‘lángnélküli’ oxigénes tüzelés” bemutatása

A X. fémkohászati szakmai napon (Miskolci Egyetem, 2009. 09. 25.) „A Linde Gáz szerepe a fémkohásban” című előadás során a szerzők bemutatták a Linde által a kohászati üzemeknek nyújtott szolgáltatásokat, valamint a legújabb fejlesztésű égőcsaládot. Az alábbiakban az előadás anyagát közöljük.

1. A Linde bemutatása

A Linde Gáz Magyarország Zrt. – a Linde Csoport leányvállalataként – közel 35 milliárd forintos forgalmával, valamint több mint 500 alkalmazottal, öt telephellyel Magyarország legnagyobb műszaki gázokat előállító és forgalmazó vállalata (piaci részesedés 67%) (1. ábra).

A Linde a műszaki gázok, az ipari és orvosi gázok, a környezetvédelem, a gázipari alkalmazások és a K+F területén a termékek széles skáláját kínálja. A Linde műszaki gázai – oxigén, nitrogén, argon (ún. levegő gázok), továbbá szén-dioxid, hidrogén, acetilén és hegesztési védőgázok, valamint az egyéb nemesgázok, éghető gázok, orvosi gázok, elektronikai gázok, nagy tisztaságú gázok, vizsgáló gázok és gázkeverékek – mind jelen vannak az ipar szinte valamennyi területén, de ugyanígy a kutatásban és a gyógyászatban is. A gázok alkalmazása széleskörű, például a hegesztés és a termikus vágás területén, a fémkohásban és a vegyiparban, a gumi- és üvegyártásban, az építőiparban, az

elektronikai alkatrészek gyártásánál, az élelmiszeripari eljárásokban, az élelmiszeripari védőgázos csomagolástechnikában, valamint a környezetvédelemben (2. ábra).

Az ipari gázokat a kohászat különböző területein használják:

- hőkezelés (inert atmoszférák, cementálás, nitridálás, keményforrasztás stb.);
- fémkohászat, acél- és vasöntődék (fémfürdő inertizálás, oxigénes lándzsázás, oxigénes dúsítás, oxigénes égők alkalmazása);
- elektronika: védőgázos forrasztások, cryogén tesztelés stb.

Az alumíniumiparban a különböző gázalkalmazások segítségével termelékenység-növelés, fajlagos energiafelhasználás- és környezetterhelés-csökkentés érhető el (3. ábra).

- alumíniumolvasztás: oxyfuel égők, Wastox (O₂), fenéköblítés (Ar, N₂);
- olvadéktisztítás, gáztalanítás (Ar, N₂, SF₆, Cl₂);
- salakhűtés (Ar);
- formahűtés (folyékony N₂);



1. ábra. Linde telephelyek Magyarországon

- inert atmoszférák hőkezeléshez (N₂);
- elemzés, nagy tisztaságú rendszerek (Ar).

2. Az oxigénes tüzelés

Az oxigénes tüzelési technológia több mint 30 éve került bevezetésre, először az acél-, majd az üvegyiparban, és ezt követően kerültek kifejlesztésre az oxyfuel égők a további fémolvasztási alkalmazásokra (vas, réz, ólom, alumínium stb.) [1].

2.1. Alapfogalmak

- air-fuel égő = levegő-tüzelőanyag égő;
- oxyfuel égő = oxigén-tüzelőanyag égő;
- flameless oxyfuel égő = „lágnélküli” oxigén-tüzelőanyag égő, másnéven: low-temperature (LT) oxyfuel égő = „alacsony hőmérsékletű” oxigén-tüzelőanyag égő.

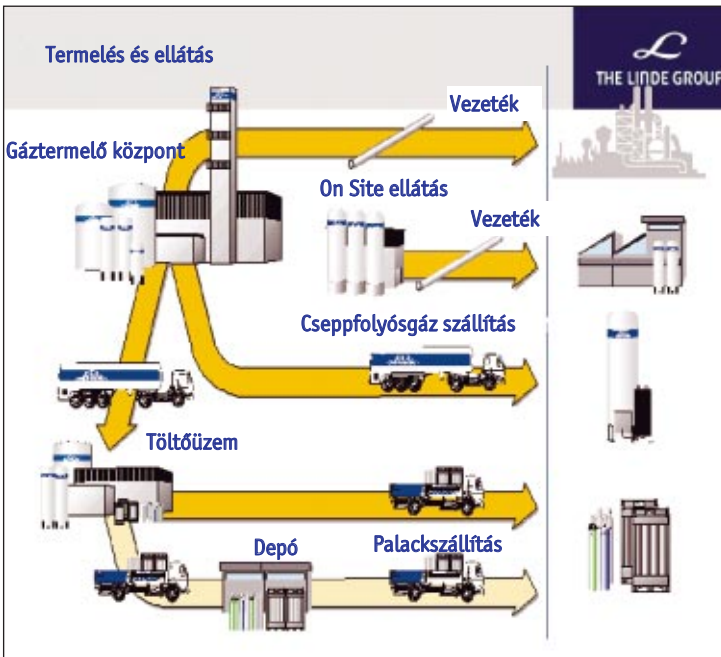
2.2. Az oxigénes tüzelés alapjai

Hagyományos air-fuel égőknél a tüzelőanyagot a hideg vagy előmelegített levegő oxigéntartalma oxidálja/égeti el, miközben a levegő nitrogéntartalmának felmelegítése és füstgázzal való távozása energiavesztéssel jár (4. ábra).

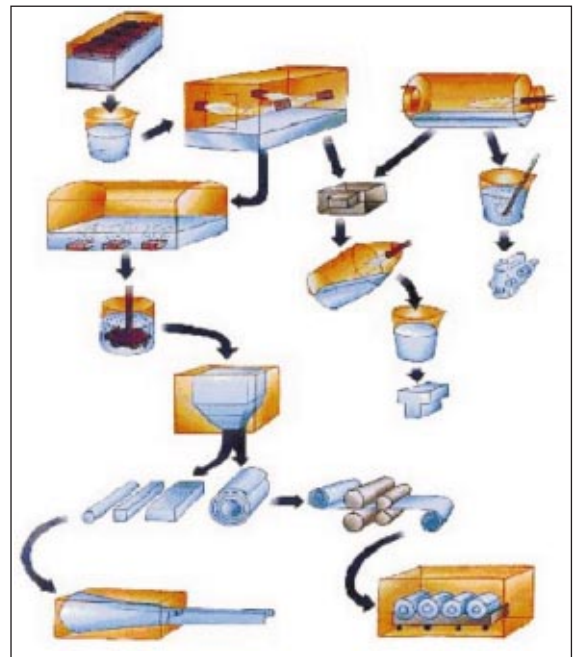
Az air-fuel égők tüzelési hatékonysá-

Demeter Dániel 2002-ben végzett a Miskolci Egyetem Anyag- és Kohómérnöki Karán, okleveles anyagmérnökként. 2004 óta a Linde Gáz Mo. Zrt.-nél alkalmazástechnikai mérnökként kohászati és elektronikai gázalkalmazásokkal foglalkozik.

Kokas Péter 1994-ben végzett a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és 1996-ban a Kohómérnöki Karán, ezt követően az AGA Gáz Kft.-nél, majd a Linde Gáz Mo. Zrt.-nél kohászati gázalkalmazásokkal foglalkozik, 2002-től alkalmazástechnikai osztályvezetőként. 2005 és 2008 között a Linde németországi központi alkalmazástechnikai osztályán dolgozott hasonló területen.



■ 2. ábra. Termelés és ellátás

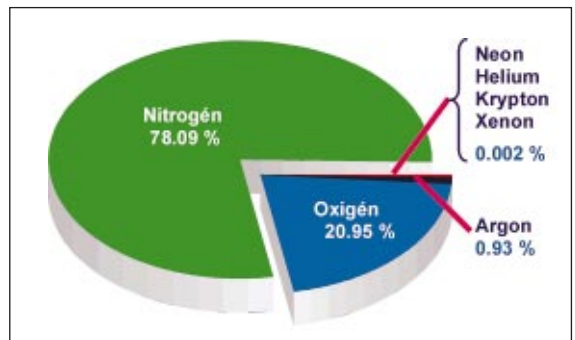


■ 3. ábra. Az alumíniumipari gázalkalmazások területei

ga/lánghőmérséklete növelhető az égők égéslevegő oxigéntartalmának növelésével, mellyel termelékenység-növekedés és fajlagos tüzelőanyag-megtakarítás érhető el. A 30%-nál magasabb dúsítási arány nem javasolt, mivel a megnövekvő lánghőmérséklet és az oxigén/nitrogén egyidejű jelenléte növekvő NO_x képződést eredményez.

A Linde által kifejlesztett oxyfuel égők tiszta oxigénes tüzelést valósítanak meg, mely során a tüzelőanyag elégetéséhez szükséges oxidáló közeget ipari (99,5% tisztaságú) oxigén biztosítja. Összehasonlítva az air-fuel tüzeléssel, az oxyfuel rendszernél az égés során a nitrogén kizárásával az égéstermékben a háromatomos CO₂ és H₂O molekulák magasabb százalékos arányának köszönhetően nagyobb a gázsugárzás, javul a hőközlés. Ezzel egyidejűleg mintegy 75-80%-kal kevesebb a

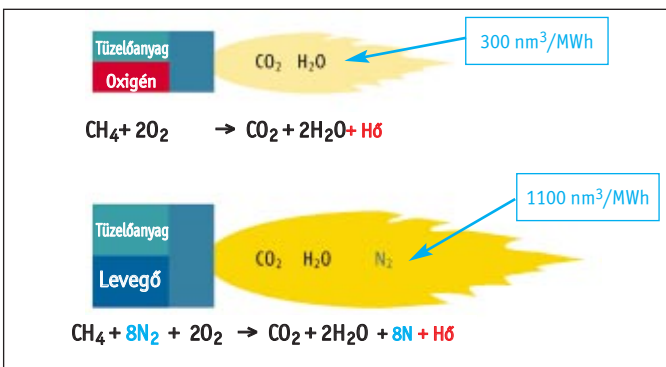
füstgázkibocsátás a nitrogén hiányának és a fajlagosan kevesebb tüzelőanyag-nak köszönhetően, így jelentősen kevesebb a füstgázzal „felhasználatlanul” távozó energia, és kisebb füstgázkezelő berendezésre van szükség. A levegő nitrogéntartalmának kizárásával – annak ellenére, hogy a lánghőmérséklet emelkedik (kivéve az alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel égők) – az NO_x képződés csökken. A hatékonyabb hőközlés és a kisebb füstgázvesztés következtében akár dupla hőenergia-sűrűség bevitel is elérhető (MW/m³). Az air-fuel és az oxyfuel tüzelés alapvető paramétereinek összehasonlítása látható az 5-6. ábrán. A telepítés szempontjából egy oxyfuel



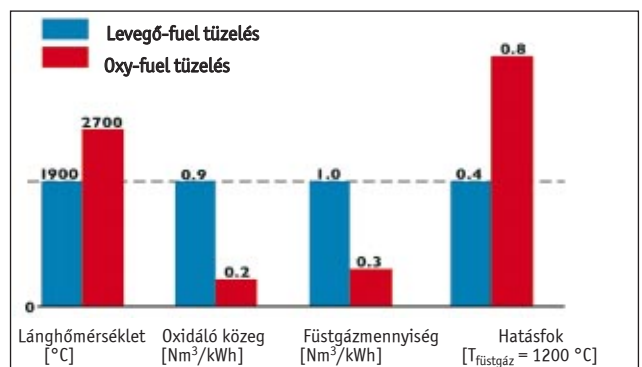
■ 4. ábra. A levegő összetétele

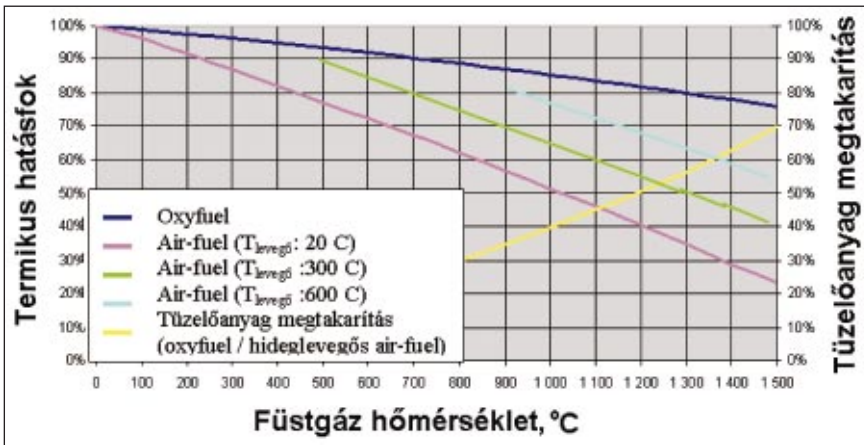
tüzelési rendszer egyszerűbb, kompakt kivétel, melynek kisebb a hely- és karbantartásigénye a rekuperatív vagy regeneratív air-fuel égős rendszerekkel összehasonlítva [2, 3].

Az air-fuel/oxyfuel tüzelés további összehasonlításakor megállapítható, hogy a tüzelés hatásfoka és a tüzelőanyag-meg-



■ 5-6. ábra. Az oxyfuel és air-fuel tüzelés összehasonlítása [3]

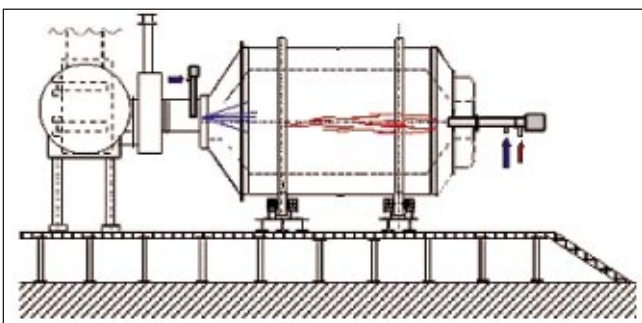




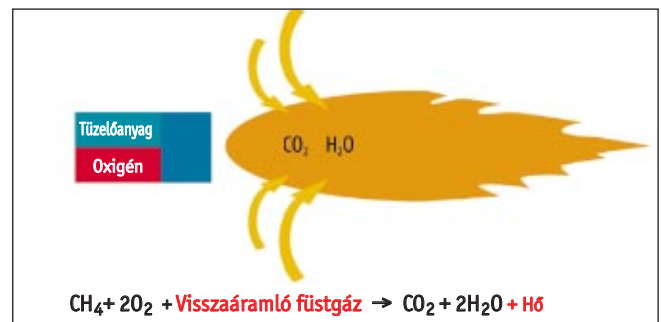
■ 7. ábra. Air-fuel/oxyfuel hatásfok és tüzelőanyagmegtakarítás a füstgázhőmérséklet függvényében [3]



■ 8. ábra. Hagyományos és oxy-fuel égő lángképe (szűrőláng)



■ 9. ábra. Hagyományos oxy-fuel égő alkalmazása forgódobos kemencében



■ 10. ábra. Alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel tüzelés elvi ábrája

takarítás mértéke a füstgázhőmérséklet növelésével oxyfuel égők alkalmazásakor jelentősen növekszik a hideglevegős, és a különböző mértékben előmelegített meleglevegős air-fuel égőkkel való összehasonlításban is (7. ábra).

2.3. Hagyományos oxyfuel égők

Hagyományos vagy konvencionális külső keverésű oxyfuel égők legfontosabb jellemzője a relatív magas lánghőmérséklet és a „szűrő láng” (8. ábra), ezért elsősorban forgódobos kemencékben (9. ábra) való alkalmazásuk terjedt el, ahol a betét/fürdő és a falazat is „mozgásban van”, így elkerülhető az egy pontra való tüzelés következtében a falazat terhelése és a megnövekedett salakképződés.

A hagyományos Linde oxyfuel égők jellemzőit az alábbiakban összefoglalva láthatjuk:

- Földgáz és oxigén bevitelle koncentrikus csöveken keresztül (földgáz belső/oxigén külső cső), alkalmazási igény szerint kialakított fúvókával.
- Elsősorban forgódobos kemencében való alkalmazás.
- Közeghűtés.

- 0,4-2 MW teljesítmény.
- Magas lánghőmérséklet.
- Szűrőláng.
- UV lángörzés.

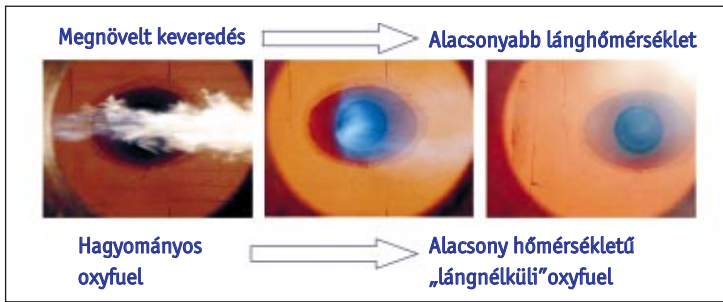
2.4. Alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel égők

A Linde – ötvözve a hagyományos oxyfuel égők és az air-fuel égők előnyös tulajdonságait – kifejlesztette a Flameless Oxyfuel, vagy más néven Low Temperature (LT) égőcsaládot (flameless jelentése: „lángnélküli”, mivel üzem közben a láng szabad szemmel láthatatlan/nehezen érzékelhető, másnéven Low Temperature, azaz „alacsony hőmérsékletű” mivel a lánghőmérsékletük alacsonyabb a hagyományos oxyfuel égők lánghőmérsékleténél), melynek célja a hatékony és egyenletes hevítés biztosítása és az NO_x kibocsátás csökkentése. Ennek megvalósítására az alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel égőknel a tüzelőanyag és az oxigén bevitelle több – nagy kilépő gázsebességet biztosító – fúvókán keresztül történik, mely biztosítja a képződő füstgáz lángba való visszaáramlását és „hígítását”, így elke-

rülve a hagyományos oxigénes tüzelésre jellemző magas lánghőmérsékletet (10. ábra). A füstgáz folyamatos visszaáramoltatása hőcsúcsoktól mentes, egyenletes láng- és térhőmérsékletet biztosít, így a termikus NO_x képződés is minimálisra csökken és kevesebb a salakképződés [1, 2].

Az oxigén- és a tüzelőanyag-koncentráció a lángzónában lecsökken a képződő füstgázokkal (elsősorban CO₂ és H₂O) való keveredés következtében, ami lelassítja az égési reakciókat, térben és időben „kiterjeszti” az égést, „szétosztja” lángot és homogén hőmérsékletet biztosít (11. ábra) [4].

Ezt a tüzelési módot nevezik „Térbeni tüzelésnek – Volume combustion”-nak is, mivel az égési reakciók térben és időben kiterjednek, „homogén” láng alakul ki, spontán égési reakciók játszódnak le a tüzelőanyag öngyulladás hőmérséklete fölött (>750°C biztonsági hőmérséklet). Egyenletesebb kemencehőmérséklet alakul ki, megszűnnek a hideg/forró pontok, így a láng és a falazat/betét között minimalizálódik a hőmérsékletkülönbség. Az egyenletesebb kemencehőmérséklet és az égés során a nitrogén kizárásával a három-



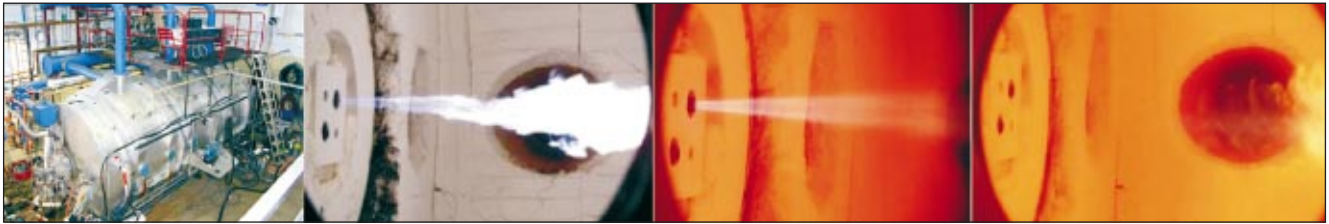
■ 11. ábra. Lángkép hagyományos és alacsony hőmérsékletű „lágnélküli” oxy-fuel tüzeléskor



■ 12. ábra. Kerámia oxyfuel égő



■ 13. ábra. Oxyfuel égő hőálló acélból



■ 14. ábra. Tesztkemence

■ 15. ábra. Lángkép változása hagyományos tüzelési módról az alacsony hőmérsékletű „lágnélküli” oxyfuel módra való átálláskor [3]

atomos CO₂ és H₂O molekulák magasabb százalékos arányának köszönhetően nagyobb a gázszugárzás, kedvezőbb a hőközlés, gyorsabb hevítés/olvasztás biztosított a kemencében.

Alacsony hőmérsékletű „lágnélküli” oxyfuel égők tulajdonságai [3]:

- falazatba építhető – közegehűtésű – kerámia (12. ábra) és vízűtésű hőálló acél kivitel (13. ábra);
- kettős égőüzem – standard és flameless mód;
- különálló – nagy kilépő gázsebességet biztosító – fűvókák;
- teljesítmény: 0,2- 5 MW;
- olaj, porszerű, gáz tüzelőanyagok;
- könnyű beépíthetőség és kompakt tartós kivitel;
- egyszerű kiszerezhetőség;
- kis karbantartásigény;
- folyamatos arány- és átfolyásszabályozás, nyomásfelügyelet;
- beépített UV lángőr és automata gyújtás gyújtóégővel.

3. Összehasonlítás

Az alacsony hőmérsékletű „lágnélküli” oxyfuel égő kifejlesztésére, valamint az air-fuel égőkkel és a hagyományos oxyfuel égőkkel való összehasonlítására a Linde tüzeléstechnikai laborjában került sor a svédországi Lidingö-ben. A laborban egy – boltozati és oldalfali hőelemekkel, valamint hőmérő szondával felszerelt –

8 m³-es tesztkemence állt rendelkezésre a különböző tüzeléstechnikai mérésekhez, cserélhető égővel/tüzelési rendszerrel (Flameless LT oxyfuel, hagyományos oxyfuel, regeneratív air-fuel) és folyamatos füstgáz elemzővel (CO, CO₂, O₂, NO_x).

A tesztkemencés mérés során összehasonlításra kerültek a különböző égők hőmérsékletprofiljai (16-18. ábra) és a lángcsúcs hőmérsékletei (1. táblázat). A mérések során a teljesítmény minden égőnél 200 kW volt 1 200 °C térhőmérséklet mellett [5].

Megfigyelhető, hogy a hagyományos oxyfuel égőknél – mind az égő tengely-, mind oldalirányában – az égő síkjánál kezdetben magas a csúcshőmérséklet, ami viszonylag gyorsan lecsökken a térhőmérsékletre. A regeneratív air-fuel és az alacsony hőmérsékletű „lágnélküli” oxyfuel égők ezzel szemben alacsonyabb csúcshőmérséklet mellett, nagyobb kiterjedéssel, homogénebb hőeloszlást biztosítanak, ezáltal megfelelőek lágkemencékben való alkalmazásra alumíniumolvasztáshoz és acélipari hevítésre is. A maximális láng-hőmérsékleteket tekintve a hideglevegős, a regeneratív air-fuel és az alacsony hőmérsékletű „lágnélküli” oxyfuel égők között nincs számottevő különbség ($\Delta T < 40$ °C) [5].

A 19. ábrán az NO_x kibocsátás mértéke figyelhető meg a különböző égőknél, amely érték az alacsony hőmérsékletű „lágnélküli” oxyfuel tüzelésnél – a ke-

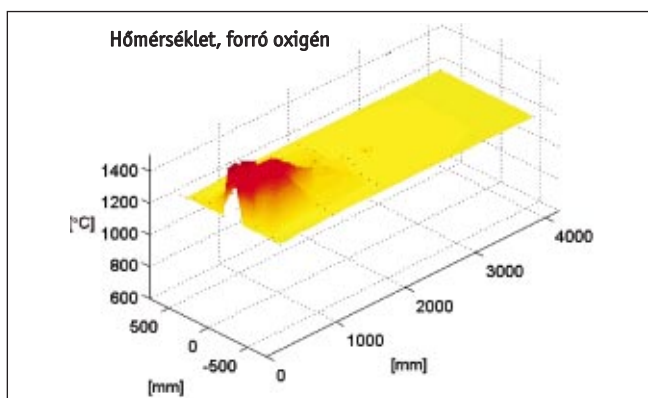
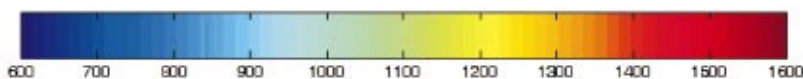
mencébe beszi-várgó levegő ellenére – rendkívül alacsony, köszönhetően az égőn keresztül bevitt oxidáló közegből a nitrogén kizárásának, valamint a relatív alacsony lánghőmérsékletnek [5].

4. Üzemi tapasztalatok: SAPA Heat Transfer, Finspang, Sweden [1]

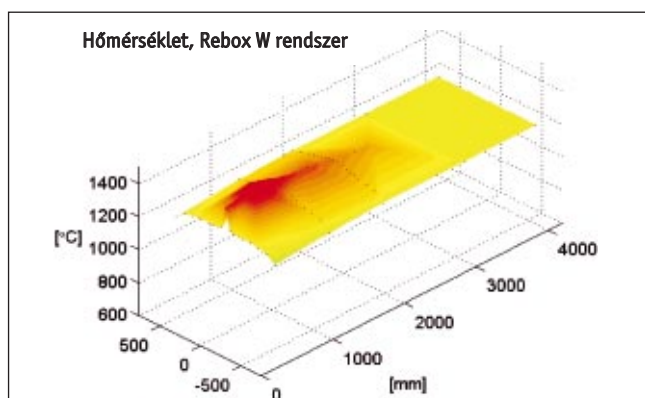
A finspang-i SAPA üzem a 28 t-ás olvasztó lángkemencéjénél több mint 10 éves tapasztalattal rendelkezik az oxyfuel tüzelés terén. A kemencében alumínium autóipari hőcserélőkhöz szükséges lemezekhez (AA3003) olvasztanak hengerművi és drótgyári hulladékot.

Az olvasztókemence két pár regeneratív air-fuel égős tüzelési rendszerrel 1989-ben került telepítésre. A termelékenységnövelése és az NO_x kibocsátás csökkentése céljából a tüzelési rendszert 1995-ben a LINDE/AGA által telepített négy darab hagyományos oxyfuel égő (2,6 MW) váltotta fel. A LINDE & SAPA kemence olvasztási kapacitása a 2002-es közös folyamatoptimalizációt követően 2,8 t/h volt. 2005-ben a további termelékenységnövelés érdekében az ABB EMS rendszert (Electromagnetic Stirrer) telepített (14. hét), melyet a LINDE alacsony hőmérsékletű „lágnélküli” oxyfuel égőinek telepítése követett (23. hét) 2,6 MW összteljesítménnyel, ugyanazon pozícióban, mint a korábbi égők.

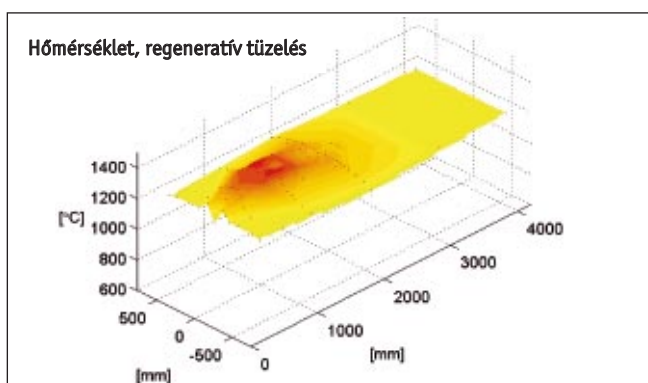
Az alacsony hőmérsékletű „lágnélküli-



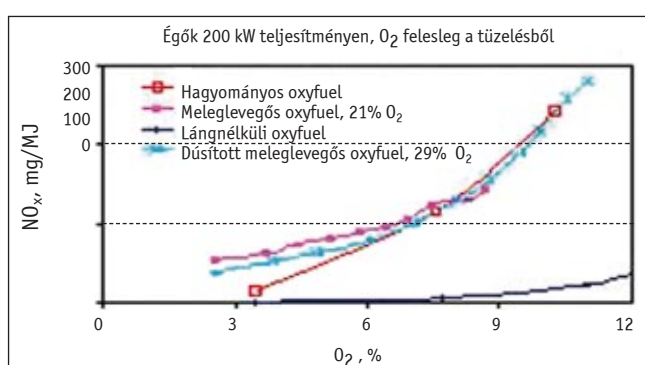
■ 16. ábra. Hagyományos oxyfuel égő hőprofilja



■ 17. ábra. Alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel égő hőprofilja



■ 18. ábra. Regeneratív air-fuel égő hőprofilja



■ 19. ábra. NO_x kibocsátás a kéményben levő szabad oxigén függvényében különböző égőtípusoknál

li” oxyfuel égők vizsgálati eredményei az üzemi termelési adatokból, valamint üzemi tesztek és egyedi füstgázmérések során gyűjtött mérési adatokból kerültek összeállításra.

Az első megfigyelés az olvasztárok részéről az volt, hogy a betét beolvadása sokkal egyenletesebb mint korábban, valamint hogy a beállított boltozati hőmérsékletet a rendszer később érte el, ezért az égők hosszabb ideig tudtak maximális teljesítményen üzemelni, köszönhetően a hatékonyabb hőközlésnek a betét/fürdő felé. Ez számokba foglalva 10%-os olvasztási kapacitásnövekedést és 10%-os tüzelőanyag-megtaka-

rítást eredményezett. Ezáltal további következtetésként lehetőség nyílt az égőteljesítmény növelésére, további olvasztási-kapacitás növelésre és fajlagos tüzelőanyag-megtakarításra (2. táblázat).

A különböző teljesítményű hagyományos és alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel égők termelési eredményeit vizsgálták EMS-sel és EMS nélkül. Az EMS és 3 MW-os alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel rendszer egyidejű alkalmazásával 34%-os olvasztási kapacitásnövekedést értek el a hagyományos 2,6 MW-os oxyfuel rendszerhez képest.

A salakképződés összehasonlítása egy nyolchetes mérési periódusban történt, és

a négy verzió 2-2 hétig futott (3. táblázat). EMS nélkül a két égő összehasonlításakor az alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel égőkkel 9%-kal csökkent a salakképződés, EMS alkalmazásával ez az érték 19%-ra emelkedett.

Hét olvasztási ciklus során az NO_x kibocsátás 90%-kal csökkent a hagyományos oxyfuel tüzelés során mért értékekhez képest, melynek értéke <100 mg/MJ (<0,18 kg/t). Az összenergia bevétel a mérések alapján 495 kWh/t, melynek 66%-a az alumínium hevítésére és olvasztására fordítódott, köszönhetően a hatékony alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel tüzelésnek (4. táblázat). Összehasonlításként ez a szám

1. táblázat. Lánghőmérsékletek összehasonlítása

Égőtípus	Maximum lánghőmérséklet
Alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel	1434 °C
Air-fuel, hideglevegős	1404 °C
Regeneratív levegős	1398 °C
Hagyományos oxyfuel	>1600 °C

2. táblázat. Relatív olvasztási kapacitás különböző bállításoknál

EMS Elektromágneses keverés	Hagyományos oxyfuel 2,6 MW	Alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel, 2,6 MW	Alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel, 3,0 MW
Üzemen kívül	1	1,04	
500 A-rel üzemel	-	1,18	1,34
550 A-rel üzemel	1,09	1,20	

lángkemencéknél az USA-ban 30% alatt van.

A SAPA-nál történt sikeres fejlesztés eredményei az alábbiakban kerültek összegzésre:

1. Egyenletesebb beolvadás/kemence-hőmérséklet:

- 10% olvasztási kapacitás-növekedés;
- 10% fajlagosenergia-csökkentés;
- 90% NO_x kibocsátás csökkenés;
- 9% salakképződés-csökkentés;
- 34% olvasztási kapacitás-növekedés: FLAMELESS LT égő + EMS;
- a fajlagosenergia-felhasználás 495 kWh/t;
- a hatásfok ~66%.

2. Gyorsabb olvasztás és energiamegtakarítás.

3. Megbízható, kontrollált folyamat és eszköz.

5. Az alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel technológia további alkalmazási területei

5.1. REBOX® technológia

Az alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel égők biztosította előnyök az alumíniumolvasztás mellett elsősorban az acélpipari hevítő és hőkezelő kemencéknél kerülnek kihasználásra. A meleghengerlés vagy kovácslás előtt a bugákat mintegy 1200 °C-ra szükséges hevíteni, ennél a hőfoknál az oxyfuel tüzelés hatékonysága még inkább kihasználható (lásd: 7. ábra).

Acélpipari újrahevítő és hőkezelő kemencéknél a Linde világszerte több mint 120 oxyfuel tüzelési rendszert telepített napjainkig, az elmúlt öt év során kizárólag



20. ábra. A SAPA 28 t-ás olvasztókemencéje

„alacsony hőmérsékletű lángnélküli” oxyfuel égők alkalmazásával, különféle kemencetípusoknál (pl. léptetőgerendás, toló, karusszel, aknás stb.)

Az acélpipari hevítőkemencékhez a Linde REBOX® márkaneven kínált technológiát, mely komplett kulcsrakész megoldásként vállalja az alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel tüzelési rendszer telepítését és a tervezéshez/telepítéshez kapcsolódó munkálatokat, a Linde csoporthoz tartozó svéd UTAB kemencegyártó közreműködésével (tervezés és generálkivitelés; a kemence mechanikai átépítése, oxigénes tüzelési rendszer installációja, a füstgázrendszer átépítése, gázátfolyás szabályozó rendszer telepítése, gázellátó rendszer telepítése, garancia a REBOX® rendszer hatékonyságára szerződéskötéskor).

Az acélpipari REBOX® Flameless LT oxyfuel tüzelés alkalmazásakor a 2.4. pontban már kifejtett előnyök kerülnek kihasználásra, melyek közül a legfontosabbak, hogy – ezen az alumíniumolvasztáshoz képest magasabb térhőmérsékleten – a kevesebb képződő füstgáznak és az alacsony füstgázvesztésnek, a hatékony és egyenletes hevítésnek köszönhetően jelentős energiamegtakarítás, termelékenység-növekedés, emissziócsökkenés és minőségjavulás érhető el (homogén hőeloszlás és reveképződés csökkenés mellett), lásd 5. táblázat [2, 6].

3. táblázat. Relatív salakképződés különböző beállításoknál

	Hagyományos oxyfuel; 2,6 MW	Alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel; 2,6 MW
EMS nélkül	1	0,91
EMS-sel	0,88	0,81

4. táblázat. A 28 t-ás olvasztókemence hőmérlege (hét ciklus alapján)

	kWh/t folyékony Al	
Tüzelőanyag-bevitel	495	100%
Al (olvasztás és hevítés)	328	66%
Kemencevesztés	78	16%
Füstgázvesztés	73	15%
Tömörtelenség / fals levegő veszteség	16	3%

Az alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel égőcsaláddal lehetőség nyílik az alacsony kalóriatartalmú tüzelőanyagok (kocszoló kamragáz/nagyolvasztó torrogáz) elégetésére is.

5.1.1. REBOX® telepítési példa: léptetőgerendás kemence, Outokompu/Degerfros [7]

2002-ben az Outokompu elhatározta a svédországi Degerfros-i hengerművében üzemelő léptetőgerendás kemence fejlesztését. Az elvárás az Outokompu részéről minimum 30% kapacitásnövelés, homogén betéthőmérséklet, fajlagos energiafelhasználás és emissziócsökkentés volt kulcsrakész telepítéssel, mely munkával a Lindét bízta meg korábbi többéves sikeres együttműködést követően.

A 27 m hosszú, 5 m széles kemence alapadatai:

- a tüzelőanyag LPG;
- rekuperátoros air-fuel tüzelés;
- a hevítendő termék saválló acél 1 550 mm szélességgel, 140-300 mm anyagvastagsággal.

5. táblázat. Különböző tüzelési rendszerek energiamegterlegének összehasonlítása;

		Hideglevegős air-fuel	Meleglevegős air-fuel	REBOX® Flameless LT oxyfuel
Az acél hevítéséhez szükséges energia	kWh/t	200	200	200
Kemencevesztés	kWh/t	10	10	10
Füstgázvesztés	kWh/t	290	155*	50
Füstgáz hőmérséklet	°C	1200	850	1200
Levegőelőmelegítés	°C	20	450	20
Hatásfok	%	42	60	80
Energiaszükséglet	kWh/t	500	365	260
Energiaszükséglet	GJ/t	1,8	1,33	0,94

*rekuperátor után

A meglévő rekuperátoros air-fuel tüzelési rendszert a Linde 2003-ban 25 nap alatt váltotta ki a REBOX® Flameless LT – alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel tüzelési rendszer kulcsrakész telepítésével: 26 db Flameless LT oxyfuel égő (összteljesítmény 16 MW), kemence-átépítés, új füstgázrendszer, átfolyás-szabályozó egység, szabályozó rendszer, beüzemelés, próbaüzem).

A szerződéskötéskor a Linde Performance Guarantee-t vállalt, melyet az átépítés után az alábbi mutatószámokkal teljesített:

- 35%-kal nagyobb kapacitás;
- 25% energiamegtakarítás (0,97 GJ/ton hidegbetétre);
- homogén betéthőmérséklet;
- NO_x emisszió <70mg/MJ (350 mg/m³);
- kevesebb karbantartásigény, rekuperátor megszüntetése;
- átalakítás 25 nap alatt.

5.2. Alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel technológia alkalmazása üstelőmelegítés során [4]

Acél- és vasöntődégekben a kemencéből való csapolás előtt szükséges az üstök előmelegítése. Az előmelegítés történhet air-fuel égőkkel, valamint oxyfuel égőkkel egyaránt. Hagyományos oxyfuel égőkkel magasabb üsthőmérséklet érhető el, ezért nem szükséges jelentősen túlhevíteni az fémfüldőt csapolás előtt, rövidebb hevítési idő következtében kevesebb üst használata szükséges, 75-80%-kal kevesebb füstgáz képződik a fajlagosan kevesebb felhasznált tüzelőanyag és a nitrogén kizárásának következtében, kisebb füstgáztisztító rendszer szükséges, és 50-55%-kal alacsonyabb tüzelőanyag-felhasználás a hideglevegős tüzelési rendszerekhez képest.

Telepítés szempontjából egyszerű, kompakt kivitel és könnyű telepíthetőség a rekuperatív vagy regeneratív air-fuel égős rendszerekkel összehasonlítva. A hagyományos oxyfuel égők alkalmazása üstelőmelegítéskor egy bevált technológia, az alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel égők alkalmazása mérföldkő a hevítésben. Alkalmazásukkal egyenletesebb a hőeloszlás az üstben, az üstfalazat/fenek hőterhelése és ezáltal elhasználódása csökken, élettartama nő, rendkívül alacsony NO_x képződés mellett a hevítési teljesítmény is javul.

6. Összefoglalás

A Linde Flameless LT - alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel égőcsalád, összevetve a hagyományos oxyfuel és még inkább az air-fuel égőkkel, lényeges előnyöket biztosít az alumínium- és acélpipari felhasználóknak. A hatékonyabb tüzelésnek köszönhetően 30-50%-os olvasztási/hevítési kapacitásnövekedés (gyorsabb hevítés/olvasztás, rugalmasabb termelés) érhető el. Az akár 50% tüzelőanyag-megtakarítás mellett kevesebb salak képződik az alumíniumolvasztás és kevesebb reze az acélhevítés során. A füstgáz mennyisége 75-80%-kal csökken, és a jelentős (akár 50%) CO₂ és SO₂ emisszió csökkenés mellett az NO_x kibocsátás is rendkívül alacsony (akár -90%, <70 mg/MJ). Közvetett hatásainál kiemelendő a kisebb füstgázkezelő rendszer igény, az égők kisebb hely- és ke-



■ 21. ábra. Alacsony hőmérsékletű oxyfuel égő üzem közben

vesebb karbantartásigénye, a rekuperátorvagy a regenerátorboxok szükségtelensége. Ezen előnyöket kihasználva napjainkban már több mint 30 acél- és alumíniumipari kemence üzemel világszerte a Linde Flameless LT – alacsony hőmérsékletű „lángnélküli” oxyfuel tüzelési rendszerrel [1, 3, 6].

7. Felhasznált Irodalom:

- [1] Henrik Gripenberg, Anders Johansson, Rüdiger Eichler, Lennart Rangmark: Optimised Oxyfuel Melting Process at Sapa Heat Transfer AB. Light Metals 2007, 1-5. oldal
- [2] Joachim von Scheele: Results from 120 oxyfuel installations in reheating and annealing Burner&Combustion. Heat Processing (7) Issue 4, 339-342.
- [3] Ola Ritzten: REBOX® presentation. 2008
- [4] Joachim von Scheele: Use of Flameless Oxyfuel in ladle preheating presentation. 2009
- [5] Narayanan Krishnamurthy, Włodzimierz Blasiak, Anders Lugnet: Development of High Temperature Air and Oxy-Fuel combustion technologies for minimized CO₂ and NO_x emissions in Industrial Heating. The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)". 1-3 December 2004, Hua Hin, Thailand, 1-6.
- [6] Joachim von Scheele, Ola Ritzten, Vladimir Zilka: Substantial Reduction of Fuel Consumption, CO₂ and NO_x Emissions When at same time Increasing Production Capacity, 2008. 05. 19-21., 3-4.
- [7] Linde gas presentation material: REBOX® Revamping a walking beam furnace with oxyfuel combustion



■ 22. ábra. Léptetőgerendás kemence, Outokompu Degerfros

X. fémkohászati szakmai nap a Miskolci Egyetemen

A Fémkohászati szakosztály minden eddigénél nagyobb sikerrel tartotta meg immáron hagyományosnak tekinthető szakmai napját a Miskolci Egyetemen. A jubileumi találkozó ünnepélyességét fokozta, hogy az *dr. Horváth Zoltán* fémkohász professzor, a Kohómérnöki Kar első, egyben karalapító dékánjának szoboravatásával kezdődött.

A részletesebb ismertetés előtt szeretnék egy kis visszpillantást adni a hagyományteremtő ötletre és időkre.

Az egyesületnek évtizedek óta visszatérő témája a fiatalok bevonása az egyesületi munkába a szakma jövőjének és a hagyományok ápolásának a biztosítására.

Az 1999-es selmecbányai salamander eseményeiről szóló beszámolók egyetemistáink és főiskolásaink lelkes, de gyakran túlkapaszkodó is tartalmazó viselkedésének kritikáit hozták. Ekkor fogalmazódott meg *Petrusz Béla* elnökünkben a gondolat, hogy a salamanderhez közeli időpontban kimondottan a fiataloknak szervezzünk lelkesezésüket, fiatalos hevületüket „leveztető” olyan szakmai programot, amely vonzó, hasznos, és amelyen részt vesznek az oktatók és az iparág képviselői is.

Ezen elhatározásból a szakosztály vezetősége 2000-ben kezdeményezte, hogy évente Fémkohászati szakmai nap címmel egy napos konferenciát, baráti találkozót és hagyományápoló szakestélyt rendez a Miskolci Egyetemen. Célunk az volt, hogy az ipar szerkezetváltását bemutassuk a szakembereknek, az egyetemi oktatóknak és a hallgatóknak, segítsük a szakma művelőinek munkáját, a hallgatók szakmai eligazodását, elhelyezkedési lehetőségét.

Mind a tíz szakmai nap emlékét feliratos alkalmi kupa őrzi. Az anyagiakat – az elmúlt két év kuparendeléseinek kivételével – szponzorok támogatása biztosította. A szponzori kört a szakosztály vezetése válsztotta ki, lehetőséget teremtve számukra cégüket bemutató vagy éppen szakmai előadások tartására.

Az alkalmankénti öt-nyolc előadás tematikai összeállításának szempontja volt többek között az is, hogy legalább minden második-harmadik évben hangozzék el előadás az OMBKE-ről, annak tevékenységéről, vonzóvá téve azt a fiatalok számára. Ugyanígy minden második-harmadik évben előadás foglalkozott az egyetemi oktatás aktualitásaival, a változásokkal. Hagyományá vál, hogy az előadások közt minden évben helyet kap egy hallgatói előadás is. Ebben persze nagy szerepe van – csak úgy, mint a szakmai napok szervezésében –

a Fémkohászati Tanszéknek, de sikerült a programokhoz előbb érdeklődő, majd aktív résztvevőként megnyerni az Öntészeti Tanszékét és a hozzá tartozó szakmai kört is.

Erős volt az elhatározásunk, hogy nem maradhat el egy évben sem a fémkohászati szakmai nap. De mivel ember tervez..., 2005-ben az egyesületi programok oly mértékben torlódtak, hogy nem találtunk a rendezésre alkalmas időpontot. Ezért úgy döntöttünk, hogy csak halasztunk, és 2006-ban két szakmai napot tartunk. A VI. fémkohászati szakmai napot a dunajvárosiak nagy csodálkozására, később nagy öröme a Dunajvárosi Főiskolán, rekord számú résztvevő mellett szerveztük meg 2006 tavaszán. Ősszel került sor a VII. fémkohászati szakmai napra, a hagyományok szerint immár Miskolcon.

Kiemelésre érdemes még a IV. fémkohászati szakmai nap, amikor a Fémkohászati Tanszék kezdeményezésére együtt ünnepeltük meg a tanszék 133 éves fennállásának évfordulóját 2003. november 7-én.

A fémkohászati szakmai napok programja keretében „egyetemiek-ipariak-oktatók” baráti találkozója és szakestélyre mindig sor került.

Álljon itt az erkölcsiekben és anyagiakban együttesen támogató gazdasági társaságok névsora, az elmúlt kilenc év rendezvényeinek szponzora: Alublock Kft. (Apc), Alcufer Kft. (Győr), Antal Kft. (Csepel), ALCOA-Köfém Kft. (Székesfehérvár), Csepeli Fémmű FA (Budapest), EBA Kft. (Tatabánya), Electro-Coord Kht. (Budapest), Elektra Kft. (Dunajváros), EURAL Kft. (Tatabánya), Eurocast Kft. (Mocsa), FESZOTRADE Kft. (Budapest), Feferrum Kft. (Budapest), FÉMALK Kft. (Budapest), GLÖB-Metal Kft. (Törökbálint), HWH Metals Kft. (Érd), Interdunamet Kft. (Budapest), Inter-Metalex Kft. (Budapest), Klein Metals Kft. (Jobbágyi), Loacker Kft. (Budapest), Magyar Tűzihorganyzók Szövetsége (Budapest), MAL Zrt. (Ajka-Inota), Metalfórum szaklap (Sárospatak), Metalkontakt Kft. (Budapest), Metalservice Kft. (Budapest), P-Metal Kft. (Tatabánya), Salker Kft. (Apc), Schmelzmetall Hungaria Kft. (Budapest), Working Kft. (Tatabánya).

A X. fémkohászati szakmai nap szponzorai: EBA Kft. (Tatabánya), Eurocast Kft. (Mocsa), GLÖB-METAL Kft. (Törökbálint), INOTAL Kft. (Inota), LINDE Magyarország Zrt. (Budapest), Martin Metals Kft. (Székesfehérvár), Metalex 2001 Kft. (Budapest), Schmelzmetall Hungaria Kft. (Budapest).

A 2009-es szakmai konferencia prog-

ramja *Balázs Tamás* szakosztályi alelnök irányításával az alábbiak szerint alakult:

1. Elnöki megnyitó (Petrusz Béla)
2. *Dr. Tolnay Lajos*: Civil szervezet – szakmai egyesület az iparban
3. *Kokas Péter – Demeter Dániel*: A LINDE szerepe a hazai fémkohászatban
4. *Hajnal János – dr. Hatala Pál*: A hazai fémkohászat és -öntészet átrendeződése
5. *Varga Ferenc – Varga Mária*: A vákuummetallurgia lehetőségei a szinesfémkohászatban a Schmelzmetall Hungaria Kft.-nél
6. *Dr. Fehér Nelly*: Alumíniumfélégyártmány-gyártás az ALCOA-Köfém Hengerműben.
7. *Gilányi Tamás – Balika István*: Elektronikai hulladékok előkészítése felsőfokon
8. *Tóth Pál* kohómérnök hallgató: Korrozióálló anódos oxidréteg titánon
9. *Dr. Gácsi Zoltán – dr. Kékesi Tamás*: A kohászati felsőoktatás helyzete

A konferencia tematikája változatlanul a hagyományokat követte. Egyesületi elnökünk, dr. Tolnay Lajos átfogóan értékelte az egyesület dicsőséges múltját és a ma is benne rejlő lehetőségeket. Kékesi professzor a szokásos mély átéléssel adta elő az oktatásügy anomáliáit.

A további szakmai előadások lefedték a teljes hazai fémkohászatot. Ki kell emelni „A LINDE szerepe a hazai fémkohászatban” c. előadást, amely a cég kohászat érdekében tett fejlesztéseinek eredményeit mutatta be.

A X. fémkohászati szakmai napot az EMIK vonósnégyes mintegy félórás, rövid zenei darabokból álló koncertje tette még színesebbé *Zsekov Mónika* vezetésével. A programban elhangzott darabok: *Weiner Leó*: Csárdás, *Bach*: Air, *Mozart*: két operarészlet, *Bizet*: Habanera a Carmen című operából, *Massenet*: Intermezzo a Parasztbecsület című operából, *Elgar*: Szerelmi üdvözlés, *Weiner Leó*: Rókatánc, *Hisaishi Joe*: Melody Road és a ráadás: Happy Birthday variációk különböző stílusban.

A jó hangulatú koncert után, hogy nem csak a hallgatóság, de a zenekar tagjai is jól érezték magukat, bizonyítja, hogy a zenészek felkérésünkre már elkötelezték magukat a 2010-ben rendezendő fémkohászati szakmai napunkra is. Majd hagyományápoló ünnepi kohász szakestélyünket is megtisztelték részvételükkel csak úgy, mint *Kutas László* szobrászművész, Horváth professzor szobrának alkotója.

 **Hajnal János**