Low-NO_x égők, új típusú lángok az üvegiparban¹

NEIL SIMPSON • ECLIPSE Incorporated

Low NO_x burners for glass melting furnaces

For nearly a century, industry has looked to ECLIPSE for innovative thermal solutions to its process heating needs. ECLIPSE offers the very best in combustion products, systems, and technical service for customers around the globe. From engineered systems to custom configured products, the solutions-based approach of ECLIPSE produces highly safe, reliable, efficient, and clean burning equipment for a wide range of heating applications.

ECLIPSE is the global source for state-of-the-art, high performance, and low emission burners including air heating, furnace, immersion, infrared, and oxy-fuel burners used in all types of industrial heating processes. ECLIPSE technology is prominent in the Automotive, Commercial Heating, Finishing, Food, Glass, Industrial Drying, Metals, Petroleum and Petrochemical, Power Generation and alternative fuels industries. ECLIPSE investments in research, product development and service offerings are built on the premise of Clean Heat and Clean Air for Industry.

Through a global network of locations, ECLIPSE combustion sales engineers provide the right equipment and application knowledge to help their customers compete in every industrialized country in the world. After the sale, the ECLIPSE services team supports products with start-up, comprehensive training and maintenance that lead in the industry.

Tests have proved: the lower the NO_x level, the higher the heat transfer. The higher the heat transfer by definition requires a lower amount of energy. This article will focus on the methods of primary NO_x reduction in a glass melting furnace. By sealing burners and utilizing either dual impulse or multi-hole burners there can be significant reduction in NO_x and corresponding increase in heat transfer. Increase in heat transfer lowers energy, CO₂ and total emissions resulting in smaller abatement devices and lower operating costs. Oxy-fuel has the potential to provide the highest heat transfer and lowest NO_x on a mass basis. Fiberglass furnaces now have the opportunity to convert their forehearth to oxy-fuel for additional energy and NO_x reductions.

ECLIPSE

A világ ipara már 100 éve tekint úgy ECLIPSE-re, mint a technológiai folyamatokhoz szükséges hőtermelés innovatív megoldásainak szállítójára. ECLIPSE ajánlja a legjobb berendezéseket, rendszereket és műszaki szervizt a tüzeléstechnika területén az egész világon. ECLIPSE a megoldás-orientált megközelítésnek köszönhetően nagybiztonságú, megbízható, hatékony és tiszta tüzeléstechnikai berendezések széles skáláját gyártja a szabvány termékektől egészen a vevői igények szerinti egyedi konfigurációkig.

Az ipari tüzelési folyamatokhoz szükséges legmodernebb, kimagasló hatékonyságú és alacsony károsanyag kibocsátású égők teljes termékválasztéka elérhető ECLIPSE-nél, beleértve a léghevítést, a legkülönbözőbb típusú kemencéket, a merülő-, infravörös- és oxigén-gázégőket. Az ECLIPSE technológiai kiemelkedők az ipari fűtés, fémfinomító kemencék, ipari szárítás, erőművek, élelmiszer-, üveg-, fém-, olaj-, petrokémia-, autó-, valamint az alternatív tüzelőanyag-ipar területén. Az ECLIPSE kutatási befektetései, termékefejlesztése és szolgáltatásai a „Tiszta Hőt és Tiszta Levegőt az Iparnak” alapelve épülnek.

A világ valamennyi ipari országában a felhasználók rendelkezésére állnak ECLIPSE mérnökei annak érdekében, hogy a legjobb berendezések és a felhasználási tapasztalatok segítségével támogassák őket a versenyben. ECLIPSE szervizcsapata segít a berendezések üzembe helyezésében, a kezelők betanításában, valamint a karbantartásban is.

Neil Simpson

Jelenleg az Egyesült Királyságban tevékenykedő az ECLIPSE cég üvegipari divíziójának managere. Az elmúlt két év során a globális cég helyi tevékenységét segítette elő a területi irodákon és a helyi képviselőkon keresztül. Ezt megelőzően először 8 évig a Laidlaw Drew cég termékefejlesztési felelőse volt Skóciában, majd 9 évig dolgozott az USA-ban a BOC üveg divíziójának szerves részét képező „globális üveg csoport” tagjaként.

2008 már a 100. üzleti év ECLIPSE történetében. A családi cégvezetés gondossága és a legjobb vállalatvezetési technikák alkalmazása biztosítja ECLIPSE töretlen fejlődését. Kétségtelen, hogy ECLIPSE változatlan lendülettel, folyamatosan fogja tovább fejleszteni a kiváló teljesítményt nyújtó tüzeléstechnikai berendezéseit annak érdekében, hogy még hatékonyabban lehessen energiát megtakarítani, csökkensen a károsanyag kibocsátás és még jobb teljesítményekre legyen képes az ipar.

Bevezetés

Az 1980-as évek végén, 1990-es évek elején gázipari szakértők egy NGNOX névre elkeresztelt konzorciumot hoztak létre az üvegolvasztó kádak földgázzal történő fűtésének vizsgálatára. A cél az volt, hogy a tüzeléstechnikákat fejlesztve csökkentsék az NO_x kibocsátást és javítsák a földgáztüzelés hatékonyságát. A teszteket a British Gas Coleshill-ben lévő telephelyén hajtották végre egy létező keresztültüzelésű regeneratív kemence égőszájának 40%-os kicsinyítésű modelljén. A konzorcium vizsgálati eredményeit L. J. Korstanje és P. Martin publikálta [1]. A legnagyobb jelentőségű megállapítás az NO_x és a hőátadás közötti összefüggés empirikus módszerekkel történő kimutatása volt. Minél alacsonyabb az NO_x, annál nagyobb a hőátadás. A definíció szerint minél magasabb a hőátadás, annál kevesebb energiára van szükség. Az alacsonyabb energiafelhasználás kevesebb CO₂ és egyéb károsanyag kibocsátást eredményez. A kisebb teljes károsanyag kibocsátás az utólagos tisztítóberendezések, mint például az elektrosztatikus leválasztók, zsákos szűrők, gázmosók és SCR DeNO_x (Selective Catalytic Reduction = szelektív katalitikus leválasztó) alacsonyabb beruházási

¹ Az SZTE 2008. április 22-i Üvegipari Konferenciáján elhangzott előadás szerkesztett változata

és üzemelési költségét eredményezi. Jelen összeállítás az üveg-olvasztó kemencékben alkalmazható elsődleges NO_x csökkentési eljárásokra koncentrál. Mind az olvasztókemencében, mind a feeder rendszerben az oxigén-gázégők termelik a legkevesebb NO_x -ot, ugyanakkor a legnagyobb hőátadást biztosítják. Ezen kívül röviden érintjük az úsztatott üveget (float) olvasztó kemencék önfürdőjénél alkalmazható sugárzócsöves égőket is.

Üvegolvasztó kemencék magas hőmérsékletű, alacsony NO_x kibocsátású égőinek vizsgálata

L. J. Korstanje és P. Martin. Konklúziók [1] és értelmezések

A kísérletek során reálisan összehasonlíthatók voltak a regeneratív üvegolvasztó kemencékben alkalmazott új és hagyományos olaj, illetve gázégő konstrukciók. Az égőtípustól és a tüzelőanyagtól függően az NO_x kibocsátás 787 és 2854 ppm közötti tartományban volt. A hőáramlás tartománya a kemencébe 79–96 kW/m^2 . Az égők tesztjeinek legfontosabb megállapításai:

- 1 Az egylyukú földgázégők viszonylag magas NO_x szintet (2360–2820 ppm) és alacsony hőáramlást (79,5–85,2 kW/m^2) produkáltak.
- 2 A bonyolultabb földgázégők, mint például a dupla impulzusú és a többlyukú égők, jelentősen alacsonyabb NO_x szintet és jobb termikus teljesítményt nyújtottak, mint az egylyukú égők.
- 3 A földgáznál a legjobb eredményt a British Gas többlyukú égőjével érték el. Ez az égő egyesíti az alacsony NO_x emissziót (787ppm) a magas hőáramlással (92,3 kW/m^2).
- 4 Az LPG (cseppfolyós propángáz) égők, hasonlóan az egylyukú égőkhöz, viszonylag magas NO_x kibocsátást és alacsony hőáramlást mutattak.
- 5 A HFO (nehéz fűtőolaj) égők teljesítménye az alacsony NO_x kibocsátású földgázégőkével azonos tartományba esett.
- 6 A vegyes, olaj- és gáztüzelésű égők teljesítménye nagyban függött az olaj/gáz arányától. Az olaj/gáz 70/30%-os arányánál érték el minden teszt közül a legjobb eredményt – a kemencébe történő hőáramlás 95,9 kW/m^2 volt.
- 7 A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy lehetséges az NO_x kibocsátás csökkentése és ezzel egyidejűleg a hőátadás növelése az üvegolvasztó kemencékben használt égők konstrukciójának és az üzemeltetési körülményeknek a megváltoztatásával.

1. ábra BG mérési eredmények: hőátadás és NO_x kibocsátás
Fig. 1. BG data on heat flux v NO_x 8° angle

Az 1. ábrán a 8 mérési eredmény látható. A trendvonal hozzáadása világosan mutatja, hogy a magas NO_x értékhez alacsony hőátadás társul. Megfordítva, ami az üvegipar számára sokkal lényegesebb, az alacsony NO_x égők hőátadása magas. A kemence, mint egész, tüzelésre vonatkozó igényeit figyelembe véve, lehetséges az NO_x jelentős csökkentése. Feltételezve, hogy nincsenek rövidre záró lángok, az alacsonyabb NO_x megnöveli a hőátadást és csökkenti az energiafelhasználást. Amennyiben csökken az energiafelhasználás, akkor ennek megfelelően csökken a CO_2 kibocsátás is. Ezen felül csökken az összes kibocsátás is. A másodlagos (kemencén kívüli) tisztító eljárások jellemzően volumetrikus alapon működnek. Minél kisebb a kezelendő térfogat, annál kisebb a berendezés, következésképp kisebb a beruházási igény. Továbbá a kisebb kezelendő térfogat kevesebb energiát igényel a füstgázelszívó rendszer berendezéséhez (pl. elszívó ventilátor). Egyes esetekben [2] a szelektív katalitikus leválasztó üzemekben (SCR DeNOx) csökkent a karbamid felhasználás, amikor a kemencét alacsony NO_x égőkre állították át.

ECLIPSE égők üvegolvasztó kemencékhez

Az ECLIPSE egy világméretű tüzeléstechnikai cég, melynek 3 kontinensen vannak égégyártó üzei. A Rockford Illinois központú társaság 2008-ban ünnepli a 100. születésnapját. 1997-ben ECLIPSE felvásárolta az Orlando bázisú Combustion Tec céget, mely akkor az üvegipar legnagyobb tüzelőberendezés-szállítója volt. 2006-ban ECLIPSE megvásárolta az akkori második legnagyobb szállító, a Laidlaw Drew szellemi tulajdonát. A Combustion Tec és a Laidlaw Drew üvegipari égő portfóliójának integrálásával lehetővé vált az ECLIPSE számára, hogy az NO_x csökkentést demonstrálja minden regeneratív üvegolvasztó kemence égőszáj konstrukción: az égőszáj alá, az égőszáj oldalába és az égőszájba épített égőknel.

2. ábra Égőszáj alatti Brightfire típusú égő, égőtartó és külső levegőhűtésű tömítés vázlata

Fig. 2. Brightfire Underport Burner and Bracket Layout with Block Sealing Arrangement

1. lépés – égőtömítés

A konzorcium a vizsgálatot egy, az égőszáj alá épített tradicionális égővel végezte, az égő (tüzelőanyag injektor) egy égőkő nyílásába volt helyezve, körülötte légrésszel. Az égő tüzelése közben a légrés venturi-csőként működött, a szó szoros értelmében „beszívta” a hideg levegőt a kemencébe és a tüzelőanyag idő előtti gyulladását okozta. Néhány esetben ez a fals levegő men-

nyiség elérte a teljes égési levegőigény 5%-át. Következésképpen az égő tömítése az első lépés az NO_x csökkentése érdekében. Akár az égőszáj oldalába, akár az égőszáj alá épített égő esetén ez három módon érhető el: vízhűtéses gyűrűvel, külső léghűtéses csatlakozólappal, vagy sűrített levegőhűtéses gyűrűvel. Minden esetben a működési elv azonos: levegővel, vagy vízzel hűtenek egy fémtömítést, vagy egy huzatelzárót, ami hőt von el az égőtől és megnöveli a dűzni élettartamát. Az alkalmazott tömítési módot az égőtípus, illetve a felhasználói igények határozzák meg. Amennyiben egylyukú gázégőnél alkalmazunk tömítő eszközt, akár 48% is lehet az NO_x csökkenés [2]. Általában az energiafelhasználás 1–3%-kal csökken. A 2. ábra egy Brightfire típusú égőt, égőtartót és külső levegőhűtésű tömítést ábrázol.

2. és 3. lépés – az égő kiválasztása és ennek következtében a láng formája

Ez egy lényegében összetett lépés, mert a két tényező kibogozhatatlanul egymásba fonódva biztosítja a legnagyobb lángfedettséget és a maximális hőátadást. Az égőszáj alatti és az égőszáj oldalba épített égők esetében jellemző, hogy a kerek égőkőhöz megfelelő, kétimpulzusú égőtípust alkalmaznak. Az égőszájba építendő vízhűtéses égők lehetővé teszik a többlyukú technológiát.

Kétimpulzusú égőfajták – Brightfire, WRASP-DI és GT-DI

A kétimpulzusú égők koncepciójának lényege a 2 koncentrikus gázszugár alkalmazása. A nagysebességű belső dűzint egy alacsonyabb sebességű gyűrűsdűzni veszi körül. A nagysebességű és az alacsony sebességű gáz arányának változtatása mindhárom esetben lehetséges. A Brightfire égő ténylegesen változó felületű eszköz. A belső és a külső dűzni egymáshoz viszonyított helyzetének módosításával változik a körgyűrű felülete, ezáltal megváltoznak az áramlások, beállítható a keverés aránya, és csökken az NO_x keletkezés [3]. A WRASP-DI és a GT-DI esetében a dűznik felülete állandó; a belső dűzint, illetve a külső gyűrűn átáramló gáz mennyiségét egy szelep segítségével lehet változtatni. A 3. ábra ennek az impulzusmomentumra gyakorolt hatását mutatja. A 4–6. ábra a nagy, a közepes illetve az alacsony sebesség hatását mutatja.

3. ábra Brightfire égő egyes sugaraival fluxus momentumja
Fig. 3. Brightfire Burner Individual Jet Momentum Flux

- Egyetlen kohéziós gázszugár
 - az égéslevegő gázszugár által történő gyors beszívása az olvasztótéren belül
 - rövid láng
 - 10-15%-kal alacsonyabb NO_x , mint a csak gyűrűségőnél

- Eredmények:
 - a gáz és az égéslevegő késleltetett keveredése
 - hosszabb láng
 - 25-35%-kal alacsonyabb NO_x , mint a csak gyűrűségőnél

- Eredmények:
 - külső égési zóna keletkezik középső tüzelőanyagmaggal
 - fokozott tüzelőanyag-krakkolás
 - magasabb lángfényesség
 - hosszú, gomolygó láng
 - 35-40%-kal alacsonyabb NO_x , mint a csak gyűrűségőnél

7. ábra WRASP-DI égőszáj oldalba építendő gázégő
Fig. 7. WRASP-DI Side of Port Gas Burner

A 7. ábra egy WRASP-DI égőt mutat be szabályozószeleppel, mely a belső nagysebességű és az alacsony sebességű, gyűrűs impulzushoz szükséges gáz arányát állítja be.

Az égő fajtájától (égőszáj alatti, vagy égőszáj oldalba építendő) függetlenül a láng formája változtatható. Minden esetben az alacsonyabb momentumú, hosszú, gomolygó láng produkálja a legalacsonyabb NO_x értéket. Keresztüzelésű kemencéknél az ideális látható láng hossza a kemence szélességének 60–80%-a. Korábban, a közhiedelem szerint, a rövid, fényes láng volt a „jó láng”, de az üzemi tapasztalatok ennek az ellenkezőjét mutatják. A nagy sebesség jobban károsítja a tűzálló anyagokat, mint az alacsony sebesség.

Többlükű égők

A rendelkezésre álló tér korlátozottsága miatt nem alkalmasak a nagy kapacitású többlükű égők az égőszáj alatti és égőszáj oldalba történő beépítésre. Az égőszájba épített vízhűtéses égőkhöz nagyobb hely áll rendelkezésre és lehetséges a többlükű dűznik alkalmazása. A 8. ábra egy WGD típusú égőt mutat be.

8. ábra WGD égőszájba építendő gázégő
Fig. 8. WGD Throughport Gas Burner

A mozgó mechanikára szerelt vízhűtéses égő a füstelvezető oldalon kihúzható. Az égő lapos lángját a két sorozat sugár ütköztetésével hozza létre. A felső és az alsó dűznikbe jutó gáz arányának változtatásával a lánghossz állítható, az így keletkezett lapos láng emelhető, vagy süllyeszthető. A BG adatai (1. ábra) azt jelzik, hogy ennek az égőnek kellene a legnagyobb hőátadást biztosítani egy kétimpulzusú égő azonos NO_x szintjén. Sajnos a felhasználók titkos adatkezelése miatt az égők NO_x eredményei

jelenleg nem állnak rendelkezésre. Ez az égőfajta választási alternatívává lépett elő azon float gyárak részére, melyek égőszájba épített olajégőkről térnek át földgáztüzelésre.

Olaj és gáztüzelésű égők

Bemutatásra került, hogy a kombinált olaj- és gáztüzelés képes elérni a legalacsonyabb NO_x és legmagasabb hőátadási értékeket. A Brightfire és GTOG ilyen verziójú égői számos helyen megtalálhatók. Manapság az olajtüzelés magas költségének következtében azonban ezeket csak tartalékként alkalmazzák.

Oxigén-gáz tüzelés

ECLIPSE a világ vezető égő szállítójaként biztosít oxigén-gázégőket az üvegipar számára. Az alternatív szállítók jellemzően az ipari gázok gyártói. Tömeg alapon az oxigén-gáz tüzelés biztosítja a legkisebb potenciális NO_x kibocsátást. A nitrogén forrását megszüntetve megakadályozzuk az NO_x keletkezését. Ez egy leegyszerűsített nézet, hiszen nitrogén gyakran lehet a fűtőgázban, valamint az oxigén előállítás módjától is függ. Mindig fennáll annak a kockázata, hogy a fals levegővel együtt nitrogén is bejut, ezért a kemence nyomásának kéz-bentartása fontosabb az oxigén-gáz tüzelésű kemencékben, mint levegő-gáz tüzelés esetén. Az oxigén-gáz tüzelés előnye továbbá, hogy a lángváltás kiküszöbölésével nő a kemence stabilitása is. Az első oxigén-gáz tüzelésre átalátított kemencék magas minőségi követelményeket támasztó TV és speciális üvegolvastók voltak. Az üvegszál-gyártásnál az oxigén-gázra való átalakítás oka a rekuperátorok elkerülése, valamint a helyi környezetvédelmi határértékek elérése volt. A kemence konstrukciójának és típusának függvényében az oxigén-gáz tüzelés segíthet a kapacitás növelésében, illetve az energiaszámítás csökkentésében, hisz itt nincs felmelegítendő nitrogén. A 9. ábra az ECLIPSE által elvégzett átalakításokat mutat be.

9. ábra Oxigén-gáz tüzelésre átalátított kemencék
Fig. 9. Oxygen-Fuel Conversions

Oxigén-gáz égők

ECLIPSE jelenleg 3 fajta égőt ajánl az üvegolvasztáshoz, valamint egy további típust a feederrendszerekhez.

Az eredeti kónikus PF100 típusú égő 4 kapacitástartományban áll rendelkezésre:

- 0,25-1,0 MBTU/h
- 0,75-3,0 MBTU/h
- 2,0-8,0 MBTU/h
- 5,0-20,0 MBTU/h

A PF300 típusú lapos lángú égő állítható lánghosszúságot és szélességet biztosít.

3 kapacitástartománya:

- 0,5-2,0 MBTU/h
- 1,0-4,0 MBTU/h
- 2,0-8,0 MBTU/h

A PF400 típus lapos lángú többlépcsős égő. 4 kapacitástartománya:

- 0,5-2,0 MBTU/h
- 1,0-4,0 MBTU/h
- 2,0-8,0 MBTU/h
- 5,0-20,0 MBTU/h

(MBTU = 1,054615 GJ)

A szálásüveg kemencék rekuperátorról oxigén-gáz tüzelési módszerre történő átállítása következtében jelentősen javult az energiafelhasználás, így több esetben előfordult, hogy a feederrendszerhez a kemencébe bevitt energia 50%-át használták fel. A hagyományos fosszilis tüzelésű feedereknél nincs hőviszanyerés, és a tüzelőanyag előkeverése hideg levegővel történik. Az oxigén-gáz tüzelésre történő átállással elméletileg 72%-kal csökkenhet az energiafelhasználás. Az oxigén-gáz vezérlési rendszer ezen kívül lehetőséget nyújt a jobb hőmérséklet eloszlásra és az atmoszféra magasabb szintű ellenőrzésére is.

Égők az ónfüldönél

ECLIPSE az üvegipar mellett a fémiparra is koncentrál, és termékeinek egy csoportja ennek az eltérő jellegű iparágnak az igényeit elégíti ki. Az egyik típus, a SER (Single-Ended Radiant Tube Burner = egyvégű sugárzó csőégő), szabályozott atmosz-

férában használható. A hőcsere a sugárzó csőben történik, és égéstermék nem jut be a technológiai térbe. Az úsztatott üveg gyártói kérték ECLIPSE segítségét abban, hogy az ónfüldönél hőt tudjanak közölni, ahol aztán sikeresen alkalmazták ezeket az égőket. A műszaki megoldás függ a problémától, de a sugárzó csőégők használhatóak a vékony üvegek széleinek melegítésére, vagy a hibás elektródák, illetve hőkezelés helyett, valamint plusz energia bevitelére is.

Összefoglalás

A British Gas által elvégzett kutatás kimutatta az NO_x és a hőátadás közötti összefüggést. Minél alacsonyabb az NO_x, annál jobb a hőátadás. Az égők tömítésével és a kétimpulzusú, illetve a többlyukú égők alkalmazásával jelentősen csökkenthető az NO_x és ennek megfelelően növekszik a hőátadás. A növekvő hőátadás csökkenti az energiafelhasználást, a CO₂ és a teljes kibocsátást, melynek következtében kisebb leválasztó berendezések szükségesek, és az üzemeltetés költsége is alacsonyabbá válik. Az oxigén-gáztüzelés potenciálisan a legjobb hőátadást és a legkisebb NO_x értéket biztosítja mennyiségi alapon. Mára már lehetséges az üvegszál kemencék feedereinek átállítása oxigén-gáz tüzelésre, így az energiafelhasználás és az NO_x kibocsátás még tovább csökkenthető.

További információ:

AQUARIUS & LION Kft.

Fehérvári Lászlóné

H-1141 Budapest, Szilágysomlyó 44/a

Tel./fax: 36-1-221 7659

E-mail: aandl@netquick.hu

Hivatkozások

- [1] L. J. Korstanje and P. Martin: *Studies on High Temperature Low NO_x Combustion for Glass Furnaces*, Combustion and Emission Control II
- [2] N.G.Simpson: *Field Trials on High Temperature Low NO_x Combustion for Glass Furnaces*, Combustion and Emission Control III
- [3] A. McIver, Ernie Curley, Richard Valtierra and Pat Wilson: *Installation of a New Burner in a Float Furnace*, Glass Problems Conference 2001