

Recenti sviluppi nell'utilizzo della combustione ad ossigeno nelle stazioni di preriscaldamento siviera e nei forni di riscaldamento per acciaio

N. Corna, F. Dentella

L'utilizzo di sistemi di combustione ossigeno-combustibile, una tecnologia di riferimento per numerose applicazioni nel settore siderurgico, non è stato largamente applicato nelle stazioni di preriscaldamento siviera e nei forni di riscaldamento per acciaio. Questo articolo illustra le ragioni che hanno limitato la penetrazione delle tradizionali tecnologie ad ossigeno in questi settori e dimostra come l'applicazione dell'ossigeno puro, tramite sistemi di combustione diluita flameless e a doppio ossidante, sia in grado di superare queste barriere e di rispondere alle esigenze specifiche di entrambi i processi. I risultati delle applicazioni dell'ossigeno nelle stazioni di riscaldamento siviera hanno portato non solo ad una sensibile diminuzione dei costi operativi, ma anche ad una maggiore flessibilità nella gestione del processo, con un'influenza positiva su buona parte del ciclo di produzione dell'acciaio, dalla fase di fusione a quella di colata. I forni di riscaldamento presentano invece necessità diverse secondo la taglia e la configurazione specifica. L'utilizzo dell'ossigeno, in particolare come intervento di revamping su forni esistenti, può consentire, con investimenti limitati, significativi incrementi di produttività sui grandi forni continui, la diminuzione dei costi operativi sui forni batch ed una maggiore uniformità di temperatura nei forni da forgia.

Parole chiave:

acciaio, acciaieria, forgiatura, energia, tecnologie, gas e comb.

INTRODUZIONE

Nonostante la combustione ad ossigeno puro sia una tecnologia di riferimento in numerose applicazioni ad alta temperatura, il suo utilizzo nei processi di preriscaldamento siviera e di riscaldamento lingotti/billette non si è ancora affermato come pratica consolidata. La ragione principale di questa lenta penetrazione può essere individuata in quelle caratteristiche che hanno reso l'ossicombustione stato dell'arte in altri processi. La combustione in ossigeno puro presenta infatti notevoli vantaggi quando è necessaria un'elevata intensità di trasferimento di energia a medio-alte temperature. Questi vantaggi possono però essere ridimensionati durante le operazioni a minore intensità energetica, quali le fasi di essiccazione e di preriscaldamento iniziale delle siviere o di mantenimento nei forni di riscaldamento, dove l'efficienza dei sistemi tradizionali aria-combustibile è generalmente soddisfacente ed i benefici derivanti dall'utilizzo dell'ossigeno non sempre ne ripagano il costo.

L'elevata emissività della fiamma ed il ridotto volume dei fumi, tipici dei sistemi convenzionali ad ossigeno-combustibile, potrebbero in alcuni casi creare difficoltà nella gestione della lenta

fase di essiccazione del refrattario delle siviere rispetto alle tradizionali fiamme ad aria, più "fredde" e "morbide".

Lo sviluppo delle tecnologie di combustione diluita e "flameless" ha offerto il vantaggio di combinare i benefici della combustione ad ossigeno, quali efficienza energetica, flessibilità di funzionamento e controllo dei parametri di processo, a minori temperature di fiamma, ad alti valori di ricircolo e miscelazione dei fumi e ad una distribuzione uniforme del calore. Minori temperature di fiamma e migliore efficienza termica consentono inoltre riduzioni delle emissioni di NO_x e CO_2 .

LA TECNOLOGIA FLAMELESS AD OSSIGENO

I bruciatori tradizionali ad ossigeno combustibile producono una fiamma particolarmente intensa ad alta temperatura che può generare, in taluni casi, incognite sull'effettiva omogeneità nella distribuzione del calore.

Per rispondere all'esigenza, comune a diversi processi in ambito siderurgico, di una maggiore uniformità di temperatura e per evitare rischiosi surriscaldamenti del prodotto trattato, riducendo al contempo i consumi di combustibile, è stata sviluppata la tecnologia di combustione flameless ad ossigeno (Fig. 1).

Il principio alla base dei bruciatori flameless è l'aspirazione dei gas di combustione presenti all'interno del forno ad opera di getti di ossigeno ad alta velocità per riprodurre le condizioni di aria preriscaldata prima della miscelazione con il combustibile. In altre parole, la miscelazione tra i getti ad alta velocità di ossigeno ed i fumi all'interno del forno è più rapida della miscelazione tra ossigeno puro e combustibile.

Nevio Corna

SIAD S.p.A. - Sviluppo Applicazioni - Bergamo, Italia
nevio_corna@siad.com

Francesco Dentella

ESA Pyronics International - Bergamo, Italia
dentella@esacombustion.it

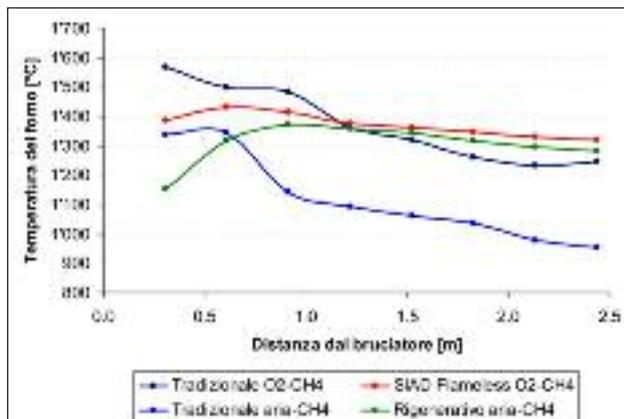


FIG. 1 Profilo della temperatura di fiamma per diverse tipologie di bruciatori.

Flame temperature profile for different types of burners.

Questo sistema è in grado di produrre una fiamma di elevata turbolenza, con una temperatura di picco molto inferiore rispetto ai tradizionali sistemi ad ossigeno e con caratteristiche simili ad una tipica fiamma ad aria, ma con una maggiore efficienza energetica e con volumi di fumi notevolmente inferiori.

L'utilizzo di questi bruciatori come alternativa ai classici sistemi aria-combustibile ha tuttavia trovato difficoltà in alcune applicazioni industriali specifiche, come il riscaldamento siviera ed i forni di riscaldamento acciaio, in quanto, in alcuni stadi del processo, quali le fasi più "fredde", il sistema ad aria risulta più performante (i.e. più economico nella gestione) di quello ad ossigeno. SIAD e ESA Pyronics hanno quindi sviluppato un nuovo tipo di bruciatore capace di soddisfare le specifiche condizioni di questi processi. La serie di bruciatori Aria-Gas-Ossigeno (AGO) è stata progettata per aumentare la flessibilità delle operazioni nei processi di riscaldamento ad alta temperatura.

Questo tipo di bruciatori è infatti realizzato accoppiando un classico bruciatore aria-combustibile ad un bruciatore flameless ad ossigeno puro. La configurazione particolare degli ugelli di iniezione di ossigeno promuove la diluizione della reazione di combustione, riducendo così il rischio di surriscaldamento locale dei refrattari e dei prodotti, promuovendo al contempo una maggiore uniformità nella distribuzione dell'energia su superfici ampie.

La caratteristica principale di questa soluzione è la possibilità di operare l'impianto di combustione in due diverse modalità: aria-combustibile od ossigeno-combustibile, in relazione alla scelta dell'operatore o grazie ad un sistema automatico di rilevamento della temperatura.

RISCALDO SIVIERA

Le stazioni di riscaldamento siviera, benché rappresentino una frazione relativamente limitata dei consumi di un'acciaieria, sono generalmente dei sistemi a bassa efficienza energetica dove esiste la possibilità di migliorare e rendere più efficiente la combustione. Le moderne siviere devono essere riscaldate a temperature maggiori di 1150°C; a questa temperatura il 60-70% dell'energia è persa nei prodotti di combustione quando si usa aria non preriscaldata come ossidante. L'utilizzo di sistemi di combustione ad ossigeno rappresenta una possibilità di ottenere risparmi energetici maggiori del 50% e di ridurre al contempo le emissioni di NO_x e CO₂.

Un processo di riscaldamento siviera inefficiente può avere un effetto



FIG. 2 Bruciatore O₂-CH₄ da 2500 kW per riscaldamento siviera. 2500 kW O₂-CH₄ burner for steel ladle preheating.

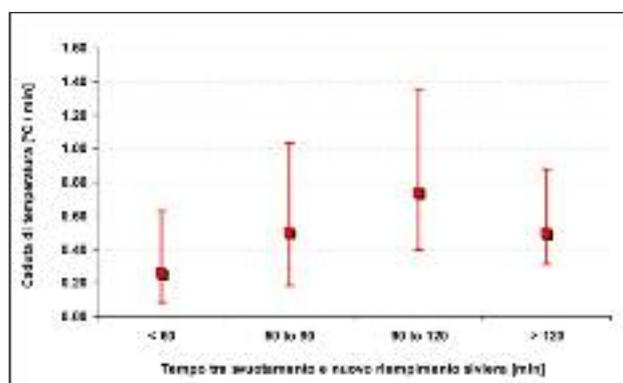


FIG. 3 Riduzione della temperatura dell'acciaio liquido in siviera vs. tempo di attesa della siviera.

Rate of liquid steel temperature loss inside the ladle.

sensibile anche su altre attività che compongono il ciclo di produzione dell'acciaio quali EAF, BOF e LF, processi estremamente energivori. Un controllo adeguato della temperatura dei refrattari della siviera è un'operazione cruciale; è necessario non solo per la gestione dello spillaggio e dei trattamenti secondari, ma anche per la regolazione della temperatura durante la fase di colata. Siviere "fredde" possono causare eccessivi cali di temperatura durante la colata e, in casi estremi, l'impossibilità di completare la colata stessa.

A seconda delle diverse gestioni del parco siviere all'interno di ogni acciaieria, la caduta di temperatura dell'acciaio liquido all'interno della siviera dalla fine del trattamento secondario (o dalla spillatura dal forno ad arco) fino al completo svuotamento in colata continua, risulta essere molto variabile e compresa tra 0.3 °C/min e 1.4 °C/min. Questa estrema variabilità è in gran parte influenzata dal tempo che intercorre tra il completo svuotamento della siviera e il successivo riempimento con metallo fuso (Fig. 3). Per compensare questa variabilità nella perdita di temperatura all'interno della siviera, accade che venga aumentata la temperatura di spillaggio da BOF o dal forno ad arco, a costo di alti consumi energetici e minore produttività.

Risulta quindi chiaro come la caduta di temperatura dell'acciaio dalla spillatura dal forno o dalla fine del trattamento in LF fino alla colata sia estremamente dipendente dalla temperatura del refrattario della siviera. Una migliore gestione del processo di preriscaldamento può quindi avere un impatto non indifferente sul bilancio energetico dell'acciaieria.

Nonostante l'utilizzo dell'ossigeno presenti considerevoli vantaggi durante la fase di riscaldamento e surriscaldamento della siviera, i

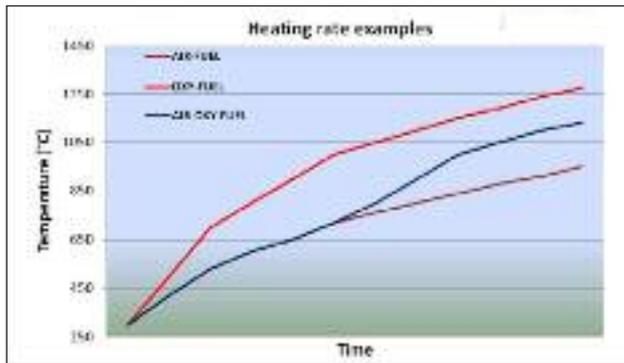


FIG. 4 Esempio di curve di riscaldamento con bruciatori ad aria, ossigeno e a doppio comburente.

Ladle preheating curve sample with air, oxygen and dual oxidant A.G.O. burners.

bruciatori ossigeno-combustibile sono tradizionalmente considerati poco adatti a questa applicazione. L'elevata temperatura e la compattezza della fiamma tipiche dei bruciatori tradizionali ad ossigeno può provocare un trasferimento di energia localizzato ed intenso, rendendo problematico ottenere una distribuzione omogenea del calore su tutta la superficie e difficoltoso il soddisfacimento della prima parte piuttosto lenta della curva di preriscaldamento.

L'utilizzo del bruciatore flameless a doppio ossidante AGO (Aria-Gas-Ossigeno), costituisce una risposta al problema, consentendo di operare con estrema flessibilità la stazione di riscaldamento e massimizzando i vantaggi di entrambe le tecnologie. Una fiamma aria-metano, con il desiderato eccesso d'aria, può essere utilizzata durante le fasi a minore intensità energetica, quali l'essiccamento del refrattario, il preriscaldamento ed il mantenimento della siviera a basse temperature.

La modalità ossigeno-metano è invece particolarmente vantaggiosa durante le fasi di "surriscaldamento" da medie ad alte temperature e di rapido riscaldamento da basse temperature (Fig. 4). L'utilizzo del doppio comburente permette di mantenere la siviera ad una temperatura inferiore in caso di fermate prolungate e di recuperare la temperatura desiderata in minor tempo.

L'applicazione della tecnologia di combustione ad ossigeno offre una serie di vantaggi che superano il semplice risparmio energetico che può essere ottenuto nella sola stazione di pre-

riscaldamento, avendo un'influenza sull'efficienza energetica e sulla produttività di una buona parte del ciclo di lavoro.

L'esperienza accumulata grazie alle recenti installazioni ha permesso di evidenziare come l'utilizzo dell'ossigeno nel processo di riscaldamento siviera possa portare ad una riduzione di almeno il 50% del consumo di energia, aumentando al contempo di circa 150 - 200 °C il set-point di temperatura di preriscaldamento. La possibilità di raggiungere facilmente una temperatura maggiore con consumi energetici inferiori, ha risolto in alcuni casi i problemi di siviere "fredde" e ridotto il numero di fermate della linea della colata continua, in altri ha permesso di diminuire la temperatura di spillata del forno, con tempi di fusione e consumi elettrici minori. Si riportano in Tabella 1 e Tabella 2 i risultati relativi a due recenti installazioni in diverse acciaierie. In Tabella 1 sono riportati i dati operativi delle due stazioni dove erano in funzione bruciatori aria-metano. La Tabella 2 riporta invece i risultati ottenuti in seguito al revamping dei due sistemi di combustione con l'installazione di bruciatori ad ossigeno. I due casi si collocano alle estremità sia per quel che riguarda i consumi specifici di metano sul riscaldamento (0.70 e 1.40 Nm³/t di gas naturale con sistemi di combustione ad aria), sia per i risultati in termini di possibilità di diminuzione della temperatura di spillata del forno (8°C e 22°C). Come si può notare, al risparmio di gas naturale, già di per sé sufficiente a ripagare il costo dell'ossigeno, si aggiunge una considerevole diminuzione del consumo elettrico del forno, dovuta alla possibilità di effettuare lo spillaggio ad una temperatura inferiore. Se si considerano quindi all'interno del bilancio economico del riscaldamento siviera anche i "costi nascosti" dovuti al maggiore consumo di energia elettrica nel forno, agli attuali prezzi di mercato per gas naturale, energia elettrica ed ossigeno, si possono ottenere risparmi economici fino al 50%.

FORNI DI RISCALDO PER ACCIAIO

In ambito siderurgico si osservano tre drivers principali che giustificano l'adozione di sistemi di combustione ad ossigeno puro nei forni di riscaldamento:

- incremento di produttività;
- risparmio di combustibile;
- maggiori standard di qualità.

Il peso relativo di ognuno di questi tre fattori varia in funzione del tipo di forno di riscaldamento considerato.

La produttività è generalmente l'argomento di maggiore interesse nel caso di grandi forni continui.

In questi forni l'acciaio attraversa le diverse zone del forno in ma-

Cliente	Siviera	Bruciatore aria-metano		
		T RISCALDO [°C]	T SPILLATA [°C]	Gas Naturale [Nm ³ /t]
A	42 t	1100	1640	1.40
B	100 t	950	N.D.	0.70

Tabella 1

Cliente	Siviera	Bruciatore ossigeno-metano				
		T RISCALDO [°C]	T SPILLATA [°C]	Gas Naturale [Nm ³ /t]	O ₂ [Nm ³ /t]	Risparmio E.E. [kWh/t]
A	42 t	1300 Δ = + 200	1618 Δ = - 22	0.70 Δ = - 0.70	+ 1.40	- 8.8
B	100 t	1100 Δ = + 150	N.D. Δ = - 6	0.35 Δ = - 0.35	+ 0.70	- 2.0

Tabella 2

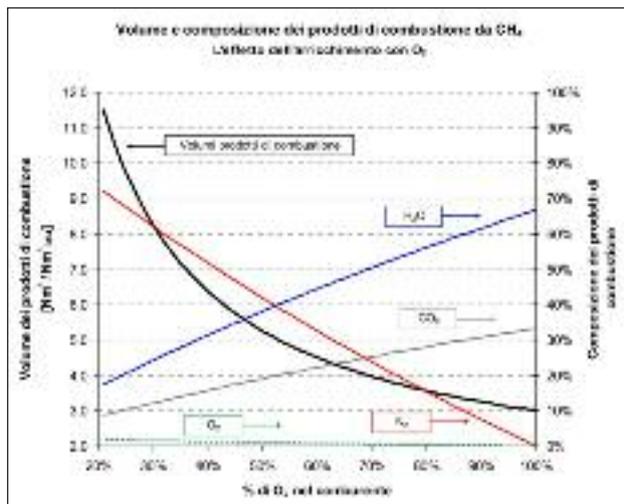


FIG. 5 *Effetto dell'arricchimento con O₂ su volume e composizione dei fumi (aria/CH₄ = 10.5, O₂/CH₄ = 2.0).*

Effect of oxygen enrichment on flue gas volume and composition (air/CH₄ = 10.5, O₂/CH₄ = 2.0).



FIG. 6 *Esempio di fiamma Ossigeno-Metano da bruciatore flameless.*

Example of Oxygen-Natural Gas flame from a flameless burner (cold furnace).

niera continua in controcorrente ai gas di combustione. Grazie a questa configurazione l'acciaio viene preriscaldato all'ingresso del forno dai fumi provenienti dalle zone di riscaldamento e di mantenimento, che, dopo aver ceduto parte del calore sensibile al prodotto in ingresso, escono dal forno a temperature piuttosto contenute. A causa dell'alta efficienza energetica, questo tipo di forni rappresenta la maggioranza della capacità di riscaldamento nell'industria dell'acciaio. La possibilità di incrementare la produzione di questi forni con costi di investimento minimi può influenzare in maniera importante la redditività del singolo impianto ed aumentarne la flessibilità operativa. Attraverso l'utilizzo dei sistemi di combustione diluita o flameless ad ossigeno-combustibile, è possibile aumentare l'energia in ingresso al forno senza incrementare in maniera significativa il volume totale di fumi, garantendo un aumento della produttività senza la necessità di importanti investimenti sul forno e sul sistema di trattamento fumi (Fig. 5).

La maggior parte delle applicazioni di questo tipo è infatti concentrata su attività di revamping di forni esistenti. Le installazioni realizzate hanno portato a risultati diversi secondo la

tipologia e la geometria di forno, le condizioni di processo e le modalità di utilizzo. Queste esperienze hanno dimostrato la possibilità di raggiungere incrementi della produttività del forno tra il 20% e il 30%, fornendo il 13% - 30% dell'energia totale tramite bruciatori oxy-fuel. L'aumento totale del consumo di combustibile è risultato compreso tra il 3% ed il 6% rispetto al consumo originario. Una conversione più spinta verso l'ossicombustione (da 40 - 50% in poi) è generalmente poco raccomandabile a causa dell'eccessiva riduzione del volume dei fumi che potrebbe limitare il trasferimento di calore per convezione nella zona di pre-riscaldamento del forno.

I migliori risultati in termini di efficienza e qualità possono essere ottenuti con l'uso di bruciatori oxy-fuel nella zona del forno corrispondente ad una temperatura massima dell'acciaio di 800 - 850°C. La temperatura del metallo consente ancora un efficiente trasferimento di calore da parte della fiamma ed una migliore trasmissione per conduzione dalla superficie del prodotto verso gli strati interni, promuovendo una temperatura più uniforme sulle sezioni trasversale e longitudinale del semilavorato.

La necessità di diminuire sostanzialmente i consumi di combustibile è invece l'obiettivo primario nella conversione ad ossigeno dei forni di riscaldamento discontinui. Questi forni hanno generalmente capacità produttive inferiori ai forni continui descritti in precedenza. La minore produttività e la discontinuità del ciclo di riscaldamento rendono generalmente poco conveniente l'installazione di sistemi di recupero di energia ad altissima efficienza; gran parte di questi forni è infatti alimentata da aria fredda o preriscaldata con un semplice recuperatore metallico a bassa efficienza. Le temperature di riscaldamento del lingotto e quelle dei fumi di combustione possono facilmente raggiungere rispettivamente i 1200°C e i 1350°C; le alte temperature di lavoro comportano consumi specifici elevati per questi forni, in particolare durante la fase di riscaldamento oltre i 700 + 800°C. I risultati dell'installazione di sistemi di combustione ad ossigeno puro ha portato ad una diminuzione del 50-60% dei consumi di combustibile durante l'intero ciclo di riscaldamento.

Nonostante questi risultati giustifichino già l'utilizzo dell'ossigeno in un'ottica di riduzione di costi operativi, anche in questo caso, così come discusso a proposito del riscaldamento siviera, l'utilizzo dell'ossigeno non risulta ottimizzato lungo l'intera fase del ciclo. Gli enormi benefici ottenuti durante la fase di riscaldamento tra i 700 e i 1200°C sono parzialmente ridimensionati durante la fase iniziale di preriscaldamento, quando l'efficienza della combustione tradizionale ad aria risulta ancora soddisfacente e durante quella finale di mantenimento, dove non è richiesto un elevato trasferimento termico al materiale. L'applicazione di un bruciatore a doppio ossidante AGO permette quindi di raggiungere i minori costi operativi, combinando i benefici dell'ossicombustione alle medio-alte temperature con l'economia dei sistemi tradizionali ad aria nelle fasi a minore intensità.

Il raggiungimento di standard di qualità sempre più elevati, specialmente in termini di uniformità in temperatura, è invece un'esigenza nella gestione dei forni di riscaldamento a servizio dei reparti di forgiatura, specialmente dove sono prodotti forgiati di dimensioni elevate o in acciai alto-legati. In questo tipo di forni, solitamente di tipo discontinuo, il processo di forgiatura a valle spesso richiede il raggiungimento di un'uniformità di temperatura molto stringente, nell'ordine di $\pm 10 - 15^\circ\text{C}$.

Il soddisfacimento di tali limiti è stato alla base della recente installazione di diversi sistemi di combustione diluita ad ossigeno-metano su forni di riscaldamento a servizio di un reparto di forgiatura di acciai al nickel e titanio. Le specifiche del cliente richiedono una tolleranza sull'uniformità della temperatu-

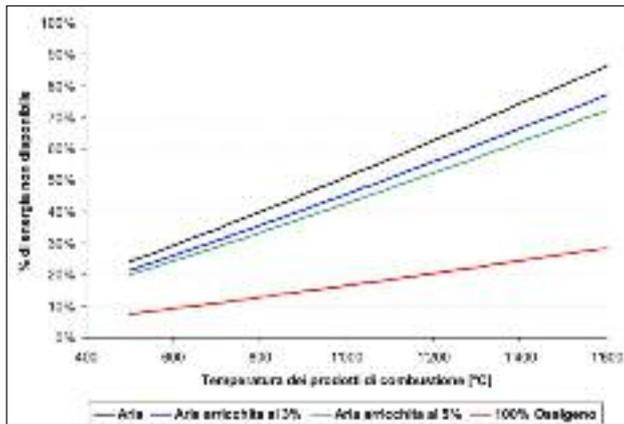


FIG. 7 *Effetto dell'utilizzo dell'ossigeno sull'efficienza del processo di combustione.*

Effect of Oxygen enrichment on combustion process efficiency.

ra all'interno del forno di $\pm 14^\circ\text{C}$, ed il ciclo di lavoro prevede che il sistema di combustione all'interno del forno moduli la potenza per seguire una determinata curva di riscaldamento. Il bruciatore quindi, oltre a garantire il profilo omogeneo di temperatura alla potenza di progetto caratteristico dei sistemi ad ossigeno flameless o a combustione diluita, deve essere in grado di ottenere la stessa uniformità di riscaldamento e un'ottimale circolazione dei fumi all'interno del forno a potenze considerevolmente inferiori.

La combinazione della combustione diluita ad ossigeno con un sistema di controllo ad impulsi (pulse firing) è stata scelta quale migliore risposta a queste esigenze.

La tecnologia di comando dell'alimentazione al sistema di combustione ad impulsi, o pulse firing, prevede che i bruciatori, invece di modulare le portate di combustibile e comburente, alternino ciclicamente una fase di massima potenza ad una di minima. La frazione di ogni ciclo in cui il bruciatore opera alla massima potenza è regolata per fornire l'esatta quantità di energia richiesta dal processo, permettendo il controllo della temperatura all'interno del forno.

Il bruciatore controllato ad impulsi produce una fiamma con lo stesso profilo termico e la stessa quantità di moto ad ogni ciclo. Questo provoca una distribuzione dell'energia ed un riscaldamento estremamente uniformi all'interno del forno poiché, anche a livelli di potenza media molto bassi, il bruciatore opera alla massima potenza durante una frazione del ciclo. L'efficienza energetica è inoltre massima dato che non è necessario utilizzare eccessi d'aria per garantire sufficiente impulso al bruciatore quando operato a basse potenze termiche. I risultati ottenuti dai test effettuati su uno dei forni in oggetto sono riportati in Tabella 3.

All'interno del forno sono state inserite 14 termocoppie per avere un controllo preciso dell'effettiva distribuzione della temperatura all'interno del forno. Nonostante le specifiche richiedessero uno scarto massimo di $\pm 14^\circ\text{C}$ per tutte le termocoppie nel forno, l'utilizzo del sistema sopra descritto ha consentito di ottenere range di temperatura compresi in un intervallo di $\pm 10^\circ\text{C}$. La risposta del sistema ad ogni perturbazione è risultata inoltre estremamente veloce: a seguito di ogni apertura della porta del forno, le temperature ritornano nel range richiesto entro 2 minuti.

CONCLUSIONI

La tecnologia di combustione flameless ad ossigeno puro ha dimostrato, sia attraverso i test di laboratorio che le applica-

Setpoint (°C)	TMEDIA [°C]	Δ TMAX + [°C]	Δ TMIN - [°C]
850	851.2	5.0	7.2
1050	1050.7	5.5	7.8
1250	1249.7	6.1	6.7

Tabella 3

zioni sul campo, di essere in grado di generare una distribuzione del calore più uniforme, di produrre una minore quantità di inquinanti come CO_2 e NO_x e di avere consumi inferiori di combustibile rispetto alle convenzionali tecnologie di combustione. Lo sviluppo da parte di SIAD ed ESA Pyronics di un bruciatore flameless a doppio comburente AGO (Aria-Gas-Ossigeno) ha permesso di applicare i benefici dell'ossicombustione anche a quei processi dove l'ossigeno era considerato fino ad oggi inidoneo, quali il preriscaldamento siviere ed i forni di riscaldamento per lingotti e billette.

I recenti risultati nelle stazioni di riscaldamento siviere, hanno evidenziato vantaggi sia dal punto di vista dei costi operativi (50% in meno di consumi di combustibile e riduzioni della temperatura di spillaggio dell'acciaio liquido dal forno), sia per quel che riguarda l'efficienza e la flessibilità di gestione del processo, con un impatto non trascurabile sull'intero ciclo operativo all'interno dell'acciaieria, dalla fusione alla colata continua.

L'utilizzo della combustione ad ossigeno nei grandi forni di riscaldamento continui ha permesso di incrementare notevolmente la capacità produttiva del singolo forno (fino al 30%) senza la necessità di importanti interventi sulla struttura e senza necessità di maggiori superfici. Nei più piccoli e meno efficienti forni batch, l'applicazione di un bruciatore a doppio comburente consente di diminuire significativamente l'impiego di combustibile, ottimizzando al contempo i consumi di ossigeno. Significativi risultati in termini di omogeneità di temperatura all'interno del forno ($\pm 10^\circ\text{C}$) sono infine stati raggiunti attraverso l'applicazione della combustione ad ossigeno con il controllo ad impulsi in un forno da forgia per acciai alto-legati.

BIBLIOGRAFIA

- H.M. RYAN et al., Dilute Oxygen Combustion - Phase I Report, Report No. DOE/ID/1331-T1, U.S. Department of Energy, Washington, DC, October 1997
- RILEY, RYAN, KOBAYASHI, Applications of Dilute Oxygen Combustion (DOC) Technology for Steel Reheating Furnaces, American Flame Research Committee (AFRC) International Symposium, Newport Beach, CA, USA, September 2000, 11pages
- F. ERFURTH, J. GRZYCH, LEE ROSEN, Fuel Savings for Slab Reheat Furnaces Through Oxyfuel Combustion, AISTech 2006 Proceedings, Vol. II, pp. 1071-1075.
- F. DENTELLA, A. RECANATI, Enhanced Ladle Preheating Systems: Operating Costs Reduction and Additional Benefits Related to EAF Tap To Tap Cycle Optimization, Innovation in EAF and in steelmaking processes, Milano, 27-28 Maggio 2009.
- E. BLACK et al., Installation of a 145-MMBtu/Hour Oxyfuel Firing System on the No. 2 Reheat Furnace at ArcelorMittal's 84-Inch Hot Strip Mill, AISTech 2009, St. Louis, Mo., Maggio 2010
- J. KELLY, F. DENTELLA, A. RECANATI, J. VISUS, E. MICLO, Oxygen Enhanced Ladle Preheating Systems: Improved Tap-to-Tap Cycle Time and Operating Cost Reductions, AISTech 2010, Pittsburgh, 3-6 Maggio 2010.
- L. CATES, Improved Temperature Uniformity in Batch Reheat Furnaces With Praxair's Dilute Oxygen Combustion (DOC) System, AISTech 2010, Pittsburgh, 3-6 Maggio 2010.

Abstract**Recent developments in the application of Oxygen combustion to ladle preheating stations and steel reheating furnaces**

Keywords: steel, ladle preheating, reheating furnace, oxygen, flameless combustion

Pure oxygen flameless and dilute combustion technology has shown, through laboratory tests and industrial applications, the possibility to generate a more uniform heat and temperature distribution (Fig. 1), to decrease pollutants emissions such as CO₂ and NO_x and to lower fuel consumption with respect to conventional combustion technologies. The use of this type of burners, as an alternative to traditional air-fuel systems, experienced however difficulties in some industrial applications such as ladle preheating and steel reheating furnaces, because during some process phases, especially the "colder" ones, the air-fuel system could achieve lower operating costs.

SIAD and ESA Pyronics therefore developed a new type of burner able to satisfy the specific need of these processes. The new burner series AGO (Air-Gas-Oxygen) is designed coupling a traditional high velocity air-fuel burner with a pure oxygen flameless burner with the possibility to operate the combustion system in air-fuel or oxygen-fuel mode. The new dual oxidant burner AGO makes it possible to transfer the benefits of oxy-fuel combustion also to those processes where oxygen was considered unsuitable till now, such as ladle preheating and steel reheating furnaces.

Modern steelmaking ladles need to be preheated to in excess of 1150 °C: in these conditions 60-70% of the fuel energy is lost with flue gases to the stack when air fuel burners are used (Fig. 7). The use of pure oxygen combustion systems provides not only a means of cutting energy consumption by as much as a half, but it can influence the energy efficiency and the productivity of larger part of the steel production cycle. To compensate for the variability in ladle heat losses (Fig. 3), steelmakers need often to tap steel at higher temperature to avoid cold ladles. Higher tap temperatures incur an energy and process time penalty in EAF shops. The experience gained through recent installations of oxy-fuel burners in different steel shops demonstrates how the use of oxygen in the ladle preheating process can reduce by more than 50% the fuel consumption, while increasing by about 150 to 200 °C the preheating set-point temperature. The ability to reach rapidly a higher preheating temperature (Fig. 4) with lower energy consumption can help to solve "cold" ladles problems and to reduce the number of continuous casting line stops. In this way it has been possible to decrease the EAF tap temperature by as much as 22 °C, with shorter Tap-to-Tap times and a decrease in electric energy consumption (Table 1 and Table 2).

Similar benefits in terms of flexibility, energy saving and temperature uniformity can be applied also to steel reheating furnaces although presenting rather different requirements depending on size and configuration. The use of pure oxygen combustion systems on large continuous furnaces allows to increase the furnace energy input without a significant increase in the total volume of flue gases, achieving a substantial productivity increase without high capital investment needs (Fig. 5). Field measurement showed, depending on the furnace type, process conditions and technology adopted, productivity increases between 20 and 30% with 13 to 30% of total energy inputs through oxy-fuel burners.

Reduction in fuel consumption is on the contrary the main driver for O₂ application in batch reheating furnaces where energy efficiency is generally low. The application of a dual oxidant air/oxy-fuel burner can optimize the enormous benefits of oxy-fuel combustion during the second phase of the heating phase (800 to 1300 °C) lowering more than 60% the fuel usage, while maintaining the more economic air-based operation during the first part of the heating cycle and eventually during the soaking phase. Finally, when the main goal is the uniformity in temperature, the application of dilute combustion through pure oxygen pulse burners, made it possible to achieve, in one forging shop producing titanium and nickel alloys, temperature uniformity in the range of ± 10 °C with excellent response to temperature perturbations (Table 2).