

Riduzione delle perdite al camino e delle emissioni nocive grazie ai nuovi bruciatori recuperativi a canali suddivisi e rigenerativi

J. G. Wüning, A. Lazzaretto, A. Milani

La riduzione delle perdite di calore al camino, spesso, rappresenta la via più efficace e conveniente per aumentare il rendimento dei forni industriali. I bruciatori rigenerativi offrono un rendimento termico superiore, a fronte di una spesa maggiore in termini di cicli di accensione e di aspirazione dei fumi; i nuovi bruciatori con recuperatore di calore integrato a canali suddivisi offrono in un sistema recuperativo lo stesso rendimento termico dei bruciatori rigenerativi. Entrambi i modelli di bruciatore utilizzano la tecnologia della combustione senza fiamma per la riduzione delle emissioni di NOx.

Keywords: Efficienza energetica - Bruciatori recuperativi - Bruciatori rigenerativi - Combustione senza fiamma - Acciaieria - Trattamenti termici - Processi - Produzione

INTRODUZIONE

La riduzione delle perdite di calore al camino, spesso, rappresenta la via più efficace e conveniente per aumentare il rendimento dei forni industriali. In questo articolo saranno presentati due nuovi modelli di bruciatore che consentono di ridurre di quasi la metà la perdita di calore rispetto ai bruciatori recuperativi con scambiatore alettato. I bruciatori rigenerativi offrono un rendimento termico superiore, a fronte di una spesa maggiore in termini di cicli di accensione e di aspirazione dei fumi che potrebbe non essere giustificata nel caso di bruciatori di taglia ridotta o forni di piccole dimensioni. I nuovi bruciatori con recuperatore di calore integrato a canali suddivisi offrono in un sistema recuperativo lo stesso rendimento termico dei bruciatori rigenerativi. Entrambi i modelli di bruciatore utilizzano la tecnologia della combustione senza fiamma ("flameless") per la riduzione delle emissioni di NOx.

RECUPERO DEL CALORE DEI FUMI

I bruciatori recuperativi basati su scambiatori scanalati o alettati sono lo stato dell'arte nei forni di trattamento termico e si sono diffusi dopo le crisi energetiche degli anni '70 e dei primi anni '80. Complici i prezzi netti dell'energia primaria, stagnanti o talvolta decrescenti, il rendimento termico delle soluzioni costruttive adottate è stato finora migliorato solo marginalmente o, in alcuni casi, addirittura diminuito a favore di semplificazioni costruttive (scam-

biatori lisci) oppure sottodimensionando la superficie di scambio termico per una data potenzialità. Il mercato chiedeva soprattutto aumenti di potenzialità specifica e di temperatura massima mediante l'impiego di materiali ceramici. In molti impianti in tutto il mondo, in particolare, erano ancora installati bruciatori ad aria fredda senza recupero anche in processi ad alta temperatura. Oggi, per via dei crescenti costi energetici e grazie ad una maggiore sensibilità verso la tutela dell'ambiente, è generalmente riconosciuta la necessità di aumentare gli sforzi per risparmiare energia ed abbattere le emissioni nocive.

Il preriscaldamento dell'aria comburente in processi ad alta temperatura è la misura più diretta ed economica per ottenere risparmi energetici cospicui, ma il potenziale tecnologico disponibile non è stato ancora sfruttato a fondo nella stragrande maggioranza degli impianti di trattamento termico.

Il rendimento intrinseco di uno scambiatore di calore è descritto dal numero di unità termiche (*NTU* in inglese): questo parametro è proporzionale alla superficie specifica di scambio e ad un coefficiente di scambio termico [1]. Quando si estrae attraverso il bruciatore il 100% dei fumi, la capacità termica dell'aria comburente è inferiore a quella degli stessi: per questa ragione, nemmeno uno scambiatore ideale sarebbe in grado di trasferire all'aria tutta l'energia termica contenuta nei fumi. Si può notare che la temperatura dell'aria preriscaldata si avvicina a quella dei prodotti della combustione estratti dal forno: il recupero energetico potenziale mediante preriscaldamento dell'aria si può considerare pienamente sfruttato quando la temperatura fumi allo scarico è ridotta fino a circa 200 °C. Questo corrisponderebbe a una frazione residua di calore nei fumi di circa il 10%, ossia ad un rendimento termico di combustione di circa il 90% (riferito al potere calorifico inferiore del combustibile). Quanto di questo potenziale converrà sfruttare impiegando le tecniche costruttive di-

Joachim Georg Wüning, Ambrogio Milani
WS Wärmeprozessstechnik GmbH

Alessandro Lazzaretto
ATTAS S.R.L.

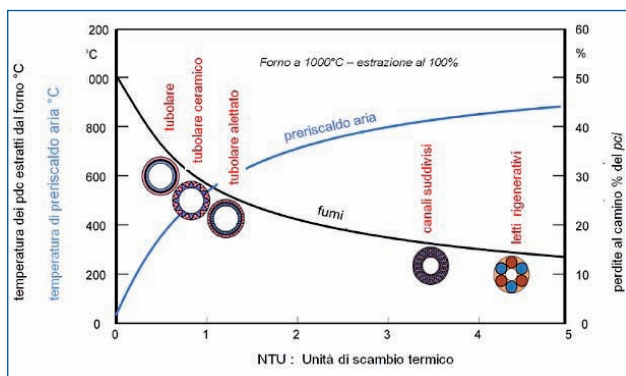


Fig. 1 - Rendimenti degli scambiatori di calore di funzione delle NTU

Fig. 1 - Heat recovery of different burner types

sponibili dipende in larga misura dai prezzi dell'energia. Nel caso di estrazione dei prodotti di combustione <100% (come nel caso a fiamma libera, cioè a riscaldamento diretto) c'è qualche complicazione in più, ma sostanzialmente si ha a che fare con rendimenti termici del tutto paragonabili a patto di estrarre più dell'85% dei fumi prodotti.

La Figura 1 riporta il diagramma relativo al numero di unità termiche (NTU) da 0 a 5, che è quella di maggior interesse tecnologico, mostrando gli effetti dell'utilizzo di uno scambiatore in contro-corrente per quanto riguarda il pre-riscaldamento dell'aria e la temperatura dei fumi con una temperatura dei prodotti della combustione di 1000 °C. Con aria fredda, NTU è uguale a 0, la temperatura di scarico dei fumi è quella di partenza e le perdite al camino sono circa il 50%. Per un tipico bruciatore a recuperatore scanalato o alettato il numero di unità termiche è vicino a 1: quindi per prodotti di combustione a 1000 °C, l'aria si preriscalda a poco meno di 550 °C, pari a una perdita nei fumi di 28% circa: il risparmio rispetto a un sistema ad aria fredda rimane pur sempre oltre il 30%. Un miglioramento sostanziale del preriscaldamento aria mediante recuperatori scanalati più grossi non è praticabile: sia quelli metallici in leghe resistenti al calore che quelli ceramici sono limitati dal disegno e dagli alti costi, così che un raddoppio della superficie di scambio, a parità di diametro, comporterebbe un raddoppio della lunghezza. Un aumento significativo dell'efficienza si può invece ottenere moltiplicando, per così dire, le unità di scambio termico.

EMISSIONI DI NO_x

La problematica della formazione di ossidi di azoto è strettamente legata allo sviluppo di scambiatori di calore più efficienti. Nel caso del gas naturale è rilevante, prima di tutto, la formazione dell'ossido di azoto termico che, come dice il nome stesso, dipende dalla temperatura di combustione: essa sale con l'aumento del preriscaldamento dell'aria e ciò comporta emissioni intollerabili, se non si adottano adeguate contromisure.

Mentre negli anni '90, a causa dei bassi costi dell'ener-

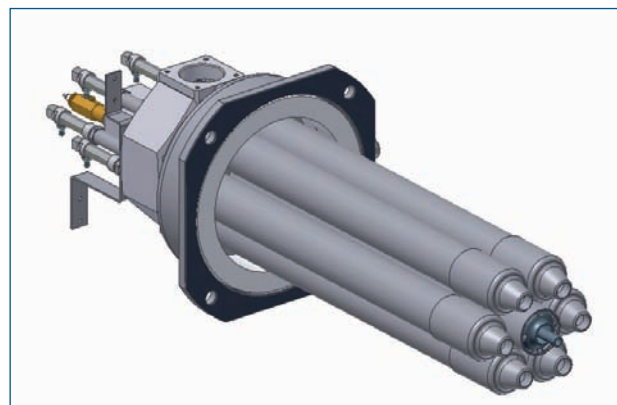


Fig. 2 - Bruciatore rigenerativo per tubi radianti

Fig. 2 - Regenerative burner REGEMAT®

gia, poche misure furono introdotte nel mercato per aumentare l'efficienza energetica, già dagli anni '80, invece, sono stati compiuti molti progressi nella riduzione delle emissioni di ossidi di azoto [2]. La normativa "TA Luft 86" prescriveva un limite di 250 ppm, che costituiva un grosso handicap per molti modelli di bruciatore [3], anche se inizialmente era consentito un bonus in funzione di temperature dell'aria molto alte. Con lo sviluppo di bruciatori ad alta velocità controllati in modo sequenziale questo limite poteva essere rispettato. Infine, grazie all'introduzione di tecniche d'iniezione selettiva ("staging") dell'aria di combustione e di altre misure di riduzione degli NO_x, i valori sono stati ulteriormente ridotti [2]. L'ossidazione senza fiamma (FLOX®, marchio registrato della WS Wärme-prozesstechnik GmbH) si basa sulla ricircolazione interna di prodotti della combustione [1]. Bruciatori recuperativi per tubi radianti funzionanti sul principio dell'ossidazione senza fiamma sono stati installati in gran numero per la prima volta nel 1994 su un forno di ricottura continuo per acciaio al silicio [4]. Entrambe le realizzazioni costruttive illustrate qui di seguito funzionano in ossidazione senza fiamma, ciò che consente valori molto bassi di ossidi di azoto, nonostante le alte temperature di preriscaldamento dell'aria comburente.

BRUCIATORI RIGENERATIVI

Il principio dello scambiatore di calore rigenerativo è noto da qualche tempo ed è stato impiegato nella fabbricazione dell'acciaio nel forno Martin-Siemens dalla metà del diciannovesimo secolo. Ancora oggi la maggior parte dei forni fusori per vetro sono equipaggiati con rigeneratori. Negli anni '80, la British Gas studiò in laboratorio la possibilità di sfruttare questa tecnica anche per bruciatori di piccola potenza [5]. Un problema irrisolto era costituito dalle emissioni di ossidi di azoto, che raggiungevano rapidamente valori di migliaia di ppm a causa della temperatura dell'aria comburente. Nuovi sviluppi di bruciatori rigenerativi in coppia si ebbero soprattutto in Giappone, U.S.A. e in Europa, nell'intervallo di potenza di alcuni MW,



Fig. 3 - Bruciatore rigenerativo in funzionamento "senza fiamma"

Fig. 3 - Regenerative burner in FLOX® mode

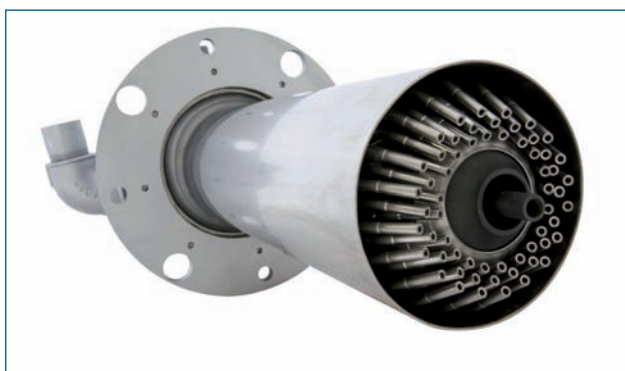


Fig. 5 - Bruciatore con recuperatore a canali suddivisi

Fig. 5 - Gap flow recuperative burner

per applicazioni in grandi forni di riscaldamento e di fusione per alluminio.

A fine 1996 un forno di ricottura continua per acciai speciali fu ammodernato con bruciatori rigenerativi di nuova concezione. Questi bruciatori da 200 kW non funzionano in coppie: ogni bruciatore costituisce un'unità completa a sé stante e funziona in combustione senza fiamma; in questo modo si sono raggiunti valori <50 ppm di NOx anche con aria preriscaldata ad oltre 900 °C [6], [7]. Per riuscire ad installare un bruciatore rigenerativo in un tubo radiante senza modificare tutta la struttura al contorno, occorre ridisegnare in forma molto più compatta tutti i componenti costruttivi: ciò è stato realizzato con rigeneratori a flussi ottimizzati e con tempi di inversione molto brevi di 10 s [8]. Rispetto a un recuperatore alettato, la superficie di scambio termico è moltiplicata molte volte e la trasmissione del calore viene, quindi, molto migliorata. Installato in un tubo radiante a forma di doppia P, questo bruciatore raggiunge rendimenti termici >80%. Con prodotti di combustione in ingresso a oltre 1000°C, i fumi di scarico sono attorno a 300 °C, pari a una perdita al camino del 15%. Il guadagno

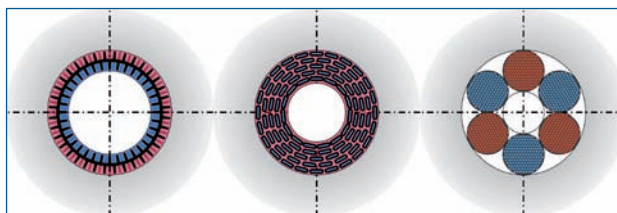


Fig. 4 - Da sinistra a destra: recuperatore alettato, a canali suddivisi, rigeneratore

Fig. 4 - Cross sections of finned and gap flow recuperator and regenerator

rispetto a un recuperatore alettato è quindi del 15-20% e di oltre il 40% rispetto a bruciatori ad aria fredda. Con i prezzi attuali dell'energia, il sovra costo rispetto alla soluzione con recuperatore classico si può ripagare in meno di 10.000 ore di lavoro, pari a circa un anno e mezzo in un impianto in marcia continua.

La figura 2 mostra un bruciatore rigenerativo REGEMAT M250 da 140 kW per tubi radianti e la figura 3 lo stesso bruciatore in funzionamento senza fiamma.

BRUCIATORI CON RECUPERATORE A CANALI SUDDIVISI

I bruciatori rigenerativi offrono il massimo potenziale per il recupero di calore dai prodotti della combustione, ma con i prezzi attuali dell'energia non sono economicamente competitivi in tutte le condizioni, almeno per potenzialità <100 kW. L'obiettivo dello sviluppo è un nuovo sistema recuperativo per potenze <100 kW capace di efficienze vicine ai rigenerativi, ma senza l'onere delle valvole d'inversione richieste da tali sistemi. Il raggiungimento di quest'obiettivo è stato reso possibile con una superficie di scambio termico maggiore e con un migliore scambio termico.

Come si vede nello schema in Figura 4, il recuperatore alettato è una geometria sostanzialmente bidimensionale, mentre l'utilizzazione dello spazio costruttivo disponibile è tridimensionale sia nel caso del recuperatore a canali suddivisi che in quello del rigeneratore. Lo scambiatore a canali suddivisi moltiplica di molte volte la superficie di scambio, ma presenta uguale ingombro esterno e uguali perdite di carico sui lati aria e fumi del recuperatore alettato.

Inoltre, rispetto ai bruciatori rigenerativi, non occorre applicare un'aspirazione forzata sul lato fumi. Il bruciatore a canali suddivisi funziona sul principio dell'ossidazione senza fiamma e presenta, perciò, emissioni minime. Le temperature dei fumi estratti con ingresso a 1000 °C sono circa 300 °C, ciò che corrisponde a una perdita nei fumi <20% e un guadagno di 10-15% in termini di rendimento termico rispetto al recuperatore alettato. Numerosi bruciatori di questo tipo sono in funzione regolarmente dalla primavera 2009 in diverse zone di un forno di bonifica per viti.

La Figura 5 mostra un bruciatore da Reumat S150 da 40 kW con recuperatore a canali suddivisi e la Figura 6 mostra il funzionamento dello stesso in ossidazione senza fiamma.



Fig. 6 - Bruciatore con recuperatore a canali suddivisi in funzionamento senza fiamma

Fig. 6 - Gap flow recuperative burner in FLOX® mode

CONCLUSIONI

Il preriscaldamento dell'aria di combustione rappresenta un grande potenziale per aumentare il rendimento energetico dei forni industriali. I nuovi bruciatori con recuperatore a canali suddivisi garantiscono altissimi rendimenti e riduzione delle emissioni nocive e possono essere utilizzati sia in forni nuovi che per l'ammodernamento di impianti esistenti.

Reduction of waste gas losses in industrial furnaces through the new gap flow and regenerative burners.

Keywords: Efficiency - Recuperative burners - Regenerative burners - Flameless oxidation.

The reduction of waste gas losses is often the most effective and economic way to increase the efficiency of industrial furnaces. The report will present two new burner models, enabling to cut waste gas losses of finned recuperative burners almost in half. The regenerative burner achieves highest efficiency but one has to accept a certain expenditure for cyclic switching and exhaust gas suction. This might not be justified for smaller burner sizes and furnaces. The new gap flow recuperative burner reaches almost the same efficiencies with a recuperative system. Both burner models use flameless oxidation technology for lowest NOx emissions.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Wünnig J.G., Milani A. "Handbook of burner technology for industrial furnaces" – Edition Heat Processing – Vulkan Verlag, 2009. ISBN 978-3-8027-2950-8
- [2] Wünnig J.A. "Ein neuer NOx-armer Rekuperatorbrenner", GWI, Band 34 (1985), Heft 2/3
- [3] Wünnig J.G. "Rekuperatorbrenner für die direkte Beheizung von Industrieöfen", GWI, Band 37 (1988), Heft 10
- [4] Roth W., Telger K. "Betriebserfahrung beim Einsatz von Brennern mit flammenloser Oxidation" GWI, Band 44 (1995), Heft 7/8
- [5] Cornforth J.R. "Combustion engineering and gas utilization" – British Gas, 3rd Edition, 1992
- [6] Wünnig J.A., Wünnig J.G. "Regenerative burner using flameless oxidation" – International Gas Research Conference, Cannes, 1995
- [7] Milani A., Salamone G.V., Wünnig J.G. "Advanced regenerative design cuts air pollution" – Advanced Steel, 1998-99
- [8] Georgiew A., Wünnig J.G., Bonnet U. "Regenerativbrenner für Doppel-P-Strahlheizrohre in einer Feuerzinkungslinie", GWI, Band 56 (2007), Heft 6