

Refrattari per bruciatori: caratterizzazione ed evoluzione

M. Martino, R. Peri

I gruppi di engineering in questi anni hanno dovuto implementare fortemente le caratteristiche dei gruppi bruciatori. Questo è stato fatto per venire in contro all'esigenza dell'utilizzatore finale e cioè di: diminuire i costi energetici, aumentare la qualità (omogeneità sui trattamenti termici) e ridurre le emissioni di NOx e CO2. I sistemi si sono evoluti e ad oggi esistono bruciatori aria/combustibile, ossigeno/combustibile ed sistemi misti aria/ossigeno/combustibile. Gli ultimi sistemi sono stati sviluppati molto in modo da soddisfare esigenze di costi e rendimenti energetici. A bassa temperatura è preferibile usare miscele con solo aria e ad alte temperature miscele con ossigeno. Inoltre in questi anni sono stati messi a punto bruciatori detti Flameless in cui grazie al modo di iniezione della miscela comburente/combustibile ed ad opportuni ricircoli dei fumi si ottengono fiamme a più bassa temperatura ma in grado di portare un livello di omogeneità all'interno del forno molto alto. La gran parte di queste evoluzioni non riguarda direttamente il refrattario poiché esse vengono ad essere espletate dalla parte metallica; per i refrattaristi, il blocco metallico che è agganciato alla parte refrattaria. Il modificarsi del blocco ha richiesto lo sviluppo di un design della parte refrattaria sempre più complicato; questo per permettere l'immissione dei gas e dei loro ricircoli in modo corretto nella camera di combustione. Infine sono state richieste al refrattario determinate performance in modo da garantire almeno una determinata vita prima del fine campagna.

Parole chiave: Refrattari - Lav. plastiche caldo - Caratterizz. materiali

I REFRATTARI PER BRUCIATORE

Per capire quale tipo di refrattario usare come prodotto per questo impiego occorre fare un passo indietro e capire quali sono i meccanismi di usura e fine vita del materiale refrattario:

- Il primo problema a cui il materiale è sottoposto è lo stress termico. Da prove eseguite presso centri specializzati si vede che all'accensione della fiamma la parte interna del blocco schizza da temperatura ambiente a 700-800°C in pochi secondi. Questo momento è il punto critico in cui si formeranno le cricche che in esercizio, per i continui sbalzi termici, si allargheranno portando al distacco di alcuni pezzi di bruciatore.
- Hot spot di temperatura: nel caso l'accoppiamento con il blocco metallico non sia eseguito correttamente e la fiamma colpisca direttamente il refrattario o vi sia la condizione in cui la fiamma è ad una temperatura tale da portare la camera del bruciatore oltre la soglia della temperatura limite di impiego del refrattario: il materiale tenderà a fondere
- Aggressione chimica: un combustibile largamente utilizzato è il metano ed in questo caso i prodotti di re-

azione con ossigeno sembrerebbero avere bassa aggressività nei confronti del refrattario. La teoria della combustione è molto complessa e di solito lavorando in atmosfera ossidante si considera che alla fine le specie predominanti siano le forme completamente ossidate dei reagenti originali ma non è da sottovalutare la presenza di intermedi di reazione. Gli intermedi di reazione CO e H₂ sono forti agenti riducenti e possono comunque portare alla formazione di reazioni redox sulla superficie del pezzo. Infine oltre al metano sono impiegati altri combustibili e le impurezze presenti in questi, soprattutto S, portano alla formazione di composti molto aggressivi che possono erodere ed intaccare il refrattario.

- Inoltre la complessa geometria della parte refrattaria impone che questa sia prodotta attraverso tecnologie di prefabbricazione al partire da refrattari informi anziché attraverso metodi di pressatura

Per quanto riguarda il primo ed il terzo punto si può lavorare su diversi fattori: la mineralogia del prodotto, la tecnologia del prodotto (low ultra low cement, no cement castable, essiccato cotto etc) e la qualità/purezza delle materie prime che lo compongono. Mentre per quanto riguarda gli hot spot di temperatura o le fiamme non centrate, a priori non prevedibili, si cercano di contrastare tali possibili fenomeni, per quanto possibile, con prodotti di buona refrattarietà.

M. Martino, R. Peri
SANAC S.p.A.



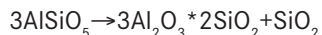
Fig. 1 - Esempio di bruciatore

Fig. 1 - Burner example

LE MATERIE PRIME UTILIZZATE

Partendo dal primo problema che si incontra nella vita del bruciatore, lo sbalzo termico, la scelta delle materie prime sarà incentrata su questo fattore. In natura esiste un prodotto silico alluminoso dotato di buona refrattarietà, stabile, molto inerte chimicamente con un'alta resistenza allo sbalzo: la mullite. La mullite è il solo composto avente formula $Al_6Si_2O_{13}$, cioè $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, con struttura rombica molto simile alla sillimanite tanto che per molto tempo il minerale naturale è stato confuso con quest'ultima. Ha una densità di 3.03 g/cm³ una durezza, scala Mohs, di 7. Si forma, in natura, per scissione, del composto Al_2SiO_5 (Famiglia dell'andalusite) ad alta temperatura ($T > 1350^\circ C$) e basse pressioni con liberazione di silice. La cristobalite che si forma è circa il 10% della massa totale.

A temperature superiori a $1350^\circ C$ l'Andalusite ($AlSiO_5$) si trasforma in Mullite secondo la seguente reazione:



Date tali condizioni di formazione la mullite in natura è molto rara ed il suo deposito più importante è l'isola di Mull nella Scozia occidentale. La Mullite è il solo com-

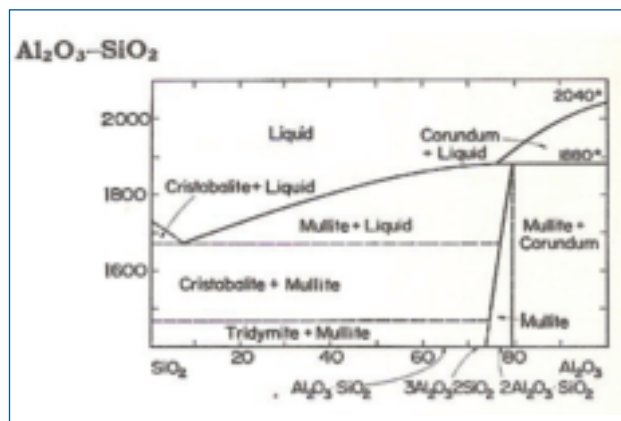


Fig. 2 - Diagramma binario $Al_2O_3-SiO_2$; la Mullite è un composto eutettoide ed è stabile dalle basse temperature fino alla temperatura di fusione

Fig. 2 - Binary diagram $Al_2O_3-SiO_2$; as showed Mullite is a eutectic compound and is stable from lower temperature up to the melting temperature

posto allumino-silicato stabile ad elevata temperatura e pressioni normali; questo è uno dei motivi per cui è così frequente nei prodotti artificiali (refrattari silico alluminosi cotti) e rara nei minerali naturali. In genere la mullite si trova nei prodotti ceramici e refrattari sotto forma di fini cristalli aghiformi, mentre quella prodotta artificialmente mediante reazioni allo stato solido ha mostrato la forma di aggregati irregolari policristallini. Essendo rara in natura la mullite è essenzialmente prodotta artificialmente; la produzione è principalmente fatta attraverso l'arricchimento di depositi di caolini con allumine calcinate in modo così da avere l'analisi stechiometrica della mullite: 72% Al_2O_3 , 28% SiO_2 e cuocendo in forno ad alte temperature i pellet di caolino arricchito. La cottura deve essere tale che mineralogicamente si deve formare almeno il 95% di fase cristallina mullitica. La stabilità strutturale dipende dal fatto che la mullite è il composto eutettoide del sistema $Al_2O_3-SiO_2$ quindi non avvengono cambi strutturali cristallini da temperatura ambiente fino alla sua temperatura di fusione di $1840^\circ C$ (Fig. 2).

Inoltre la mullite presenta il più basso coefficiente di espansione lineare tra i composti refrattari abitualmente utilizzati (Tab. 1):

Composto	Mullite $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	Spinello $MgAl_2O_4$	Periclasio MgO	Corindone Al_2O_3
Densità (g/cm ³)	3.03	3.58	3.58	3.99
Conducibilità termica (W/mk)	6.0	5.9	7.1	6.3
Coefficiente di espansione lineare (dl/l k * 10 ⁻⁶)	5.4	7.6	13.5	8.8

Tab. 1 - Caratteristiche della Mullite confrontate con altri materie dei comuni refrattari. La Mullite ha il più basso coefficiente di dilatazione termica

Tab. 1 - Mullite properties in comparison with other common refractories raw materials. Mullite has the lowest thermal expansion coefficient

Materia prima di base		Mullite	Andalusite
Classificazione UNI EN 1402		DENSE LOW CEMENT CASTABLE	DENSE LOW CEMENT CASTABLE
Analisi chimica			
Al ₂ O ₃	%	74,5	59
SiO ₂	%	22,5	37
Fe ₂ O ₃	%	0,2	0,6
CaO	%	1,5	2,4
ZrO ₂	%	-	-
Proprietà fisiche			
Massima temperatura di impiego	°C	1700	1600
Rendimento volumetrico	T/m ³	2,59	2,65
Richiesta d'acqua	%	5-5,5	5,0
Metodo di messa in opera		Vibrazione	Vibrazione

Proprietà fisiche

Dopo Curing time 24h a 110°C

Peso volume	g/m ³	2,61	2,69
Resistenza a compressione	MPa	140	130
Modulo di rottura	MPa	19	17
Variazione lineare permanente	%	-	-

Dopo curing time 5h a 1000°C

Peso volume	g/m ³	2,54	2,66
Resistenza a compressione	MPa	100	90
Modulo di rottura	MPa	20	7
Variazione lineare permanente	%	-0,2	0,04

Dopo 5h a 1600°C Dopo 5h a 1400°C

Peso volume	g/m ³	2,65	2,61
Resistenza a compressione	MPa	140	130
Modulo di rottura	MPa	16	10
Variazione lineare permanente	%	±0,05	0,6

Tab. 2 – refrattari per bruciatori e caratteristiche
Tab. 2 - Refractory castable for burner and properties

Fig. 3 - Esempio di stampo per bruciore
Fig. 3 - Mould example for burner

Grazie a questo basso coefficiente la mullite al variare della temperatura, anche in modo repentino, apporta bassi stress meccanici alla struttura del refrattario diminuendo fortemente la formazione di cricche. A seguito di quanto visto risulta chiaro che le materie prime che comporranno il refrattario per il bruciore dovranno portare ad avere la struttura mullitica. Come già visto un precursore della mullite è la famiglia dell'andalusite che in temperatura si dissocia con sotto prodotto cristobalite. Altra scelta è quella, con costi molto più elevati, di usare direttamente sinter mulliti cioè una fonte ultra pura di mullite (cristallograficamente >95%). Per applicazioni a basso stress termico infine possono essere impiegate anche chamotte mullitiche di sintesi le quali si discostano completamente dall'analisi teorica della mullite ma cristallograficamente parlando hanno una percentuale di mullite tra il 60 ed 80%. Con l'utilizzo di queste materie prime si risolve anche il terzo punto di fine campagna del bruciore: l'aggressione chimica. Le sinter mulliti hanno un'altissima stabilità chimica mentre l'andalusite invece la raggiunge solo dopo la trasformazione. Si riporta brevemente che la reazione di trasformazione dell'andalusite in mullite avviene con forte espansione di volume quindi questo ha due conseguenze:

- usando un prodotto andalusitico non cotto (per esempio essiccato) bisogna prevedere un giunto di lavoro poiché quando il manufatto raggiungerà la temperatura di lavoro (se la temp di lavoro è > di 1350°C) avverrà la trasformazione con il conseguente aumento di volume
- se si sono formate delle cricche l'espansione di volume le andrà a chiudere.

Le chamotte mullitiche hanno anche loro una buona resistenza all'aggressione chimica poiché anche loro sono materie prime di sintesi e quindi con impurezze controllate ed a seguito di una corretta sinterizzazione bassa porosità aperta. Questo fa sì che quando il reagente, liquido o gassoso, va a contatto con queste materie prime vi sia bassa superficie di contatto con conseguente riduzione dell'aggressione.

LE TIPOLOGIE IMPIEGATE

Le possibilità al giorno d'oggi sono varie ma la tipologia che ha preso sempre più campo è quella del non formato in quanto come già detto il design del bruciatore è molto complesso per cui la realizzazione più semplice è quella della prefabbricazione. Le tipologie di non formato attualmente in uso sono: low, ultra low cement e no cement castable. Nel caso delle prime due tipologie i prefabbricati possono essere essiccati o cotti nell'ultimo caso invece sono preferenzialmente cotti. Di seguito alcuni dati inerenti le tipologie di prodotti che possono essere impiegati per questa applicazione (Tab. 2).

I prodotti qui riportati sono tra i più usati nella produzione dei blocchi bruciatori in quanto sono essenzialmente: uno mullite e l'altro in temperatura tenderà alla struttura mullitica.

Nella realizzazione del blocco bruciatore oltre alla qualità refrattaria gioca un ruolo determinante anche il processo di produzione in quanto solo un'attenta progettazione degli stampi, una corretta gestione della messa in opera (acqua di impasto, curing time) permettono di ottenere una corretta formatura delle alveolature, canali passanti, fori spia e quant'altro dovrà accoppiarsi con la parte metallica e di raggiungere le ottimali caratteristiche fisico-meccaniche richieste per quest'impiego.

SPERIMENTAZIONE

La Tab. 3 mostra i materiali alternativi studiati in comparazione al prodotto mullitico per cercare nuove soluzioni per questa tipologia di impiego. In questo studio sono stati messi a confronto quattro diversi materiali: prodotto mullitico, uno a base di chamotte mullitiche, un prodotto a base chamotte ed un prodotto a base chamotte mullitiche ed allumina tabulare appartenente alle non cement castable (Tab. 3).

Dei prodotti scelti sono state verificate:

- le proprietà di resistenza allo sbalzo termico sul prodotto essiccato a 500°C
- la refrattarietà sotto carico e ed la resistenza al creep

(altra prova sotto carico). Queste prove servono ad indicare il comportamento in temperatura e sono molto selettive in quanto il materiale è gravato da un carico (0.02 MPa) mentre nella realtà il bruciatore deve sostenere solo il suo peso (prove come da norma eseguite su provini cotti 5h a 1000°C).

- La dilatazione lineare temporanea, ed la variazione lineare permanente a 100/1350/1500°C. Questo per capire come si muove il prodotto all'atto del primo riscaldamento (dilatazione lineare su prodotti essiccati a 500°C) e per cercare di valutare come sarà la stabilità finale del prodotto
- Infine per valutare le proprietà fisico meccaniche a caldo sono state eseguite le prove di flessione a tre punti a 1500°C (su provini cotti 5h a 1000°C).

Nella tabella 4 è illustrato il report delle varie prove.

A titolo esemplificativo vengono riportate i report del prodotto mullitico e del prodotto a base chamotte mulliti che (Figg. 4-10).

CONCLUSIONI PARTE SPERIMENTALE

Dallo studio fatto emerge che attualmente il miglior compromesso tra caratteristiche fisico chimiche/mineralogiche/sbalzo termico è raggiunto dal prodotto a base mullite. Questo deriva dal fatto che è stata registrata la più alta refrattarietà sotto carico, quindi buona resistenza agli hot spot di temperatura, buon creep, quindi buona resistenza nel tempo unita ad un'ottima resistenza agli sbalzi termici. Come seconda scelta, a livello sperimentale, sarebbe interessante vedere come si comporta in esercizio il prodotto fatto di chamotte mullitiche, in quando avendo materie prime in se decisamente più low cost, ha delle caratteristiche inferiori al prodotto mullitico ma comunque elevate. Infine per quanto riguarda la prova per il materiale a base chamotte le caratteristiche incominciano ad essere su valori border line; invece per quanto riguarda la no cement castable il materiale ha buona resistenza allo shock termico ma scarsa refrattarietà.

	Prodotto A	Prodotto B	Prodotto C	Prodotto D
Classificazione UNI EN 1402	DENSE LOW CEMENT CASTABLE	DENSE SELF FLOING LOW CEMENT CASTABLE	DENSE MEDIUM CEMENT CASTABLE	NO CEMENT CASTABLE
Materia prima principale	Mullite	Chamotte mullitica	Chamotte	Chamotte mullitica/ Allumina tabulare
Analisi chimica (XRF)				
Al ₂ O ₃	74,5	53,5	53,3	73,3
SiO ₂	22,5	42,6	40,94	18,31
Fe ₂ O ₃	0,2	0,65	0,84	0,35
CaO	1,5	1,66	2,98	-

Tab. 3 – Tipi di refrattari sottoposti a prove sperimentali

Tab. 3 - Refractories types tested experimentally

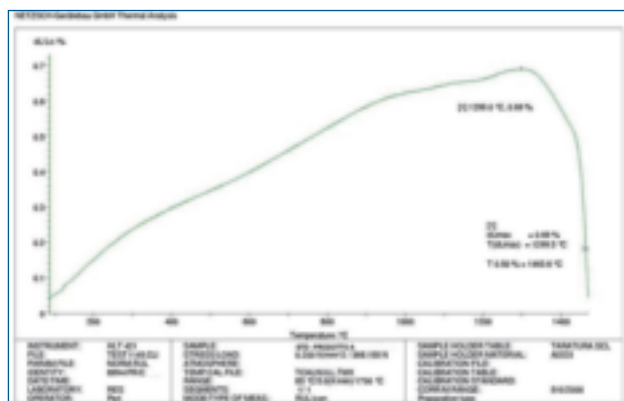


Fig. 4 - Refrattarietà sotto carico - prodotto A

Fig. 4 - Example of refractory under load - "A" product

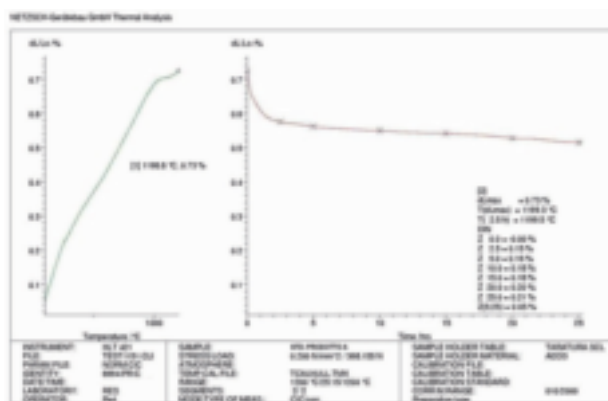


Fig. 5 - Creep - prodotto A

Fig. 5 - Example of creep in compression - A product

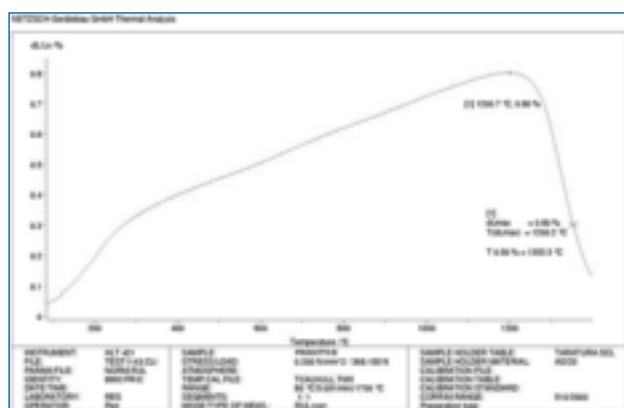


Fig. 6 - Refrattarietà sotto carico - prodotto B

Fig. 6 - Example of refractory under load - "B" product

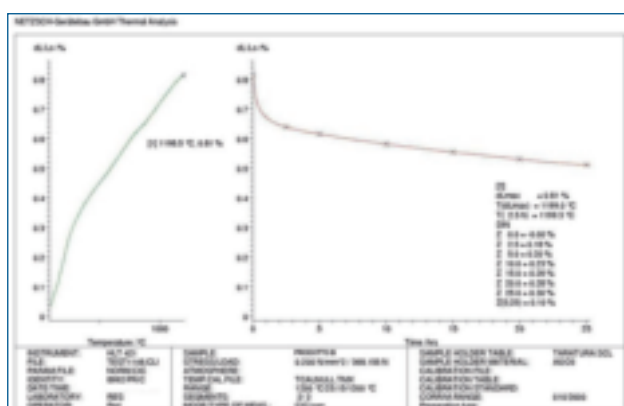


Fig. 7 - Creep - prodotto B

Fig. 7 - Example of creep in compression - B product

		Prodotto A	Prodotto B	Prodotto C	Prodotto D
Variazione lineare permanente					
PLC (%) 5h a:	1000 °C	0,00	-0,13	-0,06	-0,25
	1350 °C	0,69	0,25	0,44	-0,69
	1500 °C	0,31	0,25	0,19	-0,69
Dilatazione temporanea (su prodotti essiccati 5 h a 500°C)					
q (%)	500°C	0,23	0,31	0,33	0,35
	1000°C	0,45	0,40	0,56	0,62
	1500°C	1,25	1,43	0,15	0,07
Resistenza allo shock termico (SBALZI DIN) (prodotti essiccati 5h 500°C)					
Cicli		>30	>30	>30	>30
Refrattarietà sotto carico e creep (provini cotti 5h a 1000°C)					
T 0,5	T (°C)	1463,6	1353,3	1324,1	1107,8
	DI max (%) -T(°C)	0,69 - 1299,5	0,80 - 1200,7	0,71 - 1145,6	0,73 - 933,9
Creep (1200°C)	Z 5 (%)	0,16	0,20	0,38	non resiste
	Z 25 (%)	0,21	0,30	0,51	-
	Z 25 (%)	0,05	0,10	0,13	-
Modulo di rottura a caldo (provini cotti 5h a 1000°C)					
MRC 1500 (kg/cm³)		8,7	30,0	6,0	0,67
Young (N/cm²)		4,98E+03	2,20E+04	2,33E+03	3,32E+02

Tab. 4 - Risultati delle prove

Tab. 4 - On the various products following properties have been tested: permanent linear change, linear expansion, thermal shock resistance, refractory under load, creep in compression and hot modulus of rupture

Dilatazioni temporanee:

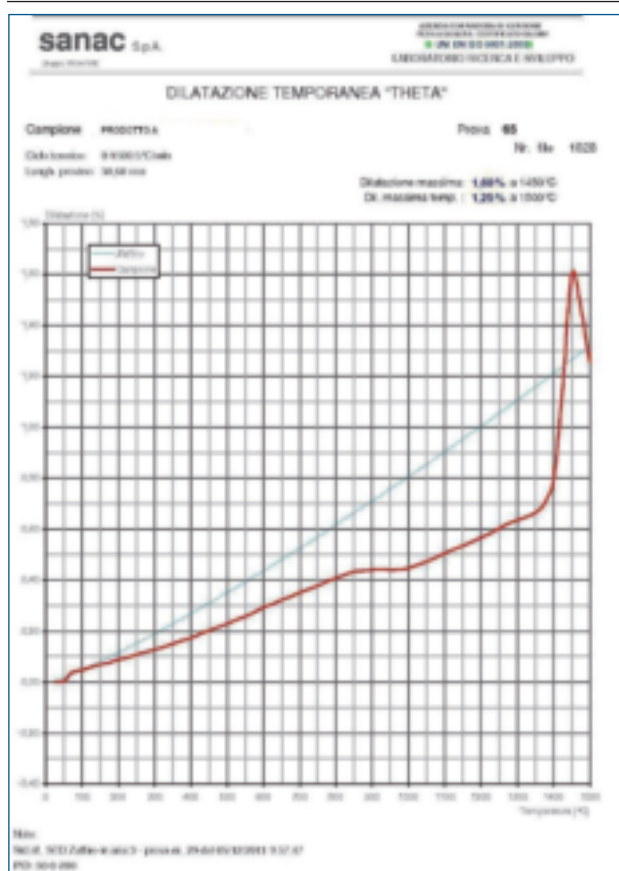


Fig. 8 - Dilatazione termica lineare del prodotto A

Fig. 8 - Linear thermal expansion of product A



Fig. 9 - Dilatazione termica lineare del prodotto B

Fig. 9 - Linear thermal expansion of product B



Fig. 10 - Prodotto A dopo prove resistenza sbalzo termico

Fig. 10 - Product A after the thermal resistance test

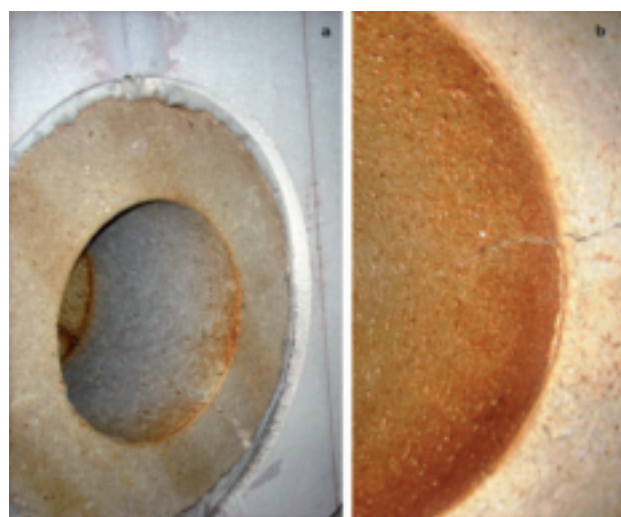


Fig. 11 - a) Fessure provocate dall' shock termico; b) interno della camera di combustione che ha reagito con l'atmosfera del forno

Fig. 11 - a) Cracks due to thermal shock phenomena; b) burner internal chamber that has reacted with the oven atmosphere)

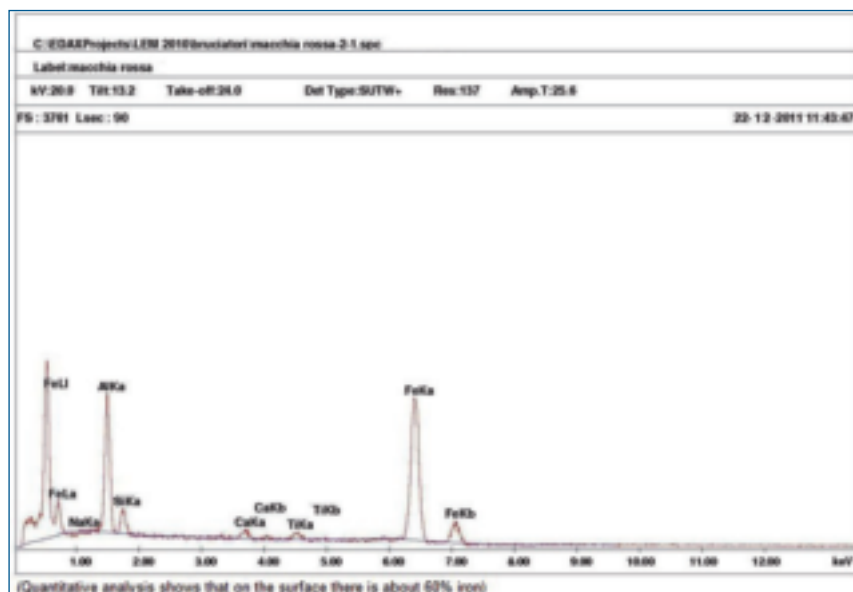
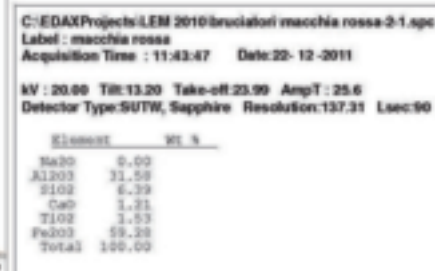


Fig. 12 - Analisi al SEM di un pezzo prelevato dalla superficie interna di un altro bruciatore nel medesimo forno

Fig. 12 - SEM analysis on a sample that was taken from the internal burner surface; the result shows that the main element found is iron



BRUCIATORI IN ESERCIZIO E FATTORI DI FINE VITA

Nell'Figg. 11-13 sono riportate alcune foto prelevate da bruciatori in esercizio: come si vede per lo shock termico il manufatto ha sviluppato una serie di fessure di cui una è passante lungo tutto lo spessore della corona esterna.

CONCLUSIONI

Si è cercato di dare una panoramica dello stato attuale della tecnologia refrattaria per questa tipologia di impiego e di analizzare le cause dei fine vita e quindi le possibili soluzioni per quanto riguarda i refrattari per bruciatori. Tale panoramica è stata tradotta in esempi di esercizio di bruciatore in forni reali.

Infine il bruciatore è parte di un complesso il quale a sua volta è un pezzo del puzzle che compone le pareti o la volta di svariati tipologie di forni. Come tutti i rivestimenti che coinvolgono diverse qualità è buona norma studiarne la reciproche attitudini in modo che possano "coabitare" valorizzando le caratteristiche altrui e non deprimendole. Traducendo questa frase in esempi pratici è inutile studiare una qualità che abbia ottime caratteristiche di sbalzo termico o un'ottima refrattarietà se poi appoggia su prodotto scarsamente refrattario, oppure se non è stato valutato il corretto giunto di dilatazione tra le varie qualità o gli accoppiamenti non eseguiti idoneamente. Questo discorso è molto esteso ma si traduce nella scelta della corretta gettata di contorno o nel caso si voglia utilizzare i blocchi prefabbricati creare tutto un sistema di alloggi e contorni che permetta al blocco bruciatore di lavorare con i minimi stress termo-meccanici al contorno.



Fig. 13 - Esempio di fusione

Fig. 13 - Example of hot spot phenomena and melted refractory

BIBLIOGRAFIA

- 1] "the flameless oxidation mode": an efficient combustion device leading also to very low nox emission levels, Franck Delacroix ADEME (French Agency for energy and environment management) 2, square La Fayette, BP 406, 49004 Angers,
- 2] "The impact of calcium alluminate cement hydration upon the properties of refractory castables"; Christopher Parr, Fabien Simonin, Bruno Tuozzo, Christoph Wöhrmeyer, Benoît Val de Lièvre, Akiniko Namba; presented at TARJ meeting, Ako, Japan September 2004
- 3] "I refrattari Silico-alluminosi ed Alluminosi", Enrico Filari
- 4] "Recenti sviluppi nell'utilizzo della combustione ad ossigeno nelle stazioni di preriscaldamento e nei forni di riscaldamento per acciaio", Nevio Corna SIAD S.p.A. Francesco Dentella ESA Pyronics International

REFRACTORIES FOR BURNERS: CHARACTERISTICS AND DEVELOPMENT

Keywords: Refractory materials - Hot plastics processing - Materials characterization

The steel thermal treatments (heating, rolling, annealing.etc) are becoming more and more a key factor for the final steel quality and related costs.

For these reasons the service engineering companies and producers have speeded up the technology innovation so as to obtain energy cost reduction and, at the same time, pollution reduction, with main focus on CO₂ and NO_x emissions. Another important focus is to minimize the heat dispersion by achieving a very homogenized temperature inside the furnace with same energy consumption. To obtain these targets, sophisticated burners with new design are worked out by the engineering companies. These innovations mainly concern the metallic part that is hooked on the refractory part. In the last few years there have been developments of following burner types:

- fuel/air for low temperature
- fuel/oxygen for high temperature
- fuel/air/oxygen for high performances at various temperatures
- flame/flameless: these systems have a particular gas recycle that affects the flame temperature: the flame temperature is lower than the flame in a standard burner but the flame thermal effect is able to arrive more thoroughly and deeply inside the furnace than a standard flame. The result is: more homogenised temperature inside the oven.

Gas injection into the burner refractory part takes place through the metallic part tubes. A burner is made up of two parts: a metallic part that is connected with the fuel and air (O₂) feed line and has various tubes to inflate a perfect mix of fuel and air (O₂) into the refractory part. The refractory part is the place where the flame is. More tubes mean more holes in the refractory part so as to achieve the desired flame. This knowledge has led to new burner designs implying more production problems such as: mould, perfect curing time and selection of the suited refractory product. Before choosing a refractory product for this application it is necessary to know and understand the phenomena causing the end of the burner service life.

The involved factors are:

- thermal shock: different studies show that, when the flame starts, the internal burner temperature goes up from ambient temperature to 700°C in a few seconds;
- chemical attack: when aggressive atmosphere forms;
- temperature hot spot: when for various reasons the burner internal chamber temperature is higher than the maximum temperature service life of the refractory.

To solve the first two problems the solution can be found using a suited raw material: the best raw material that until now can be used is a source of Mullite. Mullite features high thermal shock resistance and very low reactivity with various reagents. Mullite has these properties due to its crystallographic structure and its chemical composition: from the mineralogy it has a very low thermal linear expansion coefficient (lower dimensional variation during temperature changes), and from the composition it has a high structure stability from low temperature until melting point. Concerning hot spot: these phenomena are unpredictable and the only solution is to use a product with high refractoriness. As a result of these reasons the best refractory that can be used for burners are refractories tending to a mullitic structure. The kind of refractories used are unshaped material, this is the only way to shape the burner design, and are low or ultra low or no cement castables. The main raw materials are: Mullite or andalusite (with temperature > 1350°C andalusite becomes Mullite). In the paper you can see a table showing the properties of these refractory products. You can also find a brief study on new products that can be used for burners. In this study four kinds of refractory products have been examined: a mullitic based low cement product, a mullitic chamotte low cement product, a chamotte based medium cement product and a no cement castable based on chamotte and tabular alumina. The best product remains the Mullite product but for low stressed ovens the product with mullitic chamotte could also be tested. At the end there is a paragraph showing the burner during its life and some examples of problems causing life end.