

Un impianto innovativo nella filiera del recupero della scoria da forno elettrico

M. Svanera, S. Panza, F. Uberto, R. Roberti

Nel presente lavoro viene presentato il sistema Slag-Rec per il trattamento della scoria EAF, che è stato realizzato presso MFL, Liezen (Austria) ed è attualmente in fase di installazione ed avviamento presso la acciaieria ASO, Ospitaletto (Brescia). Il sistema permette di realizzare la granulazione a secco della scoria, eliminando il contatto della stessa con acqua di raffreddamento, attuando allo stesso tempo un raffreddamento controllato e ripetibile in funzione del tipo di scoria da trattare.

Parole chiave:

Scoria, Forno elettrico ad arco, Riciclo, Slag-Rec

INTRODUZIONE

Nella maggior parte dei paesi industrializzati le scorie dalla produzione dell'acciaio non sono più considerate come scarti, bensì come sottoprodotti di processo. L'aver convertito i costi di discarica in entrate derivanti dalla vendita delle scorie ha offerto considerevoli risparmi alle acciaierie ed allo stesso tempo ha contribuito a ridurre sia il consumo di risorse e di energia, sia l'emissione di gas serra. Tuttavia se questo è particolarmente vero per le scorie da altoforno, altrettanto non può essere detto delle scorie da forno elettrico ad arco, le scorie cosiddette "nere", da distinguersi e da tenere accuratamente separate, anche dal punto di vista della gestione in acciaieria, dalle scorie dette "bianche", che sono invece prodotte al forno siviera nella fase di affinazione dell'acciaio.

Alcuni aspetti hanno preliminarmente spinto gli Autori del presente lavoro a prendere in esame l'opportunità di procedere ad uno studio di come implementare un idoneo impianto per il trattamento della scoria al fine di renderla adatta al riutilizzo.

In primo luogo vi sono la crescente attenzione ambientale e gli sforzi che l'industria siderurgica sta compiendo per mettere a punto cicli produttivi con emissioni zero. La scoria che esce dalla acciaieria deve quindi essere in primo luogo compatibile sotto il profilo ambientale e possibilmente non deve più essere un rifiuto da mandare in discarica, bensì deve diventare un sottoprodotto da destinare a specifiche applicazioni.

Vi sono, poi, anche questioni relative alla disponibilità di siti per il conferimento delle scorie; negli anni passati, la difficoltà di reperimento di discariche ha infatti portato alla lievitazione dei costi per il conferimento. E' facile prevedere che tali difficoltà cresceranno inevitabilmente nel futuro e questo potrebbe determinare una perdita di competitività per i paesi con maggiore attenzione alle tematiche ambientali.

Per quanto riguarda poi i metodi esistenti di trattamento delle scorie, essi non sono sempre pienamente compatibili sotto il profilo ambientale ed il valore intrinseco della scoria come prodotto per gli ulteriori possibili impieghi non è sempre completamente realizzato. Talune operazioni, prevedendo il contatto della scoria incandescente con acqua, non sono fra l'altro esenti da problemi

di sicurezza nel caso accidentale di ristagno di anche minimi quantitativi di acqua. Infine, la ripetibilità delle operazioni, in particolare per quanto concerne i cicli termici fatti subire alla scoria, non può essere assicurata e conseguentemente anche le caratteristiche della scoria a fine trattamento possono eventualmente non rispondere a tutti i requisiti richiesti per il loro riutilizzo.

Per quanto riguarda la scoria dell'EAF, questa attualmente viene fatta fuoriuscire dal forno inclinando il forno medesimo e lasciando trascinare la scoria attraverso la porta di scoricca. Nella maggior parte dei casi poi la scoria finisce o in una paiola, che una volta piena viene sostituita e all'interno della quale la scoria viene lasciata raffreddare, oppure è direttamente versata sul piano di lavoro inferiore a quello del forno, eventualmente raffreddata con getti di acqua e movimentata per ottenerne una prima disgregazione, e da qui trasportata nella zona di stoccaggio mediante mezzi meccanici. Destinazione ultima della scoria EAF è poi la discarica.

Per le sue potenziali caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche la scoria potrebbe oggi, in accordo con le normative Europee e Nazionali vigenti, essere destinata a vari tipi di impieghi; questo, in alternativa allo smaltimento, consentirebbe evidentemente di evitare di ricorrere allo sfruttamento di risorse naturali quali sabbie e ghiaie, senza per altro causare alterazioni negative dell'ambiente in cui viene impiegata. Per le stesse ragioni, la scoria EAF potrebbe poi essere impiegata anche per il recupero ambientale di quelle zone, quali ad es. cave, miniere, ecc., dove l'intervento dell'uomo ha determinato modifiche che non possono essere oggi tollerate.

Per essere utilizzata in tali ambiti la scoria da EAF necessita: a) di un trattamento meccanico di frantumazione che ne riduca le dimensioni a frazioni granulometriche di interesse commerciale, b) nel caso della presenza di frazioni di ossido di calcio e di ossido di magnesio non legati al di sopra di specifici limiti, di una prolungata stagionatura il cui fine è quello di promuovere un processo naturale di idratazione e carbonatazione, ossia una stabilizzazione di tali ossidi così da evitare qualsiasi problema di rigonfiamento e disgregazione, c) e soprattutto di una idonea messa a punto della sua composizione chimica, che soddisfi in primo luogo le esigenze del processo metallurgico, ma che consenta anche, attraverso un raffreddamento rigorosamente controllato, di evitare la presenza di costituenti strutturali in grado di rilasciare elementi non compatibili con l'ambiente in misura superiore rispetto a quella consentita nei test di cessione previ-

M. Svanera, S. Panza, F. Uberto
ASO Siderurgica S.r.l., Ospitaletto (Brescia)

R. Roberti
Università degli Studi di Brescia, Brescia

sti dalle normative [1-3].

L'impianto Slag-Rec che è stato realizzato presso MFL, Liezen (Austria) ed è attualmente in fase di installazione ed avviamento presso la acciaieria ASO, Ospitaletto (Brescia) intende realizzare la granulazione a secco della scoria, eliminando il contatto della stessa con acqua di raffreddamento, attuando allo stesso tempo un raffreddamento controllato e ripetibile in funzione del tipo di scoria da trattare.

Alcuni salienti aspetti del progetto, che è sostenuto da un finanziamento europeo nell'ambito del bando ECO-Innovation [4] e che vede come ulteriore partner Cabra Engineering, Rogno (Brescia) che ha curato la progettazione esecutiva dell'impianto, sono presentati nella presente memoria.

LO SVILUPPO DEL PROGETTO

L'idea originale alla base anche del brevetto depositato [5] è riassunta nello schema riportato in Fig. 1. Due cilindri in acciaio con assi paralleli, raffreddati mediante circolazione interna di acqua e controrotanti, favoriscono l'efflusso della scoria contenuta fra di essi attraverso la luce inferiore, di dimensioni variabili attraverso il controllo della loro distanza. Allo stesso tempo i cilindri provvedono ad un primo raffreddamento della scoria direttamente a contatto con la loro superficie in modo che la frazione solida che giunge in corrispondenza della sezione di uscita sia elevata, ma non completa. In tal modo, la scoria tende a disgregarsi, per effetto anche della sua intrinseca fragilità e delle tensioni interne che si instaurano nella parte solida. La scoria granulata che cade al di sotto dei cilindri è poi ulteriormente raffreddata da ugelli d'aria regolabili in numero, altezza, portata, ecc., in modo da poter tenere sotto controllo in maniera puntuale il ciclo di raffreddamento. Un sistema di trasferimento sottostante consente poi di evacuare la scoria fino a portarla, eventualmente, direttamente al luogo di stoccaggio.

A tale sviluppo embrionale sono seguite alcune fasi di sgrassatura del progetto attraverso l'esecuzione di un limitato numero di simulazioni numeriche iniziali e l'effettuazione di alcune prove sperimentali che hanno previsto anche la realizzazione di un prototipo estremamente semplificato.

Per le prime simulazioni numeriche ci si è avvalsi del programma di calcolo Procast della ESI; tali simulazioni avevano l'intento di valutare in prima approssimazione lo spessore di scoria solida che si forma nel corso del tempo a seguito del contatto con la superficie dei cilindri raffreddata e l'ordine di grandezza della temperatura sulla superficie dei cilindri, a seguito anche di tempi di contatto prolungati. Di tali simulazioni numeriche vengono dati nel seguito solo alcuni esemplificativi risultati, rimandando ad una successiva pubblicazione l'indicazione di tutti i dettagli relativi alle ipotesi adottate ed alle condizioni al contorno imposte.

Le simulazioni sono state condotte ipotizzando un bacino di scoria completamente pieno (condizione di massimo carico termico per i cilindri) e costante fra i cilindri (scoria ferma, rappresentativa di una condizione di funzionamento quasi statico con alimentazione di scoria pari a quella in uscita), mentre è stata imposta una rotazione dei cilindri con velocità rispettivamente di 0,5 e 2 giri/minuto. Data la simmetria del sistema se ne è studiata solo una metà; la mesh sviluppata è mostrata nella Fig. 2, e contiene un numero di elementi totali pari a 1040235 ed un numero di elementi fluidi pari a 103913.

La luce fra i cilindri è stata posta pari a 20 mm, ovvero la minima distanza originariamente prevista; i cilindri, di 1 m di diametro e di lunghezza pari a 2 m, per semplicità sono stati considerati pieni e realizzati con un acciaio da costruzione.

L'interfaccia fra scoria e superficie dei cilindri è stata impostata come nodi non coincidenti, e si sono adottati due differenti va-

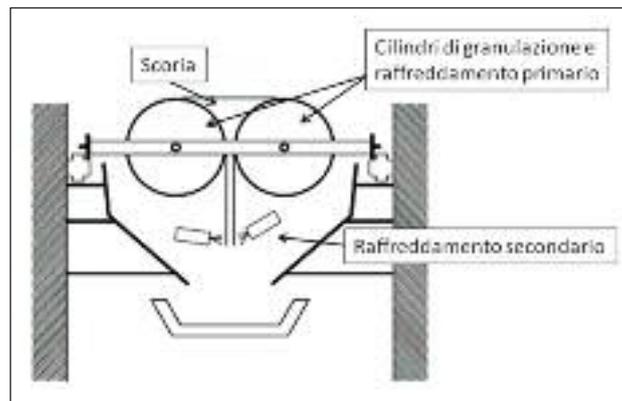


FIG. 1 *Rappresentazione schematica originale del sistema Slag-Rec.*

Schematic representation of the SLAG-REC® system.

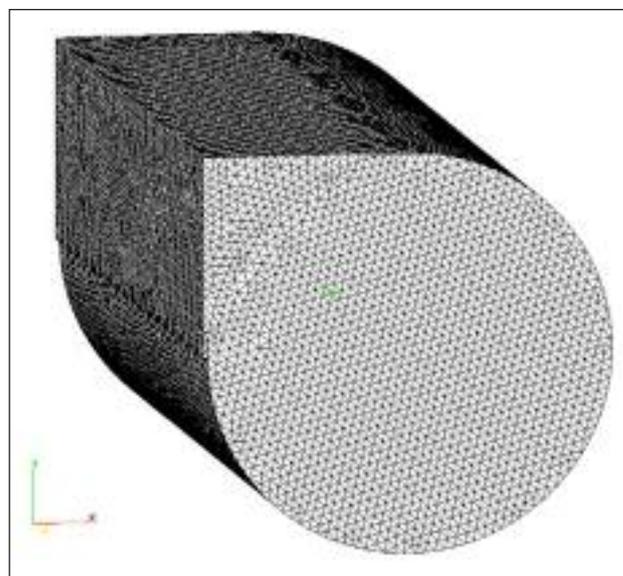


FIG. 2 *Mesh utilizzata per la simulazione.*

Mesh used for the simulation.

lori per il coefficiente di trasmissione del calore HTC, e precisamente 200W/m²K e 500W/m²K

Per tutta la superficie dei cilindri non a contatto con la scoria è stata considerata una condizione di scambio termico con l'aria (pari HTC = 10W/m²K); per la superficie superiore della scoria si sono imposte condizioni di adiabaticità, nell'ipotesi cautelativa che la continua alimentazione di scoria liquida mantenga elevata la temperatura sulla faccia superiore.

Infine, in corrispondenza della superficie di simmetria è stata impostata una condizione di adiabaticità.

Sempre per ragioni cautelative come condizioni iniziali si è imposta una temperatura della scoria pari a 1560°C; la temperatura iniziale dei cilindri è di 20°C.

I valori assunti per le altre grandezze necessarie per le simulazioni sono riportati nella Tabella I.

Le Figg. 3, 4 e 5 presentano i risultati delle simulazioni condotte per una velocità di rotazione dei cilindri = 2 giri/min e per un coefficiente di trasmissione del calore HTC = 200 e 500 W/m²K (Figg. 3 e 4) e per una velocità di rotazione dei cilindri = 0,5 giri/min e per un coefficiente di trasmissione del calore HTC = 500 W/m²K (Fig. 5); in esse è mostrata la frazione di scoria so-

TAB. 1

Materiali	Acciaio	Acqua	Scoria 1500°C	Scoria 1300°C	Scoria 1000°C	Scoria 20°C
Calore specifico [J kg ⁻¹ °C ⁻¹]	490	4.181,7	800	760	695	490
Conducibilità termica [W m ⁻¹ °C ⁻¹]	50	0,6069	1,5	1,3	1,0	1,0
Densità [kg m ⁻³]	7.850	997	1.600	1.900	2.250	3.300
Viscosità [Pa s]	-	8,899e-4	0,05	0,3	-	-
Calore latente [J kg ⁻¹]	-	-	-	250.000	-	-

FIG. 3

Frazione di scoria solida dopo 15 s (a), e dopo 30 s (b); soluzione per una velocità di rotazione dei cilindri $\omega = 2$ giri/min e per un coefficiente di trasmissione del calore $HTC = 200$ W/m²K.

Fig. 3 - Slag solid fraction after 15 s (a), and after 30 s (b); solution obtained for a cylinder rotating speed $\omega = 2$ rpm and for a heat transmission coefficient $HTC = 200$ W/m²K

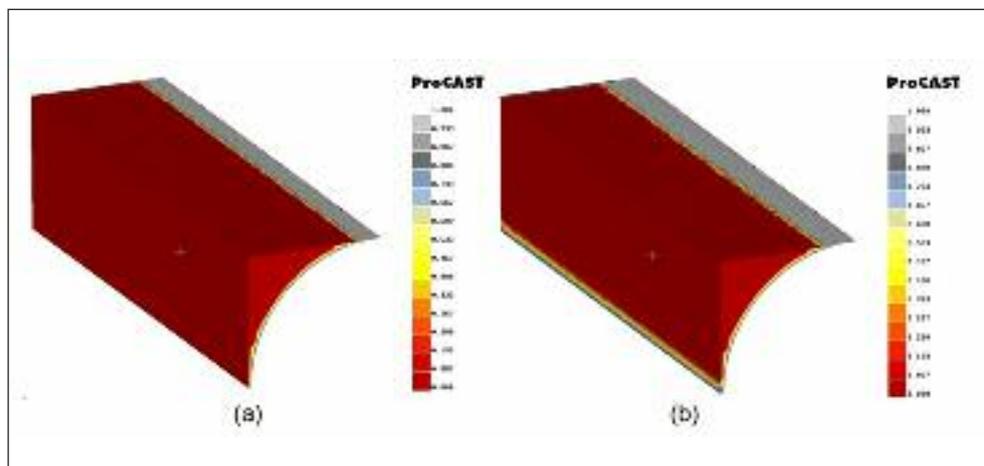
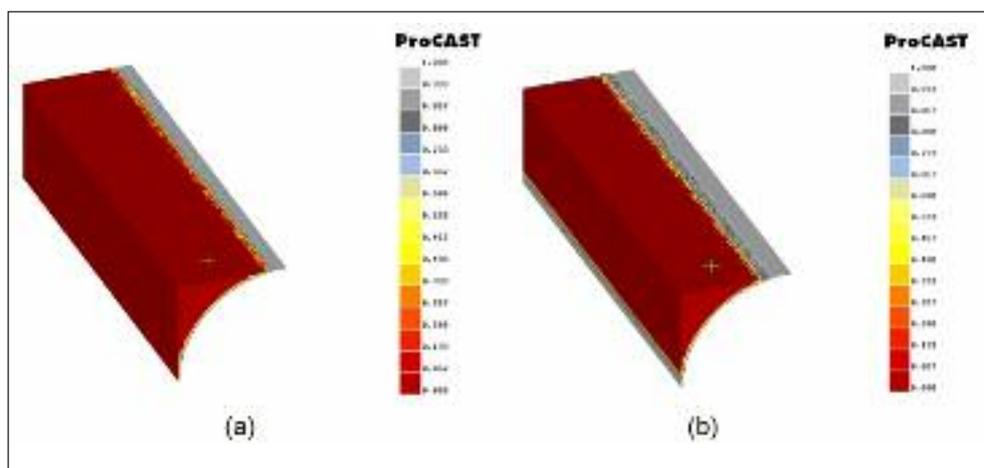


FIG. 4

Frazione di scoria solida dopo 15 s (a), e dopo 30 s (b); soluzione per una velocità di rotazione dei cilindri $\omega = 2$ giri/min e per un coefficiente di trasmissione del calore $HTC = 500$ W/m²K.

Fig. 4 - Slag solid fraction after 15 s (a), and after 30 s (b); solution obtained for a cylinder rotating speed $\omega = 2$ rpm and for a heat transmission coefficient $HTC = 500$ W/m²K



lida dopo 15 s e dopo 30 s di contatto tra scoria e cilindri in rotazione.

I tempi di 15 e 30 s sono stati scelti come rappresentativi, in qualche misura, di quanto può accadere ad piccolo strato di scoria che viene accompagnato dal cilindro in rotazione verso il basso a partire dalla sommità del cilindro fino alla sezione di uscita fra i cilindri, per velocità di rotazione di 1 giro/minuto (15 sec per un quarto di giro) e 0,5 giri/minuto (30 sec per un quarto di giro) che corrispondono alle velocità di rotazione inizialmente ipotizzate per realizzare la portata complessiva di trattamento della scoria desiderata.

I risultati delle simulazioni mostrano che per tempi di contatto fra scoria e cilindri compresi fra 15 e 30 sec si completa la solidificazione di tutta la scoria compresa fra i cilindri in corri-

spondenza della sezione di uscita e che quindi le condizioni di funzionamento ipotizzate per l'impianto di granulazione possono essere considerate ragionevoli.

Le stesse simulazioni hanno fornito anche informazioni di massima circa il carico termico per i cilindri, come mostrato nella Fig. 6 che riporta i risultati relativi alla distribuzione della temperatura sul cilindro, per una velocità di rotazione dei cilindri $\omega = 0,5$ giri/min e per un coefficiente di trasmissione del calore $HTC = 500$ W/m²K, dopo 300 s di contatto fra scoria e cilindri. Considerato che nella realtà i cilindri sono raffreddati mediante circolazione d'acqua e che la superficie di contatto è inferiore in quanto il pelo libero della scoria non è previsto che raggiunga, nemmeno a regime, il limite superiore dei cilindri, si è concluso che le temperature di funzionamento delle superfici dei cilindri

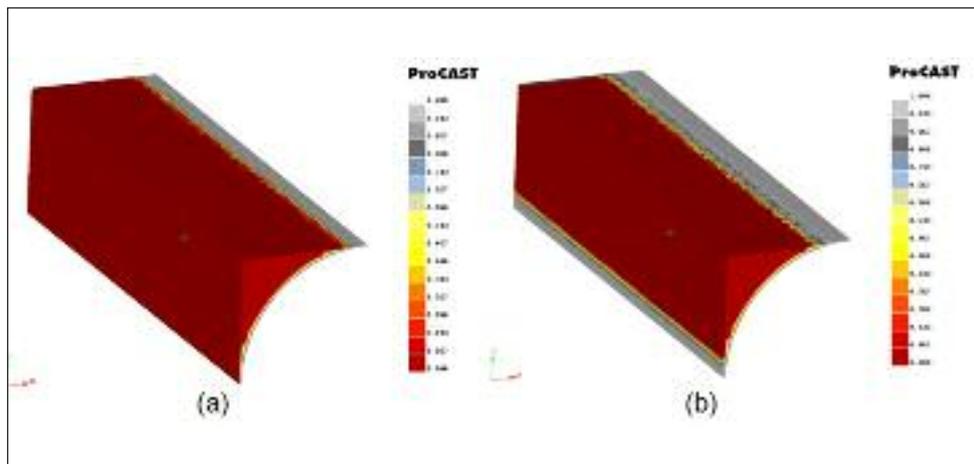


FIG. 5
Frazione di scoria solida dopo 15 s (a), e dopo 30 s (b); soluzione per una velocità di rotazione dei cilindri $\omega = 0,5$ giri/min e per un coefficiente di trasmissione del calore $HTC = 500$ W/m²K.

Fig. 5 - Slag solid fraction after 15 s (a), and after 30 s (b); solution obtained for a cylinder rotating speed $\omega = 0.5$ rpm and for a heat transmission coefficient $HTC = 500$ W/m²K

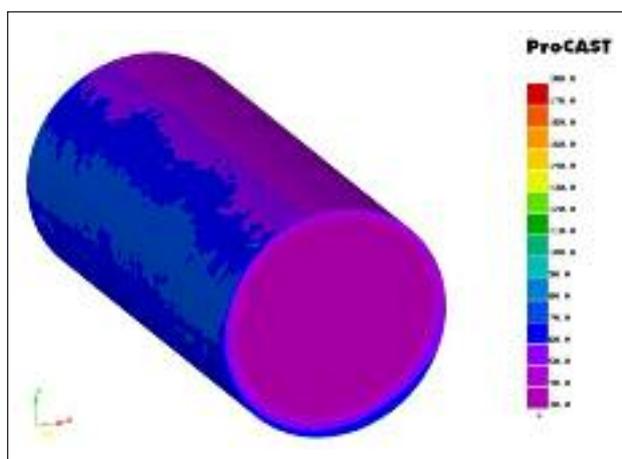


FIG. 6 *Distribuzione della temperatura sul cilindro dopo 300 s, soluzione per una velocità di rotazione dei cilindri $\omega = 0,5$ giri/min e per un coefficiente di trasmissione del calore $HTC = 500$ W/m²K.*

Surface temperature after 300 s; solution obtained for a cylinder rotating speed $\omega = 0.5$ rpm and for a heat transmission coefficient $HTC = 500$ W/m²K.



FIG. 7 *Impianto prototipo per l'esecuzione di prove di granulazione a secco di scoria EAF.*

Prototype system during a trial for EAF slag dry granulation.

sarebbero rimaste contenute, permettendo di adottare per la fabbricazione dei cilindri un semplice acciaio da costruzione. Ulteriori indicazioni di massima sulla possibilità di successo della idea originale sono emerse poi da alcune prove sperimentali condotte su un impianto prototipo estremamente semplificato (Fig. 7).

Pur avendo adottato scelte differenti per l'impianto pilota semplificato ad esempio relativamente alla luce fra i cilindri, la loro velocità di rotazione, ecc., le prove hanno comunque fornito una serie di indicazioni che hanno poi guidato nella progettazione definitiva dell'impianto. In primo luogo si è avuta conferma che si può arrivare a suddividere la scoria in maniera sufficientemente fine, in piccole lastre che sono facilmente macinate alle pezzature corrispondenti ad alcune tipologie di inerti commerciali (< 15 mm); si possono pertanto evitare in larga misura le operazioni di frantumazione e macinazione i cui costi, ritenuti solitamente bassi, sono per la scoria gravati dai problemi di usura degli utensili dovuta alla durezza della scoria medesima. Si è avuta altresì conferma che la superficie dei cilindri può lavorare per tempi sufficientemente lunghi a smaltire la scoria di una colata senza manifestare problemi di adesione; l'incremento di temperatura della superficie dei cilindri (di spessore di soli al-

cuni mm nell'impianto prototipo semplificato), pur in assenza di raffreddamento degli stessi, è risultato contenuto (max 220 °C). Pur non avendo adottato alcun sistema di raffreddamento secondario è emersa comunque l'importanza di tenere nella dovuta considerazione l'irraggiamento delle varie parti dell'impianto da parte della scoria ancora ad alta temperatura. Nel frattempo, in ottemperanza anche alle scadenze previste nell'ambito del progetto finanziato dalla Comunità Europea nell'ambito del bando ECO-Innovation, con il contributo principale del partner Cabra Engineering di Rogno (Brescia), si è proceduto alla progettazione dell'impianto in ogni suo dettaglio, per arrivare ai disegni costruttivi da consegnare ad MFL, Maschinenfabrik Liezen und Giesserei Ges.m.b.H, (AUSTRIA), terzo partner nel progetto europeo, per la realizzazione dell'impianto. Una vista tridimensionale d'insieme dell'impianto progettato in accordo alle esigenze logistiche, impiantistiche e produttive della

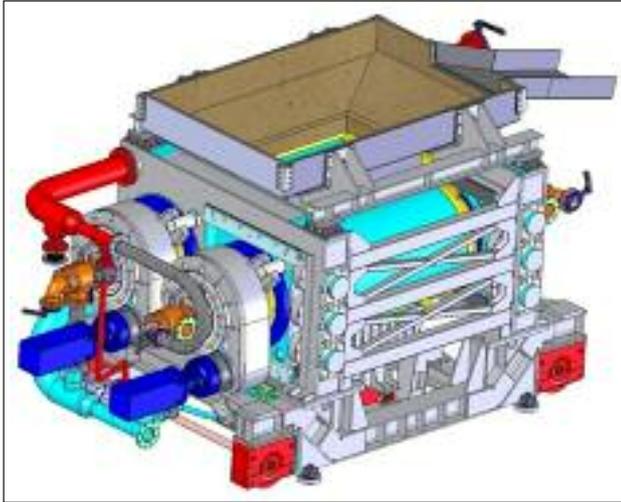


FIG. 8 *Disegno finale dell'impianto Slag-Rec progettato per essere installato presso la ASO Siderurgica S.r.l. di Ospitaletto (Brescia).*

Final drawing of the Slag-Rec system, designed for installing at ASO Siderurgica steelwork in Ospitaletto (Brescia).



FIG. 10 *Fotografia dell'impianto Slag-Rec in corso di assemblaggio presso MFL, Liezen (Austria).*

Slag-Rec system during assembling at MFL, Liezen (Austria).

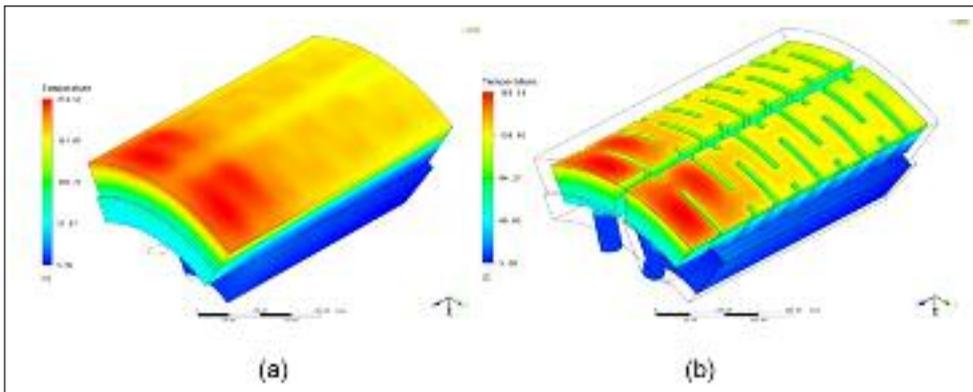


FIG. 9

Risultati della simulazione condotta relativamente alle temperature di equilibrio che si raggiungono sulle superfici esterna (a) ed interna (b) del mantello dei cilindri.

Simulated equilibrium temperatures at the outer and inner surfaces of the cylinders.

ASO Siderurgica è mostrata nella Fig. 8.

Una volta definite le varie parti costruttive dell'impianto si è proceduto ad ulteriori simulazioni numeriche di verifica, per quanto concerne ad esempio le temperature di equilibrio che si raggiungono sulle superfici esterna ed interna del mantello dei cilindri.

Le simulazioni sono state condotte sulla base delle seguenti assunzioni, talune delle quali adottate per avere condizioni di carattere conservativo:

- il carico termico per i cilindri è costituito dal calore che deve essere sottratto a tutta la scoria da trattare per raffreddarla al di sotto della temperatura di solidificazione
- il carico termico è stato distribuito su tutta la superficie dei cilindri; tale condizione è più critica in quanto non si considera il raffreddamento delle superfici per $\frac{3}{4}$ di ogni rotazione
- la durata del trattamento è stata fissata in 50 minuti
- le proprietà fisiche dei materiali usati nella simulazione sono quella riportate nella Tabella I.

Con riferimento a tali assunzioni, con una portata di acqua di 4000 l/min per una temperatura di ingresso della stessa di 35°C, si sono ottenute le temperature di equilibrio sulle superfici esterna ed interna del mantello dei cilindri mostrate in Fig. 9, in buon accordo con i risultati già ottenuti e con le indicazioni estrapolabili dalle prove condotte sull'impianto prototipo realizzato.

La Fig. 10 mostra infine l'impianto Slag-Rec in fase di allestimento presso MFL. L'installazione presso ASO Siderurgica si è conclusa come previsto alla fine del mese di settembre 2010 e contestualmente sono iniziate le campagne di prova di granulazione a secco della scoria EAF.

I VANTAGGI ATTESI DALL'ADOZIONE DEL SISTEMA SLAG-REC

I vantaggi che si potranno ottenere in seguito all'adozione del sistema Slag-Rec per il trattamento della scoria possono essere riassunti nei seguenti punti:

- 1) Il prodotto ottenuto dalla granulazione della scoria EAF ha caratteristiche controllate tali da renderlo adatto sia per le applicazioni già note, sia per eventualmente investigare e consolidare nuovi campi applicativi.
- 2) Le condizioni di lavoro, la sicurezza e l'impatto ambientale vengono migliorati in seguito alla riduzione di polvere, di rumore, di acqua di scarico connessi con le operazioni di raffreddamento e di frantumazione e con lo stoccaggio per l'invecchiamento ed in seguito alla eliminazione della possibilità di contatto fra scoria incandescente e locali residui di acqua di raffreddamento non evaporati.
- 3) Il trattamento diretto della scoria EAF liquida consente di risparmiare spazio nell'area da destinare al parco scoria.

- 4) Nel caso in cui le operazioni tradizionali di frantumazione ed invecchiamento rappresentino un ostacolo all'incremento della produzione, il sistema Slag-Rec può costituire una possibile soluzione.
- 5) Il sistema Slag-Rec per il trattamento della scoria EAF consente di ottenere un prodotto attraverso un trattamento controllato e documentato, rendendo disponibili elementi per la difesa in qualsiasi controversia di carattere ambientale in seguito al suo stoccaggio o ai suoi impieghi.
- 6) Il sistema aumenta la reputazione della acciaieria quale sistema produttivo attento alle problematiche ambientali e può risultare anche efficace nel proteggere dalle lamentele e nel favorire condizioni di buon vicinato.

RINGRAZIAMENTI

Il progetto è stato finanziato nell'ambito del Programma CIP-EIP-Eco-Innovation-2008, Progetto n. ECO/239025/SI2.538242 -

SLAG-REC: "A new system for 100% recycling of electric-arc furnace slag (SLAG-REC)".

Si ringrazia inoltre l'ing. Annalisa Pola dell'Università degli Studi di Brescia per le simulazioni numeriche condotte col programma Procast.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 1 - H. Motz, J. Geiseler, Waste Management 21 (2001) 285-293
- 2 - M. Frias Rojas, M.I. Sanchez de Rojas, Cement and Concrete Research 34 (2004) 1881-1888
- 3 - L. Muhmood, S. Vitta, D. Venkateswaran, Cement and Concrete Research 39 (2009) 102-109
- 4 - "A new system for 100% recycling of electric-arc furnace slag (SLAG-REC)", Progetto n. ECO/239025/SI2.538242, Programma CIP-EIP-Eco-Innovation-2008
- 5 - R. Roberti (2008). Impianto per il trattamento delle scorie del forno elettrico ad arco. Brevetto Italiano n. BS2008A000143

Abstract

An innovative system for the re-use of slag from the Electric Arc Furnace

Key-words: Slag, Electric Arc Furnace, Recycle, Slag-Rec

In most industrialized countries slag deriving from iron and steel production is considered a potentially re-usable by-product, not a waste. Converting costs for dismissing in dumps into income from selling slag offers remarkable savings to steel producers having at the same time important benefits for the environment. Nevertheless not all the produced slag gets re-used, with noticeable differences among recycling percentages of the different kind of plants.

Today almost all the slag deriving from blast furnaces (iron & steel making from iron ores) is mostly used in cement production and in cement conglomerates. On the other hand slag deriving from scrap melting in electric arc furnace steel works, the so called "black slag", is generally considered not suitable for use in cement conglomerates, but it can be used as an aggregate in road construction. The name black slag stems either from its dark color and also from the need to distinguish it from the "white slag", i.e. the secondary metallurgy slag from the ladle furnace, which has to be managed separately in view of the possible uses of the black slag.

EAF slag which is not discharged in dumps has to be manipulated in order to be re-usable in road infrastructures, but treating methods are not always fully environment friendly.

Slag is discontinuously discharged from electric-arc furnaces and is left to cool down to room temperature. Today EAF slag is gathered in large pots or it is simply poured on the ground, where it is eventually cooled with water, which is mainly employed in order to take under control excessive foaming that can continue also out of the furnace resulting in a friable, low density solid slag with a very extensive surface area. Solidification in blocks occurs in air, and the process is accelerated by water sprinkles. The obtained slag is not re-usable in blocks, it needs to be crushed and machined. Therefore, the existing methods to handle the EAF slag do not allow to take under control the slag cooling cycle.

Slags which are not chilled with water can undergo volume expansion during time, due to their lime and magnesia content and to their non glassy structure. In order to avoid swelling, the free lime content has to be reduced to max. 2-3 %, otherwise slag cannot be used for road construction, and it makes necessary further treatment. Slags with excessive free lime content should be stabilised by a seasoning period which can take months (depending on piece size). The actual process is not only needing a long time, but it is not even completely environment friendly since the moving operations produce dust, and the cooling or percolating water has a pH around 10 and may contain heavy metals.

A possible way to obtain a directly usable slag could be represented by a granulation treatment with the actually available process by pouring it into a large mass of water.

The main problems with water granulation are reported to be either the need of large quantities of water that must be treated to eliminate heavy metals, pH adjusted, and re-circulated, and the emission of dust.

Handling of slag out of the EAF is therefore not a simply and safe task even when slag is intended for dumping. Actual slag handling practices pose in fact the following problems:

- Slow or uncontrolled cooling rate
- Explosion hazard due to water sprinkles
- Need for further handling, in adverse conditions (handling hot liquid slag, tilting slag pits to pour slag on the ground, etc.) also when slag is to be dumped
- Crushing and milling to final size (dust emissions) if slag is to be re-used.

Obviously, it is not possible to transform EAF slag from a waste into a valuable co-product by applying exactly the same treatment cycles in use to prepare it for disposal into dumps, notwithstanding such treatment cycles generally have no problems in obtaining transformed slag that complies with regulatory restrictions; it is absolutely necessary to single out an appropriate range of chemical compositions that satisfy both the metallurgical process and the slag itself as a co-product, and to identify the critical

steps in the transformation of liquid slag into a well defined, reliable and reproducible product with a given mineralogical structure and strictly controlled mechanical and environmental properties, and to establish the proper operating practice to maintain these critical steps under control.

Chromium is one of the heavy metals that can be released by EAF slags during leach tests or in unbound uses in the environment; because of its harmful impact, especially Cr(VI) which is one of the pollutant of the environment and is also the most soluble of the multivalence chromium ions that can occur in EAF slags, chromium release is therefore of major concern for the potential uses of EAF slags.

Leaching behaviour of EAF steel slags is the most important parameter to be considered for slag reuse. Especially chromium release deserves special attention because of its adverse environmental impact and its not definitely established relationship with slag treatment parameters.

The most frequently considered parameter is rapid cooling, for example by water granulation, that can result in an amorphous slag, encapsulating metals and oxides, and thereby lowering the solubility of the heavy metals compared to rock material used for road making.

The cooling rate is a very important parameter in the formation of Cr⁶⁺ because this cation develops at low temperature (below 1228 °C).

Slags with a basicity factor $(CaO+MgO)/(SiO_2+Al_2O_3)$ higher than 1 may form glass when cooling rapidly, depending on chemical analyses of the smelt. However, the formation of glass in some investigated granulated slag samples has not been sufficient to enclose heavy metals and prevent them from leaching.

Besides glass formation, controlling cooling conditions can be a means of affecting mineral transformation and consequently the solubility of elements like chromium; rapid cooling should result in the prevention of leaching of chromium. Chemical compounds containing hexavalent chromium (Cr⁶⁺) that are not avoided by slow cooling are generally considered far more toxic than those containing the trivalent form (Cr³⁺). According to results in the literature, Cr⁶⁺ is usually formed at lower temperatures and rapid cooling reduces its formation by limiting the reaction kinetics.

ASO Siderurgica is the first to develop a complete solution for EAF black slag dry granulation to solve nearly all the problems connected with slag treatment out of EAFs.

The system, as shown in the original schema of Fig. 1 or better illustrated in the drawing in Fig. 8, consists of one couple of side-by-side contra-rotating cylinders, rotating on their respective horizontal axes. Above them a refractory lined containing structure hosts the liquid slag when it comes directly from the furnace or at the end of a gathering channel, or poured from a transferring ladle.

The water cooled cylinders rapidly cool down the slag in contact with their surfaces and disaggregate it while it passes through their gap. The main parameters that control the process are the rotation speed of the cylinders and the inter-axe distance; according to the slag characteristics these parameters can be adjusted in order to regulate the quantity of slag that is being processed per unit time and the slag mean temperature at the outlet of the gap between the cylinders.

Below the cylinders, on the opposite sides of the slag trajectory at the gap outlet, the slag cooling is further controlled by air or air/water spray nozzles.

The project was then further developed by means of simulation in order to assess the thickness of solid slag or the heating of the rotating cylinders. Results are reported in Figs. 3-6, and 9. Results show that with contact times of 15 to 30 sec. between slag and cylinders surface the slag is completely solid and is further cooled below the melting temperature at the exit from the cylinders. The new system for EAF slag dry granulation has now been installed at ASO Siderurgica steelwork in Ospitaletto (Brescia) and has undergone several trials. From these initial experiments it can be concluded that the new SLAG-REC[®] machine would be practically applicable to all EAFs; it will contribute to save slag from dumps and make it re-usable mainly for road construction and for cement conglomerations, resulting in

- less problems in handling hot slag for the steel works
- less waste transported to dumps from EAFs,
- less use of natural gravel for road construction (saving up natural resources),
- no transport and dismissing costs of slag to dumps,
- less water used in the overall electric arc furnace process,
- less emission of contaminant substances of slag to soil and atmosphere,
- "cleaner" steelmaking industry - healthier environment.