

SISTEMI DI INSUFLAGGIO GAS IN SIVIERA ACCIAIO: RELAZIONI TRA PROCESSO PRODUTTIVO E ESITO IN ESERCIZIO

Michele Martino, Stefano Audino, Roberto Peri

I tappi porosi hanno assunto un ruolo determinante nella produzione dell'acciaio di qualità, la loro funzione principale è il mescolamento del fuso in siviera con il fine di ottenere un bagno a composizione omogenea, la funzione di mescolamento del fuso viene espletata attraverso l'immissione in siviera di gas a regime turbolento. I sistemi di insuflaggio gas sono complessi composti da una carpenteria metallica in cui viene colata una gettata refrattaria nella quale per mezzo di diverse tecniche vengono creati i sistemi soffianti. Dal punto di vista refrattario le gettate che compongono i tappi porosi sono materiali ad alto tenore in allumina ($Al_2O_3 > 90\%$) e le materie prime più diffusamente utilizzate sono le allumine tabulari, le allumine calcinate, i corindoni bianchi e gli spinelli (classe $MgO-Al_2O_3$) non stechiometrici.

PAROLE CHIAVE: acciaio, affinazione, caratterizzazione materiali, processi

Cenni teorici - Gli spinelli

La scelta di queste materie prime è motivata dall'alta resistenza alla penetrazione che le miscele di questi materiali hanno nei confronti delle scorie. Numerosi studi [2, 3, 4, 5] sono stati fatti per spiegare la resistenza degli spinelli non stechiometrici alla penetrazione della scoria; innanzitutto lo spinello definito in quanto tale ha come formula bruta $MgAl_2O_4$. La cella cristallina che dà origine al cristallo dello spinello è di tipo cubico esacisottaedrica, in cui gli anioni O^{2-} formano un cella cubica a facce centrate mentre i cationi, Mg^{2+} e Al^{3+} , sono situati rispettivamente nelle posizioni tetraedriche e ottaedriche del reticolo formato dagli anioni (vedere Fig. 1). Per formare la cella base, che ripetuta nelle tre direzioni spaziali, dà il cristallo occorrono 32 atomi di ossigeno per cui si vengono a formare 32 siti ottaedrici di cui solo 16 occupati e 64 siti tetraedrici di cui solo 8 occupati. (Formula bruta cella cristallina $Mg_8Al_{16}O_{32} = A_8B_{16}O_{32}$). La struttura dello spinello è molto flessibile rispetto ai cationi che può incorporare, ed in fatti sono conosciuti più di 100 composti con la stessa formula bruta; in particolare con rispetto ad una unità di cella si possono avere:

$A_8B_{16}O_{32}$, $B_8(B_8A_8)O_{32}$ (per esempio la Magnetite $Fe^{3+}(Fe^{2+}Fe^{3+})_4$), $(A_{8/3}B_{16/3})(A_{16/3}B_{32/3})O_{32}$ e così via, con gli atomi in parentesi che occupano i rispettivi siti a random. La

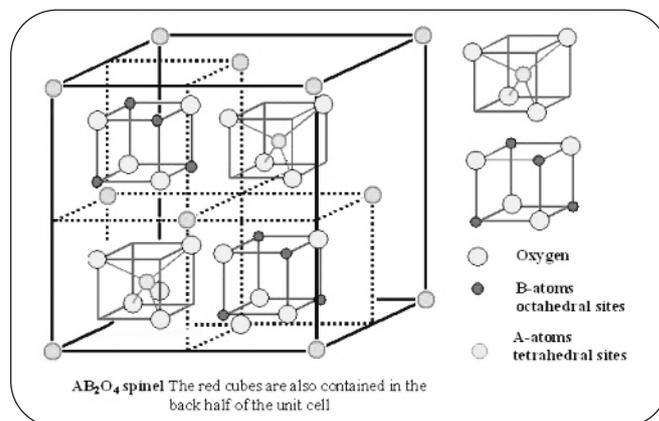


Fig. 1

Struttura spinello $MgAl_2O_4$ [1].

Spinel structure $MgAl_2O_4$ [1].

struttura dello spinello è interessante anche perché essa contiene delle vacanze reticolari come parte regolare del cristallo. In uno spinello non stechiometrico si ha una maggior quantità di un catione rispetto al rapporto stechiometrico 1 a 2 del normale spinello; così se questi cationi sono i classici Mg e Al si parlerà di Magnesio-rich spinel se prevale il Mg, se prevale l'Al si parlerà di Alumina-rich spinel. Nel caso degli spinelli arricchiti è chiaro che per mantenere l'elettro-neutralità i rapporti tra i vari elementi, rimanendo fisso il

Michele Martino, Stefano Audino, Roberto Peri
SANAC s.p.a.,
Laboratorio RES Vado Ligure (SV).

Analisi chimica ottenuta tramite fluorescenza a raggi x (XRF)			
Elementi	Conc %	Elementi	Conc %
Al ₂ O ₃	72.6	Na ₂ O	0.2
SiO ₂	0.2	Cr ₂ O ₃	0.0
Fe ₂ O ₃	0.1	MnO	0.0
TiO ₂	0.0	P ₂ O ₅	0.0
CaO	26.8	ZrO ₂	0.0
MgO	0.1	SO ₃	0.0
K ₂ O	0.0		
Analisi diffrattometrica (XRD)			
Fase	Formula	Importanza	
CA	CaO*Al ₂ O ₃	Fase principale	
CA ₂	CaO*2Al ₂ O ₃	Fase accessoria	
C ₁₂ A ₇	12CaO*7Al ₂ O ₃	Tracce	
CORINDONE	α-Al ₂ O ₃	Tracce	

▲
Tab. 1

Tipica analisi chimica e composizione mineralogica di un cemento alluminoso al 70%.
Typical analysis and mineralogical composition of a aluminous cement with 70 % of Al₂O₃.

Analisi chimica ottenuta tramite X-RAY fluorescence			
Elementi	Conc %	Elementi	Conc %
Al ₂ O ₃	81.5	Na ₂ O	0.2
SiO ₂	0.2	Cr ₂ O ₃	0.0
Fe ₂ O ₃	0.0	MnO	0.0
TiO ₂	0.0	P ₂ O ₅	0.0
CaO	18.0	ZrO ₂	0.0
MgO	0.1	SO ₃	0.0
K ₂ O	0.0		
Analisi diffrattometrica (XRD)			
Fase	Formula	Importanza	
CA	CaO*Al ₂ O ₃	Fase principale	
CA ₂	CaO*2Al ₂ O ₃	Fase accessoria	
CORINDONE	α-Al ₂ O ₃	Fase accessoria	
BETA ALUMINA	β-NaAl ₁₁ O ₁₇	Tracce	

▲
Tab. 2

Tipica analisi chimica e composizione mineralogica di un cemento alluminoso al 80%.
Typical analysis and mineralogical composition of a aluminous cement with 80 % of Al₂O₃.

Fase	C ₃ A	C ₁₂ A ₇	CA	CA ₂	CA ₆
C/A	3	1.7	1	0.5	0.2
Reattività a 20°C	Molto rapida (Very fast)	Rapida (fast)	Lenta (slow)	Molto lenta (very slow)	Non dà reazione (No reaction)

▲
Tab. 3

Reattività delle diverse fasi di un cemento con l'acqua. Note: C sta per CaO e A sta per Al₂O₃.
Reactivity of the various anhydrous cement phases with the water. Notes: C means CaO and A means Al₂O₃.

numero di ossigeni a 32, saranno numeri frazionari ed inoltre subentreranno fenomeni di distorsione reticolare per ottenere minimi effetti di repulsione elettrica tra i vari atomi con un conseguente aumento delle vacanze reticolari. Le vacanze reticolari hanno un ruolo determinante per spiegare la resistenza dei materiali basati su gli alumina-rich spinel nei confronti della scoria. Gli ossidi di ferro, FeO e Fe₂O₃, reagiscono con gli spinelli non stechiometrici (Mg_nAl_mO₃₂) a dare una soluzione solida di (Fe,Mg)OAl₂O₃ in cui gli ioni ferrosi vanno ad intercalarsi nelle vacanze reticolari venendo intrappolati all'interno della struttura cristallina. Un maggior numero di vacanze reticolari comporta la possibilità di intrappolare più cationi metallici. Il processo di assorbimento degli ioni avviene in maniera massiva sulla faccia calda del pezzo comportando una saturazione della struttura cristallina che a quel punto diviene più inerte chimicamente nei confronti della scoria.

Non avvengono solo le reazioni di intrappolamento ma un altro fenomeno importante è la reazione dell'ossido di calcio presente nella scoria e nel materiale (CaO del cemento) con l'allumina che porta alla formazione della Hibonite, un esa alluminato di calcio (CaO*6Al₂O₃). La reazione del CaO pre-

sente nella scoria con l'allumina a dare Hibonite porta con se due fenomeni importanti: l'innalzamento della viscosità della scoria vicino alla faccia calda del pezzo, poiché si ha un arricchimento in silice della scoria e la chiusura delle microfessurazioni sulla superficie del pezzo poiché la formazione di questa fase cristallina avviene con aumento di volume. Purtroppo questi fenomeni rallentano e diminuiscono l'azione della scoria ma non la bloccano poiché ad esempio la Hibonite può reagire a sua volta con la silice a dare fasi basso fondenti come la Gehlenite (2CaO*Al₂O₃*SiO₂) e la Anorthite (CaO*Al₂O₃*2SiO₂).

Cenni teorici - Il cemento.

Le gettate che compongono i tappi porosi [6, 7, 8, 9] appartengono alla categoria delle medio e basse in cemento e nella produzione di queste gettate vengono utilizzati cementi alluminosi con un tenore in Al₂O₃ del 70% e del 80 % (Vedere Tab. 1 e 2).

Il controllo della composizione mineralogica di un cemento è molto importante poiché influenza fortemente un parametro molto rilevante: il tempo di inizio presa; con tempo di inizio presa di una gettata refrattaria si intende quel lasso di

Temperatura	Reazioni di idratazione
<10°C	$CA + 10 H \rightarrow CAH_{10}$
10-27°C	$2CA + 11H \rightarrow C_2AH_8 + AH_3$ $CA + 10 H \rightarrow CAH_{10}$
>27°C	$3CA + 12H \rightarrow C_3AH_6 + 2AH_3$

▲
Tab. 4

Reazioni di idratazioni della fase CA. H sta per H₂O.

Hydration reactions of the phase CA. H means H₂O.

F[T(°C)+tempo]
$2CAH_{10} \rightarrow C_2AH_8 + AH_3 + 9H$
$3C_2AH_8 \rightarrow 2C_3AH_6 + AH_3 + 9H$

▲
Tab. 5

Evoluzione degli idrati nel tempo.

Evolution in time of the hydrated phases.

tempo che trascorre dall'aggiunta dell'acqua di impasto a quando il materiale mostra i primi segni di indurimento. Come si può vedere dalla Tab. 3 le fasi mineralogiche di un cemento presentano reattività diverse con l'acqua.

Dalla Tab. 3 si osserva che con il diminuire del rapporto C/A all'interno di una fase mineralogica si ha anche una diminuzione della velocità di reazione con l'acqua. Un altro fattore che influenza il tempo di inizio presa è la temperatura dell'ambiente di lavoro poiché come si può vedere dalla Tab. 4 essa va a influire fortemente sul tipo di idrati cioè i prodotti di reazione che si ottengono dalla reazione di idratazione delle fasi del cemento.

Dalla Tab. 4 si vede che per la fase CA si possono formare più idrati ma solo la fase C₃AH₆ è una fase stabile quindi tutti gli idrati che si formano dovranno evolvere a questa fase (Vedere Tab. 5):

Si nota subito che a una temperatura maggiore di 27°C si forma direttamente una fase stabile e quindi il tempo di inizio presa sarà più veloce mentre al diminuire della temperatura occorrono più reazioni prima di giungere ad una fase stabile e di conseguenza un tempo di presa più lungo, senza dimenticare che la velocità di ogni singola reazione dipende dalla temperatura secondo l'equazione di Arrhenius. Il meccanismo con cui avviene l'idratazione del cemento passa attraverso tre distinte fasi: dissoluzione delle fasi anidre, nucleazione degli idrati, e precipitazione degli idrati quando i nuclei hanno superato il diametro critico. La forza motrice del sistema è data dalla minor solubilità degli idrati rispetto alla specie anidre. La messa in opera delle gettate che compongono i sistemi di insuflaggio gas dovrebbe avvenire in stanza climatizzata sia per ovviare ai possibili problemi di tempo di presa sia per uniformare ed alzare la qualità della produzione. Una conseguenza diretta delle considerazioni precedentemente fatte è che il cemento è uno degli elementi fondamentali nella richiesta d'acqua di una gettata; l'altro elemento fondamentale è la percentuale di materiale con diametro medio < 0.2 mm. La differenza fondamentale tra i due elementi è che il cemento lega chimicamente a se l'acqua, mentre per le altre materie prime l'acqua è adsorbita con interazione di tipo fisico in quantità dipendente dalla bagnabilità, porosità ed area specifica di ogni singola mate-

ria prima. La conseguenza diretta è che in essiccazione l'ultima acqua residua nel pezzo è dovuta agli idrati del cemento. Le reazioni di idratazioni delle fasi cristalline del cemento continuano nelle 24 ore successive al getto del pezzo. Durante il processo di essiccazione si possono distinguere diversi processi a seconda della temperatura:

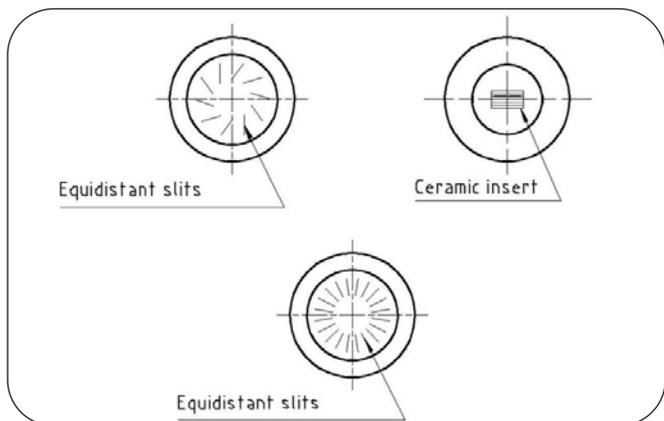
- 110°C: si ha l'evaporazione dell'acqua non legata e le reazioni di idratazione sono nettamente spostate verso i prodotti di reazione con la formazione della massima quantità di idrati. La fase AH₃ è presente come Gibbsite. A questa temperatura si hanno le più alte caratteristiche meccaniche dovute all'estesa formazione del legame idraulico.

- tra 110 e 400°C: si ha il graduale decomporsi delle fasi AH₃ e C₃AH₆ a dare fasi anidre amorfe e vapore acqueo; a seguito di questi processi si ha un incremento della porosità e con lo scomparire degli idrati si ha una diminuzione delle caratteristiche meccaniche.

- Tra 400 e 900°C: continua la deidratazione della fase C₃AH₆ a dare C₁₂A₇H e la fase Gibbsite è trasformata in allumina idrata, tutto questo avviene con un decremento delle caratteristiche meccaniche e un ulteriore aumento della porosità. Un aiuto notevole nel processo di essiccazione è dato dalle fibre organiche che ormai vengono normalmente aggiunte in una gettata refrattaria; le fibre di solito sono in polipropilene che ha una temperatura di fusione di circa 170°C; nel processo di essiccazione una volta superata tale temperatura per lo scioglimento delle fibre si crea un network di canali. Tale rete permette una migliore fuoriuscita dell'acqua di idratazione del cemento evitando quei fenomeni di tensionamento e di fessurazione nel materiale ed inoltre migliora la resistenza allo sbalzo termico poiché si ha un aumento della porosità del materiale nei mesopori.

I SISTEMI DI INSUFLAGGIO GAS

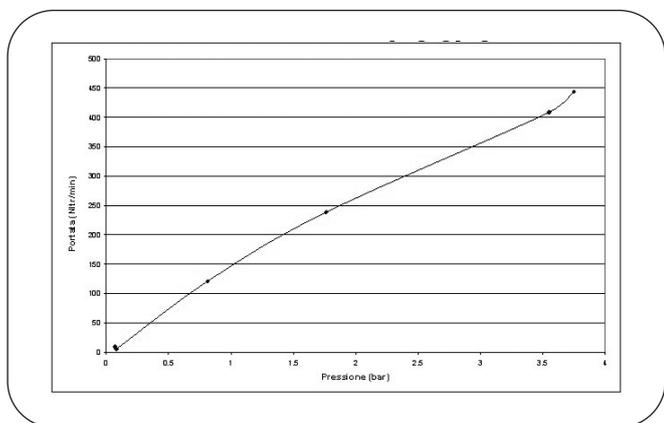
Gli elementi soffianti in un tappo poroso sono di estrema importanza in quanto espletano la funzione principale per cui viene usato il tappo. Oggi giorno vengono usate le più disparate geometrie per garantire il soffiaggio del tappo ma uno dei sistemi più diffusamente usati è il sistema lamellare. Il sistema lamellare consiste nel creare direttamente delle lamelle nella gettata refrattaria che compone il tappo; le lamelle di solito hanno uno spessore che può variare tra i 0.1-0.3 mm. Un primo metodo per creare le lamelle è quello di utilizzare dei lamierini dello spessore desiderato e, quando il materiale è vicino all'inizio presa, cioè incomincia ad indurire, questi lamierini vengono strappati dal tappo creando la lamella; per fare ciò è necessario gettare a temperatura costante in modo che il tempo di inizio presa del materiale rimanga costante. Un secondo metodo che oggi giorno sta prendendo sempre più campo consiste nell'utilizzare al posto dei lamierini un opportuno materiale plastico che in sede di essiccazione del tappo brucia creando la fessura di soffiaggio. Questo secondo metodo è preferibile al primo poiché il tappo una volta gettato non deve essere più seguito da alcun operatore e con la bruciatura della plastica si è sicuri di ottenere lamelle della dimensione e della geometria voluta poiché l'essiccazione avviene quando il materiale è perfettamente indurito. Un altro metodo per creare il sistema soffiante consiste nell'utilizzare un pezzo refrattario preformato, già cotto; in questo caso la gettata refrattaria serve come mezzo di ancoraggio del sistema soffiante alla carpenteria metallica del tappo. I sistemi ceramici utilizzati per creare il sistema soffiante sono generalmente materiali crea-



▲
Fig. 2

Sezioni tipi di sistemi flussanti.

Various purging plug systems section.

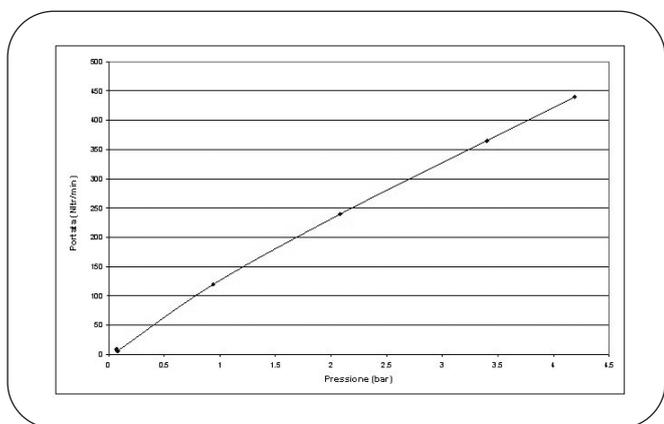


▲
Fig. 3

Flussometria di un tappo poroso con sistema lamellare.

This chart shows a flowmeter of a purging plug with slits.

This chart shows a flowmeter of a purging plug with slits.



▲
Fig. 4

Flussometria di un tappo poroso con inserto in ceramica.

This chart shows a flowmeter of a purging plug with ceramic insert.

This chart shows a flowmeter of a purging plug with ceramic insert.

ti a pressa con impasti a base di allumine tabulari e corindoni bianchi o magnesite e sinterizzati ad elevate temperature (vedere Fig.1).

Per garantire che il tappo poroso soffi, esso viene testato con misure flussometriche. Questa procedura ha un duplice scopo: testare qualitativamente e quantitativamente il tappo poroso per controllare la rispondenza alle portate prestabilite e quindi ammetterlo tra i prodotti o scartarlo, e contemporaneamente, se il sistema soffiante è ottenuto attraverso la bruciatura della plastica, liberare le lamelle dai residui di combustione.

Qui di seguito vengono riportati i grafici di prove flussometriche eseguite sia su tappi con sistema a lamelle sia su tappi con inserto ceramico; in questi grafici sono riportate in ascisse le pressioni in bar ed in ordinate le portate in Nltr/min (Vedere Fig. 2 e 3).

PARTE SPERIMENTALE

In questa parte si è cercato di correlare le caratteristiche fisico meccaniche di tre gettate che possono essere impiegate nella produzione di tappi porosi in funzione della temperatura di essiccazione. Dei tre prodotti impiegati, due sono gettate con un tenore a medio cemento (Prodotto A e B), mentre l'altro prodotto è una gettata a basso cemento (Prodotto C). Di ogni materiale (vedere Tab. 6) sono stati creati, per mezzo vibrazione (Ampiezza onda di vibrazione ± 0.75 mm, tempo di vibrazione 3 min), 14 provini cilindrici (Dimensioni: diametro = 50 mm, altezza = 50 mm) sottoposti poi a diverse temperature di essiccazione: (110, 210, 310, 410, 510, 610, 710) $^{\circ}$ C.

Ad ogni temperatura sono state misurate le seguenti caratteristiche fisico meccaniche: porosità aperta (PA), peso volume idrostatico (PVi), il carico di rottura (RC) e la perdita in peso rispetto al provino lasciato essiccare 24 ore all'aria. I risultati ottenuti sono riportati in Tab. 7.

Dalle misure effettuate si vede che:

1. le porosità crescono in funzione della temperatura, mentre il peso volume idrostatico diminuisce all'aumentare della temperatura di essiccazione;
2. le curve che danno le perdite in peso dei vari prodotti evidenziano una maggiore pendenza nell'intervallo 110-310 $^{\circ}$ C



▲
Fig. 5

Apparecchiatura per misure flussometriche.

Instrument for flowmeter measurement.

Composizione chimica	Allumina	Clinker A	Clinker B	CA	
				70%	80 %
Al ₂ O ₃	99,7	77	93	72	81
MgO	Tr	22,5	7	Tr	tr
CaO	Tr	tr	tr	28	19
SiO ₂	Tr	tr	tr	Tr	Tr
	Gettata A	Gettata B	Gettata C		
Allumina	X	X	X		
Clinker A		X	X		
Clinker B			X		
CA 70%		X	X		
CA 80%	X				
H ₂ O	7.5	5	4.6		

▲
Tab. 6

Analisi materie prime gettate e componenti miscele testate.

Note: tr = tracce, CA = cemento alluminoso.

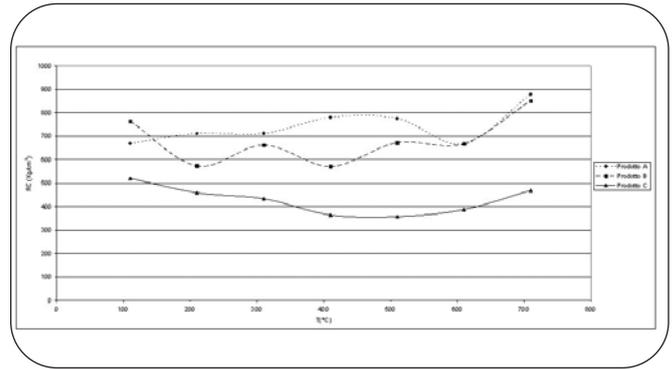
Chemical analysis of the raw material used for make the castables and the components of the mixture tested. Notes: tr=trace, CA= aluminous cement.

	Temperatura (°C)	RC (Kg/cm ²)	PA (%)	PVi (g/cm ³)	ΔP (%)
Prodotto A	110	670	15,3	2,92	-2,02
	210	711	18,8	2,82	-3,30
	310	711	19,2	2,82	-4,71
	410	780	20,1	2,82	-5,01
	510	775	20,6	2,81	-5,30
	610	668	20,6	2,73	-5,56
	710	879	21,2	2,73	-5,75
Prodotto B	110	764	10,4	3,02	-1,25
	210	573	13,8	3,01	-1,77
	310	662	14,6	2,98	-2,67
	410	571	15,7	2,98	-2,96
	510	673	16,7	2,98	-3,03
	610	668	17,2	2,98	-3,12
	710	851	17,8	2,97	-3,23
Prodotto	110	520	14,0	3,07	-1,33
	210	459	14,7	3,07	-1,71
	310	433	16,5	3,05	-2,56
	410	364	16,7	3,05	-2,62
	510	357	16,7	3,05	-2,77
	610	387	16,9	3,05	-2,84
	710	469	17,2	3,05	-2,91

▲
Tab. 7

Caratteristiche fisico meccaniche misurate.

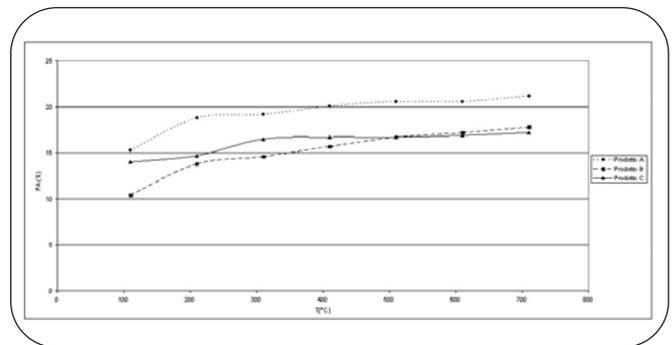
In this table are showed the mechanical physical characteristics measured, RC=cold crushing strength, PA=open porosity, PVi=bulk density, ΔP=difference of weight between the sample dried for 24 hours at 25°C and the sample dried 5 hours at the various temperature.



▲
Fig. 6

Andamento del carico di rottura in funzione della temperatura.

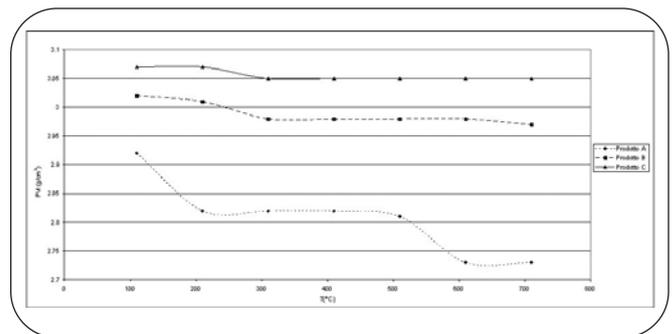
Cold crushing strength after drying vs drying temperature.



▲
Fig. 7

Andamento della porosità aperta in funzione della temperatura.

Open porosity after drying vs drying temperature.



▲
Fig. 8

Andamento del peso volume idrostatico in funzione della temperatura.

Bulk density after drying vs drying temperature.

ma in ogni caso si registra un calo in peso dei provini fino alla temperatura di 710°C;

3. il carico di rottura invece non ha un andamento uniforme; una tendenza registrata in tutti e tre i materiali è data dal fatto che a 710°C si registra un innalzamento del loro carico di rottura ed in special modo per i prodotti A e B il carico di rottura a 710°C è più alto che a 110°C dove si ha la massima formazione del legame idraulico.

I dati raccolti sono solo in parte coerenti con la teoria sopra

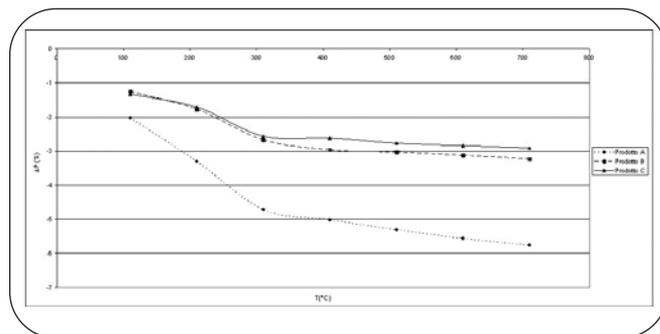
enunciata: la porosità aumenta all'aumentare della temperatura di essiccazione poiché si creano delle cavità ove prima vi erano gli idrati del cemento, una caratteristica non in accordo con la teoria è il carico di rottura: dalla teoria il carico di rottura dovrebbe diminuire invece in due casi su tre è stato rilevato un andamento altalenante; la spiegazione del carico di rottura più alto a 710°C probabilmente è data dal fatto che i materiali hanno raggiunto una più alta stabilità chimica, non intercorrendo più massivamente reazioni di disidratazione, e probabilmente i fini micrometrici presenti nel materiale danno un principio di sinterizzazione. L'andamento altalenante a temperature più basse può essere spiegato dall'esistenza di idrati di alluminio che forniscono un substrato legante nella matrice dei prodotti. Andando ad analizzare i risultati ottenuti dalla misura della perdita in peso dei prodotti è stato evidenziato che nel range 310÷710°C il calo in peso dei prodotti è dell'ordine dello 0.2÷0.5%. Questo dato è importante poiché, specialmente in un prefabbricato come i sistemi di insuflaggio gas che in esercizio non hanno possibilità di sfogo in quanto la gettata è racchiusa nella carpenteria metallica e in esercizio subisce anche la pressione dell'acciaio, tutta l'acqua residua nel pezzo genererà sacche di vapore che possono provocare cricche nel refrattario.

Tappo	IR	Tappo	IR	Tappo	IR
1	99	22	85	43	96
2	90	23	101	44	91
3	79	24	71	45	44
4	102	25	99	46	99
5	98	26	78	47	100
6	66	27	100	48	101
7	76	28	79	49	100
8	66	29	96	50	101
9	93	30	99	51	101
10	100	31	32	52	102
11	71	32	100	53	102
12	56	33	101	54	101
13	71	34	100	55	99
14	68	35	17	56	102
15	99	36	98	57	101
16	66	37	100	58	99
17	100	38	101	59	102
18	67	39	88	60	99
19	67	40	100	61	99
20	82	41	29		
21	76	42	62		

▲
Tab. 8

Indice di rendimento tappi porosi.

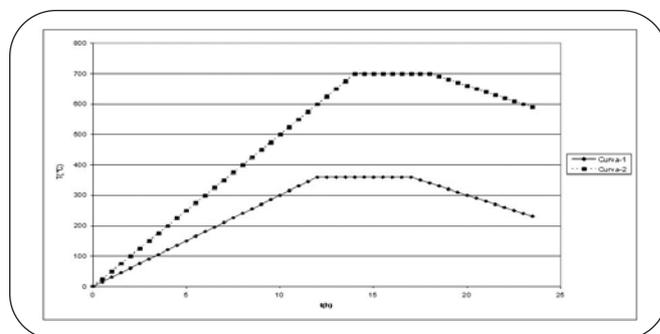
Behaviour of purging plugs (with slits) in an Italian steel plant. IR is the parameter for check the behaviour of purging plug: IR=100 the purging plug has purged for all time required, IR<100 the purging plug is substituted before of the number of tapping required.



▲
Fig. 9

Andamento della perdita in peso in funzione della temperatura.

Difference of weight between the sample after drying 24 hours at 25°C and the sample after drying 5 hours at the various temperature.



▲
Fig. 10

Curve di essiccazione tappi.

Curves of drying; curve 1 is a standard curve, curve 2 is a experimental curve.

RELAZIONE TRA CURVE DI ESSICCAZIONE ED ESITO IN ESERCIZIO

Le curve di essiccazione (vedere Fig. 10) che normalmente si usano in un processo produttivo prevedono di portare un pezzo prefabbricato in gettata ad una temperatura compresa tra i 350 e i 400°C; queste temperature garantiscono che nel pezzo rimanga una piccolissima percentuale di acqua. Nella maggioranza dei casi quest'acqua non dà problemi ma nel caso dei sistemi per insuflaggio gas, che in esercizio non hanno vie di sfogo, quest'acqua può creare delle microcricche nella matrice refrattaria. Le microcricche sono i punti di discontinuità dove si ha una concentrazione delle forze dovute alle sollecitazioni che il tappo riceve in esercizio; la conseguenza diretta è che in esercizio o in fase di pulizia del tappo si possono staccare pezzi di matrice refrattaria con un conseguente minore rendimento del tappo in esercizio.

Nella Fig. 10 sono mostrate una curva di essiccazione standard (Curva 1) con una temperatura massima di 360°C e una curva di essiccazione dei tappi (Curva 2) con una temperatura massima di 700°C. Nella Tab. 8 invece sono riportati i dati di rendimento, riscontrati in un'acciaieria italiana, di tappi porosi, con sistema soffiante a slot. Nella Tab. 8 è riportato l'indice di rendimento (IR) del tappo poroso: IR = 100, il tappo ha fatto tutta la campagna desiderata, IR<100 il

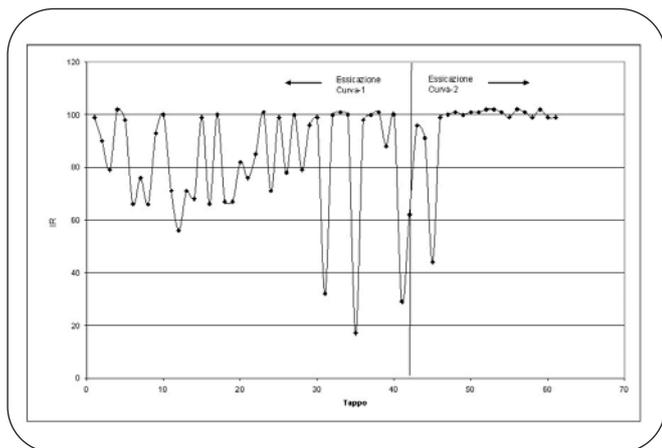


Fig. 11

Andamento dell'indice di rendimento tappo poroso. IR vs number of purging plug.

tappo è stato sostituito prima della fine campagna. Con i dati della Tab. 8 è stato creato il grafico mostrato in Fig. 11.

CONCLUSIONI

L'esito di un prefabbricato in esercizio è dato da molte variabili; in questa memoria in cui sono stati trattati i sistemi di insuflaggio gas è stato riscontrato che la resa in esercizio di un tappo è anche condizionata dalla temperatura di essiccazione; a questa temperatura è correlata sia la stabilità chimica del

materiale, vedi reazioni di disidratazioni del cemento, sia le caratteristiche meccaniche che a 700°C, grazie all'inerzia del materiale e ad un inizio di sinterizzazione, sono più alte che a 360°C.

BIBLIOGRAFIA

- 1] http://ff.uni.kiel.de/matwis/amat/def_en/kap_2/basics/b2_1_6.html
- 2] Hisaki Sumimura, Takashi Yamamura, Yukitoshi Kubota, Toshihiko Kaneshige, "Study on slag penetration of Allumina-Spinel castable"; UNITECR.
- 3] Izumi Ohishi, Ritsu Ebizawa; "Application of Allumina-Spinel Casrable refractories to steel ladle"; UNITECR.
- 4] K. Fujii, I. Furusato, I. Takita; "Composition of Spinel clincker for teeming ladle casting materials"; UNITECR.
- 5] S.Mukhopadhyay, P. K. Das Poddar and G. Banerjee; "Influence of preacted and self reacting on the characteristics of high Allumina castables"; UNITECR.
- 6] Christopher Parr, Fabien Simonin, Bruno Tuozzo, Christoph Wöhrmeyer, Benoît Val de Lièvre, Akiniko Namba; "The impact of calcium alluminate cement hydration upon the properties of refractory castables"; presented at TARJ meeting, Ako, Japan September 2004.
- 7] Pierre Meunier, Lionel Ronsoux; "Permeability and dehydration of refractory castables";
- 8] Bituozzo, F.Simonin, C. Wöhrmeyer, C.Parr; "Microstructural changes in calcium alluminates cement bonded castable systems";
- 9] Zhou Ningsheng, Liu Min, Zhang Sanhua; "Thermal behaviour in relation to different bindings of allumina based castables in a temperature range 20-1000°C".

ABSTRACT

PURGING PLUGS SYSTEM IN STEEL LADLE: CORRELATIONS BETWEEN PRODUCTION PROCESS AND PERFORMANCE

Keywords: purging plug, steel casting, ladle

In the production of monolithic refractory precast a careful raw material selection is a necessary factor but isn't enough to obtain a good monolithic refractory at the end of the productive process; an other factor is that each raw material must be properly balanced compared to other raw materials and there are many factors able to carry out a different behaviour of the product while used. In this article we are going to explain the relation between the processing variables and the behaviour of one particular category of precasts: i.e. the gas purging plug systems. The refractory that can be used for the creation of the gas purging plug systems are medium and low cement castables and the raw materials that are used for the castables constitution are chosen because of their active behaviour compared with steel and slag. Those raw materials belong at the spinel class and in particular they belong at the alumina rich spinel class; in these compounds a fundamental role, for to explain their resistance to steel and slag, are the reticular vacancies normally present in their crystal structure. Those raw materials are able to include in

their reticular vacancies cations (For example Fe^{2+} , Fe^{3+}) to form new compounds belonging to the spinels class. An other most important element in the castables formulation is the cement used in the productive process; cement in fact plays a primary role in the castables de-hydration phase because the residual water in the precast derives from the cement hydration anhydrous phases. In this article has been done a experimental work to check the behaviour of three product normally used to produce the purging plug system. This three materials have been dried at various temperature, (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700)°C, to simulate the drying processes and for each temperature have been measured the mechanical and physical characteristic; besides has been done a study to check the residual water present in the three material after each temperature of drying. The conclusion of this study are that already at the 300°C a big amount of water is taken out of the precast but has been showed a presence of water as far as at the 700°C. Besides in this item are showed the various purging plug systems and their control methods and the purging plug systems effectiveness evaluation through flowmeter measurings are also shown.

Finally is showed the behaviour, in a Italian steel plant, of a kind of purging plug system dried with a standard curve of drying and dried with experimental curve of drying; the results shows the better performance of plugs with the new drying process.