

انتخاب نسوز با کیفیت و روش طراحی برای استفاده در کف پاتیل های ظرفیت بالای فولاد

چکیده:

عمر نسوز پاتیل های فولاد عمدتاً وابسته به نحوه عملکرد نسوز کف بوده زیرا تعمیر مجدد آن مشکل می باشد. علاوه بر ساییش و نفوذ فولاد که عمومی ترین خوردگی در همه نواحی کف میباشد شدت ضربه اولیه فولاد مذاب در قسمت ضربه گیر بیشترین فشار مکانیکی را وارد میکند. عمر نسوز در پاتیل های ظرفیت بالا رفتار جداگانه ای دارد زیرا لایه کاری در پاتیل های بزرگ به نسبت پاتیل های کوچک بشدت در معرض فشارهای مکانیکی - حرارتی می باشد. بنابراین انتخاب صحیح نوع نسوز و طراحی لایه برای پاتیل هائی با ظرفیت بالادارای اهمیت ویژه ای است. تولیدکنندگان نسوز بر اساس تجهیزات متالورژیکی و فرایند تولید فولاد آجرها و جرمهایی با کیفیت : $MgO - C, Al_2O_3 - MgO, MgO - Al_2O_4 - C$ را توصیه می کنند. الگوی نسوز چینی با آجر برای لایه کاری یک طرح مطلوب و با کارائی بهتر برای کف پاتیل می باشد.

این مقاله در رابطه با جدیدترین طراحی نسوز و همچنین آجرهای AMC توسعه یافته و عملکرد خوب آن در پاتیل های 350 تنی در یک واحد فولاد سازی در اروپا بحث مینماید.

1 - مقدمه:

میزان خوردگی نسوز در ناحیه ضربه گیر کف پاتیل فولاد بالا است و خوردگی در این ناحیه عمدتاً به علت ضربه، شوک حرارتی، ساییش و نفوذ فلز مذاب میا شد. همچنین خوردگی مواد نسوز غالباً وابسته به کیفیت نسوز مصرفی و فرایند تولید میباشد. تقریباً در چند دهه گذشته از نسوز های آلومین بالا در دیواره و کف پاتیل استفاده می کردند، این نسوز ها دارای مقاومت به خوردگی و حرارتی نسبتاً پایین و همچنین در آغاز ذوب دارای انبساط دائمی زیادی میباشد که منجر به ترکیدن و ورقه ورقه شدن می گردد. اما در ذوب های بعدی این انبساط وجود نداشته و منجر به باز شدن درز بین آجرها و نفوذ فولاد میگردد.

تحول کاربرد گرافیت در مواد نسوز منجر به ابداع آجر منیزیا - کربن برای استفاده در کف پاتیل شد که باعث بهبود مقاومت در مقابل پوسته شدن و همچنین خوردگی در دو دهه گذشته گردیده است. بعد از توسعه آجرهای آلومینا - منیزیا - کربن (AMC) در سالهای اخیر، استفاده از آنها به علت مقاومت ساییشی بهتر و انبساط دائمی مناسب بیشتر شده است. نسوزهای AMC همچنین خواص مکانیکی حرارتی عالی دارند. تغییرات خطی پایدار مثبت در آجر های AMC مربوط به تشکیل فاز اسپینل است که منجر به بسته شدن درز بین آجرها و جلوگیری از نفوذ فلز مذاب میشود. اما این انبساط باید در حد معقول کنترل گردد بطریقی که از یک سو از نفوذ فولاد ممانعت و از سوی دیگر آنقدر زیاد نباشد که باعث سرشکن شدن آجرها گردد.

انتخاب آلومینا با کیفیت مناسب جهت تولید آجر AMC برای ناحیه ضربه گیر بویژه در پاتیل های با ظرفیت بالا به منظور مقاومت مناسب در مقابل ضربه فولاد مذاب از اهمیت بالایی برخوردار است.

2- روش آزمایش :

1.2 نمای کلی :

در گام نخست جهت بهبود خواص ترمومکانیکی ، نسبت آلومینای ذوبی قهوه ای و بوکسیت کلسینه مورد توجه قرار گرفته است . آلومینای ذوبی یک ماده اولیه مصنوعی با سختی بالا بوده که می تواند مقاومت بسار بالایی را در آجر AMC در کف پاتیل در مقابل ضربات مستقیم فلز مذاب در هنگام ریختن از کنورتور بدهد. همچنین جهت کنترل تشکیل فاز اسپینل درجا علاوه بر اصلاح کیفیت و کمیت آلومینا و منیزیا ، همزمان دانه بندی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است ، زیرا ابعاد ذرات نقش حیاتی را باز میکنند. اندازه و سطح دانه ها در انجام واکنشها و همچنین کنترل سرعت تشکیل فاز اسپینل و نهایتاً کنترل تغییرات خطی پایدار (PLC) موثر است .

مقدار گرافیت بروی هدایت حرارتی و مقاومت در مقابل سرشکن شدن آجر تاثیر گذار است . نسبت منیزیت زیتتر شده و منیزیت ذوبی ، مقاومت در برابر خوردگی سرباره و همچنین انبساط پایدار مورد نیاز آجر را بهبود می بخشد .

مواد استفاده شده :

بوکسیت کلسینه (CB) ، آلومینای ذوبی قهوه ای (BFA) ، منیزیا زیتتر شده (SM) و منیزیا ذوبی (FM) مواد اولیه خام هستند که آنالیز شیمیایی آنها در جدول شماره 1 ارائه شده است . بایندر رزینی به دو صورت مایع و پودر و همچنین آنتی اکسیدان در طول آزمایش بدون تغییر میباشد.

	Al ₂ O ₃ %	MgO %	SiO ₂ %	FC %	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂ %
CB	88	-	4.2	-	4.9
BFA	94	-	1.8	-	3.3
SM	0.2	96.5	0.75	-	0.4
FM	0.2	96.8	0.7	-	0.5
Graphite 95	-	-	2.5	95	-

3-2 آماده سازی فرمول و نمونه ها :

جدول شماره 2 ترکیب مواد و نمونه های تهیه شده مطابق با آن را نشان میدهد. عمل مخلوط کردن توسط یک مخلوط کننده پر قدرت ایریش انجام میگردد. آجرها توسط پرس لایس 2500 تنی با فشار 20 کیلو نیوتن بر سانتی متر مربع پرس شده و بعد در دمای 220 درجه به مدت 16 ساعت تمپر میشوند.

Table 2 Batch Formulation

Components	A	B	C	D	E	F
BFA (coarse& grains)	40	40	60	60	62	62
CB (coarse& grains)	40	40	20	20	20	20
SM (fine grains)	8		8		8	
FM (coarse& grains)		8		8		8
Graphite 95	7	7	7	7	5	5
Additives	2	2	2	2	2	2
Resin	3	3	3	3	3	3

2-4 خواص فیزیکی نمونه ها :

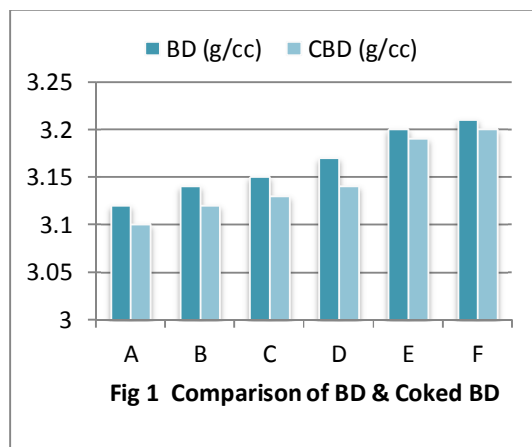
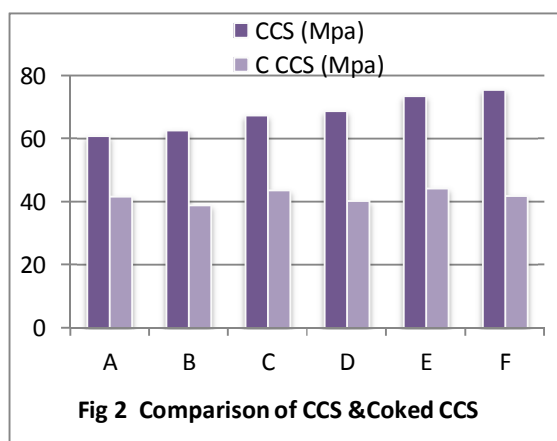
جدول شماره 3 خواص نمونه های آزمایشی را نشان میدهد .

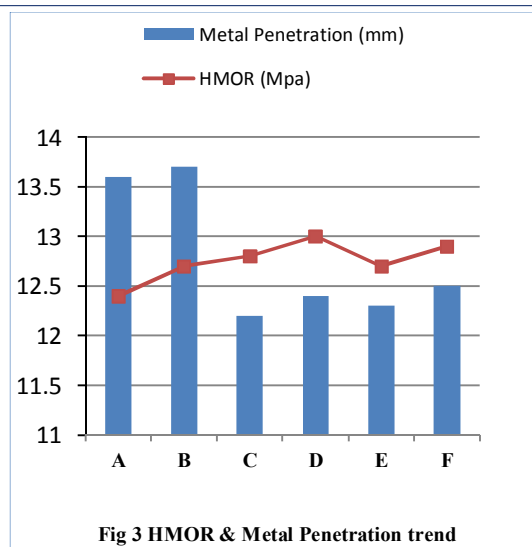
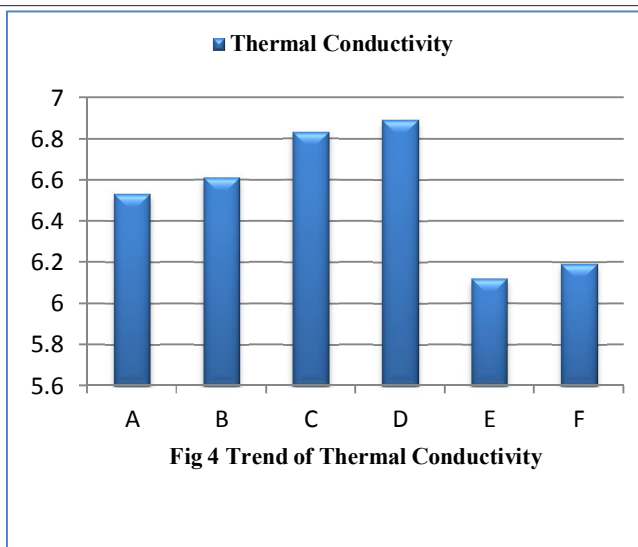
Table 3 Test Properties of Bricks

Property	A	B	C	D	E	F
AP %	6.2	6.0	5.5	5.2	5.6	5.4
BD (g/cc)	3.12	3.14	3.15	3.17	3.2	3.21
CCS (Mpa)	60.7	62.5	67.3	68.7	73.5	75.3
CAP (%)	9.1	8.8	7.9	8.1	7.4	7.5
CBD (g/cc)	3.1	3.12	3.13	3.14	3.19	3.2
C CCS (Mpa)	41.5	38.8	43.5	40.2	44.2	41.7
PLC (%)	+2.7	+2.4	+2.5	+2.3	+2.5	+2.3
Cycle	0	8	6	6	1	2
HMOR (Mpa)	12.4	12.7	12.8	13.0	12.7	12.9
Metal Penetration (mm)	13.6	13.7	12.4	12.4	12.3	12.5
Oxidation (mm)	4.6	4.6	4.6	4.6	4.0	4.0
TC (W/mK)	6.53	6.61	6.89	6.89	6.12	6.19

نتیجه گیری و بررسی:

نتایج آزمایش نشان میدهد که علاوه بر افزایش کیفیت مواد اولیه آلومینی ، بالاتر بودن دانسیته و سختی BFA نسبت به CB منجر به افزایش CCS و BD نمونه ها گردیده است. کاهش مقدار گرافیت همچنین باعث بهبود چشمگیر دانسیته و مقاومت مکانیکی میگردد که در شکل 1 و 2 نشان داده شده است .





این جدول همچنین تاثیر استفاده از منیزیت ذوبی وزیتر بر روی خواص در حرارت‌های بالا از جمله PLC و نفوذ فلز را مشخص می‌کند. واکنش پذیری زیتر منیزیا بیشتر از فیوزد منیزیا است بنابراین تشکیل اسپینل هنگامیکه زیتر منیزیت استفاده میشود بیشتر است. منیزیت زیتر شده در تشکیل فاز اسپینل که دارای اهمیت بالایی است نسبت به منیزیت فیوزد بهتر می‌باشد. همچنین حضور منیزیای ذوبی در فرمولهای B, D, F باعث شده مقاومت نفوذی و HMOR نسبتاً بهتر از A, C, E باشد که در شکل 3 نشان داده شده است. شکل شماره 4 نمودار هدایت حرارتی را نشان میدهد. کاهش مقدار 2٪ گرافیت (از 7 درصد به 5 درصد) به طور مستقیم در اتلاف حرارت موثر میباشد، بویژه زمانی که مذاب در پاتیل زمان بیشتری نگهداری میگردد. با توجه به این که نفوذ فلز بسیار زیان بار است در نتیجه استفاده از گرافیت پر خلوص (96٪) در مراحل آزمایش بعدی در برنامه میباشد.

بر اساس نتایج بدست آمده در نخستین مرحله آزمایش، نمونه E با این استدلال که در آن کمیت ودانه بندی منیزیا بهبود پیدا کرده انتخاب میگردد.

در جدول شماره 4، فرمولاسیون جدید با در نظر گرفتن فرمول E در جدول شماره 2 تنظیم شده است که BFA، رزین و افزودنیها ثابت و بقیه موارد متغیر می‌باشد.

افزایش درصد زیتر منیزیا باعث افزایش اسپینل درجا میشود که به موجب آن تغییرات مقاومت خطی و به همان مقدار مقاومت در برابر نفوذ مذاب هم بهبود پیدا میکند.

اما حد افزایش درصد زیتر منیزیا و همچنین دانه های درشت وریز باید کنترل گردد زیرا این افزایش بعضاً باعث افزایش PLC و نتیجتاً آسیب به لبه های آجر در محل درزها و نفوذ مذاب گردد که نتیجه عکس دارد (در جدول 5 نشان داده شده).

Table 4 Batch Formulation

Comonents	E1	G	H	I	J	K
BFA (coarse& grains)	62	62	62	62	62	62
CB (coarse& grains)	20	20	17	17	14	14
SM (fine grains)		8		6		6
SM (coarse& grains)	8		11	5	14	8
Graphite 96	5	5	5	5	5	5
Additives	2	2	2	2	2	2
Resin	3	3	3	3	3	3

Table 5 Test Properties of Bricks

Property	E1	G	H	I	J	K
AP (%)	5.60	5.50	5.80	5.40	5.90	5.50
BD (g/cc)	3.20	3.21	3.18	3.20	3.17	3.18
CCS (Mpa)	73.50	74.20	71.30	73.20	70.60	72.80
C AP (%)	7.40	7.30	7.20	7.10	7.40	7.20
C BD (g/cc)	3.19	3.20	3.19	3.21	3.20	3.21
C CCS (Mpa)	44.40	46.30	45.70	44.10	46.00	46.70
HMOR (Mpa)	12.80	12.90	12.70	13.00	13.10	13.30
Metal Penetration (mm)	12.20	12.10	12.00	11.80	11.90	11.80
Oxidation (mm)	3.80	3.90	3.80	3.80	3.80	3.70
TC (W/mK)	6.14	6.13	6.16	6.12	6.19	6.15
PLC (%)	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5
Cycle -1	0	1	1	5	7	1
PLC (%)	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5
Cycle -2	3	8	0	2	5	2
PLC (%)	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5
Cycle -3	1	3	3	7	7	3

علاوه بر این PLC در سه سیکل و در پختهای پی در پی مورد ارزیابی قرار میگیرد که نتایج این تستها در جدول شماره 5 ذکر شده است. افزایش مقاومت در برابر نفوذ مذاب صرفاً با افزایش زیتتر منیزیا در نمونه ها میسر میشود. افزایش مقدار زیتتر منیزیا و همچنین دانه بندی نرم باعث بالا رفتن مقاومت پایدار خطی (PLC) گردیده است.

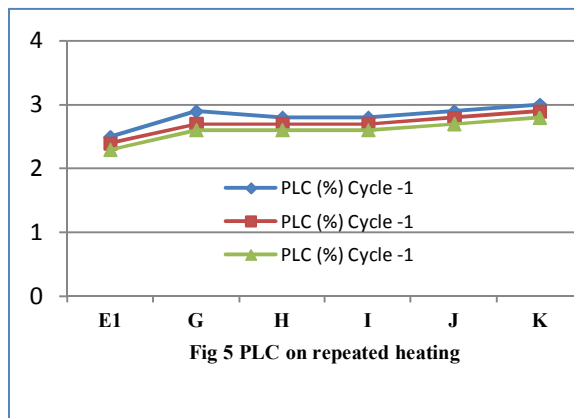


Fig 5 PLC on repeated heating

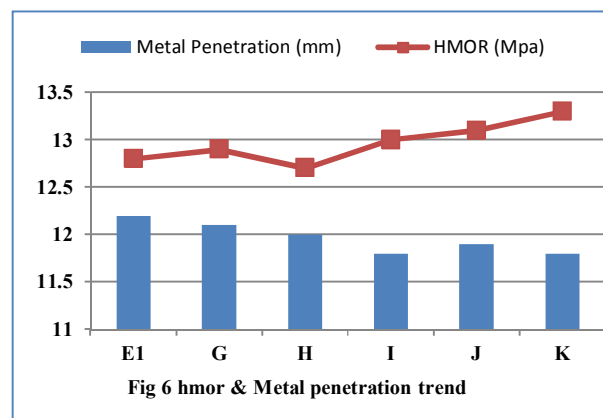


Fig 6 hmor & Metal penetration trend

شکل 5، تغییرات خطی پایدار را در فرمولها و همچنین سیکلهای مختلف نشان میدهد. این تغییرات در سیکلهای حرارتی پی در پی در هر مرحله کاهش داشته است.

بالا بودن خلوص گرافیت (96٪) در این فرمولها بصورت غیر مستقیم در مقاومت نفوذ فلز مذاب و HMOR موثر بوده در حالیکه هدایت حرارتی در همه فرمولها مشابه بوده است (شکل 6).

بر اساس آزمایشات جدول 5 سرانجام فرمول K بعنوان تولید صنعتی انتخاب گردید.

شکل شماره 7 منحنی XRD و SEN نمونه K را در رابطه

با تشکیل فازها به ویژه اسپینل نشان میدهد.

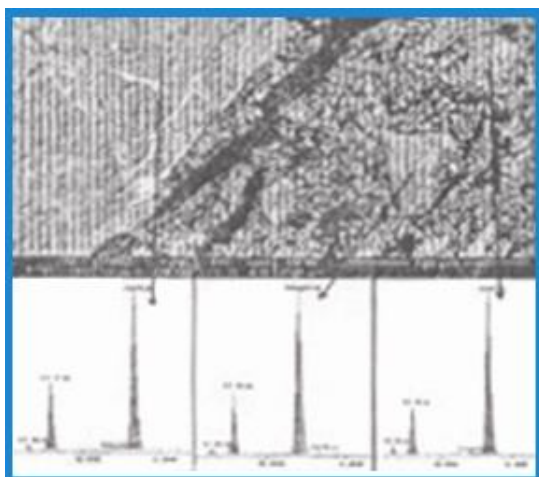


Fig 7 SEN & XRD pictures of batch K

زمینه کاربرد :

آجر با نمونه K در کارخانه ای در لهستان تولید و در پاتیل با ظرفیت 350 تن در یک واحد فولاد سازی در اروپا کار شد. (پارامترهای عملیاتی در جدول 6 نمایش داده شده است)
عمر آجر AMC اصلاح شده در ناحیه کف و ضربه گیر در پاتیل‌های 350 تنی تا 20٪ از آجرهای مرسوم AMC بیشتر بود.

Table 6 Operational Parameters

Ladle Capacity	350 ton
Tapping Temperature	1660 °c - 1720 °c
Total Residence Time	Up to 4 hours
Secondary Treatment	AL killing : 85% LF
Slag Analysis	CaO-42% , SiO ₂ - 12% , Al ₂ O ₃ - 25% , Fe ₂ O ₃ - 5%

طرح نسوز چینی مرسوم :

علیرغم تغییر در کیفیت آجرها ، طراحی کف نیز از حالت موازی به حالت متقاطع عوض شده که در شکل 8 نشان داده شده ، در این طرح فشردگی در کف افزایش می یابد. در طرح قبلی مسئولین نسوز در آغاز لایه کاری دیواره را کامل و سپس کف را نسوز کاری می کردند ، البته این روش به فولاد ساز این امکان را میدهد که در صورت ضعیف بودن کف در هنگام تعمیر خط سرباره ، چون کف از دیواره جدا است آن را آزاد و مجدداً تعویض یا تعمیر کنند.

اما در این روش ابتدا کف و سپس دیواره را نصب میکنند، باتوجه به فشار فرو ستاتیک فولاد مذاب که بر روی درزها وجود دارد بنظر میرسد روش جدید نصب بهتر بوده و مقاومت بیشتری در مقابل نفوذ فولاد مذاب را دارد به هر حال زمان نسوز چینی در حدود 10٪ افزایش پیدا کرده اما کارائی آجر های کف 20٪ افزایش داشته است. این پیشرفت موجب شده که کارائی آجرهای AMC در ناحیه ضربه گیر کف بهبود پیدا کند.

نتیجه :

استحکام مکانیکی آجر های AMC وابسته به میزان آلومینا ی ذوبی در فرمول می باشد .کنترل میزان گرافیت استحکام مکانیکی و هدایت حرارتی را مطلوب میسازد .میزان تشکیل اسپینل درجا در آجر AMC وابسته به کیفیت وکمیت منیزیا استفاده شده می باشد.مقاومت در مقابل نفوذ مذاب در آجر های AMC با افزایش مقدار منیزیت قابل بهبود می باشد.اصلاح طراحی لایه نسوز میتواند شروع مهمی در بهبود عمر پاتیلها باشد .

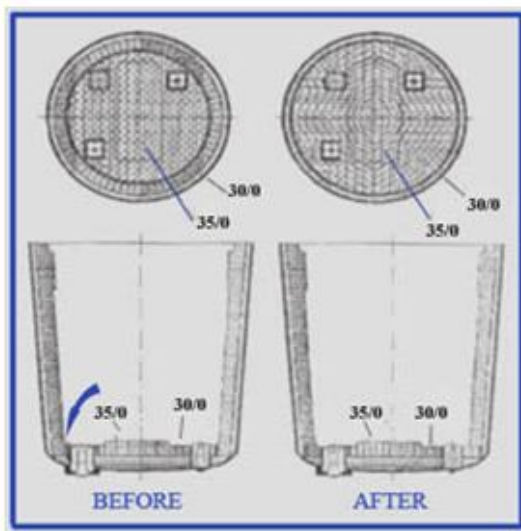


Fig. 8 Modification in lining pattern

منابع:

Shankha Chatterjee, Michel Sulkowski, Lucyna Obszynska
Arcelor Mittal Refractories, Poland

علیرضا خادم الفقرا/کارشناس فروش