اثر استفاده از هگزامتافسفات سدیم بر خواص فیزیکی و مکانیکی دیرگدازهای یکپارچه تهیه شده ازضایعات آجرهای منیزیا - کربنی

سارا علی‌زاده[1*]، احمد منشی[1] و ابراهیم کرمیان[1]

چکیده

دیرگدازهای منیزیا-کربن به گونه گسترده در کنورتورها، کوره های قوس الکتریکی و پاتیل های فولادسازی استفاده می‌شوند. این دیرگدازها مقاومت به سرباره و مقاومت به شوک حرارتی خوبی دارند که ناشی از خواص مناسب کربن مانند ترشوندگی ضعیف، هدایت حرارتی بالا و انبساط حرارتی پایین می‌باشد. مشکل اصلی، فرسایش دیرگدازهای خط سرباره در اثر اکسیداسیون و خوردگی شیمیایی و سایش مکانیکی دیرگداز به وسیله سرباره و نیاز به تعمیر و تعویض آجر دیرگداز می‌باشد. در این پژوهش، اثر استفاده از پیونددهنده هگزامتافسفات سدیم در حضور آب و بکارگیری ضایعات آجر دیرگداز منیزیا-کربن فرسوده مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، ترکیبات گوناگونی متشکل از 0، 3 و 5 درصد هگزامتافسفات سدیم تهیه و میزان دانسیته حجمی (BD)، تخلخل ظاهری (AP%) و استحکام فشاری سرد (CCS) نمونه‌ها در درجه حرارت‌های 200، 500 و 1100 درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری و نیز مطالعات فازی (XRD) و ریزساختاری (SEM) انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از 5% هگزامتافسفات سدیم باعث ایجاد اتصالات فسفاتی با ریخت شناسی سوزنی شکل نظیر MgP_2O_7، $Mg_3(PO_4)_2$ و $AlPO_4$ (با توجه به حضور مقداری Al_2O_3 در ترکیب آجر ضایعاتی) می‌گردد و خواص فیزیکی و مکانیکی دیرگداز را بویژه در دمای پایین بهبود می‌بخشد. بنابراین، از این جرم‌ها برای تعمیر سرد پاتیل می‌توان استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: منیزیا، کربن، هگزامتافسفات سدیم، آجر ضایعاتی، دیرگدازهای یکپارچه.

1-مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.
2- نویسنده مسئول مقاله: sarahalizade@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

پیشگفتار

بوجود آمدن کاربردها و شرایط کار نوین و توسعه فناوری‌های نوین جهت تولید فولاد ارتباط نزدیکی با توسعه مواد دیرگداز مناسب و دارای کیفیت بالا دارد و تولید مواد دیرگداز جدید با خواص مناسب را الزام آور می‌سازد که در این راستا همواره توجهی ویژه به مواد دیرگداز یکپارچه و به گونه خاص دیرگدازهای ریختنی و پاشیدنی وجود داشته است. استفاده از جرم‌های دیرگداز امروزه در صنایع گوناگون از جمله صنایع فولادسازی که نیاز به استفاده از موادی با مقاومت مناسب در شرایط گوناگون در فرآیندهای فولادسازی دارند، به شدت گسترش یافته است. مزایای دیرگدازهای یکپارچه باعث افزایش تمایل به مصرف این گروه از مواد و جایگزینی تدریجی آن‌ها با دیرگدازهای شکل‌دار شده است. افزایش استفاده از جرم‌های دیرگداز از سال 1990 به ویژه در کاربردهای فولادسازی مانند آستر پاتیل‌ها و تاندیش‌های فولادسازی متداول شده است [1-4].

سالانه هزاران تن دیرگداز ضایعاتی در صنایع گوناگون به دلیل فرسودگی و تخریب دور ریخته می شود با توجه به روش‌های نوین، می‌توان با بازیافت دیرگدازهای فرسوده، میزان ضایعات را کمینه کرد. بازیابی تمام یا بخشی از آن‌ها می تواند مزیت‌های فنی و اقتصادی فراوانی در برداشته باشد. قوانین زیست محیطی و کنترل ضایعات از جمله عوامل موثر برای تبدیل مفهوم ضایعه به مفهوم استفاده می‌باشند. دیرگدازهای فرسوده را می‌توان به عنوان افزودنی به ترکیب آجر دیرگداز، جرم دیرگداز، سرباره پفکی و یا به عنوان مواد تعمیراتی در پاتیل‌ها مورد استفاده قرار داد که برای این منظور پس از خردایش و دانه بندی، دیرگدازهای فرسوده مجدداً در صنعت فولاد مورد استفاده قرار می‌گیرند [5-8].

از جمله فرآورده های دیرگدازی که در فرآیندهای فولادسازی، برای مثال، در کوره‌های پایه اکسیژنی (BOF)، آستر پاتیل‌ها، کوره‌های قوس الکتریکی (EAF) و انواع کنورتورها کاربرد گسترده‌ای دارند، دیرگدازهای منیزیا-کربنی است. این فرآورده‌ها در بیست سال اخیر به واسطه شرایط تنشی موجود در روش های نوین تولید فولاد ا همیتی ویژه یافته‌اند که به خاطر خواص دیرگدازی عالی آن‌ها می‌باشد [9-12]. این دیرگدازها مقاومت به سرباره و مقاومت به شوک حرارتی خوبی دارند که ناشی از وجود مقدار مناسب کربن است. اگرچه به خاطر حضور کربن با دو مشکل عمده، استحکام مکانیکی پایین و مقاومت کم در مقابل اکسیدشدن مواجه‌اند، لذا این مواد معمولاً در اتمسفرهای احیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند [13 و 14].

انواع پیونددهنده‌های شیمیایی که در دیرگدازهای یکپارچه استفاده می‌شوند شامل فسفات‌ها، سولفات‌ها و کرومات‌ها می‌باشند. در برخی از پژوهش‌های انجام شده استفاده از اتصالات شیمیایی و از میان آن‌ها اتصالات فسفاتی جهت جایگزینی کامل در برخی از دیرگدازها پیشنهاد شده است[15-17].

از جمله فسفات‌های بکار رفته برای دیرگدازها شامل انواع گوناگون فسفات‌های سدیم است که عمدتاً برای دفلوکولاسیون[1] (پخش کردن) و به عنوان اتصال برای برخی از دیرگدازها استفاده می‌شود. هگزامتافسفات سدیم از جمله پیونددهنده‌های فسفاتی پایه سدیمی است که به شدت مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبیعت چند ظرفیتی اتم فسفر که منجر به اتصال متقاطع می‌شود و هم‌چنین، واکنش‌های شیمیایی که بین کلوخه‌های دیرگداز و پیونددهنده اتفاق می‌افتد، باعث افزایش استحکام جرم‌های حاوی این پیونددهنده‌ها در دماهای پایین می‌گردد [18-20].

در صنعت فولاد تلاش‌های زیادی جهت ساخت آستر ریختنی دائمی برای پاتیل‌های فولاد سازی شده است. در بیش‌تر موردها این جرم‌های ریختنی بر پایه مخلوط‌های منیزیا- آلومینا- اسپینل بدون کربن بوده و تنها به دلیل مقاومت ناکافی در مقابل سایش سرباره، برای بدنه مناسب بوده‌اند و در خط سرباره بکار نرفته اند. بنابراین، خط سرباره همچنان باید با آجرهای منیزیا-کربن (MgO-C) آستر شود. از این رو تلاش‌های بسیاری برای تهیه جرم‌های ریختنی MgO-C با خواص قابل مقایسه با آجرهای MgO-C انجام شده است از جمله ه. افندی[2] و همکاران در سال‌های 2007 و 2010 تاثیر استفاده از

[1]- Deflocculation

[2]- Efendy

Archive of SID

www.SID.ir

بایندر قیر- رزین و آنتی اکسیدان‌های فلزی را بر خواص دیرگدازهای یکپارچه منیزیا- کربن (MgO-C) مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که مواد آنتی اکسیدان نقشی مهم در بهبود خواص مکانیکی بر عهده دارند و استفاده از چسب رزین- قیر باعث افزایش استحکام و مقاومت به سایش می‌شود [21 و 22].

جانسن[1] و همکاران در سال 2008 یک جرم ریختنی منیزیا-کربن (MgO-C) با یک سیستم اتصال جدید تهیه کردند که به گونه خالص بر پایه کربن بوده و همچنان با مقادیر کم آب (حدود 4/5%) کارپذیر باشد. این سیستم شامل یک رزین مخصوص و دیگر اجزاء کربنی بود. هردو جزء با هم باند کربنی مورد نظر را با درصد محاسبه شده کربن برابر 10% تامین کردند. جرم مستحکم شده پس از پیرولیز، جزء دیگری به غیر از کربن و منیزیا نداشت و در مقایسه با فرآورده های پرس شده متداول MgO-C مدول شکست سرد بالاتری پس از پیرولیز بدست آمد [23].

در این پژوهش اثر استفاده از پیوند دهنده هگزامتافسفات سدیم و هم‌چنین، بازیافت آجرهای دیرگداز منیزیا-کربن و استفاده از آن‌ها به عنوان اگریگیت مورد بررسی قرار گرفته است.

فعالیت‌های تجربی

بررسی آجرهای ضایعاتی

با توجه به اهمیت تولید دیرگدازهای بی‌شکل با کیفیت و قابلیت کاربرد بالا در ایران و در راستای به تحقق رسیدن خودکفایی در صنعت دیرگداز کشور، کمبود منابع منیزیا با خلوص بالا در ایران و لزوم واردات از چین، تا حد امکان سعی شد از مواد اولیه مصرفی که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند، استفاده شود. بدین منظور از آجرهای فرسوده منیزیا کربنی تهیه شده از پاتیل فولادسازی استفاده گردید. در جدول 1 و شکل 1 به ترتیب نتایج طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) که به صورت اکسیدی محاسبه شده و الگوی پراش پرتوایکس (XRD) گرفته شده از آجرهای ضایعاتی منیزیا-کربن آورده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، می‌توان گفت آجرهای دیرگداز بکار رفته از نوع آجر دیرگداز منیزیا- کربن پرآلومین (MAC)[2] بوده‌اند که در اثر پدیده‌های نفوذ و واکنش‌های انجام شده، مقدار MgO در اثر پدیده انحلال در سرباره کاهش یافته است. ضمن آن‌که درصد ترکیبات سرباره‌ای نظیر قلیایی‌ها و قلیایی‌های خاکی، SiO_2، CaO، Al_2O_3 و Fe_2O_3 نیز افزایش داشته است.

وجود اسپینل گویای واکنش منیزیای موجود در بدنه آجر با آلومینایی است که از قبل به ترکیب آجر افزوده شده است.

تهیه اگریگیت‌های دیرگداز بازیافتی از آجرهای ضایعاتی

بمنظور تهیه اگریگیت‌های دیرگداز بازیافتی از آجرهای ضایعاتی، ابتدا آجرها به وسیله سنگ شکن فکی خردایش یافته و سپس با استفاده از الک در اندازه‌های 5-3، 3-1 و 1-0 میلی متر دانه بندی شده و به عنوان اگریگیت‌های اصلی بدنه دیرگداز مورد استفاده قرار گرفت. پس از خردایش آجرهای فرسوده و عبور آن‌ها از الک با شماره مش 4، 6 و 18 از معادله آندریازن بصورت رابطه زیر ، برای محاسبه توزیع اندازه ذرات استفاده شد.

$$CPFT = (d/D)^n \times 100 \qquad (1)$$

در معادله بالا CPFT: درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از اندازه d ، d: اندازه ذرات، D: اندازه بزرگ‌ترین ذرات در توزیع و n: ضریب توزیع (n: 0.2 ~ 0.4) می‌باشد. در این محاسبه بهترین ضریب توزیع بدست آمده 0/25 بود.

آماده سازی و بررسی خواص نمونه‌ها

ابتدا ترکیبات گوناگونی از مواد اولیه بر اساس جدول 2 تهیه شد. مخلوط هر یک از ترکیبات پس از افزودن آب در قالب‌های مکعبی با ابعاد 50×50×50 میلی متر ریخته شد و پس از قرارگیری به مدت 24 ساعت در دمای محیط از قالب خارج گردیده و به مدت 7 ساعت در دمای 200 درجه سانتی‌گراد بمنظور تمپرکردن نمونه‌ها جهت ایجاد اتصال اولیه، انسجام بیش‌تر و خروج آرام آب فیزیکی از آن‌ها در خشک کن قرار داده شدند.

[1] -Jansen

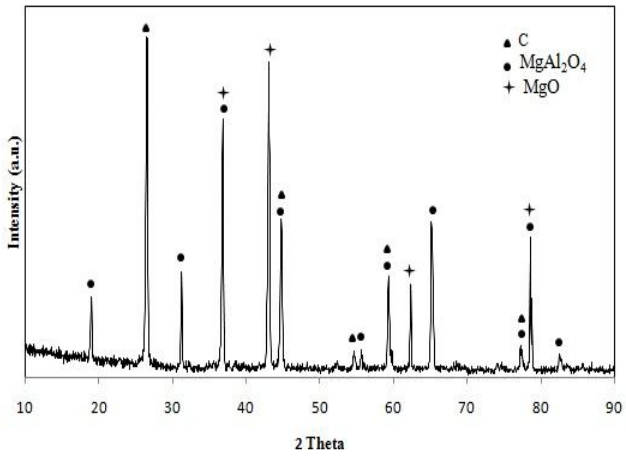
[2]- Magnesia Alumina Graphit

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 1- آنالیز عنصری فلورسانس پرتو ایکس آجرهای فرسوده.

عنصر	مقدار (%)
MgO	71/22
Al_2O_3	6/10
SiO_2	4/73
Fe_2O_3	3/39
CaO	3/21
TiO_2	0/34
Cr_2O_3	0/76
S	0/44
K_2O	0/43
MnO	0/18
P_2O_5	0/29
CuO	0/08
ZnO	0/03
Graphite	9/80
مجموع	100/00



شکل۱- الگوی پراش پرتو ایکس آجرهای فرسوده.

جدول ۲- ترکیبات گوناگون حاوی پیونددهنده‌های فسفاتی.

کد نمونه / مواد اولیه	F	H1	H2
اگریگیت بازیافت شده	%90	%87	%85
میکروسیلیس	%5	%5	%5
نانوکربن (دوده)	%5	%5	%5
هگزامتافسفات سدیم	-	%3	%5
آب (100+)	%10	%10	%10

Archive of SID

www.SID.ir

سپس دو نمونه از هر ترکیب در یک کوره الکتریکی به گونه مجزا در دماهای 500 °C و 1100 °C در بستر کک و با افزودن 3% کاربید سیلیسیوم به ترکیب خام جهت جلوگیری از اکسیداسیون کربن، به ترتیب به مدت 3 و 2 ساعت پخت گردیدند. سپس خواص فیزیکی (دانسیته حجمی و درصد تخلخل ظاهری) با استفاده از استاندارد ASTM C20 و خواص مکانیکی (استحکام فشاری سرد) با استفاده از استاندارد ASTM C133 اندازه گیری شد. در پایان بررسی‌های فازی (XRD) و ریزساختاری (SEM) انجام شد.

نتایج و بحث

شکل2 (الف، ب و ج) به ترتیب میانگین نتایج اندازه‌گیری شده از خواص مکانیکی (استحکام فشاری سرد) و خواص فیزیکی (دانسیته بالک و تخلخل ظاهری) مربوط به دست‌کم سه نمونه از هر فرمولاسیون را نشان می‌دهند. همان گونه که مشاهده می‌شود، روند کلی تغییرات خواص در دماهای گوناگون در تمامی ترکیبات برقرار است. واکنش‌های شیمیایی که بین اگریگیت‌های دیرگداز و پیونددهنده اتفاق می‌افتد، باعث افزایش استحکام جرم‌های حاوی این پیونددهنده در دمای پایین (200 °C) می‌گردد، اما با تغییر دما از 200 به 500 درجه سانتی گراد، مقدار پیوند کم می‌شود و پیوندهای تشکیل شده رو به تغییر وضعیت و تجزیه شدن خواهند رفت در نتیجه استحکام و دانسیته حجمی کاهش می‌یابند و درصد تخلخل ظاهری افزایش می‌یابد (گفتنی است که نمونه بدون پیوند دهنده به دلیل استحکام ناکافی در درجه حرارت‌های 200 و 500 درجه سانتی‌گراد، در آب متلاشی شده و این امر مانعی بر سر راه اندازه‌گیری خواص فیزیکی این نمونه ایجاد کرد). پس از آن دوباره با افزایش دما تا 1100 درجه سانتی‌گراد به دلیل آغاز تشکیل پیوندهای سرامیکی و شروع زینترینگ، خواص فیزیکی و مکانیکی رو به بهبود می‌روند. در زمینه مقادیر گوناگون فسفات نیز، همان گونه که مورد انتظار است با افزایش درصد فسفات در ترکیب جرم، پیوندهای فسفاتی بیش‌تری نیز تشکیل شده وخواص مکانیکی و فیزیکی در تمامی دماها بهبود می‌یابد. بنابراین، از این جرم‌ها برای تعمیر سرد پاتیل می‌توان استفاده کرد و در دمای بالا ایجاد اتصالات سرامیکی سبب افزایش استحکام و خواص فیزیکی دیرگداز می‌شوند.

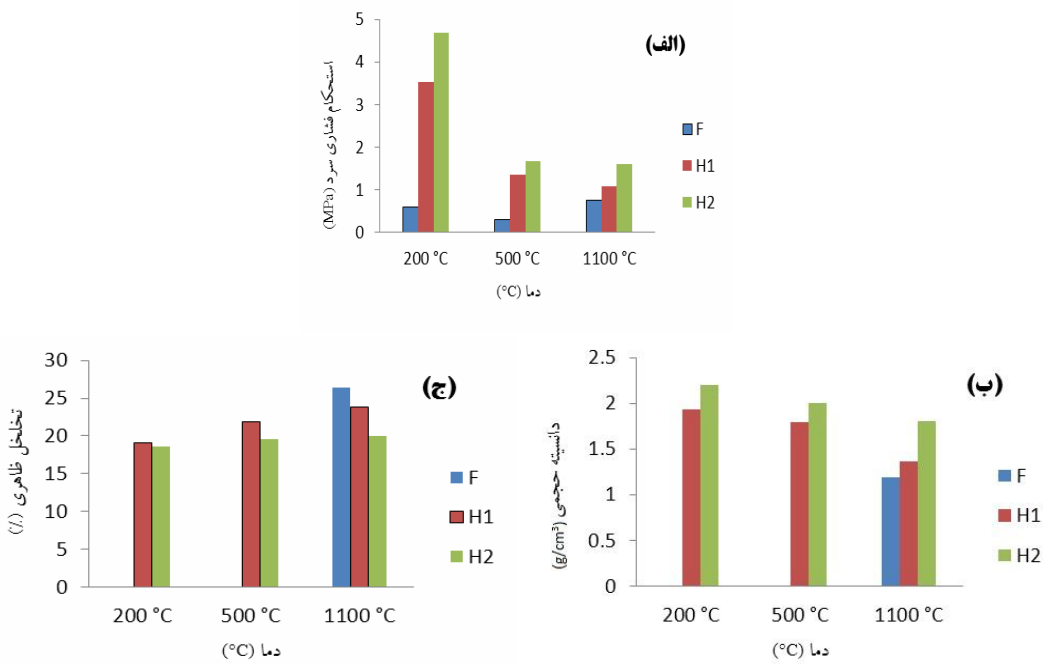
همان گونه که در الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌های حاوی 5 درصد هگزامتافسفات سدیم (شکل3) در دماهای گوناگون (200 °C، 500 °C و 1100 °C) مشاهده می‌شود، فازهای فسفاتی نظیر $AlPO_4$، $Mg_2P_2O_7$ و $Mg_3(PO_4)_2$ تشکیل شده‌اند که حاصل واکنش شیمیایی هگزامتافسفات سدیم با منیزیا و آلومینا می‌باشند. این فازها عامل ایجاد اتصالات فسفاتی و افزایش استحکام می‌باشند. بنابراین، با توجه به فازهای بالا که تاییدی بر تشکیل پیوندهای فسفاتی نیز می‌باشند، می‌توان گفت عامل افزایش استحکام و دانسیته و کاهش تخلخل در نمونه‌های H1 و H2 مربوط به تشکیل همین فازها و اتصالات می‌باشد و با افزایش درصد استفاده از این پیونددهنده، خواص مکانیکی و فیزیکی بهبود بیش‌تری یافته‌اند. هم‌چنین، پس از عملیات حرارتی در دمای 1100 °C و تفجوشی نمونه‌ها، اتصالات سرامیکی از جمله فورستریت ایجاد می‌شوند با ورود این ماده به تخلخل‌های باز و پر کردن آن‌ها مانع ورود اکسیژن می‌گردد و خواص فیزیکی و مکانیکی را بهبود می‌بخشد [24].

شکل 4 (الف و ب) به ترتیب تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونه‌های بدون فسفات و حاوی 5% هگزامتافسفات سدیم را نشان می‌دهد. وجود ساختار سوزنی شکل فسفات منیزیم (شکل 4- ب) سبب اتصال بین ذرات و فشردگی ریزساختار و افزایش استحکام می‌گردد[25]. شکل 5 (الف و ب) به ترتیب نمودار EDS نمونه‌های بدون فسفات و حاوی 5% هگزامتافسفات سدیم را نشان می‌دهد که تاییدی بر وجود فازهای فسفاتی در مناطق سوزنی شکل است.

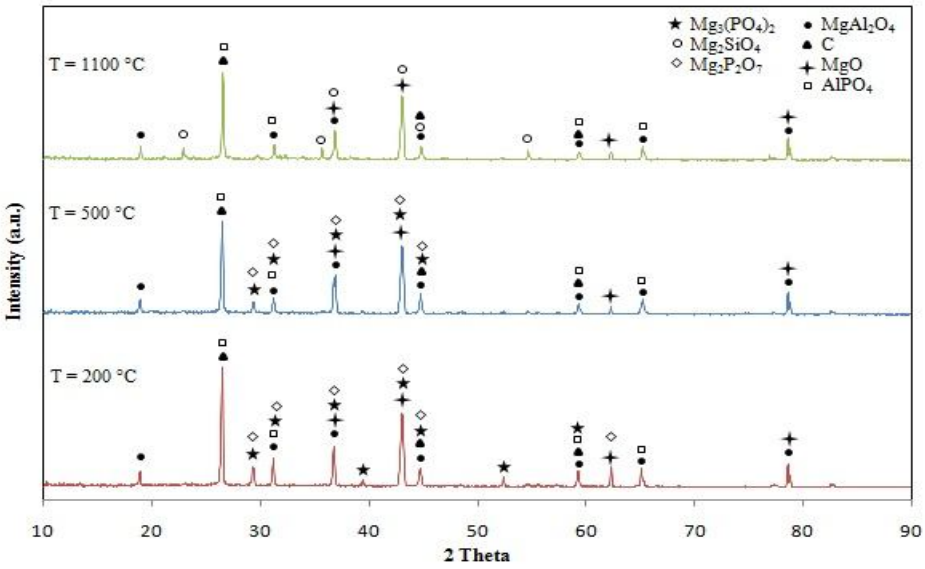
نکته جالب توجه بوجود آمدن این پیوندها در دمای 200 °C است که قابلیت بکارگیری آن را در جرم دیرگداز ایجاد می‌کند. جرم‌های دیرگداز (دیرگدازهای یکپارچه) معمولاً پس از تعمیر پاتیل، پیش‌گرم شده و سپس به محل مصرف می‌روند. گیرش این فازها در شرایط پیش‌گرم نکته مثبتی در استفاده از این نوع پیوند دهنده می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

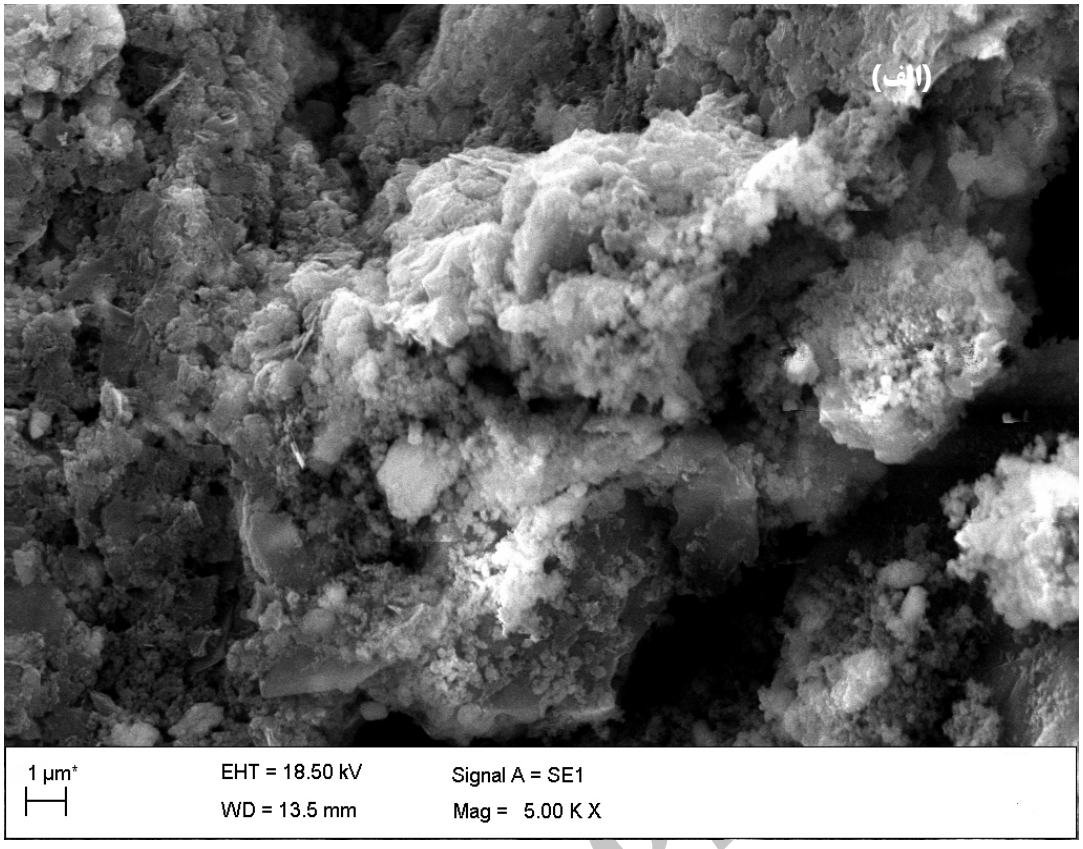


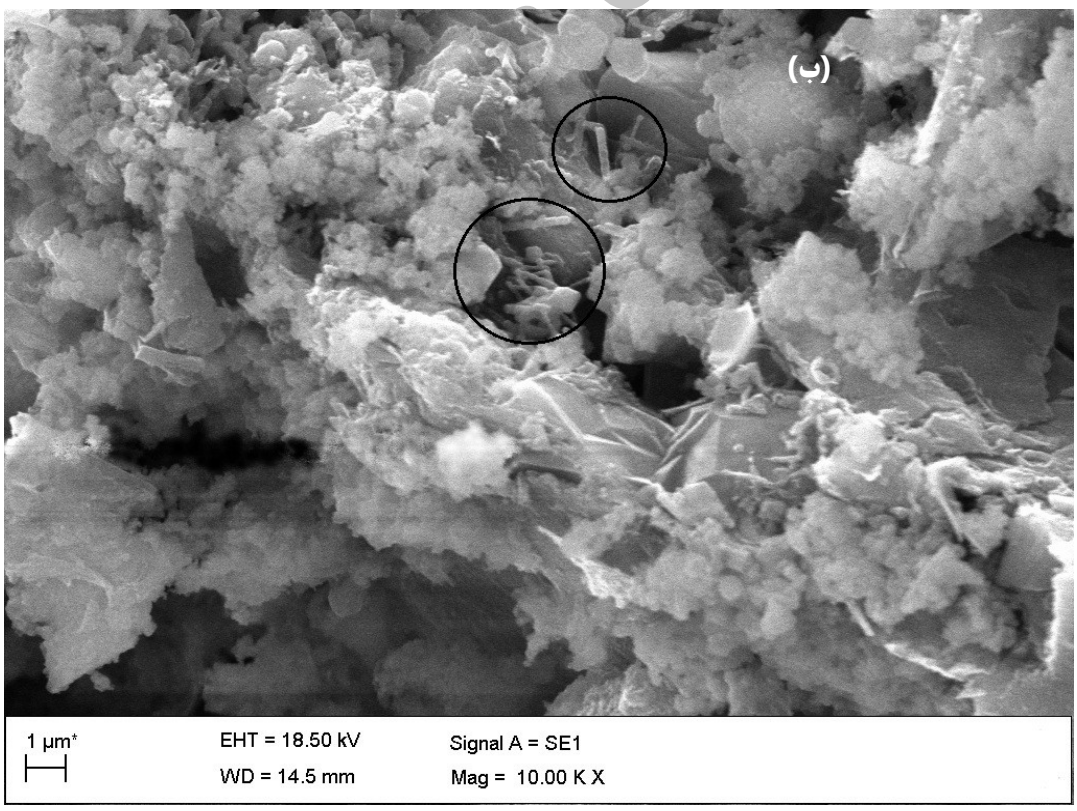
شکل ۲- تغییرات (الف) استحکام فشاری سرد، (ب) دانسیته حجمی و (ج) تخلخل ظاهری (%) نمونه‌های بدون فسفات و حاوی ۳% و ۵% هگزامتافسفات سدیم در دماهای ۲۰۰ °C، ۵۰۰ °C و ۱۱۰۰ °C.



شکل۳- الگوی پراش پرتو ایکس نمونه H2 در درجه حرارت‌های ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد.

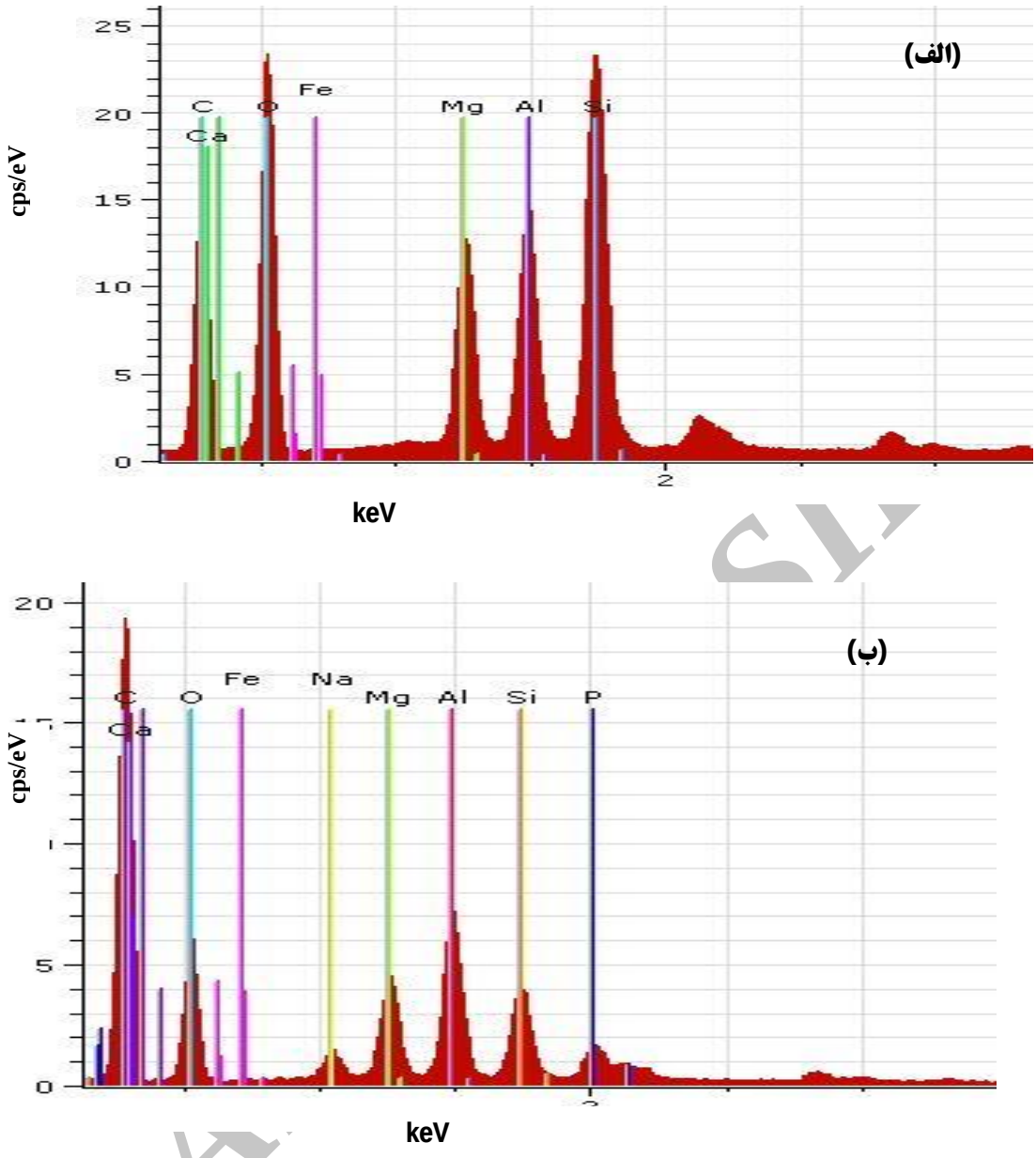
www.SID.ir





شکل ۴- تصاویر SEM نمونه‌های (الف) بدون پیوند دهنده فسفاتی (ب) حاوی ۵% هگزامتافسفات سدیم.

www.SID.ir



شکل ۵- طیف EDS (الف) نمونه بدون پیونددهنده (ب) حاوی ۵% پیونددهنده هگزامتافسفات سدیم.

نتیجه‌گیری

1- استفاده از پیونددهنده هگزامتافسفات سدیم در ترکیب جرم، باعث ایجاد اتصالات فسفاتی نظیر $Mg_2P_2O_7$ و $Mg_3(PO_4)_2$ با ریخت شناسی سوزنی شکل شده و در نتیجه خواص فیزیکی و مکانیکی بهبود می‌یابد.

2- با افزایش درصد استفاده از این پیوند دهنده، خواص فیزیکی و مکانیکی جرم نیز افزایش خواهد یافت.

3- با افزایش دما از 200 به 500 درجه سانتی‌گراد، اتصالات فسفاتی تغییر وضعیت داده و رو به تجزیه شدن می‌روند بنابراین، از این جرم‌ها برای تعمیر سرد پاتیل می‌توان استفاده کرد و در دمای بالا ایجاد اتصالات سرامیکی حاصل از زینتر شدن سبب افزایش استحکام و خواص فیزیکی می‌شوند.

4- روی هم رفته، استفاده از دیرگدازهای مستعمل فولادسازی دارای بهره‌برداری فنی و اقتصادی قابل توجهی

www.SID.ir

خواهد بود. هرچند بمنظور صنعتی کردن فرآیند بازیابی ضایعات دیرگدازهای صنعت فولاد، به علت تازگی این پژوهش‌ها در ایران و جهان، نیا به پژوهش‌های بسیاری می‌باشد.

آمیختن مقداری از منیزیای نو با آجرهای دیرگداز فرسوده خردایش یافته نیز موضوع جالبی برای پژوهش‌های آینده است.

References

1- L.A. Diaz, R. Torrecillas, A.H.d. Aza,and P. Pena, "Effect of Spinel Content on Slag Attack Resistance of High Alumina Refractory Castables", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 27, pp. 4623–4631, 2007.

2- L.A. Diaz, R. Torrecillas, F. Simonin, and G. Fantozzi, "Room Temperature Mechanical Properties of High Alumina Refractory Castables with Spinel, Periclase and Dolomite Additions", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 28, pp. 2853–2858, 2008.

3- ج. عظیمی، د. عظیمی، س. اطرج، ز. نعمتی، "بررسی تاثیر مواد افزودنی ضد انعقاد و مقدار SiC بر خواص دیرگدازهای ریختنی کم سیمان دارای سیستم نوسانی در سیستم Al2O3-SiC، مجله مواد و فناوری‌های پیشرفته، جلد یک، شماره یک، صفحات 86-79، 1391.

4- ا. رحیمی، ا. منشی، ر. عمادی، "بررسی اثر اندازه دانه کاربید سیلسیم در تولید جرم ریختنی نسوز خیلی کم سیمان برای صنایع فولاد"، مجله‌ی مواد نوین، جلد 1، شماره 2، صفحات 27-21، 1389.

5- K.S. Kwong, J.P. Bennett, "Recycling Practices of Spent MgO-C Refractories", Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 1, No.2, pp. 69-78, 2002.

6- F. Arianpour, F. Kazemi, F. Golestani Fard, "Characterization, Microstructure and Corrosion Behavior of Magnesia Refractories Produced from Recycled Refractory Sggregates", Minerals Engineering, Vol. 23, pp. 273–276, 2010.

7- A.N. Conejo, R.G. Lule , F. Lopez , and R. Rodriguez, "Recycling MgO-C Refractory in Electric Arc Furnaces", Resources, Conservation and Recycling , Vol.49, pp. 14–31, 2006.

8- S. Hanagiri, A. Shimpo, T. Inuzuka, S. Sakaki, T. Matsui, S. Aso, T. Matsuda, and H. Nakagawa, Recent Improvement of Recycling Technology for Refractories, Nippon Steel Technical Report, No. 98, 2008.

9- V.G. Rocha, R. Menendez, R. Santamaria, C. Blanco, and M. Granda, "Oxidation Behavior of Magnesia–Carbon Materials Prepared with Petroleum Pitch as Binder", Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 88, pp. 207–212, 2010.

10- H. UM, K. LEE, J. CHOI, and Y. CHUNG, "Corrosion Behavior of MgO–C Refractory in Ferromanganese Slags", ISIJ International, Vol. 52, pp. 62–67, 2012.

11- T. Zhu, Y. Li, M. Luo, S. Sang, Q. Wang, L. Zhao, Y. Li, and S. Li, "Microstructure and Mechanical Properties of MgO–C Refractories Containing Graphite Oxide Nanosheets (GONs)", Ceramics International, Vol. 39, pp. 3017–3025, 2013.

12- T. Zhu, Y. Li, S. Sang, S. Jin, Y. Li, L. Zhao, and X. Liang, "Effect of Nanocarbon Sources on Microstructure and Mechanical Properties of MgO–C Refractories", Ceramics International, Vol. 40, pp. 4333–4340, 2014.

13- S. Zhang, N.J. Marriott, and W.E. Lee, "Thermochemistry and Microstructures of MgO–C Refractories Containing Various Antioxidants", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 21, pp. 1037–1047, 2001.

14- L. Musante, L.F. Martorello, P.G. Galliano, A.L. Cavalieri, and A.G. Tomba Martinez, "Mechanical Behavior of MgO–C Refractory Bricks Evaluated by Stress–Strain Curves", Ceramics International, Vol. 38, pp. 4035–4047, 2012.

15- K. Fisher, "Chemical Bond for Refractory Materials", Journal of the American Ceramic Society, Vol. 12, pp. 51-64, 1989.

16- R.W. Limes, "Bonds for Gunning Materials", Journal of. Metals, Vol. 17, No. 5, pp. 663-666, 1985.

17- H.R. Rezaie, F. Arianpour, and F. Naghizadeh, "An evaluation of the Effects of Different Phosphate Binders on the Properties and Microstructure of Tundish Coating Refractories", Proceeding of 49. International Feuerfest- Kolloquium, pp. 363-368, 2006.

Archive of SID

www.SID.ir

18- M.J. Ohara, J.J. Duga,and H.D. Sheets, "Studies in Phosphate Bonding", Ceramic Bulletin, Vol. 51, No. 7, pp. 245-251, 1970.
19- H.J. RenSburg, J.P. Louw, A.M. Hartman, G.P. Rensburg, and M. Matheba, " The Influence of Pre-Drying on Tropical Soil Testing", 31st Southern African Transport Conference, pp. 445-457, Pretoria, South Africa, 2012.
20- United States International Trade Commission, Sodium Hexametaphosphate From China, Washington. DC, 2008.
21- H. Efendy, C.L. Radiman, A. Ramelan, and A. Nuruddin, "Oxidation Protection of MgO-C Monolithic Refractories with Tar-Resin Binder and Metal Antioxidants", China's Refractories, Vol. 16, No. 3, 2007.
22- H. Efendy, and W. Mohamad, "Effect of Tar-Resin Binder on Properties of MgO-C Monolithic Refractories", China's Refractories, Vol. 19, No. 3, 2010.
23- H. Jansen, S. Dudczig, and C.G. Aneziris, "Magnesia-Carbon Castable with New Properties", 51st Colloquium Refractories, Aachen, pp. 84-87, 2008.
24- A.S. Gokce, C. Gurcan, S. Ozgen, and S. Aydin, "The effect of Antioxidants on the Oxidation Behavior of Magnesia-Carbon Refractory Bricks", Journal of Ceramics International, Vol. 34, pp. 323-330, 2008.
25- م. پاغنده، ا. منشی، ر. عمادی، " بررسی تاثیر استفاده از اتصالات فسفاتی در جرم های کم سیمان"، مجله مواد و فناوری‌های پیشرفته، جلد یک، شماره یک، صفحات 7-1، 1391.

Archive of SID

www.SID.ir