بررسی تاثیر مواد افزودنی فعال کننده سطحی بر مقاومت در برابر اکسیداسیون و خوردگی سرباره دیرگدازهای ریختنی خودجاری جوی کوره بلند

ساسان اطرج[*1]، رضا مرزبان[2] و محمدعلی بهره‌ور[3]

[1]دانشگاه شهرکرد، دانشکدهٔ فنی، گروه مهندسی مواد
[2]شرکت فرآورده‌های نسوز قدر
[3]پژوهشگاه مواد و انرژی

چکیده در این کار تحقیقاتی، تأثیر مواد افزودنی فعال کنندهٔ سطحی (ترکننده) همانند پلی اکسی اتیلن ستیل اتر و سدیم نفتالین سولفونات فرمالدیید بر خواص دیرگدازهای ریختنی خیلی کم سیمان در سیستم Al_2O_3-SiC-C شامل مقاومت در برابر اکسیداسیون و نفوذ سرباره مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که افزودنی سدیم نفتالین سولفونات فرمالدیید نقش مؤثرتری در افزایش مقاومت در برابر اکسیداسیون و نفوذ سرباره در این نوع دیرگداز ریختنی در مقایسه با افزودنی دیگر دارد. با انجام بررسی‌های ریز ساختاری علت این افزایش، پراکندگی مناسب‌تر ذرات SiC در ساختار به کمک افزودنی سدیم نفتالین سولفونات فرمالدیید در مقایسه با افزودنی دیگر تشخیص داده شد.

کلمات کلیدی دیرگداز ریختنی، خودجاری، افزودنی فعال‌کننده سطحی، Al_2O_3-SiC-C.

The Effect of Surfactant Agents on the Oxidation and Slag Corrosion Resistances of the Self-Flowing Refractory Castables in BF Troughs

S. Otroj[*1], R. Marzban[2] and M.A. Bahrevar[3]

[1]Group of Materials Engineering, Department of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[2]Gahdr Refractory Co., Khavaran Road, Tehran, Iran
[3]Materials and Energy Research Center, Karaj, Iran

Abstract In this research, the effect of surfactant agents such as; polyoxy ethylene cethyl ether (POECE) and sodium naphthalene solfonate formaldehyde condensation (SNSFC) on the properties of self-flowing ultra-low cement refractory castables in Al_2O_3-SiC-C system is investigated. For this reason, properties such as; oxidation and slag corrosion resistance are studied. The results are shown that SNSFC has greater effect on the increasing of oxidation and slag corrosion resistances in comparison with another additive. Microstructural investigations are showed that better distribution of SiC particles in the microstructure due to SNSFC can led to improvement of castable properties.

Keywords Refractory Castable, Self-flowing, Surfactant Agent, Al_2O_3-SiC-C.

***عهده‌دار مکاتبات**

نشانی: استان چهارمحال و بختیاری، دانشگاه شهرکرد.

تلفن: ۴۴۲۴۴۳۸-۰۳۸۱، **دورنگار**: ۴۴۲۴۴۳۸-۰۳۸۱، **پیام‌نگار**: sasan.otroj@gmail.com .

۱– مقدمه

درطی بیست سال گذشته گروه جدیدی از دیرگـدازهای ریختنی با قابلیت نصـب خودجـاری توسـعه یافتـه و بـه‌طـور موفقیت آمیـزی در کاربردهـای مختلـف بـه‌کـار رفتـه اسـت. مهمتـرین ویژگـی ایـن نـوع دیرگـدازهای ریختنـی، قابلیـت جریان‌یابی و هم سطح شدن در قالب بدون اسـتفاده از نیـروی خارجی همانند ویبراسیون می‌باشد.

به طور کلی مزایای دیرگدازهای ریختنـی خـودجـاری، باعث شده است تا ایـن گـروه جدیـد دیرگـدازهای ریختنـی، کاربردهـای رو بـه گسترشـی را در صـنایع حرارتـی مختلـف همانند صنایع آهـن و فـولاد پیـدا کننـد. یکـی از کاربردهـای مناسب برای این نوع دیرگدازها در جوی و راهگاه کوره بلنـد می‌باشد [۳–۱]. با توجه به شـرایط سـخت کـاری موجـود در سیستم جوی، دیرگدازهای مورد استفاده در این مکان علاوه بر دارا بودن خـواص نصـب مناسـب بایسـتی خواصـی هماننـد استحکام گـرم کـافی جهـت مقاومـت در برابـر سـایش گـرم، مقاومت مناسب در برابر خـوردگی و نفـوذ سـرباره، مقاومـت مناسب به شوک حرارتی جهت جلوگیری از پوسته‌ای شـدن و مقاومت مناسب در برابر اکسیداسیون را نیز دارا باشند.

مشخص شده است که دیرگدازهای ریختنی خیلـی کـم سیمان در سیستم Al_2O_3-SiC-C مـی‌تواننـد شـرایط سـخت و بحرانی در جوی کوره بلند را تحمل کنند. به‌طور معمـول SiC جهـت افـزایش هـدایت حرارتـی و کـاهش ضـریب انبسـاط حرارتی و در نتیجـه افـزایش مقاومـت بـه شـوک حرارتـی و همچنین بهبـود مقاومـت بـه خـوردگی سـرباره دیرگـدازهای ریختنی آلومینایی استفاده می‌شود. کـربن نیـز مـی‌توانـد تـأثیر مشابه ای داشته باشد. ضمن اینکه به دلیـل خاصـیت عـدم تـر شوندگی می‌تواند مقاومت در برابر خوردگی مذاب و سرباره را افزایش دهد[۱۲–۳].

جهـت تـر کـردن ذرات گرافیـت و عوامـل کربنـی و پراکندگی بهتر این ذرات معمولاً از افزودنی فعال کنندهٔ سطحی و ترکننده استفاده می‌شود. مکانیزم تر شدن ذرات کربنی توسط این نوع افزودنی‌ها بر پایهٔ کاهش انـرژی فصـل مشـترک بـین سطح ذرهٔ کربنی و آب می‌باشد.

افزودنی غیر یونی پلی اکسی اتیلن ستیل اتر به دلیل وزن ملکولی نسبتاً کم در مقایسه با عوامـل ترکننـده و فعـال کننـده سطحی مرسوم دیگر در کارهای تحقیقاتی بیشتر مورد اسـتفاده قرار گرفته است[۳]. مادهٔ افزودنی دیگری که بـه عنـوان فعـال کنندهٔ سطحی درایـن پـژوهش اسـتفاده شـده، سـدیم نفتـالین سولفونات فرمالدیید است. این ماده که یک ماده افزودنی یونی است، به‌خاطر دارا بودن گروه‌های نفتالین می‌تواند هم به عنوان یک ماده ترکننده و هم به عنوان یک ماده پراکنده ساز اسـتفاده شود.

در پژوهش حاضر، تأثیر مواد فعال کننـدهٔ سـطحی ذکـر شده بر خواص دیرگـدازهای ریختنـی خیلـی کـم سـیمان در سیستم Al_2O_3-SiC-C همانند مقاومت در برابر اکسیداسـیون و نفوذ سرباره مورد ارزیابی قرار گرفته است. تـاکنون گزارشـات علمی جامع و دقیقی در مورد این سیستم و نقش مواد افزودنی فعال کنندهٔ سطحی بر خواص آن ارائه نشده است.

۲– نحوهٔ انجام آزمایش

۲–۱– مواد اولیه و فرمولاسیون

با توجه به مقالات و گزارشات ارائه شده در ایـن زمینـه مناسب ترین ترکیب مـواد اولیـه ارائـه شـده بـرای ایـن نـوع دیرگدازها به‌صورت خیلی کم سـیمان انتخـاب گردیـد کـه در جدول ۱ ارائه شده است.

دانه بندی مواد اولیه مطابق فرمول آنـدریازن بـا q برابـر ۰/۲۴ و محدوده دانه بندی mm (۵–۰) استفاده گردیـد[۱۳]. در

جدول ۲ افزودنیهای ترکنندهٔ سطحی مورد استفاده در این پژوهش به همراه ویژگی‌های آنها ارائه شده است.

جدول ۱. فرمولاسیون عمومی مورد استفاده در دیرگداز ریختنی خیلی کم سیمان در سیستم Al_2O_3-SiC-C.

نوع ماده اولیه	درصد وزنی
آلومینای تابولار	۶۳/۵
کاربید سیلیسیم	۱۵
پک	۳
میکروسیلیس	۴/۵
آلومینای راکتیو	۱۲/۵
سیمان آلومینات کلسیم	۱/۵
دفلوکولانت	۰/۱

جدول ۲. نام و ویژگی‌های افزودنی‌های مورد استفاده در این پژوهش.

نام افزودنی / ویژگی‌ها	پلی اکسی اتیلن ستیل اتر	سدیم نفتالین سولفونات فرمالدید
علامت اختصاری	POECE	SNSFC
نوع افزودنی	غیر یونی	یونی
شرکت سازنده	Sigma Aldrich	Henkel
pH محلول ۲٪	۶/۳۴	۹/۵۰

جهت بررسی تأثیر نوع افزودنی فعال کننده سطحی بر خواص و با توجه به بررسی‌های انجام شده در مورد تأثیر این مواد بر رفتار رئولوژیکی و جریان‌یابی از ترکیبات مختلف مواد افزودنی مطابق جدول ۳ استفاده گردید [۱۳]. ترکیب (A) بدون هیچ گونه افزودنی فعال کنندهٔ سطحی تهیه گردید تا به عنوان معیاری جهت مقایسه اثر این مواد بر خواص بدنه مورد استفاده قرار گیرد.

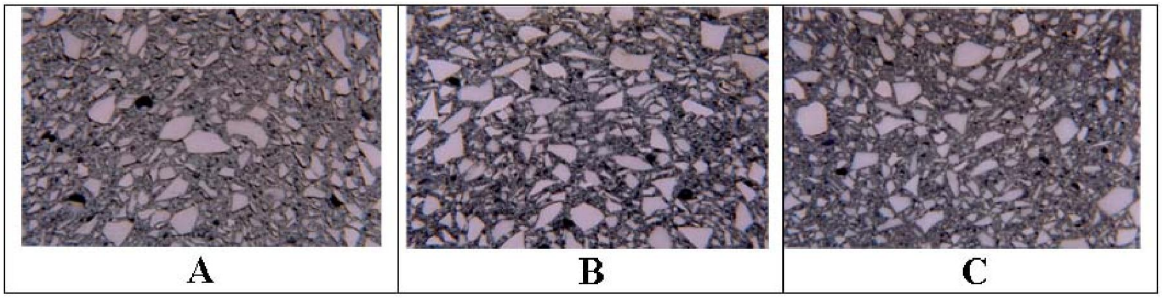
جدول ۳. فرمولاسیون‌های مختلف بررسی شده حاوی مواد افزودنی فعال کنندهٔ سطحی [۱۳].

ماده افزودنی	مقدار مورد استفاده در ترکیب (درصد وزنی)		
	C	B	A
POECE	–	۰/۰۰۱	–
SNSFC	۰/۰۲	–	–

۲-۲- روش ساخت و بررسی خواص نمونه‌ها

پس از اضافه کردن میزان آب مصرفی ثابت و مخلوط کردن به‌صورت تر ترکیب طی زمان‌های مشخص استاندارد، دیرگداز ریختنی آماده شده بدون انجام لرزش و ویبراسیون درون قالب‌های استاندارد ریخته شد. بدین منظور از قالبهای مکعبی شکل ۷×۷×۷cm جهت ساخت نمونه‌های مناسب برای اندازه گیری مقاومت در برابر اکسیداسیون و همچنین از قالبهای مکعبی شکل ۵×۵×۵ cm جهت ساخت نمونه‌های مناسب برای انجام تست خوردگی استفاده گردید. جهت جلوگیری از تبخیر آب نمونه‌ها، سطح رویی آنها با پلاستیک پوشانده شد. طبق استاندارد پس از گذشت ۲۴ ساعت زمان ماندگاری، نمونه‌ها از قالب جدا شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت نیز در خشک‌کن با درجه حرارت ۱۱۰ ^oC نگهداری گردید.

پس از خشک شدن کامل نمونه‌ها مقاومت در برابر اکسیداسیون و نفوذ سرباره مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انجام آزمون مقاومت در برابر اکسیداسیون، نمونه‌ها در کوره



شکل ۱. تصویر سطح مقطع دیرگداز ریختنی بدون افزودنی فعال کننده سطحی [A] حاوی افزودنی POECE [B] و حاوی افزودنی SNSFC [C] (۲۰×).

الکتریکی با دمای $1500\ ^{o}C$ به مدت ۳ ساعت نگهداری شدند. پس از ایجاد برش در سطح مقطع نسبت سطح کربنیزه شده به سطح کل نمونه اندازه گیری گردید و به عنوان معیاری از مقاومت در برابر اکسیداسیون در نظر گرفته شد. همچنین میزان تخلخل نمونه‌ها قبل و بعد از اکسیداسیون در کوره الکتریکی، به عنوان معیاری از میزان اکسیداسیون اندازه‌گیری گردید [۱۱].

برای انجام آزمون مقاومت در برابر خوردگی سرباره در وسط نمونه‌های مکعبی شکل حفره ای به‌صورت استوانه ای با ابعاد ۲ cm ارتفاع و ۱ cm قطر تهیه شد. درون هر حفره مقدار معینی (۱۵ g) سرباره کوره بلند (C/S= ۱/۰۲) به‌صورت پودر شده (<۰/۰۲mm) ریخته شد. جهت جلوگیری از اکسیداسیون، سطح همه نمونه‌ها به‌جز ناحیه بالای حفره‌ها با لایه‌ای از ملات آلومینایی با ضخامت ۵ mm پوشانده شد. این عمل به دلیل قرارگیری سرباره در معرض اتمسفر کوره و ذوب آن انجام گردید. سپس نمونه‌ها در کوره الکتریکی با دمای $1500^{o}C$ به مدت ۳ ساعت نگه داشته شد. نمونه‌ها از وسط پس از سرد شدن برش داده شد و میزان عمق نفوذ سرباره (S.P.D) توسط میکروسکپ نوری مورد بررسی قرار گرفت [۱۱].

جهت بررسی نحوه توزیع اجزاء و مواد اولیه در بدنه از بررسیهای میکروسکوپی روی سطح مقطع نمونه‌های خشک شده با کمک دستگاه میکروسکوپ نوری مدل Wild M8 استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر مواد افزودنی فعال کنندهٔ سطحی بر ریزساختار

تصاویر میکروسکوپی مربوط به سطح مقطع نمونه‌های حاوی مواد افزودنی فعال کننده سطحی مختلف و نمونه بدون افزودنی در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به تصاویر مشخص می‌شود که افزودن مواد فعال کننده سطحی به ترکیب این نوع دیرگدازها باعث افزایش یکنواختی اجزاء سیستم زمینه می‌شود به‌طوری که سیستم زمینه بدنه C به لحاظ توزیع ذرات و اجزای ریزدانه به ویژه SiC و پک دارای هموژنیته بیشتری نسبت به نمونه‌های B و A است.

به طور کلی پخش ذرات یک جزء در یک سیستم چند جزیی مستلزم ایجاد بارهای هم علامت با مقدار مساوی روی تمامی ذرات سیستم است و اگر یکی از ذرات دارای بار مخالف و حتی بار هم علامت ولی با مقدار کمتری نسبت به مقدار بار سطحی دیگر اجزاء باشد، توزیع مناسبی در سیستم

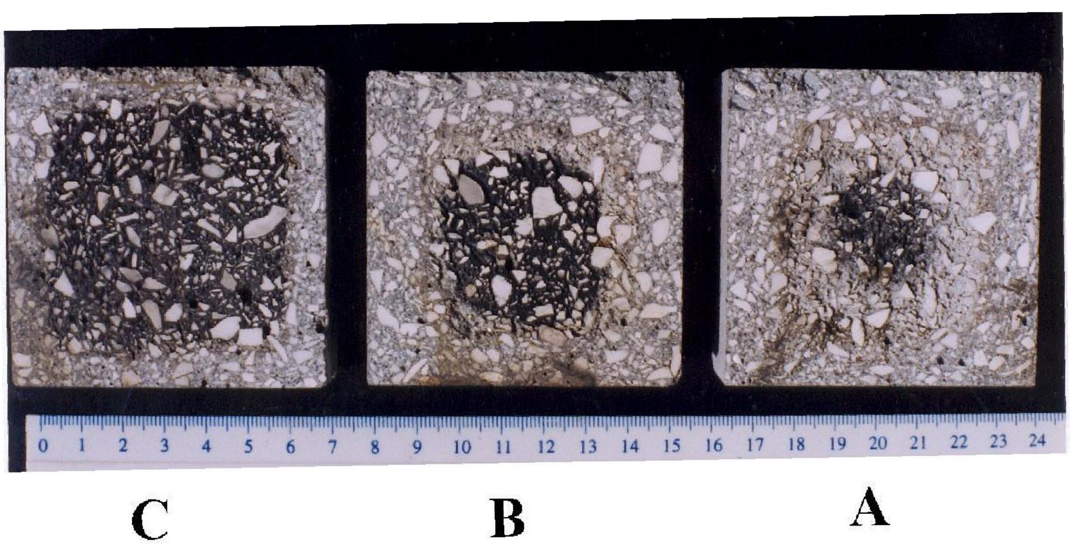
نخواهد داشت.

در نمونه‌های بدون افزودنی فعال کنندهٔ سطحی به دلیل تر نشدن ذرات پک و همچنین تا حدی ذرات SiC، این ذرات پراکندگی مناسبی را در سیستم زمینه ندارند. نمونه‌های دارای افزودنی POECE[1] تا حدی پراکندگی مناسب ذرات پک و SiC را در زمینه دارا هستند. اما با مقایسهٔ سیستم زمینه نمونه‌های حاوی با نمونه‌های حاوی SNSFC[2] مشخص می‌شود که افزودنی SNSFC باعث ایجاد هموژنیتهٔ بسیار مناسبی در اجزاء موجود در سیستم زمینه به ویژه SiC می‌شود. با توجه به یکنواخت تر بودن توزیع ذرات SiC در ترکیب C انتظار می‌رود که خواص مرتبط با اثر SiC در ترکیب همانند شوک پذیری، مقاومت به نفوذ سرباره نیز بهبود یابد.

۳-۲- تأثیر مواد افزودنی فعال کننده سطحی بر مقاومت به اکسیداسیون

تصاویر مربوط به سطح مقطع نمونه‌های دیرگداز ریختنی مورد بررسی پس از انجام تست مقاومت در برابر اکسیداسیون در شکل ۲ ارائه شده است. تصاویر ارائه شده نشان می‌دهد که در وسط تمامی نمونه‌ها، سطحی تیره رنگ نسبت به سطوح دیگر نمونه ولی با مساحت‌های مختلف وجود دارد. این سطح تیره رنگ ناحیه ای از نمونه است که به‌خاطر وجود پک در آن هنگام حرارت دیدن کربنیزه شده و تیره رنگ گردیده است. تبدیل پک به اتصال کربنی در اتمسفر خنثی یا احیایی صورت می‌گیرد و اتمسفر اکسیدی باعث سوختن آن و اتصال کربنی ناشی از آن می‌شود. با گرم شدن نمونه از دمای محیط و سپس نرم شدن آن و شروع واکنش‌های پلیمریزاسیون و کربنیزاسیون، در دمای بالاتر از ۴۰۰°C پک‌های موجود در سطح خارجی نمونه که در تماس با اتمسفر کوره قرار دارد شروع به سوختن می‌کنند که سرعت سوختن آن بستگی زیادی به میزان، نوع و نحوه توزیع تخلخل‌ها در بدنه دارد.

تخلخل‌های باز بیشترین تأثیر را بر سوختن کربن و اکسیداسیون بدنه دارد. هنگام سوختن پک موجود در سطح



شکل ۲. تصویر سطح مقطع دیرگدازهای ریختنی مورد بررسی پس از انجام تست اکسیداسیون.

1. Polyoxy Ethylene Cethyl Ether
2. Sodium Naphthalene Solfonate Formaldehyde Condensation

نمونه، وجود ذرات پک در وسط نمونه‌ها، اتمسفر آنرا تقریباً به‌صورت احیایی در می‌آورد و باعث انجام و ادامه واکنش‌های پلیمریزاسیون و کربنیزاسیون در وسط نمونه‌ها می‌شود. بنابراین با وجود قرارگیری نمونه‌ها در اتمسفر هوای معمولی کوره، وسط نمونه‌ها کربنیزه و اتصال کربنی تشکیل می‌شود.

شکل‌های ارائه شده نشان می‌دهند که افزودن ماده تر کننده به این نوع بدنه‌های دیرگداز باعث کاهش میزان سطح اکسید شده و در نتیجه بهبود مقاومت به اکسیداسیون می‌شود. همچنین مشخص شده است که افزودنی SNSFC تأثیر بیشتری بر افزایش مقاومت به اکسیداسیون بدنه نسبت به افزودنی POECE داشته است.

با توجه به بررسی سطح مقطع نمونه‌ها، میزان سطح اکسید شده اندازه گیری و درصد اکسیداسیون نمونه‌ها محاسبه شد که نتایج حاصل در شکل ۳ ارائه شده است.

همچنین تأثیر نوع مواد افزودنی فعال کننده سطحی مختلف بر تغییرات چگالی و درصد افزایش تخلخل این نوع بدنه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. به طور کلی در ترکیبات حاوی کربن، اتمسفر موجود حاوی گاز CO است که توسط اکسیداسیون کربن طبق رابطهٔ ۱ ایجاد می‌شود:

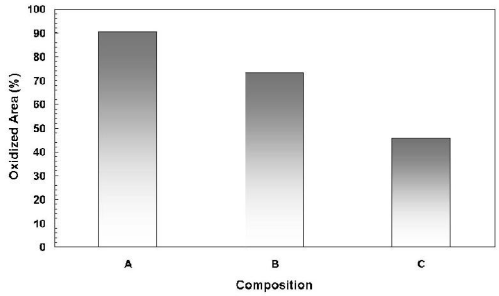
$$2C + O_2 = 2CO\ (g) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

بنابراین طبق واکنش‌های ۲ و ۳، SiC تولید گاز SiO و سیلیس جامد می‌کند:

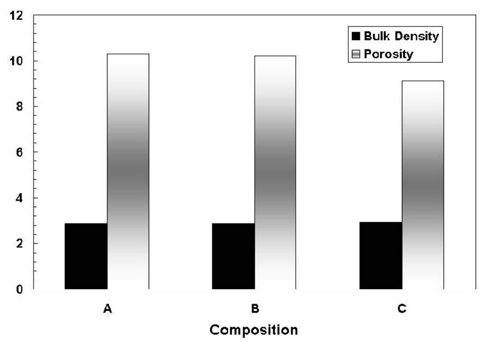
$$SiC\ (s) + CO\ (g) = SiO\ (g) + 2C\ (s) \qquad \text{رابطه (۲)}$$

$$SiO\ (g) + CO\ (g) = SiO_2\ (s) + C\ (s) \qquad \text{رابطه (۳)}$$

SiC مقاومت کمی را در برابر اتمسفر اکسیدی نشان می‌دهد اما در بعضی مواقع به‌صورت یک آنتی اکسیدان برای موادی عمل می‌کند که نسبت به SiC به سهولت بیشتری اکسید می‌شوند. مطابق واکنش‌های بالا، کربن در اتمسفر اکسیدی



شکل ۳. تأثیر نوع مواد افزودنی فعال کنندهٔ سطحی مختلف بر درصد اکسیداسیون بدنه های دیرگداز ریختنی مورد بررسی.



شکل ۴. تأثیر نوع مواد افزودنی فعال کننده سطحی مختلف بر درصد افزایش تخلخل و تغییرات چگالی نمونه های دیرگداز ریختنی مورد بررسی.

اکسید می‌شود ولی دوباره به ترکیب دیرگداز بر می‌گردد و ساختار دیرگداز متخلخل به‌خاطر ایجاد و رسوب کربن و همچنین تشکیل SiO_2 جامد در تخلخل‌های ساختار تا حدی متراکم می‌شود. بنابراین SiC می‌تواند از اکسیداسیون کربن موجود در ترکیب جلوگیری کند. لایه سیلیس تشکیل شده نیز به‌عنوان محصول فرعی اکسیداسیون SiC باعث افزایش مقاومت به اکسیداسیون ترکیب می‌شود.

بنابراین ذرات SiC بر مقاومت به اکسیداسیون بدنه‌های حاوی کربن تأثیر زیادی می‌توانند داشته باشند اما این تأثیر بستگی زیادی به توزیع اندازه ذرات، مقدار و نحوه توزیع ذرات SiC در ترکیب مورد نظر دارد.

با توجه به یکسان بودن مقدار و محدوده اندازه ذرات SiC مصرفی در سه ترکیب مختلف (A، B، C) بنابراین تفاوت در تأثیر متفاوت ترکیب‌های مختلف بر مقاومت به اکسیداسیون را می‌توان به نحوه توزیع متفاوت ذرات SiC در بدنه به‌ویژه در سیستم زمینه آن نسبت داد. نتایج حاصل از بررسی‌ها و ارزیابی‌های مربوط به مقاومت به اکسیداسیون نمونه‌ها تأیید کننده بررسی‌های میکروسکوپی و ریزساختاری است. همچنین با توجه به نتایج شکل ۴ تخلخل کمتر نمونه‌های دارای افزودنی فعال کنندهٔ سطحی SNSFC را می‌توان یکی دیگر از دلایل اکسیداسیون کمتر این نوع بدنه‌ها برشمرد.

نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد که نمونه‌های دارای مقاومت به اکسیداسیون کمتر، چگالی کمتری نیز دارند. تصاویر ارائه شده در شکلها مربوط به سطح مقطع نمونه‌ها پس از انجام تست اکسیداسیون نشان می‌دهد که اکسیداسیون نمونه‌ها باعث نشده تا تمامی پک موجود در کربن و اتصال کربنی ناشی از آن به‌طور کامل بسوزد. حتی در وسط نمونه دارای حداقل مقاومت به اکسیداسیون نیز تا حدی اتصال کربنی دیده می‌شود.

بنابراین با توجه به استفاده از ۳ ٪ وزنی پک در ترکیب تمام نمونه‌ها و همچنین از نتایج شکل ۴ می‌توان نتیجه گرفت که کاهش وزن نمونه‌ها تا حدی به اکسیداسیون اتصال کربنی ناشی از پک مربوط می‌شود و بخشی از آن نیز به خروج گاز یا گازهای دیگر از بدنه مربوط می‌شود. با توجه به واکنش‌های ارائه شده مشخص می‌شود که خروج گاز SiO نیز می‌تواند منجر به کاهش وزن نمونه‌ها گردد. بنابراین اکسید شدن ذرات SiC و در نتیجه تشکیل گاز SiO و سپس خروج آن از بدنه عامل اصلی دیگر کاهش وزن این نمونه‌ها محسوب می‌شود. با خروج گاز SiO به‌نظر می‌رسد که واکنش بعدی یعنی تشکیل SiO_2 به‌طور محدودی انجام شده است. به‌ویژه در نمونه‌های بدون افزودنی فعال کننده سطحی که بیشترین کاهش وزن را نشان می‌دهند.

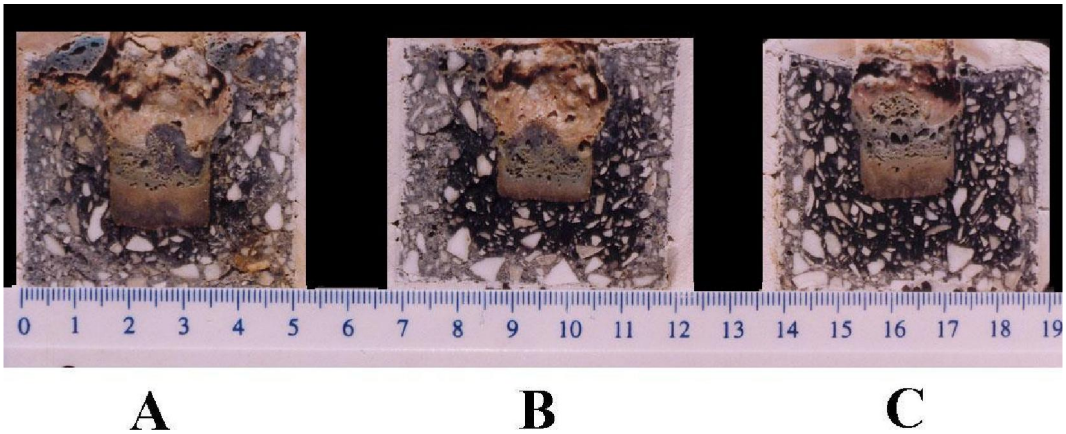
۳-۳- تأثیر مواد افزودنی فعال کنندهٔ سطحی بر مقاومت به نفوذ سرباره

تصاویر مربوط به سطح مقطع نمونه‌های دارای مواد افزودنی فعال کننده سطحی متفاوت (دارای ترکیب‌های B، C، A) پس از تست خوردگی ایستا در شکل ۵ ارائه شده است. تصاویر نشان می‌دهند با وجود اعمال یک لایه آلومینایی روی سطح نمونه‌ها سطح خارجی نمونه‌ها و مقداری هم داخل نمونه‌ها اکسید شده اند. به دلیل اینکه سطح اکسید شده از ناحیه تحت خوردگی فاصله دارد بنابراین خوردگی کمتر تحت تأثیر اکسیداسیون بوده است.

با توجه به تصاویر ارائه شده نفوذ سرباره و نحوه خوردگی در تمامی نمونه‌ها از الگوی خاصی پیروی می‌کند. در بخش‌های پائینی و انتهایی حفره، نفوذ سرباره و خوردگی دیده نمی‌شود ولی در بخش‌های بالایی حفره و تقریباً در فصل مشترک سرباره–هوا–دیرگداز ریختنی، خوردگی زیاد و نفوذ سرباره نیز دیده می‌شود.

با انجام واکنش شیمیایی، اجزاء دیرگداز در داخل سرباره حل می‌شوند و سرباره به درون بدنه نفوذ میکند و به این ترتیب باعث خوردگی بدنه دیرگداز می‌شود. به‌طورکلی هدف اصلی اضافه کردن SiC به این نوع دیرگدازهای ریختنی، بهبود خواص بدنه همانند مقاومت به پوسته‌ای شدن و مقاومت به خوردگی سرباره است. این ماده به دلیل هدایت حرارتی زیاد، ضریب انبساط حرارتی کم جهت بهبود و افزایش خواص اشاره شده اضافه می‌شود. نتایج نشان داده است که SiC بندرت توسط سرباره تر می‌شود در حالی‌که ذرات آلومینا به آسانی با سرباره واکنش می‌کنند [۱۲–۵].

اضافه کردن کربن به این دیرگدازها نیز به جهت افزایش

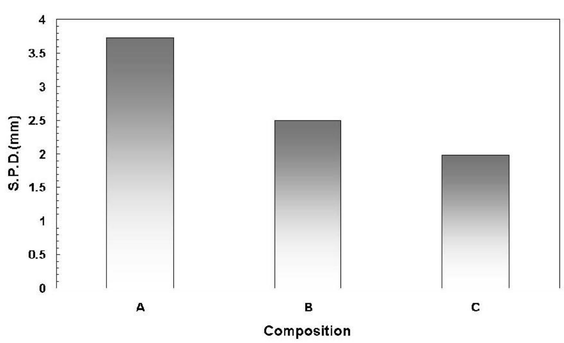


شکل ۵. تصویر سطح مقطع دیرگداز ریختنی مورد بررسی با ترکیب های مختلف پس از انجام تست خوردگی.

مقاومت به خوردگی و فرسایش ناشی از آهن و سرباره انجام می‌شود. اگر کربن توسط عواملی مثل اتمسفر کوره، مذاب آهن و سرباره اکسید شود، تخلخل بدنه دیرگداز افزایش می‌یابد و بدین ترتیب ترشوندگی توسط مذاب آهن و سرباره افزایش می‌یابد و بنابراین میزان خوردگی و نفوذ مذاب و سرباره بیشتر می‌گردد. جهت حفاظت کربن از اکسیداسیون به‌طور معمول مواد آنتی اکسیدان اضافه می‌شود و همان‌طوری‌که اشاره گردید SiC می‌تواند به‌عنوان یک آنتی اکسیدان در این نوع بدنه‌ها عمل کند. بدین ترتیب ذرات SiC به لحاظ عدم تر شوندگی توسط سرباره و همچنین خاصیت آنتی اکسیدان بودن برای کربن موجود در ترکیب از اهمیت زیادی در ایجاد و افزایش مقاومت به خوردگی توسط سرباره این نوع دیرگدازها برخوردار است.

نتایج نفوذ سرباره (S.P.D) در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج نشان دهنده تأثیر مثبت مواد افزودنی فعال کننده سطحی بر مقاومت به نفوذ سرباره در این نوع دیرگدازهای ریختنی است. همچنین افزودنی SNSFC باعث بهبود مقاومت به نفوذ سرباره نسبت به افزودنی POECE گردیده است. با توجه به بحث‌های ارائه شده در مورد تأثیر SiC بر مقاومت به خوردگی سرباره و با توجه به بررسی‌های ریزساختاری، یکنواختی توزیع SiC در بدنه‌هایی با ترکیب C را که دارای افزودنی SNSFC هستند می‌توان دلیل اصلی کاهش عمق نفوذ سرباره و در نتیجه مقاومت بیشتر این ترکیب در نظر گرفت. همچنین تخلخل‌های کمتر این ترکیب را نیز به‌عنوان یکی دیگر از عوامل کاهش میزان عمق نفوذ سرباره می‌توان در نظر گرفت.

با توجه به عدم خوردگی و نفوذ سرباره در بخش‌های پایینی



شکل ۶. میزان عمق نفوذ سرباره در ترکیب دیرگداز ریختنی مورد بررسی دارای مواد افزودنی فعال کننده سطحی متفاوت.

حفره، می‌توان حضور اتصال کربنی ناشی از کربونیزاسیون پک در این بخش‌ها و جلوگیری مؤثر از نفوذ سرباره در این نواحی را علت اصلی عدم خوردگی و نفوذ سرباره دانست. اما در بخش‌های بالایی تا حدی حضور این اتصال کربنی به دلیل ارتباط با هوای اتمسفر کوره و در نتیجه اکسیداسیون آن، ضعیف‌تر می‌شود و ذرات SiC می‌توانند نقش مؤثرتری را در این زمینه بازی کنند. بنابراین اکسیداسیون بیشتر بخش‌های بالایی نمونه بدون افزودنی و همچنین نمونه دارای افزودنی POECE نسبت به نمونه دارای افزودنی SNSFC را می‌توان یکی دیگر از دلایل اختلاف در میزان خوردگی و نفوذ سرباره در این نوع بدنه‌ها دانست.

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از مواد افزودنی فعال کننده سطحی در ترکیب دیرگداز ریختنی مورد بررسی باعث بهبود قابل ملاحظه خواصی همانند مقاومت به اکسیداسیون و نفوذ سرباره می‌شود. بنابراین استفاده از این مواد در ترکیب این نوع دیرگدازها ضروری به نظر می‌رسد. مواد افزودنی فعال کننده سطحی با کاهش کشش سطحی آب و تر کردن مناسب تر سطح ذرات پک و SiC موجود در ترکیب باعث پراکندگی مناسب تر آنها در سیستم می‌شود و نقش این اجزاء را در ایجاد و افزایش مقاومت‌های ذکر شده مؤثرتر می‌سازد. در این ارتباط افزودنی فعال کننده سطحی سدیم نفتالین سولفونات فرمالدیید نقش مؤثرتری در افزایش مقاومت به اکسیداسیون و نفوذ سرباره در این نوع دیرگداز ریختنی در مقایسه با افزودنی پلی اکسی اتیلن ستیل اتر دارد. با انجام بررسیهای ریز ساختاری علت این افزایش، پراکندگی مناسب تر ذرات SiC در ساختار به کمک افزودنی سدیم نفتالین سولفونات فرمالدیید در مقایسه با افزودنی پلی اکسی اتیلن ستیل اتر تشخیص داده شد.

مراجع

1. Zhanmin, W., Xia, H., Ninysheny, Z., “Monolithic Refractories in Casting House of Blast Furnace”, ***China’s Refractories***, Vol.9, No.4, (2000) 6-17.
2. Nakashima, H., et al., “Application of Self-Flow Type Castable Refractories in NKK”, ***UNITECR’93 Proceedings***, Kyoto, Japan, (1995) 205-213.
3. Oliveira, I. R., Studart, A. R., Pandolfelli, V. C., “Zero-Cement Refractory Castables”, ***American Ceramic Society Bulletin***, Vol. 81, No. 12 (2002) 27-34.
4. Choudhury, S. K., et al., “ Role of ULC Based Al_2O_3-SiC-C Castable in Improving Endless Lining Life in B.F. Runners in Indian Steel Plants”, ***UNITECR’2001 Proceedings,*** (2001) 208-219.
5. Taniguchi, T., et al., “Studies on Trough Lining Refractories for Large Capacity Blast Furnaces”, ***Taikabutsu Overseas***, Vol. 2, No. 1 (1982) 78-89.
6. Shouge, W., et al., “Development and Application of Al_2O_3-SiO_2-SiC-C Refractories for Different Types of BF Troughs and Runners”, ***UNITECR’93 Proceedings***, Kyoto, Japan (1995) 159-166.
7. Ruther, P., “Refractory Materials in Blast Furnace Plants”, ***CN-Ref.***, Vol. 6, No. 3 (1999) 5-12.
8. Bhattacharya, A. K., et al., “Ultra – Low Cement Castables – A New Generation of Trough Bodies for Increased Cast House Life”, ***Interceram***, Vol. 47, No. 4 (1998) 249-251.
9. Wu, J.A., Yang, H.Y., “Erosion of Blast Furnace Troughs by Molten Iron and Slag”, ***American Ceramic Society Bulletin***, Vol. 62, No. 7 (1983) 793-797.
10. Zhu, B., “The Present Progress and Problems of Carbon –Containing Castables”, ***China’s Refractory***, Vol. 9, No. 1 (2000)8-11.
11. Bogan, J. E., “Effect of Oxidation on Slag Resistance of Blast Furnace Trough Castables”, ***UNITECR’93 Proceeding*** (1993) 914-921.
12. Serbezov, S., et al., “On the Wearing Mechanism of Thixotropic Castables in Al_2O_3-SiC-C-SiO_2 Systems”, ***UNITECR’93 Proceeding*** (1993) 991-998.
13. اطرج، ساسان، "بررسی تاثیر مواد افزودنی بر خواص دیرگدازهای ریختنی در سیستم Al_2O_3-SiC-C"، پایان‌نامه دکتری مهندسی مواد (سرامیک)، پژوهشگاه مواد و انرژی (۱۳۸۳)