

اثر آنتی اکسیدان سیلیسیوم بر رفتار اکسیداسیون دیرگدازهای منیزیا-گرافیت

نرجس باقری^۱، سید خطیب الاسلام صدرنژاد^۲، سارا مهشید^۳

پژوهشگاه مواد و انرژی (کرج-مشکین دشت صندوق پستی: ۳۱۶-۳۱۷۸۷)

nbs1384@yahoo.com

چکیده

از جمله واکنش‌های مهم صنعتی، واکنش گازهای موجود در اتمسفر با جداره تجهیزات می‌باشد. این موضوع باعث کاهش کارایی تجهیزات شده و ممکن است خسارات زیادی را به همراه آورد. امروزه تلاش شده است با بررسی الگوهای سینتیکی، مکانیزم این واکنش‌ها بررسی شود. در این پژوهش، مکانیزم اکسیداسیون نسوزهای منیزیا-گرافیتی شامل درصدهای ۰، ۱، ۳ و ۵٪ وزنی آنتی اکسیدان سیلیسیوم در دماهای ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰ و ۱۱۰۰ °C در اتمسفر هوا بررسی شد. با توجه به شکل ظاهری نمونه‌ها الگوهای سینتیکی مناسب انتخاب گردید. با استفاده از منحنی‌های بدست آمده از آزمایش اکسیداسیون و روش‌های نرم‌افزاری، زمان آسایش نمونه‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش دما مدل از حالت تبدیل پیشرونده به هسته کوچک شونده تبدیل می‌شود. همچنین در دماهای پایین، گام کنترل کننده در فرآیند اکسیداسیون جذب شیمیایی اکسیژن روی صفحات گرافیت و نفوذ در جامد می‌باشد که با افزایش دما به ۱۰۰۰ و ۱۱۰۰ درجه و افزایش سیلیکون به ۵٪ گام جذب شیمیایی حذف می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: دیرگداز منیزیا-گرافیت، آنتی اکسیدان، سیلیسیوم، سینتیک

۱- کارشناس ارشد پژوهشگاه مواد و انرژی

۲- استاد پژوهشگاه مواد و انرژی و دانشگاه صنعتی شریف

۳- دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شریف

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر نسوزهای منیزیا-گرافیتی به طور وسیعی در صنعت آهن و فولاد استفاده می‌شوند. ترکیب آهن با اکسید منیزیم موجب بهبود شوک‌پذیری و مقاومت به خوردگی، کنترل انبساط حرارتی و کاهش ترپذیری به وسیله مایع خورنده می‌شود. اما عدم مقاومت به اکسیداسیون ضعف اصلی این مواد می‌باشد و در این راستا تحقیقات فراوانی جهت رفع این مشکل شده است [۱-۵]. برای غلبه بر این مشکلات، آنتی‌اکسیدان‌های مختلفی شامل آلومینیوم، سیلیکون، فروسیلیکون و... مورد بررسی قرار گرفته است.

Tabata و Carniglia بررسی‌هایی بر روی واکنش MgO و C در محدوده دمایی بالای 1400°C و فشار اکسیژن پایین انجام داده اند [۶-۷]. Ichikawa سینتیک اکسیداسیون مستقیم کربن در آجرهای MgO-C را بررسی کردند، اما معادله سرعت ارائه شده توسط آنها تنها با اندازه‌گیری‌های انجام شده در دمای 1000°C بدست آمد [۸]. روش‌های مختلفی برای بررسی رفتار اکسیداسیون این نسوزها صورت گرفته است. از جمله می‌توان به افت وزن نمونه‌ها در دمای ثابت اشاره نمود [۲، ۸، ۹]. Ghosh با بررسی اکسیداسیون آجرهای MgO-C از طریق اندازه‌گیری کاهش وزن ایزوترمال نمونه‌ها در محدوده دمایی $1600-800^{\circ}\text{C}$ ، مکانیزم سوختن کربن را در این آجرها بررسی کردند [۹]. در کاری که توسط Faghihi-Sani انجام گرفت، یک مدل ریاضی برای سینتیک اکسیداسیون مستقیم گرافیت در محدوده دمایی $1200-1000^{\circ}\text{C}$ ، از طریق اندازه‌گیری کاهش وزن نمونه‌ها در حین سوختن کربن ارائه شد و پارامترهای سینتیکی مربوطه در این محدوده دمایی بدست آمد [۱۰]. در مطالعه‌ای که توسط Xiangmi و Rigaud انجام گرفت، اکسیداسیون مستقیم کربن در محدوده دمایی $1400-1000^{\circ}\text{C}$ بررسی شد و معادله سرعت سوختن کربن به روش آنالیز گاز خروجی و اندازه‌گیری مقدار CO تبدیل شده به CO_2 به عنوان تابعی از زمان اکسیداسیون بدست آمد [۱۱]. همچنین گروهی از محققان بر روی رفتار این دیرگدازها در حضور آنتی‌اکسیدان تحقیق نموده‌اند و پارامترهای سینتیکی را مورد بررسی قرار داده اند [۵، ۲ و ۱۲].

این تحقیق به منظور بررسی اثر آنتی‌اکسیدان سیلیسیوم بر رفتار سینتیک این نسوزها صورت گرفته است.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق از منیزیای زینتر شده چینی، گرافیت، سیلیکون و رزین با نسبت ارائه شده در جدول ۱ برای تهیه قطعات نسوز استفاده شد. این مواد در صنعت به مدت ۳۰ دقیقه با هم مخلوط و همگن شدند و سپس قطعاتی با قطر ۶۰ میلی‌متر و با فشار 2000 kg/cm^2 تهیه شد. به منظور دستیابی به استحکام خام نهایی، نمونه‌ها برای مدت ۲۴ ساعت در دمای 250°C کیور شدند [۱ و ۲]. سپس استوانه‌هایی با ابعاد $2/5 \text{ cm}$ قطر و 2 cm طول از این نمونه‌ها بریده شد. مجدداً نمونه‌ها در بستری از کک در دمای 600°C به مدت ۷ ساعت نگهداری شدند تا

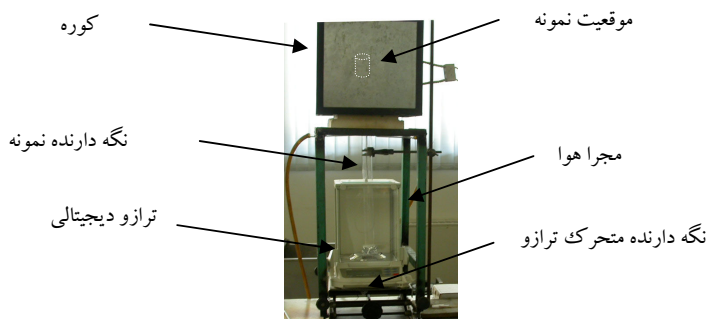
مواد حاصل از تجزیه رزین بطور کامل از نمونه‌ها خارج شود و تغییر وزن حاصل در مرحله اکسیداسیون عمدتاً ناشی از سوختن گرافیت باشد [۱ و ۲].

جدول ۱: ترکیب مواد نسوز منیزیا- گرافیت

		S0	S1	S3	S5
منیزیا (۰/۰۷۵mm)	۳-۵mm	%۱۹	%۱۹	%۱۹	%۱۹
	۱-۳mm	%۲۸	%۲۸	%۲۸	%۲۸
	۰/۰۷۵-۱mm	%۲۸	%۲۸	%۲۸	%۲۸
منیزیا زینتر شده (کوچکتر از ۰/۰۷۵ mm)		%۱۵	%۱۴	%۱۲	%۱۰
گرافیت پولکی (چین)		%۱۰	%۱۰	%۱۰	%۱۰
پودر سیلیسیوم (کوچکتر از ۰/۰۷۵mm)		%۰	%۱	%۳	%۵
رزین		%۳	%۳	%۳	%۳

برای انجام آزمایش اکسیداسیون، از یک کوره عمودی استفاده شد. یک ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم بر روی پایه‌ای که قابلیت تحرک به سمت بالا و پایین را دارد، قرار داده شد. یک لوله کوارتزی از یک سمت بر روی این ترازو قرار گرفت و از سمت دیگر وارد این کوره شد. مکان قرارگیری نمونه بر روی این لوله می‌باشد (شکل ۱). پس از رسیدن کوره به دمای مورد نظر، نمونه از قسمت بالا روی لوله کوارتز قرار گرفت و سپس به کمک پایه زیر ترازو به سمت منطقه داغ کوره هدایت شد. به منظور جلوگیری از ایجاد لایه خارجی اطراف نمونه، جریان طبیعی از هوا از دو سمت مختلف از پایین کوره به داخل دمیده شد. همچنین به منظور اکسیداسیون یک جهته (جهت شعاعی)، دو انتهای نمونه‌ها توسط ورقه‌های آلومینایی پوشیده شد تا در تماس مستقیم با اکسیژن محیط نباشد. تغییرات وزن نمونه بر حسب زمان حداقل برای دو ساعت یادداشت شد. مقدار درصد کاهش وزن نمونه‌ها مطابق با رابطه زیر محاسبه گردید [۱ و ۲].

$$(1) \quad \text{میزان کاهش وزن کل نمونه} / (\text{تغییرات وزن در زمان } t) = \text{کاهش وزن نمونه‌ها (X)}$$



شکل ۱- تجهیزات مورد استفاده برای اندازه گیری تغییرات وزن بر حسب زمان

برای بدست آوردن کاهش وزن کامل نمونه‌ها یا درصد کربن باقیمانده، از هر سری ترکیب، سه نمونه انتخاب گردید و پس از اکسیداسیون کامل در یک کوره الکتریکی جعبه‌ای در دمای 1000°C ، کاهش وزن کل اندازه گیری شد و میانگین این سه نمونه بدست آمد. سطح نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری مدل METALUX II مورد بررسی قرار گرفت.

۳- بحث و نتیجه گیری

مشاهدات تجربی نشان داد هیچ تغییر ابعادی در طی اکسید شدن در هیچ کدام از نمونه‌ها رخ نمی‌دهد. دو مدل مکانیزم هسته کوچک شونده و پیشرونده توسط محققان قبلی برای بررسی سینتیک اکسیداسیون این نسوزها مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل‌ها بر این اساس طراحی شده‌اند که گام‌های کنترل کننده زیر به صورت موازی یا سری، سینتیک اکسیداسیون این نسوزها را کنترل می‌کنند [۱، ۲ و ۱۳].

(۱) انتقال گاز به سطح نمونه (ED)

(۲) انتقال گاز از ناحیه اکسید شده نمونه به سمت مکان فعال برای اکسید شدن (PD)

(۳) نفوذ گازهای اکسید کننده و احیا کننده به درون حول صفحات گرافیت (ID)

(۴) جذب شیمیایی گاز در سطح صفحات گرافیت (CA)

این توابع برای اشکال استوانه‌ای، بدین صورت تعریف می‌شود.

$$t = \tau_{ED} f_{ED}(X) + \tau_{PD} f_{PD}(X) + \tau_{ID} f_{ID}(X) + \tau_{CA} f_{CA}(X) \quad (۲)$$

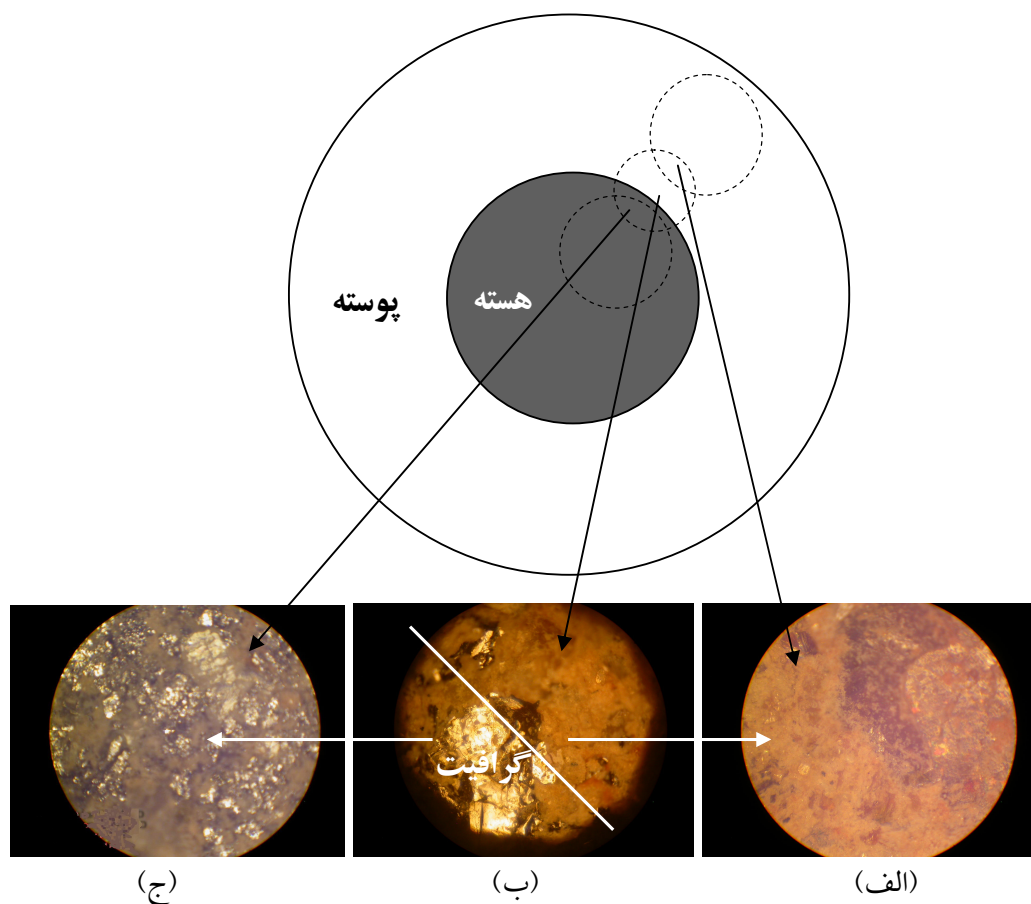
$$f_{ED}(X) = X \quad (۳)$$

$$f_{PD}(X) = X + (1 - X) \ln(1 - X) \quad (۴)$$

$$f_{ID}(X) = X^2 \quad (۵)$$

$$f_{CA}(X) = X \quad (۶)$$

با توجه به وجود جریان طبیعی گاز، مکانیزم اول نمی تواند گام کنترل کننده در سیستم باشد. شکل ۱ تصویری از قسمت های مختلف نمونه SO را نشان می دهد. قسمت های درخشان مربوط به نواحی دارای گرافیت می باشد. نواحی دیگر مربوط به پوسته واکنش کرده است. در شکل 2-b سطح مشترک قسمت واکنش کرده و نکرده به طور واضحی نشان داده شده است. این تصویر نشان دهنده مدل هسته کوچک شونده در دمای بالا می باشد.



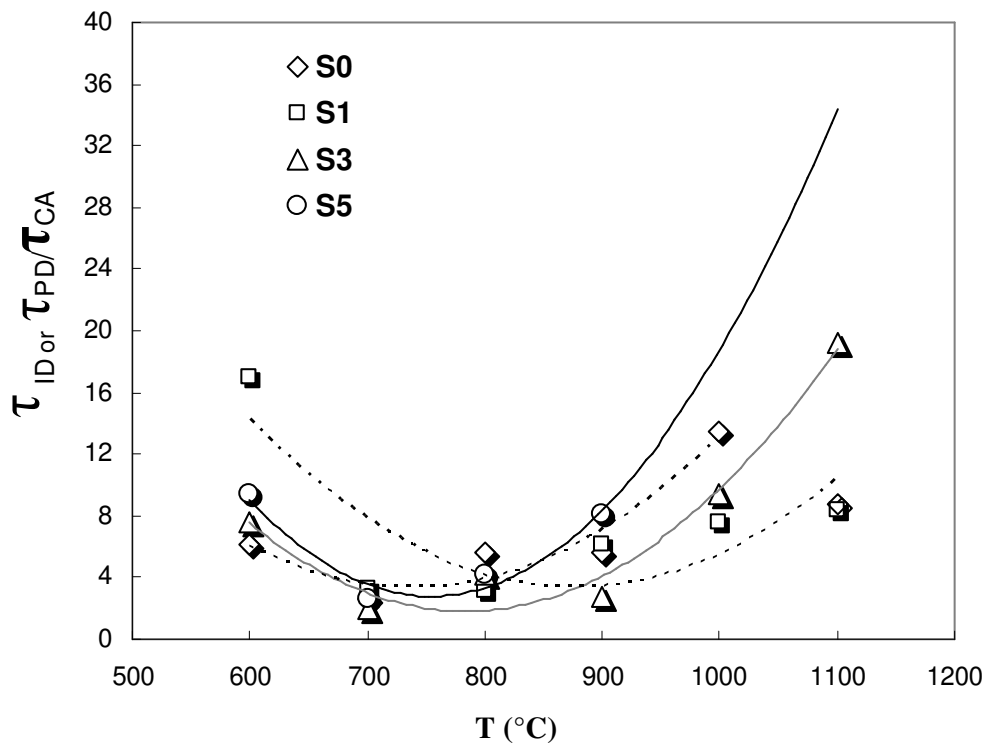
شکل ۲_ تصویر میکروسکوپ نوری از نمونه SO
(الف) هسته واکنش نکرده با صفحات درخشان نشان دهنده منطقی غنی از گرافیت (۴۰*
(ب) سطح مشترک منطقه واکنش کرده و نکرده (۱۰۰*
(ج) سطح واکنش کرده (۴۰*)

برای بررسی این مکانیزم ها و بدست آوردن زمان آسایش در کار حاضر از نرم افزار KDA استفاده شد [۱ و ۲]. نتایج محاسبات در جدول ۲ ارائه شده است. تغییر مکانیزم (ID) به (PD) توسط محققان دیگر در دما 800°C گزارش شده است. صدرنژاد این تغییر مکانیزم را به تعداد محدود تخلخل های باز زیر 800°C و افزایش آن در دما بالا می داند [۱].

جدول ۲: مقدار τ_{ID-PD} و τ_{CA} بدست آمده از آزمایش اکسیداسیون

دما (°C)	S0		S1		S3		S5	
	τ_{ID-PD}	τ_{CA}	τ_{ID-PD}	τ_{CA}	τ_{ID-PD}	τ_{CA}	τ_{ID-PD}	τ_{CA}
۶۰۰	۲۱۶۹/۳	۳۵۰/۲	۲۶۲۶	۱۵۴/۳۶	۱۷۱۳/۹	۲۲۵/۵۴	۳۲۶۱/۸	۳۴۸/۴۱
۷۰۰	۳۶۵/۵۹	۱۳۸/۷	۴۵۴/۷	۱۳۷/۱۸	۴۶۹/۰۴	۲۴۱/۶۸	۴۸۵/۰۹	۱۸۲/۳۹
۸۰۰	۴۳۸/۵۳	۷۷/۵۹	۲۷۴/۹۸	۸۹/۲	۳۳۱/۹۶	۸۰/۱۳	۲۹۷/۵۸	۷۰/۶۸
۹۰۰	۲۷۲/۱۳	۴۸/۵۱	۳۱۸/۷۵	۵۲/۳۴	۳۵۴/۷۶	۱۲۸	۳۴۸/۸۶	۴۳/۱۱۵
۱۰۰۰	۲۷۱/۳۹	۲۰/۰۸	۲۸۵/۵۵	۳۷/۳۵	۲۷۴/۵۳	۲۹/۳۴	۴۸۷/۱۷	
۱۱۰۰	۳۰۹/۷۷	۳۵/۴۳	۳۱۲/۴۴	۳۷/۰۸	۶۸۸/۰۱	۳۵/۸۲	۱۰۳/۵۳	

تعیین دمای تغییر مکانیزم از رسم گراف نسبت $\tau_{ID or PD}$ به τ_{CA} بدست می آید شکل (۳). مطابق با این نمودار این دما در سیستم MgO-C-Si تفاوت چندانی با سیستم MgO-C-Al و MgO-C ندارد.



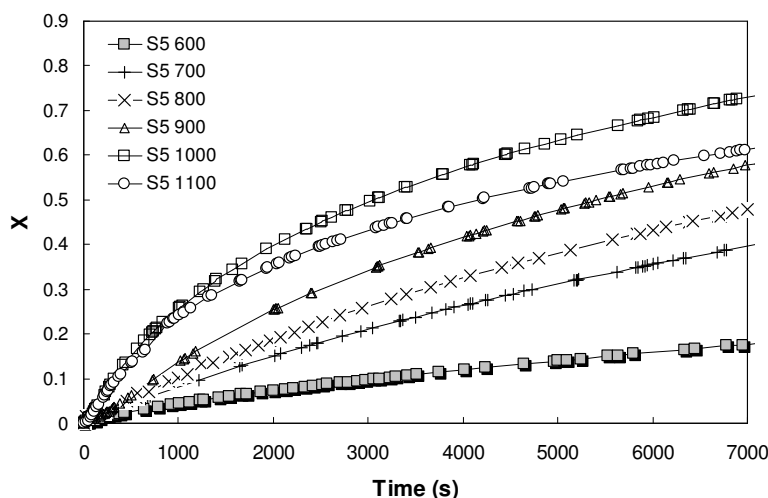
شکل ۳- تغییرات $\tau_{ID or PD}/\tau_{CA}$ نسبت به دما

اثر جذب شیمیایی مربوط به انرژی سطحی کم گرافیت و سرعت پیوند آهسته آن با گاز اتمسفر است. مکانیزم جذب شیمیایی در نمونه‌های دارای آنتی‌اکسیدان و بدون آن مربوط به انرژی سطحی کم گرافیت و سرعت پیوندی نسبتاً آهسته آن با گاز اتمسفر است. Sadrnezhad و همکاران وی گزارش داده‌اند که آلومینیوم به عنوان آنتی‌اکسیدان نقش کاتالیزوری داشته و موجب تشکیل پیوندهای اکسیژن - فلز می‌شود و پیوندهای O- را می‌شکند. زیرا آلومینیوم و ترکیبات آنها پذیرنده الکترون هستند و پیوندهای اتم‌های کربن را با خارج کردن الکترون یا تشکیل پیوند کووالانت در دماهای بالا می‌شکند [۲]. به نظر می‌رسد Si می‌تواند نقش مشابهی در دماهای بالاتر و مقادیر بالاتر ایفا کند. به گونه‌ای که در دمای ۱۰۰۰ و ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد و با حضور ۵٪ سیلیسیوم، مرحله جذب شیمیایی اکسیژن در صفحات گرافیت به طور کامل حذف می‌شود. این اختلاف مربوط به فشار بخار کمتر سیلیکون نسبت به آلومینیوم می‌باشد [۱۴].

$$\text{Log}P(\text{torr}) = \frac{-0.2185 \times 89744 / 2}{T(^{\circ}K)} + 10.119918 \quad \text{فشار بخار سیلیکون}$$

$$\text{Log}P(\text{torr}) = \frac{-0.2185 \times 64257.2}{T(^{\circ}K)} + 9.052468 \quad \text{فشار بخار آلومینیوم}$$

منحنی تغییرات افت وزن بر حسب زمان در نمونه S5 در شکل ۴ مشاهده می‌شود. مطابق با این شکل با افزایش دما افت وزن افزایش می‌یابد. اما این روند در دمای ۱۰۰۰ °C و ۱۱۰۰ °C ادامه نمی‌یابد.



شکل ۴ - افت وزن در مقابل زمان برای نمونه S5 در دماهای مختلف

تشکیل فازهایی مانند SiC از Si و همچنین تشکیل فورستريت (Mg_2SiO_4) از پریکلاس و سیلیسیوم همراه با انبساط‌های شدید است. بنابراین در صورت تشکیل این فازها سیستم با انبساط حجمی بالا مواجه خواهد بود، که می‌تواند موجب مسدود شدن تخلخل‌ها و جلوگیری از نفوذ اکسیژن شود [۲، ۴ و ۱۲].

بر اساس نتایج محققان تشکیل فاز فورستريت در این نسوزها در دمای $1200^\circ C$ آشکار است [۱۵]. اگر چه وجود این فازها در این پراش‌ها مشخص نیست، اما بر اساس اطلاعات ترمودینامیکی موجود حضور آنها محتمل است.

احمدی [۱۲] متوجه شد که این فازها در $1300^\circ C$ واضح است. Ghosh نیز دمای تشکیل فاز SiC را $1200^\circ C$ اشاره کرد. سیلیسیوم در دمای تقریبی $1200^\circ C$ در اثر واکنش با کربن فاز سیلیکون کارباید (SiC) را تشکیل می‌دهد. فاز SiC در تماس با گاز مونوکسید کربن (CO) واکنش کرده و سیلیس (SiO_2) را تشکیل می‌دهد. SiO_2 در حضور منیزیا (MgO) با آن وارد واکنش شده و فاز فورستريت (Mg_2SiO_4) را تشکیل می‌دهد.

T. Shouxin و همکاران [۱۶] گزارش کرده‌اند که فلز Si دارای پوششی از SiO_2 حول ذرات خود می‌باشد که در صورت شکسته شدن این لایه فاز Si می‌تواند وارد واکنش شود. همچنین احتمال دیگر نیز وجود دارد که پوشش SiO_2 با کربن موجود واکنش کرده و گاز $SiO(g)$ را تشکیل می‌دهد که با احیا شدن پوشش فلز Si می‌تواند وارد واکنش شود [۱۷]. S. Zhang [۴]. عقیده دارد که SiC در تماس با گاز CO، $SiO(g)$ را تشکیل می‌دهد که $SiO(g)$ از یک طرف در محیط احیا با MgO تشکیل فورستريت را می‌دهد و از طرف دیگر به طرف سطح داغ آجر نفوذ کرده و در آنجا اکسید شده و SiO_2 را تشکیل می‌دهد. در تمام این واکنش‌ها تشکیل فازهای دیگر موجب انبساط و مسدود شدن تخلخل‌ها و جلوگیری از اکسید شدن بیشتر دیرگداز می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

(۱) بر اساس سطح مقطع نمونه‌های بدست آمده در دمای بالا، مکانیزم اکسیداسیون هسته کوچک شونده می‌باشد.

(۲) افزودن سیلیسیوم به عنوان آنتی اکسیدان موجب تشکیل فازهایی با انبساط حجمی کمتر می‌شود و در نتیجه با بسته شدن تخلخل در دماهای بالا مقاومت به اکسیداسیون افزایش می‌یابد.

(۳) گام غالب در دماهای پایین نفوذ گاز از بین ماده جامد می‌باشد. درحالی‌که با افزایش دما و تبدیل مکانیزم به مدل هسته کوچک شونده گام غالب نفوذ از لایه متخلخل خواهد بود.

(۴) سیلیسیوم افزوده شده به عنوان آنتی اکسیدان اثر کاتالیزوری داشته و در مقادیر و دماهای بالا موجب حذف گام کنترل کننده واکنش سطحی گرافیت می‌شود.

مراجع

- 1- Sadrnezhaad, S. K ., Mahshid, S., Hashemi, B., and Nemati, Z. A., "Oxidation Mechanism of C in MgO-C Refractory Bricks", J. Am. Ceram. Soc, Vol.89, No.4, pp. 1308-1316, 2006.
- 2- Sadrnezhaad, S. K ., Nemati, Z. A., Mahshid, S., Hosseini, S., and Hashemi, B., "Effect of Al Antioxidant on the Rate of Oxidation of Carbon in MgO-C Refractory", J. Am. Ceram, Vol. 90, No.2, pp. 509-515, 2007.
- 3- Wang, T., and Yamaguchi, A., "Oxidation Protection of MgO-C Refractories by Means of Al₈B₄C₇" J. Am. Ceram. Soc, Vol.84, pp. 3577-3582, 2001.
- 4- S. Zhang, N. J. Marriott, W. E. Lee "Thermochemistry and MgO-C Refractories Containing Various Antioxidants", J. Eur. Cer. Soc, Vol 21, pp. 1037-1047, 2001.
- 5- Uchida. S, and Ichikawa. K, "High-Temperature Properties of Unburned MgO-C Bricks Containng Al and Si Powders", J. Am. Cera. Soc, Vol. 81, No. 11, pp. 2910-16, 1998.
- 6- Carniglia. S.C., "Limitation on Internal Oxidation-Reduction Reaction in BOF Refractories ", American Ceramic Society Bulletin, Vol. 52, No. 2, pp. 160-65, 1973.
- 7- Tabata. K., Nishio, H., and Itoh, K., "A study on Oxidation-Reduction Reaction in MgO-C Refractories", Taikabutsu Overseas, Vol. 1988, No. 8, pp. 3-10.
- 8- Ichikawa. K., Nishio, H., and Hoshiyama. Y., "Oxidation Test of MgO-C Bricks", Taikabutsu Overseas, Vol. 14, No. 1, pp. 13-19, 1994.
- 9- Ghosh, N. K., D. N., and Jagannatha, K. P., "Oxidation mechanism of MgO-C in air at various temoeratures", British Ceramic Transaction, Vol. 99, No. 3, pp. 124-128, 2002.
- 10- Faghihi-Sani, M. A., Yamagyshi, A., "Oxidation kinetics of MgO-C refractory bricks", Ceramic International, Vol. 28, pp. 835-839, 2002.
- 11- Xiangmin, Li., Rigaud, M., and Palco. S., "Oxidation kinetics of graphite phase in MgO-C refractories", Journal of American ceramic Society, Vol. 78, No. 4, pp. 965-971, 1995.
- 12- Ahmadi, H. R., "The effect of ferrosilicon-silicon and ferrosilicon-luminum Antioxidants on the Properties of Magnesite-Graphite Composite" M. S. Thesis, Materials & Energy Research Center, Tehran, Iran, 2003.
- 13- Levenspiel, O., "Chemical Reaction Engineering", 2th Ed., JOHN Wiley & Sons, Inc., New York, 1972.
- 14- CRC. "Hand Book of Chemistry and Physics" 52nd, 1971-1972.
- 15- Artir, R., Lee, W. E., Argent, B.B., Larsen, P. H., "Reaction of Aluminium and Silicon in MgO-Graphite Composites and Prediction of Phase Constitution Using MTDATA, high Temperature and Materials Science", Vol.34, 34, pp. 69-100 1995.
- 16- Shouxin, T., Zhoyou, C., "The Mechanism of Silicon and Silicon and Carbide Making Carbon Containing Materials Antioxidize", Chinas Refractories, Vol. 5, No. 4, pp. 12, 1996.
- 17- Sarkinen, R. J., Harkki, J. J., "Themodynamic Calculation of Reactions Inside MgO-C Antioxidant Lining" Congress UNITECR1997, pp. 755-763.

Effect of Si Antioxidant on the Oxidation behavior of MgO-C Refractories

N. Bagheri, S. K. Sadrnezhad, S. Mahshid

~~S. Samadi and A. Abdullahi (Times New Roman 12 pt. Bold)~~

Materials and Energy Research Center

NBS1384@yahoo.com

Abstract

Reaction of atmosphere gases with refractories is one of important industrial reactions. This is a major drawback that reduces equipment performance. Nowadays kinetics modes have been applied to investigate these reaction mechanisms. In this research, commercial bricks containing 0, 1, 3 and 5 weight percent silicon antioxidant were oxidized isothermally with air at 600, 700, 800, 900, 1000 and 1100°C. Proper kinetic model was selected considering the sectional areas of partially oxidized samples at different temperatures.

The conversion time was verified using curves that were obtained by oxidation and mathematical calculation. Results show that progressive model converts to shrinking core by raising temperature. At lower temperatures, chemical absorption of oxygen in oxidation process on graphite sheets and solid diffusion are prevailing mechanism. By increasing temperature to 1000 and 1100°C and addition of 5% silicon, chemical absorption step will be omitted.

Keywords: MgO-C refractory, silicon, Oxidation, Kinetic