

## اثر آنتی اکسیدان سیلیسیم بر روی رفتار اکسیداسیون دیرگدازهای منیزیا-گرافیت

نرجس باقری<sup>۱\*</sup>، سید خطیب الاسلام صدرنژاد<sup>۱</sup> و سارا مهشید<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>پژوهشگاه مواد و انرژی

<sup>۲</sup>دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی مواد

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۸۷/۵/۶، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۸۸/۳/۵، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۸۸/۳/۵

**چکیده** از جمله واکنش‌های مهم صنعتی، واکنش گازهای موجود در اتمسفر با جداره تجهیزات است. این کارایی تجهیزات را می‌کاهد و ممکن است خسارات زیادی به همراه آورد. امروزه می‌کوشند با بررسی الگوهای سینتیکی، مکانیزم این واکنش‌ها را مطالعه کنند. در این مقاله، مکانیزم اکسیداسیون نسوزهای منیزیا-گرافیتی شامل ۰، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی آنتی اکسیدان سیلیسیم در دماهای ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۱۰۰°C اتمسفر هوا بررسی شد. باتوجه به شکل ظاهری نمونه‌ها، الگوهای سینتیکی مناسبی انتخاب شد. با استفاده از منحنی‌های به دست آمده از آزمایش اکسیداسیون و روش‌های نرم‌افزاری، زمان استراحت نمونه‌ها بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش دما، مدل از حالت پیشرونده به هسته کوچک‌شونده تبدیل می‌شود. همچنین در دماهای پایین، گام کنترل‌کننده در فرایند اکسیداسیون جذب شیمیایی اکسیژن بر روی صفحات گرافیت و نفوذ در جامد است که با افزایش دما به ۱۱۰۰°C و افزایش سیلیسیم به ۵٪ گام جذب شیمیایی حذف می‌شود.

**کلمات کلیدی** دیرگداز منیزیا-گرافیت، آنتی اکسیدان، سیلیسیم، سینتیک.

## Effect of Si Antioxidant on the Oxidation Behavior of Mgo-C Refractories

N. Bagheri<sup>\*1</sup>, S.K. Sadrnezhaad<sup>1</sup> and S. Mahshid<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Materials and Energy Research Center

<sup>2</sup>Faculty of Materials Engineering, Sharif University of Technology

**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 the mechanism of these reaction. In this research, commercial bricks containing 0, 1, 3 and 5 weight percent silicon antioxidant were oxidized isothermally in 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 is converted 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 1100°C and addition of 5% silicon, chemical absorption step will be omitted.

**Keywords** MgO-C Refractory, Antioxidant, Silicon, Kinetic.

\*عهده‌دار مکاتبات

نشانی: کرج، مشکین دشت، پژوهشگاه مواد و انرژی.

تلفن: ۰۲۶۱-۶۲۰۴۱۳۱، دورنگار: ۰۲۶۱-۶۲۰۴۱۳۱، پیام‌نگار: nbs1384@yahoo.com

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، نسوزهای منیزیا-گرافیتی به‌طور وسیعی در صنعت آهن و فولاد استفاده می‌شود. ترکیب آهن با اکسید منیزیم موجب بهبود شوک‌پذیری و مقاومت به خوردگی، کنترل انبساط حرارتی و کاهش ترشوندگی به‌وسیله مذاب خورنده می‌شود. اما عدم مقاومت به اکسیداسیون ضعف اصلی این مواد می‌باشد و در این راستا تحقیقات فراوانی برای رفع این مشکل صورت گرفته است [۱-۵]. برای غلبه بر این مشکلات، آنتی‌اکسیدان‌های مختلفی شامل آلومینیم، سیلیسیم، فروسیلیکون و... بررسی شده است.

Carniglia و Tabata بررسی‌هایی بر روی واکنش MgO

و C در محدوده دمایی بالای  $1400^{\circ}\text{C}$  و فشار اکسیژن پایین انجام داده‌اند [۶،۷]. Ichikawa سیتیک اکسیداسیون مستقیم کربن در آجرهای MgO-C را بررسی کرد؛ اما معادله سرعت آنها تنها با اندازه‌گیری‌های انجام شده در دمای  $1000^{\circ}\text{C}$  به‌دست آمد [۸]. روش‌های مختلفی برای بررسی رفتار اکسیداسیون این نسوزها صورت گرفت. از جمله می‌توان به افت وزن نمونه‌ها در دمای ثابت اشاره کرد [۱،۲،۹،۱۰]. Ghosh با بررسی اکسیداسیون آجرهای MgO-C از طریق اندازه‌گیری کاهش وزن نمونه‌ها در محدوده دمایی  $800^{\circ}\text{C}$  -  $1600^{\circ}\text{C}$ ، مکانیزم سوختن کربن را در این آجرها بررسی کرد [۹]. در کاری که فقیهی ثانی انجام داد، یک مدل ریاضی برای سیتیک اکسیداسیون مستقیم گرافیت در محدوده دمایی  $1000^{\circ}\text{C}$  -  $1200^{\circ}\text{C}$  از طریق اندازه‌گیری کاهش وزن نمونه‌ها در حین سوختن کربن ارائه شد و پارامترهای سیتیک مناسب در این محدوده دمایی به‌دست آمد [۱۰]. در مطالعه‌ای که Xiangmi و Rigaud انجام دادند، اکسیداسیون مستقیم کربن در محدوده دمایی  $1000^{\circ}\text{C}$  -  $1400^{\circ}\text{C}$  بررسی شد و معادله سرعت سوختن کربن به روش آنالیز گاز خروجی و اندازه‌گیری مقدار CO تبدیل شده به  $\text{CO}_2$

به‌صورت تابعی از زمان اکسیداسیون به‌دست آمد [۱۱]. همچنین گروهی از محققان رفتار این دیرگدازها در حضور آنتی‌اکسیدان و همچنین پارامترهای سیتیک را بررسی کردند [۲،۵،۱۲].

این تحقیق برای بررسی اثر آنتی‌اکسیدان سیلیسیم بر رفتار سیتیک این نسوزها صورت گرفته است.

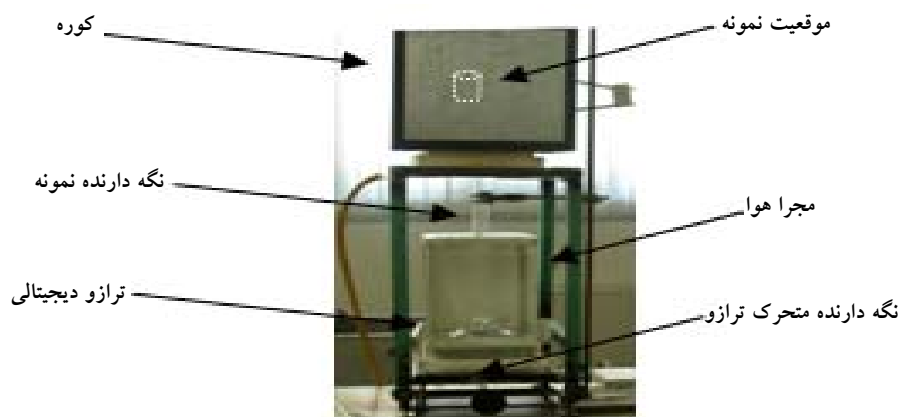
## ۲- نحوه انجام آزمایش

در این تحقیق از منیزیای زینترشده چینی، گرافیت، سیلیسیم و رزین با نسبت ارائه‌شده در جدول ۱ برای تهیه قطعات نسوز استفاده شد. این مواد در کارخانه نسوز پارس به مدت ۳۰ دقیقه با هم مخلوط و همگن شدند و سپس قطعاتی با قطر ۶۰ میلی‌متر و با فشار  $2000\text{ kg/cm}^2$  تهیه شد. برای دستیابی به استحکام خام نهایی، نمونه‌ها ۲۴ ساعت در دمای  $250^{\circ}\text{C}$  عمل‌آوری شدند [۱،۲]. سپس استوانه‌هایی با قطر ۲/۵cm و طول ۲cm از این نمونه‌ها بریده شد. دوباره نمونه‌ها در بستری از کک در دمای  $600^{\circ}\text{C}$  به مدت ۷ ساعت نگهداری شدند تا مواد حاصل از تجزیه رزین به‌طور کامل از نمونه‌ها خارج شود و تغییر وزن حاصل در مرحله اکسیداسیون عمدتاً ناشی از سوختن گرافیت باشد [۱،۲].

برای انجام آزمایش اکسیداسیون، از یک کوره عمودی استفاده شد. یک ترازو با دقت  $0/0001$  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 ترازو قرار گرفت و از سمت دیگر وارد کوره شد. مکان قرارگیری نمونه بر روی این لوله است (شکل ۱). پس از رسیدن کوره به دمای مورد نظر، نمونه از قسمت بالا بر روی لوله کوارتز قرار گرفت و سپس به کمک پایه زیر ترازو به سمت منطقه داغ کوره هدایت شد. برای

جدول ۱: ترکیب مواد نسوز منیزیا-گرافیت.

S5	S3	S1	S0		
٪۱۹	٪۱۹	٪۱۹	٪۱۹	منیزیا گرافیت (چین)	۵_۳mm
٪۲۸	٪۲۸	٪۲۸	٪۲۸		۳_۱mm
٪۲۸	٪۲۸	٪۲۸	٪۲۸		۱_۰/۰۷۵mm
٪۱۰	٪۱۲	٪۱۴	٪۱۵	منیزیا زیتترشده (کوچک تر از ۰/۰۷۵mm)	
٪۱۰	٪۱۰	٪۱۰	٪۱۰	گرافیت پولکی (چین)	
٪۵	٪۳	٪۱	٪۰	پودر سیلیسیم (کوچک تر از ۰/۰۷۵mm)	
٪۳	٪۳	٪۳	٪۳	رزین	



شکل ۱. تجهیزات مورد استفاده برای اندازه‌گیری تغییرات وزن برحسب زمان.

رابطه ۱ محاسبه شد [۲،۱]:

کاهش وزن کل نمونه/تغییرات وزن در زمان  $t$  = کاهش وزن نمونه‌ها (X)

رابطه (۱)

برای به دست آوردن میزان کاهش وزن کامل نمونه‌ها یا درصد کربن باقی مانده، از هر سری ترکیب، سه نمونه

جلوگیری از ایجاد لایه خارجی اطراف نمونه، جریان طبیعی هوا از دو سمت مختلف پایین کوره به داخل دمیده شد. همچنین اکسیداسیون یک جهته (جهت شعاعی)، دو انتهای نمونه‌ها با ورقه‌های آلومینایی پوشیده شد تا در تماس مستقیم با اکسیژن محیط نباشد. تغییرات وزن نمونه برحسب زمان حداقل برای دو ساعت ثبت شد. مقدار درصد کاهش وزن نمونه‌ها مطابق

$$f_{ED}(X) = X \quad \text{رابطه (۳)}$$

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

$$f_{ID}(X) = X^2 \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$f_{CA}(X) = X \quad \text{رابطه (۶)}$$

انتخاب شد و پس از اکسیداسیون کامل در یک کوره الکتریکی جعبه‌ای در دمای  $1000^\circ\text{C}$ ، کاهش وزن کل اندازه‌گیری شد و میانگین این سه نمونه به دست آمد. سطح نمونه‌ها با میکروسکوپ نوری مدل METALLUX II بررسی شد.

### ۳- نتایج و بحث

$\tau$  زمان استراحت مطابق با هر مکانیزم،  $T$  زمان لازم برای اکسیداسیون و  $F$  تابعی از کاهش وزن نسبی است.

باتوجه به وجود جریان طبیعی گاز در سیستم، مکانیزم اول نمی‌تواند گام کنترل‌کننده در سیستم باشد.

شکل ۲ تصویری از قسمت‌های مختلف نمونه  $SO$  را نشان می‌دهد. قسمت‌های روشن مربوط به نواحی دارای گرافیت است. نواحی دیگر مربوط به پوسته واکنش کرده است. در شکل ۲-ب سطح مشترک قسمت واکنش کرده و واکنش نکرده آمده است. این تصویر نشان‌دهنده مدل هسته کوچک شونده در دمای بالاست.

برای بررسی این مکانیزم‌ها و به دست آوردن زمان استراحت در کار حاضر از نرم‌افزار KDA استفاده شد [۲،۱]. نتایج محاسبات در جدول ۲ آمده است.

محققان دیگر تغییر مکانیزم (ID) به (PD) را در دمای  $800^\circ\text{C}$  گزارش کرده اند. در تحقیق صدرنژاد و همکارانش، این تغییر مکانیزم به تعداد محدود تخلخل‌های باز زیردمای  $800^\circ\text{C}$  و افزایش تخلخل‌ها در دمای بالا نسبت داده شده است [۱].

تعیین دمای تغییر مکانیزم از رسم نمودار نسبت  $\tau_{ID}$  یا PD به  $\tau_{CA}$  برحسب دما به دست می‌آید (شکل ۳). مطابق با این نمودار، این دما در سیستم MgO-C-Si تفاوت چندانی با سیستم MgO-C-Al و MgO-C ندارد [۲،۱].

مکانیزم جذب شیمیایی در نمونه‌های دارای آنتی اکسیدان

مشاهدات تجربی محققان نشان داد هیچ تغییر ابعادی در طی اکسیداسیون در هیچ کدام از نمونه‌ها رخ نمی‌دهد [۲،۱]. پژوهشگران قبلی دو مدل مکانیزم هسته کوچک‌شونده و پیشرونده را برای بررسی سینتیک اکسیداسیون این نسوزها استفاده کردند. این مدل‌ها براین اساس طراحی شده‌اند که گام‌های کنترل‌کننده زیر به صورت موازی یا سری، سینتیک اکسیداسیون این نسوزها را کنترل می‌کنند [۱۳،۲،۱].

۱. انتقال گاز به سطح نمونه (ED).

۲. انتقال گاز از ناحیه اکسیدشده نمونه به سمت مکان فعال برای اکسیدشدن (PD).

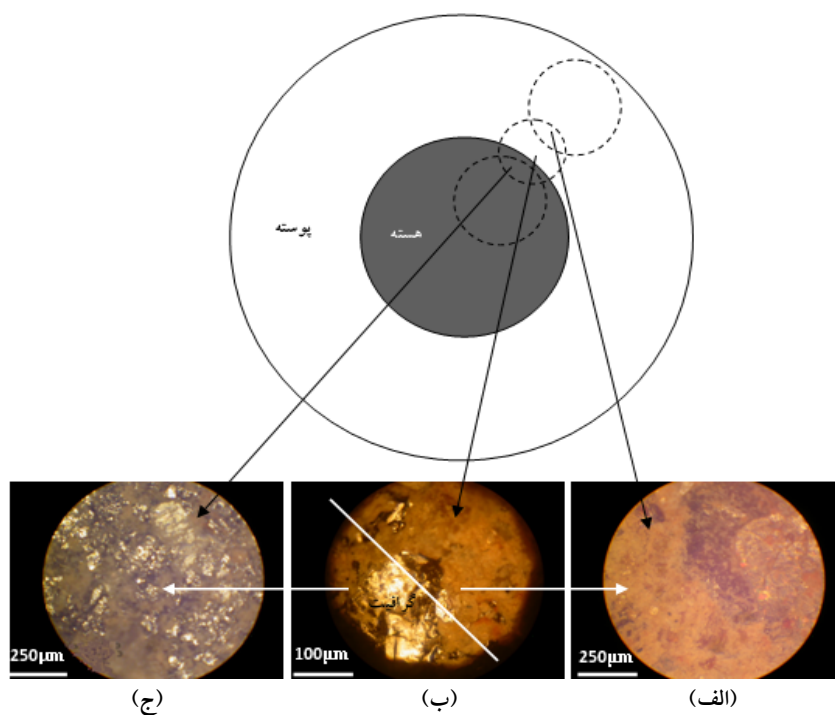
۳. نفوذ گازهای اکسیدکننده و احیاکننده به درون صفحات گرافیت (ID).

۴. جذب شیمیایی گاز بر روی سطح صفحات گرافیت (CA). این توابع برای اشکال استوانه‌ای، بدین صورت تعریف می‌شود [۱۳،۲،۱]:

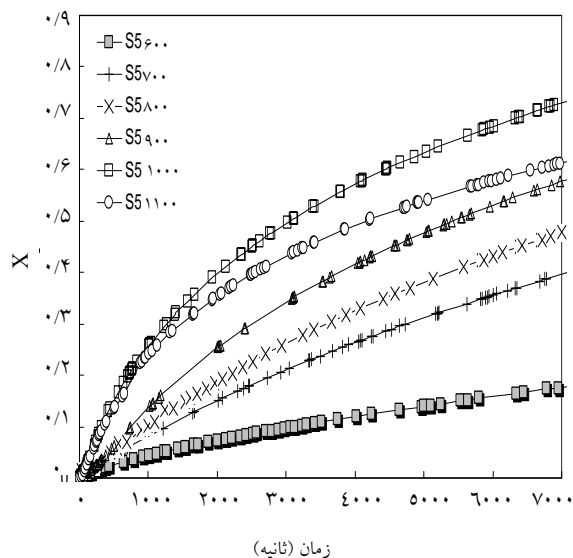
$$t = \tau_{ED} f_{ED}(X) + \tau_{PD} f_{PD}(X) + \tau_{ID} f_{ID}(X) + \tau_{CA} f_{CA}(X) \quad \text{رابطه (۲)}$$

جدول ۲. مقدار  $\tau_{ID-PD}$  و  $\tau_{CA}$  به دست آمده از آزمایش اکسیداسیون.

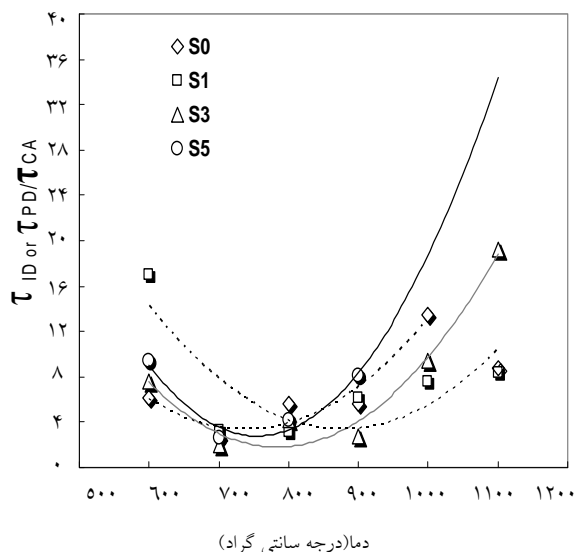
S5		S3		S1		S0		دما (°C)
$\tau_{ID-PD}$	$\tau_{CA}$	$\tau_{ID-PD}$	$\tau_{CA}$	$\tau_{ID-PD}$	$\tau_{CA}$	$\tau_{ID-PD}$	$\tau_{CA}$	
۳۲۶۱/۸	۳۴۸/۴۱	۱۷۱۳/۹	۲۲۵/۵۴	۲۶۲۶	۱۵۴/۳۶	۲۱۶۹/۳	۳۵۰/۲	۶۰۰
۴۸۵/۰۹	۱۸۲/۳۹	۴۶۹/۰۴	۲۴۱/۶۸	۴۵۴/۷	۱۳۷/۱۸	۳۶۵/۵۹	۱۳۸/۷	۷۰۰
۲۹۷/۵۸	۷۰/۶۸	۳۳۱/۹۶	۸۰/۱۳	۲۷۴/۹۸	۸۹/۲	۴۳۸/۵۳	۷۷/۵۹	۸۰۰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



شکل ۲. تصویر میکروسکوپ نوری از نمونه S0، الف. هسته واکنش نکرده با صفحات درخشان نشان دهنده منطقی غنی از گرافیت، ب. سطح مشترک منطقه واکنش کرده و نکرده و ج. سطح واکنش کرده.



شکل ۴. افت وزن قابل زمان برای نمونه S5 در دماهای مختلف.



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

بیشتر می شود؛ اما این روند در دماهای  $1000^{\circ}\text{C}$  و  $1100^{\circ}\text{C}$  ادامه نمی یابد.

تشکیل فازهایی مانند SiC از Si و همچنین تشکیل فورستریت ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) از پریکلاز و سیلیسیم همراه با انبساط های شدید است.

بنابراین در صورت تشکیل این فازها، سیستم با انبساط حجمی بالا مواجه خواهد شد، که می تواند موجب مسدود شدن تخلخل ها و جلوگیری از نفوذ اکسیژن شود [۱۲، ۴، ۲].

بر اساس نتایج محققان تشکیل فاز فورستریت در این نسوزها در دمای  $1200^{\circ}\text{C}$  آشکار است [۱۵]. اگرچه وجود این فازها در طیف های پراش اشعه ایکس مشخص نمی شود، بر اساس اطلاعات ترمودینامیکی موجود، حضور آنها محتمل است. احمدی [۱۲] حضور این فازها را در  $1300^{\circ}\text{C}$  گزارش کرد.

و بدون آن مربوط به انرژی سطحی کم گرافیت و سرعت پیوندی نسبتاً آهسته آن با گاز اتمسفر است [۲، ۱].

صدرنژاد و همکارانش گزارش کرده اند که آلومینیم به منزله آنتی اکسیدان، نقش کاتالیزوری دارد و موجب تشکیل پیوندهای اکسیژن-فلز می شود و پیوندهای O-O را می شکند؛ زیرا آلومینیم و ترکیبات آنها پذیرنده الکترون هستند و پیوندهای اتم های کربن را با خارج کردن الکترون یا تشکیل پیوند اشتراکی در دماهای بالا می شکند [۲]. به نظر می رسد درصد بیشتر سیلیسیم می تواند نقش مشابهی در دماهای بالاتر ایفا کند؛ به گونه ای که در دماهای  $1000^{\circ}\text{C}$  و  $1100^{\circ}\text{C}$  با حضور ۵٪ سیلیسیم، مرحله جذب شیمیایی اکسیژن در صفحات گرافیت به طور کامل حذف می شود. این اختلاف، مربوط به فشار بخار کمتر سیلیسیم نسبت به آلومینیم است [۱۴].

منحنی تغییرات کاهش وزن نمونه S5 بر حسب زمان در شکل ۴ آمده است. مطابق این شکل، با افزایش دما، کاهش وزن

پایین نفوذ گاز از بین ماده جامد است. درحالی که با افزایش دما و تبدیل مکانیزم به مدل هسته کوچک شونده گام غالب نفوذ از لایه متخلخل خواهد بود. سیلیسیم افزوده شده به منزله آنتی اکسیدان اثر کاتالیزوری دارد و در مقادیر و دماهای بالا موجب حذف گام کنترل کننده واکنش سطحی گرافیت می شود.

## مراجع

1. Sadmezhaad, S.K., Mahshid, S., Hashemi, B. and Nemati, Z.A., "Oxidation Mechanism of C in Mgo-C Refractory Bricks", *Journal of American Ceramic Society*, Vol. 89 No. 4 (2006) 1308-1316.
2. Sadmezhaad, 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", *Journal of American Ceramic Society*, Vol. 90 No.2 (2007) 509-515.
3. Wang, T. and Yamaguchi, A., "Oxidation Protection of Mgo-C Refractories by Means of Al<sub>8</sub>B<sub>4</sub>C<sub>7</sub>", *Journal of American Ceramic Society*, Vol. 84 (2001) 3577-3582.
4. Zhang, S., Marriott, N.J. and Lee, W.E., "Thermochemistry and Mgo-C Refractories Containing Various Antioxidants", *Journal of American Ceramic Society*, Vol. 21 (2001) 1037-1047.
5. Uchida, S. and Ichikawa, K., "High-Temperature Properties of Unburned Mgo-C Bricks Containng Al and Si Powders", *Journal of American Ceramic Society*, Vol. 81 No. 11 (1998) 2910-2916.
6. Carniglia, S.C., "Limitation on Internal Oxidation-Reduction Reaction in BOF Refractories", *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 52 No. 2 (1973) 160-165.
7. Tabata, K., Nishio, H. and Itoh, K., "A Study on Oxidation-Reduction Reaction in Mgo-C Refractories", *Journal of Taikabutsu Overseas*, Vol. 8 No. 8 (1988) 3-10.
8. Ichikawa, K., Nishio, H. and Hoshiyama, Y., "Oxidation Test of Mgo-C Bricks", *Journal of Taikabutsu Overseas*, Vol. 14 No. 1 (1994) 13-19.
9. Ghosh, N.K., D. N., and Jagannatha, K.P., "Oxidation Mechanism of Mgo-C in Air at Various Temperatures", *Journal of British Ceramic Transaction*, Vol. 99 No. 3 (2002) 124-128.
10. Faghihi-Sani, M.A. and Yamagyshi, A., "Oxidation Kinetics of Mgo-C Refractory Bricks", *Journal of Ceramic International*, Vol. 28 (2002) 835-839.
11. Xiangmin, Li., Rigaud, M. and Palco, S., "Oxidation Kinetics of Graphite Phase in Mgo-C Refractories",

Ghosh نیز دمای تشکیل فاز SiC را  $1200^{\circ}\text{C}$  گزارش کرد. سیلیسیم در دمای تقریبی  $1200^{\circ}\text{C}$  در اثر واکنش با کربن، فاز SiC تولید می کند. فاز SiC در تماس با گاز مونوکسید کربن (CO) واکنش می کند و باعث تشکیل سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) می شود.  $\text{SiO}_2$  در حضور منیزیا وارد واکنش شده و فاز فورستریت ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) را تشکیل می دهد.

T. Shouxin و همکارانش [۱۶] گزارش کرده اند که سیلیسیم پوششی از  $\text{SiO}_2$  حول ذرات خود دارد که در صورت شکسته شدن این لایه، فاز Si می تواند وارد واکنش شود. همچنین ممکن است پوشش  $\text{SiO}_2$  با کربن موجود واکنش کند و گاز SiO را تشکیل دهد که با احیاشدن پوشش سیلیسیم می تواند وارد واکنش شود [۱۷].

Zhang [۴] عقیده دارد که SiC در تماس با گاز CO، گاز SiO را تشکیل می دهد که گاز SiO از یک طرف در محیط احیایی با MgO فورستریت را تولید می کند و از طرف دیگر به سطح داغ آجر نفوذ می کند در آنجا اکسید می شود و  $\text{SiO}_2$  را تشکیل می دهد. در تمام این واکنش ها، تشکیل فازهای دیگر موجب انبساط و مسدودشدن تخلخل ها و جلوگیری از اکسیدشدن بیشتر دیرگداز می شود.

## ۴- نتیجه گیری

براساس مشاهدات انجام شده از سطح مقطع نمونه های اکسیدشده می توان دریافت که در دمای بالا، مکانیزم اکسیداسیون از نوع هسته کوچک شونده است. افزودن سیلیسیم به منزله آنتی اکسیدان موجب تشکیل فازهایی می شود که حجم بیشتری دارند و در نتیجه با بسته شدن تخلخل در دماهای بالا، مقاومت به اکسیداسیون افزایش می یابد. براساس نتایج نرم افزاری و نمودارهای به دست آمده از این نتایج، گام غالب در دماهای

- “Reaction of Aluminium and Silicon in Mgo-Graphite Composites and Prediction of Phase Constitution Using MTDATA”, *Journal of High Temperature and Materials Science*, Vol.34 (1995) 69-100.
16. Shouxin, T. and Zhoyou, C., “The Mechanism of Silicon and Silicon and Carbide Making Carbon Containing Materials Antioxidize”, *Chinas Refractories*, Vol. 5 No. 4 (1996) 12.
17. Sarkinen, R.J. and Harkki, J.J., “Themodynamic Calculation of Reactions inside Mgo-C Antioxidant Lining”, *UNITECR Congress*, (1997) 755-763.
- Journal of American Ceramic Society*, Vol. 78 No. 4 (1995) 965-971.
12. Ahmadi, H.R., The Effect of Ferrosilicon-Silicon and Ferrosilicon-Luminum Antioxidants on the Properties of Magnesite-Graphite Composite, M. S. Thesis, Materials and Energy Research Center, Tehran, Iran, (2003).
13. Levenspiel, O., Chemical Reaction Engineering, 2th Ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, (1972).
14. CRC. Hand Book of Chemistry and Physics, 52<sup>nd</sup>, 1971-1972.
15. Artir, R., Lee, W.E., Argent, B.B. and Larsen, P.H.,