

تأثیر درصد فوم و دمای پخت بر خواص عایقهای دیرگداز فومی آلومینا

عبدالقدیر نصیری^۱، احسان طاهری نساج^۱، رحیم نقی زاده^۲، منوچهر مندگاریان^۳

^۱ دانشگاه تربیت مدرس، ^۲ دانشکده مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه علم و صنعت ایران،
^۳ فراورده‌های نسوز پارس

چکیده: آجرهای عایق آلومینا بالا به طور گسترده‌ای در کوره‌های صنعتی مختلف و آزمایشگاهی به کار می‌روند. یکی از انواع این آجرها نوع فومی می‌باشد. با روش فومی دیرگدازهای بسیار سبک با تخلخل‌های بسته میکرونی کروی و بدون اضافه شدن ناخالصی فلاکس قابل تولید می‌باشند. هدایت حرارتی عایقهای دیرگداز فومی از دیگر انواع عایقها بسیار کمتر بوده و از طرفی نیز دارای استحکام سرد بالاتری می‌باشند. در تحقیق حاضر از فوم سنگین آتش نشانی برای ایجاد تخلخل استفاده گردید و اثر میزان فوم، کائولن و دمای پخت بر خواص آجرهای عایق آلومینایی بررسی شد. آجرهای عایق با ۹۰٪ آلومینا در آنالیز شیمیایی پس از پخت در دمای ۱۵۴۰ °C دارای دانسیته بالک ۰/۷۵ g/cm³ و استحکام فشاری سرد ۸۵ kgf/cm² بودند.

کلمات کلیدی: عایق‌های دیرگداز، عایق‌های فومی، فوم آتش نشانی.

۱- مقدمه

در کوره‌های صنعتی به طور معمول ۲۵ تا ۴۵ درصد اتلاف حرارت به دلیل جذب گرما توسط بدنه کوره و انتقال حرارت از سطح کوره به محیط رخ می‌دهد. برای جلوگیری از انتقال حرارت می‌توان از دانه‌های پوک، جرم‌های ریختنی عایق، الیاف و آجرهای عایق استفاده کرد. آجرهای عایق از روشهای مختلف نظیر استفاده از مواد پوک و سبک، استفاده از مواد سوختنی یا فرار، استفاده از روشهای شیمیایی و استفاده از فوم تولید می‌شوند [۱].

در روش فومی از سه دسته مواد استفاده می‌گردد [۲ و ۳].

الف) مواد دیرگداز نظیر شاموت، رس، آلومینا، منیزیای ددبرن شده و کرومیت.

ب) سازندگان فوم نظیر صابون، کلوفون، ساپونین و کف آتش نشانی.

ج) عوامل پایدار کننده کف نظیر سریشم، چسب‌های آلی، صمغ عربی، گچ قالبسازی و سیمان نسوز.

در روش فومی ابتدا دوغابی پایدار با دانسیته مناسب از عوامل دیرگداز و دوغابی با دانسیته مناسب از عوامل فوم و پایدارساز ساخته می‌شود. سپس دو دوغاب با هم مخلوط می‌شوند. لذا دانسیته دوغاب فومی تعیین کننده دانسیته آجر خام خواهد بود [۲ و ۴]. سپس دوغاب در درون قالب چوبی یا مقوایی و یا فلزی ریخته می‌شود و در نهایت عملیات خشک شدن و پخت و پرداخت انجام می‌شود. حسن روش فومی ایجاد تخلخل‌های ریز و کروی می‌باشد که از نظر عایق بودن و استحکام مکانیکی مطلوب می‌باشند [۵ و ۶]. مشکلات روش فومی زمان خشک کردن طولانی و حساس بودن دانسیته دیرگداز به تغییرات جزئی متغیرها می‌باشد [۷].

۲- فعالیت‌های تجربی:

آلومینای کلسینه و کائولن زنوز سوپر، فوم سنگین آتش نشانی، سیمان نسوز آلومینایی سکار ۸۰ به عنوان مواد اولیه انتخاب شدند که مشخصات آنها در جدول ۱ آورده شده است. دانه بندی آلومینای زیر ۱۰۰ μm



بود. فوم سنگین آتش نشانی از نوع سورفکتانت فلورینی و سولفات های الکلی با $PH=7$ ، وزن مخصوص $1/09 \text{ g/cm}^3$ ، ویسکوزیته 10 mm/s در دمای 20°C درجه سانتیگراد بود. ابتدا فرمولاسیون های مختلفی با نسبت های مختلف آلومینا، کائولن و انواع مختلف کف ساز و پایدار ساز انتخاب گردید که در نهایت دوغاب مناسب برای ادامه کار انتخاب شد.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی مواد اولیه مصرفی (درصد وزنی)

نوع ماده اولیه	Al_2O_3	SiO_2	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	L.O.I
آلومینای کلسینه شده	۹۹/۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰	۰/۳۶	۰
کائولن زنوز سوپر	۲۰/۹۳	۶۶/۹	۱/۴	۰/۰۵	۰/۴	۰/۴۲	۰/۲	۹/۷
سیمان سکار ۸۰	۸۰/۵	۰/۱	۱۹	۰/۱	۰	۰/۳	۰	۰

دوغابی با ترکیب وزنی 54% آلومینا، 6% کائولن و 40% آب ساخته شد و سپس فوم سنگین آتش نشانی با آن مخلوط گردید. سرعت، روش و زمان هم زدن طوری انتخاب گردید که بیشترین حباب را وارد دوغاب کند و افزایش حجم مناسبی را به دوغاب بدهد که در جدول ۲ این مشخصه همراه با ویژگی های دیگر آورده شده است. دور موتور همزن برقی 300 rpm و زمان هم زدن حداکثر ۳ دقیقه بود. سیمان نسوز جهت پایداری در زمان هم زدن به دوغاب اضافه گردید و ۳ دقیقه هم زده شد تا دوغاب فومی و سیمان کاملاً هموزن شوند. سپس دوغاب در قالب فلزی ریخته گری گردید. قطعات ریخته گری شده به مدت ۲۴ ساعت در محیط باقی ماندند و آن گاه در خشک کن خشک شدند که این فرایند به دلیل آب زیاد و استحکام خام پائین آجر بسیار مهم و حساس می باشد. سرعت زیاد خشک کردن احتمال ترک و لایه لایه شدن قطعه و سرعت کم احتمال ته نشینی دوغاب را دارد و نیز ارزش اقتصادی کار را از بین می برد. پس از تکرار آزمایشها منحنی خشک کردن بدست آمد که در آن سه مرحله قابل توجه می باشد. در مرحله اول در مدت ۲۴ ساعت رطوبت از 40% به 30% در دمای محیط کاهش می یابد تا دوغاب به حالت انعقاد اولیه برسد و ذرات از همدیگر جدا نشوند، در مرحله دوم رطوبت از 30% به زیر 6% در دمای $75-80^\circ\text{C}$ درجه سانتیگراد در خشک کن می رسد تا قطعه استحکام اولیه یافته و ترک نخورد و در مرحله سوم قطعه از قالب خارج شده و دوباره به خشک کن منتقل می شود و در مدت ۲۴ ساعت دمای خشک کن به 100°C درجه سانتیگراد افزایش می یابد تا نمونه کاملاً خشک گردد.

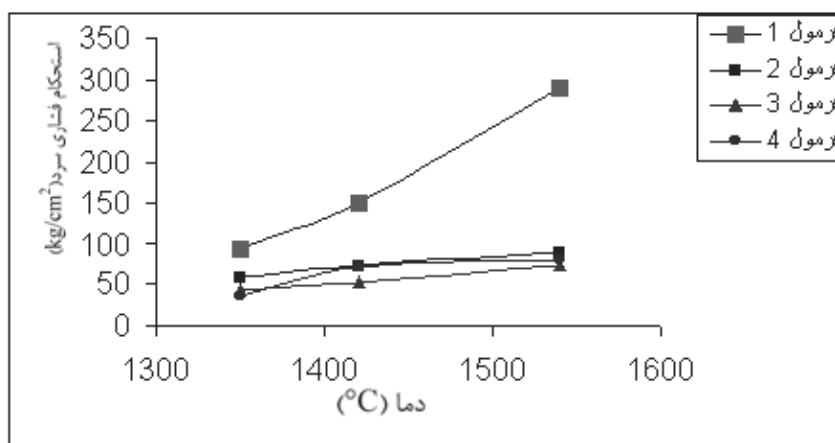
جدول ۲- درصد فوم و پایدار ساز و پارامتر های فرایند ساخت

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴
درصد فوم (بر اساس وزن دوغاب)	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۱
درصد سیمان آلومینات کلسیم بر اساس وزن دوغاب	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵
وزن لیتر دوغاب (g/lit)	۱۱۰۰	۱۰۰۰	۹۰۰	۸۰۰
درصد افزایش حجم دوغاب	۶۰	۸۳	۱۳۰	۱۶۰
انقباض پخت (درصد طولی)	۱-۱/۵	۲-۳/۵	۳/۵	۳/۵

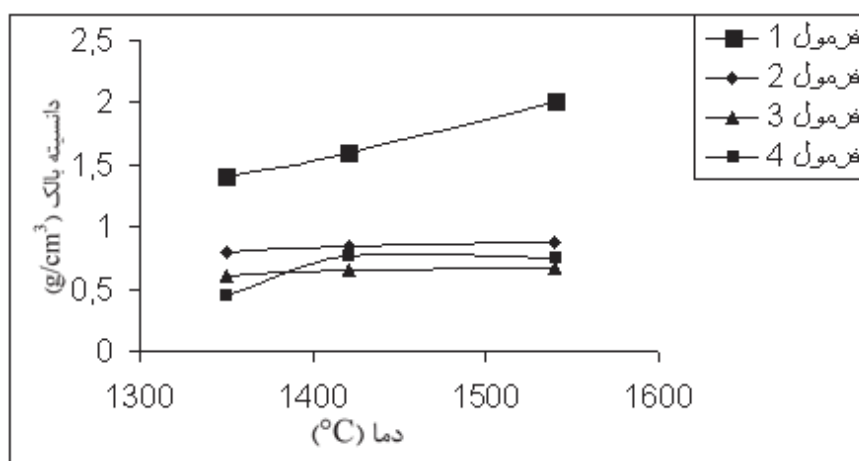
پخت نمونه ها در کوره مافلی در سه دمای مختلف 1350°C درجه سانتیگراد و 1420°C درجه سانتیگراد و 1540°C درجه سانتیگراد با زمان نگهداری $2/5$ ساعت در دمای ماکزیمم انجام گرفت پس از پخت عملیات ماشینکاری و پرداخت نمونه ها انجام شد. استحکام فشاری سرد مطابق استاندارد ASTM- C93 و دانسیته بالک نمونه ها مطابق ASTM - C134 تعیین شد. از فرمول شماره ۳ الگوی پراش اشعه x با دستگاه XRD مدل (Philips MPD Xpert) و مطالعات میکروسکوپی با دستگاه SEM مدل Cambridge 360 به عمل آمد.

۳- نتایج و بحث

نتایج استحکام فشاری سرد و دانسیته کلی نمونه حاوی درصد های مختلف فوم از ۱-۲۵/۰ درصد بر اساس وزن دوغاب در دما های 1540°C - 1350°C در شکل های ۱ و ۲ آورده شده است. با افزایش درصد فوم چند پدیده رخ می دهد. اول این که میزان تخلخل های باقی مانده در قطعه بیشتر می شود که می تواند موجب کاهش دانسیته بالک گردد و از طرف دیگر احتمال وصل شدن حبابهای هوا (فومهای گازی) در دوغاب و در نتیجه خروج آنها و یا ایجاد تخلخل های بزرگ نیز افزایش می یابد. چنانچه پدیده خروج حبابها غلبه یابد ممکن است دانسیته بالک نمونه ها افزایش یابد. به هر حال افزایش فوم چنانچه منجر به افزایش تخلخل های ریز و کروی گردد منجر به کاهش استحکام با نرخ کمتر می شود ولیکن چنانچه منجر به افزایش تخلخل های بزرگ گردد کاهش استحکام با نرخ بیشتری رخ می دهد.



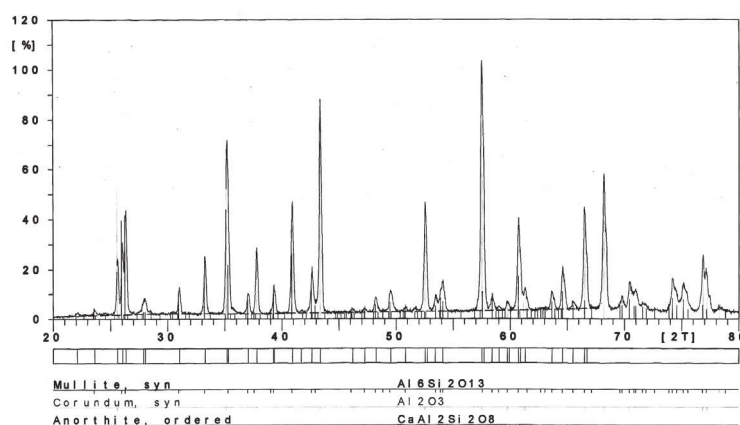
شکل ۱- تغییرات استحکام فشاری سرد نمونه ها با افزایش دمای پخت



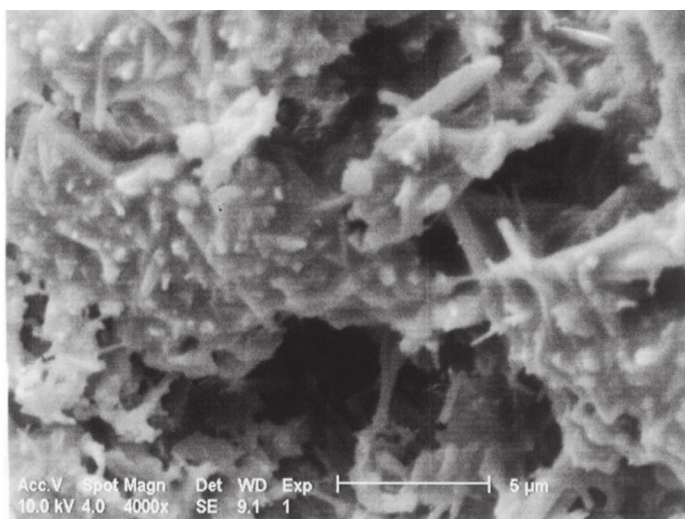
شکل ۲- تغییرات دانسیته بالک نمونه ها با افزایش دمای پخت

نتایج دانسیته بالک مطابق شکل ۲ نشان می دهد که فرمول یک با ۲۵/۰ درصد فوم دارای دانسیته های بالای $1/7 \text{ gr/cm}^3$ می باشد که در تعریف آجر عایق قرار نمی گیرد مطابق ASTM C155 آجر های عایق گروه ۲۸ با دانسیته بالک کمتر از $0/96 \text{ cm}^3$ و انقباض خطی دائمی کمتر از ۲٪ پس از حرارت دادن به مدت ۲۴ ساعت در دمای 1510°C درجه سانتیگراد می باشند. همچنین نتایج حاکی است که فرمول های دو تا چهار با درصد های فوم ۱-۵/۰ درصد وضعیت مناسبی را از لحاظ گروه ۲۸ دانسیته بالک دارند. منتها نمونه های شماره چهار با یک درصد فوم با وجود خواص تقریباً مطلوب به دلیل عدم یکنواختی توزیع تخلخل نامناسب تشخیص داده شد و بهترین نمونه ها از نظر ظاهر و خواص نمونه های حاوی ۷۵/۰ درصد فوم انتخاب شد

که پس از پخت در دمای 1540°C دارای دانسیته بالک $67/0\text{ g/cm}^3$ و استحکام فشاری سرد 74 kg f/cm^2 بود. از این نمونه ها انقباض خطی مجدد مطابق ASTM C155 در دمای 1510°C گرفته شد که حوالی $1/3\%$ بود.



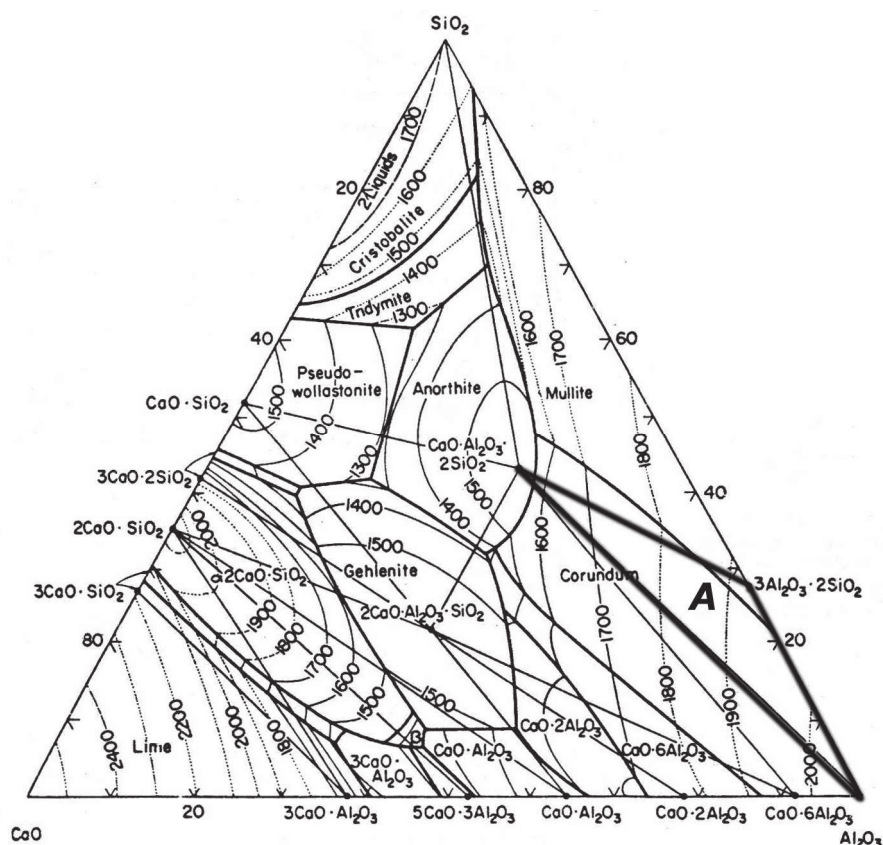
شکل ۳- الگوی اشعه X نمونه ۳ پخته شده در دمای 1540°C



شکل ۴- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ۳ پخته شده در دمای 1540°C با بزرگنمایی $\times 4000$

الگوی پراش اشعه X این نمونه (نمونه ۳) پس از پخت در 1540°C درجه سانتیگراد مطابق شکل ۳ نمایش دهنده وجود فازهای کوراندوم، مولایت و آنورتیت می باشد. با توجه به درصد مواد اولیه مصرفی و آنالیز شیمیایی آنها (جدول ۱)، آنالیز بدنه شماره ۳ بعد از پخت شامل $75/2\%$ Al_2O_3 و $19/5\%$ SiO_2 و CaO و $2/9\%$ و $2/4\%$ سایر اکسیدهای TiO_2 ، Fe_2O_3 ، K_2O و Na_2O می باشند. با توجه به دیگرام سه جزئی $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ (شکل ۵) و پیدا کردن نقطه ترکیب (A) مشاهده می شود که این نقطه در مثلث ترکیبی کوراندوم - مولایت - آنورتیت قرار می گیرد و نقطه ذوبی در حدود 1850°C درجه سانتیگراد دارد و نقطه شروع فاز مذاب در آن حدود 1500°C درجه سانتیگراد می باشد. با توجه به زینتر نمونه های مورد مطالعه در دماهای 1350°C تا 1540°C درجه سانتیگراد به نظر می رسد که وجود اکسیدهای TiO_2 ، Fe_2O_3 ، Na_2O ، K_2O ، نقطه شروع زینتر در حضور فاز مایع را به دماهای پایین تر از 1500°C درجه سانتیگراد انتقال می دهد و احتمال وجود فاز شیشه را نیز زیاد می کنند.

مطابق شکل ۴ ریز ساختار مشاهده شده با میکروسکوپ الکترونی نشان دهنده وجود سوزن هایی است که با توجه به الگوی پراش اشعه X می توان آنها را مولایت در نظر گرفت وجود فاز شیشه پیرامون سوزن های مولایت نشان دهنده زینتر در حضور فاز مایع می باشد.



شکل ۵- دیاگرام فاز سه تایی $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ [۴]

مراجع

1. F. Singer and S. Singer, "Industrial Ceramics", Chapman and Hall Ltd. London, 1964. PP.425-30.
2. P. P. Budnikov, "The Technology of Ceramic and Refractories", by Scripta Technica the M. I. T. Press, Massachusette, 1964. PP. 364-74.
3. B. B. Subramanian, B. B. Machhoya, Sarsani and K. N. Miti, "Preparation of Hot-Face Insulation Bicks by Foming", Interacram, 45 (1996) 4. PP. 272-76
4. F. H. Notron, "Refractories", MC Graw-Hill Book Company, 1968. PP. 143-4
5. N. V. Pisarera and E. Aksel Rod, "A New Ultralight Corundum Thermal Insulation Material", Translated From Ogneupory, September. (1991) 9. PP. 25-27.
6. P. W. Minnear, "Processing of Foamed Ceramics", GE Corporate Research and Development, Optical and Electrical Ceramics, 2000. PP. 149-156.
7. K. Leper and M. H. Fuhres, "Heat Insulation Materials", Material in Refractory, Engineering, PP. 24-39.