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

عبدالقدیر نصیری[۱و۳]، احسان طاهری نساج[۱]، رحیم نقی زاده[۲]، منوچهر مندگاریان[۳]

[۱] دانشگاه تربیت مدرس، [۲] دانشکده مهندسی مواد ومتالورژی دانشگاه علم و صنعت ایران، [۳] فراورده‌های نسوز پارس

چکیده: *آجرهای عایق آلومینا بالا به طور گسترده ای در کوره های صنعتی مختلف و آزمایشگاهی به کار می‌روند. یکی از انواع این آجر ها نوع فومی می باشد. با روش فومی دیرگدازهای بسیار سبک با تخلخل های 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 می باشند. در تحقیق حاضر از فوم سنگین آتش نشانی برای ایجاد تخلخل استفاده گردید و اثر میزان فوم، کائولن و دمای پخت بر خواص آجر های 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/cm^3 و استحکام فشاری سرد ۸۵ kgf/cm^2 بودند.*

کلمات کلیدی: *عایق های دیرگداز، عایق های فومی، فوم آتش نشانی.*

۱- مقدمه

در کوره های صنعتی به طور معمول ۲۵ تا۴۵ درصد اتلاف حرارت به دلیل جذب گرما توسط بدنه کوره و انتقال حرارت از سطح کوره به محیط رخ می دهد. برای جلوگیری از انتقال حرارت می توان از دانه‌های پوک، جرم های ریختنی عایق، الیاف و آجر های عایق استفاده کرد. آجر های 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 می شوند[۱].

در روش فومی از سه دسته مواد استفاده می گردد[۲و۳].

الف) مواد دیر گداز 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، چسب های آلی، صمغ عربی، گچ قالبسازی و سیمان نسوز.

در روش فومی ابتدا دوغابی پایدار با دانسیته مناسب از عوامل دیر گداز و دوغابی با دانسیته مناسب از عوامل فوم و پایدارساز ساخته می شود. سپس دو دوغاب با هم مخلوط می شوند. لذا دانسیته دوغاب فومی تعیین کننده دانسیته آجر خام خواهد بود [۲و۴]. 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 می باشد که از نظر عایق بودن و استحکام مکانیکی مطلوب می‌باشند[۵ و ۶]. مشکلات روش فومی زمان خشک کردن طولانی و حساس بودن دانسیته دیر گداز 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 جدول۱ آورده شده است. دانه بندی آلومینای زیر ۱۰۰ μm

[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1385.2.1.1.7]

بود. فوم سنگین آتش نشانی از نوع سورفکتانت فلورینی و سولفات های الکلی با PH=۷ ، وزن مخصوص g/cm^3 ۱/۰۹ ،ویسکوزیته ۱۰mm/s در دمای ۲۰ 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 ۵۴٪ آلومینا،۶٪ کائولن و ۴۰٪ 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 درجدول۲ این مشخصه همراه با ویژگی های دیگر آورده شده است. دور موتور همزن برقی rpm ۳۰۰ و زمان هم زدن حداکثر ۳ دقیقه بود. سیمان نسوز جهت پایدارسازی در زمان هم زدن به دوغاب اضافه گردید و ۳ دقیقه هم زده شد تا دوغاب فومی و سیمان کاملاً هموژن شوند. سپس دوغاب در قالب فلزی ریخته گری گردید. قطعات ریخته‌گری 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 وحساس می باشد. سرعت زیاد خشک کردن احتمال ترک و لایه لایه شدن قطعه و سرعت کم احتمال ته نشینی دوغاب را دارد ونیز 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 ۴۰٪ به۳۰ ٪ در دمای محیط کاهش می یابد تا دوغاب به حالت انعقاد اولیه برسد و ذرات از همدیگر جدا نشوند، در مرحله دوم رطوبت از ۳۰ ٪ به زیر ۶٪ در دمای ۸۰-۷۵ 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 خشک‌کن منتقل می‌شود و در مدت ۲۴ ساعت دمای خشک کن به ۱۰۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد تا نمونه کاملاً خشک گردد.

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

شماره نمونه	۱	۲	۳	٤
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

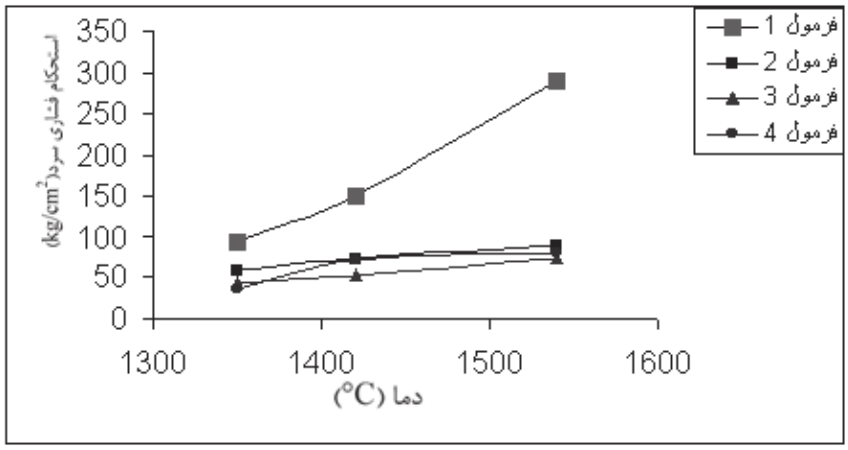
پخت نمونه ها درکوره مافلی در سه دمای مختلف ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد و ۱۴۲۰ درجه سانتیگراد و ۱۵۴۰ درجه سانتیگراد با زمان نگهداری ۲/۵ ساعت در دمای ماکزیمم انجام گرفت پس از پخت عملیات ماشینکاری و پرداخت نمونه ها انجام شد. استحکام فشاری سرد مطابق استاندارد ASTM- C93 و دانسیته بالک نمونه ها مطابق ASTM – C134 تعیین 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.

[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-13]

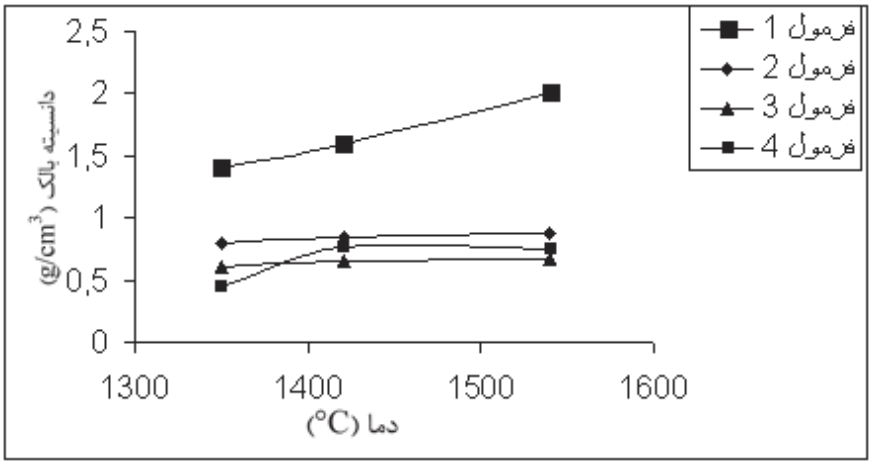
[DOR: 20.1001.1.17353351.1385.2.1.1.7]

۳- نتایج و بحث

نتایج استحکام فشاری سرد و دانسیته کلی نمونه حاوی درصد های مختلف فوم از ۱-۰/۲۵ درصد بر اساس وزن دوغاب در دما های $1540^{o}C$ – ۱۳۵۰ 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 می‌شود 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 تخلخل‌های ریز و کروی گردد منجر به کاهش استحکام با نرخ کمتر می‌شود 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



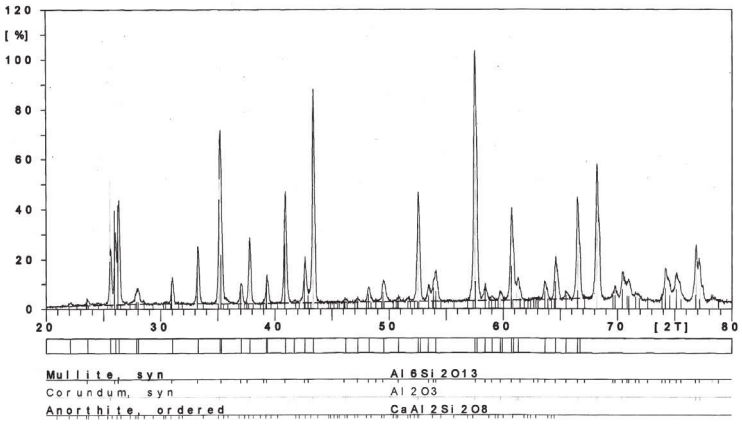
شکل ۲- تغییرات دانسیته بالک نمونه ها با افزایش دمای پخت

نتایج دانسیته بالک مطابق شکل۲ نشان می دهد که فرمول یک با ۰/۲۵ درصد فوم دارای دانسیته های بالای $1/7\ gr/cm^3$ می باشد که در تعریف آجر عایق قرار نمی‌گیرد مطابق ASTM C155 آجر های عایق گروه ۲۸ با دانسیته بالک کمتر از $0/96cm^3$ و انقباض خطی دائمی کمتر از ۲٪ پس از حرارت دادن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۵۱۰ درجه سانتیگراد می باشند. همچنین نتایج حاکی است که فرمول های دو تا چهار با درصد های فوم ۱-۰/۵ 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 ۰/۷۵ درصد فوم انتخاب شد

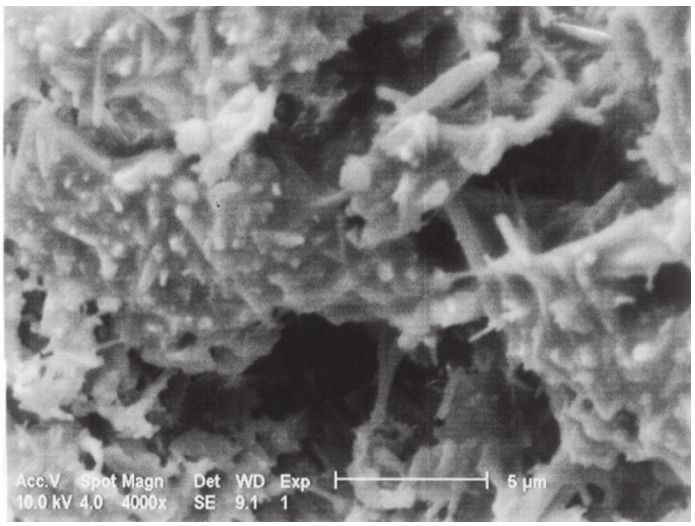
[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1385.2.1.1.7]

که پس از پخت در دمای ۱۵۴۰ ^{o}C دارای دانسیته بالک ۰/۶۷ g/cm^3و استحکام فشاری سرد ۷۴ $kg\ f/cm^2$ بود. از این نمونه ها انقباض خطی مجدد مطابق ASTMC155 در دمای^{o}C۱۵۱۰ گرفته شد که حوالی ۱/۳٪ بود.



شکل ۳- الگوی اشعه X نمونه ۳پخته شده در دمای ۱۵۴۰^{o}C



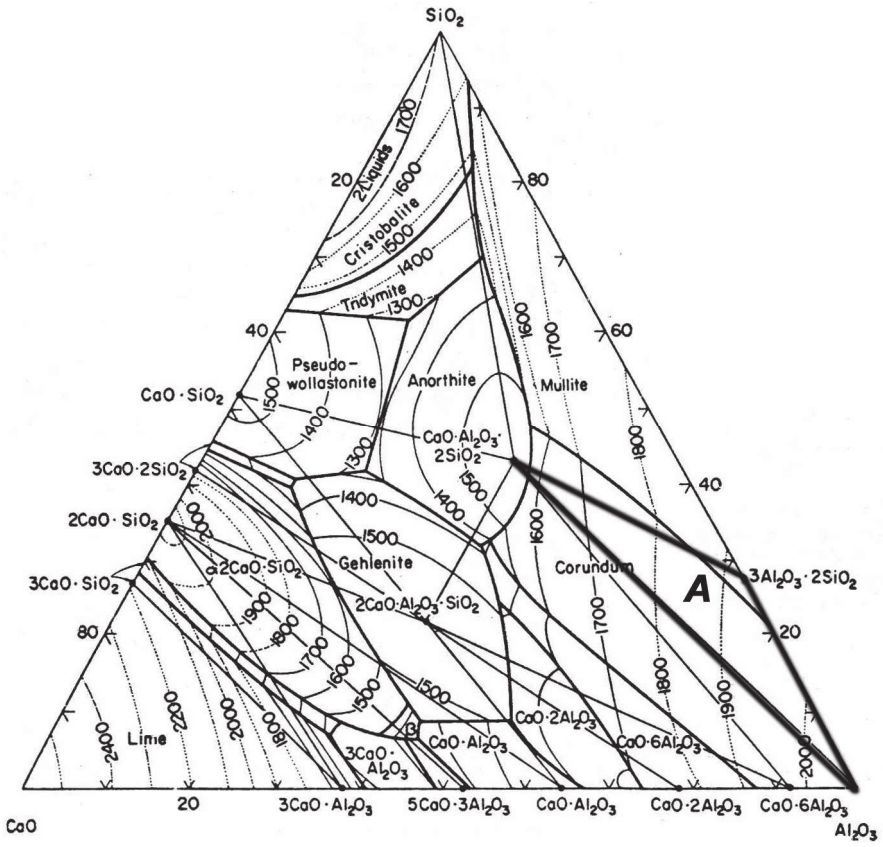
شکل ۴-تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ۳ پخته شده در دمای ۱۵۴۰ ^{o}C با بزرگنمایی ۴۰۰۰ ×

الگوی پراش اشعه X این نمونه (نمونه۳) پس از پخت در ۱۵۴۰ درجه سانتیگراد مطابق شکل۳ نمایش دهنده وجود فازهای کوراندوم، مولایت و آنورتیت می‌باشد. با توجه به درصد مواد اولیه مصرفی و آنالیز شیمیایی آنها (جدول۱) ، آنالیز بدنه شماره۳ بعد از پخت شامل Al_2O_3 ۷۵/۲ ٪ و SiO_2 ۱۹/۵ ٪ و CaO ۲/۹٪ و ۲/۴٪ سایر اکسید های TiO_2، Fe_2O_3 ، K_2O وNa_2O می باشند. با توجه به دیاگرام سه جزئی $CaO–SiO_2–Al_2O_3$ (شکل۵) و پیدا کردن نقطه ترکیب (A) مشاهده می‌شود که این نقطه در مثلث ترکیبی کوراندوم - مولایت ـ آنورتیت قرار می‌گیرد و نقطه ذوبی در حدود۱۸۵۰ درجه سانتیگراد دارد و نقطه شروع فاز مذاب در آن حدود ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد می باشد. با توجه به زینتر نمونه های مورد مطالعه در دماهای ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد تا ۱۵۴۰ درجه سانتیگراد به نظر می‌رسد که وجود اکسیدهای TiO_2 ,Fe_2O_3 ,Na_2O ,K_2O, نقطه شروع زینتر در حضور فاز مایع را به دما های پائین‌تر از ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد انتقال می‌دهد و احتمال وجود فاز شیشه را نیز زیاد می‌کنند.

مطابق شکل ۴ ریز ساختار مشاهده شده با میکروسکوپ الکترونی نشان دهنده وجود سوزن‌هایی 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 می‌باشد.

[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1385.2.1.1.7]



شکل ۵- دیاگرام فاز سه‌تایی $CaO-Al_2O_3-SiO_2$[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”, Interceram, 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.

[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1385.2.1.1.7]