

## تولید و بررسی خواص آجرهای منیزیت - اسپینلی کوتینگ پذیر مصرفی در منطقه پخت

### کوره های دوار سیمان

سید مهدی لقمانی<sup>۱\*</sup>، بهزاد امین پور<sup>۱</sup>، مژده جلالی<sup>۱</sup>

۱- شرکت فرآورده های نسوز ایران، اصفهان، ایران

[\\*sm.Loghmani@yahoo.com](mailto:*sm.Loghmani@yahoo.com)

[Abehzad199@yahoo.com](mailto:Abehzad199@yahoo.com)

[Jalalimojdeh@yahoo.com](mailto:Jalalimojdeh@yahoo.com)

#### خلاصه :

در تحقیق حاضر، خواص آجرهای منیزیت - اسپینلی کوتینگ پذیر قابل استفاده در منطقه پخت کوره های دوار سیمان مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، ابتدا به بررسی نحوه عملکرد آجرهای مصرفی در این کوره ها پرداخته و سپس به کمک شبیه سازی ساختاری و با در نظر گرفتن استانداردهای زیست محیطی، طراحی این آجر صورت گرفت.

در ادامه، پس از تعیین نهایی شاخص دانه بندی و دمای زینترینگ، خواص فیزیکی و مکانیکی بررسی گردید. نتایج بدست آمده از آزمایشات فیزیکی - مکانیکی، پراش اشعه ایکس، تصاویر میکروسکوپی و همچنین نتایج حاصل از تست صنعتی این محصول نشان داد که این آجر جایگزین بسیار مناسبی برای آجرهای منیزیت - کرومیتی در منطقه پخت کوره های دوار سیمان بوده که برای اولین بار در ایران طراحی و تولید شده است.

کلمات کلیدی: آجر منیزیت - اسپینلی، کوتینگ پذیر، کوره دوار

دیرگدازهای منیزیا- کرومیتی شامل دو ماده اصلی منیزیا (MgO) و کرومیت  $[(Mg,Fe)(Cr,Al,Fe)_2O_4]$  می باشد که بر اساس درصد منیزیا (از ۳۰ درصد) به گروههای مختلفی طبقه بندی می شوند [۱]. این نسوزها مقاومت بالایی در برابر شوک حرارتی داشته و میزان پایداری در برابر سرباره های قلیایی ضعیف تا اسیدی را افزایش می دهند. آجرهای منیزیت - کرومیتی در صنعت آهن و فولاد در مخلوط کننده های چدنی، کوره های قوس الکتریکی، کنورتورهای AOD و ...، در صنعت فلزات غیر آهنی، چکرهای کوره های ذوب شیشه و علی الخصوص کوره های دوار سیمان و کوره های قائم آهک بکار می روند. اما بدلیل مخاطرات زیست محیطی این محصول در هنگام مصرف و تبدیل کروم شش ظرفیتی به صورت محلول آبی کرومات تحت شرایط معین، در حال حاضر عمدتاً از دیرگداز های منیزیت-اسپینلی بعنوان جایگزین استفاده می گردد [۱].

آجرهای منیزیا- اسپینلی از لحاظ مینرالوژیکی اساساً شامل پریکلاز (MgO) و اسپینل  $(MgAl_2O_4)$  می باشند. اسپینل آلومینا-منیزیا یک ماده مشخص و معروفی بوده که دارای خواصی نظیر نقطه ذوب بالا، پایداری شیمیایی مناسب در برابر سرباره های قلیایی و اسیدی، استحکام مکانیکی بالا و انبساط کم در دماهای بالا می باشد [۲]. دیرگدازهای حاوی اسپینل آلومینا- منیزیا ( به صورت درجا و یا سنتزی) بطور گسترده ای در پاتیل های فولادی، کوره های دوار سیمان، کوره های القایی صنایع شیشه و غیره مورد استفاده قرار می گیرند [۳-۵]. منیزیای مصرفی عموماً دارای مقادیر مختلفی ناخالصی بوده که ناشی از مواد اولیه می باشد و یا تعمداً بدان افزوده می شود که از جمله این ناخالصی ها می توان به FeO،  $CaO.Fe_2O_3$ ،  $Al_2O_3$  و  $SiO_2$  اشاره کرد. ناخالصی های  $R_2O_3$  موجود در منیزیا دارای اهمیت ویژه ای می باشند زیرا قادرند به سرعت با منیزیا وارد واکنش شده و فاز اسپینل تشکیل دهند [۶]. بطور کلی آنالیز شیمیایی و نسبت مولی  $CaO/SiO_2$  از فاکتورهای مهم در منیزیای مورد مصرف در صنایع دیرگداز می باشد و در صورتی که نسبت مولی C/S کمتر از ۱ باشد، فازهای موجود عبارتند از  $M_2S$ ، MA، MF، M و CMS و از آنجائیکه فازهای  $MA(MgO.Al_2O_3)$  و  $MF(MgO.Fe_2O_3)$  دارای ساختار اسپینل هستند در دماهای بالا در منیزیا حل شده و یک محلول جامد را تشکیل می دهند و در طی سرد شدن بصورت ذرات رسوبی در زمینه منیزیا ظاهر

می شوند [۷]. همچنین وجود  $Fe_2O_3$  در منیزیای مصرفی در نسوزهای قابل استفاده در منطقه پخت کوره دوار سیمان باعث تشکیل یک لایه کوتینگ مناسب گردیده که مقاومت به خوردگی این آجرها را افزایش می دهد.

## ۲- مواد اولیه و روش تحقیق

مواد اولیه مورد استفاده جهت تولید نمونه های مورد بررسی، منیزیای زینتره چینی، منیزیای پرآهن، اسپینل آلومینا- منیزیا و کرومیت می باشد. دانه بندی بر اساس معادله آندریازن و با استفاده از ضریب توزیع (q) برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شد. این نمونه ها تحت شرایط یکسان از نظر دانه بندی، مقدار بایندر و فشار پرس در مقایسه با آجرهای منیزیت اسپینلی و منیزیت کرومیتی متداول این شرکت تولید گردید. خواص فیزیکی این نمونه ها نظیر دانسیته خام، درصد تخلخل، استحکام فشاری سرد و تغییرات طولی پایدار به منظور تعیین فشار پرس و دمای زینترینگ بهینه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین جهت تعیین الگوی تفرق اشعه ایکس از دستگاه (XRD) با لامپ مس (Xpert, Philips, Netherlands) با طول موج  $1/54051 \text{ \AA}$  استفاده گردید. به منظور بررسی ریز ساختاری از میکروسکوپ نوری استفاده شد.

## ۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تأثیر درجه حرارت زینترینگ بر خواص فیزیکی نمونه ها  
جدول ۱، نتایج خواص فیزیکی نمونه های زینتر شده در دماهای A، A+30 و A+60 درجه سانتیگراد را در مقایسه با نمونه آجرهای منیزیت کرومیتی و منیزیت اسپینلی نشان می دهد. همانطور که از اطلاعات این جدول استنباط می گردد، با کاهش دمای زینترینگ، بافت نمونه ساختار منسجم تری داشته که این مسئله موجب کاهش میزان تخلخل و در نتیجه افزایش استحکام فشاری سرد قطعه می گردد. همچنین احتمال تشکیل فازهای دما ذوب پایین و وجود فاز مایع کاهش می یابد. میزات تغییرات ابعادی نیز سیر نزولی داشته است.

جدول ۲: آنالیز شیمیایی نمونه های آزمایشی در مقایسه با آجرهای

نوع آجر	منیزیت کرومیتی و منیزیت اسپینلی					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % <sub>3</sub>	C %aO	M %gO	C %f <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
MC	۱/۳۹	۴/۶۰	۵/۶۳	۱ ۲/۰	۳ ۸۰/۵	۶ ۵/۸
MS	۰/۸۱	۱/۱۷ ۱۱	۰/۹۷	۲ ۱/۶	۲ ۸۵/۳	-
نمونه آزمایشی MSCF	۰/۶۷	۱/۱۰ ۱۰	۳/۷۴	۱ ۱/۰	۹ ۸۳/۱	-

۳-۴- بررسی ریز ساختاری نمونه ها به کمک

میکروسکوپ نوری



شکل ۲: تصاویر میکروسکوپی نمونه آزمایشی

شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی نمونه پخته شده در دمای A درجه سانتیگراد را نشان می دهد. همانطور که مطابق شکل مشاهده می گردد ساختار آجر از بافت بسیار منسجمی برخوردار بوده و اتصالات خوبی بین ذرات برقرار می باشد که این مسئله موید تخلخل بسیار کم و استحکام مناسب این نمونه می باشد.

۳-۵- نتایج حاصل از تست صنعتی

تست صنعتی آجرها در یکی از کوره های دوارسیمان با موفقیت انجام گردید و کوتینگ پذیری پایدار و عالی به ضخامت حدود بیست سانتیمتر تشکیل شده و طول عمر آجر بعد از ۱۰ ماه کارکرد همچنان ادامه دارد.

۴- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از کلیه همکاران محترم شرکت فرآورده های نسوز ایران که در مراحل مختلف انجام این پروژه ما را یاری نمودند، کمال تشکر را دارند.

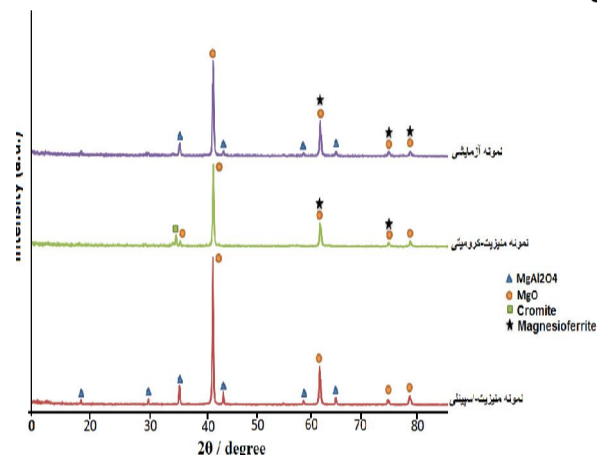
جدول ۱: خواص فیزیکی نمونه های مورد بررسی

خواص فیزیکی و مکانیکی	°C A+60	A+30 °C	A °C
B.D Gr/cm <sup>3</sup>	۲/۸۷	۲/۹۱	۲/۹۴
A.P %	۱۵	۱۶/۵	۱۴/۹
C.C.S Kg/cm	۴۲۰	۵۳۵	۵۱۵
PLC	-۰/۳۵	-۰/۲۰	-۰/۵۵

۳-۲- بررسی آنالیز فازی (XRD) نمونه آزمایشی در

مقایسه با آجرهای منیزیت کرومیتی و منیزیت اسپینلی

شکل ۱، الگوی تفرق اشعه ایکس (XRD) از نمونه آزمایشی تهیه شده در مقایسه با نمونه آجرهای منیزیت- کرومیتی و منیزیت - اسپینلی را نشان می دهد. در بررسی آنالیز فازی آجر منیزیت - اسپینلی شاهد پیکهای اسپینل آلومینا- منیزیا و پیکهای بسیار قوی پریکلز بوده و آنالیز فازی آجر منیزیت کرومیتی نیز نشان دهنده فازهای پریکلز، کرومیت و فاز منیزو فریت می باشد که حضور این فاز امکان تشکیل لایه کوتینگ بر سطح آجر منیزیت کرومیتی را فراهم نموده که بررسی پراش اشعه ایکس نمونه آزمایشی نیز موید تشکیل این فاز می باشد.



شکل ۱: الگوی XRD نمونه آزمایشی در مقایسه با آجرهای منیزیت کرومیتی و منیزیت اسپینلی

۳-۳- بررسی آنالیز شیمیایی به روش تیتراسیون

جدول ۲، آنالیز شیمیایی نمونه های مذکور را نشان می دهد که حضور درصد نسبتاً بالای اکسید آهن در نمونه آزمایشی در کنار اکسید منیزیم، احتمال تشکیل فاز منیزو فریت را افزایش داده که این مسئله به کمک پراش اشعه ایکس نیز مورد ارزیابی و تأیید قرار گرفت.

## ۵ - مراجع

- [۱] جی. روتشکا، ب. میرهادی، " مواد دیرگداز "، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، بهمن ۱۳۷۷.
- [2] J. Parmentier, M. Plouet, S. Vilminot, "Influence of the sol-gel synthesis on the formation of spinel  $MgAl_2O_4$  ", Materials Research Bulletin, Vol. 33, No.11, pp. 1717-1724, 1998.
- [3] J.H. Chester, " Refractories production and properties", The Iron and Steel Institute, London, 1973.
- [4] W.D. Kingery, D.R. Uhlmann, "Introduction to Ceramics ", Wiley, New York, 1976.
- [5] G.M.G. Gusmano, E. Travera, A. Bearzotti, "Humidity-sensitive electrical properties of  $MgAl_2O_4$  thin films", Sens.Actuators B13/14, pp. 525-527, 1993.
- [6] K.Tokunaga, " Further improvement in high temperature strength, coating adherence and corrosion resistance of magnesia- spinel bricks for rotary cement kiln", Proc.Unitecr 91, Germany, PP.301-304(1991).
- [7] M.Frith, T.Buffrey, I.Straw Bridge, " Magnesia: A refractory manufacturer perspective", British ceramic transactions, vol.97, No.1, PP.29-34 (1998).