Archive of SID

Available online: www.jnmr.ir/papers
مجله تحقیقات مواد نانوکامپوزیتی: ۶:۲ (۱۳۸۹) ۱۰۴-۹۷

Journal of
مجله تحقیقات مواد نانوکامپوزیتی
Nanocomposite Materials Research

بررسی تاثیر نانوذرات منیزیا بر خواص دیرگدازهای ریختنی کم سیمان آلومینا بالای خودجاری

سید حسین بدیعی[۱] و ساسان اطرج[۲،*]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود، گروه مهندسی مواد، شاهرود، ایران

۲- دانشگاه شهرکرد، گروه مهندسی مواد، شهرکرد، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۰/۰۱/۲۴، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۰/۰۲/۰۲، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۰/۰۴/۱۶

چکیده

در این تحقیق، تأثیر نانوذرات منیزیا بر خصوصیات جریان‌یابی دیرگدازهای ریختنی کم سیمان خودجاری آلومینایی بررسی شده است. بدین منظور نانوذرات منیزیا تا ۲ درصد وزنی جایگزین آلومینای راکتیو در ترکیب دیرگداز ریختنی گردید و خواص جریان‌یابی همانند میزان خودجاری بودن و زمان کارپذیری بررسی شده است. همچنین خواص فیزیکی (شامل BD و AP)، مکانیکی (شامل CCS و MOR) آنالیز فازی (XRD) و ریزساختار (SEM) این بدنه‌ها پس از پخت در دماهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار نانوذرات منیزیا میزان خودجاری بودن و زمان کارپذیری ترکیب دیرگداز ریختنی به دلیل سطح ویژه بالای نانوذرات کاهش می‌یابد. همچنین با اضافه شدن این ذرات به ترکیب به دلیل پر شدن فضاهای خالی در ریزساختار استحکام خشک افزایش می یابد. از طرف دیگر استفاده از نانوذرات منیزیا با سطح ویژه بالا باعث تشکیل مقدار فاز اسپینل بیشتری در دماهای پایین می‌گردد. تشکیل فاز اسپینل در بدنه به دلیل انبساط حجمی ایجاد شده باعث افزایش تخلخل و کاهش چگالی و در نتیجه کاهش استحکام می‌شود.

***واژه‌های کلیدی*: دیرگداز، ریختنی، کم سیمان، خودجاری، نانوذرات منیزیا.**

۱- مقدمه

در دهه ۱۹۷۰ توسعه دیرگدازهای ریختنی کم سیمان و یا LCC (Low-Cement Castable) و خیلی کم سیمان و یا ULCC (Ultra Low-Cement Castable) با جایگزینی بخشی از سیمان با ذرات ریز دانه (۱۰۰μm- ۱) و خیلی ریز دانه (۱μm>) همانند میکروسیلیس و آلومینای راکتیو آغاز شد [۱]. عملکرد خوب و اجرای موفقیت آمیز این نوع دیرگدازها به هنگام نصب و همچنین خواص دمای بالای آنها به توانایی پر کردن حفرات بین سنگدانه‌ها (۱۰۰ μm>) توسط ذرات ریز و خیلی ریزدانه ترکیب نسبت داده شده است. پر شدن حفرات ترکیب باعث افزایش چگالی و در نتیجه کاهش قابل ملاحظهٔ میزان آب مصرفی می‌گردد. بنابراین دیرگدازهای ریختنی کم سیمان

* **عهده‌دار مکاتبات:** ساسان اطرج

نشانی: شهرکرد، دروازه سامان، دانشگاه شهرکرد، دانشکده فنی

تلفن: ۷-۴۴۲۴۴۰۱-۰۳۸۱، **دورنگار:** ۰۳۸۱-۴۴۲۴۴۳۸، **پست‌الکترونیکی:** sasan.otroj@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

و خیلی کم سیمان خواص فیزیکی بهتری را در مقایسه با دیرگدازهای ریختنی دارای مقدار سیمان معمولی و یا RCC (Regular Cement Castable) نشان می‌دهند [۴-۱]. همچنین مشخص شده است که توزیع اندازه ذرات دیرگدازهای ریختنی یک عامل مهم در بهبود خواص جریان‌یابی این دیرگدازها محسوب می شود. ذرات ریز و خیلی ریزدانه باعث افزایش فاصله جدایش بین ذرات درشت می‌شوند و در نتیجه جریان‌یابی را افزایش می‌دهند. این امر باعث ابداع و توسعه دیرگدازهای ریختنی خودجاری و یا SFC (Self-Flow Castable) و قابل پمپاژ گردیده است.

مهمترین ویژگی دیرگدازهای ریختنی خود جاری، قابلیت جریان‌یابی و هم سطح شدن در قالب بدون استفاده از نیروی خارجی همانند لرزش و ویبراسیون می‌باشد [۶-۳]. در دیرگدازهای ریختنی توزیع اندازه ذرات و مواد ریز دانه نقش بسیار مهمی بر خواص، بویژه جریان‌یابی دارد. بنابراین تطبیق مناسب توزیع اندازه ذرات جهت افزایش فشردگی ترکیب و ایجاد جریان‌یابی مناسب ضروری است [۸-۶،۴].

تحقیقات امروزه دنیا بیشتر در زمینه مواد نانو و استفاده از آنها در ساخت ترکیبات و قطعات است. در این ارتباط استفاده از این ذرات در ساخت دیرگدازهای ریختنی نیز مطرح می باشد که می‌تواند بهبود زیادی در کیفیت و خواص این نوع دیرگداز ها ایجاد کند. با توجه به نقش مثبت ذرات ریزدانه بر خواص جریان‌یابی دیرگدازهای ریختنی، نانوذرات می‌تواند تأثیر زیادی بر خواص و بهبود آنها داشته باشد. بویژه در دیرگدازهای ریختنی خودجاری که درصد بیشتری از ذرات ریزدانه در ترکیب استفاده می شود [۹].

همچنین به دلیل بالا بودن سطح ویژه نانوذرات استفاده از آنها می‌تواند تاثیر بسیار زیادی بر خواص دما بالا و سینترپذیری ترکیب بدنه داشته باشد. استفاده از نانوذرات در ترکیب دیرگدازهای ریختنی راه جدیدی را برای توسعه دیرگدازهای ریختنی و بهبود خواص آنها در دنیا باز کرده است که تحقیقات زیادی نیز در این مورد در حال انجام است [۱۱-۹]. هدف از اجرای این پژوهش نیز بررسی تاثیر مواد نانوسایز همانند نانوذرات منیزیا بر خواص دما پایین و دما بالای دیرگدازهای ریختنی کم سیمان آلومینا بالای خودجاری می‌باشد.

۲- فعالیت‌های تجربی

مواد اولیه و ترکیب مورد استفاده جهت ساخت دیرگدازهای ریختنی کم سیمان خودجاری آلومینایی و همچنین آنالیز شیمیایی آنها در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است. خواص و ویژگیهای نانوذرات منیزیای مورد استفاده نیز در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۱: مواد اولیه و ترکیب مورد استفاده برای دیرگدازهای ریختنی کم سیمان آلومینایی.

مواد اولیه مصرفی و شرکت سازنده		wt %
Tabular alumina	Alcoa chemicals ,T-60	۷۴
Reactive alumina	Alcoa chemicals,CTC 20	۲۰
Cement (CAC)	Lafarge, Secar 71	۶
Nano-Magnesia	Inframat advanced materials	۰-۲

جدول ۲: آنالیز شیمیایی مواد اولیه مصرفی در دیرگدازهای ریختنی کم سیمان آلومینایی.

سیمان	آلومینای راکتیو	آلومینای تابولار	اکسید (wt.%)
۷۲/۷	۹۹/۸	۹۹/۴	Al_2O_3
۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۳۶	Na_2O
۲۶/۵	۰/۰۲	۰/۰۵	CaO
۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۱۰	MgO
۰/۲	۰/۰۳	۰/۰۲	SiO_2
۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۰	Fe_2O_3

جدول ۳: ویژگی‌ها و خواص نانوذرات منیزیای مصرفی.

فاز کریستالی	متوسط اندازه ذرات (nm)	سطح ویژه (m^2/g)	چگالی (g/cm^3)	MgO wt.%
پریکلاس	۳۵	۴۴	۳/۶	۹۹/۹

به دلیل اینکه آلومینای فعال شده و نانوذرات منیزیا بعنوان اجزاء ریز و بسیار ریزدانه سیستم محسوب می شوند، بنابراین جهت بررسی تأثیر نانوذرات منیزیا بخشی از آلومینای فعال شده موجود در ترکیب با نانوذرات منیزیا در محدوده ۲-۰ درصد وزنی جایگزین گردید. از افزودنی ضد انعقاد پلی کربوکسیلات اتر با مقدار ثابت ۰/۱ درصد وزنی برای تمام نمونه ها استفاده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

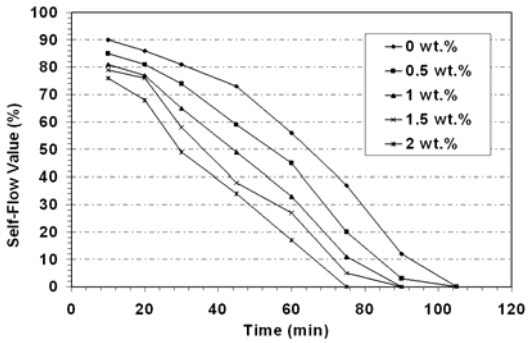
در این تحقیق با توجه به مقالات از توزیع اندازه ذرات مطابق فرمول آندریازن با q=۰/۲۴ و با محدوده اندازه ذرات (۵-۰) میلیمتر جهت ایجاد خاصیت خودجاری بودن استفاده گردید [۹]. به دلیل بسیار ریزدانه بودن نانوذرات منیزیای مورد استفاده و وجود نیروهای واندروالس، چسبیدن ذرات در حالت خشک به یکدیگر معمولا اتفاق می‌افتد و در نتیجه به خوبی با بقیه اجزاء سیستم مخلوط نمی‌شوند. بنابراین ابتدا نانوذرات منیزیا به همراه بقیه اجزاء ریزدانه ترکیب در فستمیل بصورت خشک مخلوط گردید تا آگلومره‌های نانوذرات منیزیا از هم جدا و با بقیه ذرات بطور مناسب مخلوط شوند. سپس به کمک مخلوط کن از نوع Hobart با سرعت کم، اجزاء ریزدانه با اجزاء درشت دانه سیستم بطور کامل با یکدیگر مخلوط شد. برای بررسی و مقایسه تأثیر نانوذرات منیزیا، همه ترکیب ها با درصد افزودنی ضد انعقاد و آب ثابت (۵ wt.%) ساخته شد. اندازه گیری میزان خود جاری بودن و زمان کارپذیری ترکیب دیرگداز ریختنی مطابق با استاندارد ASTM C 1446-99 (2001) انجام گرفت. جهت ساخت نمونه‌های استاندارد برای ارزیابی خواص، ترکیب‌های دیرگداز ریختنی مخلوط شده با آب بدون انجام لرزش و ویبراسیون درون قالب‌های استاندارد ریخته و سطح آن با فویل پوشانده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت قالب‌ها باز و نمونه‌ها در خشک کن با دمای ۱۱۰ °C به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد.

پس از خشک شدن کامل نمونه‌ها خواص آنها مورد آزمایش و بررسی کامل طبق استاندارد قرار گرفت. خواص فیزیکی شامل: چگالی بالک یا B.D (Bulk Density)، تخلخل ظاهری یا A.P (Apparent Porosity)، خواص مکانیکی شامل: استحکام فشاری سرد و یا C.C.S (Cold Crushing Strength) و استحکام خمشی سرد و یا M.O.R (Modulus of Rupture) مورد ارزیابی کامل قرار گرفت. تعدادی از نمونه‌های خشک شده نیز در دماهای مختلف (۱۲۵۰ و ۱۵۵۰ °C) در کوره الکتریکی به مدت سه ساعت پخته و سپس خواص آنها شامل چگالی، تخلخل و استحکام‌های فشاری و خمشی سرد اندازه گیری شد. فازهای موجود در نمونه‌های پخته شده توسط دستگاه پراش اشعه ایکس X-Ray Diffractometer, Bruker, D8ADVANCE, Germany و با استفاده از پرتو Cuk_{α} با ولتاژ شتاب دهنده ۴۰kV و شدت میدان ۳۰mA شناسایی شد. مطالعات ریزساختاری نیز با استفاده از میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Stereo Scan360-Leica Cambridge و FeSEM مدل Jeol 4010 بر روی سطح شکست نمونه‌ها انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱-بررسی تاثیر نانوذرات منیزیا بر جریان‌یابی ترکیب دیرگداز ریختنی

تأثیر میزان نانوذرات منیزیا بر میزان خود جاری بودن ترکیب دیرگداز ریختنی بعنوان تابعی از زمان در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱: تأثیر مقادیر مختلف نانوذرات منیزیا بر منحنی زمان- میزان خود جاری بودن دیرگداز ریختنی.

بطور کلی اولین مرحله در گیرش دیرگدازهای ریختنی کاهش و از دست دادن جریان است. یعنی دیرگداز ریختنی دیگر قادر به جریان‌یابی و نصب نیست. کنترل زمان گیرش یکی از نیازهای اساسی برای دیرگدازهای ریختنی محسوب می‌شود اما شاید یکی از مشکل‌ترین زمینه های تکنولوژیکی آنها نیز محسوب می‌شود. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهند که افزایش مقدار نانوذرات، باعث کاهش زمان کارپذیری دیرگداز ریختنی می‌شوند سطح ویژه بالای نانوذرات مورد استفاده باعث افزایش جاذبه واندروالس و کشش سطحی بین ذرات می‌گردد و میزان جریان‌یابی را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر افزودن نانوذرات منیزیا به ترکیب دیرگداز ریختنی باعث پر شدن

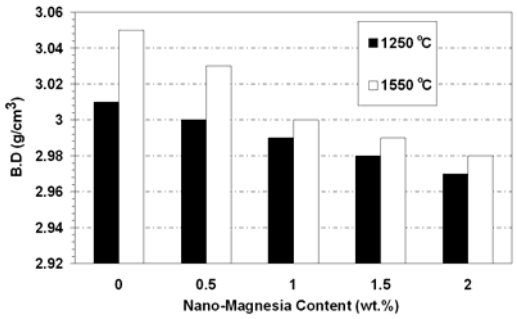
www.SID.ir

Archive of SID

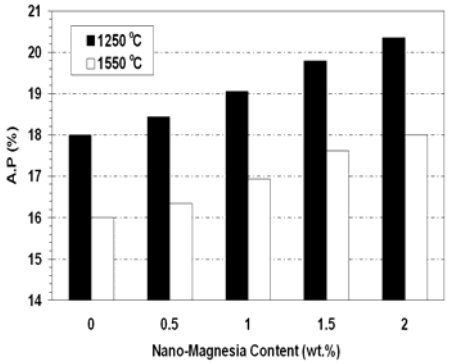
فضاهای خالی بین ذرات و افزایش اصطکاک و درگیری بین ذرات و در نتیجه کاهش میزان جریان‌یابی می‌گردد. جذب بیشتر آب بر روی سطح ذرات و کاهش آب لازم برای ترکیب نیز باعث کاهش جریان‌یابی می‌شود. با توجه به نتایج شکل ۱ مشخص می‌شود اگرچه زمان کارپذیری این دیرگداز ریختنی با افزایش میزان نانوذرات منیزیا کاهش می‌یابد اما دیرگداز ریختنی دارای نانو ذرات منیزیا کمتر از ۲ درصد، هنوز از زمان کارپذیری مناسبی جهت نصب برخوردار است بطوریکه در زمان ۲۰ دقیقه قابلیت ریختن در قالب بدون انجام ویبراسیون را هنوز دارا است و می‌تواند بصورت خودجاری ریخته شود.

۳-۲- بررسی تاثیر نانوذرات منیزیا بر خواص فیزیکی ترکیب دیرگداز ریختنی

در شکل های ۲ و ۳ تأثیر میزان نانوذرات منیزیا بر چگالی و میزان تخلخل بدنه های دیرگداز ریختنی کم سیمان پس از پخت در دماهای مختلف نشان داده شده است.



شکل ۲: تأثیر مقدار نانوذرات منیزیا بر چگالی بدنه‌های دیرگداز ریختنی کم سیمان پس از پخت در دماهای مختلف.



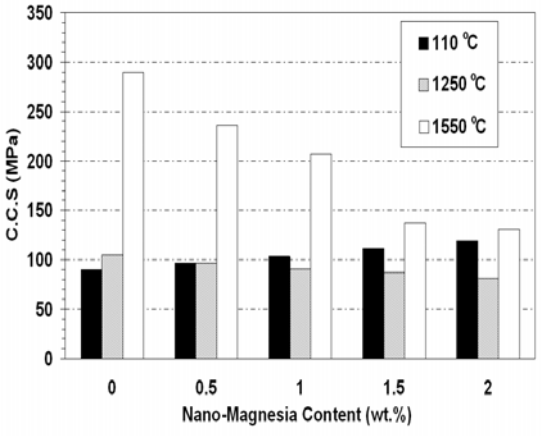
شکل ۳: تأثیر مقدار نانوذرات منیزیا بر میزان تخلخل دیرگداز ریختنی کم سیمان پس از پخت در دماهای مختلف.

نتایج شکل‌های ۲ و ۳ نیز نشان می‌دهند که با افزایش دما و تقویت پدیده سینترینگ میزان تخلخل نمونه‌ها کاهش و چگالی بدنه‌ها افزایش می‌یابد. اما با توجه به نتایج می‌توان مشاهده نمود که افزودن نانوذرات منیزیا به ترکیب باعث افزایش تخلخل و در نتیجه کاهش چگالی بدنه در همه دماها می‌شود. تغییرات ایجاد شده با افزودنی نانوذرات منیزیا را می‌توان ناشی از تشکیل فاز یا فازهای جدید در بدنه دانست که باعث ایجاد تخلخل و کاهش چگالی گردیده است. فازهایی همانند اسپینل به دلیل چگالی کمتر نسبت دیگر فازهای بدنه در اثر تشکیل باعث انبساط بدنه می‌گردد. این امر باعث افزایش تخلخل و کاهش چگالی بدنه می‌گردد.

همچنین از دلایل دیگر می‌توان به هیدراته شدن نانوذرات منیزیا در تماس با آب در هنگام نصب دیرگداز ریختنی اشاره کرد که به هنگام خشک شدن رطوبت جذب شده توسط نانوذرات منیزیا از بدنه خارج و بجای آن تخلخل ایجاد می‌شود. بنابراین میزان این تخلخل‌ها با افزایش میزان نانوذرات در بدنه افزایش می‌یابد.

۳-۳- بررسی تاثیر نانوذرات منیزیا بر استحکام مکانیکی ترکیب دیرگداز ریختنی

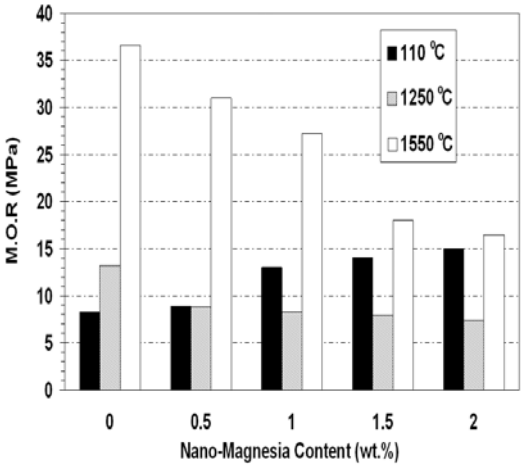
در شکل‌های ۴ و ۵ تاثیر مربوط به افزودن مقادیر مختلف نانوذرات منیزیا بر استحکام‌های فشاری و خمشی سرد بدنه دیرگداز ریختنی کم سیمان آلومینایی پس از پخت در دماهای مختلف ارائه شده است.



شکل ۴: تأثیر مقدار نانوذرات منیزیا بر استحکام فشاری سرد دیرگداز ریختنی کم سیمان پس از پخت در دماهای مختلف.

www.SID.ir

Archive of SID



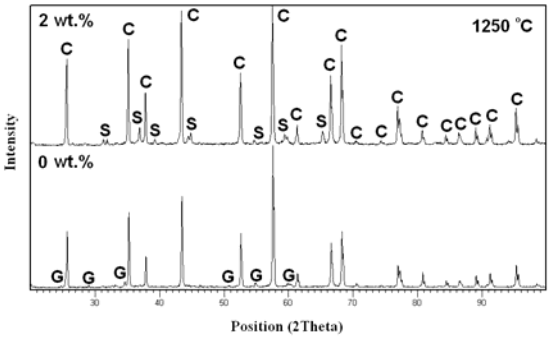
شکل ۵: تأثیر مقدار نانوذرات منیزیا بر استحکام خمشی سرد دیرگداز ریختنی کم سیمان پس از پخت در دماهای مختلف.

نتایج نشان دهنده تاثیر مثبت نانوذرات منیزیا بر استحکام بدنه‌های دیرگداز کم سیمان خشک شده در ۱۱۰ °C می‌باشد. پر شدن مناسب‌تر حفرات و تخلخل‌های بین ذرات درشت‌تر به دلیل استفاده از نانوذرات، دلیل این افزایش استحکام می‌باشد.

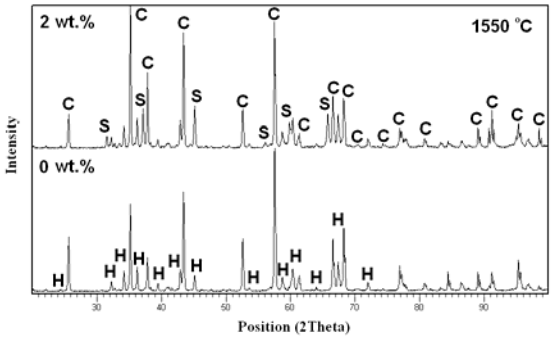
اما از طرف دیگر به دلیل کوچک بودن بیش از حد ذرات منیزیا و سطح ویژه بالای آن قدرت واکنشی این ذرات نیز با آب زیاد خواهد بود و پس از تماس با آب شروع به هیدراته شدن می‌کند. هیدراته شدن سطح این ذرات می‌تواند باعث ایجاد یا افزایش اتصال بین ذرات گردد و تا حدی در افزایش استحکام بدنه می‌تواند موثر باشد. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که افزودن نانوذرات منیزیا باعث کاهش استحکام‌های بدنه دیرگداز پس از پخت در دماهای ۱۲۵۰ و ۱۵۵۰ °C می‌گردد. از دلایل کاهش استحکام با اضافه شدن نانوذرات منیزیا به بدنه دیرگداز می توان به تشکیل فاز یا فازهایی با اتصالات ضعیف‌تر در بدنه اشاره نمود. از جمله فازهای محتمل در این ارتباط می‌تواند فاز اسپینل باشد که برای تایید این موضوع بایستی به نتایج آنالیز فازی مراجعه نمود. اما با توجه به نتایج مربوط به تاثیر نانوذرات منیزیا بر چگالی و تخلخل این بدنه‌ها (شکل‌های ۲ و ۳) افزایش تخلخل با اضافه شدن نانوذرات منیزیا می‌تواند از دلایل دیگر کاهش استحکام این بدنه‌ها پس از پخت در دمای ۱۲۵۰ °C و بالاتر محسوب گردد.

۳-۴- بررسی تاثیر نانوذرات منیزیا بر آنالیز فازی ترکیب دیرگداز ریختنی

در شکل های ۶ و ۷ نتایج مربوط به پراش اشعه ایکس دیرگدازهای ریختنی کم سیمان پخته شده در دماهای ۱۲۵۰ و ۱۵۵۰ °C حاوی مقدار مختلف نانوذرات منیزیا به ترتیب ارائه شده است.



شکل ۶: الگوی پراش اشعه ایکس دیرگداز ریختنی کم سیمان حاوی مقادیر مختلف نانوذرات منیزیا پخته شده در دمای ۱۲۵۰ °C
.C: Al_2O_3, G:CA_2, S: Spinel



شکل ۷ الگوی پراش اشعه ایکس دیرگداز ریختنی کم سیمان حاوی مقادیر مختلف نانوذرات منیزیا پخته شده در دمای۱۵۵۰ °C
.C: Al_2O_3, H:CA_6, S: Spinel

نتایج آنالیز فازی نمونه دیرگداز ریختنی کم سیمان آلومینایی پس از پخت در ۱۲۵۰ °C نشان می‌دهد که انواع فازهای کوراندوم (α-Al_2O_3) و گروسیت ($CaO.2Al_2O_3$=CA_2) در ترکیب بدنه وجود دارند. بطورکلی فاز گروسیت در اثر واکنش بین فاز مونو آلومینات کلسیم ($CaO.Al_2O_3$=CA) موجود در ترکیب سیمان با آلومینای موجود در ترکیب بدنه در دمای ۱۱۰۰ °C تشکیل می شود [۱۲،۱۳]. اما نتایج نشان می‌دهند که با افزودن ۲ درصد وزنی نانوذرات منیزیا به

www.SID.ir

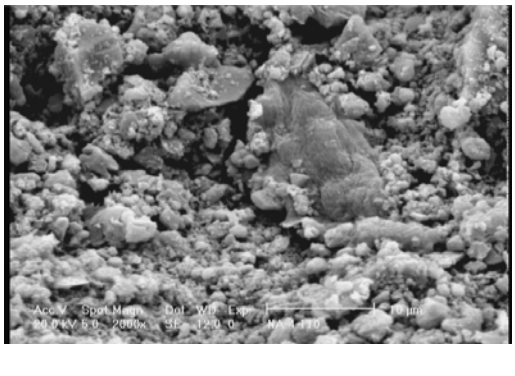
Archive of SID

ترکیب سیمان علاوه بر فازهای قبلی فاز اسپینل نیز در دمای ۱۲۵۰ °C در این نوع بدنه‌ها تشکیل شده است. با افزایش دمای سینترینگ و انجام پخت در ۱۵۵۰ °C مطابق شکل ۷ مشخص می‌شود که فاز گروسیت تبدیل به فاز هیبونیت ($CaO.6Al_2O_3=CA_6$) می‌گردد. این تبدیل به دلیل واکنش CA_2 با آلومینای موجود در ترکیب دیرگداز ریختنی در دمای بالای ۱۴۵۰ °C صورت می‌گیرد [۱۲،۱۳]. همچنین نتایج شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش دمای سینترینگ و انجام پخت در۱۵۵۰ °C فاز اسپینل بیشتری در بدنه تشکیل می‌گردد. بطور کلی تشکیل فاز اسپینل بطور تقریبا قابل توجه در دماهای بالاتر از ۱۳۰۰ °C شروع می‌شود و در دمای ۱۶۰۰ °C تکمیل می‌گردد [۱۳-۱۱].

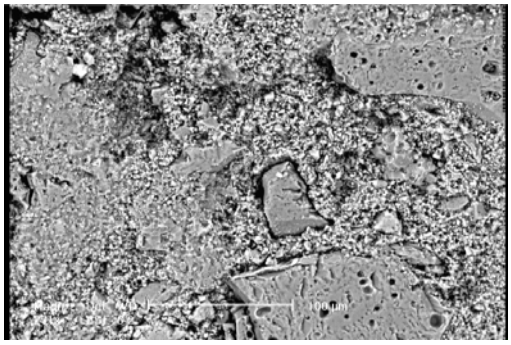
با توجه به نتایج در اثر استفاده از نانوذرات منیزیا در ترکیب تشکیل فاز اسپینل در دماهای پایین‌تری (۱۲۵۰ °C) شروع شده و در دماهای پایین‌تری (۱۵۵۰ °C) نیز تشکیل آن کامل شده است. علت این امر را می‌توان به سطح ویژه بالای نانوذرات منیزیا نسبت داد که باعث می‌گردد تا واکنش تشکیل اسپینل در دماهای پایین‌تری آغاز گردد و در دماهای پایین‌تری نیز تکمیل گردد. تشکیل فاز اسپینل در این نوع دیرگدازهای ریختنی بصورت درجا (In Situ) صورت می گیرد و باعث می‌شود تا دیرگداز ریختنی آلومینا-اسپینلی تشکیل گردد که خواص بهتری همانند مقاومت در برابر شوک حرارتی بیشتر و مقاومت به نفوذ سرباره بالاتر نسبت به دیرگدازهای ریختنی آلومینایی و آلومینایی حاوی اسپینل بعنوان ماده اولیه مصرفی دارد.

۳-۵- بررسی ریزساختار ترکیب دیرگداز ریختنی

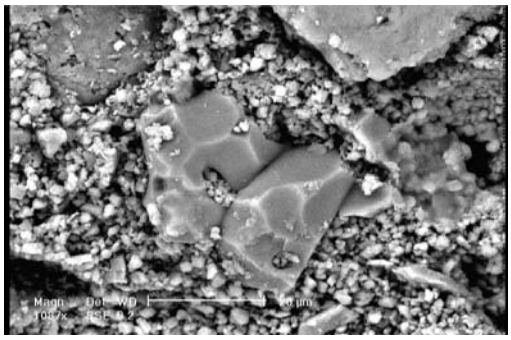
تصاویر SEM مربوط به سطح مقطع نمونه دیرگداز ریختنی دارای مقدار ۲ درصد وزنی نانوذرات منیزیا پس از خشک شدن در ۱۱۰ °C در شکل ۸ نشان داده شده است. تصویر ارائه شده نشان دهنده افزایش تراکم و فشردگی بالای ساختار است که در آن نانوذرات منیزیا فضاهای خالی بین ذرات درشت تر را اشغال می‌کنند و باعث کاهش تخلخل و افزایش چگالی و استحکام بدنه می‌شوند. در تصاویر ارائه شده در شکل‌های ۹ و ۱۰ ریزساختار بدنه دیرگداز ریختنی حاوی ۲% وزنی نانوذرات منیزیا پس از پخت در ۱۲۵۰ °C نشان داده شده است.



شکل ۸: تصویر ریزساختار دیرگداز ریختنی کم سیمان خشک شده در ۱۱۰ °C حاوی ۲ درصد وزنی نانوذرات منیزیا.



شکل ۹: تصویر ریزساختار دیرگداز ریختنی کم سیمان پخته شده در ۱۲۵۰ °C حاوی ۲ درصد وزنی نانوذرات منیزیا.



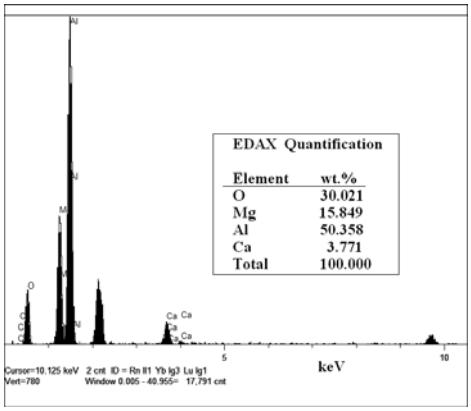
شکل ۱۰: تصویر ریزساختار دیرگداز ریختنی کم سیمان پخته شده در ۱۲۵۰ °C حاوی ۲ درصد وزنی نانوذرات منیزیا.

با توجه به تصاویر ارائه شده مشخص می شود که در بخش‌هایی از زمینه دیرگداز ریختنی فاز اسپینل تشکیل

www.SID.ir

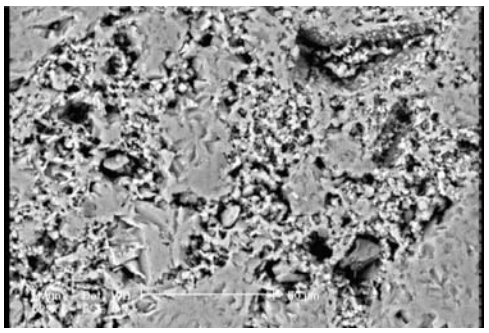
Archive of SID

شده است که در نتایج آنالیز فازی نیز تشکیل فاز اسپینل دیده می‌شود. این فاز بصورت توده‌ای از دانه‌های مکعبی شکل تشکیل می‌شود. چنین اسپینل توده‌ای شکلی در شکل ۱۰ به خوبی دیده می‌شود و آنالیز نقطه‌ای آن نیز در شکل ۱۱ ارائه شده است که نشان دهنده اسپینل بودن این فاز های مکعبی شکل می‌باشد.



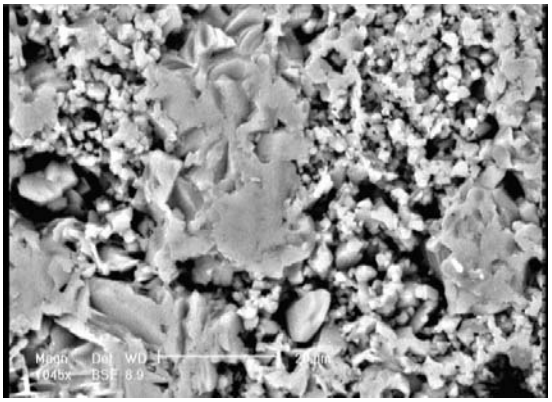
شکل ۱۱: آنالیز EDX ذرات اسپینل در ریزساختار دیرگداز ریختنی پخته شده در ۱۲۵۰ °C حاوی ۲ درصد وزنی نانوذرات منیزیا.

در تصاویر ارائه شده در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ ریزساختار بدنه دیرگداز ریختنی حاوی ۲ درصد وزنی نانوذرات منیزیا پس از پخت در ۱۵۵۰ °C ارائه شده است.

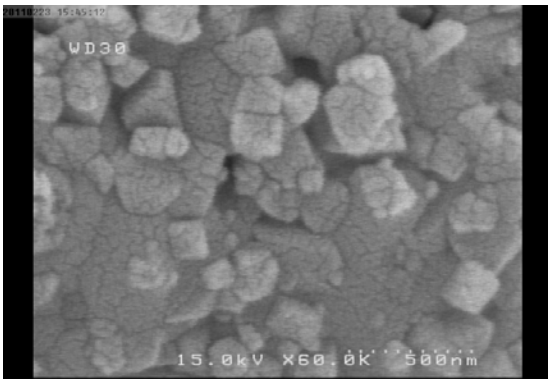


شکل ۱۲: تصویر ریزساختار دیرگداز ریختنی کم سیمان پخته شده در ۱۵۵۰ °C حاوی ۲ درصد وزنی نانوذرات منیزیا.

در تصاویر ارائه شده در این شکل‌ها تشکیل فاز اسپینل به خوبی در دمای ۱۵۵۰ °C دیده می‌شود. در این دما تمامی ذرات نانو منیزیای افزوده شده در تشکیل اسپینل شرکت کرده‌اند. علاوه بر فاز اسپینل در این دما فاز هیبونیت ورقه‌ای نیز در بین ذرات زمینه دیده می‌شود. فاز اسپینل در این ریزساختارها هم در دمای پایین و هم در دمای بالای پخت بصورت توده‌ای از کریستال‌های مکعبی شکل تشکیل شده است (شکل ۱۳).



شکل ۱۲ تصویر ریزساختار دیرگداز ریختنی کم سیمان پخته شده در ۱۵۵۰ °C حاوی ۲ درصد وزنی نانوذرات منیزیا.



شکل ۱۳: تصویر ریزساختار دیرگداز ریختنی کم سیمان پخته شده در ۱۵۵۰ °C حاوی ۲ درصد وزنی نانومنیزیا.

همچنین اسپینل چگالی کمتری نسبت به دیگر فازهای موجود در ترکیب بدنه دارد. بنابراین تشکیل این فاز منجر به ایجاد انبساط در ساختار و همچنین باعث ایجاد تخلخل‌هایی بین ذرات دیگر و خود ذرات اسپینل می‌گردد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که تخلخل بدنه افزایش و چگالی آن کاهش یابد. این امر با نتایج مربوط به تاثیر نانو ذرات منیزیا بر خواص فیزیکی بدنه های دیرگداز ریختنی کم سیمان آلومینایی همخوانی دارد (شکل‌های ۲ و ۳) و علت افزایش تخلخل این نوع بدنه ها را با افزایش میزان نانوذرات منیزیا می‌توان توجیه کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر نانوذرات منیزیا (بر خواص جریان‌یابی، خواص فیزیکی و مکانیکی، آنالیز فازی و ریزساختار دیرگدازهای ریختنی کم سیمان آلومینایی خودجاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دهنده تاثیر بسیار زیاد نانوذرات منیزیا بر خواص دیرگدازهای ریختنی مورد بررسی بویژه خواص جریان‌یابی آن دارد. با افزایش میزان نانوذرات میزان خود جاری بودن و زمان کارپذیری دیرگداز ریختنی کاهش می یابد. سطح ویژه بالای نانوذرات باعث افزایش نیروهای جاذبه میان دانه‌ای می‌شود و میزان خود جریان‌یابی و زمان کارپذیری را کاهش می دهد. با افزودن نانوذرات منیزیا به ترکیب، استحکام های خمشی و فشاری سرد بدنه های ریخته شده افزایش قابل توجهی می‌یابد. علت این امر را می توان به پر شدن فضاهای خالی بین ذرات افزایش تخلخل و در نتیجه افزایش چگالی نسبت داد. استفاده از نانوذرات منیزیا در ترکیب باعث تشکیل مقدار فاز اسپینل بیشتر در همه دماها می‌گردد. علت این امر را می توان به سطح ویژه بالای نانوذرات منیزیا نسبت داد.

تشکیل فاز اسپینل در بدنه به دلیل انبساط حجمی ایجاد شده باعث افزایش تخلخل، کاهش چگالی و کاهش استحکام می‌شود.

مراجع

[1] P.C.Evangelista, C. Parr, C. Revais, *Refractories Apllications and News*, **7**, 2002, 14.
[2] B. Myrhe, A. Hundred, *International Colloquium Refractories*, Eurogress, 1996, 184.
[3] R.G. Pileggi, A.R.F. Pardo, V.C. Pandolfelli, *CN Refractories, special refractories*, **6**, 2002, 38.
[4] J.E. Funk, D.R. Dinger, *Am. Cer. Soc. Bull.*, **73**, 1994, 66.
[5] J.M. Auvray, C. Gault, M. Huger, *Journal of the European Ceramic Society*, **28**, 2008, 1953.
[6] L.A. Díaz, R. Torrecillas, *Journal of the European Ceramic Society*, **29**, 2009, 53.
[7] S. Maitra, S. Das, *Refractories and Industrial Ceramics*, **47**, 2006, 63.
[8] S. Otroj, R. Marzban, Z.A. Nemati, N. Sajadi, M.R. Nilforushan, *Ceramics – Silikáty*, **53**, 2009, 98.
[9] S. Mukhopadhyay, P.K. Das, *Ceramics International*, **30**, 2004, 369.
[10] S.H. Badiee, S. Otroj, *Ceramic –Silikáty*, **53**, 2009, 297.
[11] S. Otroj, M.R. Nilforushan, A. Daghighi, R. Marzban, *Ceramics–Silikáty*, **54**, 2010, 284.
[12] L.A. Diaz, R. Torrecillas, A.H. de Aza, P. Pena, *Journal of the European Ceramic Society*, **27**, 2007, 4623.
[13] L.A. Diaz, R. Torrecillas, *Journal of the European Ceramic Society*, **29**, 2009, 53.

www.SID.ir