

بررسی تاثیر مواد اولیه مختلف حاوی منیزیا بر خواص جرمهای ریختنی آلومینا - منیزیا

رحیم نقی زاده^۱، سعید شهراد^۲، زیارتعلی نعمتی^۳، منوچهر مندگاریان^۴، الهام ملک محمدی^۱

^۱ دانشگاه علم و صنعت ایران، ^۲ دانشگاه آزاد اسلامی، ^۳ دانشگاه صنعتی شریف، ^۴ شرکت نسوز پارس

چکیده: کاربرد جرمهای ریختنی آلومینا- منیزیا و آلومینا- اسپینل به جای آجرهای آلومینا بالا در پاتیل های فولاد (به جز خط سرباره) در برخی از کارخانه ها معمول شده است. در جرمهای آلومینا- منیزیا، در حین کار اسپینل به صورت درجا تشکیل می گردد و موجب افزایش مقاومت به خوردگی می گردد. برای معرفی منیزیا در جرم از مواد اولیه متعددی می توان استفاده کرد. در این پژوهش از کرنات منیزیم، هیدروکسید منیزیم، کلرید منیزیم و منیزیای زینتر شده برای تأمین منیزیا استفاده شده است. میزان MgO موجود در مواد اولیه مذکور معادل ۲/۹۱-۲/۹۷٪ بوده است. نتایج مکانیکی و ریزساختاری و پراش پرتو X حاکی است که از بین این مواد، جرمهای حاوی منیزیای زینتر شده و کرنات منیزیم از نظر درصد آب مصرفی، استحکام خمشی سرد، نحوه توزیع عناصر در زمینه و ایجاد فاز اسپینل وضعیت مناسب تری نسبت به جرمهای حاوی کلرید منیزیم و جرمهای حاوی درصد بالای هیدروکسید منیزیم داشته اند. جرمهای حاوی کلرید منیزیم به دلیل انحلال کلرید منیزیم و مهاجرت آن به سطح و جرمهای حاوی درصد بالای هیدروکسید منیزیم به دلیل تجمع موضعی هیدروکسیدها خواص مطلوبی را نشان نداده اند.

کلمات کلیدی: جرم های ریختنی آلومینا- منیزیا ، اسپینل درجا ، مواد اولیه حاوی منیزیا

۱- مقدمه

جرمهای آلومینا- منیزیا و آلومینا- اسپینل در آستر پاتیل های فولاد (LF) و در زیر خط سرباره وسیعاً به کار می روند [۱]. در جرمهای ریختنی Al_2O_3 -MgO، منیزیا با آلومینا در حین کاربرد واکنش می کند و اسپینل درجا (In situ) تشکیل می دهد در حالیکه در جرمهای ریختنی آلومینا- اسپینل از همان ابتدا از ذرات سنتزی اسپینل استفاده می گردد [۲]. جرمهای آلومینا- منیزیا برای قسمت Impact pad و دیواره و جرمهای آلومینا- اسپینل برای قسمت کف کوره به جز Impact pad بکار می روند [۲]. مقاومت در برابر خوردگی جرمهای آلومینا- منیزیا بهتر از جرمهای آلومینا- اسپینل [۳] و مقاومت در برابر شوک حرارتی جرمهای آلومینا- اسپینل بهتر از نوع دیگر می باشد [۱]. دلیل مقاومت خوردگی مطلوبتر هر دو نوع جرم آلومینا- منیزیا و آلومینا- اسپینل نسبت به دیرگدازهای آلومینایی را می توان به قابلیت جذب یونهای Fe^{+3} ، Fe^{+2} ، Mn^{+2} توسط محلول جامد اسپینل موجود در جرم و در نتیجه کاهش خوردگی ناشی از مذاب فولاد و سرباره و همچنین تشکیل CA_6 در اثر واکنش CaO موجود در سرباره با Al_2O_3 موجود در زمینه جرم و در نتیجه افزایش تراکم زمینه به دلیل اختلاف دانسیته CA_6 با عوامل واکنشی نسبت داد [۴]. ضمن اینکه CA_6 حاصل از این واکنش یا تبدیلات فازهای سیمانی نیز قابلیت جذب کاتیونها را از مذاب دارد [۴]. در بحث فازها از علائم اختصاری $S=SiO_2$ ، $A=Al_2O_3$ ، $C=CaO$ و $H=H_2O$ استفاده شده است.

مطابق دیاگرام Al_2O_3 -MgO ترکیب استوکیومتری اسپینل آلومینات منیزیم (MA) دارای ۲۸/۲ درصد وزنی MgO و ۷۱/۸ درصد وزنی Al_2O_3 می باشد و با افزایش دما انحلال آلومینا و منیزیا در آن رخ می دهد به طوری که در $1600^\circ C$ ، ۲ درصد وزنی MgO و ۶ درصد وزنی Al_2O_3 در اسپینل حل و منجر به ایجاد اسپینل غنی از منیزیا و یا غنی از آلومینا می گردد [۵]. اسپینل های محلول جامد مذکور در دمای محیط به صورت نیمه پایدار و معمولاً به صورت دو فازی، شامل فاز اصلی اسپینل محلول جامد و فاز فرعی آلومینا یا منیزیا

می باشند [۶]. حضور آلومینای آزاد در بهبود مقاومت در برابر شوک حرارتی اسپینل موثر است زیرا اختلاف ضرایب انبساط حرارتی این دو فاز موجب بسته شدن ترک های بزرگ و یا ایجاد ریزترک می گردد [۶]. در اسپینل غنی از آلومینا جاهای خالی کاتیونی و در اسپینل غنی از منیزیا جاهای خالی آنیونی افزایش می یابد. انحلال آلومینا در اسپینل موجب کاهش ابعاد سلول واحد می گردد که از این موضوع برای تخمین میزان غیر استوکیومتری بودن اسپینل استفاده می شود [۷]. مطالعات متعددی بر روی تشکیل اسپینل از مواد اولیه مختلف، صورت گرفته است. Serry و همکارانش از بروسیت رسوبی، گیبسیت، اکسید زیرکونیوم، ایلمنیت طبیعی و بوکسیت کلسینه شده برای تهیه اسپینل های مختلف استوکیومتری، غنی از آلومینا و منیزیا و همچنین اسپینل حاوی ماده افزودنی ZrO_2 استفاده کرده اند [۸]. Chen و همکارانش برای تهیه جرمهای آلومینا-منیزیا از پودر ۵/۵ درصد وزنی منیزیا حاوی ۹۵ درصد MgO و ۴ درصد Al_2O_3 استفاده کرده اند [۲]. Fuhrer و همکارانش برای تهیه در جرم ریختنی آلومینا-منیزیا از زمینه حاوی آلومینای تبلور، آلومینای راکتیو، میکروسیلیس، سیمان آلومینا بالا و منیزیای آب دریا (۲۵۰mm/۰) استفاده کرده اند [۶]. Muknopadhyoy و همکارانش ابتدا پودر اسپینل آلومینات منیزیم هیدراته را از روشهای سل-ژل و رسوبی تهیه کردند و سپس میزان ۲-۵٪ وزنی از آن را به جرم پایه آلومینایی کم سیمان اضافه کردند [۹]. Nandi و همکارانش بر روی خواص زمینه جرمهای آلومینا-منیزیا متمرکز شدند. آنها مواد زمینه را با آب مخلوط کرده و بعد از پرس کردن در دماهای $1400^{\circ}C$ تا $1500^{\circ}C$ زینتر کردند. Nandi و همکارانش از دو منبع منیزیا یکی منیزیای آب دریای زینتری (۲۵۱mm/۰-۰۸۹) و هیدروکسید منیزیم (۳mm/۰-۰۵۳) استفاده کردند [۱۰]. با توجه به اینکه مطالعات بر روی کاربرد مستقیم مواد اولیه مختلف حاوی MgO در جرمهای آلومینا-منیزیا کمتر بررسی شده است در این پژوهش به این موضوع پرداخته شده است.

۲- روش تحقیق

مشخصات مواد اولیه مصرفی در جدول ۱ آورده شده است. بقیه مواد اولیه مصرفی شامل کربنات منیزیم، هیدروکسید منیزیم و کلرید منیزیم از نوع شیمیایی با خلوص ۹۹ درصد و دانه بندی زیر $74 \mu m$ بوده است. فرمولاسیون های انتخابی از نوع جرم ریختنی آلومینا-منیزیا با قطر بیشینه $4/76 mm (D_{max})$ و $n = 0/3$ (در رابطه آندریازن) بوده است. میزان آلومینای تبلور ۷۸ درصد وزنی، میزان سیمان سکار ۵ درصد وزنی، آلومینای راکتیو ۷ درصد وزنی و مجموع آلومینای کلسینه شده و ماده اولیه انتخابی حاوی منیزیا ۱۰ درصد وزنی بوده است. میزان ماده اولیه حاوی منیزیا به همراه کد فرمولها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی های مواد اولیه مصرفی

ویژگی	آلومینای تبلور	آلومینای کلسینه	آلومینای راکتیو	سیمان سکار	منیزیای زینتر
Al_2O_3	۹۹/۴۰	۹۹/۲۶	۹۹/۶	<۷۲/۲	<۱
MgO	۰/۰۳	۰/۰۵	-	<۰/۳	>۹۷
SiO_2	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	<۰/۸	<۰/۶
Fe_2O_3	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	<۰/۳	<۱
Na_2O	<۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۰۶	<۰/۲۵	-
CaO	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	<۲۹/۲	<۱/۵
سطح مخصوص	-	-	۳۴۰ ^۱	۲۶۰۰-۴۱۰۰ ^۲	-
مشخصات فیزیکی					
اندازه ذرات	-	-	۲/۵	۸-۹	۶۰ ^۳
اندازه ذرات	۴۷۶۰	۳۷	۱۲	۹۵	۷۴
فازهای اصلی	α - کورانوم	α - کورانوم	α - کورانوم	CA-CA ₂	پری کلاز

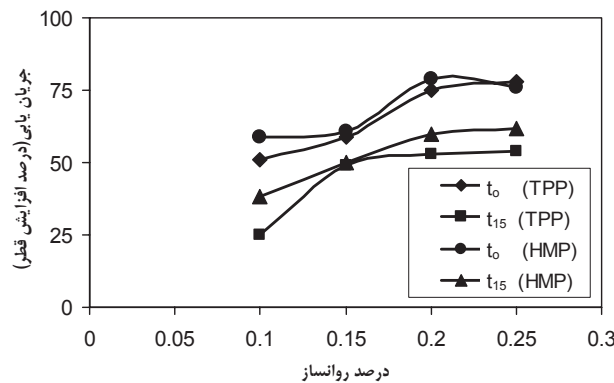
۱: با روش BET ۲: با روش بلین ۳: اندازه کریستال

۰/۱ الی ۰/۲۵ درصد وزنی تری پلی فسفات سدیم (TPP) و هگزامتافسفات سدیم (HMP) به عنوان روانساز و ۰/۰۴٪ اسید سیتریک، به عنوان کند کننده گیرش سیمان به همراه ۶/۵-۷/۵٪ آب برای تهیه مخلوط جرم انتخاب شدند. پس از ۴ دقیقه مخلوط کردن جرم به صورت خشک و ۳ دقیقه مخلوط کردن همراه با آب و

مواد افزودنی در مخلوط کن هوبرت، جرم ریختنی در قالب ویکات دارای قاعده ۱۰۰mm و ارتفاع ۵۰mm قالب گیری شد. با برداشتن حلقه در زمانهای صفر (t_0) و ۱۵ دقیقه (t_{15}) و سپس ۲۵ بار ضربه زدن با دستگاه میز جریان، درصد افزایش قطرها اندازه گیری شد که نتایج یکی از نمونه ها در شکل ۱ آورده شده است. همان طور که مشاهده می گردد افزودن ۰/۲ درصد هگزا متا فسفات سدیم تأثیر قابل ملاحظه ای در روانسازی دارد.

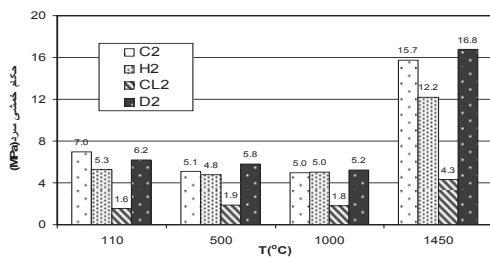
جدول ۲- میزان ماده اولیه تأمین کننده منیزیا (درصد وزنی) و کد فرمولاسیونها

منیزیا	کربنات منیزیم	هیدروکسید منیزیم	کلرید منیزیم	منیزیت زینتر شده
۰/۹۷	$C_1 = ۲/۰۳$	$H_1 = ۱/۴۰$	$Cl_1 = ۲/۲۹$	$D_1 = ۱$
۱/۹۴	$C_2 = ۴/۰۶$	$H_2 = ۲/۸۰$	$Cl_2 = ۴/۵۸$	$D_2 = ۲$
۲/۹۴	$C_3 = ۶/۰۹$	$H_3 = ۴/۲۰$	$Cl_3 = ۶/۸۷$	$D_3 = ۳$

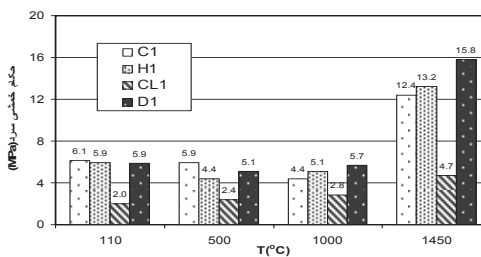


شکل ۱- خواص جریان یابی فرمول C_3 برای دو زمان مختلف

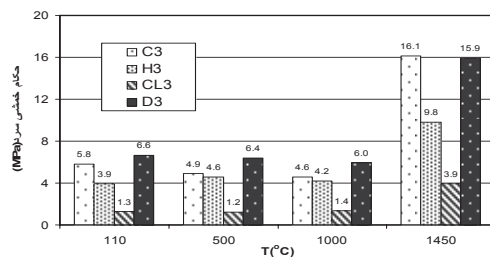
سپس بیج های مختلف پس از مخلوط کردن با آب و افزودنی ها در قالب های $۱۵۲ \times ۲۵ \times ۲۵ \text{ mm}^3$ ریخته شدند. عمل آوری (curing) در محیط مرطوب به مدت ۲۴ ساعت انجام شد. بعد از آن نمونه ها از قالب ها در آورده شده و در خشک کن قرار داده شد. سرعت گرمایش تا دمای ۱۰۵°C برابر ۲۱°C/h بود و نمونه به مدت ۲۴ ساعت در این دما ماند. بعد از طی مراحل خشک کردن، نمونه ها در دماهای ۵۰۰°C ، ۱۰۰۰°C و ۱۴۵۰°C به مدت ۳ ساعت پخت گردید. پس از سرد شدن استحکام خمشی سه نقطه ای نمونه ها با دستگاه Shenk اندازه گیری شد که میانگین ۵ نمونه در شکل های ۲ الی ۴ آورده شده است.



شکل ۲- استحکام خمشی نمونه های مختلف دارای ۰/۹۷ MgO



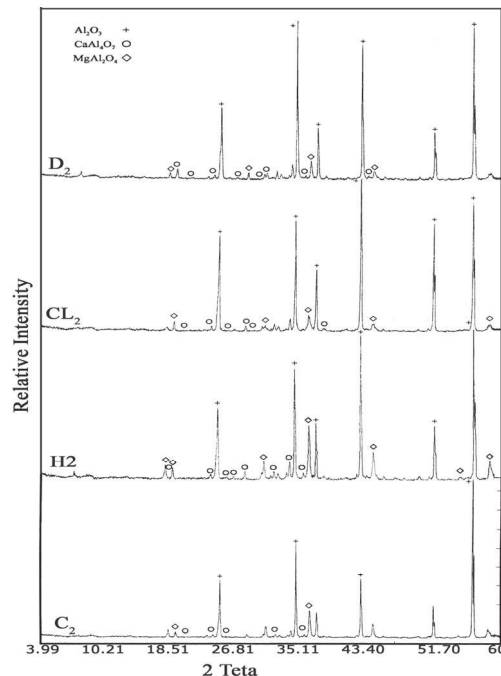
شکل ۳- استحکام خمشی نمونه های مختلف دارای ۱/۹۴ MgO



شکل ۴- استحکام خمشی نمونه های مختلف دارای ۲/۹۴ MgO



برروی نمونه های پخته شده حاوی ۱/۹۴% MgO که انتظار می رفت بعد از پخت در 1450°C ، در آنها ۶/۸۸% اسپینل تشکیل شود آزمایش پراش پرتو x (توسط دستگاه Jeol JDX-8030) صورت گرفت. الگوهای پراش پرتو x نمونه های مذکور در شکل ۵ آورده شده است. ریز ساختار نمونه های فوق توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی (SEM+EDX) مدل S360-Cambridge مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از این بررسی ها در شکل های ۶ الی ۹ آورده شده است.



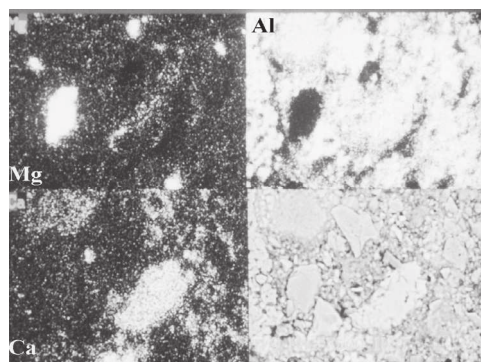
شکل ۵- الگوی پراش اشعه X نمونه های مختلف حاوی ۱/۹۴% پس از پخت در دمای 1450°C

۳- نتایج و بحث

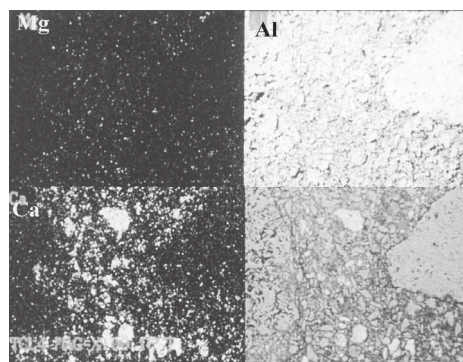
مطابق شکل ۱ روانسازی مناسب با ۰/۰۴% اسید سیتریک و ۰/۲% هگزا متا فسفات سدیم حاصل می شود که میزان آب مصرفی با تست ball in hand برای نمونه های حاوی منیزیت زینتر شده و کربنات منیزیم ۶/۵% ، برای جرمهای حاوی هیدروکسید منیزیم ۷% و برای نمونه های حاوی کلرید منیزیم ۷/۵% بود. با توجه به این که درصد آب مصرفی برای جرمهای کم سیمان ۵% وزنی می باشد ، به نظر می رسد که دانه بندی ترکیبات مورد بررسی در این تحقیق از دانه بندی ایده ال فاصله دارند و همچنین بهتر است که با روانسازهای تجاری روانسازی انجام گردد. ضمناً انحلال یا ژلاسیون برخی از ترکیبات حاوی منیزیای استفاده شده نیز می تواند خود عامل دیگری برای مصرف بیشتر آب باشد.

نتایج استحکام خمشی سرد مطابق شکل های ۲ الی ۴ نشان می دهد که استحکام نمونه های حاوی منیزیای زینتر شده و کربنات منیزیم تقریباً در دماهای مختلف شبیه هم می باشد و بعد از آن استحکامهای نمونه های حاوی هیدروکسید منیزیم و در نهایت استحکام های نامطلوب نمونه های کلرید منیزیم قرار دارد. استحکام 110°C نمونه ها به توزیع دانه بندی، درصد سیمان، عمل آوری نمونه ها، میزان آب مصرفی و کنش های متقابل مواد افزودنی و مواد دیگر بر روی همدیگر بستگی دارد. استحکام 500°C اکثر نمونه ها نسبت به استحکام 110°C مقداری کاهش دارد. این موضوع به دلیل دهیدراته شدن فازهای سیمانی موجود در زمینه مثل CAH_{10} ، C_2AH_8 ، C_3AH_6 ، ژل هیدرات آلومینیوم و گیسیت می باشد [۱۱]. در 500°C فازهای C_{12}A_7 ، A و احتمالاً مقداری از فازهای دهیدراته وجود دارد. به دلیل عدم استفاده از میکروسلیس در کلیه نمونه ها فاز زئولیتی CASH وجود ندارد که از افت استحکام نمونه ها در دماهای میانی به دلیل داشتن ناحیه

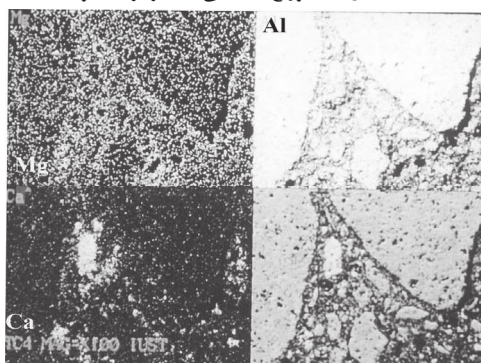
وسیع دهیدراسیون جلوگیری کند [۱۲]. استحکام قطعات پخته شده در 1000°C تقریباً در کلیه نمونه ها نسبت به استحکام قطعات پخته شده در 500°C افت جزئی دارد که احتمالاً به دلیل دهیدراته شدن فازهای هیدراته باقیمانده و یا ایجاد فازهای CA ، CA_2 و A از فاز C_{12}A_7 می باشد که به دلیل اختلاف دانسیته ها با انقباض موضعی موجب ایجاد تنش در درون زمینه و افزایش جزئی در اندازه تخلخل ها می گردد که می تواند در نهایت موجب افت استحکام گردد [۱۱]. ضمناً در نمونه های حاوی کربنات منیزیم، هیدروکسید منیزیم و کلرید منیزیم به دلیل اتمام تجزیه در دمای 1000°C تخلخل بیشتری بایستی وجود داشته باشد.



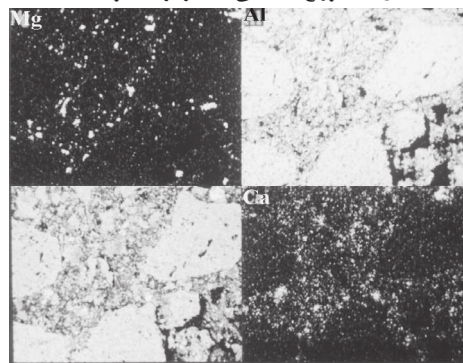
شکل ۷- توزیع نقشه یی عناصر برای نمونه H₂



شکل ۶- توزیع نقشه یی عناصر برای نمونه CL₂



شکل ۹- توزیع نقشه یی عناصر برای نمونه C₂



شکل ۸- توزیع نقشه یی عناصر برای نمونه D₂

در جرمهای آلومینا- منیزیا تشکیل اسپینل از 1200°C شروع می شود و در 1400°C به سرعت زیادی انجام می شود [۶]. موضوع تشکیل اسپینل در همه جرمهای مورد مطالعه توسط پراش اشعه x مطابق شکل ۵ تایید گردیده است. اسپینل تشکیل شده تا 1400°C تقریباً استوکیومتری می باشد ولی بعد از آن بویژه در حوالی 1600°C اسپینل غنی از آلومینا به مقدار زیادی تشکیل می گردد. از طرف دیگر فاز CA موجود در قسمت سیمانی به تدریج به CA_2 و CA_6 در محدوده دمای 1200°C تا 1400°C تبدیل می گردد که اگر در نزدیکی سطح ذرات آلومینای تبولار باشد به سطح آن نفوذ می کند و موجب افزایش استحکام می گردد [۱۳]. مطابق الگوهای پراش اشعه x (شکل ۵) در نمونه های مورد مطالعه CA_2 وجود دارد. اگر چنانچه مقدار جزئی میکروسیلیس یا سیلیس فعال در زمینه باشد با تشکیل فازهای آلومینوسیلیکات منیزیم کلسیم CMAS در زمینه موجب افزایش استحکام سرد می گردد [۴]. به نظر می رسد که پدیده های فوق به همراه با زینتر در دمای 1450°C عامل افزایش شدید استحکام نمونه ها نسبت به دمای 1000°C می باشد.

درباره استحکام سرد نمونه های MgCl_2 در تمام درصدها و نمونه های $\text{Mg}(\text{OH})_2$ در نمونه H₃ بایستی به رفتار این دو ماده در هنگام مخلوط کردن و خشک کردن توجه شود. میزان انحلال MgCl_2 در دمای 20°C حدود $50\text{ gr}/100\text{ml}$ و $\text{Mg}(\text{OH})_2$ و MgCO_3 حدود $0.1\text{ gr}/100\text{ml}$ و MgO حدود $0.006\text{ gr}/100\text{ml}$ می باشد [۱۴]. بنابراین انتظار می رود که کلرید منیزیم در هنگام ساخت به عنوان عامل دلمه کننده سیستم عمل کند و موجب افزایش درصد آب مصرفی می گردد که خود عاملی برای کاهش استحکام می باشد، از طرف



دیگر هنگام خشک کردن مقدار قابل توجهی از کلرید منیزیم به سطح قطعه مهاجرت می‌کند و بنابراین از تاثیر آن در تشکیل اسپینل کاسته می‌گردد. عکس توزیع نقشه‌ای نمونه Ca_2 مطابق شکل ۶ نمایشگر تجمع مقداری از سیمانها به دلیل دلمه شدن (مطابق توزیع عنصر Ca) و وجود مقدار کم Mg در زمینه می‌باشد که نظرات فوق را تایید می‌کند. انحلال $Mg(OH)_2$ بسیار کمتر از $MgCl_2$ می‌باشد ولی بایستی توجه نمود که هیدروکسید منیزیم خود چسب جداگانه‌ای می‌باشد هنگام مخلوط کردن درصدهای کم آن (نمونه H_1) پدیده خاصی مشاهده نمی‌گردد ولی هنگام مخلوط کردن درصدهای بالای آن (H_3) احتمالاً به دلیل تاثیر نامطلوب دو نوع چسب سیمان آلومینا بالا و هیدروکسید منیزیم بر روی هم، هم میزان آب مصرفی کمی بالا می‌رود و هم اینکه احتمال خوب پخش نشدن آنها وجود دارد همان طور که شکل میکروسکوپی ۷ نمایانگر وجود $Mg(OH)_2$ دیسپرز نشده می‌باشد. مطابق شکل میکروسکوپی ۸ توزیع عنصر Mg حاصل از تجزیه کربنات بسیار ریز می‌باشد ولیکن مقداری اگلومراسیون در سیمان بر اساس توزیع نقشه‌ی عنصر Ca مشاهده می‌گردد. مطابق شکل میکروسکوپی ۹ توزیع عنصر Mg درشت تر از توزیع عنصر Mg ناشی از تجزیه کربنات می‌باشد که به درشت کریستال بودن منیزیای زینتر شده استفاده شده بر می‌گردد و لیکن به دلیل توزیع تقریباً یکنواخت آن در زمینه به همراه توزیع یکنواخت سیمان (مطابق توزیع Ca) شاهد استحکام مناسبی از آن می‌باشیم.

۴- نتیجه‌گیری

- تهیه جرمهای آلومینا- منیزیا با خواص مکانیکی سرد و ریز ساختار مناسب با مواد اولیه حاوی منیزیای دوبرن و کربنات منیزیم با منیزیای معادل $2/91-0/97$ wt قابل انجام است.
- کلرید منیزیم به دلیل انحلال بالای آن هنگام تهیه جرم و مهاجرت آن به سطح هنگام خشک کردن برای کاربرد در جرمهای آلومینا- منیزیا توصیه نمی‌شود.
- مصرف هیدروکسید منیزیم به مقادیر کمتر از $2/8$ wt در این جرمها قابل انجام است ولی در مقادیر بالاتر به دلیل خاصیت ژلاسیون خود هیدروکسید منیزیم خواص مکانیکی جرمها افت می‌کند و ریزساختار نا هموزنی در زمینه حاصل می‌گردد.

مراجع

1. Y.C KO "Influence of the characteristics of spinels on the slag resistance of Al_2O_3 -MgO and Al_2O_3 -Spinel castables" J.Am.Ceram.Soc. 83[9], 2333-2335, 2000
2. S.K.Chen, M.Y.Cheng, S.J.Lin, Y.C KO "Thermal characteristics of Al_2O_3 -MgO and Al_2O_3 -spinel castables for steel ladles" ceramic International, 28, 811-817, 2002
3. M. Nakashima, T.Isobe, S.Itose, A.Touno, I.Shimizu "Improveing the corrosion resistance of alumina-spinel castables by spinel additions" Journal of the Technical Association of Refractoriues, Japan 21[3] 155-161, 2001
4. F.Simonin, C.Olagnon, S.Moximilien, G.Fantozzi "Thermomechanical behavior of High-alumina refractory castables with synthetic spinel additions" J.Am.coram.soc. 83[10] 2481-2490, 2000
5. R.W.Mcconnell, R.A.Marra, F.A.Fullington, "Benefits of sintered magnesium aluminate spinels in high purity castable refractories" Refractories Applications and news, vol. 7.NO.20 23-28, 2002
6. M.Fuhrer, A.Hey, W.E.Lee "Microstructural evolution in self-forming spinel/calcium aluminate-bonded castable refractories" J.Eur.ceram.soc. 18,813-820, 1998
7. C.F.Chan, Y.C.KO "A study of commercial Magnesia-Alumina spinels for alumina-spinel castables" Interceram.vol.47.NO.6, 374-378, 1998
8. M.A.Serry, S.M.Hammd, M.F.M. Zawrah "phase composition and microstructure of refractory $MgAl_2O_4$ spinel grains" British ceramic Transactions vol.97, No.6, 1998
9. S.Mukhopadhyay, S.Sen, T.Maiti, M.Mukherjee, B.N.Nandy, B.K.sinhomahapatra. "In situ spinel bonded refractory castable in relation to co-precipitation and sol-gel derived spinel forming agent" ceramics International 29, 857-868, 2003
10. P.Nandi, A.Grag, B.D.chattoraj, M.S.Mukhopadhyoy "Effect of silica and temperature on

- spinel-based high-alumina castables" Am. Ceram.Soc.Bull. 79(12), 65-70, 2000
11. A.Nishikawa " Technology of monolithic refractories" plibrico Japan, 1984
 12. B. Myhre and B.Sandberg "The use of microsilica in refractory castables" seminar on monolithic refractory, Tehran, Iran, 1997
 13. C.F.Chan, Y.C.KO "Effect of CaO content on the hot strength of alumina-spinel castables in the temperature range of 1000°C to 1500°C ". J. Am.ceram.soc.81 [11], 2957-60, 1998
 14. F.Singer, S.S.Singer, "Industrial Ceramics", Chapman & Hall LTD., London, 1960.

اطلاع یافتیم که در هجدهمین جشنواره بین المللی خوارزمی در بخش پژوهش های توسعه ای آقای مهندس محمد باوند وندچالی از اعضای فعال انجمن با طرح (افزایش طول عمر آستر نسوز پاتیلهای فولاد سازی با استفاده از نسوزهای جدید) رتبه دوم این بخش را به خود اختصاص دادند. کسب این مقام را به ایشان تبریک گفته و آرزومندیم شاهد موفقیت های بیشتر ایشان در جامعه سرامیک کشور باشیم.



اولین راهنمای سرامیک ایران به منظور اطلاع رسانی و معرفی کلیه واحدهای صنعتی، تحقیقاتی و آموزشی سرامیکی تهیه گردید. علاقمندان می توانند این مجموعه را از دفتر انجمن سرامیک ایران تهیه فرمایند.
قیمت: ۳۰۰۰۰ ریال / اعضا: ۲۰۰۰۰ ریال