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

رحیم نقی‌زاده[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 کربنات منیزیم، هیدروکسید منیزیم، کلرید منیزیم و منیزیای زینتر شده برای تأمین منیزیا استفاده شده است. میزان MgO موجود در مواد اولیه مذکور معادل wt٪۲/۹۱-۰/۹۷ بوده است. نتایج مکانیکی و ریزساختاری و پراش پرتو x حاکی است که از بین این مواد ، جرمهای حاوی منیزیای زینتر شده و کربنات 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 بدلیل 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 هردو نوع جرم آلومینا- منیزیا و آلومینا- اسپینل نسبت به دیرگدازهای آلومینایی را می توان به قابلیت جذب یونهای Mn^{+2} ، Fe^{+2} ، Fe^{+3} توسط محلول جامد اسپینل موجود در جرم ودر نتیجه کاهش خورندگی 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 $C=CaO$ ، $A=Al_2O_3$ ، $S=SiO_2$ 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 و۷۱/۸ درصد وزنی Al_2O_3 می باشد و با افزایش دما انحلال آلومینا و منیزیا در آن رخ می دهد به طوری که در $1600\ ^{\circ}C$، ۲درصد وزنی MgO و۶ 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

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.3.2]

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 وهمچنین اسپینل حاوی ماده افزودنی ZrO_2 استفاده کرده اند[۸]. Chen و همکارانش برای تهیه جرمهای آلومینا- منیزیا ازپودر ۵/۵ درصد وزنی منیزیای حاوی ۹۵ درصد MgO و۰/۴ درصد Al_2O_3 استفاده کرده‌اند [۲]. Fuhrer و همکارانش برای تهیه در جرم ریختنی آلومینا- منیزیا از زمینه حاوی آلومینای تبولار، آلومینای راکتیو، میکروسیلیس، سیمان آلومینا بالا و منیزیای آب دریا (<۰/۲۵۰mm) 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 ٪۲-۰/۵ 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 C° ۱۴۰۰ تا C° ۱۵۰۰ زینتر کردند. Nandi و همکارانش از دو منبع منیزیا یکی منیزیای آب دریای زینتری (۰/۲۵۱mm-۰/۰۸۹) و هیدروکسید منیزیم (<۰/۰۵۳mm) 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 μm ۷۴ بوده است. فرمولاسیون های انتخابی از نوع جرم ریختنی آلومینا- منیزیایی کم سیمان با قطر بیشینه(D_{max}) ۴/۷۶mm و n = ۰/۳ (در رابطه آندریازن) بوده است. میزان آلومینای تبولار 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 تبولار	آلومینای کلسینه	آلومینای راکتیو	سیمان سکار	منیزیای زینتر
آنالیز شیمیایی (٪وزنی)	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
مشخصات فیزیکی	سطح مخصوص	-	-	۳۴۰۰[۱]	۳۶۰۰-۴۱۰۰[۲]	-
	اندازه ذرات	-	-	۲/۵	۸-۹	۶۰[۳]
	اندازه ذرات	۴۷۶۰	۳۷	۱۲	۹۵	۷۴
	فازهای اصلی	α - کوراندوم	α - کوراندوم	α - کوراندوم	$CA-CA_2$	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 ٪۷/۵-۶/۵ آب برای تهیه مخلوط جرم انتخاب شدند. پس از۴ دقیقه مخلوط کردن جرم به صورت خشک و ۳ دقیقه مخلوط کردن همراه با آب و

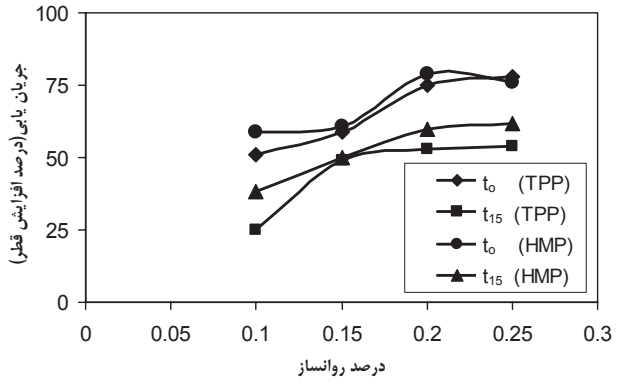
[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.3.2]

مواد افزودنی در مخلوط کن هوبارت، 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.

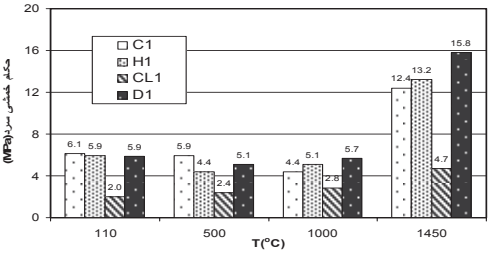
جدول ۲- میزان ماده اولیه تأمین کننده منیزیا (درصد وزنی) و کد فرمولاسیونها

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

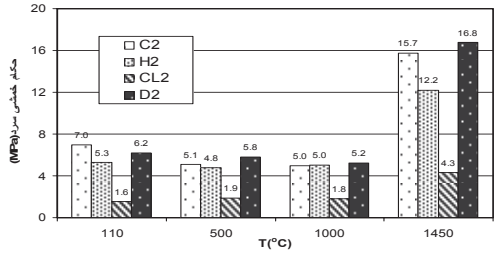


شکل ۱- خواص جریان یابی فرمول C_3 برای دو زمان مختلف

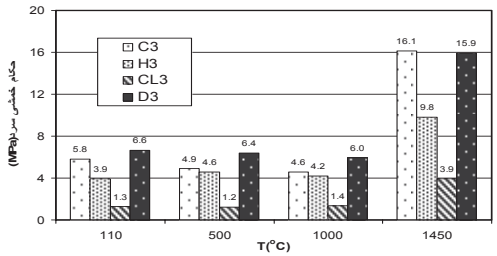
سپس بچ های مختلف پس از مخلوط کردن با آب و افزودنی ها در قالب های mm^3 ۱۵۲×۲۵×۲۵ ریخته شدند. عمل آوری (curing) در محیط مرطوب به مدت ۲۴ ساعت انجام شد. بعد از آن نمونه ها از قالب ها در آورده شده و در خشک کن قرار داده شد . سرعت گرمایش تا دمای$^{\circ}C$ ۱۰۵ برابر با$^{\circ}C$/h ۲۱ بود و نمونه به مدت ۲۴ ساعت در این دما ماند. بعد از طی مراحل خشک کردن، نمونه ها در دماهای $^{\circ}C$ ۵۰۰، $^{\circ}C$ ۱۰۰۰ و $^{\circ}C$ ۱۴۵۰ 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

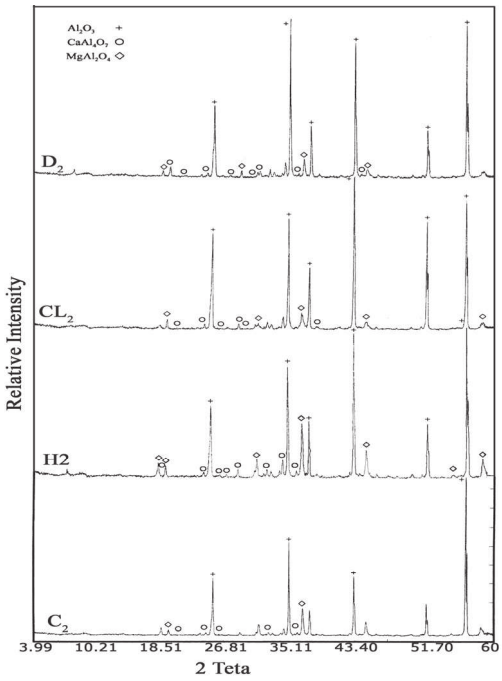


شکل ۴- استحکام خمشی نمونه های مختلف دارای ۲/۹۴٪ MgO

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.3.2]

برروی نمونه های پخته شده حاوی MgO٪۱/۹۴ که انتظار می رفت بعد از پخت در°C ۱۴۵۰ ، 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 شکلهای۶ الی ۹آورده شده است.



شکل ۵– الگوی پراش اشعه x نمونه های مختلف حاوی MgO ۱/۹۴٪ پس از پخت در دمای °C ۱۴۵۰

۳- نتایج و بحث

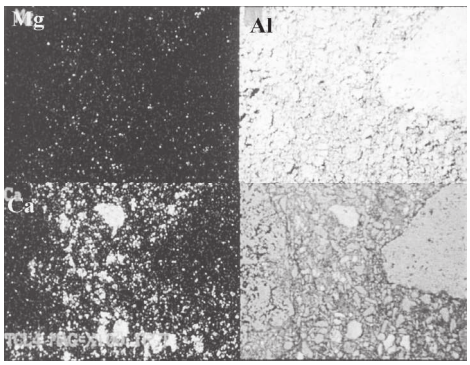
مطابق شکل ۱ روانسازی مناسب با ٪۰/۰۴ اسید سیتریک و ٪۰/۲ هگزا متا فسفات سدیم حاصل می شود که میزان آب مصرفی با تست ball in hand برای نمونه های حاوی منیزیت زینتر شده و کربنات منیزیم ٪۶/۵ ، برای جرمهای حاوی هیدروکسید منیزیم ٪۷ و برای نمونه های حاوی کلرید منیزیم ٪۷/۵ بود.با توجه به این که درصد آب مصرفی برای 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 ۲الی۴ 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 °C ۱۱۰ 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°C ۵۰۰ اکثر نمونه ها نسبت به استحکام °C ۱۱۰ 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 آلومینیم و گیبسیت می باشد[۱۱]. در°C ۵۰۰ فازهای $C_{12}A_7$ ، A و احتمالاً مقداری از فازهای هیدراته وجود دارد. به دلیل عدم استفاده از میکروسیلیس در کلیه نمونه ها فاز ژئولیتی CASH وجود ندارد که از افت استحکام نمونه ها در دماهای میانی به دلیل داشتن ناحیه

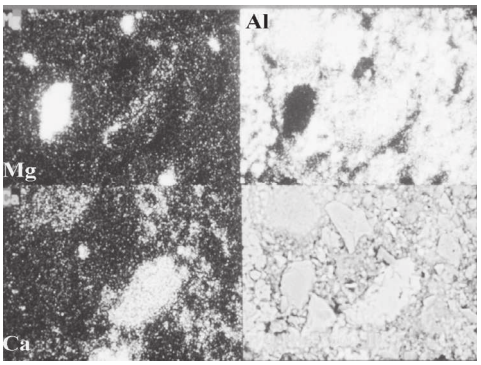
[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.3.2]

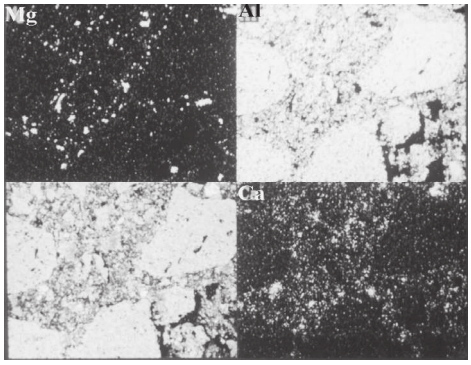
وسیع دهیدراسیون جلوگیری کند[۱۲]. استحکام قطعات پخته شده در $1000^{\circ}C$ تقریباً در کلیه نمونه ها نسبت به استحکام قطعات پخته شده در $500^{\circ}C$ افت جزئی دارد که احتمالاً به دلیل دهیدراته شدن فازهای هیدراته باقیمانده و یا ایجاد فازهای CA ، CA_2 و A از فاز $C_{12}A_7$ می باشد که به دلیل اختلاف دانسیته 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 $1000^{\circ}C$ تخلخل بیشتری بایستی وجود داشته باشد.



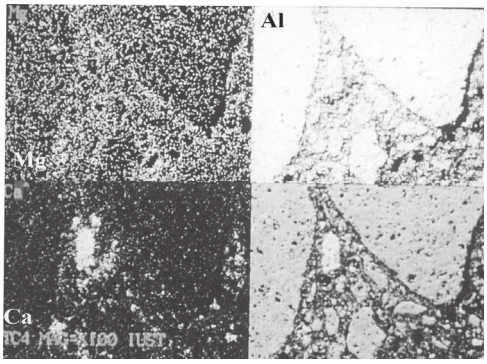
شکل ٦– توزیع نقشه یی عناصر برای نمونه CL_2



شکل ۷– توزیع نقشه یی عناصر برای نمونه H_2



شکل ۸– توزیع نقشه یی عناصر برای نمونه D_2



شکل ۹– توزیع نقشه یی عناصر برای نمونه C_2

در جرمهای آلومینا– منیزیا تشکیل اسپینل از $1200^{\circ}C$ شروع می شود و در $1400^{\circ}C$ 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 $1400^{\circ}C$ تقریباً استوکیومتری می باشد ولی بعد از آن بویژه در حوالی $1600^{\circ}C$ 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 $1200^{\circ}C$ تا $1400^{\circ}C$ 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 $1450^{\circ}C$ عامل افزایش شدید استحکام نمونه ها نسبت به دمای $1000^{\circ}C$ می باشد.

درباره استحکام سرد نمونه های $MgCl_2$ در تمام درصدها و نمونه های $Mg(OH)_2$ در نمونه H_3 بایستی به رفتار این دو ماده در هنگام مخلوط کردن و خشک کردن توجه شود. میزان انحلال $MgCl_2$ در دمای $20^{\circ}C$ حدود 50 gr/100ml، $Mg(OH)_2$ و $MgCO_3$ حدود 0/01 gr/100ml و MgO حدود 0/0006 gr/100ml 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

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.3.2]

دیگر هنگام خشک کردن مقدار قابل توجهی از کلرید منیزیم به سطح قطعه مهاجرت می کند و بنابراین از تاثیر آن در تشکیل اسپینل کاسته می گردد. عکس توزیع نقشه ای نمونه Cl_2 مطابق شکل۶ نمایشگر تجمع مقداری از سیمانها به دلیل دلمه شدن (مطابق توزیع عنصر Ca) و وجود مقدار کم Mg در زمینه می باشد که نظرات فوق را تایید می کند. انحلال $Mg(OH)_2$ بسیار کمتر از $MgCl_2$ می باشد ولی بایستی توجه نمود که هیدروکسید منیزیم خود چسب جداگانه ای می باشد هنگام مخلوط کردن درصدهای کم آن (نمونه H_1) پدیده خاصی مشاهده نمی گردد 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 می رود و هم اینکه احتمال خوب پخش نشدن آنها وجود دارد همان طور که شکل میکروسکوپی۷ نمایانگر وجود $Mg(OH)_2$ دیسپرز نشده می باشد. مطابق شکل میکروسکوپی۸ توزیع عنصر Mg حاصل از تجزیه کربنات بسیار ریز می باشد ولیکن مقداری اگلومراسیون در سیمان بر اساس توزیع نقشه یی عنصر Ca مشاهده می گردد.مطابق شکل میکروسکوپی۹ توزیع عنصر Mg درشت تر از توزیع عنصر Mg ناشی از تجزیه کربنات می باشد که به درشت کریستال بودن منیزیای زینتر شده استفاده شده بر می گردد و لیکن به دلیل توزیع تقریباً یکنواخت آن در زمینه به همراه توزیع یکنواخت سیمان (مطابق توزیع Ca) شاهد استحکام مناسبی از آن می باشیم.

٤- نتیجه‌گیری

- تهیه جرمهای آلومینا- منیزیا با خواص مکانیکی سرد و ریز ساختار مناسب با مواد اولیه حاوی منیزیای ددبرن و کربنات منیزیم با منیزیای معادل wt٪۲/۹۱-۰/۹۷ 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 نمی شود.
- مصرف هیدروکسید منیزیم به مقادیر کمتر از wt٪۲/۸ در این جرمها قابل انجام است ولی در مقادیر بالاتر به دلیل خاصیت ژلاسیون خود هیدروکسید منیزیم خواص مکانیکی جرمها افت می کند و ریزساختار نا هموژنی در زمینه حاصل می گردد.

مراجع

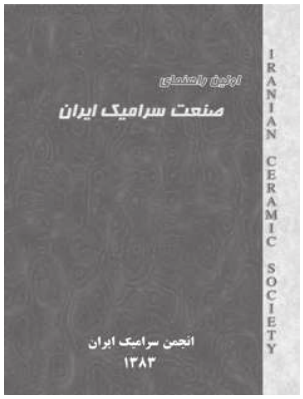
1. Y.C KO "Influence of the characteristics of spinels on the slag resistance of Al_2O_3-MgO and Al_2O_3-Spinel castables" J.Am.Ceram.Soc. 83[9], 2333-2335, 2000
2. S.K.Chen, M.Y.Cheng, S.J.Lin, Y.C KO "Thermal charactristics of Al_2O_3-MgO and Al_2O_3-spinel castables for steel ladles" ceramic International, 28, 811-817, 2002
3. M. Nakashima, T.Isobe, S.Itose, A.Touno, I.Shimizu "Improveing the corrosion resistance of alumina-spinel castubles 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

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.3.2]

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 1000^0C to 1500^0C ". 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

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.3.2]