بررسی پارامترهای مؤثر بر خواص دیرگدازهای ریختنی شاموتی کم سیمان استحکام بالا دارای سیستم نصب ویبره‌ای

جمیله عظیمی*[۱]، بهیه بیدار[۱]، داوود عظیمی[۱] و ساسان اطرج[۲]

[۱] *شرکت فرانسوز یزد*

[۲] *دانشکده فنی، دانشگاه شهرکرد*

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۸۸/۲/۲۰، **تاریخ دریافت نسخهٔ اصلاح‌شده:** ۱۳۸۸/۶/۱۷، **تاریخ پذیرش قطعی:** ۱۳۸۸/۷/۴

چکیده در این کار تحقیقاتی پارامترهای مؤثر بر خواص دیرگدازهای ریختنی کم سیمان شاموتی دارای سیستم نصب نوسانی (ویبره‌ای) در جهت دست یابی به استحکام‌های بالا مورد بررسی قرار گرفته است. مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی شامل نوع و مقدار مواد افزودنی روان‌ساز و همچنین توزیع اندازه ذرات می‌باشد که تأثیر آنها بر خواص جریان یابی، میزان آب مصرفی، خواص فیزیکی و مکانیکی بدنه‌های حاصل پس از خشک شدن در ۱۱۰°C مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از توزیع اندازه ذرات مناسب مطابق فرمول آندریازن با عدد ۰/۲۶ و همچنین افزودنی‌های روان‌ساز مناسب همانند پلی کربوکسیلات اتر با مقدار ۰/۰۸ درصد وزنی می‌توان به دیرگدازهای ریختنی شاموتی با استحکام‌های بالا دست یافت.

کلمات کلیدی دیرگداز ریختنی، کم سیمان، شاموت، استحکام بالا، نصب ویبره‌ای.

Investigation of effective parameters on the properties of the high strong Chamotte based low –cement refractory castable

J. Azimi*[1], B. Bidar[1], D. Azimi[1], S. Otroj[4]

[1] *Faranasooz company, Yazd, Iran*

[2] *Faculty of techonology and engineering, Shahrekord University, Iran*

Abstract In this research the effective parameters on properties of chamotte based low cement castable with vibration during installation was investigated so that to reach high strength in these castables. "In this regard the most important parameters are type & amount of deflocculant additives and particles size distribution about which their effect on flow ability, amount of water needed, physical and chemical properties of these bodies had been evaluated after dried to 110 ° C. Results show that chamotte based low cement castable with high strength can be obtained using suitable particles size distribution according to Andreasen equation with distribution coefficient (q) of 0.26. This also requires the best suited deflocculant additives with optimum amount of Polycarboxylate ether with 0.08 %wt.

Keywords Castables, Low cement, Chamotte, High strength, Vibration during installation.

***عهده‌دار مکاتبات**

نشانی: یزد، شرکت فرانسوز یزد.

تلفن: -، **دورنگار:** -، **پیام‌نگار:** azimija@gmail.com.

۱_ مقدمه

محصولات دیرگداز بی‌شکل با سهمی در حدود ۴۵ درصد از مجموع تولید فرآورده‌های دیرگداز، گروه مهمی از سرامیک‌های دیرگداز را تشکیل می‌دهند و در بیست سال اخیر اهمیت بسیار زیادی را کسب کرده‌اند [۲،۱]. یکی از مهم‌ترین انواع دیرگدازهای بی‌شکل، دیرگدازهای ریختنی است. مواد اولیه مصرفی این نوع دیرگدازها معمولاً شامل مخلوط دانه‌بندی‌شده‌ای از مواد اولیه دیرگداز با توزیع دانه‌بندی مشخص و تعریف شده و سیستم اتصال دهنده هیدرولیکی می‌باشد. به‌طور معمول از سیستم اتصال دهنده سیمان آلومینات کلسیم استفاده می‌شود که در اثر واکنش با آب در دماهای معمولی سخت می‌شود [۳،۱]. روش نصب دیرگدازهای ریختنی با توجه به شرایط محیط مصرف طراحی و ساخته می‌شوند. در این ارتباط روش ریختن و نصب به‌کمک ویبراسیون (نصب نوسانی) جهت شکل دادن دیرگدازهای ریختنی، به‌طور وسیعی توسط تولید کنندگان دیرگداز طی سال‌ها استفاده می‌شود. توسعه تکنولوژی‌های جدید تولید فولاد و دیگر فلزات باعث توسعه مواد دیرگداز نیز گردیده که در این راستا توجه بیشتری به دیرگدازهای ریختنی و جایگزینی آنها به‌جای دیرگدازهای شکل‌دار شده است. دیرگدازهای ریختنی دارای اتصال سیمان آلومینات کلسیم با تاریخچه تقریباً هفتاد ساله به‌مرور زمان از ترکیب‌های معمولی دارای سیمان زیاد تا کم سیمان و خیلی کم سیمان و همچنین از روش نصب نوسانی تا سیستم‌های خودجاری توسعه و پیشرفت زیادی داشته‌اند. افزایش در کیفیت مواد اولیه و نوآوری در روش‌های نصب و دقت در انتخاب و کاربرد دیرگدازهای ریختنی باعث شده است تا روزبه‌روز این نوع دیرگدازها دچار تکامل تدریجی شوند [۵–۱]. به‌طورکلی خصوصیات شاموت، بسیاری از خواص نهایی دیرگداز را تعیین می‌کند. شاموت‌ها بر اساس مقدار آلومینا تقسیم‌بندی می‌شوند که دیرگدازی را نیز تعیین می‌کند. خواص دیگر شاموت مثل تخلخل، مقدار قلیایی‌ها و میزان فازهای بلورین موجود نیز از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. تخلخل بسیاری از خواص ماده مثل جذب آب و مقاومت در برابر خوردگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین دیرگدازی و رفتار کارکرد آن توسط مقدار فاز آمورف، فازهای بلورین موجود و ریزساختار تحت تأثیر قرار می‌گیرد. فرآورده‌های شاموتی معمولی فرآورده‌های نسبتاً ارزان‌قیمتی هستند که از مواد اولیه داخلی به‌کمک تکنولوژی‌های ساده تولید می‌شوند و به‌همین دلیل با توجه به‌میزان تولید و کاربرد از پرمصرف‌ترین گروه دیرگدازها محسوب می‌شوند. اما در سال‌های اخیر این فرآورده‌ها در بسیاری از موارد مصرف جای خود را به فرآورده‌های دیرگداز بسیار مرغوب داده‌اند. با این وجود تلاش در جهت افزایش کیفیت این نوع دیرگدازها و افزایش کارآیی آنها کماکان ادامه دارد. یکی از موارد مورد توجه در این ارتباط کاهش تخلخل و همچنین افزایش استحکام این نوع دیرگدازها است. افزایش استحکام به‌ویژه استحکام‌های فشاری بدنه خشک شده می‌تواند باعث افزایش مقاومت در برابر سایش و در نتیجه افزایش دوام و عمر آنها گردد. به‌طورکلی استحکام نهایی دیرگدازهای ریختنی به نوع آگریگیت مصرفی، دانه‌بندی، نوع و مقدار سیمان، نسبت آب به سیمان، مواد افزودنی و روش نصب بستگی دارد [۱۲–۵].

در این پژوهش، با فرض ثابت‌بودن مواد اولیه مصرفی، تأثیر توزیع اندازهٔ ذرات و نوع مواد افزودنی بر افزایش استحکام دیرگدازهای ریختنی شاموتی کم سیمان مورد بررسی قرار گرفته است. به‌این‌منظور از فرمول آندریازن با مقادیر مختلف q جهت بررسی اثر توزیع اندازهٔ ذرات استفاده شده است. همچنین تأثیر سه ماده ضد انعقاد تجاری به‌نام‌های پلی

اکریلات سدیم، تری پلی فسفات سدیم و پلی کربوکسیلات اتر بر خواص این نوع دیرگدازها بررسی شده است. خواص مورد بررسی شامل میزان جریان‌یابی، چگالی، تخلخل و استحکام فشاری سرد می‌باشد.

۲ـ نحوهٔ انجام آزمایش

۲ـ۱ـ مواد اولیه و فرمولاسیون

مواد اولیه مصرفی به‌همراه ترکیب شیمیایی مورد استفاده برای دیرگدازهای ریختنی شاموتی کم سیمان در جدول ۱ ارایه شده است. شاموت مصرفی از نوع شاموت سمیرم می‌باشد که آنالیز شیمیایی آن در جدول ۲ ارایه شده است. همچنین افزودنی‌های روان‌ساز مورد بررسی نیز به‌همراه ویژگی‌شان در جدول ۳ مشخص شده‌اند.

جدول ۱. مواد اولیه و فرمولاسیون مورد استفاده برای دیرگدازهای ریختنی شاموتی کم سیمان.

مواد اولیه	منبع	درصد وزنی
Chamotte	Semirom	۷۸
Microsilica	Azna	۵
Reactive Alumina	Alcoa Chemicals,CTC-20	۱۲
Calcium Aluminate Cement	Lafarge, Secar-71	۵

از مدل اصلاح شده آندریازن به‌صورت رابطه زیر برای محاسبه توزیع اندازهٔ ذرات استفاده گردید:

رابطه (۱)
$$CPFT[Modified\ Andresen]=(d^q-d_m^q)/(D^q-d_m^q)\times 100$$

که در این رابطه CPFT درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از اندازه d و d : اندازهٔ ذرات، d_m اندازه کوچک‌ترین ذرات در توزیع یا حداقل اندازهٔ ذرات، D اندازهٔ بزرگ‌ترین ذرات در توزیع و q عدد آندریازن می‌باشد. در این محاسبه حداقل اندازهٔ ذرات ۰/۰۵ µm، ماکزیمم اندازه دانه‌ها ۵ mm در نظر گرفته شد. جهت بررسی تأثیر توزیع اندازهٔ ذرات بر خواص از اعداد آندریازن برابر ۰/۲۶، ۰/۲۸، ۰/۳۰ و ۰/۳۲ در محاسبات استفاده گردید.

جدول ۲. آنالیز شیمیایی شاموت مصرفی.

اکسید	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MgO	CaO	R_2O
درصد وزنی	۵۰/۹۶	۴۳/۱۲	۱/۷۴	۱/۸۲	۰/۳	۰/۵۶	۱/۵

جدول ۳. خواص و ویژگی‌های افزودنی‌های مورد مصرف.

نام افزودنی	علامت اختصاری	نوع افزودنی	شرکت سازنده
پلی کربوکسیلات اتر Castament FS20	PCE	یونی	SKW
پلی اکریلات سدیم Darvan7S	PAA	یونی	Vanderbilt
تری پلی فسفات سدیم	TPP	یونی	Merck

۲ـ۲ـ روش ساخت و بررسی خواص نمونه‌ها

پس از تهیهٔ مخلوط کامل مواد اولیه در مخلوط‌کن (Hobart)، مقدار ۵/۲ درصد وزنی آب مقطر به‌طور ثابت به هر ترکیب اضافه شد و عمل مخلوط سازی تمامی نمونه‌ها در

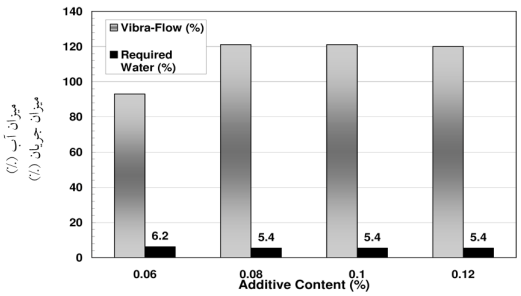
شرایط محیطی یکسان (۲۴ ºC) انجام شد. مخلوط سازی به‌روش خشک به مدت ۲ دقیقه انجام شد و سپس آب مقطر توزین شده در مدت ۳۰ ثانیه به‌تدریج به ترکیب اضافه گردید. پس از افزودن آب، مخلوط‌سازی به روش‌تر به مدت ۴ دقیقه انجام شد. تعیین میزان جریان‌یابی ترکیب به‌وسیله میز جریان مطابق استاندارد ASTM C230-90 انجام شد. سپس ترکیب حاصل با انجام 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 ºC به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. تخلخل باز مطابق استاندارد ASTM C20 و استحکام فشاری سرد نیز مطابق استاندارد ASTM C133 اندازه گیری شد.

۳ـ نتایج و بحث

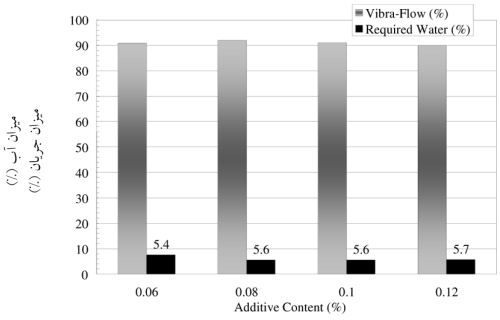
۳ـ۱ـ تأثیر مواد افزودنی بر خواص

نتایج مربوط به تأثیر مقادیر مختلف مواد افزودنی روان‌ساز مورد بررسی بر میزان جریان‌یابی و درصد آب مورد نیاز (به‌دست آمده از روش Ball in hand) برای این نوع دیرگدازهای ریختنی با توزیع اندازهٔ ذرات مشخص (q=۰/۲۸) در شکل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. ترکیبات دیرگداز ریختنی ساخته‌شده حاوی افزودنی‌های کمتر از مقادیر ۰/۰۶ درصد وزنی از سیالت مناسب جهت پرکردن قالب برخوردار نبودند و به همین دلیل نتایج آن ارایه نشده است.

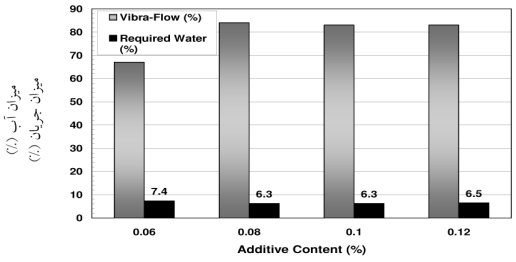
نتایج شکل‌های ارایه شده نشان می‌دهد که نوع و مقدار مواد افزودنی تأثیر زیادی بر مقدار آب مورد نیاز برای مخلوط سازی ترکیب این نوع دیرگدازها دارد. با توجه به مقایسهٔ بین مواد افزودنی مورد مصرف، افزودنی PCE مؤثرترین افزودنی در این سیستم می‌باشد و می‌تواند بیشترین میزان جریان‌یابی را ضمن مصرف کم‌ترین میزان آب در این نوع دیرگدازهای ریختنی ایجاد کند.



شکل ۱. تأثیر مقادیر مختلف افزودنی ضد انعقاد PCE بر میزان جریان‌یابی و میزان آب مصرفی ترکیب دیرگداز ریختنی با q=۰/۲۸.



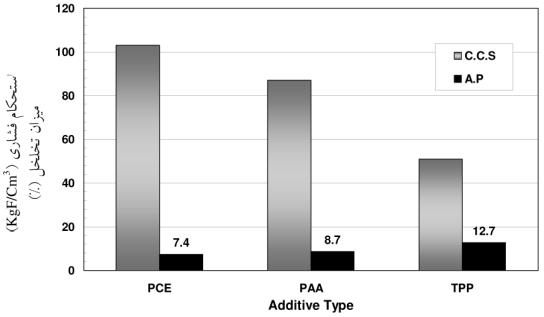
شکل ۲. تأثیر مقادیر مختلف افزودنی ضد انعقاد PAA بر میزان جریان‌یابی و میزان آب مصرفی ترکیب دیرگداز ریختنی با q=۰/۲۸.



شکل ۳. تأثیر مقادیر مختلف افزودنی ضد انعقاد TPP بر میزان جریان‌یابی و میزان آب مصرفی ترکیب دیرگداز ریختنی باq=۰/۲۸.

به‌خاطر استفاده از مواد ریزدانه به‌عنوان مواد پرکننده، پراکندگی این ذرات و افزایش سیالت این نوع دیرگدازهای ریختنی ضروری است، زیرا هنگام تماس این ذرات با آب بارهای الکتریکی بر روی سطح آنها ایجاد می‌شود که می‌تواند منجر به جذب یکدیگر و ایجاد انعقاد (فلوکولاسیون) در دیرگداز ریختنی شود. مواد افزودنی مناسب می‌توانند ضمن پراکنده سازی مناسب ذرات و افزایش سیالت این نوع دیرگدازها باعث کاهش میزان آب مصرفی جهت نصب گردند و در نتیجه ترکیب با مقدار آب مصرفی کمتری می‌تواند جریان مناسب برای پر کردن قالب را بدست آورد.

افزودنی PCE به دلیل دارا بودن زنجیرهای پلیمری می‌تواند از طریق مکانیزم استریک (ممانعت فضایی) علاوه بر مکانیزم الکترواستاتیکی به عمل پراکنده سازی اجزای سیستم کمک کند. افزودنی پلی اکریلات سدیم نیز تا حدی برای این سیستم مؤثر می‌باشد. به‌طورکلی افزودنی‌های پلی کربوکسیلات اتر و پلی اکریلات سدیم به‌دلیل دارا بودن زنجیرهای پلیمری می‌توانند از طریق مکانیزم استریک نیز علاوه بر مکانیزم الکترواستاتیک به پراکنده سازی بیشتر اجزاء سیستم دیرگداز مورد بررسی کمک کنند. با توجه به نتایج مؤثرتر بودن افزودنی پلی کربوکسیلات اتر در جهت افزایش جریان‌یابی در مقایسه با پلی اکریلات سدیم را می‌توان به دارا بودن زنجیرهای پلیمری بلندتر نسبت داد که باعث افزایش عملکرد مکانیزم استریک آن می‌گردد. با توجه به نتایج مقدار بهینه افزودنی PCE برابر ۰/۰۸، PAA برابر ۰/۰۶ و TPP برابر ۰/۰۸ درصد وزنی می‌باشد. در شکل ۴ تأثیر مقادیر بهینه افزودنی‌های مورد بررسی بر میزان تخلخل و استحکام فشاری بدنه‌های دیرگداز ریختنی پس از خشک شدن در ۱۱۰ °C ارایه شده است.

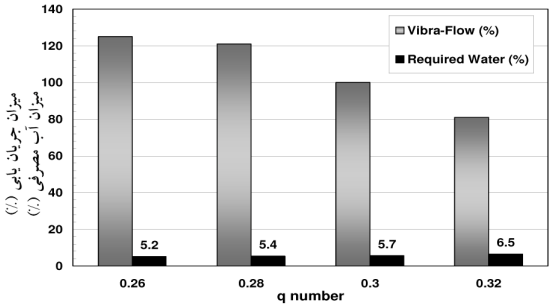


شکل ۴. تأثیر مقادیر بهینه افزودنی‌های مورد بررسی بر میزان تخلخل باز و استحکام فشاری بدنه‌های دیرگداز ریختنی پس از خشک شدن در ۱۱۰ °C.

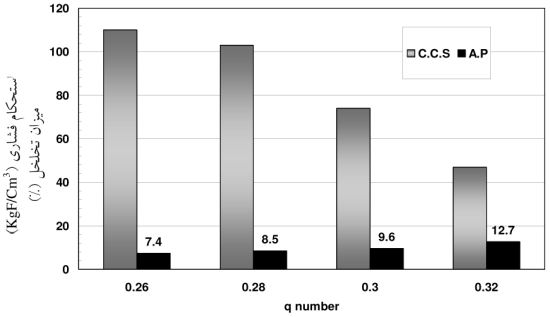
نتایج نشان می‌دهند که با استفاده از مقدار بهینه افزودنی PCE بدنه های دیرگداز ریختنی حاصل از کم‌ترین میزان تخلخل و بالاترین مقدار استحکام برخوردار هستند. با ایجاد تخلخل ناشی از خروج آب از ترکیب بنابراین مصرف آب کمتر در دیرگداز ریختنی نیز منجر به بهبود خواصی همانند استحکام می‌شود. بدین ترتیب افزودنی پلی کربوکسیلات اتر با مصرف آب کمتر باعث ایجاد بدنه‌هایی با استحکام‌های بالاتر می‌شود.

۳ـ۲ـ تأثیر دانه‌بندی بر خواص

با توجه به فرمول آندریازن، با افزایش عدد آندریازن درصد ذرات درشت نسبت به ذرات ریز ترکیب افزایش می‌یابد. در شکل ۵ تأثیر توزیع دانه‌بندی (به‌صورت تغییر عدد آندریازن) بر میزان جریان‌یابی و همچنین میزان آب مصرفی ترکیب دیرگداز ریختنی حاوی مقدار ۰/۰۸ درصد وزنی افزودنی PCE نشان داده شده است.



شکل ۵. تأثیر عدد آندریازن بر میزان جریان‌یابی و میزان آب مصرفی ترکیب دیرگداز ریختنی.



شکل ۶. تأثیر عدد آندریازن بر میزان تخلخل و میزان استحکام ترکیب دیرگداز ریختنی.

نتایج نشان می‌دهند که در این تحقیق با کاهش عدد آندریازن (افزایش درصد ذرات ریزدانه ترکیب)، میزان جریان‌یابی ترکیب افزایش می‌یابد و از طرف دیگر میزان آب مورد نیاز برای ترکیب کاهش می‌یابد. با افزایش درصد ذرات ریز دانه، حفرات بین سنگدانه‌های ترکیب پر می‌شوند که باعث افزایش فاصله جدایش بین ذرات درشت و در نتیجه افزایش میزان جریان‌یابی دیرگداز ریختنی به هنگام نصب می‌شود. با توجه به نتایج، مناسب‌ترین دانه‌بندی برای این ترکیب عدد آندریازن ۰/۲۶ می‌باشد که بیشترین میزان جریان‌یابی را برای ترکیب ایجاد کرده است. اعداد آندریازن کمتر از ۰/۲۶ باعث خودجاری شدن سیستم می‌شود و با انجام ویبراسیون جدایش بین ذرات ایجاد می‌شود بنابراین نتایج آن ارایه نشده است. در شکل ۶ تأثیر توزیع دانه‌بندی به‌صورت تغییر عدد آندریازن بر میزان تخلخل ظاهری (A.P) و همچنین استحکام فشاری سرد (C.C.S) دیرگداز ریختنی حاوی مقدار ۰/۰۸ درصد وزنی افزودنی PCE نشان داده شده است.

نتایج نشان دهنده تأثیر زیاد توزیع دانه‌بندی و اندازهٔ ذرات بر میزان تخلخل و استحکام مکانیکی دیرگداز ریختنی است.

افزایش ذرات ریز ترکیب باعث پر شدن حفرات و تخلخل‌های بین ذرات درشت و در نتیجه کاهش تخلخل می‌گردد. کاهش تخلخل تأثیر قابل توجهی بر خواص مکانیکی این نوع بدنه‌ها خواهد داشت. با توجه به نتایج شکل‌های ۵ و ۶ عدد آندریازن ۰/۲۶ می‌تواند شرایط مناسب و بهینه‌ای را به‌لحاظ جریان‌یابی و همچنین استحکام مکانیکی برای ترکیب فراهم کند.

۴_ نتیجه‌گیری

این تحقیق در ارتباط با بررسی پارامترهای مؤثر بر خواص دیرگدازهای ریختنی شاموتی کم سیمان با خاصیت نصب به‌صورت ویبره‌ای و دارای استحکام بالا انجام گرفت و نتایج زیر حاصل گردید.

بهترین افزودنی دی فلوکولانت برای این ترکیب پلی کربوکسیلات اتر (PCE) با مقدار بهینه ۰/۰۸ درصد وزنی می‌باشد. این افزودنی به‌خاطر مکانیزم الکترواستریک می‌تواند پراکندگی بیشتری را بین ذرات سیستم ایجاد کند. پراکندگی مناسب ذرات ریزدانه ترکیب به‌همراه مصرف آب کمتر باعث

کاهش تخلخل و در نتیجه افزایش استحکام مکانیکی می‌گردد. با کاهش اندازهٔ ذرات، میزان جریان‌یابی ترکیب به‌دلیل ازدیاد فاصله جدایش بین ذرات درشت، افزایش می‌یابد؛ اما با کوچک‌تر شدن عدد آندریازن کمتر از ۰/۲۶ جدایش ذرات در اثر ویبراسیون ایجاد می‌شود. افزایش ذرات ریز ترکیب باعث پر شدن حفرات و تخلخل‌های بین ذرات درشت و کاهش تخلخل و در نتیجه افزایش استحکام می‌گردد. با توجه به نتایج حاصل عدد آندریازن ۰/۲۳ می‌تواند شرایط مناسب و بهینه‌ای را به‌لحاظ جریان‌یابی و همچنین دیرگدازی تحت بار برای ترکیب فراهم کند.

مراجع

1. Krebs, R., "Unshaped refractory products", International seminar on Monolithic Refractory Materials, Tehran, Iran (1997) 1-43.
2. Parr, C., Bier, T.A., Bunt, N.E., Spreafico, E., "Calcium aluminate cement based castables for demanding applications", International seminar on Monolithic Refractory Materials, Tehran, Iran (1997) 141-152.
3. Bier, T.A., Mathieu, A., Espinosa, B., Mareelon, C., "Admixtures and their interactions with high range calcium aluminate cement", UNITECR 95 proceedings, Kyoto, Japan (1995) 357-362.
4. Myhre, B., Sandberg, B., "The use of microsilica in refractory castables", International seminar on Monolithic Refractory Materials, Tehran, Iran (1997) 113-140.
5. Mattos, U., Dell Oro, E., Neder,E.E., Celso Amoedo, A., Togni Cardillo, E.J., "Behavior of calcined alumina on thermo mechanical and rheological properties of low–cement castables", UNITECR 93 proceedings, Sau Paulo, Brazil (1993) 728-737.
6. Myhre, B., "Hot strength and bond – phase reaction in low and ultra low cement castables", UNITECR 93 proceedings, Sau Paulo, Brazil (1993) 583-594.
7. Parr, C., Valdelic, B., Wohrmeyer, C., "Application of calcium aluminate cement to dense low water demand refractory castables", ***Refractories and Applications and News***, Vol. 7, No. 3 (2002) 14-23
8. Estani, V.A., Nazzoni, A.D., Aylietti, E.F., "Vibrocast refractories-Influence of chamotte grains on thermochemical properties", ***Refractories and Applications and News***, Vol.10, No.4 (2005) 10-13.
9. Djangang, C.N., Elimbi, A., Melo, U.C., "Sintering of clay-chamotte ceramic composites for refractory bricks", ***Refractories Ceramic International***, Vol. 34, No. 5 (2008) 1207-1213.
10. Alt, C., Parr C., "The effect of environment temperature conditions on the rheology of deflocculated refractory castable", ***Refractories and Applications and News***, Vol. 7, No. 1 (2002) 9-15.
11. Antonovich, V., Goberis, S., Pundeno, I., Stonis, R., "A new generation of deflocculated and microsilica used to modify the properties of a conventional refractory castable based on a chamotte filler", ***Refractories and Industrial Ceramic***, Vol. 47, No. 3, (2006) 178-182
12. Goberis, S., Antonovich, V., "Improving the structure and properties of a refractory castable containing porous chamotte fillers", ***Refractories and dustrial Ceramic***, Vol. 47, No. 5 (2004) 360-363.