METALLURGICAL ENGINEERING
The Journal of Iranian Metallurgical and Materials Engineering Society

Effect of Layered Nanosilicates on the Properties of Alumina-Graphite Ultra-Low Cement Castables

***Mehdi khoeini[1], Hossein Rastegar[1]**

1- Assistant Professor, Department of Materials Engineering and Metallurgy, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran

Citation: Khoeini M, Rastegar H. Effect of Layered Nanosilicates on the Properties of Alumina-Graphite Ultra-Low Cement Castables, Metallurgical Engineering, 2024: 26(4):61-70 https://doi.org/10.22076/me.2026.742730

https://doi.org/10.22076/me.2026.742730

ABSTRACT

Over the past two decades, much scientific research in the field of refractory technology has focused on increasing the use of monolithic refractories. Many countries have concentrated more than half of their production on unshaped refractories, owing to the advantages of these refractories, including the absence of a shaping and firing process during manufacturing and properties similar to those of shaped refractories. Moreover, with the advent of nanotechnology and considering the special properties of nanomaterials, investigating the application of these materials in refractories is also among the topics that can yield acceptable results. In the present study, after purifying clay by mechanical methods and obtaining layered nanosilicates, the morphology of these materials was investigated using XRD, SEM, and TEM methods, and the particle size of the resulting nanoclay was determined using the LPSA technique. Finally, the prepared nanosilicates were added to an ultra-low-cement alumina-graphite castable, and the rheological properties of the castable were investigated and evaluated before and after the firing process at temperatures of 1000 °C, 1250 °C, and 1500 °C. The XRD technique was used to examine the phases of the obtained castable. The results of this study show that the interlayer spacing of the nanosilicates used was 1.2 nm, and that the rheology of the ultra-low-cement castable was significantly improved, such that its flowability increased by 5 percent, which means that the required amounts of substances such as microsilica and activated alumina have also been significantly reduced. Finally, the XRD results of the samples after the firing process show that the desired mullite phase has also formed in these samples.

Keywords: Layered nanosilicates, ultra-low-cement castables, rheology, mullite phase.

Received: May 22, 2023 | Accepted: December 6, 2023

**Corresponding Author:*
mehdi khoeini, PhD
Address: Department of Materials Engineering and Metallurgy, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran
Tel: +98 (86) 42433030
E-mail: m.khoeini83@gmail.com

تاثیر نانوسیلیکات‌های لایه‌ای بر خواص جرم‌های ریختنی خیلی کم سیمان آلومینا - گرافیت

*مهدی خوئینی[۱]، حسین رستگار[۱]

۱- استادیار گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران

چکیده

در دو دهه‌ی اخیر بسیاری از تحقیقات علمی در زمینه‌ی تکنولوژی دیرگدازها روی افزایش استفاده از دیرگدازهای مونولیتیک متمرکز شده است. بسیاری از کشورها بیش از نیمی از تولیداتشان را روی دیرگدازهای بی‌شکل متمرکز کرده‌اند که به دلیل مزایای این دیرگدازها از جمله عدم نیاز به فرآیند شکل‌دهی و پخت در حین ساخت و خواص مشابه با دیرگدازهای شکل‌دار می‌باشد. از طرفی با ورود به عرصه نانوفناوری و با توجه به خواص ویژه نانومواد، بررسی کاربرد این مواد در دیرگدازها نیز از جمله موضوعاتی است که می‌تواند نتایج قابل قبولی را در پی داشته باشد. در تحقیق حاضر پس از تخلیص رس به روش‌های مکانیکی و دست یافتن به نانوسیلیکات‌های لایه‌ای، مورفولوژی این مواد به کمک روش‌های XRD ، SEM و TEM و بدست آوردن اندازه ذرات نانورس حاصله با تکنیک LPSA مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت نانوسیلیکات‌های تهیه شده به نوعی جرم‌ریختنی خیلی کم‌سیمان آلومینا-گرافیتی اضافه گردیده و خواص رئولوژیکی جرم مذکور قبل و بعد از فرآیند پخت در دماهای ۱۰۰۰ °C، ۱۲۵۰ °C و ۱۵۰۰°C مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. جهت انجام بررسی‌های فازی جرم‌ریختنی بدست آمده از تکنیک XRD استفاده شد. نتایج حاصله در این تحقیق نشان میدهد که فاصله بین لایه‌ای نانوسیلیکات‌های مصرفی ۱/۲ نانومتر بوده و رئولوژی جرم‌ریختنی خیلی کم سیمان به مقدار قابل‌توجهی بهبود یافته است، به صورتی که جریان‌پذیری آن به مقدار ۵ درصد افزایش داشته و این بدان معنی است که حضور برخی مواد از قبیل میکروسیلیس و آلومینای اکتیو شده نیز به مقدار قابل‌توجهی کاهش یافته است. در پایان بررسی نتایج XRD نمونه‌ها پس از فرآیند پخت نشان می‌دهد که فاز مطلوب مولایت نیز در این نمونه‌ها تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: نانوسیلیکات‌های لایه‌ای، جرم‌های ریختنی خیلی کم سیمان، رئولوژی، فاز مولایت.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱ | پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

۱. مقدمه

طی سال‌های اخیر، توجه ویژه‌ای به سرامیک‌های دیرگداز به دلیل وابستگی خواص محصول به مواد مصرفی، معطوف شده است. اگرچه پیشرفت زیادی در ساخت آجرهای MgO-C صورت گرفته است، ولی پیشرفت قابل‌توجهی نیز در دیرگدازهای مونولیتیک در زمینه مواد، محصولات و کاربردهای آن‌ها در دو دهه گذشته رخ داده است. مزیت منحصر به فرد دیرگدازهای مونولیتیک این است که آن‌ها یک بدنه پیوسته و یکپارچه را تشکیل می‌دهند عدم وجود هر گونه درز موجب فراهم آمدن سازهای بدون نقص‌تر شده و می‌توانند با سهولت نسبی بیشتری بدون نیاز به نیروی انسانی و مهارت زیاد نصب گردد [۱]. در سال‌های اخیر تولیدکنندگان آهن و فولاد (که بیشترین درصد مصرف مواد دیرگداز را به خود اختصاص داده است) در حال تغییر و اصلاح فرآیندهای تولیدی خود در جهت رسیدن به کیفیت عالی با حداقل قیمت ممکن می‌باشند [۲]. یکی از اقدامات بسیار مهم در این راستا، جایگزین کردن دیرگدازهای شکل‌دار با دیرگدازهای بی‌شکل می‌باشند یکی از دیرگدازهای مورد مصرف در خطوط تولید آهن و فولاد دیرگدازهای منیزیا-گرافیت می‌باشد که از نوع شکل‌دار آن به مقدار زیادی مصرف می‌شود. اما مزایای بسیار زیاد دیرگدازهای بی‌شکل نسبت به شکل‌دارها و خواص منحصر به فرد دیرگدازهای منیزیا-گرافیت باعث شد تا بسیاری محققان به تولید دیرگدازهای بی‌شکل منیزیا-گرافیت توجه کنند [۳]. جرم‌های دیرگداز ریختنی با اتصال سیمانی (CA)

* نویسنده مسئول:
دکتر مهدی خوئینی
نشانی: گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران
تلفن: ۴۲۴۳۳۰۳۰ (۸۶) ۹۸+
پست الکترونیکی: m.khoeini83@gmail.com

به طور گسترده‌ای در دیرگدازهای بی‌شکل استفاده می‌شوند. جرم‌های ریختنی با مقدار سیمان بالا حاوی مقادیر زیادی سیمان (بالاتر از ۳۰٪ وزنی) می‌باشند. وجود سیمان بالا مشکلاتی را به وجود می‌آورد که در چند سال اخیر پیشرفت زیاد و مداومی در جرم‌های ریختنی کم سیمان و خیلی کم سیمان به وجود آمده است[۴]. البته این جرم‌ها نیز به نوبه‌ی خود مسائل و مشکلاتی از قبیل نیاز به دقت شدید در اضافه کردن آب برای نصب، استحکام خشک نسبتاً پایین، زمان سخت شدن زیاد و استحکام بعد از پخت کم و ..... دارند[۶-۴]. موارد مصرفی جرم‌های کم سیمان یا خیلی کم سیمان عبارت است از جداره‌ی کوره‌های ریخته‌گری فلزات، نازل‌های غوطه‌ور در ریخته‌گری مداوم فولاد، مجرای کوره‌ی بلند، پاتیل‌های ریخته‌گری و پاتیل‌های حمل چدن مذاب، کوره دوار سیمان و غیره... [۱۱-۷]. در نهایت هدف از انجام این تحقیق استفاده از نانوسیلیکات‌های لایه‌ای به جای مواد میکرونی از قبیل میکروسیلیس و آلومینای راکتیو و استفاده از تکنولوژی نانو در مواد دیرگداز و بررسی اثر آن‌ها و کاهش درصد آب و افزایش جریان‌پذیری جرم‌های ریختنی خیلی کم سیمان آلومینا-گرافیت با استفاده از نانورس اصلاح شده و گرافیت پوشش‌دهی شده و بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی جرم‌های ریختنی کم سیمان آلومینا-گرافیت و همچنین کاهش دمای تشکیل برخی فازهای مطلوب از جمله فاز مولایت با استفاده از سطح ویژه بالای مواد نانو و استفاده از این فازهای مطلوب، می‌باشد. در نهایت هدف از انجام این تحقیق استفاده از نانوسیلیکات‌های لایه‌ای به جای مواد میکرونی از قبیل میکروسیلیس و آلومینای راکتیو و استفاده از تکنولوژی نانو در مواد دیرگداز و بررسی اثر آن‌ها و کاهش درصد آب و افزایش جریان‌پذیری جرم‌های ریختنی خیلی کم سیمان آلومینا-گرافیت با استفاده از نانورس اصلاح شده و گرافیت پوشش‌دهی شده و بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی جرم‌های ریختنی کم سیمان آلومینا-گرافیت و همچنین کاهش دمای تشکیل برخی فازهای مطلوب از جمله فاز مولایت با استفاده از سطح ویژه بالای مواد نانو و استفاده از این فازهای مطلوب، می‌باشد.

۲. روش پژوهش

در این تحقیق از مواد زیر به عنوان مواد اولیه استفاده شده است. آلومینای تبولار، گرافیت پولکی شرکت Sinorth Minerals Group Ltd چینی، آلومینای اکتیو شده شرکت Nabaltec آلمان با نشان تجاری نابالوکس، سیمان آلومینا بالای Union کره با نشان تجاری (UAC-7ON)، میکروسیلیس شرکت فرو آلیاژ ایران (ازنا)، تری‌پلی‌فسفات‌سدیم (T.P.P) شرکت Rich Chem International Trading چینی و نانو سیلیکات لایه‌ای (سدیم بنتونیت داخلی تولید شده توسط شرکت پودرسازان).

پس از تهیه و آنالیز مواد اولیه مورد استفاده، خالص‌سازی رس تهیه شده با بکارگیری یک دستگاه هیدروسیکلون ۲ اینچ مدل موزلی و در شرایط بهینه که قبلاً در آزمایشگاه بدست آمده بود استفاده گردید. برای اینکار دوغاب با ۳ درصد جامد در آب مقطر تهیه و در فشار ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع از سیکلون عبور داده شد. ذرات ناخالص و درشت از تهریز خارج و دوغاب سرریز که متشکل از ذرات مونت‌موریلونیت با ابعاد کمتر از ۶ میکرون می‌باشد جهت استفاده در فرایند سازگارسازی در محیط آزمایشگاه خشک گردید. قابل ذکراست مواد اصلی ۱۰۰ درصد فرمول و T.P.P (دفلوکولانت) علاوه بر ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده است. برای مشخص شدن تفاوت تاثیر استفاده از ترکیب آلومینای فعال شده و میکروسیلیس با نانوسیلیکات‌های لایه‌ای، دو نوع جرم که یکی از آن‌ها حاوی ترکیب آلومینای فعال شده و میکروسیلیس و یکی از آن ها حاوی نانوسیلیکات‌های لایه‌ای می‌باشد (مطابق با جدول بالا) آماده شد که طبق جدول ۱ کدگزاری شدند. در این تحقیق از نوعی جرم ریختنی پایه Al_2O_3-C که ترکیب آن مطابق جدول ۲ است به عنوان دیرگداز پایه استفاده شد [۱۰ و ۱۱].

پس از آماده سازی فرمولاسیون مواد اولیه برای ۴ دقیقه در مخلوط کن ۱۰ لیتری Hobart به صورت خشک هم زده شدند. سپس به مخلوط آب اضافه شد و به مدت ۴ دقیقه دیگر به صورت تر با یکدیگر مخلوط شدند. برای تشخیص غلظت مناسب بتون از روش Ball in Hand استفاده شد.

۳. نتایج، بحث و نتیجه‌گیری

خالص‌سازی رس

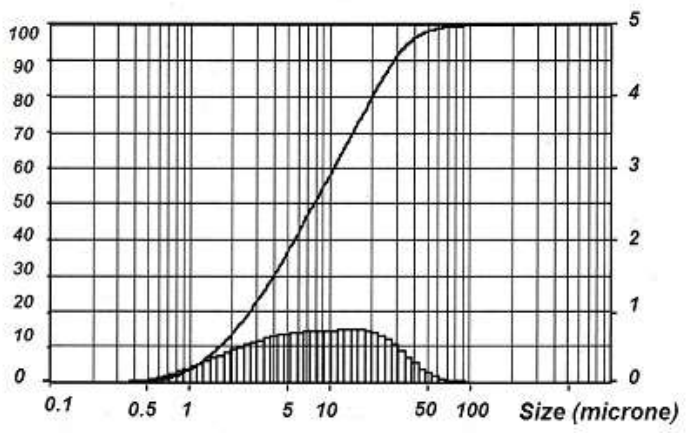
نمودار شکل ۱ توزیع ذرات رس مصرفی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود ۵۰ درصد ذرات زیر ۷ میکرون و ۸۰ درصد دارای ابعادی کمتر از ۲۰ میکرومتر می‌باشند. از آنجا که ذرات بزرگتر از ۵ میکرون نیز به‌همراه ناخالصی‌های موجود برای بدست آوردن یک محصول مناسب باید جدا شوند، بکارگیری روشی مناسب برای انجام اینکار الزامی است. نتایج تحقیقات مختلف [۱۲و۱۳] در خصوص خالص‌سازی رس نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های فیزیکی مانند هیدروسیکلون بسیار مفید بوده و با استفاده از این دستگاه می‌توان اکثر ناخالصی‌های موجود در رس را حذف نمود.

جدول۱: کدگذاری نمونه‌های جرم ریختنی

ترکیبات جرم ریختنی	کد نمونه
جرم Al_2O_3-C با گرافیت پوشش‌دهی شده همراه با ترکیب آلومینای فعال شده و میکروسیلیس	AMC
جرم Al_2O_3-C با گرافیت پوشش‌دهی شده همراه با نانوسیلیکات لایه‌ای	NCC

جدول۱: ترکیب انواع جرم‌های تهیه شده (درصد وزنی)

ترکیب وزنی(٪) / نمونه	ترکیب جرم						
	آلومینای تبولار	سیمان آلومینا بالا	گرافیت پوشش دهی شده	آلومینای راکتیو	میکرو سیلیس	نانو سیلیکات لایه‌ای	دفلکولانت (سدیم تری‌پلی فسفات)
AMC	۸۲	۳	۴	۷	۴	-	۰/۱۲
NCC	۸۲	۳	۴	-	-	۱۱	۰/۱۲



شکل۱: نمودار توزیع تجمعی ذرات رس در خوراک قبل از خالص‌سازی.

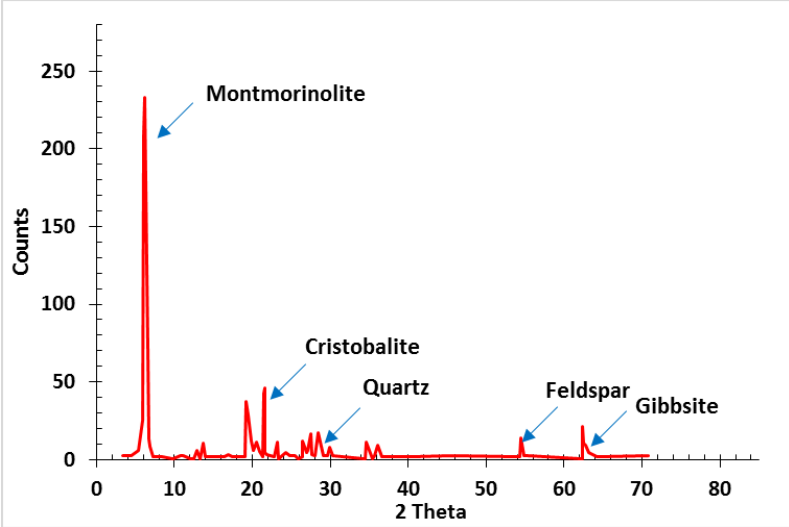
همانگونه که مطالعات XRD (نمودار شکل ۲) نشان می‌دهد با بکارگیری این روش اکثر ناخالصی‌های از نوع کوارتز، کریستوبالیت، کلسیت، ژیپسیت و فلدسپار و.... تا حدود زیادی از رس جدا می‌گردند و محصول رسی است که اکثر آن را سدیم مونت‌موریلونیت تشکیل می‌دهد. همچنین نمودار توزیع ذرات در شکل ۳ نشان می‌دهد که تمامی ذرات ابعادی کمتر از ۵ میکرون دارند و بیش از ۸۰ درصد از ذرات دارای ابعادی کمتر از ۲ میکرون می‌باشند. همانگونه که قبلاً اشاره شد و در شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود مونت‌موریلونیت دارای ساختار لایه‌ای بوده که در آن لایه‌های رسی با ضخامت کمتر از ۱ نانومتر بر روی هم قرار می‌گیرند (ساختار سیلیکات‌های لایه‌ای) [۱۲].

طیف XRD نمونه خالص شده داخلی در محدوده ۲θ بین ۲ تا ۱۰ درجه در شکل ۴ نشان داده شده است. همانگونه که در نمودار XRD این شکل دیده می‌شود پیک قوی مربوط به ۰۰۱ کانی مونت‌موریلونیت در موقعیت ۲θ حدود ۷ مشاهده می‌گردد و ظهور پیک در این ناحیه نشان می‌دهد فاصله لایه‌ها در رس خالص حدود ۱۲/۵ آنگستروم می‌باشد [۱۲ و ۱۳].

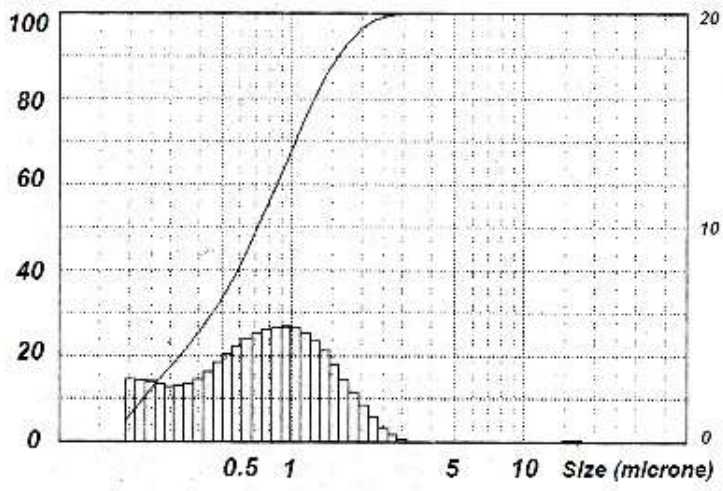
بررسی‌های فازی و ریز ساختاری

الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های گرافیت پوشش داده شده در شکل ۴ دیده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود فازهای اصلی در این الگوها گرافیت و Al_2O_3 است که بیانگر تشکیل Al_2O_3 است و این نتیجه حاصل شده است که فاز Al_2O_3 در گرافیت تشکیل شده است. اما با توجه به نوع روش پوشش‌دهی و احتمال رسوب‌دهی Al_2O_3 این احتمال وجود دارد که Al_2O_3 به صورت مخلوط و نه پوشش در کنار گرافیت قرار گرفته باشد. برای بررسی این موضوع نیاز به بررسی‌های دقیق روی سطح گرافیت‌های پوشش داده شده بود.

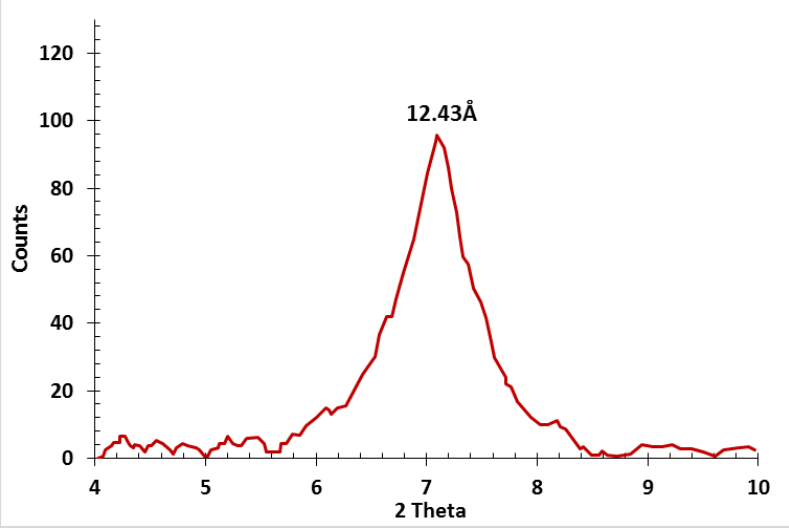
بدین ترتیب به منظور بررسی دقیق تر سطح گرافیت‌های پوشش داده شده و تهیه تصاویر سطحی در این فرآیند از SEM مجهز به EDS استفاده شد. بدین منظور از سطح گرافیت‌های پوشش داده شده تصویر و نمودار EDS تهیه شد. EDS های تهیه شده مربوط به همان تصویر همراه آن‌ها در شکل است یعنی از همان نقاط روی سطح که تصویر گرفته شد آنالیز EDS نیز به عمل آمد که در شکل ۷ دیده می‌شود. به دلیل عدم توانایی EDS در شناسایی O و C، نمودارهای مربوطه فقط Al را نشان می‌دهد و پیک Au مربوط به پوشش‌دهی گرافیت‌ها به منظور انجام آنالیز بود. همانطور که در این شکل‌ها مشخص است ضخامت‌های Al_2O_3 تشکیل شده روی سطح متفاوت است. اما ایجاد پوشش و لایه Al_2O_3 روی سطح گرافیت‌ها تقریباً قطعی به نظر میرسد (با توجه به آنالیز EDS موجود).



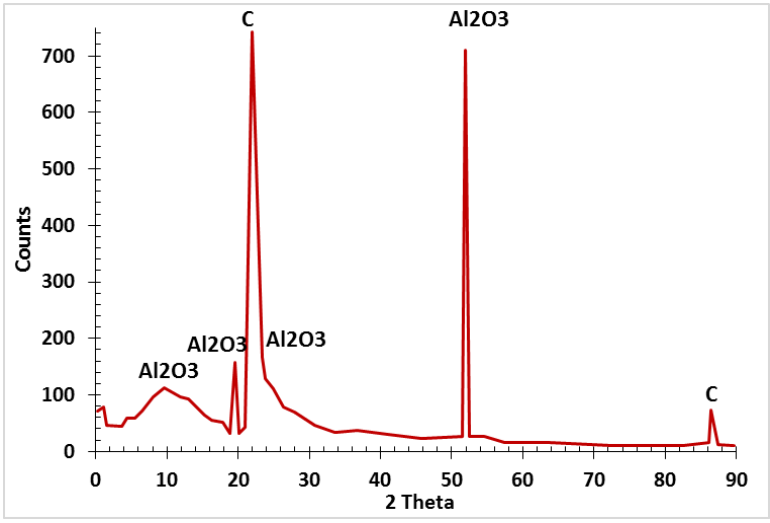
شکل۲: طیف XRD نمونه خالص داخلی.



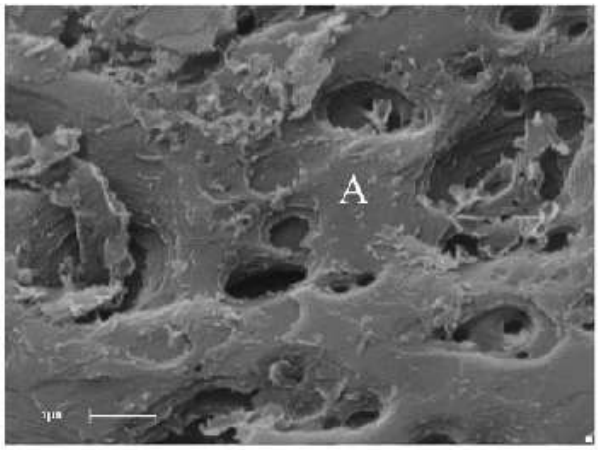
شکل۳: نمودار توزیع تجمعی ذرات رس بعد از خالص سازی.



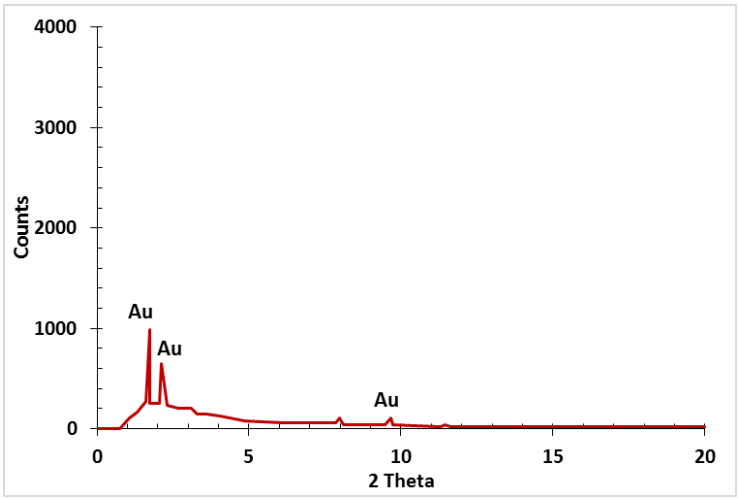
شکل۴: طیف XRD نمونه خالص داخلی.



شکل۵: الگوی پراش اشعه ایکس نمونه گرافیت پوشش داده شده.

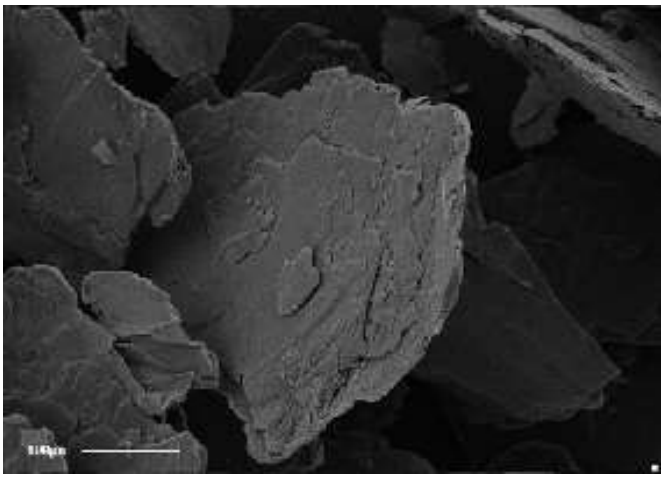


شکل۶: تصویر SEM نمونه گرافیت پوشش داده شده.

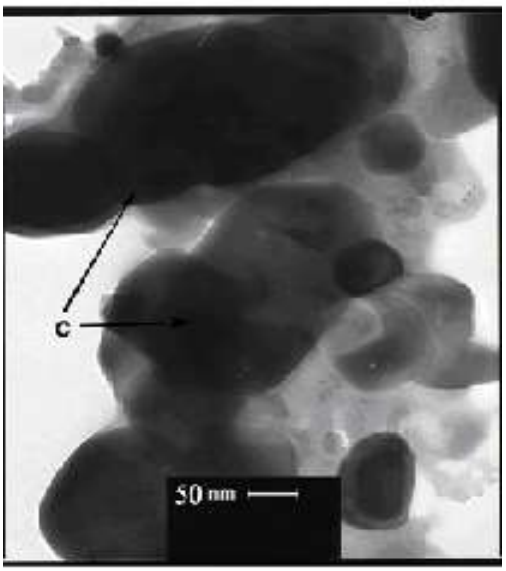


شکل۷: طیف اسپکتروسکوپی اشعه ایکس (EDS) نمونه گرافیت پوشش داده شده نقطه A در شکل ۶.

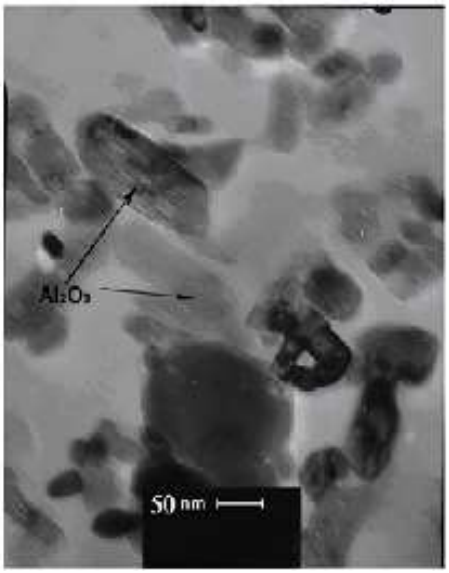
شکل ۸ تصویر گرافیت‌ها را در بزرگنمایی کمتر از تصاویر SEM قبلی نشان می‌دهد و همانطور که مشخص شده است گرافیت‌های پوشش داده شده با روش ذکر شده آگلومره نمی‌شود و بنابراین مشکلات ناشی از آگلومره شدن را ندارند. در تهیه تصاویر SEM سعی شد بیشتر از گوشه‌های ذرات گرافیت تصویر گرفته شود تا در صورت امکان پوشش روی آن مشخص شود، اما همانطور که در تصاویر SEM مشخص است، پوشش روی گرافیت‌ها چندان واضح نبود و این به دلیل کم بودن ضخامت پوشش (در حد نانو که در عکس‌های TEM مشخص است) و اندازه دانه‌های Al_2O_3 روی سطح گرافیت است. به همین جهت برای تهیه تصاویر واضح از سطح گرافیت‌ها و پوشش روی آن‌ها از TEM استفاده شد. شکل ۹ و ۱۰ تصاویر TEM گرافیت‌های معمولی و پوشش داده شده را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود روی گرافیت‌ها نوعی پوشش پر مانند تشکیل شده است که این تصاویر قرار گرفتن پوشش Al_2O_3 روی سطح گرافیت را ثابت می‌کند.



شکل۸: تصویر SEM برای مشخص شدن عدم آگلومراسیون گرافیت‌های پوشش داده شده.



شکل۹: تصویر TEM نمونه اول گرافیت معمولی.



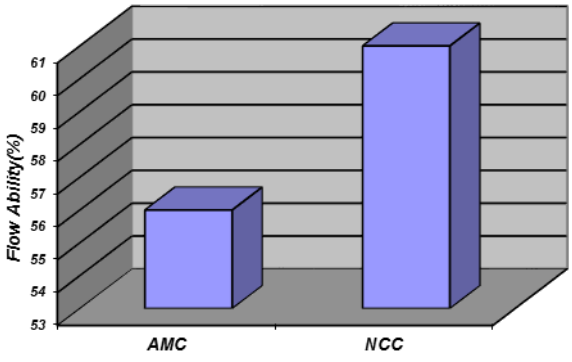
شکل۱۰: تصویر TEM نمونه اول گرافیت پوشش داده شده.

بررسی خواص رئولوژی جرم‌های ریختنی

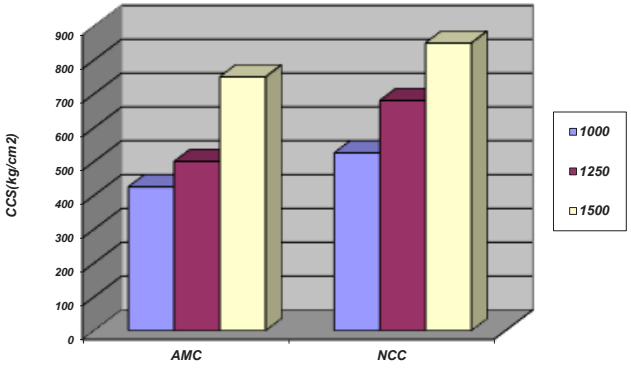
شکل ۱۱ تأثیر استفاده از نانورس را به جای میکروسیلیس و آلومینای راکتیو بر جریان‌پذیری در جرم ریختنی را نشان می‌دهد. به علت ریزتر بودن (نانو بودن) افزودنی جدید جریان‌پذیری نمونه‌های حاوی نانورس بهتر می‌باشد. دلیل استفاده از مواد ریز دانه در ترکیبات LCC و ULCC به منظور بهبود جریان‌پذیری این است که این مواد به راحتی می‌توانند در فضای خالی بین ذرات وارد شوند و فضاهای مذکور را پر کنند و موجب پخش شدن راحت جرم در هنگام افزودن آب به جرم شوند[۱۱]. در واقع به علت ریزتر بودن مواد افزودنی جدید (در مقیاس نانو بودن رس مصرفی) نسبت به افزودنی‌های ریز میکرونی قبلی (میکروسیلیس و آلومینای راکتیو) رسیدن این مواد نیز به جاهای خالی بین ذرات راحت‌تر از میکروسیلیس و آلومینای راکتیو می‌باشد و در نتیجه جریان‌پذیری جرم بهبود می‌یابد. البته درصد آب جرم‌های حاوی نانو بنتونیت به دلیل جذب آب بالای آن مقداری بیشتر از جرم‌های حاوی میکروسیلیس و آلومینای راکتیو بود که ممکن است سبب کاهش استحکام جرم قبل از پخت شود اما بعد از پخت استحکام جرم حاوی نانو بنتونیت بیشتر می‌شود. که در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

بررسی خواص مکانیکی

شکل ۱۲ تأثیر افزودنی جدید (نانورس مصرفی) بر خواص مکانیکی نمونه‌هایی که در دماهای ۱۰۰۰°C، ۱۲۵۰ °C و ۱۵۰۰ °C پخت شده‌اند را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مربوطه مشاهده می‌شود استحکام نمونه‌های حاوی نانورس در هر سه دما بهتر از نمونه‌های حاوی میکروسیلیس و آلومینای راکتیو می‌باشد. دلیل بهبود خواص مکانیکی نیز به علت واکنش پذیری زیاد نانورس‌ها و کاهش دمای پخت می‌باشد که منجر به کاهش دمای ایجاد باندهای سرامیکی و فازهای مطلوبی همچون مولایت می‌شود و استحکام را نیز بهبود می‌بخشند.



شکل۱۱: تأثیر افزودنی نانورس بر جریان‌پذیری نمونه‌های جرم ریختنی.

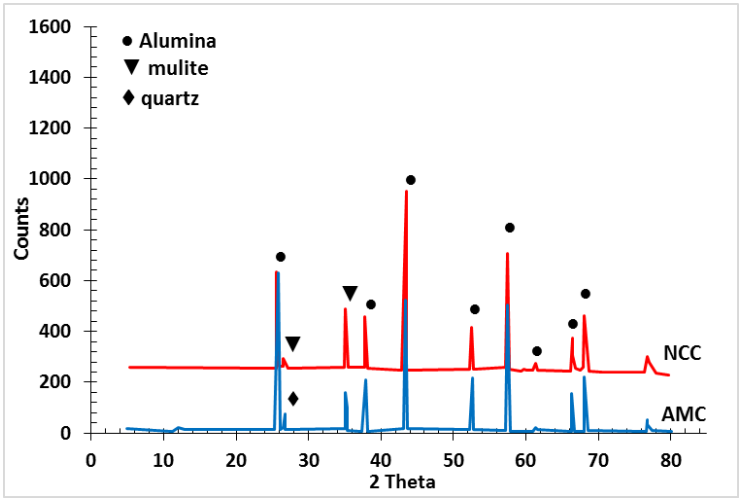


شکل۱۲: تأثیر افزودنی نانورس بر استحکام فشاری سرد نمونه‌های پخت شده جرم ریختنی در دماهای ۱۰۰۰°C و ۱۲۵۰°C و ۱۵۰۰°C.

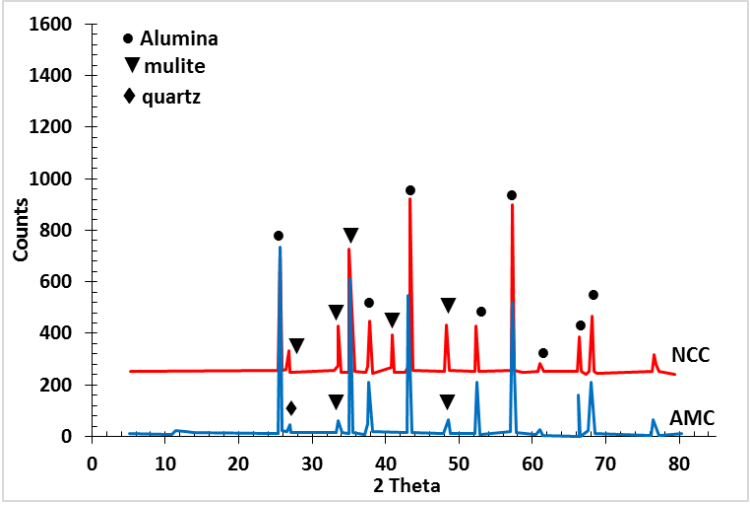
تأثیر نانورس بر فازهای بوجود آمده پس از پخت

شکل‌های ۱۳ و ۱۴ الگوهای پراش اشعه X نمونه‌های حاوی نانورس، میکروسیلیس و آلومینای راکتیو را در دماهای ۱۰۰۰°C و ۱۲۵۰°C نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود شدت پیک‌های مولایت در دماهای مذکور در جرم‌های حاوی نانورس بیشتر می‌باشد که بعلت واکنش‌پذیرتر بودن نانورس نسبت به دیگر افزودنی‌ها (میکروسیلیس و آلومینای راکتیو)، در این نمونه‌ها فاز مولایت سریع‌تر و راحت‌تر تشکیل می‌شود. لازم به ذکر است فاز مولایت به دلیل خواص زیر فازی مطلوب میباشد[۱۴]. ۱- مقاومت به شوک حرارتی عالی: فاز مولایت به دلیل ضریب انبساط حرارتی پایین خود در مقابل تغییرات ناگهانی دما مقاومت فوق العاده‌ای از خود نشان می‌دهد. ۲- استحکام مکانیکی بالا: فاز مولایت به دلیل ساختار سوزنی شکلی که دارد یک داربست محکم در ماده ایجاد می‌کند که منجر به مقاومت مکانیکی بالای آن می‌شود. ۳- نقطه ذوب ناگهانی و نسبتا بالا (۱۸۵۰ درجه سانتی‌گراد).

با توجه به اینکه در تبدیلات فازی نانورس، ایجاد فاز مولایت اجتناب ناپذیر است و با کاهش اندازه دانه نیز امکان انجام واکنش تولید مولایت در دمای پائین‌تر بیشتر می‌شود زیرا با کاهش اندازه دانه در واقع سطح ویژه ماده افزایش یافته و اکتیویته سطحی بالا می‌رود لذا واکنش‌پذیری ذرات در دماهای پایین‌تری اتفاق میافتد که منجر به کاهش انرژی مصرفی و تولید می‌شود. اما دو فاز میکروسیلیس و آلومینای راکتیو ممکن است از لحاظ پخش شدن در جرم به گونه‌ای باشند که نقاط اتصالشان جهت واکنش با یکدیگر کمتر باشد و در برخی از نقاط، بطور جداگانه قرار گیرند. در نتیجه استفاده از یک فاز یکپارچه که بدون مانع واکنش داده و تبدیل به مولایت شود بسیار بهتر و مؤثرتر خواهد بود. نکته قابل توجه این است که با توجه به پرت حرارتی بنتونیت مورد استفاده اولا: زمان رسیدن به دمای پخت نسبتا طولانی در نظر گرفته شد (۸ ساعت) و ثانیا: از نوعی الیاف پلی‌پروپیلن که فضاساز جهت خروج مواد فرار هستند استفاده شد تا حین خروج OH و دیگر مواد خروجی مشکلی از نظر ترک و دفرمه شدن جرم ایجاد نشود.



شکل۱۳: الگوی پراش اشعه X نمونه های A2 و A1 در دمای ۱۰۰۰°C.



شکل۱۴: الگوی پراش اشعه X نمونه های A2 و A1 در دمای ۱۲۵۰°C.

۴. نتیجه‌گیری

۱- با استفاده رس‌های موجود در معادن کشور می‌توان با به کارگیری فرایندهای مناسب خالص‌سازی و اصلاح به نتایج قابل قبولی دست یافت.

۲- نتایج توزیع اندازه ذرات نمونه خالص شده با دستگاه هیدروسیکلون توسط تکنیک اندازه‌گیری لیزری ذرات (LPSA) نشان داد که تمام ذرات بالای ۵ میکرون جدا شده‌اند و کسر ذرات زیر ۱ میکرون بیش از ۷۰ درصد می‌باشد.

۳- جریان‌پذیری جرم‌های ریختنی آلومینایی با جایگزین کردن نانورس به جای آلومینای راکتیو و میکروسیلیس به مقدار ۵ درصد بهبود یافت.

۴- خواص مکانیکی نمونه‌های حاوی نانورس بخصوص در دماهای بالا مناسب‌تر از نمونه‌های حاوی آلومینای راکتیو و میکروسیلیس بود.

۵- استفاده از نانورس در ترکیب جرم‌ها منجر به افزایش مقدار فاز مولایت تولید شده بعد از پخت گردید.

References

[1] Jiezeng. W, Dafan. Z, Luju. Z, Xijun. L, Long. C, Bianmei. C, 2003, “Research on High Performance Ultra-low Cement Castable”, Proceeding of the Fourth International Symposium on Refractories, Dalian China, PP 231-235.
[2] روتشکا. ج، ترجمه دکتر بهزاد میرهادی، ۱۳۷۸، "مواد دیرگداز"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران
[3] Banerjee. S, 1998, “Monolithic Refractories , A Comprehensive Handbook”, World Scientific Publishing Co.
[4] Liu. x, Lorenz. R. K, Racher. R, 2003, “High Purity Calcium Aluminate Cements, Production and Properties”, Proceeding of the Fourth International Symposium on Refractories, Dalian China, pp 126- 131.
[5] Myhre. B, Hundere. A. M, 1997, “Substitution of Reactive Alumina With Microsilica in Low Cement and Ultra Low Cement Castable, Part II : the Effect of Temprature on Hot Properties”, UNITECR. 97,Vol. 1, pp 91-100.
[6] Myhre. B, Hundere. A. M, 1997, “Substitution of Reactive Alumina with Microsilica in Low Cement and Ultra Low Cement Castable, Part I : Properties Related to Installation and Demoulding”, UNITECR. 97, Vol. 1, pp 43-52.
[7] Yongting. W, Valdelievre. B, Bin. L, Parr. C, Changming. K, Nan. L, 2003, “The Use of Calcium Aluminate Cements in Monolithic Refractories of Tundish Applications”, Proceeding of the Fourth International Symposium on Refractories, Dalian China, PP 157-163.
[8] Kwong. K. S, Bennett. J. P, 2002, “Recycling Practices of Spent MgO-C Refractoeis”, Journal of Mineral & Materials Characterization & Engineering, Vol. 1, No. 2 , PP 69-78.
[9] Franklin. S. A, Tucker. B. J. S, 1995, “Hot Strength and Thermal Shock Resistance of Magnesia-Carbon Refractories”, British Ceramic Transactions, Vol. 24 , No. 4, PP 151-156.
[10] Benedetti. B. D, Burlando. G. A, 1989, “Corrosion Resistance of Resin Bonded Magnesia –Carbon Refractories”, British Ceramic Transactions Vol. 88, No. 1, PP 55-57.
[11] Tributh.H, Lagaly.G, (1986), Aufbereitung und Identifizierung von Boden- und Lagerstättentonen, GIT Fachz. Lab. 30, 524-529 .
[12] M. Khoeini, S. Bazgir, M. Tamizifar, A. Nemati, K. Arzani, “Investigation of the modification process and Morphology of organosilane Modified Nanoclay, Journal of Ceramics – Silikáty 53 (4) 254-259 (2009).
[13] M. Khoeini, S. Bazgir, M. Tamizifar, A. Nemati, K. Arzani, “Preparation and Morphological Study of Epoxy/Silane Modified Nanoclay Nanocomposites”, Asian Journal of Chemistry, Vol. 22, No. 1 (2010), 797-807.
[14] RASTEGAR. H, NEMATI. A, BAGHSHAHI.S, NORBAKHSH. A, 2009, “EFFECT OF AL2O3 COATING ON WETTABILITY AND OXIDATION RESISTANCE OF GRAPHITE”, UNITECR. 2009.