

بررسی تأثیر عوامل مهم در ساخت فیلترهای فومی سرامیکی بر پایه کاربید سیلیسیم بمنظور کاربرد در صنایع ریخته‌گری چدن

امیرحسین جمشیدی*^۱، ابوالحسن نجفی^۲، نجم‌الدین عرب^۳ و مهدی قهاری^۴

چکیده

یکی از مؤثرترین روش‌های حذف آخال و ناخالصی‌ها در ریخته‌گری فلزات کاربرد فیلترهای متخلخل سرامیکی است. این فیلترها در سامانه راهگامی می‌توانند سرباره، انواع آخال‌ها و ذرات خارجی را از مذاب خارج کنند. در این پژوهش، بمنظور ساخت فیلترهای فومی سرامیکی بر پایه کاربید سیلیسیم از روش غوطه‌وری اسفنج پلیمری از جنس پلی‌اورتان در دوغاب سرامیکی استفاده شد. دوغاب سرامیکی حاوی ذرات ریز در حد میکرون و زیر میکرون کاربید سیلیسیم، آلومینا، بال‌کلی و زیرکن بود. افزودنی‌های دیگر مانند سیلیس کلونیدی و کربوکسی متیل سلولز^۴ برای افزایش خاصیت چسب و ایجاد تیکسوتروپی به دوغاب اضافه شدند. پس از ساخت فیلترها ویژگی‌های مکانیکی و ریز ساختاری فیلترها مورد بررسی قرار گرفت. بوجود آمدن فاز مولایت در کنار فاز کاربید سیلیسیم در ریزساختار فیلترها یکی از عوامل استحکام بخشی و افزایش دیرگدازی است که به وسیله آزمون پراش اشعه ایکس ب‌وجود آمدن این فازها اثبات شد. برای مقایسه عملکرد فیلتر داخلی با فیلترهای وارداتی مذاب چدن نشکن از فیلترها عبور داده شد و دانسیته قطعات ریخته‌گری مقایسه گردید. نتایج نشان دادند که فیلتر داخلی عملکردی نزدیک به فیلتر خارجی دارد. بررسی ریزساختار به وسیله تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که فازهای سرامیکی کاربید سیلیسیم و مولایت به صورت پراکنده و کاملاً هم‌وزن در داخل ریز ساختار فیلترها تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: سرباره، آخال، فیلتر فومی سرامیکی، اسفنج پلی‌اورتان، دوغاب سرامیکی، کاربید سیلیسیم، مولایت.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه،

۲- مربی، هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه.

۳- استادیار پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ، گروه نانومواد.

*- نویسنده مسئول مقاله: jamshidi_amirhossein@yahoo.com

^۴ -Carboxymethyl cellulose (CMC)

پیشگفتار

فیلترهای سرامیکی به سه دسته هسته‌های صافی، شبکه یا پارچه‌های بافته شده و فیلترهای سرامیکی موزاییکی تقسیم‌بندی می‌شوند. فیلترهای سرامیکی موزاییکی خود شامل دو گروه فیلترهای سلولی و فیلترهای فومی می‌باشند. روش ساخت هسته‌های صافی، شبکه‌های بافته شده و فیلترهای سلولی به ترتیب از راه پرس، بافتن الیاف‌های سرامیکی و اکستروژن می‌باشد [۱]. روش‌های تولید فیلترهای فومی سرامیکی با حفره‌های بازا می‌توان در سه دسته طبقه‌بندی کرد. این روش‌ها شامل: استفاده از اسفنج، استفاده از عوامل فوم‌کننده و استفاده از ماده‌ای به عنوان نگهدارنده می‌باشد. روش استفاده از اسفنج نخستین بار در اوایل سال ۱۹۶۰ مورد استفاده قرار گرفت. در این روش از یک اسفنج طبیعی و یا فوم پلی‌اورتان به عنوان قالب استفاده می‌شود، دوغاب سرامیکی را روی آن پوشش می‌دهند و سپس آن را پخت می‌کنند [۲]. روش دوم (استفاده از عوامل فوم‌کننده) بر پایه تولید حباب‌های هوا در مذاب سرامیک در هنگام پخت قطعه استوار می‌باشد، در این روش مخلوطی از ترکیب مواد سرامیکی مورد نظر و مواد آلی شکل‌دهنده می‌شوند. مواد آلی در هنگام پخت ایجاد حباب می‌کنند و باعث ایجاد فوم مورد نظر می‌گردند، این روش برای نخستین بار در سال ۱۹۷۳ معرفی گردید [۲]. برای تولید فوم سرامیکی در روش سوم (استفاده از ماده‌ای به عنوان نگهدارنده) از یک قطعه متخلخل به عنوان نگه‌دارنده استفاده می‌شود. برای مثال، ابتدا نمک کلرید سدیم به صورت متخلخل شکل‌دهنده می‌شود و سپس آن را در پلی‌کاتبوسیلان غوطه‌ور می‌کنند تا پلیمر درون تخلخل‌های قطعه نفوذ کند، سپس نمک را حل کرده و با تجزیه حرارتی پلیمر باقی‌مانده به فوم SiC دست پیدا می‌کنند. برای تولید فیلترهای فومی سرامیکی به طور معمول از روش نخست (استفاده از اسفنج) استفاده می‌شود. روش ساخت فیلترهای فومی در این روش به ترتیب شامل انتخاب اسفنج پلیمری مناسب که عموماً از جنس پلی‌اورتان می‌باشد، آماده‌سازی اسفنج پلیمری، تهیه و آماده‌سازی دوغاب سرامیکی، غوطه‌وری اسفنج پلیمری درون دوغاب سرامیکی، خارج کردن دوغاب اضافی از

اسفنج پلیمری، خشک کردن نمونه، حذف پلیمر در هنگام پخت و عملیات پخت و زینترینگ می‌باشد [۲ و ۳]. ساختمان سه بعدی و به هم پیوسته فیلترهای فومی سرامیکی و ویژگی آن‌ها در جداسازی بیش‌تر آخال‌ها کارایی فیلتراسیون آن‌ها را نسبت به سایر فیلترهای سرامیکی بیش‌تر می‌کند [۴]. فیلترها فومی باید دارای استحکام فشاری مناسب، دیرگدازی بالا، پایداری شیمیایی و مقاومت به شوک حرارتی باشند تا هنگام عبور مذاب از آن‌ها در درون قالب دچار تخریب و منشأ آلودگی در مذاب نشوند [۵]. آخال‌ها از منابع گوناگونی مانند دیواره کوره مذاب، واکنش مذاب با محیط اطراف، سرباره، کف مذاب، ذرات دیرگداز پاتیل‌ها و ملاقه‌ها، ناخالصی‌های موجود در ماسه ریخته‌گری و اکسیداسیون مذاب در اثر تلاطم هنگام ورود به قالب می‌توانند وارد مذاب شوند [۲]. استفاده از فیلتر در ریخته‌گری فلزات سبب کاهش ضایعات و بهبود ویژگی‌های، بهبود ماشین‌کاری، ساده شدن سیستم بارریزی و بهبود در تولیدات می‌شود [۶]. حذف آخال‌ها به وسیله فیلترهای فومی سرامیکی باعث افزایش استحکام کشش نهایی و استحکام تسلیم، افزایش مقاومت به خستگی، بهبود جوش‌پذیری فلزات، بهبود سیالیت تا حدود ۲۵٪ و افزایش مقاومت به پارگی گرم در قطعات ریختگی می‌شود [۷ و ۸]. برای ساخت فیلترهای دما بالا معمولاً از فیلترهای فومی سرامیکی از جنس کاربیدسیلیسیم به دلیل داشتن استحکام بالا، مقاومت به شوک حرارتی، هدایت حرارتی مناسب، مقاومت به سایش و مقاومت به خوردگی بالایی که در مقابل سرباره دارند استفاده می‌شود [۹]. پژوهش انجام شده برای ساخت فیلترهای فومی سرامیکی بر پایه کاربید سیلیسیم شامل تأثیر افزودن درصدهای متفاوت از کاربیدسیلیسیم و آلومینا و بال‌کلی و یا بنتونیت به عنوان مواد اصلی سازنده بر ویژگی‌های فیلترها، تأثیر بوجود آمدن فازهای مولایت و کاربیدسیلیسیم و بدست آوردن فیلترهایی با ویژگی‌های مکانیکی و حرارتی مناسب و بررسی ویژگی‌های رئولوژی دوغاب و اثر آن در ساخت فیلترها می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش ساخت فیلترهای فومی سرامیکی بر پایه کاربید سیلیسیم بود که قابلیت استفاده در صنعت ریخته‌گری و جایگزینی با نمونه‌های مشابه وارداتی را

از محلول آبی یا ۹/۲۵ درصد وزنی از کل دوغاب) تهیه شد. منظور از درصدهای وزنی متفاوت از سیلیس کلئیدی، درصد وزنی از آبی است که برای ساخت دوغاب استفاده می‌شود. برای ساخت دوغاب به مقدار ۳۷ درصد وزنی دوغاب از آب دیونیزه استفاده شد. برای ساخت دوغاب ابتدا محلول CMC و محلول سیلیس کلئیدی تهیه شد و با هم مخلوط شدند، سپس به ترتیب پودر کاربیدسیلیسیم، آلومینا، بال کلی و زیرکن ودر انتها TPP به عنوان روان‌ساز اضافه شدند و محلول دوغاب به مدت ۴۵ دقیقه در زیر همزن مکانیکی با سرعت ۱۳۰۰ rpm به هم خورد. برای اینکه پوشش خوبی بر روی فوم‌های پلی‌اورتان تشکیل شود، دوغاب باید دارای رفتار تیکسوتروپیک و شبه‌پلاستیک باشد [۱۱ و ۱۲]. هنگام تولید فوم‌های پلیمری لایه‌ای از چربی بر روی سطح آن‌هاست که پوشش‌دهی فوم‌ها را با مشکل روبه‌رو می‌کند، به همین دلیل این لایه چربی باید از روی فوم‌های پلی‌اورتان حذف شود [۱۳]. برای حذف این لایه از چربی در این پژوهش از محلول چربی‌گیر (پودر بوراکس که در آب مقطر حل شده بود) استفاده شد. سپس فوم‌ها در دمای °C ۶۰ به مدت ۱۵ دقیقه خشک شدند و در نهایت، عملیات غوطه‌وری در دوغاب انجام شد. پس از این‌که فوم از درون دوغاب بیرون آورده شد، باید دوغاب اضافی آن خارج شود. معمولاً برای خارج کردن دوغاب اضافی باید فوم در حدود ۷۵٪ ارتفاع خود فشرده شود [۱۴] که در این پژوهش این کار به وسیله یک رول با ابعاد ۱۲/۵×۵۰ میلی‌متر انجام شد و فوم‌ها به مقدار ۱۸/۷۵ میلی‌متر فشرده شدند. سپس فوم‌ها به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و در نهایت، عملیات پخت انجام شد. اسفنج‌های پوشش داده شده باید تا دمای °C ۷۰۰ تا °C ۷۵۰ با سرعت پایینی در کوره حرارت داده شوند تا مواد آلی تشکیل دهنده فوم سوخته و خارج گردند. این مواد به صورت گاز از بدنه خارج می‌شوند بنابراین، باید سرعت حرارت‌دهی تا هنگام خروج کامل این مواد پایین (زیر °C ۵) باشد تا آسیبی به دیواره‌های سرامیکی شکل گرفته در اثر تنش وارد شده در اثر خروج این مواد وارد نشود [۱۵]. در این پژوهش نمونه‌ها از دمای محیط تا °C ۷۵۰ با سرعت ۳/۷۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه

داشته باشد، هم‌چنین، اثر سیلیس کلئیدی در ساخت فیلترها و بررسی دماهای پخت مناسب با توجه به ترکیب شیمیایی دوغاب و بوجود آمدن فاز مولایت در دماهای پایین به عنوان عاملی مهم در استحکام‌بخشی فیلترها مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش پژوهش

فلوچارت ساخت فیلترهای فومی سرامیکی در شکل ۱ نشان داده شده است. اسفنج پلیمری مورد استفاده در این پژوهش از جنس پلی‌اورتان و دارای ۲۰ حفره در هر اینچ طولی بود، اسفنج‌ها به ابعاد $40 \times 40 \times 25$ mm³ بریده شدند. کاربید سیلیسیم مورد مصرف از نوع سیاه رنگ با میانگین اندازه دانه حدود ۲۰ میکرون، آلومینا مورد استفاده از نوع آلفا با کد MR70 با میانگین اندازه ذرات زیر ۱ میکرون و بال کلی مصرفی ساخت شرکت WBB¹ بود. آنالیز مواد اولیه را می‌توان در جدول (۱) مشاهده کرد. از کربوکسی متیل سلولز (CMC) برای پایداری دوغاب و جلوگیری از ته‌نشینی ذرات SiC و عامل تیکسوتروپی [۱۰ و ۱۱]، از سدیم تری پلی فسفات (TPP) به عنوان روان‌ساز و از سیلیس کلئیدی (Silica Sol) به عنوان چسب و عاملی که ویسکوزیته دوغاب را افزایش می‌دهد و سبب بهبود رفتار شبه پلاستیک (Pseudo-Plastic) در دوغاب می‌گردد، استفاده می‌شود [۱۱]. از زیرکن به مقدار ۵ درصد وزنی برای بهبود استحکام‌دهی و افزایش دیرگدازی فیلترها در ترکیب دوغاب استفاده شد. آنالیز شمش مورد استفاده برای ریخته‌گری چدن نشکن در جدول ۲ مشخص شده است. از فرو سیلیکون منیزیم به مقدار ۴٪ وزنی برای نشکن سازی استفاده شد.

برای ساخت فیلترهای فومی سرامیکی ۴ سری دوغاب سرامیکی با درصدهای متفاوت از سیلیس کلئیدی در نظر گرفته شد. دوغاب با کد S₀ (بدون سیلیس کلئیدی)، کد S₁₀ (۱۰ درصد وزنی سیلیس کلئیدی از محلول آبی یا ۳/۷ درصد وزنی از کل دوغاب)، کد S₁₇ (۱۷ درصد وزنی سیلیس کلئیدی از محلول آبی یا ۶/۲۹ درصد وزنی از کل دوغاب) و کد S₂₅ (۲۵ درصد وزنی سیلیس کلئیدی

دلیل این موضوع تشکیل شدن فاز مولایت کم‌تر در این دما بود. در شکل ۲ نمودار درصد انقباض حاصل از پخت بر حسب دمای پخت برای نمونه‌ها با کد S17 نشان داده شده است. انقباض ناشی از پخت به این دلیل اهمیت دارد که اگر انقباض نمونه زیاد باشد، احتمال ترک برداشتن دیواره‌های فیلترهای فومی نیز افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهند با بالا رفتن دما انقباض بیش‌تر شده هم‌چنین، در دمای 1400°C و 1300°C ترک‌هایی روی سطح مشاهده شد که حاصل انقباض هستند.

نتایج در مورد استحکام مکانیکی

استحکام فشاری نمونه‌ها اندازه‌گیری و با نمونه‌های خارجی مقایسه شد. استحکام نمونه‌ها با افزایش مقدار سیلیس کلئیدی افزایش یافته است. بهترین استحکام مربوط به فیلترهایی بود که با دوغاب با کد S25 ساخته شده بودند. افزودن سیلیس کلئیدی به دلیل این‌که ویسکوزیته و تیکسوتروپی دوغاب را افزایش می‌دهد و سبب چسبناک شدن دوغاب می‌شود، پوشش بیش‌تری بر روی فوم‌ها ایجاد می‌کند. هم‌چنین، به دلیل کمک به ایجاد فاز مولایت در ترکیب سبب افزایش استحکام فشاری نمونه‌ها شده است. تشکیل فاز مولایت با ساختار سوزنی شکل سبب افزایش استحکام فیلترهای فومی سرامیکی می‌شود [۱۱ و ۱۶]. جدول ۳ نتایج استحکام فشاری فیلترهای تولید شده با دوغاب‌های S0 و S10 و S17 و S25 و فیلترهای خارجی را نشان می‌دهد. با افزایش مقدار سیلیس کلئیدی بیش از ۲۵ درصد، ویسکوزیته دوغاب به شدت افزایش و تیکسوتروپی کاهش پیدا می‌کرد و در زمان شکل‌دهی فوم‌ها، بسیاری از تخلخل‌ها بسته می‌ماندند. به همین جهت افزودن سیلیس کلئیدی باید به مقدار اِپتیمم انجام شود تا از کارایی فیلترها کاسته نشود.

نتایج آزمون پراش اشعه ایکس

در آزمون پراش اشعه ایکس فازهای کاربید سیلیسیم (SiC)، آلومینا (Al_2O_3)، مولایت ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) و کریستوبالیت (SiO_2) شناسایی شدند. شکل ۳ دیاگرام آنالیز فازی برای نمونه‌های S0 و S10 و S17 و S25 که در

حرارت داده شدند تا اسفنج به گونه کامل سوخته و به صورت گاز از بدنه سرامیکی شکل گرفته خارج گردد. پس از آن به مدت ۳۰ دقیقه در آن دما نگهداری شد تا باقی‌مانده مواد پلی‌اورتان سوخته و خارج شوند، سپس حرارت‌دهی با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه تا دمای بیشینه انجام گرفت. برای پخت نمونه‌ها از یک کوره 1400°C که حرارت‌دهی در آن قابل کنترل بود استفاده شد. نمونه‌ها در ۴ دمای 1400°C ، 1300°C ، 1275°C و 1250°C به مدت ۲ ساعت پخت شدند تا بتوان بهترین دما را برای عملیات پخت پیدا کرد. برای اندازه‌گیری استحکام فشاری از دستگاه Instron مدل HSC1330 ۳۰۰۰ بر اساس استاندارد ASTM D4179 استفاده شد. دستگاه XRD برای مطالعه فازهای موجود در فیلترها ساخت شرکت زیمنس مدل D500 بود که با جریان KV ۳۰ و 250mA کار می‌کرد. برای مطالعه ریزساختار نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مدل 2300NV ساخت شرکت Cam Scan استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج در مورد پخت نمونه‌ها

بهترین دما برای پخت 1250°C بود. نمونه پخته شده در دمای 1400°C و 1300°C کاملاً دچار انقباض و تغییر شکل شدند و مشخص شد که این دماها برای پخت زیاد است و در این دماها مشکل اکسیداسیون برای ذرات کاربید سیلیسیم وجود دارد [۹]. نمونه پخته‌شده در دمای 1250°C کاملاً سالم و بدون تغییر شکل بود. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 1250°C به مدت ۲ ساعت در دمای بیشینه، یعنی 1250°C نگهداری شدند و پس از آن نمونه‌ها در داخل کوره سرد شدند تا به دمای محیط برسند.

برای بررسی انقباض ناشی از پخت، طول اولیه نمونه‌ها پیش از پخت و طول نهایی پس از پخت اندازه‌گیری و درصد انقباض از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۲]:
 $(100 \times \frac{\text{طول اولیه} - \text{طول نهایی}}{\text{طول اولیه}})$. هم‌چنین، دمای 1200°C برای پخت نمونه‌ها مناسب نبود زیرا استحکام نمونه‌های پخته شده در این دما پایین بود که

نتایج میکروسکوپ الکترونی روبشی

در شکل ۵ (الف) تصویر SEM از شبکه سه بعدی و به هم پیوسته فیلترسیلیکون کارباید که مربوط به نمونه S₂₅ است، مشاهده می‌شود. کانال‌های پیچ در پیچ فیلترهای فومی به گیر انداختن آخال‌ها و ناخالصی‌ها کمک می‌کنند. اسفنج پلی‌اورتان هنگامی که سوخته و به صورت گاز از بدنه سرامیکی خارج می‌شود، یک مقطع مثلی شکل در ریز ساختار ایجاد می‌کند [۱۱]. در شکل ۵ (الف) با بزرگنمایی کم‌تر (ب) و (ج) با بزرگنمایی بیش‌تر تصویر مقطع مثلی ناشی از خروج اسفنج پلیمری مربوط به نمونه S₀ و S₂₅ نشان داده شده است. بوجود آمدن فاز مولایت در فیلترهای فومی سرامیکی یکی از عوامل اصلی استحکام بخشی است [۱۸]. در شکل ۵ (د) تصویر تیغه‌های مولایت که روی ذرات SiC تشکیل شده اند، مشخص می‌باشد. شکل ۶ (الف) و (ب) پل تشکیل شده از ذرات SiC و تیغه‌های مولایت را که به صورت تیغه‌های روشن رنگ می‌باشند، نشان می‌دهند. شکل ۶ (ب) تیغه‌های مولایت در نمونه S₂₅ را نشان می‌دهد که از منطقه مشخص شده مولایت آنالیز EDS گرفته شد که در شکل ۷ نتایج آن آمده است. بر اساس آنالیز EDS تیغه‌های تشکیل شده مولایت (3Al₂O₃2SiO₂) بودند.

نتیجه‌گیری

۱- با کم شدن مقدار آب دوغاب و استفاده از محلول سیلیس کلونیدی به عنوان جایگزین آب به مقدار بیشینه ۲۵ درصد وزنی از محلول آبی، تیکسوتروپی و ویسکوزیته دوغاب افزایش یافت و سبب چسبناک‌تر شدن دوغاب گردید و در نتیجه آن پوشش بهتری بر روی فوم‌ها تشکیل شد.

۲- مقایسه عملکرد فیلترها نشان می‌داد که دانسیته قطعات ریختگی با استفاده از فیلترهای ساخته شده و دانسیته قطعات ریختگی با استفاده از فیلترهای خارجی به هم نزدیک بوده و از دانسیته قطعات ریختگی بدون استفاده از فیلتر بالاتر بوده که علت آن گیر افتادن آخال‌ها درون فیلتر و کاهش آخال و ناخالصی در قطعات است.

۳- با افزایش مقدار سیلیس کلونیدی استحکام فیلترها بیش‌تر شد که علت آن تشکیل فاز مولایت در دمای

دمای ۱۲۵۰ °C زینتر شده‌اند را نشان می‌دهد. وجود فاز مولایت در ساختار فیلترها سبب افزایش استحکام شده همان گونه که در دیاگرام‌های آنالیز فازی مشاهده می‌شود، با افزایش سیلیس کلونیدی پیک‌های مولایت شدت بیش‌تری گرفته‌اند که علت آن را می‌توان افزایش مقدار سیلیس در ترکیب دانست که در دمای بالا با آلومینا تشکیل مولایت را می‌دهند.

بررسی عملکرد فیلترهای ساخته شده

برای بررسی عملکرد فیلترهای ساخته شده و مقایسه با فیلتر خارجی، در داخل یک قالب ماسه‌ای دو فیلتر داخلی و خارجی درون سیستم راهگامی تعبیه شدند و یک تغذیه برای این دو فیلتر در نظر گرفته شد تا زمان بارریزی نیز یکسان باشد. برای کارگذاری فیلتر مناسب در داخل قالب باید با توجه مساحت تنگه و سطح مؤثر فیلتر اندازه آن انتخاب شود [۱۷]. دانسیته تئوری چدن نشکن در حدود ۷/۲ گرم بر سانتیمتر مکعب است، بنابراین هرچقدر دانسیته عملی به این مقدار نزدیک‌تر باشد، یعنی فیلتر عملکردی مناسب داشته و آخال و ناخالصی را به خود جذب کرده است. پس از ریخته‌گری برای اندازه‌گیری دانسیته از روش ارشمیدس استفاده شد. در شکل ۴ نمودار دانسیته قطعات ریختگی با استفاده از فیلتر خارجی، فیلتر داخلی و بدون فیلتر با هم مقایسه شده است. این آزمایش برای هر مرحله بر روی ۷ نمونه انجام شده و میانگین نتایج در نمودار مشخص شده است. همان گونه که از نتایج مشخص است، دانسیته عملی نمونه‌های چدنی با فیلتر از نمونه‌های بدون فیلتر، به دانسیته تئوری نزدیک‌تر است. فیلتر داخلی عملکردی مناسب داشته و تقریباً از لحاظ دانسیته میانگین نزدیک به فیلتر خارجی است. وجود آخال‌ها باعث افزایش حباب‌های داخلی درون قطعات فلزی می‌شود به همین جهت دانسیته نمونه‌ها کاهش می‌یابد و استفاده از فیلتر مانع از این اتفاق می‌شود، به همین دلیل، دانسیته نمونه‌های بدون فیلتر کم‌تر از نمونه‌های فیلتردار است.

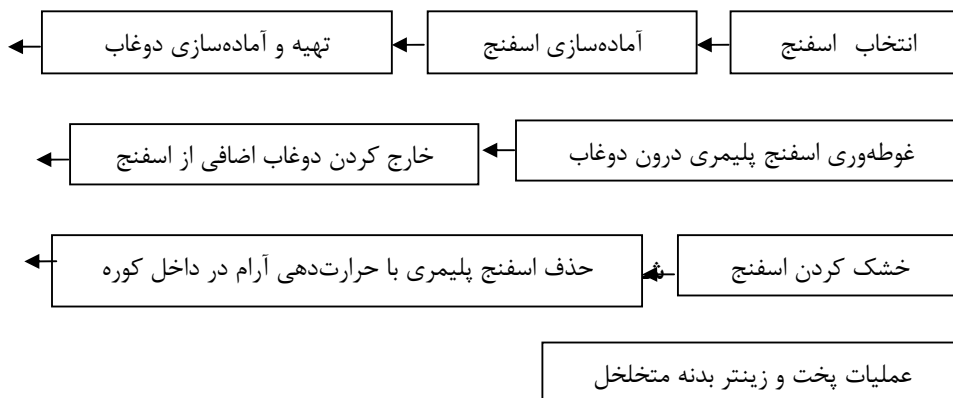
الکترونی روبشی به اثبات رسید.

در فیلترها بود که وجود فاز مولایت در فیلترها به وسیله آنالیز پراش اشعه ایکس و تصاویر میکروسکوپ

منابع

- 1- Arzt, A. M. "Filtration of Ferrous Metals", Modern Casting, March, pp.24-27, 1986.
- 2- I, Kozo, "Porous Materials", Ceramic Transaction, the American Ceramic Society, 1993.
- 3- Salvini, V.R. "Optimizing Permeability, Mechanical Strength of Ceramic Foams". Soc. Bull, Vol.80., pp.49-54, 2000.
- 4- Matthews et al., A.L. "Flow Rate and Capacity of Molten Metal Filters for Ductile Iron", AFS Transactions, pp.183-187, 1995.
- 5- W.H.Sutton, J.C. Palmer, J.R.Morris, "Development of Ceramic Foam Materials for Filtering High Temperature Alloys", AFS Transaction, pp.339-346, 1985.
- 6- Sahu, S. Talwar, V. "Use of Ceramic Foam Filter in a Stainless Steel foundry", AFS Transactions, pp.45-49, 1992.
- 7- Neff, D. "Effective Molten Filtration in Production Highest Quality Die Casting", SDCE Conference, 14th International, vol. 34, pp. 1-6, 1987.
- 8- Liu, Q. and Smith, R.W. "The Influence of Marangoni Flows on Crack Growth in Cast Metals", AFS Transactions, Vol. 101, p.759, 1993 .
- 9- Somiya, Sh. Inomota, Y. "Silicon Carbide Ceramics", Vol.1,1991.
- 10- Zhu, X. Jiang, D. Tan, Sh. "Preparation of Silicon Carbide Reticulated Porous Ceramics", Material Science and Engineering, A323, pp.232-238, 2002 .
- 11- Akpinar, S. Altun, I.A. Onel, K. "Effects of SiC addition on the structure and properties of reticulated porous mullite ceramics", Journal of European Ceramic Society, pp, 2727-2734, 2010.
- 12- Zhu, X. Jiang, D. Tan, Sh. "Reaction bonding of open cell SiC-Al₂O₃ composites", Material Research Bulletin, 36, 2015, (2001) 2003 .
- 13- Hargus, et al., "Process for Forming a Ceramic Foam", US Pat.4, 886, 011, September 12, 1989.
- 14- Tungatt, et al., "Technique for Forming Silicon Carbide Coated Porous Filters", US Pat. 4, 708, 740, November 24, 1987.
- 15- Odaka, F. Tanuma, E. "High Temperature Ceramic Filter", US Pat. 5,676,833, Oct. 14, 1997.
- 16- Schneider, H. Okada, K. Pask, J. "Mullite and Mullite Ceramics", John Wiley & Sons, pp. 152-160, 1994.
- 17- Gauckler, L.J. Waeber, M.M. and Conti, C. "Ceramic foam for molten metal filtration", Journal of Metals, pp. 47-50, 1985.
- 18- Carla, C. Osawa, A. Bertran, " Mullite Formation from Mixtures of Alumina and Silica Sols: Mechanism and pH Effect", J. Braz. Chem. Soc. Vol. 16, No. 2, pp. 251 -258, 2005.

پیوست‌ها



جدول ۱- آنالیز مواد اولیه.

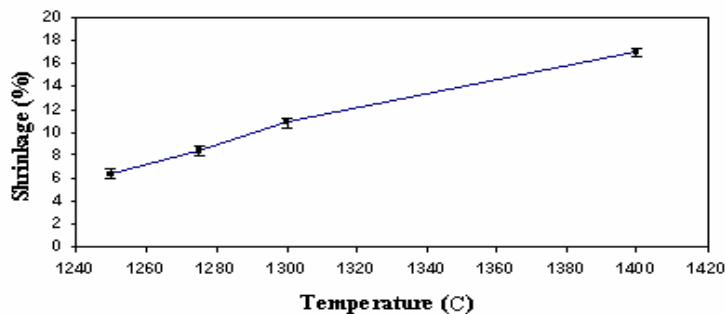
	SiC	SiO ₂	FreeC	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	ZrO ₂	L.O.I
Silicon carbide	۹۷/۹	۱/۱	۰/۵۲	۰/۴۴	۰/۰۴	---	---	---	---	---	---	---
Alumina	---	۰/۰۸	---	۹۹/۸	۰/۰۲	< ۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۶	---	---	---	---
Ball Clay	---	۴۷/۷	---	۳۲/۹	۱/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۹	۱/۹	---	۱۴/۹
Zircon	---	۳۲	---	۰/۵	۰/۲	---	---	---	---	---	۶۷	۰/۳

جدول ۲- ترکیب شیمیایی شمش مورد استفاده برای ریخته‌گری (درصد وزنی).

C	Si	S	P	Mn	Cu	Ni	Cr	Fe
۳/۸ - ۴/۲	۰/۸ - ۱/۲	< ۰/۰۲	< ۰/۰۳	< ۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۱	BAL

فرمول ۱- محاسبه درصد انقباض ناشی از پخت نمونه‌ها:

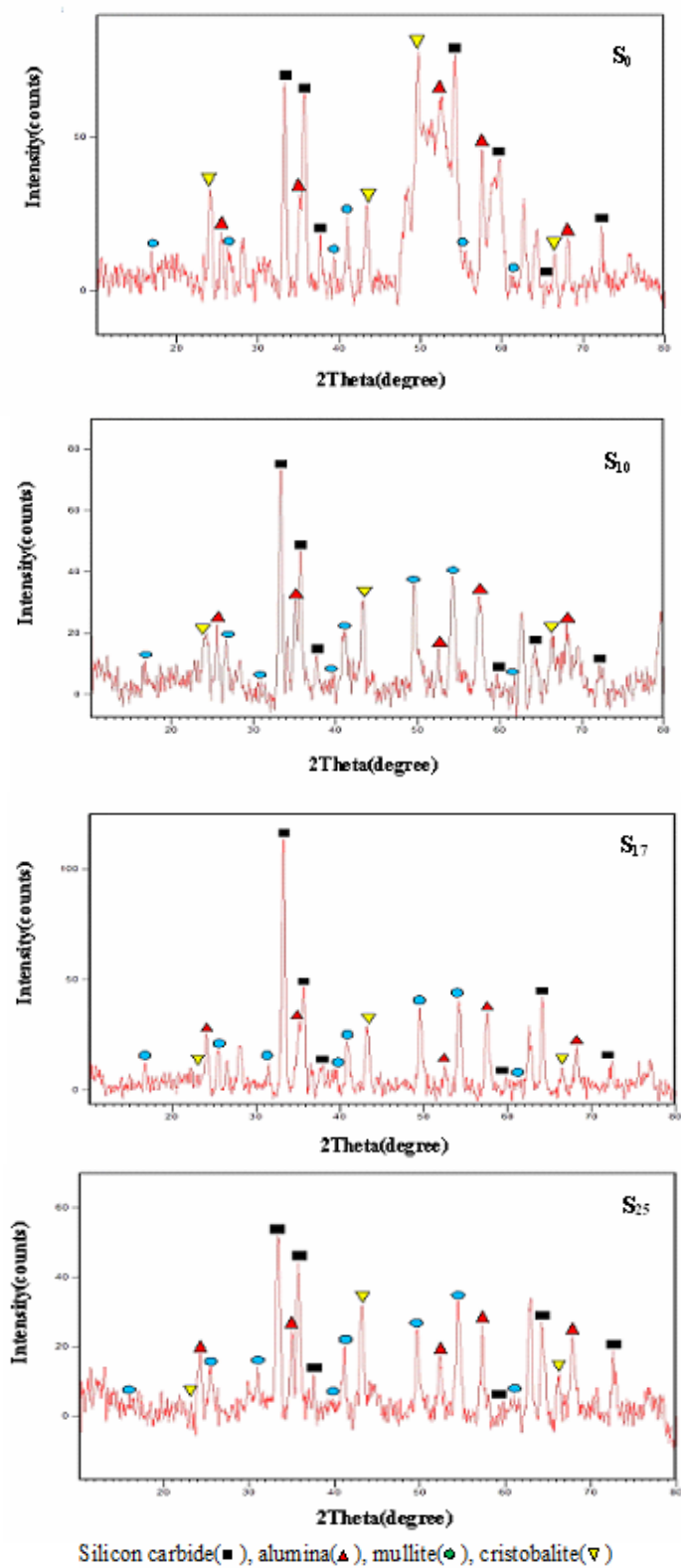
$$(\text{طول اولیه} - \text{طول نهایی}) / \text{طول اولیه} \times 100 = \text{درصد انقباض}$$



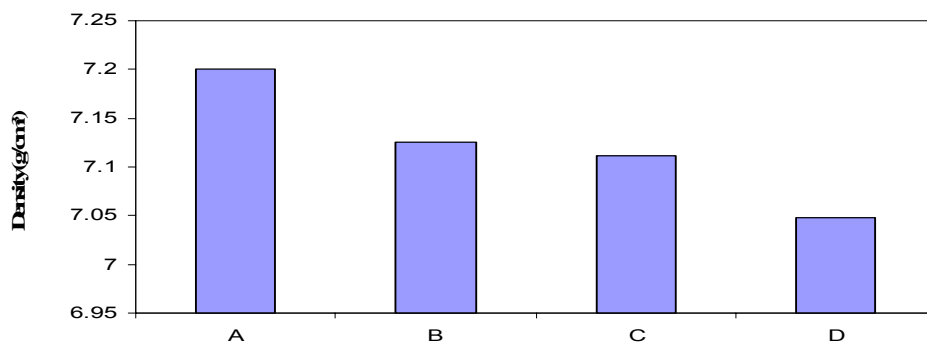
شکل ۲- درصد انقباض در دماهای گوناگون.

جدول ۳- نتایج استحکام فشاری نمونه‌های ساخته شده و نمونه‌های خارجی بر حسب MPa.

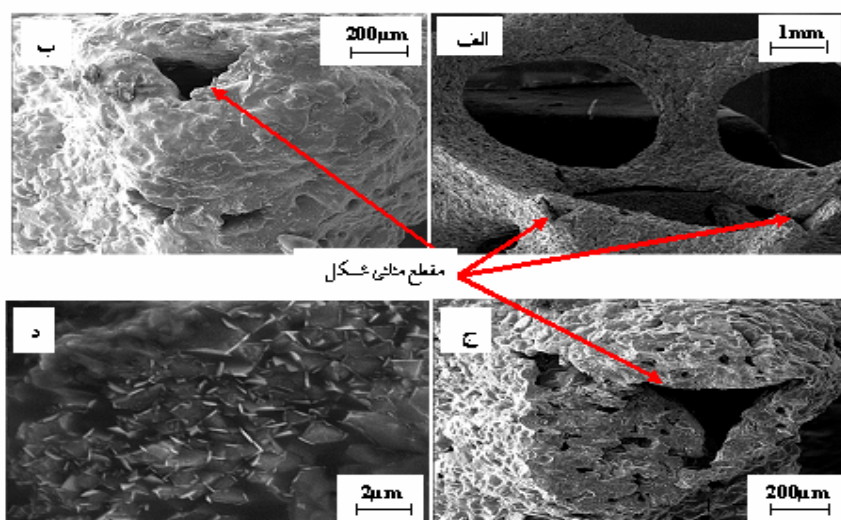
کد نمونه‌ها	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	میانگین
S ₀	۰/۳۹۱	۰/۴۴۷	۰/۴۲	۰/۳۸۱	۰/۴۰۹۷
S ₁₀	۰/۴۳۱	۰/۴۵۲	۰/۴۳۷	۰/۴۴	۰/۴۴
S ₁₇	۰/۵۱۲	۰/۵۴۷	۰/۴۹	۰/۵۴۳	۰/۵۲۳
S ₂₅	۰/۶۱	۰/۶۲۵	۰/۵۹	۰/۶۱۴	۰/۶۰۹۷
نمونه خارجی	۰/۶۹۷	۰/۷۹۲	۰/۷۶۱	۰/۷۶۷	۰/۷۵۴۲



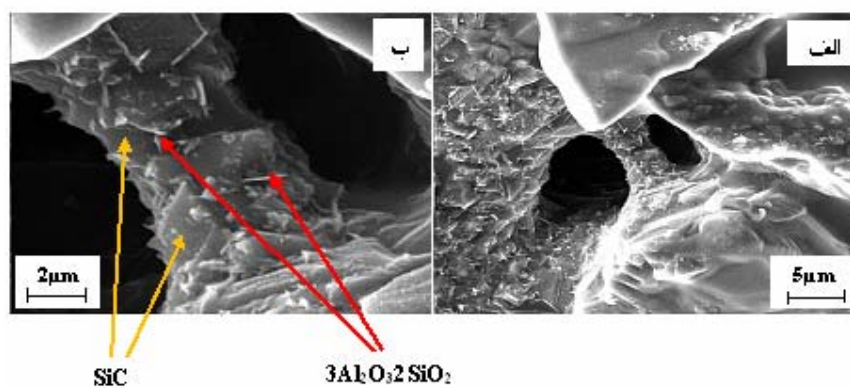
شکل ۳- آنالیز فازی مربوط به نمونه‌ها با کد S₀ و S₁₀ و S₁₇ و S₂₅



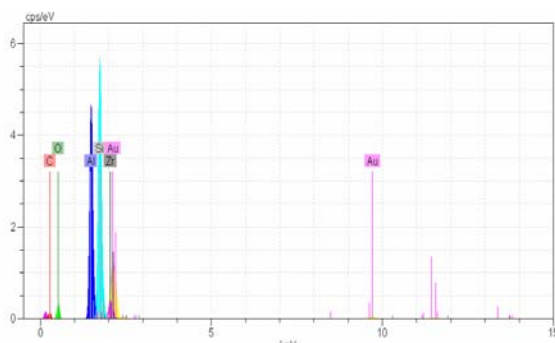
شکل ۴- نمودار ستونی مقایسه دانسیته قطعات چدن ریختگی با استفاده از فیلتر خارجی B، فیلتر داخلی C و بدون فیلتر D با دانسیته تئوری چدن نشکن A.



شکل ۵- تصاویر SEM (الف) شبکه سه بعدی فومها، (ب) مقطع مثلثی ناشی از خروج اسفنج پلیمری، (ج) و (د) ذرات SiC به همراه تیغه‌های مولایت.



شکل ۶- تصاویر SEM (الف) و (ب) پل تشکیل شده از ذرات SiC و تیغه‌های مولایت.



شکل ۷- آنالیز EDS مربوط به تیغه‌های مولایت.

Element	Norm. c [Wt.-%]	Atom. C [At.-%]
Carbon	6.42	15.01
Oxygen	12.06	21.16
Aluminium	26.63	27.72
Silicon	31.98	31.98
Zirconium	5.18	1.59
Gold	17.74	2.53