

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

امیرحسین جمشیدی^{1*}، ابوالحسن نجفی²، نجم‌الدین عرب² و مهدی قهاری³

چکیده

یکی از مؤثرترین روش‌های حذف آخال و ناخالصی‌ها در ریخته‌گری فلزات کاربرد فیلترهای متخلخل سرامیکی است. این فیلترها در سامانه راهگاهی می‌توانند سرباره، انواع آخال‌ها و ذرات خارجی را از مذاب خارج کنند. در این پژوهش، بمنظور ساخت فیلترهای فومی سرامیکی بر پایه کاربرد 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 کاربرد سیلیسیم، آلومینا، بال‌کلی و زیرکن بود. افزودنی‌های دیگر مانند سیلیس کلئیدی و کربوکسی متیل سلولز⁴ 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 کاربرد 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 کاربرد 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، کاربرد سیلیسیم، مولایت.

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه.

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

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

*- نویسنده مسئول مقاله: jamshidi_amirhossein@yahoo.com

⁴-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 [1]. روش‌های تولید فیلترهای فومی سرامیکی با حفره‌های بازا می‌توان در سه دسته طبقه بندی کرد. این روش‌ها شامل: استفاده از اسفنج، استفاده از عوامل فوم کننده و استفاده از ماده‌ای به عنوان نگهدارنده می‌باشد. روش استفاده از اسفنج نخستین بار در اوایل سال 1960 مورد استفاده قرار گرفت. در این روش از یک اسفنج طبیعی و یا فوم پلی اورتان به عنوان قالب استفاده می‌شود، دوغاب سرامیکی را روی آن پوشش می‌دهند و سپس آن را پخت می‌کنند [2]. روش دوم (استفاده از عوامل فوم کننده) 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 شکل داده می‌شوند. مواد آلی در هنگام پخت ایجاد حباب می‌کنند و باعث ایجاد فوم مورد نظر می‌گردند، این روش برای نخستین بار در سال 1973 معرفی گردید [2]. برای تولید فوم سرامیکی در روش سوم (استفاده از ماده ای به عنوان نگهدارنده) از یک قطعه متخلخل به عنوان نگه دارنده استفاده می‌شود. برای مثال، ابتدا نمک کلرید سدیم به صورت متخلخل شکل داده می‌شود و سپس آن را در پلی کاتبوسیلان غوطه ور می‌کنند تا پلیمر درون تخلخل‌های قطعه نفوذ کند، سپس نمک را حل کرده و با تجزیه حرارتی پلیمر باقی مانده 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 پلی اورتان 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 [2 و 3]. 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 [4]. 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 [5]. 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 [2]. استفاده از فیلتر در ریخته‌گری فلزات سبب کاهش ضایعات و بهبود ویژگی‌های، بهبود ماشین‌کاری، ساده شدن سیستم بارریزی و بهبود در تولیدات می‌شود [6]. 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 25٪ و افزایش مقاومت به پارگی گرم در قطعات ریخته‌گری می‌شود [7 و 8]. 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 [9]. پژوهش انجام شده برای ساخت فیلترهای فومی سرامیکی بر پایه کاربید سیلیسیم شامل تأثیر افزودن درصد‌های متفاوت از کاربیدسیلیسیم و آلومینا و بال کلی 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

داشته باشد، همچنین، اثر سیلیس کلوئیدی 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 1 نشان داده شده است. اسفنج پلیمری مورد استفاده در این پژوهش از جنس پلی اورتان و دارای 20 حفره در هر اینچ طولی بود، اسفنج ها به ابعاد $40 \times 40 \times 25 \text{ mm}^3$ بریده شدند. کاربرد سیلیسیم مورد مصرف از نوع سیاه رنگ با میانگین اندازه دانه حدود 20 میکرون، آلومینا مورد استفاده از نوع آلفا با کد MR70 با میانگین اندازه ذرات زیر 1 میکرون و بال کلی مصرفی ساخت شرکت WBB¹ بود. آنالیز مواد اولیه را می توان در جدول (1) مشاهده کرد. از کربوکسی متیل سلولز (CMC) برای پایداری دوغاب و جلوگیری از ته نشینی ذرات SiC و عامل تیکسوتروپی [10 و 11]، از سدیم تری پلی فسفات (TPP) به عنوان روان ساز و از سیلیس کلوئیدی (Silica Sol) به عنوان چسب و عاملی که ویسکوزیته دوغاب را افزایش می دهد و سبب بهبود رفتار شبه پلاستیک (Pseudo-Plastic) در دوغاب می گردد، استفاده می شود [11]. از زیرکن به مقدار 5 درصد وزنی برای بهبود استحکام دهی و افزایش دیرگدازی فیلترها در ترکیب دوغاب استفاده شد. آنالیز شمش مورد استفاده برای ریخته گری چدن نشکن در جدول 2 مشخص شده است. از فرو سیلیکون منیزیم به مقدار 4٪ وزنی برای نشکن سازی استفاده شد.

برای ساخت فیلترهای فومی سرامیکی 4سری دوغاب سرامیکی با درصدهای متفاوت از سیلیس کلوئیدی در نظر گرفته شد. دوغاب با کد S₀ (بدون سیلیس کلوئیدی)، کد S₁₀ (10 درصد وزنی سیلیس کلوئیدی از محلول آبی یا 3/7 درصد وزنی از کل دوغاب)، کد S₁₇ (17 درصد وزنی سیلیس کلوئیدی از محلول آبی یا 6/29 درصد وزنی از کل دوغاب) و کد S₂₅ (25 درصد وزنی سیلیس کلوئیدی

از محلول آبی یا 9/25 درصد وزنی از کل دوغاب) تهیه شد. منظور از درصدهای وزنی متفاوت از سیلیس کلوئیدی، درصد وزنی از آبی است که برای ساخت دوغاب استفاده می شود. برای ساخت دوغاب به مقدار 37 درصد وزنی دوغاب از آب دیونیزه استفاده شد. برای ساخت دوغاب ابتدا محلول CMC و محلول سیلیس کلوئیدی تهیه شد و با هم مخلوط شدند، سپس به ترتیب پودر کاربیدسیلیسیم، آلومینا، بال کلی و زیرکن و در انتها TPP به عنوان روان ساز اضافه شدند و محلول دوغاب به مدت 45 دقیقه در زیر همزن مکانیکی با سرعت 1300rpm به هم خورد. برای اینکه پوشش خوبی بر روی فوم های پلی اورتان تشکیل شود، دوغاب باید دارای رفتار تیکسوتروپیک و شبه پلاستیک باشد [11 و 12]. هنگام تولید فوم های پلیمری لایه ای از چربی بر روی سطح آنهاست که پوشش دهی فوم ها را با مشکل روبه رو می کند، به همین دلیل این لایه چربی باید از روی فوم های پلی اورتان حذف شود [13]. برای حذف این لایه از چربی در این پژوهش از محلول چربی گیر (پودر بوراکس که در آب مقطر حل شده بود) استفاده شد. سپس فوم ها در دمای 60 °C به مدت 15 دقیقه خشک شدند و در نهایت، عملیات غوطه وری در دوغاب انجام شد. پس از این که فوم از درون دوغاب بیرون آورده شد، باید دوغاب اضافی آن خارج شود. معمولاً برای خارج کردن دوغاب اضافی باید فوم در حدود 75٪ ارتفاع خود فشرده شود [14] که در این پژوهش این کار به وسیله یک رول با ابعاد 12/5×50 میلیمتر انجام شد و فوم ها به مقدار 18/75 میلیمتر فشرده شدند. سپس فوم ها به مدت 24 ساعت خشک شدند و در نهایت، عملیات پخت انجام شد. اسفنج های پوشش داده شده باید تا دمای 700 °C تا 750 °C 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 می شوند بنابراین، باید سرعت حرارت دهی تا هنگام خروج کامل این مواد پایین (زیر 5 °C) باشد تا آسیبی به دیواره های سرامیکی شکل گرفته در اثر تنش وارد شده در اثر خروج این مواد وارد نشود [15]. در این پژوهش نمونه ها از دمای محیط تا 750 °C با سرعت 3/75 درجه سانتی گراد بر دقیقه

دلیل این موضوع تشکیل شدن فاز مولایت کم‌تر در این دما بود. در شکل 2 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 کلوئیدی افزایش یافته است. بهترین استحکام مربوط به فیلترهایی بود که با دوغاب با کد S25 ساخته شده بودند. افزودن سیلیس کلوئیدی 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 [11 و 16]. جدول 3 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 کلوئیدی بیش از 25 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 کلوئیدی باید به مقدار اپتیمم 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 3 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 30 دقیقه در آن دما نگهداری شد تا باقی‌مانده مواد پلی‌اورتان سوخته و خارج شوند، سپس حرارت‌دهی با سرعت 10 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 4 دمای 1400°C ، 1300°C ، 1275°C و 1250°C به مدت 2 ساعت پخت شدند تا بتوان بهترین دما را برای عملیات پخت پیدا کرد. برای اندازه‌گیری استحکام فشاری از دستگاه Instron مدل HSC1330 3000 بر اساس استاندارد ASTM D4179 استفاده شد. دستگاه XRD برای مطالعه فازهای موجود در فیلترها ساخت شرکت زیمنس مدل D500 بود که با جریان 30 KV 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 [9]. نمونه پخته‌شده در دمای 1250°C کاملاً سالم و بدون تغییر شکل بود. نمونه‌ها به مدت 30 دقیقه در دمای 750°C به مدت 2 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 [12]:

$$100 \times \frac{\text{طول اولیه} - \text{طول نهایی}}{\text{طول اولیه}}$$
 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 5 (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 [11]. در شکل 5 (الف) با بزرگنمایی کم‌تر و (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 [18]. در شکل 5 (د) تصویر تیغه‌های مولایت که روی ذرات SiC تشکیل شده اند، مشخص می‌باشد. شکل 6 (الف) و (ب) پل تشکیل شده از ذرات SiC و تیغه‌های مولایت را که به صورت تیغه‌های روشن رنگ می‌باشند، نشان می‌دهند. شکل 6 (ب) تیغه‌های مولایت در نمونه S₂₅ را نشان می‌دهد که از منطقه مشخص شده مولایت آنالیز EDS گرفته شد که در شکل 7 نتایج آن آمده است. بر اساس آنالیز EDS تیغه‌های تشکیل شده مولایت ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) بودند.

نتیجه‌گیری

1- با کم شدن مقدار آب دوغاب و استفاده از محلول سیلیس کلئیدی به عنوان جایگزین آب به مقدار بیشینه 25 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.

2- 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.

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

دمای 1250 °C زینتر شده‌اند را نشان می‌دهد. وجود فاز مولایت در ساختار فیلترها سبب افزایش استحکام شده همان گونه که در دیگرام‌های آنالیز فازی مشاهده می‌شود، با افزایش سیلیس کلئیدی 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 [17]. دانسیته تئوری چدن نشکن در حدود 7/2 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 4 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 7 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.

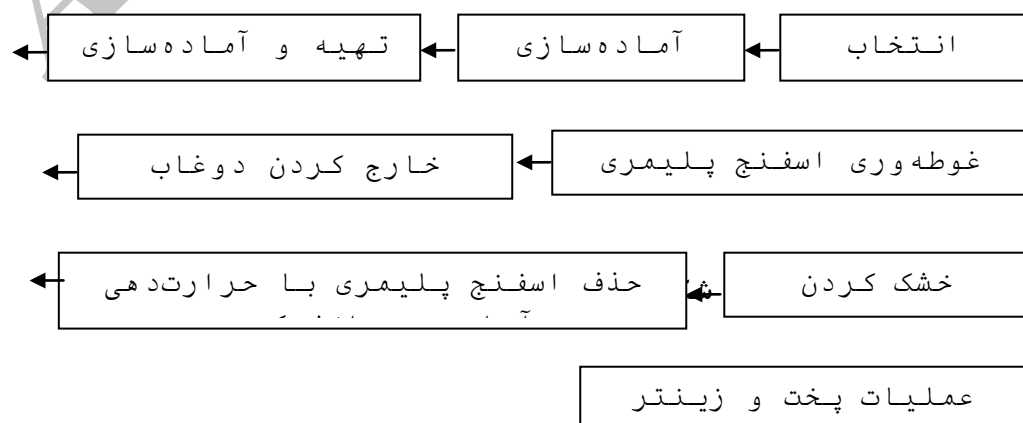
الکترونی روبشی به اثبات رسید.

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- Akpınar, 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 1- آنالیز مواد اولیه.

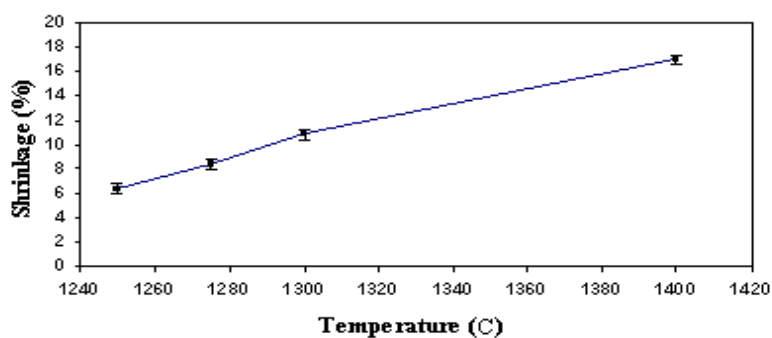
	SiC	SiO ₂	FreeC	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	ZrO ₂	L.O.I
Silicon carbide	97/9	1/1	0/52	0/44	0/04	---	---	---	---	---	---	---
Alumina	---	0/08	---	99/8	0/02	< 0/1	0/02	0/06	---	---	---	---
Ball Clay	---	47/7	---	32/9	1/1	0/2	0/2	0/3	0/9	1/9	---	14/9
Zircon	---	32	---	0/5	0/2	---	---	---	---	---	67	0/3

جدول 2- ترکیب شیمیایی شمش مورد استفاده برای ریخته‌گری (درصد وزنی).

C	Si	S	P	Mn	Cu	Ni	Cr	Fe
3/8 -4/2	0/8-1/2	<0/02	<0/03	<0/3	0/2	0/3	0/1	BAL

فرمول 1- محاسبه درصد انقباض ناشی از پخت نمونه‌ها:

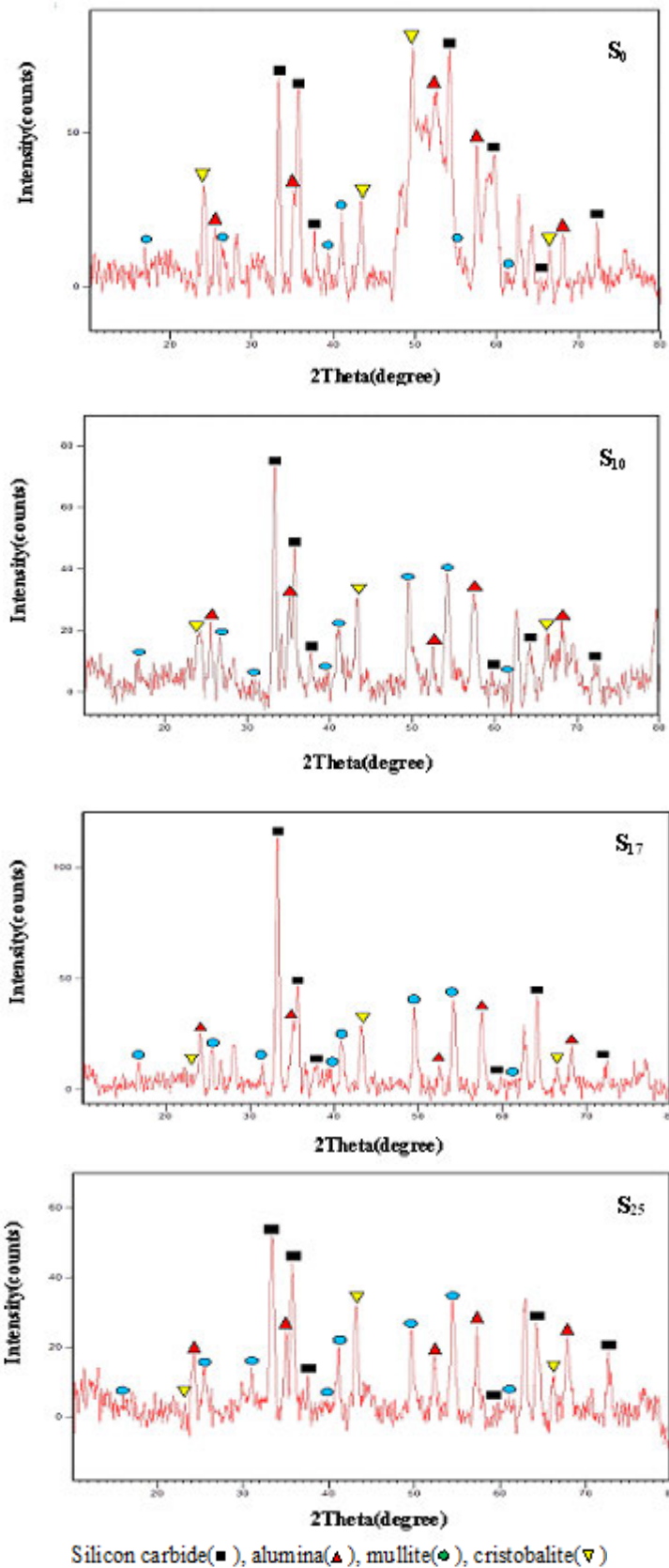
$$\text{درصد انقباض} = \frac{\text{طول اولیه} - \text{طول نهایی}}{\text{طول اولیه}} \times 100$$



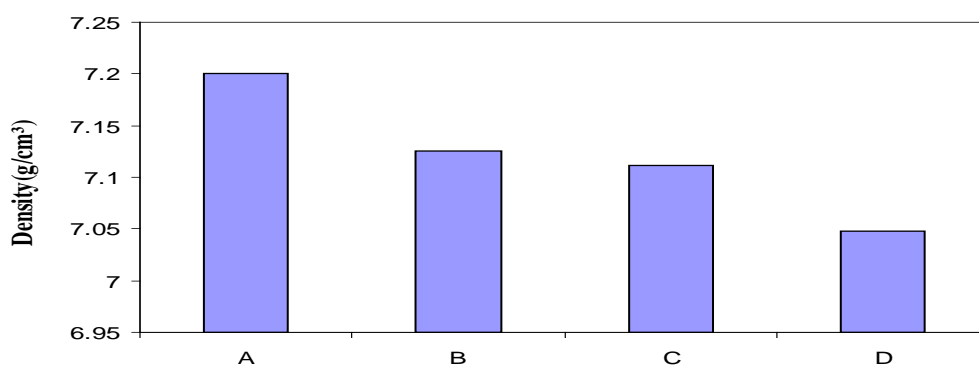
شکل 2- درصد انقباض در دماهای گوناگون.

جدول 3- نتایج استحکام فشاری نمونه‌های ساخته شده و نمونه‌های خارجی بر حسب MPa.

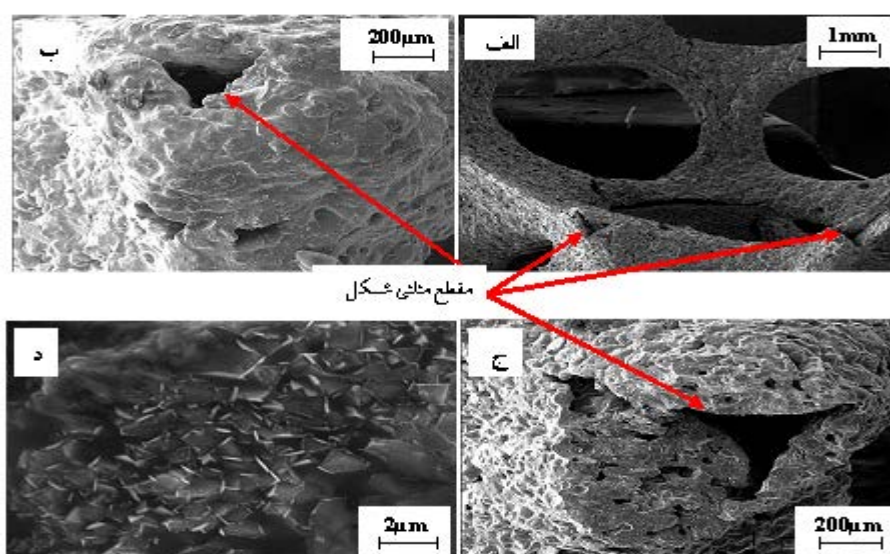
میانگین	نمونه 4	نمونه 3	نمونه 2	نمونه 1	کد نمونه‌ها
0/4097	0/381	0/42	0/447	0/391	S ₀
0/44	0/44	0/437	0/452	0/431	S ₁₀
0/523	0/543	0/49	0/547	0/512	S ₁₇
0/6097	0/614	0/59	0/625	0/61	S ₂₅
0/7542	0/767	0/761	0/792	0/697	نمونه خارجی



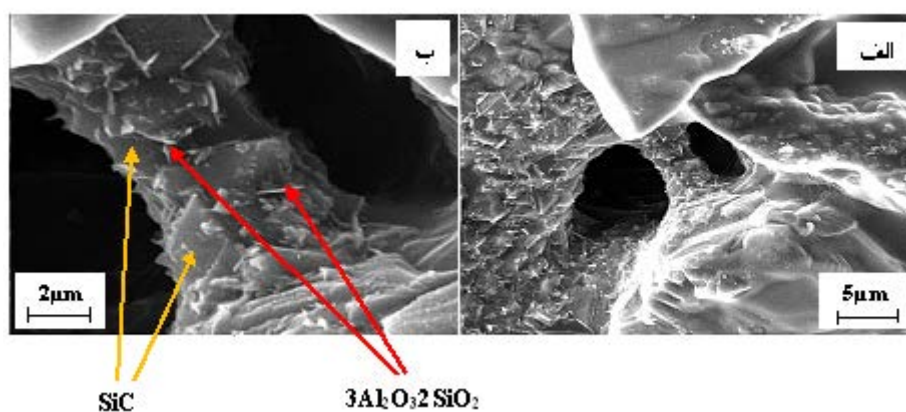
شکل 3- آنالیز فازی مربوط به نمونه‌ها با کد S_0 و S_{10} و S_{17} و S_{25} .



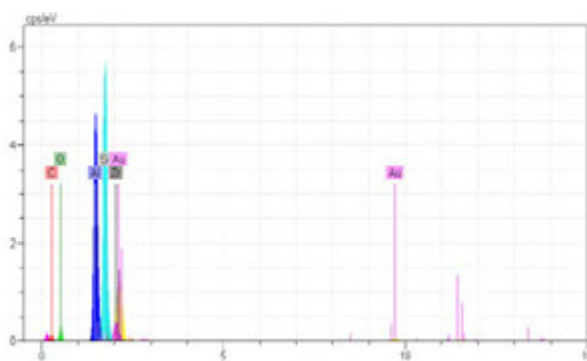
شکل 4- نمودار ستونی مقایسه دانسیته قطعات چدن ریختگی با استفاده از فیلتر خارجی B، فیلتر داخلی C و بدون فیلتر D با دانسیته تئوری چدن نشکن A.



شکل 5- 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 6- تصاویر SEM (الف) و (ب) پل تشکیل شده از ذرات SiC و تیغه‌های مولایت.



شکل 7- 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

Archive of SID