

# بررسی توزیع فاز جامد در فوم فلزی ساخته شده به روش ریخته‌گری

محمد دیانی<sup>۱\*</sup>؛ جمال زمانی<sup>۲</sup>؛ محمد حسین سیادتی<sup>۳</sup>؛ میثم قیاسوند<sup>۴</sup>

## چکیده

یکی از روش‌های ساخت فوم فلزی، ریخته‌گری اطراف کره‌های توخالی سرامیکی یا فلزی است که از مهمترین مشکلات این روش نفوذ یکنواخت مذاب بین این کره‌ها است. در این تحقیق فوم فلزی به روش ریخته‌گری اطراف کره‌های توخالی سرامیکی ساخته شد. کره‌های توخالی سرامیکی با استفاده از چسب سیلیکات سدیم و پودر شاموت ساخته شده و به دو صورت منظم و نامنظم در حفره قالب قرار گرفتند. در ادامه با تغییر ارتفاع راهگاه قالب، نفوذ مذاب در حالات مختلف بررسی و مشاهده شد که آرایش کره‌ها بر نفوذ یکنواخت مذاب موثر بوده و با افزایش ارتفاع راهگاه در دو آرایش منظم، مذاب به طور یکنواخت نفوذ کرده و در نتیجه فاز جامد به صورت یکنواخت توزیع شده ولی در آرایش نامنظم نفوذ مذاب غیر یکنواخت می‌باشد. در ادامه فصل مشترک کره‌های توخالی سرامیکی با زمینه آلومینیومی و همچنین رشته‌های فولادی شبکه با زمینه آلومینیومی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی و مشاهده شد که رشته‌های فولادی با زمینه آلومینیومی به صورت موضعی اتصال متالورژیکی داشته ولی کره‌های توخالی سرامیکی پیوندی با زمینه ندارند.

**کلمات کلیدی:** فوم فلزی، کره‌های توخالی سرامیکی، آرایش کره‌های توخالی، نفوذ مذاب، توزیع فاز جامد

## *An investigation of solid phase distribution in metal foam produced by casting*

M. Dayani ; J. Zamani; M.H. Siadati and M. Ghiasvand

### ABSTRACT

One of the methods to produce metal composite foam is casting around ceramic or metallic hollow spheres. The main problem in this method is the melt penetration between hollow spheres. In this research metal foam was produced by casting around ceramic hollow spheres. Ceramic hollow spheres were produced by sodium silicate binder and fire clay. Ceramic hollow spheres were molded in random and ordered arrangements. Ceramic hollow spheres were arranged in two various arrangement by thin wire steel meshes. In various arrangements, the molten penetration between hollow spheres was studied and observed that arrangement affects on melt penetration between hollow spheres. The interface between ceramic hollow spheres with aluminum matrix and steel mesh wires with matrix were verified by SEM. Steel wires have partial joining in interface with aluminum, while there is a separation between ceramic hollow spheres and matrix in interfaces.

**KEYWORDS:** Metal foam, Ceramic hollow sphere, Hollow spheres arrangement, Melt penetration, Solid phase distribution

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۷/۱۶

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۹/۱۲/۲۵

<sup>۱\*</sup> نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک - ساخت و تولید، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، m.dayani86@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار مهندسی مکانیک - ساخت و تولید، دانشکده مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

<sup>۳</sup> استادیار مهندسی و علم مواد، دانشکده مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

<sup>۴</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک - ساخت و تولید، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

سرامیکی با زمینه آلومینیوم و همچنین رشته‌های فولادی با زمینه آلومینیومی بوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شده و فازهای تشکیل شده بوسیله EDX-SEM مشخص شد.

## ۲- متن

### ۲-۱- روش ساخت

#### ۲-۱-۱- مواد مصرفی

مواد استفاده شده در این تحقیق شامل مواد مورد استفاده برای ساخت کوره‌های توخالی سرامیکی، شبکه فولادی و آلومینیوم می‌باشد. برای تهیه کوره‌های توخالی سرامیکی از دوغابی متشکل از ۱۵٪ سیلیکات سدیم، ۶۵٪ خاک نسوز شاموت و ۲۰٪ آب استفاده شد. از دانه‌های کروی پلی‌استایرن به عنوان ماده حذف شونده استفاده شده که پوسته سرامیکی بر روی آن تشکیل می‌شود. ترکیب شیمیایی خاک نسوز شامل ۴۵٪ اکسید سیلیسیوم، ۴۰٪ اکسید آلومینیوم و بقیه ناخالصیهایی شامل اکسیدهای آهن، زیرکونیوم و تیتانیوم است. چگالی شاموت ۲/۶ گرم بر سانتیمتر مکعب و pH آن بین ۷ تا ۸ است. چسب سیلیکات سدیم در آب محلول بوده و به صورت ۴۰٪ وزنی چسب جامد و ۶۰٪ آب می‌باشد، چگالی آن ۱/۲ گرم بر سانتیمتر مکعب و pH آن ۱۱ است. شبکه فولادی به صورت سیم‌ها بافته شده از جنس فولاد ساده کربنی با ۰/۱۲٪ کربن است که قطر هر سیم ۲۰۰ μm است. فاصله بین رشته‌ها به صورتی است که بعد از قرار دادن کوره‌های توخالی سرامیکی بر روی آن منظم شده و با فاصله ۱mm از هم قرار می‌گیرند. آلیاژ مورد استفاده برای ریخته‌گری آلومینیوم A356 که ترکیب شیمیایی آن در جدول (۱) آورده شده است.

### ۲-۱-۲- ساخت کوره‌های توخالی سرامیکی

برای ساخت کوره‌های توخالی سرامیکی ابتدا دوغاب سرامیکی تهیه می‌کنیم. به منظور تهیه دوغاب ابتدا چسب سیلیکات سدیم مایع را به آب اضافه کرده و به مدت یک دقیقه هم می‌زنیم تا به خوبی حل شود سپس شاموت را به آن اضافه می‌کنیم و هم زدن را به مدت پنج دقیقه ادامه می‌دهیم تا ذرات نسوز به خوبی مخلوط شوند

فوم‌های فلزی گروه جدیدی از مواد هستند که به دلیل دارا بودن خواصی مانند جذب انرژی ناشی از بارهای ضربه‌ای، جذب صدا و ارتعاشات در صنایع مختلفی از جمله صنعت اتومبیل‌سازی، صنعت ساختمان، صنایع نظامی و هوافضا مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱]. این مواد به سه روش کلی ساخته می‌شوند که عبارت است از روش‌های ذوبی، پودری و رسوب از فاز بخار یا فاز گازی. در بین این روش‌ها، روش‌های ذوبی کاربرد بیشتری داشته و تحقیقات زیادی بر روی آن انجام شده است [۱] [۲]. از بزرگترین مشکلات در ساخت فوم‌های فلزی کنترل اندازه و شکل حفره‌ها و پیچش و تغییر اندازه دیواره حفره‌ها است. این عیب‌ها باعث کاهش خواص مکانیکی شده و قابلیت اطمینان و تکرارپذیری در ساخت این مواد را کاهش می‌دهد [۳] [۴]. یکی از راه‌های کنترل حفره‌ها استفاده از مواد فضا ساز توخالی است که این مواد به صورت کوره‌های توخالی از جنس سرامیک یا فلز ساخته می‌شوند [۵] [۶]. طبق بررسی‌های عددی انجام شده، فوم‌های ساخته شده بوسیله کوره‌های توخالی در حالتی که کوره‌های توخالی به صورت منظم باشند، در جهاتی مشخص دارای خواص مکانیکی از جمله تنش تسلیم سه برابر در مقایسه با سایر فوم‌های فلزی با چگالی یکسان هستند [۷]. محققین قبلی با استفاده از ریخته‌گری اطراف کوره‌های توخالی اندازه و شکل حفره‌ها را کنترل کرده‌اند ولی موضوع نظم کوره‌های توخالی و نفوذ یکنواخت مذاب بین آنها بررسی نشده است [۵]. نظم کوره‌ها و نفوذ یکنواخت مذاب بین کوره‌ها دو شرط لازم در ساخت فوم فلزی با ساختار منظم است. در این تحقیق فوم فلزی به روش ریخته‌گری گرانشی اطراف کوره‌های توخالی سرامیکی تولید شده است. برای منظم کردن حفره‌ها روشی جدید معرفی شده و تلاش شده علاوه بر کنترل اندازه و شکل حفره‌ها، مکان حفره‌ها، با ایجاد نظم در کوره‌ها کنترل شود. کوره‌ها با استفاده از شبکه فولادی منظم شده و با ایجاد نمونه‌هایی با دو نظم مختلف و نمونه‌هایی بدون نظم، نفوذ مذاب بین کوره‌ها به روش اندازه‌گیری تغییرات چگالی در قسمتهای مختلف یک نمونه اندازه‌گیری شده است. کوره‌های توخالی با استفاده از خاک نسوز شاموت و چسب سیلیکات-سدیم ساخته شده است. فصل مشترک کوره‌های توخالی

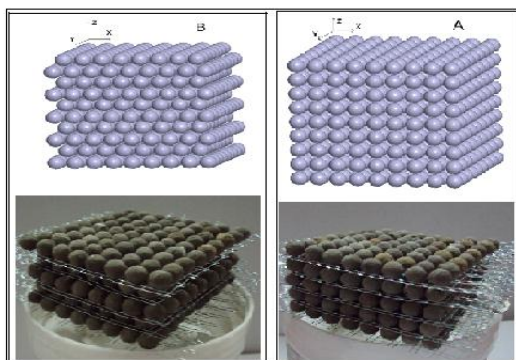
جدول (۱) عناصر آلیاژی آلومینیوم A356

عنصر آلیاژی	Si	Mg	Fe	Mn	Cu	Cr	Al
درصد وزنی	۷/۱۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۰	۰/۰۳	۰/۰۳	باقیمانده

تعداد کره‌های توخالی در محفظه قالب برای هر دو آرایش تقریباً یکسان است. آرایش A شباهت زیادی با ساختار کریستالی مکعبی ساده (SC) و آرایش B نیز با ساختار مکعبی مرکز پر (BCC) شباهت دارند. شکل (الف) دو آرایش را به صورت شماتیک نشان داده و شکل (ب) دو آرایش واقعی خارج از قالب را نشان می‌دهد. سیمهای فولادی شبکه با دقتی کمتر از  $0.5 \text{ mm}$  بافته شده‌اند. اختلاف بین قطر خارجی کره‌ها  $0.4 \text{ mm}$  می‌باشد و به دلیل محصور بودن کره‌ها سرامیکی بین دو شبکه کره‌های سرامیکی در جابجایی قالب نیز قادر به حرکت نخواهد بود. دقت قرار گرفتن کره‌ها در هر لایه به دقت قرارگیری رشته‌های فولادی شبکه وابسته است و در دو جهت X و Y کمتر از  $1 \text{ mm}$  و در جهت Z کمتر از  $0.4 \text{ mm}$  تخمین زده می‌شود. نظم ایجاد شده به صورت نسبی است و ساختار ایجاد شده نسبت به سایر فومهای ساخته شده به روش ریخته‌گری، منظم می‌باشد. جنس قالب گرافیت می‌باشد که با پشتبند فولادی از جنس فولاد ST37 نگه‌داشته شده است. اندازه حفره قالب  $(8 \times 6 \times 6 \text{ cm})$  (طول  $\times$  عرض  $\times$  ارتفاع) است. سیستم راهگاهی به صورت سر ریز بوده و برای تغییر فشارمذاب سه ارتفاع ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتیمتر استفاده شد. سطح مقطع راهگاه بارریزی مستطیل بوده با اندازه  $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$  و برای تمام نمونه‌ها یکسان است و در وسط محفظه قالب قرار گرفته است. استفاده از ارتفاعهای بارریزی متفاوت باعث می‌شود که فشار مذاب و در نتیجه نفوذ مذاب در قالب تغییر کند. شکل (۲) شماتیک قالب مورد استفاده را نشان می‌دهد.

#### ۲-۱-۴- ریخته‌گری

مذاب آلومینیوم A356 در بوتله گرافیتی و بوسیله کوره مقاومتی تهیه شد. دمای مذاب  $720^\circ \text{C}$  و دقت اندازه‌گیری ترموکوپل  $5^\circ \text{C}$  است. برای نفوذ بهتر مذاب بین کره‌های توخالی در همه نمونه‌ها، قالب تا دمای  $400^\circ \text{C}$  در کوره مقاومتی به مدت ۲۰ دقیقه پیشگرم شد.



شکل (۱) نحوه منظم کردن کره‌های سرامیکی توخالی در دو آرایش B و A

بعد از تهیه دوغاب کره‌های پلی‌استایرن را که قطر خارجی آنها بین ۵ تا  $5/2$  میلی‌متر است را در آن ریخته و پس هم زدن و ایجاد یک لایه سرامیکی بر روی کره‌های پلی‌استایرن برای خشک شدن لایه، کره‌ها را از دوغاب خارج کرده و به مدت سه ساعت در دمای  $25^\circ \text{C}$  خشک می‌کنیم. برای ایجاد لایه‌های بعدی این عمل را تا دو مرحله دیگر تکرار می‌کنیم. بعد از تشکیل لایه سوم و خشک کردن جزئی آن، نمونه‌ها را به مدت ۱ دقیقه در دستگاه ویبره با فرکانس  $10 \text{ Hz}$  قرار می‌دهیم تا لایه سرامیکی ایجاد شده کاملاً کروی شود. برای خشک شدن نهایی نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $25^\circ \text{C}$  خشک می‌کنیم. برای پخت نهایی پوسته سرامیکی و حذف کره‌های پلی‌استایرن نمونه‌ها را به آرامی و با سرعت  $10^\circ \text{C/minute}$  گرم می‌کنیم بعد از رسیدن دمای نمونه‌ها به  $240^\circ \text{C}$  کره‌های پلی‌استایرن به حالت مایع در آمده و از روزنه های پوسته سرامیکی خارج می‌شود. بعد از دمای  $240^\circ \text{C}$  گرم کردن به سرعت انجام شده به صورتی که دما به مدت ۵ دقیقه به  $700^\circ \text{C}$  می‌رسانیم. با افزایش دما، پلی‌استایرن مایع در مجاورت هوا می‌سوزد. در دمای  $700^\circ \text{C}$  پوسته سرامیکی استحکام مورد نیاز برای ریخته‌گری آلومینیوم را دارا می‌باشد. ذرات نسوز بوسیله اتصال هوا خشک و اتصال رسوبی به هم اتصال پیدا می‌کنند. در این اتصال با خشک شدن پوسته ابتدا ژل اسیدسیلیسیک تولید شده و با افزایش دما به صورت رشته‌های سیلیس در آمده و ذرات نسوز را به هم متصل می‌کند [۸]. بعد از سرد کردن پوسته‌های سرامیکی آنها را به صورت چشمی کنترل کرده و پوسته‌های ترک خورده را جدا می‌کنیم. برای کنترل ابعادی کره‌ها آنها را غربال کرده که قطر خارجی کره‌ها  $5/3 \text{ mm}$  تا  $5/7 \text{ mm}$  بدست می‌آید که ۶۰٪ آنها دارای قطر  $5/5 \text{ mm}$  هستند. ضخامت دیواره کره‌های سرامیکی بین  $200 \mu\text{m}$  تا  $300 \mu\text{m}$  است.

#### ۲-۱-۳- قالبگیری و منظم کردن کره‌های توخالی

برای منظم کردن کره‌های سرامیکی توخالی از شبکه‌های فولادی نازک استفاده شده است. این شبکه‌ها فولادی از رشته‌های نازک فولادی بافته شده و فاصله بین این رشته‌ها به صورتی است که با قرار گرفتن کره‌های توخالی بر روی آن منظم شده و فاصله بین آنها  $1 \text{ mm}$  شده است. دو نوع آرایش در این تحقیق بررسی شد. در آرایش A هر لایه دقیقاً مشابه لایه زیری می‌باشد و در آرایش B لایه‌های زوج به اندازه نصف فاصله بین دو کره سرامیکی در جهت X و Y جابجا شده‌اند.

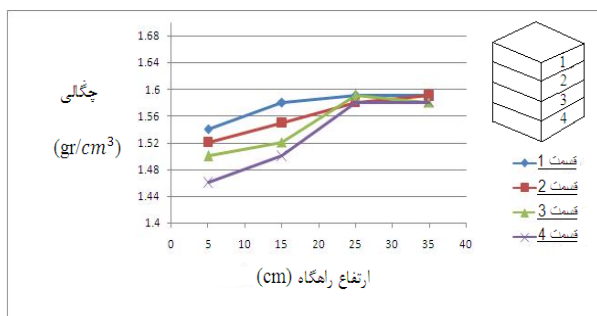
خواص مکانیکی یکسان را کاهش داده و در نتیجه قابلیت اطمینان این نوع مواد کاهش می‌یابد. حجم نمونه‌ها بوسیله اندازه‌گیری ابعاد آن و با دقت  $0.1 \text{ mm}$  و جرم نمونه‌ها با دقت  $0.1 \text{ gr}$  اندازه‌گیری شد. چگالی‌ها با تقسیم جرم به حجم تا دو رقم اعشار بدست آمد. برای آماده ساختن نمونه‌های SEM، نمونه اولیه و بوسیله اره برش داده شد. سرعت چرخش تیغه اره  $2600 \text{ rpm}$  و مقدار بار دهی به آن  $2 \text{ mm/minute}$  است و سطح برش داده شده بوسیله سنبله چرخان با شماره‌های ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ و سرعت  $160 \text{ rpm}$  سنبله‌کاری شد. بعد از سنبله‌کاری نمونه‌ها برای پولیش بوسیله دستگاه پولیش کاری چرخان با سرعت  $220 \text{ rpm}$  و با ذرات آلومینا به ابعاد ۲۵، ۱۰، ۵ و ۱ میکرون به ترتیب پولیشکاری شد. فصل- مشترک کوره‌های توخالی و زمینه آلومینیومی و رشته‌های فولادی و زمینه آلومینیومی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل MV2300 بررسی شد و ترکیب فازهای تشکیل شده توسط امکانات EDX مشخص شد.

جدول (۲) تعداد تکرار در آرایشها و ارتفاعهای مختلف

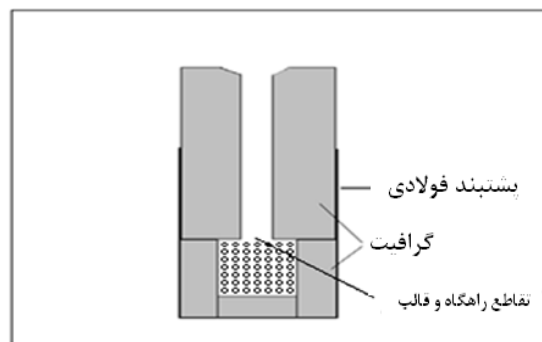
ارتفاع راهگاه (cm) / نوع آرایش	۵	۱۵	۲۵	۳۵
A	۳	۳	۳	۳
B	۰	۳	۳	۳
نامنظم	۰	۰	۳	۳

### ۳-۲- نتایج و تحلیل

همانطور که از نمودارهای شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) مشخص است با افزایش ارتفاع راهگاه بارریزی چگالی‌ها افزایش یافته و چگالی‌های قسمت‌های مختلف یک نمونه به هم نزدیک شده یا برابر می‌شود.



شکل (۳) تغییرات چگالی در قسمت‌های مختلف نمونه با تغییر ارتفاع راهگاه بارریزی برای نمونه با آرایش A



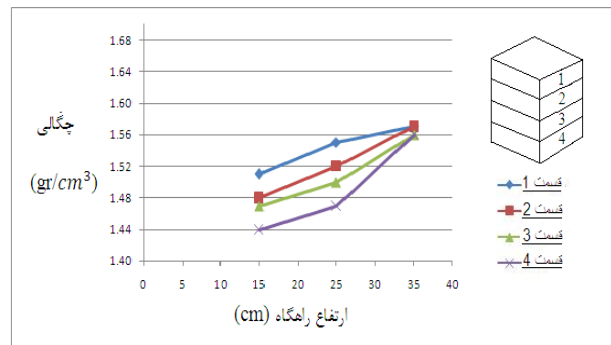
شکل (۲) شماتیک قالب

ریخته‌گری به صورتی انجام شد که راهگاه بارریزی همواره پر بوده و در حین ریختن مذاب، سعی شده است ارتفاع لبه بوته گرافیتی تا حوضچه مذاب کم و برای تمام نمونه‌ها تقریباً یکسان باشد.

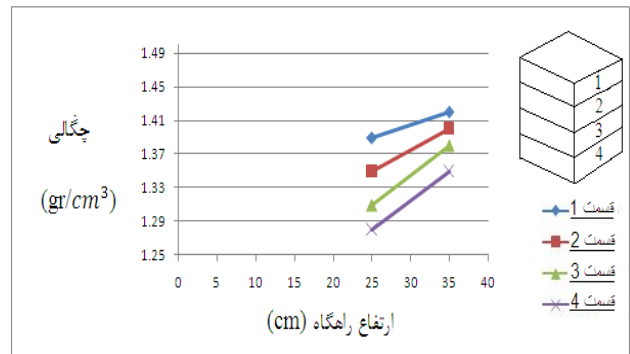
### ۲-۲- تهیه نمونه و آزمایش

بعد از ریخته‌گری، سیستم راهگاهی و قسمت‌های اضافی حذف شده و به وسیله ماشینکاری، نمونه‌هایی به اندازه  $(6 \times 5 \times 0.5 \text{ cm})$  (ارتفاع  $\times$  طول  $\times$  عرض) تهیه شدند. در همه نمونه‌ها انتهای قالب مبنای پر شدن قالب و اندازه کردن نمونه‌ها می‌باشد. در هر ارتفاع راهگاه مذاب‌ریزی، از هر یک از آرایشهای A، B و نامنظم سه نمونه تهیه شد، که در مجموع در هر ارتفاع راهگاه تعداد ۹ نمونه تهیه شد. پس از اندازه کردن نمونه‌ها جرم و حجم هر نمونه را اندازه می‌گیریم. در مرحله بعد به اندازه  $1.5 \text{ cm}$  از بالای کلیه نمونه‌ها بوسیله دستگاه فرز، ماشینکاری شد و جرم قسمت باقیمانده اندازه‌گیری شد و با توجه به حجم برداشته شده و جرم کاهش یافته چگالی قسمت حذف شده اندازه‌گیری شد. این عمل تا سه مرحله دیگر تکرار شد. سرعت باردهی در فرآیند ماشینکاری بسیار کم می‌باشد تا از آسیب دیدن کوره‌های سرامیکی جلوگیری شده و خطا در اندازه‌گیری جرم به حداقل برسد. در هر مرحله اندازه‌گیری، میانگین چگالی سه نمونه در یک آرایش با یک ارتفاع راهگاه اندازه‌گیری شد و اعداد چگالی بدست آمده بر حسب ارتفاع راهگاه بارریزی بر روی نمودار نشان داده شد. جدول (۲) تعداد تکرار در هر ارتفاع راهگاه و در آرایشهای مختلف نشان داده شده است، تکرار صفر به معنی پر نشدن قالب می‌باشد. در هر آرایش تغییر چگالی قسمت‌های مختلف یک نمونه نشان دهنده نفوذ غیر یکنواخت مذاب و در نتیجه توزیع غیر یکنواخت کسر جامد در فوم فلزی است. توزیع غیر یکنواخت کسر جامد یا به عبارتی غیر همگن بودن ساختار، باعث تغییر خواص مکانیکی در نقاط مختلف یک نمونه شده و امکان ساخت نمونه‌هایی با

در نمونه‌های منظم به دلیل وجود فضا بیشتر و یکسان‌تر بین کره‌ها این نفوذ بهتر انجام شده و در آرایش A بهتر از آرایش B می‌باشد. دلیل نفوذ بهتر مذاب در بین کره‌های توخالی در آرایش A نسبت به آرایش B وجود مسیرهای مستقیم و کوتاه جهت عبور مذاب است که این موضوع در شکل (۶) نشان داده شده است. بنابراین جهت ورود مذاب در نمونه‌های منظم مهم بوده و در پر شدن قالب تاثیرگذار می‌باشد. در دو آرایش منظم تعداد کره‌ها در محفظه قالب یکسان بوده یا به عبارتی فشردگی کره‌ها یکی بوده و تنها تفاوت، در مکان قرارگیری کره‌ها نسبت به یکدیگر است. تماس کره‌ها در حالت نامنظم از نفوذ مذاب جلوگیری کرده و امکان ساخت یک نمونه با ساختار همگن را با مشکل روبرو می‌سازد. یکسان نبودن چگالی در ارتفاعهای مختلف نشان دهنده نفوذ غیر یکنواخت مذاب بین کره‌ها بوده که نتیجه آن توزیع غیریکنواخت فاز جامد می‌باشد. خصوصیات فلزی از فوم فلزی چون پراکندگی یکنواخت حفره‌ها، نظم نسبی و شکل یکسان حفره‌ها و چگالی نسبتاً یکنواخت فومهای فلزی در این روش قابل کنترل و طراحی شده که امکان پیشبینی خواص مکانیکی این مواد را افزایش می‌دهد. یکسان بودن چگالی قسمتهای مختلف دلیل بر نفوذ کامل مذاب یا همگن بودن کامل آن فوم نمی‌باشد ولی می‌توان معیاری نسبی برای مقایسه همگنی در فومهای مختلف باشد. وجود نظم و فاصله بین کره‌های توخالی باعث ایجاد یک ساختار همگن‌تر نسبت به حالت نامنظم شده و قابلیت مدل‌کردن و تحلیل عددی این مواد را بالا برده و امکان مقایسه تحلیل‌های عددی با کارهای تجربی را فراهم می‌کند. با توجه به بحث‌های قبلی ساخت یک فوم فلزی با ساختار منظم به دو شرط اساسی وابسته است یکی نظم کره‌ها و دیگری نفوذ مذاب بین کره‌ها. برای منظم کردن کره‌ها دو نکته مهم باید مورد توجه قرار گیرد یکی دقت در ایجاد نظم و دیگری استحکام نظم ایجاد شده به صورتی که در جابجایی قالب و یا در حین ریخته‌گری نظم ایجاد شده حفظ شود. مشاهدات تجربی در این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از شبکه فولادی روش مناسبی برای ایجاد و حفظ نظم کره‌ها است. در این تحقیق بر خلاف تحقیقات سایر محققین دمای پیشگرم قالب پایین‌تر از دمای انجماد آلومینیوم بوده و در نتیجه انجماد آلومینیوم سریع بوده و مهمترین دلیل اختلاف چگالی در همه نمونه‌ها است. شکل (۷) دو نمونه ساخته شده را نشان می‌دهد، نفوذ غیر یکنواخت آلومینیوم بین کره‌های سرامیکی با آرایش نامنظم در این شکل مشخص است.



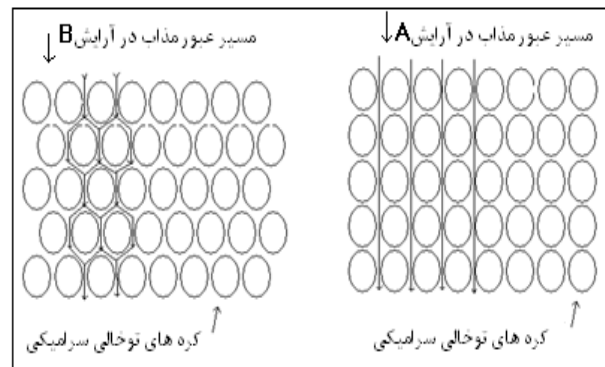
شکل (۴) تغییرات چگالی در قسمت‌های مختلف نمونه با تغییر ارتفاع راهگاه بارریزی برای نمونه با آرایش B



شکل (۵) تغییر چگالی قسمت‌های مختلف نمونه نامنظم در اثر تغییر ارتفاع راهگاه

در نمونه‌های با آرایش A چگالی‌های اندازه‌گیری شده به سرعت به هم نزدیک شده و در ارتفاع راهگاه ۳۰cm و ۲۰cm چگالی همه قسمت‌ها تقریباً یکی شده است. با توجه به شکل (۴)، در آرایش B با افزایش ارتفاع راهگاه چگالی همه قسمت‌ها به هم نزدیک شده و در ارتفاع ۳۰cm، چگالیها تقریباً برابر می‌شوند. در نمونه‌های نامنظم اگر چه چگالی‌های به هم نزدیک شده ولی مقدار چگالی‌ها حتی در ارتفاع ۳۰cm تفاوت زیادی داشته و افزایش ارتفاع راهگاه تا ارتفاع ۳۰cm اختلاف چگالی در قسمتهای مختلف نمونه نامنظم را حذف نمی‌کند. همانطور که از نمودارها مشخص است در آرایش B با ارتفاع راهگاه ۵cm و در حالت نامنظم در ارتفاعهای راهگاه ۵cm و ۱۰cm امکان ساخت نمونه کاملی که محفظه قالب را به طور کامل پر کرده باشد، وجود ندارد. با توجه به یکسان بودن تمام شرایط از جمله دمای مذاب، دمای پیشگرم قالب، اندازه کره‌های توخالی و غیره تنها پارامتر تغییر یافته برای هر نمونه، ارتفاع بارریزی یا تغییر فشار مذاب می‌باشد که افزایش این پارامتر در نمونه‌های منظم منجر به ایجاد نمونه‌هایی شده که در قسمتهای مختلف چگالی یکسانی داشته و یا همگن می‌باشد. دلیل یکسان بودن چگالی در ارتفاع‌های مختلف نفوذ بهتر مذاب بین کره‌های توخالی است که

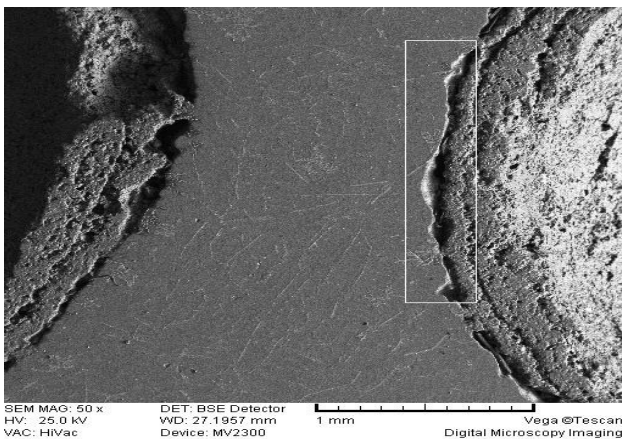
قطعات آلومینایزه شده با آلومینیوم A356 نسبت به آلومینیوم خالص را وجود سیلیسوم در آلیاژ A356 دانسته‌اند [۹]. Aswan و همکاران با بررسی قطعات فولادی آلومینایز شده، لایه واکنشی بین فولاد و آلومینیوم را ترکیبات بین فلزی ترد اعلام کردند [۱۰]. ربیعی نیز در تحقیقات خود فصل مشترک بین کره‌های توخالی فولادی و زمینه آلومینیوم را فازهای بین فلزی با سختی بسیار بالا معرفی کرد [۶]. وجود لایه واکنشی بین رشته فولادی و زمینه آلومینیومی به این دلیل مهم است که این لایه یک ترکیب بین فلزی و ترد می‌باشد و در صورت زیاد بودن ضخامت آن درصد مواد ترد در نمونه افزایش یافته که گسترش این فاز ترد در تمام نمونه، بر روی خواص مکانیکی آن اثر منفی خواهد داشت.



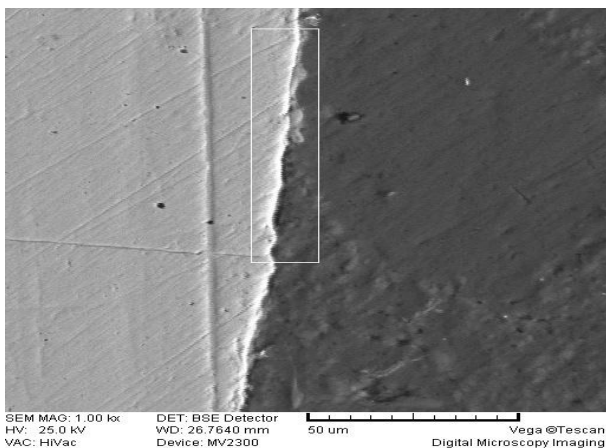
شکل (۶) مسیر عبور مذاب بین کره‌های توخالی برای دو نوع آرایش مختلف



شکل (۷) دو نمونه فوم ساخته شده، تصویر سمت راست آرایش منظم (آرایش B) و تصویر سمت چپ آرایش نامنظم



شکل (۸) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از فصل مشترک کره‌های توخالی سرامیکی با زمینه آلومینیومی



شکل (۹) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از فصل مشترک سیم فولادی با زمینه آلومینیوم

شکل (۸) تصویر SEM از فصل مشترک بین کره‌های توخالی و زمینه آلومینیومی می‌باشد. همانطور که مشخص است فصل مشترک بین آنها هیچ فازی تشکیل نشده است. بنابراین کره‌های سرامیکی با مذاب آلومینیوم تر نشده و با آلومینیوم اتصالی ندارد که این موضوع می‌تواند به دلیل فقدان واکنش بین لایه سرامیکی کره‌ها توخالی و آلومینیوم و اختلاف زیاد دمای ذوب این مواد باشد. تر نشدن کره‌های سرامیکی بر نفوذ مذاب موثر بوده و موجب کاهش آن بخصوص کاهش نفوذ بین دو کره باشد. شکل (۹) مقطع یک رشته از شبکه فولادی در زمینه آلومینیومی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود رشته فولادی با آلومینیوم زمینه به صورت موضعی، اتصال داشته ولی لایه مشخصی در فصل مشترک الیاف فولادی و زمینه مشاهده نگردید؛ با استفاده از امکانات SEM-EDX این فصل مشترک آنالیز شد و فازهای تشکیل شده که بیشتر سه تایی‌هایی از آهن، آلومینیوم و سیلیسیوم می‌باشند، تشخیص داده شد. با وجود قابلیت حل شدن فولاد در آلومینیوم فقدان لایه واکنشی مشخص بین رشته فولادی و آلومینیوم را به وجود سیلیسوم در آلومینیوم A356 می‌توان نسبت داد. Shih و همکاران نیز علت کاهش لایه واکنشی در

### ۳- نتیجه و جمع‌بندی

- ۱- استفاده از شبکه فولادی امکان ساخت فوم فلزی با ساختار نسبتاً منظم را فراهم می‌کند.
- ۲- آرایش کره‌ها بر پر شدن قالب موثر بوده و وجود فاصله بین کره‌ها در ساختارهای منظم امکان ساخت ساختار همگن‌تر را نسبت به ساختار نامنظم فراهم می‌کند.
- ۳- افزایش ارتفاع راهگاه بارریزی یا افزایش فشار مذاب امکان ساخت فوم فلزی با ساختار همگن‌تر را فراهم می‌آورد.

### ۴- مراجع

- ۴- وجود نظم در کره‌های توخالی برای ساخت یک فوم منظم و همگن کافی نیست و نفوذ کافی و یکنواخت مذاب بین کره‌ها الزامی است.
- ۵- کره‌های توخالی سرامیکی با زمینه آلومینیومی فصل مشترکی نداشته و با مذاب آلومینیوم واکنش نداده است.
- ۶- رشته‌های فولادی شبکه با زمینه آلومینیومی به صورت موضعی اتصال داشته که این اتصال یک ترکیب بین فلزی ترد از آلومینیوم، سیلیسیوم و آهن می‌باشد.

- |  |  |
|--|--|
| [۶] Lakshmi, J. Vendra, A. Rabiei. "A study on aluminum-steel composite metal foam processed by casting". Materials Science and Engineering A, 465, 59-67, 2007. | [۱] J. Banhart . "Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams", Progress in Materials Science, Vol.46, pp.559-632, 2001         |
| [۷] W.S. Sanders, L.J. Gibson. "Mechanics of hollow sphere foams". Materials Science and Engineering, A347,70 - 85, 2003.  | [۲] V.C. Srivastavs, K.L. Sashoo. "Processing, stabilization and applications of metallic foams". Art of science Materials Science-Poland, Vol. 25, No. 3, 2007.     |
| [۸] ASM handbook, casting, volume 8, 1998.   | [۳] A. E. Simone and L. J. Gibson. "Effects of solid distribution on the stiffness and strength of metallic foams". Acta mater. Vol. 46, No. 6, pp. 2139-2150, 1998. |
| [۹] T.S. Shih, S.H. Tu "Interaction of steel with pure Al, Al-Si and A356 alloys". mater. sci. & Eng. A454, 349-356, 2007.                                       | [۴] E. Andrews, W. Sanders, L.J. Gibson . "Compressive and tensile behaviour of aluminum foams". Materials Science and Engineering, A270, 113-124, 1999.             |
| [۱۰] G.H. Awan, F.U. Hasan, "The morphology of coating/substrate interface in hot-dip-aluminized steels". Mater. Sci. A427, pp. 157-165, 2008.                   | [۵] A. Rabiei, A.T. O'Neill. "A study on processing of a composite metal foam via casting". Materials Science and Engineering A 404, 159-164, 2005.                  |

