



ریخته‌گری

انتشارات جامعه ریخته‌گران ایران/سال ۳۳/شماره ۱۰۵/تابستان ۱۳۹۳

ISSN 1028-3897



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



ریخته‌گری
انتشارات جامعه ریخته‌گران ایران / سال ۳۳ / شماره ۱۰۵ / تابستان ۱۳۹۳

قابل توجه علاقمندان به چاپ مقاله در فصلنامه تخصصی ریخته‌گری:

علاقمندان به چاپ مقالات در فصلنامه ریخته‌گری، می‌توانند مقالات خود را بر اساس الگوی نگارش مقالات به نشانی najarab@yahoo.com ارسال کنند.

قابل توجه علاقمندان به نشریات تخصصی گروه انتشارات انجمن علمی ریخته‌گری ایران:

با توجه به مشکلات پیش آمده به علت ارایه نشانی پستی اشتباه که منجر به تاخیر در ارسال یا عدم امکان ارسال نشریات می‌گردد. از کلیه اعضای دانشجویی، حقیقی و حقوقی این انجمن درخواست می‌شود هر گونه تغییر در نشانی، شماره تماس یا شماره دورنگار خود را به روابط عمومی این انجمن اطلاع دهند. بدیهی است در صورت صحیح نبودن نشانی پستی، این انجمن هیچگونه مسئولیتی در قبال ارسال به موقع نشریات به دریافت‌کنندگان نخواهد داشت.

صاحب امتیاز: جامعه ریخته‌گران ایران

مدیر مسئول: دکتر پرویز دوامی

سردبیر: دکتر جلال حجازی

مدیر اجرایی: دکتر نجم الدین عرب

هیات تحریریه:

دکتر حسین اشوری	دانشگاه صنعتی شریف
مهندس اسدالله اسلامی	فولاد طبرستان
دکتر هاشم بنی‌هاشمی	تحقیقات مهندسی مواد فرایز
دکتر جلال حجازی	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر پرویز دوامی	دانشگاه صنعتی شریف
دکتر مهدی دیوانداری	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر سعید شبستری	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر نجم‌الدین عرب	دانشگاه آزاد اسلامی
مهندس عبدالحمید قدیمی	انجمن صنفی ریخته‌گری ایران

نشانی نشریه: تهران، خیابان بهار شمالی، جنب اداره برق، شماره ۱۷۴، طبقه سوم

کدپستی: ۱۵۷۳۶۳۵۸۶۳

تلفن ۸۸۸۲۴۹۲۷-۸۸۸۲۷۲۰۲

فکس: ۸۸۸۲۳۴۹۰

زیر نظر گروه انتشارات:

انجمن علمی ریخته‌گری ایران

Email: irfs.edu@gmail.com

بررسی ریزساختاری فوم‌های ریختگی چدن نشکن تولید شده با استفاده از گوی‌های توخالی آلومینایی

حمید سازگار^۱، علیرضا کیانی‌رشید^۲

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
hamid.sazegaran@gmail.com

۲- استاد گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
kianirashid@um.ac.ir

Investigation of microstructure of ductile iron foam produced by hollow alumina spheres

H. Sazegaran¹ & A.R. Kiani-Rashid²

1- PhD student of Department of Metallurgical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Professor of Department of Metallurgical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

چکیده

فلزات سلولی می‌توانند به روش‌های گوناگونی تولید شوند که یکی از این روش‌ها تحت عنوان استفاده از پُرکننده‌های فضا^۲ شهرت دارد. اغلب بعد از ریخته‌گری مذاب فلز در اطراف پُرکننده‌های فضا، آن‌ها خارج می‌شوند و سلول‌ها را ایجاد می‌کنند. در این پژوهش، از گوی‌های توخالی آلومینایی به عنوان پُرکننده فضا استفاده شده است. تولید گوی‌های توخالی آلومینایی با استفاده از یک روش مبتنی بر پودرهای آلومینا صورت گرفت. در این روش، یک سوسپانسیون از پودرهای آلومینا با سیلیکات سدیم به عنوان چسب تهیه شد و سپس فرآیند پوشش‌دهی آن‌ها بر روی دانه‌های پلی‌استیرن صورت گرفت. با استفاده از عملیات حرارتی در دمای 100°C به مدت ۱ ساعت، پلی‌استیرن تجزیه می‌شود و گوی‌های توخالی آلومینایی تولید می‌شود. گوی‌های تولید شده درون حفرات قالب‌های ماسه‌ای قرار داده شدند و ریخته‌گری مذاب چدن نشکن در اطراف آن‌ها صورت گرفت. پس از سرد شدن و انجماد، فوم‌های چدن نشکن تولید شد. بررسی‌های میکروسکوپ نوری در بزرگنمایی‌های گوناگون و بر روی نمونه‌های اچ شده و اچ نشده صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که ریزساختار نمونه‌های تولیدی شامل پرلیت به همراه گرافیت‌های کروی احاطه شده با فریت می‌باشد. در نمونه‌هایی که حاوی گوی‌های آلومینایی کوچک‌تر هستند، ضخامت دیواره سلول‌ها کاهش و بنابراین، سرعت سرد شدن افزایش می‌یابد. سریع سرد شدن این نمونه‌ها موجب ایجاد فاز کاربید در ریزساختار شده است.

Abstract

Cellular metals can be manufactured in various techniques, one of the known techniques as the use of space holder. After casting the molten metal around the space holders, they are removed and the cells are created. In this paper, alumina hollow spheres are used as space holder. Production of alumina hollow spheres is carried out by a powder base technique. In this technique, a suspension of alumina powders and sodium silicate as binder was coated on polystyrene cores. Pyrolysis of

² Space holder

polystyrene cores was carried out at 100 °C temperature in 1h and alumina hollow spheres were manufactured. Manufactured hollow spheres were placed into the sand mould cavity and then, molten ductile iron was casted into mould. After cooling and solidifying, ductile iron foams were manufactured. Light microscopic evaluations were carried out on polished and etched specimens at various magnifications. Results show that microstructure of specimens involves of pearlite and ferrite surrounded nodular graphite. In specimens containing of the smaller alumina hollow spheres, the thickness of the cell walls decreases and cooling rate increases. Therefore, carbide phases were formed in microstructure.

Keywords: Ductile iron, Hollow alumina spheres, Spherical graphite, Porosity percent.

استفاده از گوی‌های توخالی به عنوان پُرکننده فضای^۳ قالب در فرآیند ریخته‌گری [۱۶ و ۱۷]، روش فلزخورانی با استفاده از نیروی وزن و یا فشار مکانیکی [۱۸ و ۱۹]، قرار دادن گوی‌های ماسه‌ای به عنوان پُرکننده فضای قالب و خروج آن‌ها پس از ریخته‌گری [۲۰ و ۲۱] و ... جهت تولید فوم‌های فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما متأسفانه در مورد روش‌های تولید فوم‌های چدنی و ویژگی‌های آن‌ها اطلاعات زیادی وجود ندارد. چدن‌ها دسته‌ای از مواد مهندسی می‌باشند که دارای خواص ویژه‌ای همانند قیمت ارزان، قابلیت ریخته‌گری آسان، مقاومت به سایش عالی، مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون مناسب و سفتی و استحکام نسبتاً خوب می‌باشند، اما به علت سنگین بودن و چگالی زیاد، روز به روز از کاربردهای آن‌ها کاسته می‌شود [۲۲].

در این پژوهش، از فرآیند ریخته‌گری ماسه‌ای به منظور تولید فوم‌های چدن نشکن استفاده شده است. برای ایجاد سلول‌هایی یکسان و با توزیع یکنواخت، گوی‌های توخالی آلومینایی با قطرهای متفاوت درون قالب ماسه‌ای قرار گرفتند و ریخته‌گری مذاب چدن نشکن در اطراف آن‌ها صورت گرفت. مطالعات ریزساختاری در مورد دیواره سلول‌ها توسط میکروسکوپ نوری صورت گرفت. تاثیرات اندازه سلول‌ها بر ریزساختار نیز مورد مطالعه قرار گرفته است.

۱- مقدمه

مواد سلولی و فوم‌های فلزی دسته‌ای جدید از مواد پیشرفته هستند که روش‌های تولید و کاربردهای آن‌ها در حال توسعه می‌باشد. مورفولوژی منحصر به فرد سلول‌ها در فلزات و آلیاژهای سلولی منجر شده است که این مواد خصوصیات فیزیکی و مکانیکی جالب توجهی داشته باشند. این خصوصیات جالب شامل وزن کم، قابلیت جذب زیاد انرژی، هدایت حرارتی پایین و قابلیت بازیافت راحت می‌باشد [۱]. روش‌های متفاوتی به منظور تولید فوم‌های فلزی ابداع شده است که شامل چهار دسته کلی تولید از مذاب، تولید از جامد به شکل پودر، تولید از یون‌های درون یک محلول و تولید از بخار می‌باشند [۱-۳].

در یک روشی خاص، مذاب فلز یا آلیاژ در اطراف ذرات جامد که پُرکننده فضا نامیده می‌شوند، ریخته‌گری یا فلزخورانی می‌شوند. این روش مرسوم‌ترین روش تولید فوم‌های فلزی از مذاب فلزی می‌باشد که می‌تواند سلول‌های باز تولید کند [۴-۷]. در صورت استفاده از گوی‌های توخالی و عدم خروج آن‌ها بعد از ریخته‌گری یا فلز خورانی می‌توان سلول‌های بسته تولید کرد [۸-۱۰]. بدیهی است که اگر گوی‌های توخالی از ماده‌ای ساخته شوند که پس از تولید فوم قابلیت خروج یا تخریب آن‌ها میسر باشد، مورفولوژی سلول‌ها به صورت باز و بسته خواهد بود [۱۱-۱۳].

مطالعات بسیاری در ارتباط با تولید فوم‌های فولادی و بررسی رفتار فیزیکی و مکانیکی این دسته از فوم‌ها وجود دارد. روش متالورژی پودر [۱۴ و ۱۵]، روش

³ Space Holder

۲- مواد و روش آزمایشات

۲-۱- تولید گوی‌های توخالی آلومینایی

به منظور تولید گوی‌های توخالی آلومینایی، یک روش مبتنی بر استفاده از پودر آلومینا به کار گرفته شد. پودر آلومینای مورد استفاده دارای خلوص ۹۹ درصد با اندازه ذرات کوچکتر از ۱۰۰ میکرومتر می‌باشد. در این روش، دانه‌های پلی‌استیرن به عنوان زیرلایه استفاده می‌شوند. ابتدا، دانه‌های پلی‌استیرن از یک بلوک پلی‌استیرن جدا شدند. سپس درون محفظه دستگاه پوشش‌دهی قرار گرفتند. دستگاه پوشش‌دهی دارای یک محفظه است که دانه‌های پلی‌استیرن درون آن قرار می‌گیرند و با اعمال فشار هوا درون محفظه معلق می‌شوند. بر روی یکی از دیواره‌های این محفظه، یک سیستم پاشش نصب شده است. توسط سیستم پاشش، سوسپانسیون پودر آلومینا و سیلیکات سدیم به

عنوان چسب بر روی دانه‌های پلی‌استیرن پاشیده می‌شود و یک لایه از آلومینا بر روی دانه‌های پلی‌استیرن قرار می‌گیرد.

پس از پوشش‌دهی، محصولات تولیدی از درون محفظه خارج می‌شوند و بعد از خشک شدن به مدت یک ساعت درون یک آون با دمای 90°C قرار داده می‌شوند. دمای اعمالی موجب تجزیه حرارتی دانه‌های پلی‌استیرن می‌شود. محصولات ناشی از تجزیه حرارتی پلی‌استیرن به صورت گاز هستند و از فضای خالی بین ذرات آلومینا خارج می‌شوند. در نهایت، گوی‌های توخالی آلومینایی تولید می‌شوند. گوی‌های تولیدی بر اساس قطر خارجی به دو دسته تقسیم‌بندی شدند که شامل گوی‌هایی با میانگین قطر ۴mm و ۶mm می‌باشند. در شکل ۱ گوی‌های تولید شده با قطر ۶mm نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱. نمایش گوی‌های توخالی با قطر ۶mm

۲-۲- قالب‌گیری و ریخته‌گری

تولید فوم‌های کامپوزیتی چدن نشکن توسط روش ریخته‌گری ماسه‌ای صورت گرفت. به منظور ساخت قالب از ماسه سیلیسی به همراه ۵ درصد وزنی سیلیکات سدیم استفاده شد. قالب تهیه شده دارای ۲ حفره با ابعاد $35\text{mm} \times 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ می‌باشد. حفره‌ها توسط گوی‌های توخالی آلومینایی پُر می‌شوند. درون یک حفره قالب توسط گوی‌هایی با میانگین قطر 4mm و درون یک حفره قالب دیگر توسط گوی‌هایی با میانگین قطر 6mm پُر شد. به دلیل این که فضاهای باقیمانده بین گوی‌های توخالی کوچک است و قابلیت ترشوندگی آلومینا توسط مذاب چدن کم می‌باشد، راه‌باره اصلی به صورت مخروطی و با ارتفاع 200mm تولید شد. این نحوه طراحی و ساخت راه‌باره موجب می‌شود که فشار هیدرواستاتیکی مذاب افزایش یابد و در نتیجه، پُر شدن فضای خالی بین گوی‌های آلومینایی انجام شود.

مذاب مورد استفاده توسط کوره القایی صنعتی 5M با ظرفیت 1000 کیلوگرم تولید شد. شارژ کوره شامل 100 کیلوگرم قراضه برگشتی چدن نشکن و 900 کیلوگرم قراضه روغنی (ورقه‌های آهنی) می‌باشد. افزودن کربن به مذاب همراه با شارژ کوره انجام می‌شود. ترکیب شیمیایی مذاب شامل $3/9$ درصد وزنی کربن، $1/2$ درصد وزنی سیلیسیم و $0/4$ درصد وزنی منگنز می‌باشد که در نهایت، چدن نشکن CG40 تولید می‌گردد. به منظور جوانه‌زایی و افزودن سیلیسیم به مذاب، مقدار 12 کیلوگرم فروسیلیس حاوی 65 درصد وزنی سیلیسیم درون کوره اضافه می‌شود و میزان سیلیسیم موجود در فوم‌های تولیدی به $2/38$ درصد وزنی افزایش می‌یابد.

برای افزودن منیزیم به مذاب و انجام فرآیند نشکن‌سازی از روش ساندویچی استفاده شد. در این

روش، ابتدا فرومنیزیم بادامی (حاوی 60 درصد وزنی منیزیم) در قسمت کف پاتیل قرار داده می‌شود. قابل ذکر است که به ازای هر 100 کیلوگرم مذاب 2 کیلوگرم فرومنیزیم استفاده می‌شود. سپس نرمه روغنی یا همان قراضه ورقه‌های آهنی بر روی فرومنیزیم قرار می‌گیرد. در نهایت، مذاب آماده شده توسط کوره با دمای 1450°C به درون پاتیل ریخته می‌شود. بنابراین، منیزیم به درون مذاب وارد می‌شود و عملیات نشکن‌سازی انجام می‌شود. در هنگام ریخته‌گری، مذاب به درون یک بوته با ظرفیت 50 کیلوگرم منتقل می‌شود و سپس، فرآیند مذاب‌ریزی صورت می‌گیرد. باید در نظر داشت که دمای مذاب‌ریزی در حدود 1390°C می‌باشد.

۲-۳- ارزیابی‌های میکروسکوپی

پس از انجام فرآیند ریخته‌گری، نمونه‌های تهیه شده سنگ‌زنی شدند تا ابعاد محصولات نهایی به $30\text{mm} \times 25\text{mm} \times 25\text{mm}$ تغییر یابد. قسمت‌هایی از سطوح جانبی سلول‌های ایجاد شده به منظور انجام ارزیابی‌های میکروسکوپی بریده شدند. نمونه‌های بریده شده، ابتدا مانت گرم و سپس سمباده‌زنی و پولیش‌کاری شدند. فرآیند اچ توسط محلول نایتال 2 درصد انجام شد. مطالعات میکروسکوپ نوری قبل و بعد از اچ صورت گرفت و تصاویر متالوگرافی در بزرگنمایی‌های گوناگون تهیه شدند. نرم‌افزار تحلیل تصاویر MIP برای بررسی تصاویر تهیه شده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده از بررسی‌های نرم‌افزاری شامل تعیین درصد فاز گرافیت و میانگین میزان کرویت فاز گرافیت می‌باشد. قابل ذکر است که نتایج ارائه شده توسط بررسی‌های نرم‌افزاری بر اساس میانگین اعداد به دست آمده از تحلیل 10 تصویر در بزرگنمایی 200 برابر می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

با استفاده از فرآیند ریخته‌گری ماسه‌ای، دو نوع فوم چدن نشکن تولید شد که حاوی گوی‌های توخالی آلومینایی با قطرهای ۴ و ۶ mm می‌باشند. در شکل ۲ نمونه‌های سنگ‌زنی شده نمایش داده شده است. قابل ذکر است که به علت ترد بودن آلومینا، برخی از قسمت‌های گوی‌های توخالی آلومینایی در هنگام سنگ‌زنی جدا می‌شوند. در برخی از سطوح سنگ‌زنی شده مشاهده می‌شود که گوی‌های توخالی آلومینایی

توسط مذاب چدن پُر شده‌اند (در شکل ۱- ب به صورت واضح مشاهده می‌گردد). این امر ممکن است به تخریب گوی‌های توخالی تولید شده در اثر فشار هیدرواستاتیکی مذاب مرتبط باشد. به علت این که گوی‌های توخالی آلومینایی تفجوشی نشده‌اند، استحکام پایینی دارند. بنابراین، احتمال شکست دیواره‌ها توسط مذاب چدن وجود دارد و در نتیجه، گوی توخالی توسط مذاب پُر می‌شود.



ب



الف

شکل ۲. نمایش نمونه‌های فومی ریخته‌گری شده پس از فرآیند سنگ‌زنی؛ الف) نمونه حاوی گوی‌هایی با قطر ۴ mm (ب) نمونه حاوی گوی‌هایی با قطر ۶ mm

جامد همان چگالی چدن نشکن بدون تخلخل است که توسط یک نمونه ریخته‌گری بدون تخلخل برابر 7170 kg/m^3 تعیین شده است. در جدول ۱ مقدار جرم، چگالی و چگالی نسبی ارائه شده است

ابتدا، نمونه‌های تهیه شده توزین شدند و سپس، میزان چگالی و درصد تخلخل هر کدام از نمونه‌ها تعیین شد. چگالی نمونه‌های تولیدی براساس معادله (۱) اندازه‌گیری شد و درصد تخلخل آن‌ها توسط معادله (۲) محاسبه گردید [۲۰]. شایان ذکر است که چگالی

معادله (۱) حجم محصول ریختگی / جرم قطعه ریختگی = چگالی

معادله (۲) $100 \times \left(\frac{\text{چگالی جامد}}{\text{چگالی فوم}} - 1 \right) = \text{درصد تخلخل}$

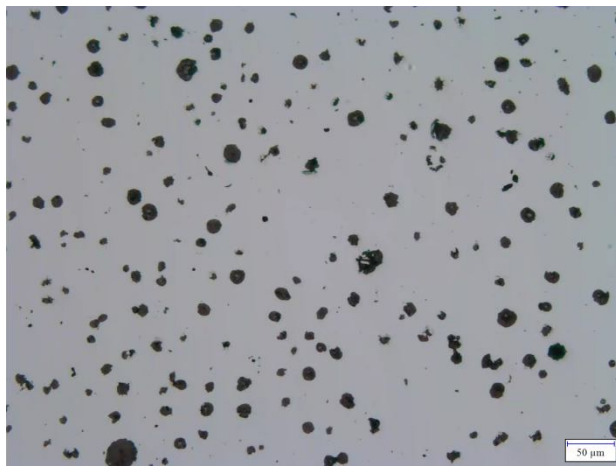
جدول ۱. جرم، چگالی و درصد تخلخل فوم‌های تولید شده

قطر گوی‌ها (mm)	جرم (gr)	چگالی (kg/m^3)	درصد تخلخل
۴	۶۲/۶۳	۳۳۴۰	۰/۵۳
۶	۶۹/۷۶	۳۷۲۱	۰/۴۸

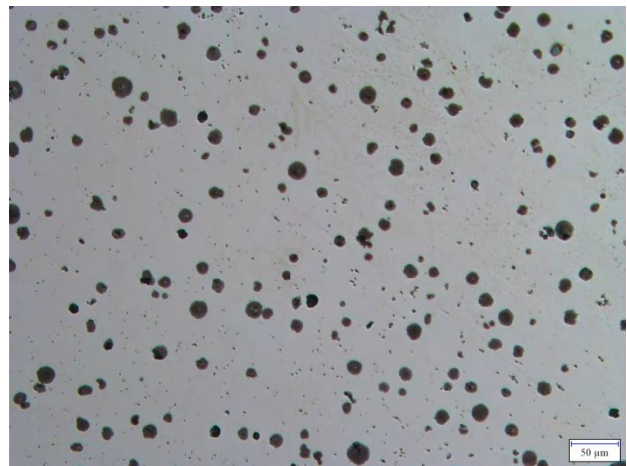
می‌باشند. در برخی از تصاویر میکروسکوپ نوری مشاهده می‌شود که جوانه‌زنی فاز گرافیت کروی بر روی آخال‌های سولفیدی صورت گرفته است. در شکل ۴ یک تصویر میکروسکوپ نوری در بزرگنمایی ۵۰۰ برابر از یک آخال سولفیدی نمایش داده شده است که جوانه‌زنی گرافیت کروی بر روی آن صورت گرفته است. این آخال‌ها بر اساس اختلاف رنگ به صورت کاملاً واضح مشخص می‌باشند و در اثر رشد، فاز گرافیت اطراف آن‌ها را به صورت کامل پوشش می‌دهد. در جدول ۲، درصد فاز گرافیت و میانگین میزان کرویت که توسط نرم‌افزار MIP بر روی تصاویر به دست آمده قبل از اچ تهیه شده‌اند، ارائه شده است.

این انتظار وجود دارد که با افزایش قطر گوی‌های توخالی آلومینایی، میزان چگالی افزایش و درصد تخلخل کاهش یابد و نتایج آزمایشگاهی نیز این مسئله را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار چگالی و کمترین مقدار درصد تخلخل در نمونه‌ای که از گوی‌های توخالی با قطر ۶ mm ساخته شده است، مشاهده می‌شود. در نمونه‌ای که با گوی‌های توخالی با قطر ۴ mm تولید شده است، کوچک بودن اندازه گوی‌ها موجب کاهش چگالی و افزایش درصد تخلخل می‌شود. تصاویر میکروسکوپ نوری قبل از اچ در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر در شکل ۳ نشان داده شده است. این تصاویر بیانگر تشکیل گرافیت‌های کروی در زمینه چدنی

شکل ۳. تصاویر میکروسکوپ نوری قبل از اچ در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر از مقطع نمونه‌های ریخته‌گری؛ الف) نمونه حاوی گوی‌هایی با قطر ۴ mm، ب) نمونه حاوی گوی‌هایی با قطر ۶ mm



ب



الف



شکل ۴. تصویر میکروسکوپ نوری قبل از اچ در بزرگنمایی ۵۰۰ برابر از نمونه حاوی گوی‌هایی با قطر ۶ mm

و سرعت انجماد در این نمونه در مقایسه با نمونه‌ای که حاوی گوی‌هایی با قطر کوچک‌تر است، کمتر خواهد بود. کم بودن سرعت سرمایش و سرعت انجماد، موجب می‌گردد که زمان رشد فاز گرافیت افزایش یابد و درصد فاز گرافیت افزایش یابد. این احتمال وجود دارد که در اثر سرمایش سریع در نمونه حاوی گوی‌های توخالی با قطر ۴mm کاربیدهای آهن تشکیل شوند.

مطابق با جدول ۲، بیشترین درصد فاز گرافیت در نمونه‌ای مشاهده می‌شود که توسط گوی‌های توخالی با قطر ۶ mm تولید شده است. بنابراین، کمترین درصد فاز گرافیت در نمونه ساخته شده توسط گوی‌های توخالی با قطر ۴ mm مشاهده می‌گردد. در نمونه‌ای که حاوی گوی‌هایی با قطر بیشتر است، ضخامت دیواره‌ها بیشتر می‌باشد و بنابراین، میزان انتقال حرارت در دیواره‌ها کاهش می‌یابد. در نتیجه، سرعت سرمایش

جدول ۲. نتایج به دست آمده از تحلیل‌های نرم‌افزاری تصاویر میکروسکوپ نوری قبل از اچ

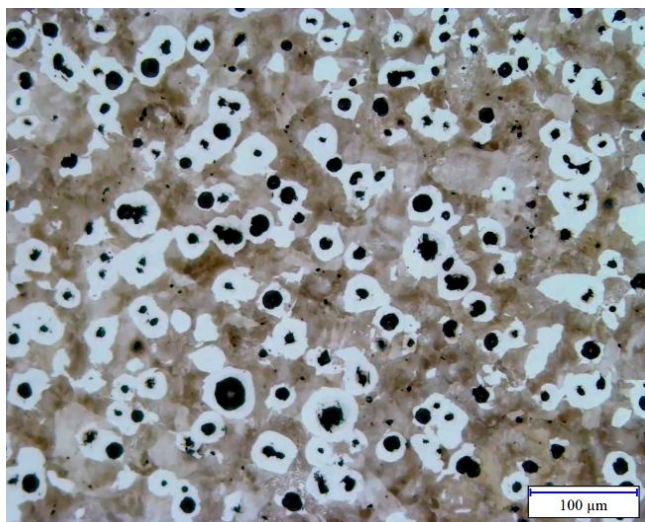
قطر گوی‌ها (mm) فاز گرافیت (%) میانگین میزان کرویت (%)

۰/۷۶۳ ۵/۷ ۴

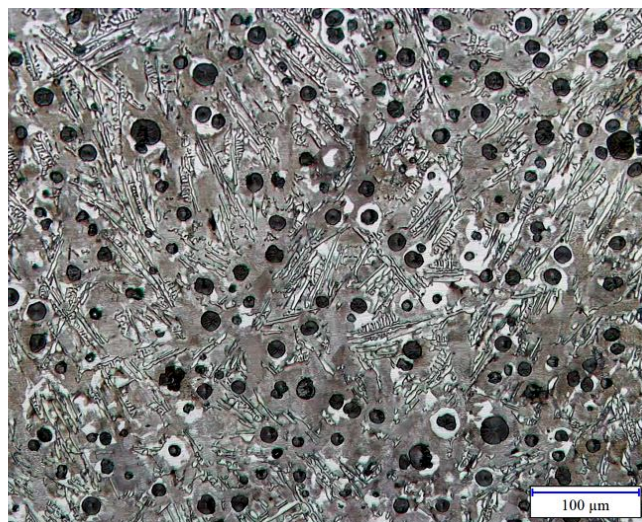
۰/۷۸۲ ۷/۸ ۶

همه تصاویر تهیه شده مشاهده می‌شود که گرافیت‌های کروی توسط فاز سفیدرنگ فریت پوشیده شده‌اند و گرافیت‌هایی از نوع چشم گاوی ایجاد شده است. در نمونه‌های ساخته شده توسط گوی‌های درشت، ریزساختار شامل پرلیت، گرافیت‌های کروی و فریت قرار گرفته در اطراف آن‌ها می‌باشد. در نمونه حاوی گوی‌های توخالی کوچک، علاوه بر ریزساختار ذکر شده، فازهای کاربیدی که به صورت دندریتی رشد یافته‌اند نیز مشاهده می‌شود (شکل ۵- الف). در این نمونه، ضخامت دیواره‌ها کاهش یافته است و بنابراین، میزان انتقال حرارت و سرعت انجماد افزایش می‌یابد. زیاد شدن سرعت انجماد موجب تشکیل فازهای کاربیدی می‌گردد.

نمونه تولید شده توسط گوی‌های توخالی با قطر ۶ mm بیشترین میانگین میزان کرویت را دارد. در این نمونه، به علت بزرگ بودن اندازه گوی‌های توخالی، ضخامت دیواره سلول‌ها بیشتر می‌باشد. زیاد بودن ضخامت دیواره‌ها موجب کاهش انتقال حرارت و افزایش زمان انجماد می‌گردد. در نتیجه، مدت زمانی که نمونه ریختگی در دماهای بالا قرار دارد، افزایش خواهد یافت. در دماهای بالا پدیده نفوذ سریع تر رخ می‌دهد و میزان کرویت با افزایش نفوذ افزایش می‌یابد. میزان کرویت در نمونه‌های تولید شده توسط گوی‌های توخالی با قطرهای ۴ mm کمترین مقدار را دارد که به سریع شدن دیواره سلول‌ها ارتباط دارد. در شکل ۵، تصاویر نمونه‌های متالوگرافی شده پس از اچ در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر نمایش داده شده است. در



ب



الف

شکل ۵. تصاویر میکروسکوپ نوری بعد از اچ در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر از مقطع نمونه‌های ریخته‌گری؛ الف) نمونه حاوی گوی‌هایی با قطر ۴ mm، ب) نمونه حاوی گوی‌هایی با قطر ۶ mm



شکل ۶. تصویر میکروسکوپ نوری بعد از اچ در بزرگنمایی ۵۰۰ برابر از نمونه حاوی گوی‌هایی با قطر ۴ mm

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، گوی‌های توخالی آلومینایی به صورت نامنظم درون حفرات قالب‌های ماسه‌ای قرار داده شدند و سپس ریخته‌گری مذاب چدن نشکن به منظور تولید فوم‌های چدنی در بین آن‌ها صورت گرفت. نتایج به دست آمده از بررسی‌های انجام شده بر روی فوم‌های کامپوزیتی به صورت زیر فهرست شده‌اند.

۱- بیشترین میزان تخلخل در نمونه تولید شده توسط گوی‌هایی با قطر کوچک و کمترین میزان تخلخل در نمونه تولید شده توسط گوی‌هایی با قطر بزرگ ایجاد شده است.

- ۲- با کاهش قطر گوی‌ها، ضخامت دیواره‌ها کاهش می‌یابد.
- ۳- در نمونه تولید شده با گوی‌های بزرگ‌تر، درصد گرافیت و میزان کرویت گرافیت‌ها بیشتر است.
- ۴- ریزساختار غالب در نمونه‌های تولیدی شامل پرلیت به همراه گرافیت‌های کروی پوشیده شده از فریت می‌باشد.
- ۵- در نمونه‌های تولید شده با گوی‌های کوچک‌تر، شبکه دندریتی از فاز کاربیدی در ریزساختار تشکیل می‌شود.

- 1- Ashby M.F., Evans A.G., Fleck N.A., Gibson L.J., Hutchinson J.W. and H.G.N Wadley H.G.N., Metal foams; a Design Guide Butterworth-Heinemann, Massachusetts, 2000.
- 2- Banhart J., Manufacture, characterization and application of cellular metals and metal foams, Prog mater science , 456, pp. 559-632, 2001.
- 3- Despois, J. F., Marmottant, A., Salvo, L., Mortensen, A., 2007. Influence of the infiltration pressure on the structure and properties of replicated aluminium foams.
- 4- Surace R., De Filippis L. A. C., Ludovico A. D., Boghetich G., Mater Des, Vol. 30, pp:1878–85, 2009.
- 5- Combaz E., Bacciarini C., Charvet R., Dufour W., Dauphin F., Mortensen A., Acta Mater, Vol. 58, pp:5168–83, 2010.
- 6- Combaz E., Mortensen A., Acta Mater, Vol. 58, pp: 4590–603, 2010.
- 7- Diolgent F, Combaz E, Laporte V, Goodall R., Weber L., Duc F., et al., Scr Mater, Vol. 61, pp:351–4, 2009.
- 8- Amsterdam E., Goodall R., Mortensen A., Onck P., De Hosson J. T. M., Mater Sci Eng A, Vol. 496, pp:376–82, 2008.
- 9- G. Castro, S.R. Nutt, Synthesis of syntactic steel foam using gravity-fed infiltration, Materials Science and Engineering A, Vol. 553, pp. 89–95, 2012.
- 10- G. Castro, S.R. Nutt, Synthesis of syntactic steel foam using mechanical pressure infiltration, Materials Science and Engineering A, Vol. 535, pp. 274–280, 2012.
- 11- Enrique M. Castrodeza, Carlo Mapelli, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, pp: 4958–4962, 2009.
- 12- R. Surace, L. A. C. De Filippis, A. D. Ludovico, G. Boghetich, Materials and Design, Vol. 30, pp: 1878–1885, 2009.
- 13- Ramin Jamshidi-Alashti, Ghodrattollah Roudini, Materials Letters, Vol. 76, pp: 233–236, 2012.
- 14- C. Park, S. R. Nutt, Materials Science and Engineering A, Vol. 297, pp. 62–68, 2001.
- 15- S. Guarino, M. Barletta, S. Pezzola, S. Vesco, Materials and Design, Vol. 40, pp. 268–275, 2012.
- 16- B.H. Smith, S. Szyniszewski, J.F. Hajjar, B.W. Schafer, S.R. Arwade, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 71, pp. 1–10, 2012.
- 17- Lakshmi J. Vendra, Afsaneh Rabiei, Materials Science and Engineering A, Vol. 465, pp. 59–67, 2007.
- 18- G. Castro, S. R. Nutt, Materials Science and Engineering A, Vol. 553, pp. 89–95, 2012.
- 19- G. Castro, S. R. Nutt, Materials Science and Engineering A, Vol. 535, pp. 274–280, 2012.
- 20- A. K. Shaik dawood, S. S. Mohamed Nazirudeen, Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Vol. 4 , pp. 292 – 299, 2010.
- 21- S. Sridhar, S. S. Mohamed Nazirudeen, M. Kavitha International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 2(10), pp. 5080-5087, 2010.
- 22- C. F. Walton, T. J. Opar, Iron Casting Handbook, Iron Casting Society Inc., New York, 5, 1981.