IRANIAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY

Founding Research Journal

Experimental Investigation of Effective Parameters on Gas Exhaust from the Mold in Lost Foam Casting Method

Mohammad Amin Shahrokhian Dehkordi[1], Majid Karimian[2], Hassan Sharifi[3*], Mehdi Moghimi Dehkordi [4]

1. M.Sc., Department of Mechanical Engineering, Young Researchers Club and the Elite Islamic Azad University of KhomeiniShahr, Esfahan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Young Researchers Club and the Elite Islamic Azad University of KhomeiniShahr, Esfahan, Iran
3. Assistant Professor, Department of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
4. M.Sc. Student, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

Received 8 January 2018
Accepted 5 April 2018

Keywords:
Porosity,
Lost foam casting,
Vibration time,
Grades of sand,
Surface roughness.

Abstract:

The impact of the viscosity of the coating, sand grade, and vibration time was investigated on the exhaust of the gaseous products in the lost-foam casting of an A356 aluminum alloy. In this regard, a foam stepwise model with five different thicknesses was used. Three coatings of different viscosities (15, 20, and 25 Pas.sec), three grades of sand (20, 50, 80 AFS), and different vibration times (60, 90, 120, and 180 sec) were considered in the study. To analyze these parameters, their impact on the defects, porosities, and the surface roughness was evaluated. The results showed that the most important defects to be mentioned include being unable to completely fill the mold cavity, the increased porosity in the casting as a result of the excessively thick coating, and the compression of the sand (which blocks the porosities in the mold) due to the wrong choice of refractory coating, sand grade, and vibration time. A coating with a viscosity of 20 Pas.sec, along with 50 AFS grade sand, and a vibration time of 60 sec yielded the best result in terms of defects, porosity (3.7 %) and surface roughness (18 µm).

Journal homepage: www.foundingjournal.ir

Please cite this article using:
Shahrokhian-Dehkordi M.A., Karimian M., Sharifi H., Moghimi-Dehkordi M., Experimental Investigation of Effective Parameters on Gas Exhaust from the Mold in Lost Foam Casting Method, in Persian, Founding Research Journal, 2018, 1(3) 161-170.
DOI: 10.22034/FRJ.2018.114099.1019

*** Corresponding Author:**
Hassan Sharifi, Assistant Professor
Address: Faculty of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, P.O. Box: 8818634141, Tel/Fax: +98 3832324401.
E-mail: sharifi@eng.sku.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

فصل‌نامه علمی پژوهشی

پژوهش‌نامه ریخته‌گری

انجمن علمی ریخته‌گری ایران

بررسی اثر عوامل موثر بر خروج گاز از قالب در ریخته‌گری به روش توپر

محمدامین شاهرخیان دهکردی[۱]، مجید کریمیان[۲]، حسن شریفی[۳*]، مهدی مقیمی دهکردی[۴]

۱- کارشناسی ارشد، مکانیک، باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان دانشگاه آزاداسلامی واحد خمینی شهر، اصفهان
۲- استادیار، مکانیک، باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان دانشگاه آزاداسلامی واحد خمینی شهر، اصفهان
۳- استادیار، مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، (نویسنده مکاتبه کننده) sharifi@eng.sku.ac.ir
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، مکاترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد

دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸
پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۱۶

چکیده:

در تحقیق حاضر اثر متغیرها در خروج گاز از قالب در ریخته‌گری توپر آلیاژ آلومینیم A356 مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از یک مدل فومی پلکانی با پنج ضخامت مختلف استفاده شد. متغیرها شامل پوشان در گرانروی‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ پاسکال ثانیه، ماسه با میانگین اندازه ذرات AFS ۲۰، ۵۰ و ۸۰ و ارتعاش در زمان‌های ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه بود که تاثیر این متغیرها بر عیوب ظاهری، تخلخل و زبری سطح مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مهم‌ترین عامل در پر نشدن قالب، حبس شدن گاز در قالب به فشردگی ماسه‌ها و یا افزایش ضخامت پوشان در اثر انتخاب نادرست اندازه ماسه و گرانروی پوشان بوده است. همچنین مشخص شد که زمان ارتعاش نیز بر میزان پر شدن قالب و زبری سطحی نمونه موثر است. کمترین مقدار عیوب ظاهری، پایین‌ترین درصد تخلخل (۳/۷ ٪) و زبری سطح (۱۸ µm) مربوط به ترکیب گرانروی پوشان ۲۰ پاسکال ثانیه به همراه اندازه ماسه AFS ۵۰ با زمان ارتعاش ۶۰ ثانیه بوده است.

واژه‌های کلیدی:
تخلخل،
ریخته‌گری توپر،
زمان ارتعاش،
اندازه ماسه،
صافی سطح

۱- مقدمه

آلیاژهای ریختگی Al-Si-Mg به طور گسترده در صنایع خودروسازی و هوافضا مورد استفاده قرار گرفته است. این آلیاژها به‌عنوان جایگزین برای فولادها و چدن‌ها و به منظور کاهش وزن خودرو و در نهایت کاهش مصرف سوخت و انرژی مورد توجه بوده‌اند[۱]. از مهم‌ترین دلایل استقبال زیاد از این آلیاژها، خصوصاً معروف‌ترین آلیاژ این گروه، A356، می‌توان به مواردی همچون نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت به خوردگی مناسب، سیالیت و قابلیت ریختگی عالی، مقاومت به ترک گرم، قابلیت جوشکاری مناسب و نیز ضریب انبساط حرارتی پایین اشاره نمود. خواص آلیاژ Al-Si-Mg به شدت به فرآیند ریخته‌گری، ترکیب شیمیایی، رفتار مذاب، نحوه انجماد و اندازه دانه وابسته است[۲]. انجماد آلیاژهای این گروه نقش بسیار مهمی بر اندازه دانه، ساختار، تشکیل تیغه‌های سیلیسیم در زمینه دارد. فرآیند ریخته‌گری توپر یک تکنولوژی جدید برای تولید قطعات پیچیده فلزی است. ریخته‌گری توپر یک فرآیند پیچیده در مقایسه با ریخته‌گری در ماسه بوده در این روش متغیرهای مختلفی وجود دارد که بر عیوب و کیفیت ریخته‌گری تاثیرگذارند. این تکنولوژی به علت نو پا بودن هنوز در مرز دانش قرار گرفته و نیاز به تحقیقات گسترده تر در این زمینه کاملا احساس می‌شود.

از مزایای ریخته‌گری توپر نسبت به ریخته‌گری سنتی، می‌توان به تولید ساده (به علت عدم نیاز به ماهیچه) و تولید قطعات پیچیده (امکان اتصال چند مدل به یکدیگر) اشاره کرد [۶-۳]. یکی از مزیت مهم فرآیند ریخته‌گری توپر استفاده مجدد از ماسه و کاهش ضایعات محیطی به دلیل عدم استفاده از چسب است[۷]. به طور کلی عیوب ریختگی را می‌توان در دو دسته شامل عیوب داخلی و خارجی تقسیم‌بندی کرد. عیوب خارجی، اکثراً در سطح ظاهر شده و شامل پرنشدن کامل قالب، روی هم افتادگی، تاول‌زدن، یا آبله‌گون شدن و .... است. عیوب داخلی ممکن

Archive of SID
www.SID.ir

است در داخل قطعه ریختگی ظاهر شده و شامل تخلخل، آخال، چین‌خوردگی و ... است. برخی از عیوب مربوط به ذوب شدن مدل فومی، سرعت جریان مذاب و تکه‌های بریده شده لایه پوشش کشیده شده درون مذاب است. عیوب تخلخل گازی و ناخالصی ممکن است ناشی از به دام افتادن محصولات تجزیه گازی و مایع فوم باشد[۸].

برای حذف و یا کاهش عیوب نیاز است تا همواره توجه همه جانبه به مبانی متالورژی، طراحی و پارامترهای مختلف فرآیند و تکنولوژی تولید داشت. زمانی که فوم در اثر حرارت مذاب تجزیه می‌گردد، بخشی از آن به گاز و مقداری از آن نیز به صورت مواد سیال گرانرو تجزیه می‌گردد. این گاز ایجاد شده باید از طریق پوشان و ماسه خارج گردد، در غیر این صورت، به داخل مذاب برگشته و درون قالب محبوس می‌شود که باعث بوجود آمدن عیوب خارجی و داخلی خواهد شد [۱۰،۹]. پوشان در مدل فومی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند، زیرا مانع از برخورد ماسه با مذاب شده و استحکام قالب توسط آن بیان می‌شود. به علاوه تاثیر بسیار مهم و مستقیمی بر عیوب ریختگی و پرشدن کامل قالب دارد. زمان پر شدن قالب با خروج گاز تولید شده از میان پوشان و ماسه کنترل می‌شود. برای خروج گاز تولید شده، پوشان و ماسه باید نفوذپذیر باشند. همانند ضخامت پوشان، اندازه ماسه و زمان ارتعاش در این روش، نقش مهمی را در تعیین کیفیت محصول ریخته‌گری شده، ایفا می‌کنند. اهمیت اندازه ماسه و زمان ارتعاش از این جهت بوده که گاز تولید شده در قالب در اثر سوختن و از بین رفتن فوم (به خاطر حرارت مذاب) باید بتواند به آسانی از پوشان و ماسه عبور کرده و از قالب خارج شود. با کنترل اندازه ماسه و زمان ارتعاش می‌توان مقدار نفوذپذیری ماسه را کنترل نمود (که تاثیر بسیار مهمی در پر شدن کامل قالب و خروج گاز و در نتیجه کیفیت ریخته‌گری دارد) [۱۱]. وجود ذرات ریز و گرد، در ماسه موجب ایجاد فیلم پیوسته و متصل به هم شده که این امر، مهم‌ترین عامل برای ایجاد عیوب و جلوگیری از خروج گاز تشکیل شده در قالب است [۱۲]. از طرفی افزایش زمان ارتعاش موجب ازدیاد انرژی وارده بیشتر به ذرات ماسه شده و فشردگی بیشتری را به همراه خواهد داشت و در نتیجه خلل و فرج را کاهش داده و سبب کاهش کیفیت قطعه نهایی خواهد شد [۱۳].

در این پژوهش، اثرات گرانروی پوشان، اندازه دانه ماسه و زمان ارتعاش که از مهم‌ترین و تاثیرگذارترین پارامترهای فرآیند ریخته‌گری توپر بر عیوب ظاهری و داخلی است، با استفاده از مدل فومی در ضخامت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر هر یک از پارامترها بر مقدار درصد تخلخل، زبری سطح و عیوب ظاهری قطعات ریخته‌گری شده مشخص شد. هم‌چنین اهمیت پارامترها و تناسب بین مقادیر آن‌ها مشخص شد.

۲- مواد و روش تحقیق

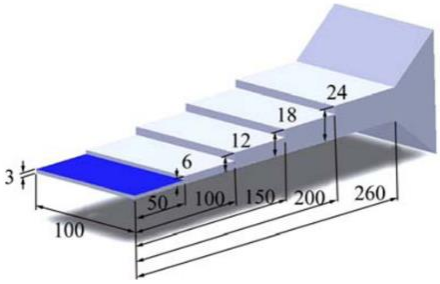
برای ریخته‌گری به روش توپر، از آلیاژ A356 استفاده شد که ترکیب شیمیایی آن در جدول (۱) ارائه شده است. برای بررسی عیوب ریختگی و شرایط آن در ضخامت‌های مختلف، از یک مدل فومی با جنس پلی‌استایرن به صورت پلکانی و با ضخامت‌های ۳، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ میلی‌متر استفاده شد. به این منظور، ابتدا قطعه خام فوم پلی‌استایرن با چگالی $20\ kg/m^3$ و با ابعاد ۱۰۰×۲۵۰ میلی‌متر توسط دستگاه برش الکتریکی سیم داغ با دقت ابعادی ۰/۵ میلی‌متر برش داده شد.

شکل (۱-الف) مدل فومی در نظرگرفته شده برای این تحقیق را نشان می‌دهد. در ادامه سیستم راهگاهی سرتاسری مطابق با شکل (۱-ب) برای مدل‌ها به منظور تغذیه مناسب مذاب به مدل فومی در طول انجام عملیات ذوب‌ریزی استفاده شد. بعد از اتصال سیستم راهگاهی به مدل‌ها و آماده‌سازی آن‌ها، مدل‌ها در محلولی متشکل از زیرکونیم و فریت به همراه سیلیس کلوئیدی با ۲۵ درصد SiO_2 و مقدار گرانروی‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ پاسکال ثانیه پوشش‌دهی شدند تا لایه‌ایی از مواد سرامیکی و نسوز بر روی آن ها ایجاد شود. پوشش‌دهی به روش غوطه‌وری و به مدت ۶۰ ثانیه انجام شد. برای حصول اطمینان از خشک شدن کامل پوشان، کلیه مدل‌ها پس از پوشش‌دهی در دمای اتاق و به مدت ۲۴ ساعت نگه‌داری شدند.

جدول ۱-ترکیب شیمیایی آلیاژ A356 مورد استفاده (درصد وزنی)

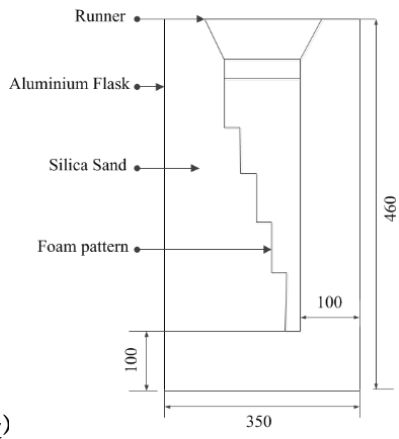
Si	Mg	Cu	Fe	Zn	Ti	Mn	Al
۷/۱۰	۰/۳۳	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۱۰	باقیمانده

Archive of SID
www.SID.ir



(الف)

(ب)



(ج)

شکل ۱- الف) نمایی از ابعاد مدل فومی (میلی‌متر)، ب) نمایی از مدل فومی با سیستم راهگاهی سرتاسری، ج) موقعیت قرارگیری مدل فومی درون قالب (میلی‌متر)

جدول ۲- مشخصات میز ارتعاشی

ابعاد میز ارتعاشی (mm)	فرکانس ارتعاش (Hz)	ولتاژ (V)	دور موتور (rpm)
طول×عرض×ارتفاع: ۶۰۰×۴۰۰×۴۱۰	۰/۳۳	۲۴۰	۳۰۰۰

مدل فومی پوشش دهی شده پس از خشک شدن به صورت عمودی در قالبی از جنس آلومینیم با ابعاد ۳۵۰×۴۶۰ میلی‌متر به صورتی‌که از کناره‌های قالب و کف آن فاصله ۱۰۰ میلی‌متری داشته، قرار گرفت و اطراف آن با ماسه سیلیسی دارای مقادیر مختلف نرمی AFS ۱۵، ۵۰ و ۸۰ پر شد [۱۴و۱۵]. در شکل (۱-ج)، نحوه قرارگیری مدل فومی به همراه ابعاد جانمایی آن درون ماسه و قالب آلومینیمی نشان داده شده است.

از میز ارتعاشی، با مشخصاتی مطابق جدول (۲)، برای ایجاد ارتعاش و فشرده کردن ماسه اطراف مدل فومی در زمان‌های مختلف ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه استفاده شد و در نهایت ذوب فلز در کوره القایی در دمای ۷۴۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد.

تخلخل موجود در قطعات ریخته‌گری شده یکی از مهم‌ترین عیوب فرآیند است. با توجه به این که مدل فومی در قالب تجزیه حرارتی می‌شود و در اثر این امر گاز درون قالب تولید می‌شود. بنابراین کنترل متغیرهای اثرگذار بر این عیب به منظور تولید قطعات با کیفیت و مناسب باید صورت پذیرد. میزان تخلخل با استفاده از رابطه (۱) تعیین شد. چگالی تئوری با استفاده از قانون مخلوط‌ها و چگالی تجربی با استفاده از قانون ارشمیدوس محاسبه گردید.

$$Porosity\,\% = 1 - \left({measured\ density} \Big/ {theoretical\ density} \right) \times 100 \quad (۱)$$

تعیین زبری سطح با استفاده از دستگاه Surtronic با دقت ۳ میکرومتر صورت پذیرفت که تصویری از آن در شکل (۲) نشان داده شده است. عیوب ظاهری قطعات به روش بازرسی چشمی مورد ارزیابی قرار گرفت.

شکل ۲- نمایی از دستگاه اندازه‌گیری زبری سطح

Archive of SID

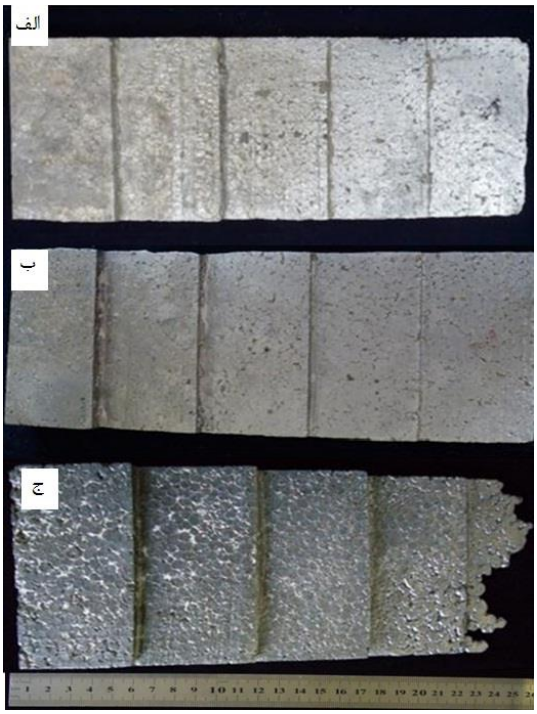
www.SID.ir

۳- نتایج و بحث

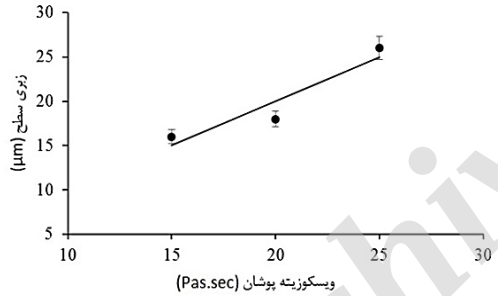
۳-۱- عیوب ظاهری

در شکل (۳)، نتایج بررسی عیوب ظاهری برای پوشان با گرانروی‌های مختلف نشان داده شده است. مطابق شکل، بهترین حالت با داشتن کمترین مقدار عیوب ظاهری، مربوط به حالت (ب) در گرانروی ۲۰ پاسکال ثانیه است. این درحالی است که در حالت (الف) مربوط به گرانروی ۱۵ پاسکال ثانیه و حالت (ج) مربوط به گرانروی ۲۵ پاسکال ثانیه، دارای عیوب ظاهری و عدم پرشدن کامل قالب است.

در گرانروی ۲۰ پاسکال ثانیه، مقدار نفوذپذیری پوشان متناسب با نرخ گاز تولید شده در اثر تجزیه فوم و سرعت خروج گاز از طریق منافذ پوشان و خروج آن‌ها از ماسه بوده است. اما در حالت گرانروی ۱۵ پاسکال ثانیه، پوشان رقیق‌تر است، لذا ضخامت پوشان تولید شده بر مدل فومی نسبت به سایر پوشان‌ها کمتر است. در این حالت، لایه پوشان ایجاد شده بر روی مدل فومی دارای خلل و فرج بیشتری نسبت به پوشان‌های با گرانروی بالاتر است. افزایش خلل و فرج موجب شده تا گازهای تولید شده در قالب فومی با سرعت بیشتری از قالب خارج شده و افت فشار در فضای بین فلز مذاب و پلیمر در حال ذوب ایجاد شود. در این حالت پوشان تحمل وزن ماسه را نداشته و ماسه به درون محفظه‌ی قالب وارد می‌شود. در شکل (۳-الف) این عیوب به وضوح مشاهده می‌شود. از طرف دیگر با افزایش گرانروی از ۲۰ به ۲۵ پاسکال ثانیه (شکل ۳-ج)، ضخامت پوشان افزایش می‌یابد و این امر باعث کاهش خلل و فرج پوشان می‌گردد و در نهایت باعث کاهش نفوذپذیری آن خواهد شد. در این حالت، فشار گاز در فضای خالی تا جایی که بر فشار متالواستاتیکی غلبه کند، بالا خواهد رفت. با افزایش ضخامت و کاهش خلل و فرج، گاز تولید شده در اثر تجزیه مدل فومی در قالب نمی تواند از پوشان خارج شده و درون قالب باقی می‌ماند که همانند سدی در برابر حرکت مذاب به خصوص در مقاطع نازک‌تر عمل نموده و موجب پر نشدن کامل قالب می‌گردد. چن و همکارانش [۱۶] نیز نفوذپذیری پوشان را، عاملی تعیین کننده در خروج گاز از قالب و تعیین عیوب ریختگی گزارش دادند. آن‌ها بیان نمودند که با کاهش مقدار نفوذپذیری پوشان، قالب به صورت کامل پر نمی‌شود زیرا گاز قادر به خروج از قالب نبوده است. با افزایش ضخامت پوشان و کاهش خلل و فرج آن، مواد حاصل از سوختن فوم نمی‌توانند از طریق



شکل ۳- نمونه‌های ریخته‌گری شده با گرانروی‌های (الف)۱۵، (ب)۲۰ (ج) ۲۵ پاسکال ثانیه

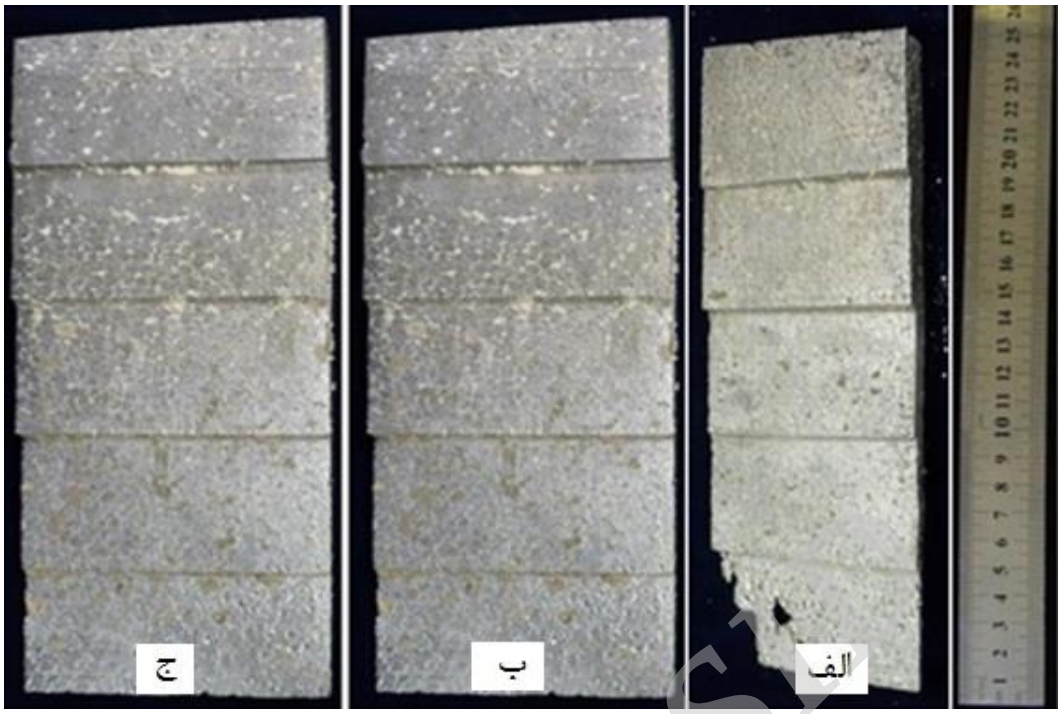


شکل ۴- رابطه زبری سطح با گرانروی پوشان

منافذ پوشان خارج شوند و بر روی سطح فوم باقی می‌مانند و باعث افزایش زبری سطح در ریخته‌گری می‌شوند. بنابر این می‌توان مطابق شکل (۴)، اذعان نمود که با افزایش گرانروی پوشان مقدار زبری سطح افزایش یافته و این افزایش به صورت مستقیم و خطی است.

شکل (۵)، اثر اندازه ماسه بر عیوب ریختگی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در حالت اندازه ماسه ریز، مذاب قادر به پر کردن کامل قالب نیست (شکل ۵-الف). در اندازه ماسه AFS ۱۵ به علت کوچک بودن اندازه دانه‌های آن لایه‌ای یکنواخت و فشرده تشکیل می‌شود که دارای خلل و فرج ریز و کم است. حجم خلل و فرج کم و ریز اجازه عبور گاز تولید شده در قالب را به سادگی نمی‌دهد و سرعت خروج گاز به شدت کم می‌گردد

Archive of SID
www.SID.ir

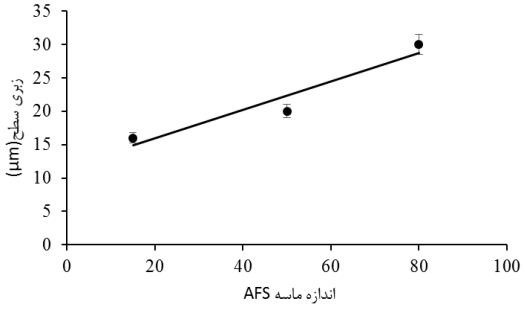


شکل ۵- تاثیراندازه ماسه بر عیوب ریختگی: (الف) AFS ۱۵ (ب) AFS ۵۰ (ج)AFS ۸۰

که در نتیجه باعث به دام افتادن گاز در درون قالب می‌شود. بنابر این مذاب به صورت کامل نمی‌تواند قالب را پر نماید[۹]. اندازه خلل و فرج‌ها، با افزایش اندازه ماسه، بزرگتر شده و درصد آن‌ها نیز بیشتر می‌شود. این موضوع بر سرعت و میزان خروج گاز از قالب و در نتیجه پرشدن کامل قالب موثر است. نتایج بدست آمده از اندازه ماسه AFS ۵۰ و ۸۰ که در شکل (۵-ب) و (۵-ج) نشان می‌دهد که اندازه ماسه با مقدار خلل و فرج رابطه‌ی مستقیم دارد. با عنایت به این نکته که میزان خلل و فرج با سرعت و مقدار خروج گاز از قالب نیز رابطه‌ای مستقیم دارد لذا رابطه‌ی اندازه ماسه با خروج گاز از قالب مستقیم بوده و در نتیجه عیوب ریختگی ناشی از محبوس شدن گاز ایجاد کاهش می‌یابد. خروج گاز با سرعت و مقدار بیشتر باعث می‌گردد تا جلوی مذاب مانعی احساس نشود و قالب به صورت کامل از گاز تخلیه شود تا مذاب بتواند به سادگی به صورت کامل قالب را پرکند.

اگر چه درشت شدن اندازه ماسه منجر به افزایش خلل و فرج می‌شود ولی این موضوع باعث کاهش کیفیت سطح نهایی قطعه و به صورت ناهمواری و با پستی و بلندی‌های بیشتر در قطعه می‌شود. شکل(۶)، نشان می‌دهد که ارتباط بین اندازه ماسه و میزان زبری سطح به‌صورت مستقیم است. کومار و همکارانش [۱۲] نیز نشان دادند که با افزایش اندازه ماسه، کیفیت سطح قطعه پایین آمده و زبری سطح افزایش می یابد.

فرایند ارتعاش سبب جابجایی و فشرده کردن ذرات ماسه می‌شود که این امر اثر مهمی بر زبری سطح و عیوب ریختگی دارد. در فرایند ارتعاش، ماسه‌های ریزتر از جابجایی بیشتری برخوردار بوده و در فضای خلل و فرج موجود در بین دانه‌های بزرگ‌تر عبور می‌کنند. اصولا دانه‌های بزرگ‌تر ماسه مانند موانعی جلوی حرکت یکدیگر را گرفته که با افزایش زمان ارتعاش دانه‌های درشت‌تر نیز جابه‌جا می‌شوند. بنابراین انجام فرایند ارتعاش باعث فشردگی ماسه شده و در نتیجه خلل و فرج را کاهش می‌دهد. فرانچسکو و همکارانش [۱۷] نشان دادند که اندازه ماسه تاثیر مستقیمی بر پرشدن کامل قالب و عیوب ریختگی دارد.



شکل ۶- اثر اندازه ماسه بر زبری سطح

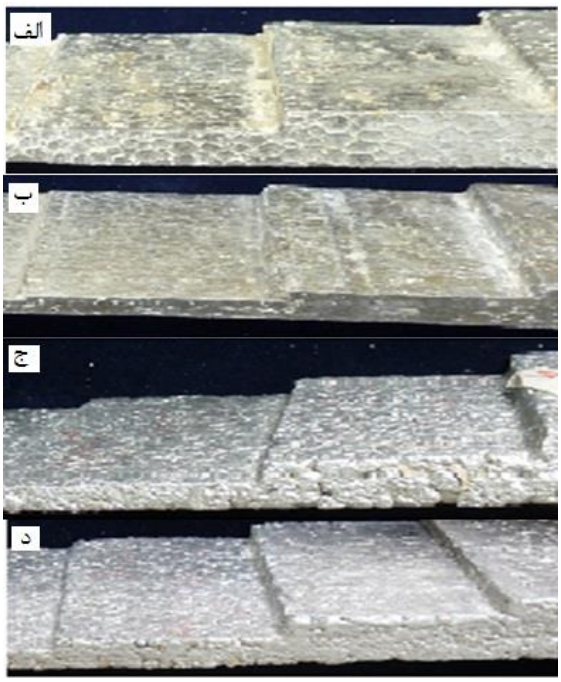
Archive of SID

www.SID.ir

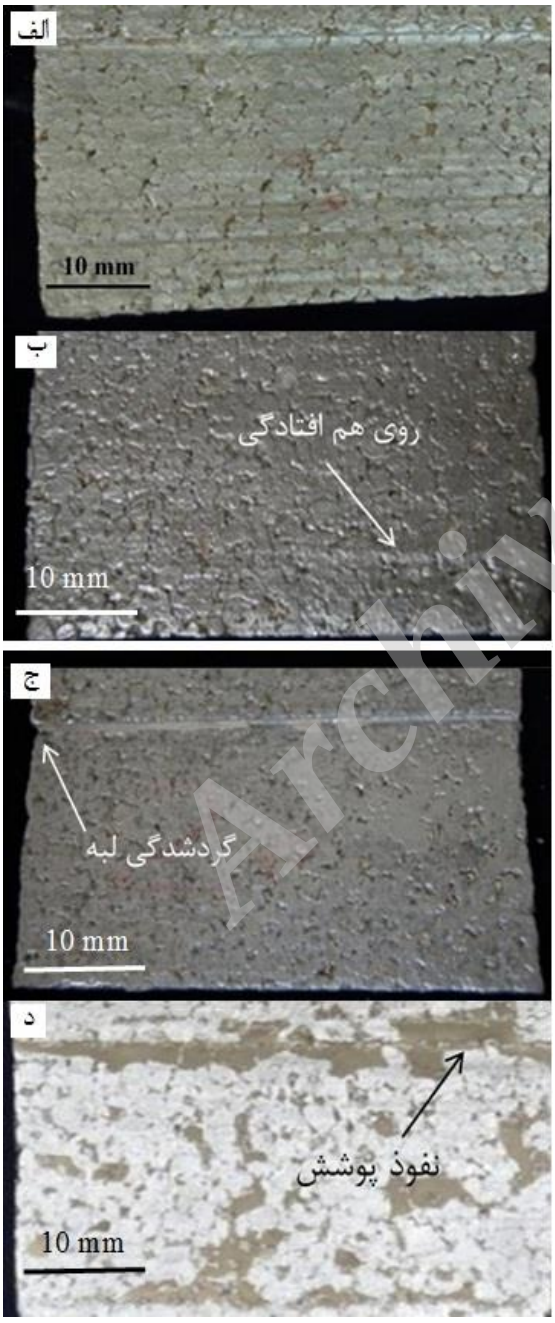
شکل (۷)، اثر زمان‌های ارتعاش بر عیوب ریختگی را نشان می‌دهد. در زمان ارتعاش کم به علت این که تغییر کمتری در ساختار دانه‌های ماسه نسبت به زمان‌های طولانی‌تر ایجاد می‌شود، لذا جابجایی ماسه کمتر بوده و فشردگی کمتری در دانه‌های ماسه ایجاد شده است. همین امر سبب می‌شود تا شکست در لبه‌های نمونه‌ها و گرد شدن آن‌ها در زمان‌های ۶۰ و ۹۰ ثانیه مشاهده نشود. در زمان‌های ارتعاش ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه، پرشدن قالب به صورت کامل صورت گرفته است اما لبه‌ها و زوایای قطعه به علت فشردگی و اعمال نیروی بالای ماسه به پوشان و سطح قطعه شکسته و گرد شده‌اند. با افزایش زمان ارتعاش ممکن است شکست حتی در قسمت‌های با ضخامت کم، صورت پذیرد.

عیوب ریختگی در مقطع نازک قطعه با ضخامت ۳ میلی‌متری در شکل (۸)، نشان داده شده است. با انجام آنالیز بر روی این قسمت از قطعات مشخص شد که بهترین کیفیت برای کمترین زمان ارتعاش یعنی ۶۰ ثانیه است. در این زمان ارتعاش، فشردگی ماسه کم بوده و در نتیجه قطعه به صورت کامل پر شده و گردشدگی در لبه‌های قطعه و شکست پوشان بوجود نمی‌آید. اما با افزایش زمان ارتعاش، مقدار عیوب افزایش می‌یابد زیرا پوشان در اثر تراکم و فشار بالای ماسه خواص خود را از دست می‌دهد و دچار شکست و یا تغییر فرم می‌شود. همچنین با افزایش زمان ارتعاش مقدار مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد که بهره‌وری سیستم را کاهش می‌دهد.

بررسی‌ها نشان داد که با افزایش بیش از حد زمان ارتعاش، ذرات درشت‌تر نیز جابجا شده و فشرده‌تر می‌گردند و به سطح قالب فومی، نیرو وارد کرده، که موجب می‌شود تا زبری سطح نیز افزایش یابد. طبق این نتایج، حداقل زبری سطح برای کمترین زمان ارتعاش ۶۰ ثانیه بدست آمد. شکل (۹) که حاصل از بررسی زبری سطح در زمان‌های ارتعاش مختلف است به خوبی این موضوع را اثبات می‌کند.

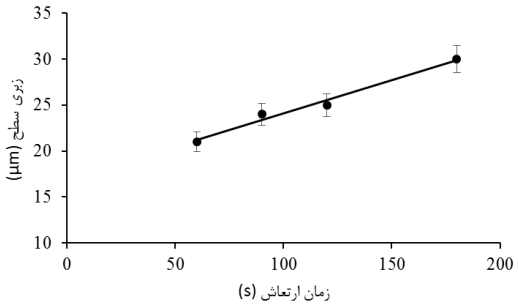


شکل ۷- اثر زمان ارتعاش بر عیوب ریختگی: الف)۶۰، ب) ۹۰، ج)۱۲۰ و د)۱۸۰ ثانیه



شکل ۸- عیوب ریختگی در ضخامت mm ۳ با زمان‌های ارتعاش متفاوت: الف)۶۰، ب)۹۰، ج)۱۲۰ و د) ۱۸۰ ثانیه

Archive of SID
www.SID.ir

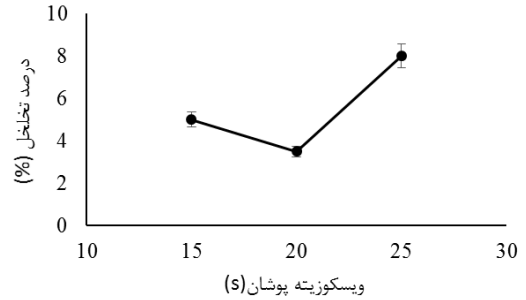


شکل ۹- اثر زمان ارتعاش مختلف بر زبری سطح

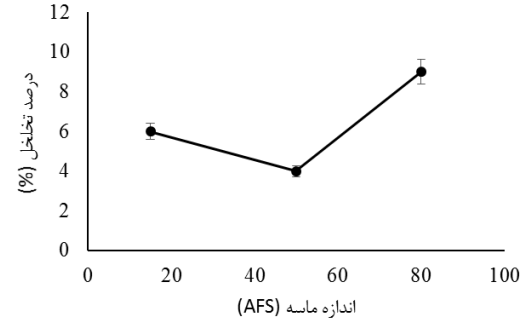
در شکل (۹)، تفاوت زیادی بین زمان ارتعاش ۹۰ ثانیه با ۱۲۰ ثانیه مشاهده نمی‌شود. علت را می‌توان این گونه بیان نمود که با توجه به این‌که ساختار ماسه، نتیجه قرار گرفتن دانه‌ها کنار یکدیگر و نحوی قرارگیری خلل و فرج آن‌ها است، در اثر ارتعاش اگرچه مدام تحت تغییر قرار می‌گیرد اما این تغییرات تا مقدار ۱۲۰ ثانیه به مقداری قابل توجهی نیست که موجب گردد تا ذرات درشت بتوانند حرکت و جابجایی زیادی داشته باشند و به طور تقریبا کامل، ساختار را تغییر دهند. اما پس از ۱۲۰ ثانیه، این ساختار شکسته می‌شود و جابجایی ذرات درشت زیاد می‌شود و بیشتر به سطح قالب فومی می‌رسد و تعداد آن‌ها و نیروی وارده از سمت آن‌ها افزایش می‌یابد.

۳-۲- درصد تخلخل

مطابق شکل (۱۰)، کمترین مقدار درصد تخلخل در مقدار گرانروی ۲۰ پاسکال ثانیه بدست آمده است. در مقادیر پایین‌تر و بالاتر از این مقدار برای گرانروی پوشان به ترتیب نفوذپذیری زیاد و کم پوشان بدست آمد. در گرانروی پوشان ۱۵ پاسکال ثانیه به علت خلل و فرج زیاد پوشان، گاز تولید شده در قالب به طور غیر پیوسته و شدید از میان فلز مذاب و پوشان خارج می‌شود. با هر بار خروج گاز، فشار داخل قالب کاهش پیدا کرده و در نتیجه جبهه مذاب پیش رفته و به دیواره‌ی قالب همچون پتک ضربه وارد می‌کند. با وارد شدن این ضربات به پوشان، تغییر فرم و شکست در پوشان رخ می‌دهد. با کاهش خواص پوشان، انبساط در قطعه و یا فرو ریختن ماسه فشرده به داخل حفره‌های مدل و همچنین عدم خروج کامل گاز بوجود می‌آید. در این حالت، لایه پیوسته حاصل از تجزیه محصولات فوم که بین فلز مذاب و مدل فومی قرار داشت، بسیار باریک شده و گازهای داغ می‌توانند به صورت عمیق‌تر وارد مدل فومی شده و آن را تجزیه نمایند. در نتیجه، سرعت پیش‌روی فلز



شکل ۱۰- رابطه گران‌روی پوشان با درصد تخلخل



شکل ۱۱- رابطه اندازه ماسه با درصد تخلخل

مذاب افزایش می‌یابد و حالت اغتشاش مذاب درون قالب بیشتر می شود. افزایش اغتشاش مذاب باعث می‌شود تا گازهای تولید شده درون مذاب نتوانند به بیرون از قالب حرکت کنند و در مذاب و قالب محبوس می‌شوند. در گرانروی پوشان ۲۵ پاسکال ثانیه، خلل و فرج کم در پوشان باعث نفوذپذیری پایین پوشان است. از آنجائی که با کاهش نفوذپذیری پوشان مقدار گاز کمتری می‌تواند از قالب خارج شود، در نتیجه درصد تخلخل و مقادیر گازی که در مذاب محبوس شده‌اند، افزایش می‌یابد [۱۶].

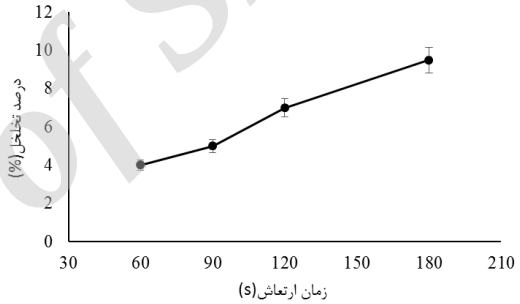
شکل (۱۱)، نتایج بدست آمده را برای اندازه دانه‌های متفاوت ماسه بر حسب درصد تخلخل نشان می‌دهد. مقدار درصد تخلخل با کاهش اندازه ماسه افزایش می‌یابد. استفاده از ماسه با دانه‌های درشت به گازهای تولید شده در اثر تجزیه فوم اجازه می‌دهد که سریع‌تر از قالب خارج گردند و وارد هوا شوند. این امر زمان پر شدن قالب را کاهش می‌دهد. سندز و شیوکومار [۱۸] نیز تاثیر اندازه ماسه بر خروج گاز از قالب را به صورت رابطه مستقیم گزارش دادند. با کاهش زمان پرشدن قالب محصولات حاصل از تجزیه فوم فرصت کمتری برای مخلوط شدن با مذاب داشته و لذا در این حالت درصد تخلخل کاهش می‌یابد. از طرفی اندازه ریز ماسه قابلیت نفوذپذیری را کاهش می‌دهد. این موضوع، خروج گاز از قالب کاهش داده

Archive of SID

www.SID.ir

که باعث افزایش زمان پرشدن قالب می‌شود. در زمان‌های بالاتر برای پرشدن قالب، محصولات حاصل از تجزیه فوم می‌توانند به سمت فلز مذاب حرکت کنند و در بین فلز مذاب محبوس شوند که در نتیجه باعث افزایش درصد تخلخل می‌شوند [۱۱].

شکل (۱۲)، نتایج درصد تخلخل را به صورت تابعی از زمان ارتعاش نشان می‌دهد. مطابق شکل (۱۲)، درصد تخلخل با افزایش زمان ارتعاش افزایش می‌یابد. با افزایش زمان ارتعاش، خلل و فرج موجود در ماسه کاهش یافته و در نتیجه گاز درون قالب خارج نشده است. کومار و همکارانش نیز رابطه و اثر ارتعاش بر درصد تخلخل را به این گونه بیان نمودند که با افزایش زمان ارتعاش، مقدار تخلخل در قطعات افزایش می‌یابد و این نتایج با یافته‌های حاصل در این پژوهش تطابق خوبی دارد [۱۲].



شکل ۱۲- رابطه زمان ارتعاش با درصد تخلخل

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر متغیرهای تاثیرگذار بر خروج گاز از قالب در فرآیند ریخته‌گری توپر به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. تاثیر و مقادیر بهینه هر یک از این متغیرها بر عیوب ظاهری، درصد تخلخل و زبری سطح نمونه‌های ریخته‌گری شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش شامل موارد زیر است:

۱- با افزایش گرانروی پوشان، مقدار خلل و فرج موجود در آن کاهش می‌یابد و در نتیجه گازها و محصولات حاصل از تجزیه فوم نمی‌توانند به خوبی از آن خارج شوند و مانع پر شدن قالب می‌شوند. از طرفی با کاهش گرانروی پوشان، مقدار خلل و فرج افزایش یافته و پوشان استحکام خود را از دست می‌دهد و باعث افزایش عیوب ریختگی می‌شوند. لذا گرانروی پوشان با مقدار ۲۰ پاسکال ثانیه بهترین نتایج را از نظر داشتن کمترین مقدار عیوب ریختگی دارد.

۲- اندازه ماسه و زمان ارتعاش اثرات بسیار مهمی بر عیوب ظاهری و زبری سطح دارند. زیرا با تاثیر بر خلل و فرج موجود در بین ذرات ماسه و به هم فشردگی آن‌ها، نرخ خروج گاز از قالب را کنترل می‌نمایند. با افزایش و یا کاهش اندازه ماسه، عیوب ظاهری افزایش می‌یابد. ولی با افزایش زمان ارتعاش، همواره عیوب ظاهری افزایش می‌یابد. لذا بهترین حالت ریخته‌گری با داشتن کمترین مقدار عیوب ظاهری در اندازه ماسه AFS ۵۰ و زمان ارتعاش ۶۰ ثانیه بدست آمد.

۳- در بررسی عیوب ریختگی نیاز است تا اثر هر یک از عوامل بر عیوب ظاهری و زبری سطح به صورت هم‌زمان بررسی گردد.

۴-زبری سطح با افزایش هر یک از عوامل گرانروی پوشان، اندازه ماسه و زمان ارتعاش افزایش می‌یابد که این افزایش به صورت خطی و مستقیم است. لذا بهترین حالت ریخته‌گری برای کمترین مقدار زبری سطح، مقادیر ۱۵ پاسکال ثانیه، AFS ۱۵ و ۶۰ ثانیه به ترتیب برای گرانروی پوشان، اندازه ماسه و زمان ارتعاش شناسایی شد.

۵- برای تولید قطعه با کمترین میزان تخلخل، گرانروی پوشان برابر ۲۰ پاسکال ثانیه، اندازه ماسه برابر AFS۵۰ و زمان ارتعاش ۶۰ ثانیه مناسب انتخاب شد.

مراجع

[1] Pramod S.L., Ravikirana, Prasada-Rao A.K., Murty B.S., Bakshi R., Effect of Sc addition and T6 aging treatment on the microstructure modification and mechanical properties of A356 alloy, Materials Science & Engineering A, 2016, 647, 438-450.

[2] Jiang W., Fan Z., Liu D., Liao D., Dong X., Zong X., Correlation of microstructure with mechanical properties and fracture behavior of A356-T6 aluminum alloy fabricated by expendable pattern shell casting with vacuum and low-pressure, gravity casting and lost foam casting, Materials Science & Engineering A, 2013, 560, 396-403.

[۳] آموری ج.، احمدی‌فر م.، کزازی م.، کاظمی س.، تولید و مشخصه‌یابی کامپوزیت A356 تقویت شده با نانو ذرات SiC تولید شده به روش ریخته‌گری گردابی، مهندسی مکانیک تربیت مدرس، ۱۳۹۶، ۱۶(۱۰) ۳۳۵-۳۴۲.

[4] Shroyer H.F., Cavity Less Casting, US Patent No. 2830343, 1985.

Archive of SID
www.SID.ir

[۵] آقازاده س.، صمدی ا.، آقازاده ا.، تاثیر مقدارسیلیسیم بر درجه‌بندی ریزساختار آلیاژهای Al-Si ریخته‌شده به روش گریز از مرکز، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، ۱۳۹۶، ۱(۲) ۸۹-۹۷.

[6] Chakherlou T.N., Mahdinia Y.V., Akbari A., Influence of lustrous carbon defects on the fatigue life of ductile iron castings using lost foam process, Materials and Design, 2011, 32, 162–169.

[7] BoGtao X., ZiGtian F., WenGming J., XinGwang L., Qiang H.U., Microstructure and mechanical properties of ductile cast iron in lost foam casting with vibration, Journal of Iron and Steel Research, 2014, 21(11) 1049-1054.

[8] Wang L., Limodin N., Bartali A., Witz J.F., Buffiere J.Y., Charkaluk E., Influence of pores on crack initiation in monotonic tensile and cyclic loadings in lost foam casting A319 alloy by using 3D in-situ analysis, Materials Science & Engineering A, 2016, 673, 362–372.

[۹]خدائی م.، ورهرام ن.، بررسی اثر دانسیته فوم و ضخامت پوشان بر الگوی جریان و برخی پارامترها در ریخته‌گری فومی، فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، ۱۳۸۹، ۴(۱) ۳۳-۴۰.

[10] Khodai M., Parvin N., Pressure measurement and some observation in lost foam casting, Journal of Materials Processing Technology, 2008, 206(3) 1–6.

[11] Kumar S., Kumar P., Shan H.S., Effect of evaporative pattern casting process parameters on the surface roughness of Al-7% Si alloy castings, Journal of Materials Processing Technology, 2007, 182, 615-623.

[12] Kumar S., Kumar P., Shan H.S., Parametric optimization of surface roughness castings produced by evaporative pattern casting process, Materials Letters, 2006, 60 3048-3053.

[13] Karimian M., Idris M.H, Ourdjini A., Muthu K., Effect of flask vibration time on casting integrity, surface penetration and coating inclusion in lost foam casting of AlSi alloy, AIP Conference Proceedings, 2011.

[14] Green J.J., Ramsay C.W. Askeland D.R., Formation of surface defects in gray iron lost foam castings, Transactions of the American Foundrymen's Society, 1998, 106, 339-347.

[15] Karimian M., Ourdijini A., Idris M.H, Chuan T., Jafari H., Process control of lost foam casting using slurry viscosity and dipping time, Journal of Sciences, 2011, 11(21) 3655-3658.

[16] Chen Y.F., Chen R.C., Hwang W.S., Mold-filling study in the epc process-mathematical model and flow characteristics, Transactions of the American Foundrymen's Society, 1997, 105, 459-464.

[17] Francisco G.M., Oliveira C.A.S., Study of full-mold casting process for Al-Si hipoeuthetic alloys, Journal of Materials Processing Technology, 2006, 179, 196-201.

[18] Sands M., Shivkumar S., Influence of coating thickness and sand fineness on mold filling in the lost foam casting process, Journal of Material Science, 2003, 38, 667-673.

Archive of SID

www.SID.ir