بهار ۱۳۹۳/ سال هفتم/ شماره ویژه

فصلنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک جامدات

www.jsme.ir

فصلنامه علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک جامدات

تاثیر چگالی فوم برروی عیوب ظاهری و زبری سطح برای آلیاژ Al-Si در ریخته گری با مدل فومی فداشونده

محمدامین شاهرخیان دهکردی [۱]، مجید کریمیان [۲،*]

* نویسنده مسئول: m.karimian@iaukhsh.ac.ir

چکیده

روش ریخته‌گری به مدل فومی فدا شونده، یک روش نوین برای ریخته‌گری قطعات پیچیده می‌باشد که علاوه بر داشتن مزایای فنی و اقتصادی نسبت به روش سنتی دارای مزایای زیست محیطی نیز بوده و از این‌رو مورد توجه ویژه قرار گرفته است. متغییرهای فراوانی بر روی این روش ریخته‌گری تاثیرگذارهستند که یکی از این متغییرها چگالی فوم می‌باشد که در این تحقیق به بررسی تاثیر چگالی فوم بر روی عیوب ظاهری از جمله زبری سطح، پرشدن لبه‌ها، گردشدگی لبه‌ها، روی هم افتادگی و... که از مهمترین پارامترها در بیان کیفیت سطح در ریخته‌گری با مدل فومی هستند، پرداخته شده است. همچنین برای بررسی تاثیر هر یک از پارامترها ابتدا سه نوع چگالی فوم متفاوت ۱۶، ۲۰ و ۳۲ Kg/m^3 انتخاب شد. جهت اندازه‌گیری عیوب سطح از دوربین تصویر برداری با کیفیت و از دستگاه زبری سنجی به منظور بررسی زبری سطح در نمونه‌ها استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌های حاصل از زبری سنجی مشخص نمود که بهترین چگالی از بین چگالی-های استفاده شده جهت ریخته‌گری با کیفیت سطح شامل کمترین مقدار عیوب سطحی چگالی فوم ۲۰ kg/m^3 می باشد

واژه‌های کلیدی

ریخته گری با مدل فومی فداشونده، چگالی فوم، زبری سطح، عیوب ظاهری

۱- عضو باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

۲- استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

روش ریخته‌گری با مدل فومی فداشونده یک تکنولوژی جدید برای تولید قطعات پیچیده فلزی می‌باشد. این فرآیند اولین بار در سال ۱۹۵۸ تحت عنوان ریخته‌گری توپر ابداع شد.[۱و۲]

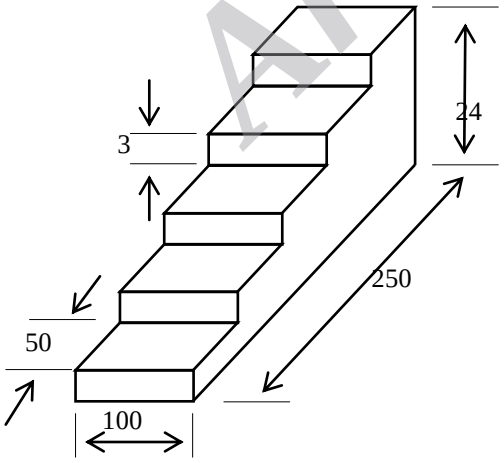
تحقیقات گسترده دانشگاهی در سال ۱۹۵۹ در دانشگاه MIT آمریکا آغاز شد و سپس در سال ۱۹۶۴ استفاده از ماسه بدون چسب در این روش مورد استفاده قرار گرفت. [۳-۵]. پس ازآن فعالیت‌های تحقیقاتی گسترده‌تری در زمینه‌ی شناسایی متغییرهای فرآیند و حل مشکلات آن و یافتن روش‌های صنعتی تولید به این روش آغاز گردید.[۶]

این روش ریخته‌گری از چندین مرحله تشکیل می‌شود که بایستی به منظور ایجاد ریخته‌گری با کیفیت کنترل شود. در فرآیند ریخته‌گری با مدل فومی فدا شونده ابتدا مدل که معمولا از جنس فوم پلی استایرن می‌باشد و از نظر هندسی مانند قطعه فلزی نهایی مورد نظر است، ساخته می‌شود. پس از تکمیل فرآیند پخت و نصب سیستم راهگاهی و خوشه کردن مدل، مدل اصلی در درون یک دوغاب که دارای مواد دیرگداز مانند زیرکن، آلومینا و... است قرار داده می‌شود. مواد دیرگداز به عنوان پوششی روی مدل فومی را می‌پوشانند و لایه‌ای نازک و مقاوم در برابر حرارت را بر روی فوم باقی می‌گذارند که به تدریج در دمای اتاق (۲۵درجه سانتی گراد و فشار ۱ اتمسفر) خشک می‌شود. زمانی که خشک شدن قالب تکمیل شد، فوم پوشش داده شده را در درون یک قالب فلزی به صورت معلق قرار می‌دهند در این حال ماسه به درون قالب ریخته می‌شود و قالب فلزی مرتعش می‌گردد به گونه‌ای که اطراف مدل فومی پوشش داده شده را ماسه احاطه کند. ماسه همانند یک پشتبند از فروپاشی زود هنگام قالب جلوگیری می‌کند و به خروج گازها نیز کمک می‌کند. سپس فلز مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود و فوم را ذوب و تبخیر می‌کند. فلز منجمد شده در قالب اصلی قطعه‌ای مشابه با قطعه اصلی را ایجاد می‌کند. ریخته‌گری با فوم فداشونده یک فرآیند پیچیده نسبت به روش ریخته‌گری با ماسه بوده که متغییرهای اثر گذار مختلفی بر روی کیفیت نهایی قطعه ریخته‌گری از جمله عیوب داخلی و سطحی دارد که به علت نو پا بودن این تکنولوژی هنوز در مرز دانش بوده و نیاز به تحقیق در این زمینه کاملا احساس می‌شود.

از مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار در این فرآیند چگالی فوم، پوشان مورد استفاده، دمای ذوب‌ریزی و سیستم راهگاهی، زمان غوطه‌وری و... می‌باشند. در این تحقیق به بررسی پارامتر بسیار تاثیرگذار، چگالی فوم در سه سطح ۱۶، ۲۰، ۳۲ (kg/m^3) که تاثیر بیشتری بر روی عیوب سطحی و زبری سطح دارد پرداخته می‌شود.

۲- آزمایشات

به منظور بررسی سرعت‌های مختلف سرد شدن در ریخته-گری ضخامت‌های مختلف مدل در نظر گرفته شد. برای این تحقیق ضخامت‌های مختلف قطعه به صورت پلکانی و با پنج پله به ضخامت های ۲۴، ۱۸، ۱۲، ۶ و ۳ در نظر گرفته شد. بدین منظور ابتدا بلوک خام فوم پلی‌استایرن با چگالی-های ۱۶، ۲۰و ۳۲ (kg/m^3) جهت بررسی اثر چگالی فوم بر ریخته‌گری با مدل فومی و با ابعاد ۲۵۰*۱۰۰ میلی‌متر توسط دستگاه برش الکتریکی سیم داغ با دقت ابعادی ۰/۵ میلی‌متر برش داده شد. شکل(۱) ابعاد مدل فومی از جنس پلی-استایرن در نظر گرفته شده را برای این تحقیق نشان می‌دهد.



شکل(۱) ابعاد مدل فومی درنظر گرفته شده از جنس پلی استایرن

Archive of SID

www.SID.ir

برای سیستم راهگاهی از سیستم راهگاهی سرتاسری در بالا استفاده شد.[۷] بعد از نصب سیستم راهگاهی بر روی مدل-ها، خوشه فومی آماده شده در محلولی از زیرکنیم و سیلیس با ویسکوزیته ۲۷ که توسط کاپ فورد با دهانه ریزشی ۵ اندازه‌گیری شد، به مدت ۶۰ ثانیه غوطه‌ور گردید که در نتیجه لایه نازکی از مواد نسوز بر روی مدل فومی پوشش داده شد.[۸]

برای حصول اطمینان از خشک شدن پوشان نسوز مدل‌ها در اتاقی با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ اتمسفر به مدت ۲۴ ساعت مطابق با شکل(۲) نگهداری شد.

شکل(۲) خشک کردن مدل ها در شرایط دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ اتمسفر

مدل‌ها در قالب فلزی به صورت معلق قرار داده شد و اطراف آن به کمک ماسه سیلیسی با اندازه دانه AFS ۴۰-۶۰ پر گردید.[۹] سپس قالب فلزی توسط میز ارتعاشی با فرکانس ۵۰ Hz به مدت ۶۰ ثانیه به منظور فشرده سازی بیشتر ماسه تحت ارتعاش قرار داده شد.[۱۰]

آلیاژ Al-Si-Cu یا LM6 مطابق با استاندارد انگلیسی و با درصد مواد نشان داده شده در جدول(۱) برای ریخته‌گری استفاده شد.

جدول(۱) درصد مواد آلیاژ *Al-Si-Cu*

Si	Fe	Mg	Mn	Cu	Ti	Zn	Al
۱۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۲۷	۰/۲۳	۱/۷۹	۰/۰۴	۰/۸۵	Bal

ذوب ریزی با استفاده از کوره‌ی القایی الکتریکی و در دمای ۷۴۰ درجه‌سانتی‌گراد انجام پذیرفت.[۱۱]

بررسی عیوب ذوب‌ریزی سطحی و ظاهری با استفاده از تجزیه و تحلیل عکس‌های دیجیتالی گرفته شده از نمونه‌های ریخته‌گری شده، انجام شد همچنین برای بررسی زیری سطح از دستگاه سورترونیک [۱] مطابق شکل(۳) استفاده شد.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- عیوب ذوب‌ریزی سطحی

در خیلی از موارد ممکن است ریخته‌گری به صورت ناکامل رخ دهد که یکی از علل آن تولید گاز و عدم خروج آن از قالب می‌باشد. مهم‌ترین عیوب سطحی می‌توانند شامل: عیب روی هم افتادگی، ماسه سوزی، آبله‌گون شدن و گرد شدگی لبه‌ها و... باشند.

چگالی فوم یکی از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر روی ریخته‌گری با مدل فومی می‌باشد. چگالی فوم با گاز تولیدی حاصل از تبخیر آن و همچنین محصولات تجزیه فوم رابطه-ای مستقیم دارد که جهت به حداقل رساندن مقدار این گاز و محصولات حاصل از تجزیه مدل فومی، چگالی فوم کمتر برای مدل فومی مناسب می‌باشد اما از سویی چگالی فوم کم به علت ایجاد تلاطم در قالب باعث ایجاد عیوب ریخته‌گری می‌گردد که در نتیجه استفاده از چگالی فوم بهینه در تولید مدل فومی بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

۱- *Surtronic*

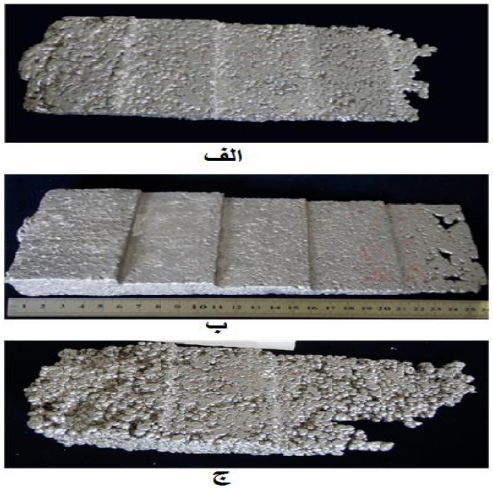
Archive of SID

www.SID.ir

درگزارش‌های کومار[۱۲] اطلاعات مربوط به گاز تولید شده در قالب به صورت تابعی از چگالی فوم و دمای ذوب ریزی بیان شده است. زمانیکه چگالی مدل فوم افزایش یابد، گاز بیشتری در دمای ثابت ذوب‌ریزی ایجاد می‌گردد و همچنین زمانیکه در یک چگالی ثابت از مدل فومی دمای ذوب‌ریزی افزایش می‌یابد، گاز تولید شده نیز افزایش خواهد یافت.

گاز تولید شده در قالب که به علت تجزیه و تبخیر شدن و سوختن مدل فومی می‌باشد اگر به صورت مناسب نتواند از قالب خارج گردد همچون مانعی در مقابل حرکت مذاب عمل کرده و باعث می‌شود تا قالب به صورت کامل پر نگردد.

شکل(۴) نتایج حاصل از بررسی چگالی‌های مختلف فوم را بر روی عیوب سطحی و کامل پرشدن قالب نشان می‌دهد. شکل(۵) الف)، چگالی فوم $16\ kg/m^3$ می‌باشد و قسمت (ب) نمونه ریخته‌گری با چگالی فوم $20\ kg/m^3$ و نهایتا قسمت(ج) نمونه ریخته‌گری با چگالی فوم $32\ kg/m^3$ با سیستم راهگاهی کامل از بالا طبق تحقیقات است. [۷]



شکل(۴) بررسی عیوب ذوب‌ریزی سطحی برای چگالی‌های مختلف فوم

مطابق شکل(۴) هرچقدر چگالی فوم بالاتر می‌رود در نتیجه گاز تولید شده در قالب نیز افزایش می‌یابد و چون سرعت خروج آن از طریق منافذ پوشان و همچنین دمای ذوب ریزی مقدار ثابتی می‌باشد در نتیجه می‌توان عیوب ظاهر شده در نمونه‌های ریخته‌گری شده که در اثر عدم خروج گاز می‌باشند را مستقیما به چگالی فوم مرتبط دانست به صورتیکه گاز باقی‌مانده در قالب در چگالی فوم بالاتر افزایش می‌یابد و مانند سد و مانعی جلوی پیشرفت مذاب در قالب و پرشدن کامل آن را می‌گیرد و باعث ایجاد عیوب ذوب‌ریزی ظاهری می‌گردد. از این‌رو همانگونه که مشخص است در چگالی فوم $32kg/m^3$ مطابق انتظار قالب به صورت کامل پر نشده و در تمام ضخامت‌های نمونه‌ی ریخته‌گری شده شاهدعیوب ذوب‌ریزی و ناقص بودن پرشدگی می‌باشیم که به طور مستقیم تحت تاثیر چگالی فوم مدل و مقدار گاز تولید شده در اثر تجزیه و تبخیر آن می‌باشدکه این امر با یافته‌های دانشمندان قبلی از جمله وانگ و کومار تایید می‌گردد.[۱۲و۱۳]

از سوی دیگر در چگالی فوم $16\ kg/m^3$ که کمترین چگالی فوم را در بین نمونه‌های مورد آزمایش دارد باز هم شاهد عیوب ذوب‌ریزی و عدم پرشدن کامل قالب می‌باشیم که علت را این‌گونه می‌توان بیان نمود که چون چگالی فوم پایین می‌باشد دانه‌بندی و تراکم دانه‌های فوم پایین می‌باشد و در نتیجه سرعت تجزیه و تبخیر مدل ساخته شده با این چگالی فوم بالاتر از سایر نمونه‌ها می‌باشد گرچه مقدار گاز تولید شده کمتر است اما به دلیل اینکه عمل تجزیه و تبخیر فوم با سرعت بالایی اتفاق می‌افتد، گاز حاصل شده فرصت خروج از منافذ پوشان را نداشته و لذا در قالب محبوس می‌ماند و اجازه پر شدن کامل قالب و تولید قطعه‌ایی بدون عیب را با استفاده از این چگالی فوم نمی‌دهد. در شکل(۵) قسمت (ب) نمونه ریخته‌گری شده با چگالی فوم $20kg/m^3$ نشان داده شده است و همینطور که از شکل مشخص است نسبت به دو نمونه چگالی فوم دیگر مورد استفاده در این تحقیق از نظر عیوب ذوب‌ریزی سطحی و پر شدن کامل قالب سالم‌تر و بهتر می‌باشد زیرا از نظر چگالی فوم مقدار و تراکم آن به اندازه ایی بالا نمی‌باشد که حجم زیادی گاز در اثر تجزیه و تبخیر آن بوجود آید همچنین دانه بندی آن به گونه ایی نیست که سرعت تجزیه و تبخیر آن، آنقدر بالا باشد که گاز تولید شده فرصت عبور و خروج را از منافذ پوشان پیدا نکند. لذا در حدی بهینه و متعادل از نظر سرعت

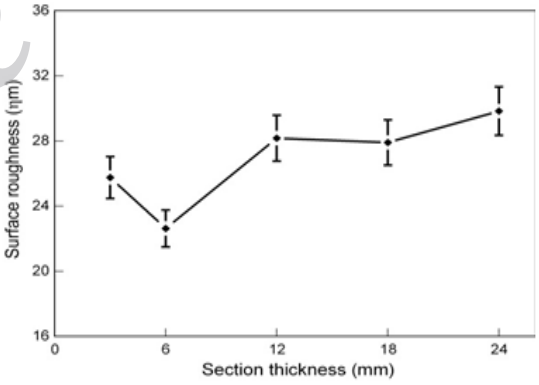
Archive of SID

www.SID.ir

تجزیه فوم و مقدار تولید گاز می‌باشد که این نتایج یافته‌های کومار در مورد نسبت تولید گاز با چگالی فوم را به صورت عملی و تاثیر آن بر روی ریخته‌گری اثبات کرده و نشان می‌دهد.[۱۳] از طرفی با، یافته‌های ساندس و همکاران مطابقت دارد.[۱۴و۱۵]

۳-۲- زبری سطح

زبری سطح یکی‌دیگر از پارامترهای با اهمیت در بیان کیفیت قطعه تولید شده به روش ریخته‌گری به مدل فومی فداشونده می‌باشد. به منظور بررسی تاثیر چگالی فوم بر روی زبری سطح از آنجاییکه فقط نمونه‌های ریخته‌گری شده با چگالی فوم $۲۰kg/m^3$ از نظر عیوب ذوب‌ریزی سطحی سالم بوده و کیفیت بهتری نسبت به نمونه‌های دیگر با چگالی‌های فوم ۱۶و $۳۲kg/m^3$ بودند، داشت لذا فقط زبری سطح برای چگالی فوم $۲۰kg/m^3$ اندازه‌گیری شد. نتایج برای زبری سطح در نمودار شماره(۱) نشان داده شده است.



نمودار(۱) اثر ضخامت بر روی زبری سطح

مطابق شکل کمترین زبری سطح در ضخامت ۶ میلی‌متر بدست آمده است و با افزایش ضخامت مقدار زبری سطح افزایش می‌یابد. نتیجه حاصل را می‌توان بدین گونه بیان نمود که نوع پلیمر فوم و خصوصیات آن یک تاثیر قوی بر روی کیفیت ریخته‌گری دارد[۱۳]. همچنین دانه بندی فوم نیز بر روی این موضوع بسیار تاثیرگذار می‌باشد و هرچه دانه بندی فوم کوچک‌تر باشد زبری سطح کمتر و در نتیجه کیفیت سطح بهتری خواهیم داشت[۱۶]. علت این امر که کمترین مقدار زبری در ضخامت ۶ میلی‌متر بدست آمده این است که چون طرز قرار گرفتن مدل فومی در قالب به گونه‌ایی بوده است که کمترین ضخامت مدل فومی که مقدار آن ۳ میلی‌متر است در پایین‌ترین قسمت قالب قرار می‌گیرد و سیستم راهگاهی سرتاسری از بالا مورد استفاده قرار گرفته بوده است که خود موجب می‌گردد تا نیروی لازم از سمت مذاب به گازهای حاصل از تجزیه و تبخیر فوم وارد آید و آن‌ها را از طریق منافذ پوشان و ماسه‌ی قالب خارج نماید و در نتیجه بتواند به شکل کامل‌تری تمام حفرات و روزنه‌ها و قسمت‌های ریز کناره پوشان را پر نماید از طرفی هرچه به سمت بالاتر و ضخامت‌های بیشتر میرود از مقدار نیروی حاصل از سمت مذاب در اثر وزن آن کاسته می‌شود و مذاب به صورت یکنواخت و هموار نتوانسته است که سطح پوشان داده شده را پر نماید. اما در ضخامت ۳ میلی‌متر به علت باریک بودن این مقطع حرکت مذاب بسیار سخت‌تر شده و همچنین با توجه به این موضوع که مذاب مقداری از دمای خود را برای تجزیه و تبخیر مدل فومی از دست داده است، مذاب با سرعت و نیروی ابتدایی قادر به تجزیه و تبخیر مدل فومی نمی‌باشد از طرفی با توجه به طرز قرار گیری مدل فومی مقداری از گاز تولید شده در قاطع بالاتر نیز توسط مذاب به این قسمت از مدل رانده می‌گردد و در نتیجه مذاب مجبور به خارج نمودن سهم بیشتری از باقی‌مانده‌های حاصل از تجزیه و تبخیر فوم در اثر سوختن از این ضخامت می‌باشد لذا سطح هموار و یکنواخت مذاب در این ضخامت نسبت به ضخامت ۶ میلی‌متر کمتر بوده و دارای زبری سطح بالاتر می‌باشد.

۴- نتایج

چگالی فوم یکی از مهمترین پارامترهای موجود در روش ریخته‌گری با مدل فومی فداشونده می‌باشد. فوم به سبب چگالی، دانه بندی، نوع پلیمر فوم و خصوصیات آن بسیار با اهمیت می‌باشد. تاثیر چگالی فوم نسبت به سایر ویژگی‌های آن نمود بیشتر داشته و تاثیر کاملا آشکاری بر روی عیوب ذوب‌ریزی ظاهری و زبری سطح دارد بدین‌گونه که با

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش مقدار چگالی فوم عیوب ذوب‌ریزی سطحی و زبری سطح نمونه‌های تولید شده افزایش می‌یابد و باید این نکته را در نظر گرفت که چگالی کم فوم به سبب دانه بندی ریز آن نیز که باعث افزایش نرخ تبخیر و تجزیه فوم می‌شود، عیوب ذوب‌ریزی سطحی و زبری سطح را نیز افزایش می‌دهد لذا چگالی فوم دارای حد مورد قبولی می‌باشد. چگالی فوم بهینه باید دارای یک مقدار مورد قبول و بهینه از اندازه دانه-های فوم و همچنین چگالی آن باشد که سرعت تجزیه و تبخیر فوم و حجم گاز تولید شده در قالب مقدار بهینه باشد. این مقدار بهینه باید به گونه‌ای باشد که گاز حاصل از تجزیه و تبخیر فوم بتواند از طریق منافذ پوشان و ماسه به صورت کامل از قالب خارج گردد و باعث ایجاد عیوب ذوب‌ریزی سطحی از جمله پرشدن کامل قالب، گردشدگی لبه‌ها، روی هم افتادگی و... نگردد. برای چگالی فوم $۲۰kg/m^3$ که حالتی بین چگالی‌های فوم بالا و پایین مورد استفاده در این پژوهش بود، بهترین نتایج و با کیفیت‌ترین نمونه‌ها از نظر کم بودن عیوب ذوب‌ریزی سطحی و زبری سطح بدست آمد.

مراجع:

[1] Raymond W. Monrore, Expandable pattern casting, American-Foundry men's society, Il, Us, 1992.

[2] Shroyer H.F., Cavity less casting, U.S Patent# 2830343, April 1958.

[3] Fleming M.C., Foam vaporization casting, silver Anniversary Paper, *AfS Transaction*, , vol. 95, 1987, pp. 665-672.

[4] Smith T.R., Use of clean, unbounded sand in foam casting, u.S.Patent# , ,3157924, Dec 1964.

[5] Dieter H.B, Paoli A.J., sand without binder for making full mould casting, *The British foundrymen*, November, 1968, pp. 413-427.

[6] Troxler J.A., the prospects for lost foam in 1995, *AFS. Transaction*, vol. 115, 1987, pp. 371-378.

[7] Hong W.Y., Metal Filling Characteristics of Aluminium Casting. Master Degree. Universiti Teknologi Malaysia; 2009.

[8] 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* , vol. 11, No. 21, 2011, pp. 3655-3658.

[9] Karimian M., Effect of sand compactness on porosity area fraction and eutectic silicon spacing in lost foam casting of Al-Si alloy., *7th international material technology conference & exhibition IMTCE*, 13-16 June 2010 ,Sarawak.

[10] Karimian M., Effect of flask vibration time on casting integrity, surface penetration and coating inclusion in lost foam casting of Al-Si alloy Advances, *in materials and processing technologies* (AMPT), 24-27 October 2011, Paris France.

[11] Bsher M., Lost Foam Casting of Lm6 Al-Si Cast Alloy, Master, Universiti Teknologi Malaysia; 2009.

[12] Kumar, S., Kumar, P., and 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*, vol. 182, No. 1-3, 2007, pp. 615-623.

[13] Wang L., Influence of Process Parameters on Microstructure and Mechanical Properties on Lfc Foam Al Castings, Ph.D Degree, Drexel 1991.

[14] Sands, M., and Shivkumar, S. Eps Bead Fusion Effects on Fold Defect Formation in Lost Foam Casting of Aluminum Alloys. *Journal of Mater Science*, vol. 41, 2006, pp. 2373-2379.

[15] Sands, M., and Shivkumar, S. Eps Molecular Weight and Foam Density Effects in the Lost Foam Process. *Journal of Materials Science*., vol.38, 2003, pp. 2233-2239.

[16] Clegg A.J., Expanded-Polystyrene Molding a Status Report, *foundry trade j*, vol. 159, 1985, pp. 177-196.

Archive of SID

www.SID.ir