بررسی اثر دانسیته فوم و ضخامت پوشان بر الگوی جریان و برخی پارامترها در ریخته‌گری فومی

محمد خدائی*[1] و ناصر ورهرام[2]
۱- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی
۲- استادیار، دانشگاه صنعتی شریف
*khodai1358@yahoo.com
(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۸/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۱۰)

چکیده
در ریخته‌گری به روش مدل‌های فومی فدا شونده، مدل و سیستم راهگاهی از فوم قابل تبخیر (عموماً پلی‌استایرن) تهیه شده و پس از پوشش‌دهی داخل ماسه بدون چسب قرار می‌گیرد. با ورود مذاب به قالب، مدل تجزیه حرارتی و از قالب خارج شده و مذاب جای آن را می‌گیرد. در ریخته‌گری فولادها به این روش به علت دمای بالای مذاب، مدل فومی عمدتاً به محصولات گازی تجزیه شده و به صورت گاز از قالب خارج می‌شود. اعمال فشار برگشتی توسط محصولات گازی تجزیه فوم روی سطح آزاد مذاب باعث تغییراتی در جریان مذاب داخل قالب می‌شود. اما در ریخته‌گری آلومینیوم به علت حرارت کمتر مذاب، فوم دچار تجزیه کمتر می‌شود و عمدتاً به فرم مایع از قالب خارج می‌شود. در این پژوهش از تکنیک فتوگرافی (قالبی با یک وجه شیشه‌ای) برای بررسی نحوه جریان مذاب و طول فاصله‌گازی در ریخته‌گری فولاد و آلومینیوم به روش مدل‌های فومی فدا شونده استفاده شده است. نتایج فشارسنجی طول فاصله‌گازی نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت پوشان، دانسیته فوم و ارتفاع لوله راهگاه فشار برگشتی بر سطح آزاد مذاب فولاد افزایش می‌یابد. مقایسه نتایج فتوگرافی آلومینیوم و فولاد نشان می‌دهد که در ریخته‌گری فولاد، شدت واکنش‌ها در طول فاصله‌گازی و حجم محصولات گازی نسبت به ریخته‌گری آلومینیوم بسیار بیشتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:
ریخته‌گری فومی، روش فتوگرافی، طول فاصله‌گازی، فشار برگشتی بر مذاب.

۱- مقدمه

در ریخته‌گری با مدل‌های فومی فدا شونده یا مدل تبخیری ابتدا مدل و سیستم راهگاهی از جنس فوم (پلی‌استایرن، پلی‌متیل متاکرایلیت، پلی‌اکیلن کربنات) ساخته می‌شود. سپس آنها را توسط دوغاب نسوز پوشش داده و پس از خشک شدن آن را داخل درجه قرار داده و درجه با ماسه بدون چسب و توسط ارتعاش پر می‌شود. با ورود ذوب به محفظه قالب، فوم تجزیه و از قالب خارج می‌شود [۱، ۲ و ۳]. در ریخته‌گری فلزات با نقطه ذوب کم نرخ تجزیه فوم و در ریخته‌گری فلزات با نقطه ذوب بالا نرخ خروج محصولات تجزیه از قالب عوامل کنترل‌کننده

Archive of SID

www.SID.ir

نحوه جریان مذاب و نرخ پر شدن قالب می‌باشند. همچنین میزان تجزیه فوم شدیداً وابسته به دمای مذاب است به گونه‌ای که در ریخته‌گری آلومینیوم ۹۰-۷۰ درصد محصولات تجزیه فوم به صورت مایع و در دمای ریخته‌گری چدن محصولات تجزیه عمدتاً به صورت گاز هستند [۴ و ۵]. با گرم شدن فوم پلی‌استایرن وقتی دما بالاتر از ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد پلی‌استایرن شروع به دیپلیمریزه[۱] شدن می‌کند. در دمای حدود ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد فوم به ذوب تا حدی دیپلیمره شده تبدیل می‌شود. با افزایش دما تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد نرخ تبخیر فوم افزایش یافته تا حدی که محصولات گازی در این دما تشکیل می‌شوند. تا دمای ۸۳۰ درجه سانتی‌گراد این گازها عمدتاً از منومر استایرن تشکیل شده‌اند ولی با افزایش دما به بالاتر از این عدد، منومر به هیدروژن و هیدروکربن‌ها تجزیه می‌شود [۶]. به گونه‌ای که در دمای ریخته‌گری فولاد پلی‌استایرن عمدتاً به صورت محصولات گازی (هیدروکربن و هیدروژن) از قالب خارج می‌شود. نرخ خروج گاز به عواملی مانند نفوذپذیری پوشان و ماسه و نسبت سطح به حجم قطعه بستگی دارد. چنانچه نرخ خروج گاز از قالب کمتر از نرخ تولید گاز در قالب باشد، فشار گاز در قالب (فشار برگشتی بر سطح آزاد مذاب) افزایش یافته و باعث ایجاد تغییراتی در الگوی جریان مذاب می‌شود [۷، ۸، ۹ و ۱۰].

در دمای ریخته‌گری فولاد به علت تشعشع حرارتی شدید، فاصله گازی قابل توجهی بین مذاب و فوم جامد ایجاد می‌شود. این فاصله در ریخته‌گری آلومینیوم توسط یانگ[۲] و همکاران حدود ۳-۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است [۱۱]. همچنین در تحقیقات ایشان، فشار برگشتی در ریخته‌گری آلومینیوم به روش مدل فومی ۵۰۰-۲۰۰ پاسکال و در ریخته‌گری چدن ۲۶۰۰۰-۱۱۰۰۰ پاسکال اندازه‌گیری شده است. در منابع اشاره‌ای به طول فاصله‌گازی در ریخته‌گری فولاد و فشار برگشتی آن نشده است. و با توجه به دمای بالای مذاب فولاد و کوتاه بودن زمان پر شدن قالب، دقت بالایی برای بررسی آنها لازم می‌باشد.

در این تحقیق از تکنیک فتوگرافی برای بررسی نحوه جریان مذاب فولاد و طول فاصله‌گازی استفاده شده است. پاپ و باتلر[۳] اولین استفاده‌کنندگان این روش در ریخته‌گری آلومینیوم به روش مدل فومی هستند [۱۲]. البته محققین دیگری مانند پیتر[۴] و همکاران و لی[۵] نیز از این تکنیک برای بررسی جریان مذاب‌های آلومینیوم و روی و چدن در ریخته‌گری فومی استفاده کرده‌اند [۱۳].

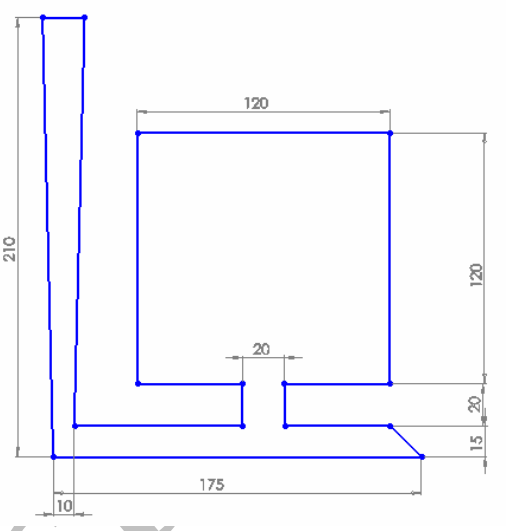
۲- روش تحقیق

هر چند که بررسی نحوه پر شدن قالب به روش اشعه ایکس[۶] دقیق‌ترین روش می‌باشد و در روش فتوگرافی، حضور شیشه در یک وجه قالب باعث از بین رفتن نفوذپذیری یک وجه قالب می‌شود اما اجرای روش فتوگرافی ساده‌تر و ارزان‌تر بوده و در این روش جزئیات بیشتری از طول فاصله‌گازی را می‌توان مستقیماً مشاهده نمود. در روش اشعه ایکس فقط مذاب قابل مشاهده بوده و فاصله‌گازی و واکنش‌های داخل آن به وضوح قابل بررسی نیستند. در این تحقیق به منظور بررسی اثر دانسیته فوم و ضخامت پوشان بر جریان مذاب فولاد و آلومینیوم و طول فاصله‌گازی ابتدا مدل فومی با دانسیته‌های Kg/m^3 ۲۰ و ۱۰ و با ابعاد نشان داده شده در شکل (۱) و به ضخامت ۲ سانتی‌متر توسط سیم داغ بریده شد. سپس یک وجه مدل‌های مورد استفاده در ریخته‌گری فولاد توسط رنگ فسفری حساس به نور و به منظور افزایش وضوح طول فاصله‌گازی و کاهش اثر تابش شدید فولاد پوشش داده شد و روی آن با چسب کاغذی پوشش داده شد (این کار برای مدل‌های مورد استفاده در ریخته‌گری آلومینیوم انجام نشده است).

سپس با فروبری همه مدلها در دوغاب گرافیتی پایه آبی Styromol 210 n (محصول شرکت Foseco) با بومه ۵۰ (اندازه‌گیری شده با هیدرومتر)، برخی مدل‌ها یک لایه و برخی دیگر دو لایه پوشش‌دهی شده‌اند. سپس در مدل‌های مورد استفاده در ریخته‌گری فولاد چسب کاغذی از ضلع رنگ شده

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۱): ابعاد و طرح مدل فومی (mm).

حذف شد. این وجه مدل ابتدا روی ورق میکای شفاف و سپس شیشه نسوز قرار گرفته است. میکا باعث کاهش شوک حرارتی به شیشه می‌شود. سپس درجه توسط ماسه سیلیسی خشک و بدون چسب با عددریزی AFS 50 پر شده و برای فشرده‌سازی ماسه از یک لرزاننده با فرکانس ۵۰ هرتز و شتاب ۲/۳ g استفاده شد. حوضچه بارریزی به صورت پیش‌ساخته روی راهگاه فومی و ماسه خشک قرار گرفته است و پر شدن قالب حین ذوب‌ریزی توسط دوربین فیلمبرداری ضبط و سپس فیلم‌ها توسط نرم‌افزار ACDSee Power Pack 6.03 به فریم‌هایی با طول زمانی ۰/۰۶ ثانیه تقسیم‌بندی شد. برای ذوب‌ریزی از فولاد آلیاژی Mo40 با دمای بارریزی ۱۶۴۰ درجه سانتی‌گراد و آلومینیوم A356 با دمای بارریزی ۷۲۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شده است که ترکیب شیمیایی این دو آلیاژ در جدول (۱) آورده شده است.

همچنین برای اندازه‌گیری فشار برگشتی در ریخته‌گری فولاد، یک لوله فولادی به طول ۳۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۷ میلی‌متر را ابتدا تا طول ۱۲ سانتی‌متر برش طولی داده و مطابق شکل (۲) به مدل فومی اتصال داده شد (لوله برش خورده به مدل فومی مماس شده است) و سپس مدل پوشان‌دهی گردید. انتهای لوله توسط شیلنگ نسوز سیلیکونی به فشارسنج دیجیتالی متصل شد. شرایط قالبگیری به استثنای شیشه مانند قسمت قبلی می‌باشد.

همچنین برای اندازه‌گیری فشار از فولاد آلیاژی Mo40 با دمای بارریزی ۱۶۴۰ درجه سانتی‌گراد برای ریخته‌گری استفاده شد.

۳- نتایج و مباحث

شکل (۳) مراحل پر شدن قالبی با فوم دانسیته ۲۰ Kg/m^3 (منظور از H دانسیته بالا و L دانسیته کم است) و یک لایه پوشان (1H) توسط مذاب آلومینیوم را نشان می‌دهد.

در شکل (۳) مشاهده می‌شود که پلی‌استایرن مایع بین مذاب و شیشه حبس شده و می‌جوشد و حجم گاز تولیدی بسیار کم می‌باشد. طول فاصله‌گازی کمتر از ۳ میلی‌متر مشاهده می‌شود و سرعت حرکت مذاب در طول راهگاه عمودی ۳۰ Cm/S اندازه‌گیری شده است.

شکل (۴) مراحل پر شدن قالب‌های متفاوت را توسط مذاب فولاد نشان می‌دهد.

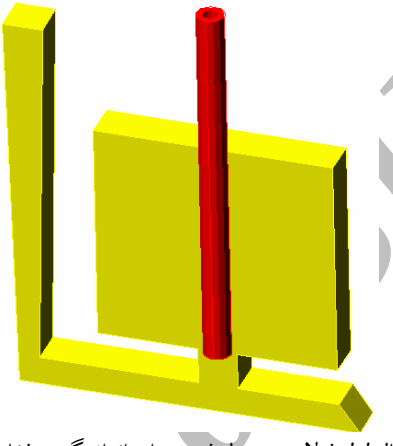
در شکل (۴) مشاهده می‌شود که حجم گاز زیادی از تجزیه فوم در این دما ایجاد می‌شود. در قالب‌هایی که فوم دانسیته بالا داخل آنها قرار دارد (H) و یا دو لایه پوشان دارند (2H) گاز بیشتری تولید می‌شود و یا گازها با نرخ کمتری از قالب خارج می‌شوند. این امر باعث افزایش زمان پر شدن قالب می‌شود. قالبی با فوم دانسیته بالا و دو لایه پوشان (2H) تا زمان حدود ۶ ثانیه پس از شروع ریخته‌گری پر نشده است. البته این قالب تا پایان زمان بارریزی کاملاً پر نشده و علت آن انجماد مذاب در راهگاه قبل از خروج کامل گازها از قالب می‌باشد. زیرا حجم محصولات تجزیه فوم به حدی زیاد است که زمان پر شدن قالب و ثابت ماندن مذاب در سیستم راهگاهی طولانی شده و در نتیجه مذاب در راهگاه منجمد می‌گردد. نقطه اضافی در قالب‌های مربوط به ریخته‌گری فولاد در قالبی با فوم کم دانسیته و یک لایه پوشان (1L) به علت اینکه حجم گاز تولیدی در قالب کم و نفوذپذیری قالب زیاد می‌باشد، نرخ پر شدن قالب از سایرین بیشتر می‌باشد. سرعت پیشروی مذاب فولاد در راهگاه عمودی به طور میانگین حدود ۴۰ Cm/s می‌باشد. این سرعت برای سایر قالب‌های

Archive of SID

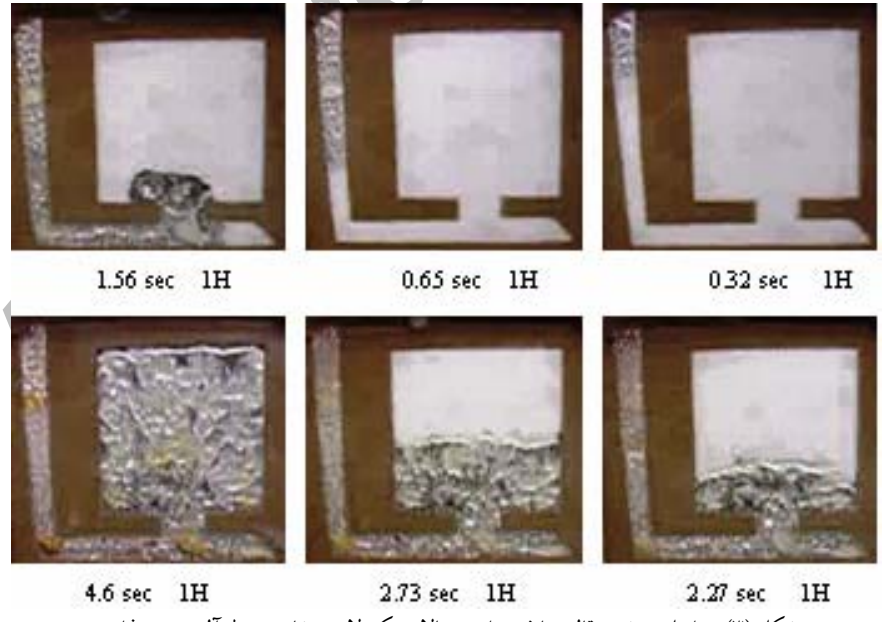
www.SID.ir

جدول (۱): آنالیز و نقطه ذوب آلیاژهای مورد استفاده.

A356	Al	Si %	Mg %	Cu %	Ti %	Fe %	Zn %	Mn %	Solidus temp	Liquidus temp
	As remainder	۶/۵۰–۷/۵۰	۰/۲۵ –۰/۴۵	<= ۰/۲۰	<= ۰/۲۰	<= ۰/۲۰	<= ۰/۱۰	<= ۰/۱۰	۵۵۷ C	۶۱۳ C
۱/۷۲۲۵ Or Mo40	Fe	C	Cr	Mo	Mn	Si	P	S	Solidus temp	Liquidus temp
	As remainder	۰/۳۸ –۰/۴۵	۰/۹ –۱/۲	۰/۱۵ –۰/۳	۰/۲ –۰/۶	< ۰/۴	< ۰/۰۳۵	< ۰/۰۳۵	--	--

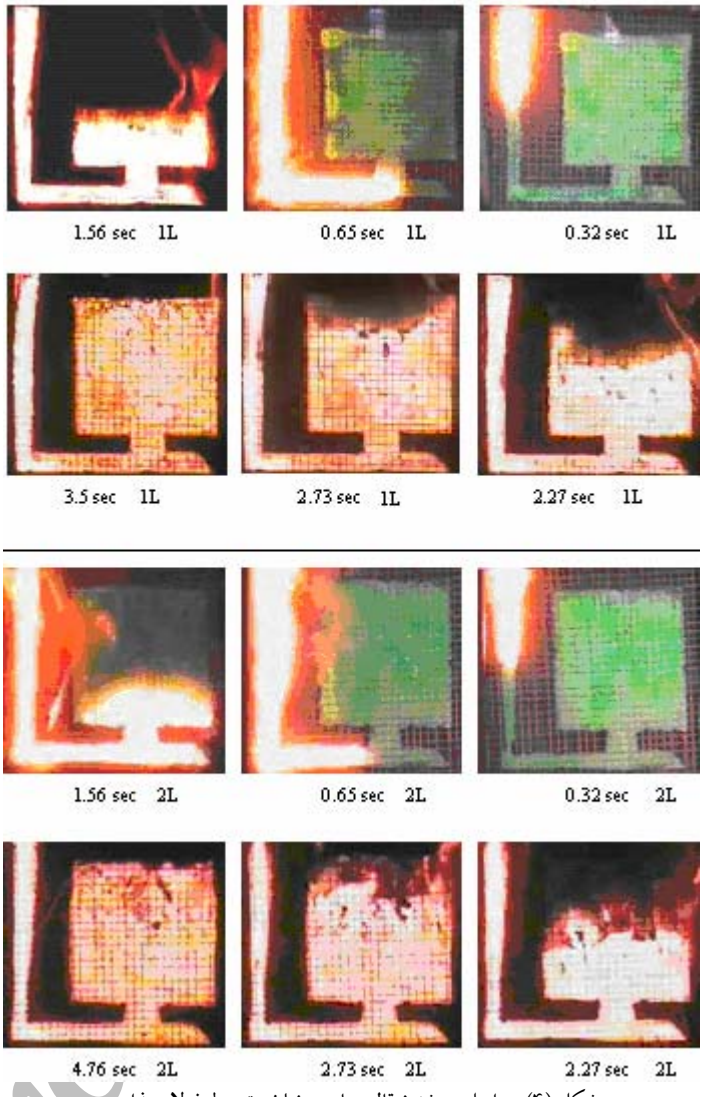


شکل (۲): نحوه اتصال لوله فولادی به مدل فومی برای اندازه‌گیری فشار در ریخته‌گری فولاد.



شکل (۳): مراحل پر شدن قالبی با فوم دانسیته بالا و یک لایه پوشان توسط آلومینیوم مذاب.

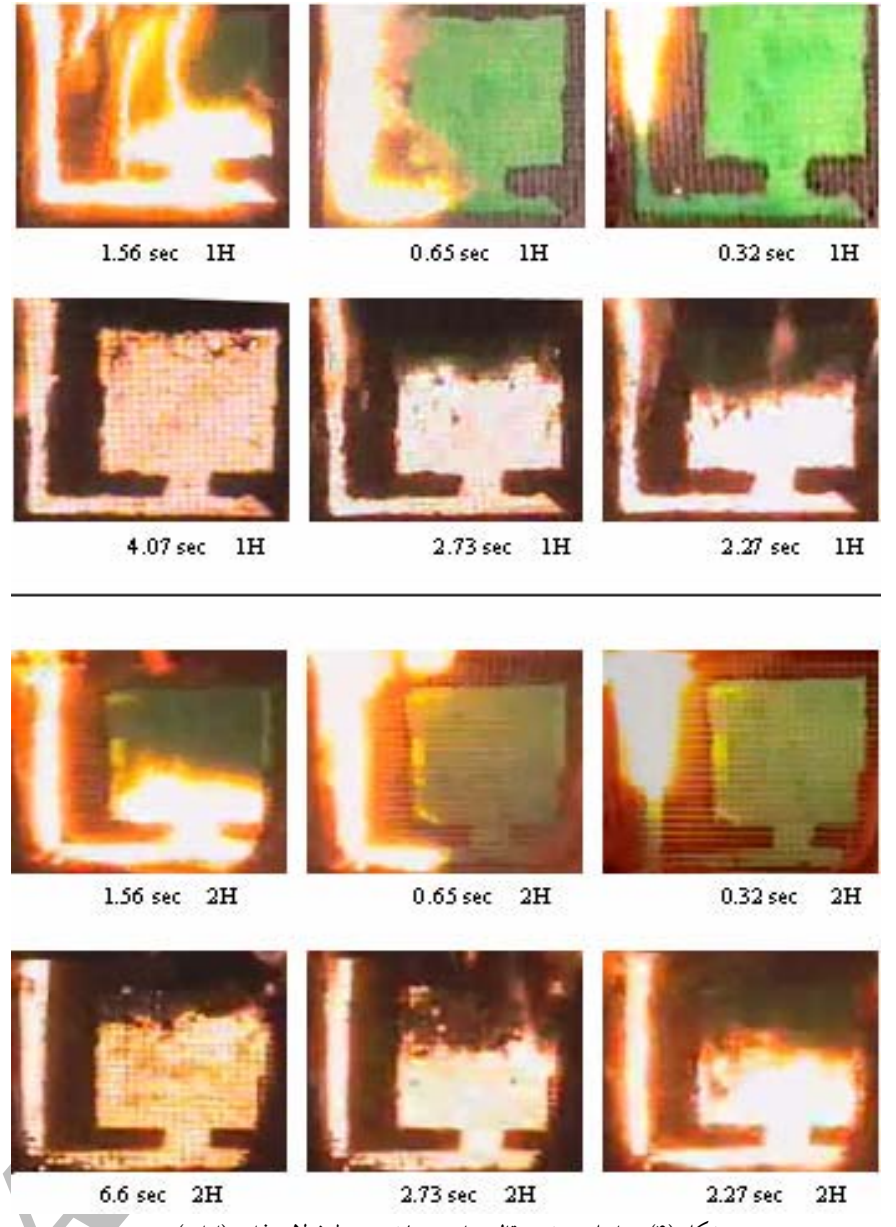
www.SID.ir



شکل (۴): مراحل پر شدن قالب‌های مختلف توسط فولاد مذاب.

ریخته‌گری فولاد مشابه قالب 1L است و تأثیر دانسیته فوم و ضخامت پوشان در مراحل نهایی پر شده قالب آشکار می‌گردد. از طرفی با افزایش دانسیته فوم و یا کاهش نفوذپذیری پوشان، نرخ پر شدن قالب با فولاد مذاب کاهش یافته است. بنابراین می‌توان گفت که در ریخته‌گری فلزات آهنی به روش مدل‌ها فومی فدا شونده، نرخ خروج محصولات تجزیه فوم از قالب عامل کنترل‌کننده پر شدن قالب است. تصاویر مربوط به پر شدن قالب توسط فولاد مذاب نشان می‌دهند که سطح آزاد مذاب دارای جوشش خاصی است. از طرفی می‌دانیم که افزایش فشار بر سطح آزاد مذاب باعث حرکت آرام‌تر و سطح آزاد ملایم‌تر می‌شود. اما این جوشش در قالب‌های با فشار برگشتی بیشتر، افزایش یافته است. علت این پدیده را چنین می‌توان توجیه کرد که با گرم شدن فوم، سطح بالایی آن (سطحی از فوم که در تماس با مذاب نیست) ذوب شده و قطرات فوم مایع بر سطح آزاد مذاب فولاد می‌چکد و این باعث جوشش سطح آزاد مذاب می‌شود. با توجه به نتایج شکل (۴) می‌توان گفت که در قالب‌هایی با شرایط متفاوت، تجمع محصولات تجزیه فوم در قالب، عمده تأثیرات در مراحل انتهایی پر شدن قالب آشکار

www.SID.ir



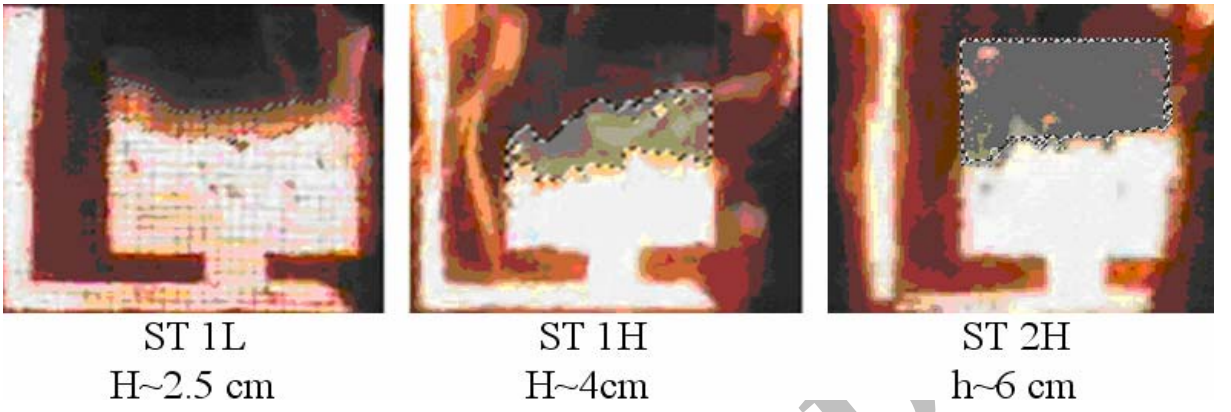
شکل (۴): مراحل پر شدن قالب‌های مختلف توسط فولاد مذاب (ادامه).

می‌گردد. زیرا تجمع تدریجی محصولات مقابل جبهه پیش‌رونده مذاب باعث افزایش میزان فشار محصولات تجزیه در مراحل نهایی می‌گردد. در شکل (۵) طول فاصله‌گازی در قالب‌های مختلف فولادریزی مشاهده می‌شود.

در شکل (۴) و (۵) منظور از ST 1L قالبی با فوم کم دانسیته و یک لایه پوشان و ریخته‌گری شده با مذاب فولاد (ST) می‌باشد. مشاهده می‌شود که با افزایش دانسیته فوم و یا افزایش تعداد لایه پوشان (که به منزله کاهش نفوذپذیری آن است) طول فاصله گازی افزایش یافته است. به گونه‌ای که این طول در قالبی با فوم دانسیته بالا و دو لایه پوشان به ۶ سانتی‌متر هم رسیده است.

از طرفی نتایج فشارسنجی نشان می‌دهد که حداکثر فشار برگشتی در ریخته‌گری فولاد در قالب‌های 1L، 2L، 1H و 2H به ترتیب ۳۵۰۰ پاسکال، ۵۵۰۰ پاسکال، ۷۰۰۰ پاسکال و ۸۰۰۰ پاسکال می‌باشد. مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت پوشان،

www.SID.ir



شکل (۵): طول فاصله‌گازی در ریخته‌گری فولاد در قالب‌های مختلف.

نرخ خروج گاز از قالب کاهش یافته و فشار برگشتی بر سطح آزاد مذاب افزایش یافته است. البته فشار برگشتی در قالب 2H ولی با ارتفاع لوله راهگاه ۳۱ سانتی‌متر، حدود ۱۷۰۰۰ پاسکال اندازه‌گیری شده است و این نشان می‌دهد که ارتفاع لوله راهگاه اثر قابل توجهی بر فشار برگشتی دارد.

٤- نتیجه‌گیری

۱- حجم گاز تولیدی ناشی از تجزیه فوم در ریخته‌گری فولاد به طور قابل توجهی بیش از ریخته‌گری آلومینیوم می‌باشد و در ریخته‌گری آلومینیوم اکثر محصولات تجزیه به صورت مایع هستند.

۲- در ریخته‌گری فولاد به روش مدل فومی، با افزایش دانسیته فوم و یا افزایش تعداد دفعات پوشان‌دهی، طول فاصله‌گازی افزایش می‌یابد. همچنین فشار برگشتی به شدت تحت تأثیر ارتفاع متالواستاتیک مذاب می‌باشد.

۳- در ریخته‌گری آلومینیوم به روش مدل فوم طول فاصله‌گازی کمتر از ۳ میلی‌متر و در حالی که در ریخته‌گری فولاد تا حدود ۶ سانتی‌متر هم می‌رسد.

٥- تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان مقاله از همکاری شرکت فولادریزان قدردانی می‌نمایند.

٦- مراجع

[1] H. F. Shroyer, "Cavity Less Casting", U. S. Patent No. 2830343, 1958.

[2] M. C. Flemings, "Foam Vaporization Casting", Silver Anniversary Paper, AFS Transactions, Vol. 95, pp. 665-672, 1987.

[3] T. R. Smith, "Use of Clean, Unbounded Sand in Foam Casting", U. S. Patent No. 3157924, 1964.

[4] S. Shivkumar, "Casting Characteristic of Aluminum Alloys in the EPS Process", AFS Transactions, Vol. 152, pp. 513-515, 1993.

[5] S. Shivkumar and B. Gallios, "Physico-Chemical Aspects of the Full Mold Casting of Aluminum Alloys, Part I: The Degradation of Polystyrene", AFS Transactions, Vol. 95, pp. 791-800, 1987.

[6] S. Shivkumar, "Modeling of Temperature Losses in Liquid Metal During Casting Formation in Expendable Pattern Casting Process", Materials Science and Technology, Vol. 10, pp. 986-992, 1994.

[7] X. Lio, C. W. Ramsay and D. R. Askeland, "Study on Mold Filling Control Mechanisms in the EPC Process", AFS Transactions, Vol. 148, pp. 903-914, 1994.

[8] P. Davami and SMH. Mirbagheri, "Simulation of Mould Filling in Lost Foam Casting. Journal of Cast Metals Research, Vol. 16, pp. 1-12, 2003.

[9] SHM. Mirbagheri, P. Davami and N. Varahram, "3D Computer Simulation of Melt Flow in LFC Process", Int J Numer Meth Eng, Vol. 58, pp. 723, 2003.

[10] M. Khodai and N. Parvin, "Pressure Measurement and some Observation in Lost Foam Casting", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 206, Issues 1-3, pp. 1-6, 2008.

[11] J. Yang, T. Huang and J. Fu, "Study of Gas Pressure in EPC Molds", AFS Transactions, Vol. 128, pp. 21-26, 1998.

Archive of SID

www.SID.ir

[12] R. D. Butler and R. J. Pope, "Some Factors Involved in Full Mold Casting with Unbounded Sand Moulds", The British Foundryman, pp. 178-190, 1964.

[13] W. L. Sun, H. E. Littleton and C. E. Bates, "Real-Time X-Ray Investigations on Lost Foam Mold Filling", AFS Transactions, Vol. 02-11, pp. 03-083, 2003.

۷- پی‌نوشت

1- Depolymerization
2- Yang
3- Pope & Butler
4- Pieter et al (1967)
5- Lee (1973)
6- Real Time X-Ray

Archive of SID

www.SID.ir