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

محمد خدائی^{*۱} و ناصر ورهرام^۲ 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)

چکیدہ

در ریخته گری به روش مدلهای فومی فدا شونده، مدل و سیستم راهگاهی از فوم قابل تبخیر (عموماً پلیاستایرن) تهیه شده و پس از پوشش دهی داخل ماسه بدون چسب قرار می گیرد. با ورود مذاب به قالب، مدل تجزیه حرارتی و از قالب خارج شده و مذاب جای آن را می گیرد. در ریخته گری فولادها به این روش به علت دمای بالای مذاب، مدل فومی عمدتاً به محصولات گازی تجزیه شده و به صورت گاز از قالب خارج می شود. اعمال فشار بر گشتی توسط محصولات گازی تجزیه فوم روی سطح آزاد مذاب باعث تغییراتی در جریان مذاب داخل قالب می شود. اما در ریخته گری آلومینیوم به علت حرارت کمتر مذاب، فوم دچار تجزیه کمتر می شود و عمدتاً به فرم مایع از قالب خارج می شود. در این پژوهش از تکنیک فتو گرافی (قالبی با یک وجه شیشهای) برای بررسی نحوه جریان مذاب و طول فاصله گازی در ریخته گری فولاد و آلومینیوم به روش مدلهای فومی فدا شونده استفاده شده است. نتایج فشار سنجی طول فاصله گازی نشان می دهد که با افزایش ضخامت پوشان، دانسیته فوم و ارتفاع لوله راهگاه فشار بر گشتی بر سطح آزاد مذاب افزایش می یابد. مقایسه نتایج فتو گرافی افزایش ضخامت پوشان، دانسیته فوم و ارتفاع لوله راهگاه فشار بر گشتی بر سطح آزاد مذاب فولاد افزایش می یابد. مقایسه نتایج فتو گرافی ریخته گری قولاد افزایش می دهد که در ریخته گری فولاه شار بر گشتی بر سطح آزاد مذاب فولاد افزایش می یابد. مقایسه نتایج فتو گرافی ریخته گری ولاد و آلومینیوم به دوش مدل های ده ای دار بر گشتی بر سطح آزاد مذاب فولاد افزایش می یابد. مقایسه نتایج فتو گرافی ریخته گری آلومینیوم بسیار بیشتر می باشد.

> **واژدهای کلیدی:** ریخته گری فومی، روش فتو گرافی، طول فاصله گازی، فشار بر گشتی بر مذاب.

۱ – مقدمه

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 ریخته گری فلزات با نقطه ذوب کم نرخ تجزیه فوم و در ریخته گری فلزات با نقطه ذوب بالا نرخ خروج محصولات تجزیه از قالب عوامل کنترلکننده

در ریخته گری 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 در این تحقیق از تکنیک فتو گرافی برای بررسی نحوه جریان مذاب فولاد و طول فاصله گازی استفاده شده است. پاپ و باتلر^۳ اولین استفاده کنندگان این روش در ریخته گری آلومینیوم به روش مدل فومی هستند [۱۲]. البته محققین دیگری مانند پیتر^۴ و همکاران و لی⁶نیز از این تکنیک برای بررسی جریان مذابهای آلومینیوم و روی و چدن در ریخته گری فومی استفاده کردهاند [۱۳].

۲- روش تحقيق

هر چند که بررسی نحوه پر شدن قالب به روش اشعه ایکس[°] دقیقترین روش میباشد و در روش فتو گرافی، 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 فاصله گازی را می توان مستقيماً مشاهده نمود. در روش اشعه ایکس فقط مذاب قابل مشاهده بوده و فاصله گازی و واکنش های 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 فاصله گازی ابتدا مدل فوهی با دانسیته های ۲۰ Kg/m³ 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 ریخته گری فولاد توسط رنگ فسفری حساس به نور و به منظور افزایش وضوح طول فاصله گازی 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 ریخته گری آلومينيوم انجام نشده است).

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

نحوه جريان مذاب و نرخ پر شدن قالب مي باشند. همچنين ميزان تجزیه فوم شدیداً وابسته به دمای مذاب است به گونهای که در ریخته گری آلومینیوم ۹۰–۷۰ درصد محصولات تجزیه فوم به صورت مایع و در دمای ریخته گری 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 ٔ شدن می کند. در دمای حدود ۱۶۰ درجه سانتی گراد فوم به ذوب تا حدی دیپلیمره شده تبدیل میشود. با افزایش دما تا ۴۰۰ درجه سانتی گراد نرخ تبخیر فوم افزایش یافته تا حدی که محصولات گازی در این دما تشکیل میشوند. تا دمای ۸۳۰ درجه سانتی گراد 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 ریخته گری فولاد به علت تشعشع حرارتی شدید، فاصله گازی قابل توجهی بین مذاب و فوم جامد ایجاد می شود. این فاصله در ریخته گری آلومینیوم توسط یانگ^۲ و همکاران حدود ۳-۱ میلیمتر اندازه گیری شده است [۱۱]. همچنین در تحقیقات ایشان، فشار برگشتی در ریخته گری آلومینیوم به روش مدل فومی ۵۰۰-۲۰۰ پاسکال و در ریخته گری چدن ۲۶۰۰۰–۱۱۰۰ پاسکال اندازه گیری شده است. در منابع اشارهای به طول فاصله گازی در ریخته گری 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 می باشد.



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 هر تز و شتاب g ۲/۳ استفاده شد. حوضچه بارریزی به صورت پیش ساخته روی راهگاه فومی و ماسه خشک قرار گرفته است و پر شدن قالب حین ذوبریزی توسط دوربين فيلمبردارى ضبط و سپس فيلمها توسط نرمافزار ACDSee Power Pack 6.03 به فريمهايي با طول زماني 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 سانتی گراد استفاده شده است که ترکیب شیمیایی این دو آلیاژ در جدول (۱) آورده شده است. همچنین برای اندازه گیری فشار بر گشتی در ریخته گری 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 اندازه گیری فشار از فولاد آلیاژی Mo40 با دمای بارریزی ۱۶۴۰ درجه سانتی گراد برای ریخته گری استفاده شد.

۳- نتایج و مباحث
 شکل (۳) مراحل پر شدن قالبی با فوم دانسیته ۲۰ Kg/m³ (منظور از H دانسیته بالا و L دانسیته کم است) و یک لایه پوشان (۱H) توسط مذاب آلومینیوم را نشان میدهد.
 در شکل (۳) مشاهده می شود که پلی استایرن مایع بین مذاب و شیشه حبس شده و می جوشد و حجم گاز تولیدی بسیار کم می باشد. طول فاصله گازی کمتر از ۳ میلی متر مشاهده می شود و سرعت حرکت مذاب در طول راهگاه عمودی ۳۰ Cm/S

اندازه گیری شده است.

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

در شکل (۴) مشاهده می شود که حجم گاز زیادی از تجزیه فوم در این دما ایجاد می شود. در قالبهایی که فوم دانسیته بالا داخل آنها قرار دارد (H) و یا دو لایه پوشان دارند (2H) گاز بیشتری تولید می شود و یا گازها با نرخ کمتری از قالب خارج می شوند. این امر باعث افزایش زمان پر شدن قالب می شود. قالبی با فوم دانسیته بالا و دو لایه پوشان (2H) تا زمان حدود ۶ ثانیه پس از شروع ریخته گری پر نشده است. البته این قالب تا پایان زمان بارریزی کاملاً پر نشده و علت آن انجماد مذاب در راهگاه قبل از خروج كامل 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 طولائی شده و در نتیجه مذاب در راهگاه منجمد می گردد. نقطه اضافی در قالبهای مربوط به ريخته گری 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 می باشد، نرخ پر شدن قالب از سایرین بیشتر می باشد. سرعت پیشروی مذاب فولاد در راهگاه عمودی به طور میانگین حدود ۴۰ Cm/s می باشد. این سرعت برای سایر قالبهای

A356	Al	Si %	Mg %	Cu %	Ti %	Fe %	Zn %	Mn %	Solidus temp	Liquidus temp
	As remainder	$\hat{\gamma}/\Delta \cdot - V/\Delta \cdot$	•/20-•/40	<= •/٢•	<= •/Y•	<= •/Y•	<= •/\•	<= •/\•	son C	918 C
۱/۷۲۲۵ Or Mo40	Fe	С	Cr	Mo	Mn	Si	Р	S	Solidus temp	Liquidus temp
	As remainder	•/٣٨ -•/۴۵	•/٩-1/Y	•/10-•/٣	•/Y -•/۶	< •/۴	< •/•۳۵	< •/•۳۵		

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



4.6 sec 1H 2.73 sec 1H 2.27 sec 1H شكل (۳): مراحل پر شدن قالبي با فوم دانسيته بالا و يک لايه پوشان توسط آلومينيوم مذاب.



بر سطح آزاد مذاب باعث حرکت آرام تر و سطح آزاد ملایم تر می شود. اما این جو شش در قالب های با فشار برگشتی بیشتر، افزایش یافته است. علت این پدیده را چنین می توان 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 می چکد و این باعث جو شش سطح آزاد مذاب می شود. با توجه به نتایج شکل (۴) می توان گفت که در قالب هایی با شرایط متفاوت، تجمع محصولات تجزیه فوم در قالب، عمده تأثیرات در مراحل انتهایی پر شدن قالب آشکار ریخته گری فولاد مشابه قالب IL است و تأثیر دانسیته فوم و ضخامت پوشان در مراحل نهایی پر شده قالب آشکار می گردد. از طرفی با افزایش دانسیته فوم و یا کاهش نفوذپذیری پوشان، نرخ پر شدن قالب با فولاد مذاب کاهش یافته است. بنابراین می توان گفت که در ریخته گری فلزات آهنی به روش مدلها فومی فدا شونده، نرخ خروج محصولات تجزیه فوم از قالب عامل کنترل کننده پر شدن قالب است. تصاویر مربوط به پر شدن قالب توسط فولاد مذاب نشان می دهند که سطح آزاد مذاب دارای جوشش خاصی است. از طرفی می دانیم که افزایش فشار



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

می گردد. زیرا تجمع تدریجی محصولات مقابل جبهه پیشرونده مذاب باعث افزایش میزان فشار محصولات تجزیه در مراحل نهایی می گردد. در شکل (۵) طول فاصله گازی در قالبهای مختلف فولادریزی مشاهده می شود.

در شکل (۴) و (۵) منظور از ST 1L قالبی با فوم کم دانسیته و یک لایه پوشان و ریخته گری 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 ریخته گری فولاد در قالبهای 1L، 1L، 1H و 2H به ترتیب ۳۵۰۰ پاسکال، ۵۵۰۰ پاسکال، ۷۰۰۰ پاسکال و ۸۰۰۰ پاسکال میباشد. مشاهده میشود که با افزایش ضخامت پوشان،



ST 1L H~2.5 cm



ST 2H h~6 cm

شکل (۵): طول فاصله گازی در ریخته گری فولاد در قالبهای مختلف.

۲- 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.

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 اندازه گیری شده است و این نشان میدهد که ارتفاع لوله راهگاه اثر قابل توجهی بر فشار برگشتی دارد.

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

۲- در ریخته گری فولاد به روش مدل فومی، با افزایش دانسیته فوم و یا افزایش تعداد دفعات پوشاندهی، طول فاصله گازی افزایش مییابد. همچنین فشار برگشتی به شدت تحت تأثیر ارتفاع متالواستاتیک مذاب میباشد.
 ۳- در ریخته گری آلومینیوم به روش مدل فوم طول فاصله گازی کمتر از ۳ میلی متر و در حالی که در ریخته گری فولاد تا حدود

۶ سانتیمتر هم میرسد.

٥- تشکر و قدردانی بدینوسیله نویسندگان مقاله از همکاری شرکت فولادریزان قدردانی مینمایند.

- ۴.
- [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