

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

بررسی تاثیر خواص فیزیکی و شیمیایی فوم، نوع پوشان، دمای بارریزی و ضخامت مدل بر سلامت قطعات آلومینیمی در فرآیند ریخته گری فومی

کتابخانه مرکزی دانشگاه تهران

نگارش: محمود پویا مهر

اساتید راهنما: دکتر ایوب حلوایی و دکتر مهدی دیواندری
استاد مشاور: دکتر مسعود امامی

۱۳۸۵ / ۱۰ / ۲۴

۱۳۸۵ / ۱۰ / ۲۴

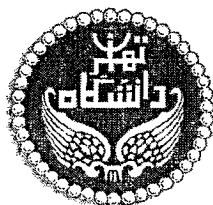
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در

رشته مهندسی متالورژی و مواد گرایش ریخته گری

۷۵۲۵۷

مهر ۱۳۸۴



بنام خدا

دانشگاه تهران

پردیس دانشکده های فنی

دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

گواهی دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

هیات داوران پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی متالورژی و مواد گرایش ریخته گری با عنوان بررسی تاثیر خواص فیزیکی و شیمیایی فوم، نوع پوشان، دمای بارریزی و ضخامت مدل بر سلامت قطعات آلومینیومی در فرآیند ریخته گری فومی را در تاریخ به عدد: ۸۴/۷/۱۲ به حروف: دوازدهم مهر ماه هشتاد و چهار

با نمره نهایی:

و درجه:

ارزیابی نمود.

ردیف	مشخصات هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا موسسه	امضاء
۱	اساتید راهنما	دکتر ایوب حلوائی دکتر مهدی دیواندری	دانشیار دانشیار	دانشگاه تهران دانشگاه علم و صنعت ایران	
۲	استاد مشاور	دکتر مسعود امامی	دانشیار	دانشگاه تهران	
۳	استاد مدعو	دکتر فرزاد خمایی زاده	استادیار	دانشگاه صنعتی شریف	
۴	استاد مدعو	دکتر جعفر راثی زاده غنی	استادیار	دانشگاه تهران	
۵	نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی متالورژی و مواد	دکتر جعفر راثی زاده غنی	استادیار	دانشگاه تهران	

دفتر تحصیلات تکمیلی
دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

تقریب به ...

چکیده

فرآیند ریخته گری فومی بدلیل داشتن مزایای منحصر بفرد همواره مورد توجه ریخته گران و صنعتگران بوده و از زمان ثبت این فرآیند، جنبه های مختلف آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در داخل کشور هنوز این فرآیند روش جدیدی محسوب می شود که علت اصلی آن عدم اطلاع کافی تولید کنندگان نسبت به این فرآیند می باشد. البته تحقیقات مفیدی درباره عوامل مختلف این فرآیند مانند نوع و ضخامت پوشان و ... انجام شده است ولی خواص فیزیکی و شیمیایی فوم های مصرفی و تاثیر آنها بر کیفیت قطعات تولیدی، بویژه در داخل کشور کمتر تحت بررسی و آزمایش قرار گرفته است.

در این تحقیق از طریق انجام آزمایش سیالیت با مدل های تسمه ای، تاثیر فوم های مختلف شامل پلی استایرن تجاری با دانسیته های اسمی ۲۰ و $\frac{40}{m^3} kg$ و پلی استایرن تجاری موسوم به بلو فوم و نیز پوشانهای تجاری استایرومل ۷۰۲ (حاوی فیلرهای گرافیتی)، هولکوت ۱۱۰ (حاوی فیلرهای زیرکنی) و رثوتک ۱۵۰ (حاوی فیلرهای گرافیتی و زیرکنی) بر سلامت قطعات ریختگی آلومینیمی ارزیابی شده است. همچنین اثر دو دمای بارریزی ۷۲۰ و ۷۶۰ درجه سانتیگراد بر سیالیت مدل های تسمه ای به طول ۴۰ cm و عرض ۲ cm و با ضخامت های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر که از فوم های مذکور ساخته شده و با پوشانهای فوق پوشش دهی شده بودند، مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج حاصل از آزمایشهای مختلف نشان می دهد که فوم پلی استایرن تجاری با دانسیته اسمی $\frac{20}{m^3} kg$ ، جهت تولید قطعات ریختگی با این فرآیند مناسب تر است. پوشانهای استایرومل ۷۰۲ و رثوتک ۱۵۰ بدلیل سهولت اعمال به مدل و نیز استحکام بالایی که پس از خشک شدن دارند، مطلوب می باشند البته سیالیت ناشی از پوشان استایرومل ۷۰۲ نسبت به سایر پوشانها کمتر است. افزایش دمای بارریزی از ۷۲۰°C به ۷۶۰°C تاثیر کمی بر افزایش طول سیالیت داشته است. همچنانکه انتظار می رفت، با افزایش ضخامت مقطع سیالیت نیز افزایش یافت هرچند در برخی از آزمایشها انحراف هایی از این رفتار مشاهده گردید.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله نگارنده از راهنمایی ها و مساعدت های اساتید محترم راهنما جناب دکتر ایوب حلوائی و جناب دکتر مهدی دیواندری، استاد محترم مشاور جناب دکتر مسعود امامی و نیز مسئولین و کارشناسان شرکت فارس ایران، شرکت آمیژه ساز اراک، انجمن علمی ریخته گران ایران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و آزمایشگاه مرکزی شرکت ایران خودرو کمال قدردانی و امتنان را دارد. همچنین از زحمات مسئول محترم آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی دانشگاه تربیت مدرس، کارکنان کارگاه ریخته گری و آزمایشگاه متالوگرافی پیشرفته دانشکده فنی و کلیه عزیزانی که در مراحل مختلف انجام این تحقیق کمک نموده اند، تقدیر و تشکر می شود.

فهرست مطالب صفحه

فصل اول : مقدمه ۱

فصل دوم : مروری بر منابع ۴

۱-۲- مقدمه ای بر فرآیند ریخته گری در قالب های توپر ۵

۱-۱-۲- تاریخچه ۵

۲-۱-۲- فرآیند ریخته گری ۶

۳-۱-۲- ریخته گری با مدل های مصرف شدنی ۷

۴-۱-۲- سایر جنبه های فرآیند EPC ۱۲

۵-۱-۲- معایب فرآیند EPC ۱۳

۶-۱-۲- نمای کلی از فرآیند EPC ۱۴

۱-۶-۱-۲- قالبگیری مدل ۱۶

۲-۶-۱-۲- پیرسازی مدل ۱۸

۳-۶-۱-۲- مونتاژ مقاطع مدل ۱۸

۴-۶-۱-۲- پوشش دهی مدل ۱۹

۵-۶-۱-۲- پر کردن ماسه و متراکم نمودن آن ۲۰

۶-۶-۱-۲- بارریزی ۲۱

۷-۶-۱-۲- تمیزکاری و پرداخت قطعات ۲۱

۷-۱-۲- انواع دیگر فرآیند EPC ۲۲

۱-۷-۱-۲- ماسه چسب دار ۲۲

۲-۷-۱-۲- پوسته سرامیکی ۲۳

۲-۲- معرفی انواع فوم های مورد استفاده در فرآیند EPC ۲۴

۱-۲-۲- انواع مواد پلیمری ۲۴

۲-۲-۲- مواد فومی ۲۶

۳-۲-۲- انواع فوم های مورد استفاده در ریخته گری فومی ۲۹

۴-۲-۲- پلی استایرن ۳۰

۱-۴-۲-۲- تولید استایرن ۳۲

۳۳	..... ۲-۴-۲-۲ تولید EPS
۳۵	..... ۵-۲-۲ انواع دانه های EPS ارائه شده برای ریخته گری فومی
۴۰	..... ۶-۲-۲ تاثیر دانسیته و مرفولوژی فوم پلی استایرن در ریخته گری فومی
۴۳	..... ۷-۲-۲ تجزیه شیمیایی EPS و گازهای حاصل از آن در حین آلومینیم ریزی
۴۸	..... ۳-۲ پوشانهای مورد استفاده در فرآیند ریخته گری فومی
۴۹	..... ۱-۳-۲ ترکیب شیمیایی پوشانها
۵۰	..... ۲-۳-۲ دانسیته پوشان
۵۳	..... ۴-۲ سیالیت مذاب در قالب های توپر
۵۷	..... ۱-۴-۲ اثر ضخامت و هندسه مدل فومی بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم
۵۹	..... ۲-۴-۲ اثر شرایط سطحی مدل بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم
۶۰	..... ۳-۴-۲ تاثیر پوشان بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم
۶۲	..... ۴-۴-۲ تاثیر نوع فوم بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم
۶۳	..... ۵-۴-۲ اثر دمای بارریزی بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم
۶۵	..... ۶-۴-۲ اثر اندازه مقطع راهبار بر پر شدن قالب های فومی در ریخته گری آلیاژ های آلومینیم ...
۶۶	..... ۷-۴-۲ اثر ارتفاع متالواستاتیکی مذاب بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم
۶۷	..... ۵-۲ رفتار پر شدن مذاب در فرآیند ریخته گری فومی
۷۳	..... ۶-۲ عیوب قطعات تولید شده با فرآیند ریخته گری فومی
۷۳	..... ۱-۶-۲ عیوب مربوط به قطعات چدنی و فولادی
۷۵	..... ۲-۶-۲ عیوب مربوط به قطعات آلومینیمی
۷۵	..... ۱-۲-۶-۲ عیوب سطحی پوست پرتقالی
۸۰	..... ۲-۲-۶-۲ عیوب داخلی
۸۲	..... ۳-۲-۶-۲ چین خوردگی

۸۷ فصل سوم: روش تحقیق

۸۹	..... ۱-۳ اندازه گیری خواص فیزیکی و شیمیایی فوم ها
۸۹	..... ۱-۱-۳ تهیه فوم ها و اندازه گیری دانسیته آنها
۹۱	..... ۲-۱-۳ بررسی ریزساختار فوم ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM)
۹۱	..... ۳-۱-۳ آنالیز حرارتی (TGA) فوم ها

۹۲	۲-۳- طراحی آزمایش ها
۹۲	۳-۳- طراحی سیستم راهگامی و ساخت مدل های فومی
۹۴	۴-۳- پوشش دهی مدلها
۹۵	۵-۳- قالبگیری
۹۸	۶-۳- ذوب آلیاژ و بارریزی
۹۹	۷-۳- اندازه گیری طول سیالیت نمونه ها و بررسی عیوب آنها

فصل چهارم: نتایج ۱۰۰

۱۰۱	۱-۴- نتایج حاصل از آزمایش های اندازه گیری خواص فیزیکی و شیمیایی فوم ها
۱۰۱	۱-۱-۴- دانسیته فوم ها
۱۰۱	۲-۱-۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های فومی
۱۰۵	۳-۱-۴- منحنی های آنالیز حرارتی نمونه های فومی
۱۰۹	۲-۴- نتایج حاصل از ریخته گری نمونه های تسمه ای
۱۰۹	۱-۲-۴- سیالیت نمونه های تسمه ای
۱۱۵	۱-۱-۲-۴- تاثیر نوع فوم بر سیالیت
۱۲۱	۲-۱-۲-۴- تاثیر نوع پوشان بر سیالیت
۱۲۷	۳-۱-۲-۴- تاثیر دمای بارریزی بر سیالیت
۱۳۴	۲-۲-۴- بررسی شکل جبهه مذاب و کیفیت سطحی نمونه ها

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری ۱۳۷

۱۳۸	۱-۵- بحث
۱۳۸	۱-۱-۵- تاثیر نوع فوم بر سیالیت و شکل جبهه مذاب
۱۳۹	۲-۱-۵- اثر نوع پوشان بر سیالیت
۱۴۰	۳-۱-۵- اثر دمای بارریزی بر سیالیت
۱۴۱	۴-۱-۵- اثر ضخامت بر سیالیت
۱۴۲	۵-۱-۵- ایجاد عیوب سطحی در قطعات
۱۴۳	۲-۵- نتیجه گیری

منابع و مراجع ۱۴۴

پیوستها ۱۴۷

- ضمیمه ۱ : ابعاد (برحسب mm) خوشه های فومی بکار رفته جهت ریخته گری ۱۴۸
- ضمیمه ۲ : ابعاد (برحسب mm) قالب آماده برای ذوب ریزی ۱۴۹
- ضمیمه ۳ : منحنی آنالیز حرارتی فوم نوع A ۱۵۰
- ضمیمه ۴ : منحنی آنالیز حرارتی فوم نوع B ۱۵۱
- ضمیمه ۵ : منحنی آنالیز حرارتی فوم نوع C ۱۵۲

فهرست شکلهای و جدولها

صفحه	شکلهای
۷	۱-۲
۲۸	۲-۲
۳۷	۳-۲
۳۸	۴-۲
۴۲	۵-۲
۴۶	۶-۲
۵۶	۷-۲
۵۹	۸-۲
۶۴	۹-۲
۶۸	۱۰-۲
۷۰	۱۱-۲
۷۰	۱۲-۲
۷۲	۱۳-۲
۷۴	۱۴-۲
۷۶	۱۵-۲
۷۷	۱۶-۲
۷۸	۱۷-۲
۸۰	۱۸-۲
۸۱	۱۹-۲
۸۱	۲۰-۲
۸۲	۲۱-۲
۸۳	۲۲-۲
۸۳	۲۳-۲
۸۴	۲۴-۲
۸۴	۲۵-۲

۸۸	: ۱-۳
۹۳	: ۲-۳
۹۵	: ۳-۳
۹۶	: ۴-۳
۹۷	: ۵-۳
۹۷	: ۶-۳
۹۸	: ۷-۳
۹۹	: ۸-۳
۱۰۲	: ۱-۴
۱۰۳	: ۲-۴
۱۰۴	: ۳-۴
۱۰۶	: ۴-۴
۱۰۷	: ۵-۴
۱۰۸	: ۶-۴
۱۱۲	: ۷-۴
۱۱۳	: ۸-۴
۱۱۴	: ۹-۴
۱۱۵	: ۱۰-۴
۱۱۶	: ۱۱-۴
۱۱۷	: ۱۲-۴
۱۱۸	: ۱۳-۴
۱۱۹	: ۱۴-۴
۱۲۰	: ۱۵-۴
۱۲۱	: ۱۶-۴
۱۲۲	: ۱۷-۴
۱۲۳	: ۱۸-۴
۱۲۴	: ۱۹-۴
۱۲۵	: ۲۰-۴

۱۲۶	: ۲۱-۴
۱۲۸	: ۲۲-۴
۱۲۹	: ۲۳-۴
۱۳۰	: ۲۴-۴
۱۳۱	: ۲۵-۴
۱۳۲	: ۲۶-۴
۱۳۳	: ۲۷-۴
۱۳۴	: ۲۸-۴
۱۳۴	: ۲۹-۴
۱۳۵	: ۳۰-۴
۱۳۵	: ۳۱-۴
۱۳۶	: ۳۲-۴
۱۳۶	: ۳۳-۴
۱۳۶	: ۳۴-۴

ب- جدولها صفحه

۸	: ۱-۲
۱۱	: ۲-۲
۱۳	: ۳-۲
۱۴	: ۴-۲
۱۶	: ۵-۲
۲۵	: ۶-۲
۲۷	: ۷-۲
۳۵	: ۸-۲
۳۶	: ۹-۲
۳۸	: ۱۰-۲
۳۹	: ۱۱-۲
۴۴	: ۱۲-۲

۴۵	: ۱۳-۲
۴۷	: ۱۴-۲
۵۰	: ۱۵-۲
۵۵	: ۱۶-۲
۹۲	: ۱-۳
۹۴	: ۲-۳
۹۸	: ۳-۳
۱۰۱	: ۱-۴
۱۰۵	: ۲-۴
۱۰۹	: ۳-۴

فصل اول : مقدمه

قطعات ریختگی از آلیاژ آلومینیم A356 که با روش ریخته گری فومی تهیه می شوند، بطور گسترده ای در صنایع خودرو سازی جهت تولید بدنه موتور و سرسیلندر مورد استفاده قرار می گیرند زیرا این آلیاژ قابلیت ریخته گری و مقاومت به خوردگی خوبی داشته و پس از عملیات حرارتی از استحکام کششی و مقاومت به خستگی مناسبی برخوردار می باشد.

تحقیقات گسترده ای درخصوص عوامل مختلف موثر بر فرآیند ریخته گری فومی صورت گرفته است تا بتوان با انتخاب بهینه هر کدام از آنها قطعاتی مناسب و مقرون به صرفه تولید نمود. در سالهای اولیه معرفی این فرآیند، توجه محققان بر افزایش کارایی این فرآیند برای تولید قطعات صنعتی مختلف معطوف بود. پس از توسعه و رشد صنعتی این فرآیند، بیشتر تحقیقات بر بررسی تاثیر خواص پوشانها (از قبیل ضخامت، نفوذ پذیری و ...)، طراحی سیستم راهگاهی، ... بر سیالیت و تشکیل عیوب متمرکز شد [۳۳، ۲۲، ۱۳ و ۳۴]. تحقیقات مربوط به تاثیر خواص مدل بر پر شدن مذاب و ایجاد عیوب در اواسط دهه ۹۰ میلادی آغاز شد [۲۴ و ۳۵]. برخی از محققان با مطالعه شکل جبهه مذاب و واکنش تجزیه فوم، مدل‌های مختلفی را برای فرآیند جایگزینی فوم با فلز مذاب ارائه نمودند [۲۵ و ۸].

مشاهده پروفیل جبهه مذاب با کمک اشعه X که در سال ۲۰۰۱ میلادی توسط Sun صورت گرفت، اطلاعات جدیدی درخصوص فرآیند جایگزینی فوم با فلز مذاب و نیز نحوه پر شدن قالب ارائه نمود و برخی از مدل‌های پیشنهاد شده قبلی را تحت الشعاع قرار داد [۸]. در طول سال ۲۰۰۰ میلادی و بعد از آن بیشتر توجه محققان بر خواص فیزیکی و شیمیایی فوم و تاثیر آن بر شکل جبهه مذاب و ایجاد عیوب در قطعات معطوف شده است. در این تحقیقات سعی شده است که با کمی نمودن نفوذ پذیری و میزان همجوشی دانه های پلی استایرن بتوان معیار دقیقی برای ارزیابی کیفیت ساختار ماکروسکوپی و میکروسکوپی فوم های مصرفی ارائه نمود [۲۴ و ۷].

در تحقیق حاضر، در راستای مباحث روز فرآیند ریخته گری فومی سعی شده است که از طریق انجام تست سیالیت، تاثیر خواص فیزیکی و شیمیایی فوم های مصرفی موجود در داخل کشور بر سلامت قطعات ریختگی آلومینیمی ارزیابی شده و اطلاعات کاربردی و بومی مفیدی استخراج گردد. در این تحقیق تاثیر دو عامل جنبی نوع پوشان و دمای بارریزی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

انجام آزمایش آنالیز حرارتی (TGA) بر روی نمونه های فومی و نیز استخراج تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) آنها، نوآوری تحقیق حاضر نسبت به تحقیقات انجام شده در داخل کشور محسوب می شود. همچنین استفاده از مدل های تسمه ای جهت بررسی سیالیت مذاب در مقاطع فومی با ضخامت های مختلف، در میان تحقیقات انجام شده در دنیای ریخته گری فومی کاری

نوین بحساب می آید. نتایج آزمایش سیالیت بدست آمده در این تحقیق راهنمای مفیدی برای تولید قطعات ریختگی دارای مقاطع مختلف با استفاده از یک راهگاه بارریز، می باشد.

فصل اول گزارش حاضر به مقدمه اختصاص یافته است. در فصل دوم مروری بر منابع علمی ارائه شده و در فصل سوم روش انجام تحقیق بیان شده است. در فصل چهارم نتایج تحقیق مطرح شده و بحث بر روی نتایج و نیز نتیجه گیری کلی در فصل پنجم ارائه شده است.

فصل دوم : مروری بر منابع

۲-۱- مقدمه ای بر فرآیند ریخته گری در قالب های توپر

۲-۱-۱- تاریخچه

صنعت ریخته گری فلزات نقش بسیار مهمی در توسعه کشورهای صنعتی جهان دارد. در واقع قطعات ریختگی در هر بخش از صنعت بطور مستقیم و یا بصورت یک محصول ماشینکاری شده، مورد استفاده قرار می گیرند. فرآیند ریخته گری برای تولید قطعات ساده ای مانند دیگ ها و تابه ها و نیز قطعات پیچیده ای مانند بدنه موتورها، سرسیلندرها و پمپ ها استفاده می شود.

استفاده از مدل فومی برای تولید قطعات ریختگی توسط شرور^۱ در ۱۵ آوریل ۱۹۵۸ به ثبت رسیده است [۱]. در اختراع شرور مدل از یک بلوک پلی استایرن منبسط شده^۲ (EPS) ماشینکاری شد و با ماسه چسب دار احاطه گردید. این اختراع بعداً توسط شرکت آلمانی Grunzweig & Hartmann به مدیریت A. Wittmoser خریداری گردید و در سال ۱۹۶۲ جهت استفاده تجاری توسعه داده شد [۱]. استفاده از ماسه بدون چسب به همراه مدل EPS جهت تولید قطعات ریختگی توسط M. C. Flemings در سال ۱۹۶۲ مطرح گردید. استفاده کنندگان فرآیند تا سال ۱۹۸۰ که زمان اتمام امتیاز این فرآیند بود، توسط شرکت Full Mold Process مجوز تولید داشتند.

این روش ریخته گری با نام های عمومی و اختصاصی گوناگونی معرفی شده است که از جمله آنها *lost foam casting*, *evaporative pattern casting*, *cavityless casting*, *evaporative foam casting*, *foam vaporization casting* و *polycastTM*, *styropourTM*, *foamcastTM*, *styrocastTM*, *full mold* می باشد. بکارگیری بسیاری از این عبارات باعث سردرگمی و اشتباه بیشتر مهندس طراح، مصرف کننده و تولید کننده قطعات ریختگی نسبت به فرآیند می شود. در گذشته دو نام بسیار متداول، *lost foam* و *evaporative pattern casting* بود. اولاً فوم اتلاف نشده یا گم^۳ نمی شود، ثانیاً تبخیر فوم فرآیند محتمل حذف آن از محفظه قالب در حین بارریزی نمی باشد. بمنظور استفاده از یک نام عمومی غیر تجاری، بخش یازده (Expendable Pattern Casting) انجمن ریخته گران

۱- Shroyer

۲- expanded polystyrene

۳- lost

آمریکا در تابستان ۱۹۹۰ نام Expendable Pattern Casting (EPC) را بعنوان معرف عمومی برای این فرآیند انتخاب نمود [۱].

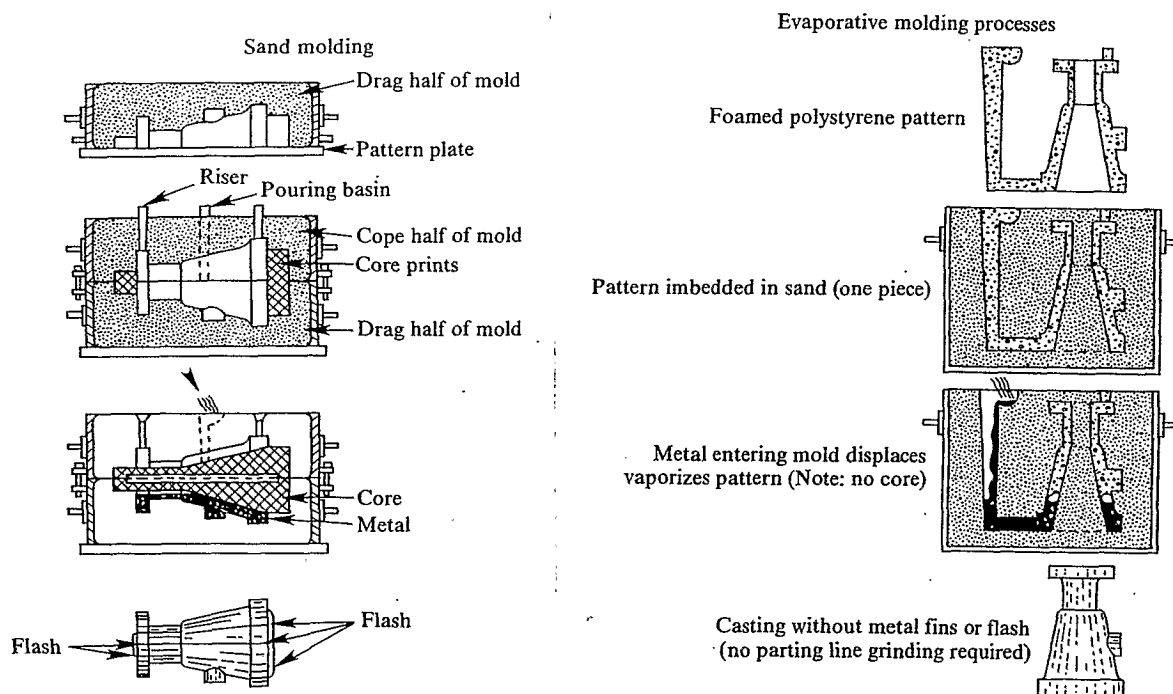
۲-۱-۲- فرآیند ریخته گری

قطعات ریختگی از طریق ریختن فلز مذاب بدرون محفظه قالب و انجماد فلز به شکل مورد نظر، تولید می شوند. روشهای گوناگون دیگری علاوه بر ریخته گری برای شکل دادن فلزات وجود دارد. یکی از این روشها ماشینکاری بلوک های فلزی به شکل مورد نظر می باشد و دیگری مونتاژ قطعات بوسیله پیچ کردن^۱ یا جوشکاری است. همچنین می توان لقمه های فلزی را به شکل مورد نظر فورج کرده و در نهایت ماشینکاری نمود. ولی هنگامیکه قطعه بزرگتر و پیچیده تر است و یا چنانچه ماده بسهولت ریخته گری شود، ریخته گری فلزات روش ترجیحی شکل دادن قطعات فلزی می باشد. روشهای ساخت قالب برای کلیه فرآیندهای ریخته گری مشترک است. یکی از محدودیت های طراحی یک قطعه ریختگی، قابلیت کارگاه ریخته گری جهت ساخت قالب قطعه مورد نظر می باشد. تکنولوژیهای مرسوم برای قالبگیری می تواند محدودیتهایی را به طراحی، اقتصادی بودن و دقت قابل حصول از یک قطعه ریختگی اعمال نماید زیرا بیشتر روشها نیازمند مدل های دائمی می باشند که بایستی قبل از بارریزی، از قالب خارج شوند. بنابراین خارج کردن مدل از قالب بایستی در هنگام طراحی مدل های دائمی در نظر گرفته شود.

استفاده از مدل های فومی برخی از این محدودیتها را حذف می کند لذا هم برای مصرف کننده و هم برای تولید کننده قطعات ریختگی جذاب می باشد زیرا همانگونه که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، مدل فومی معمولاً قبل از بارریزی از قالب خارج می شود. فرآیند EPC انعطاف پذیری مضاعفی را برای مهندس طراح در هنگام بهبود فرآیند ریخته گری برای تولید کننده، ایجاد می کند. اگرچه این فرآیند برای تولید هر قطعه ای مناسب نمی باشد، ولی در مواردی که طراحی قطعه امکان استفاده از مدل های فومی را میسر ساخته، ۶۰-۲۰ درصد کاهش در هزینه ها گزارش شده است [۱]. افزایش آگاهی از محدودیت ها و مزایای فرآیند EPC می تواند به تصمیم گیری های مناسب درخصوص فرآیند کمک نماید.

۲-۱-۳- ریخته گری با مدل های مصرف شدنی

استفاده از مدل های فومی برای تولید قطعات ریختگی، فرصتهایی را برای بهبود فرآیند ریخته گری و محصول نهایی ارائه می نماید. این فرآیند بطور موفقیت آمیزی برای ریخته گری آلومینیم، برنج، چدن و فولاد بکار رفته است. هرچند مزایای فرآیند ریخته گری با مدل های مصرف شدنی فقط هنگامی بطور کامل درک می شود که قطعات ریختگی بطور خاص برای این فرآیند طراحی شوند. در متداول ترین حالت این فرآیند، مدل فومی در ماسه بدون چسب قرار داده می شود تا اینکه فوم در حین بارریزی توسط فلز مذاب جایگزین گردد. حذف مدل فومی از محفظه قالب در حین بارریزی، جهت حصول موفقیت ضروری می باشد.



شکل ۱-۲: مقایسه شماتیک فرآیند قالبگیری در ماسه با فرآیند قالبگیری در روش EPC [۱].

عدم تخلیه کامل مواد فومی به عیوب کربنی در قطعات چدنی و ایجاد رویهم افتادگی ها^۱ یا چین خوردگی ها^۲ در قطعات آلومینیمی و نیز ایجاد تخلخل در هر دو منجر می شود. همچنین مدل فومی می تواند بصورت مدل مصرف شدنی همراه با ماسه چسب دار استفاده شود. قطعات ریختگی بزرگی که دارای تیراژ محدودی می باشند مانند قالب های منگنه کاری^۳، بطور تجاری با این روش تولید می گردند. ماسه چسب دار در مقابل مدل کوبیده شده و اجازه داده می شود تا سخت گردد. سپس مدل فومی قبل از بستن قالب، خارج شده و قطعه ریخته گری می شود.

نوع دیگر استفاده از مدل های فومی مشابه استفاده از موم در تولید قطعات ریخته گری دقیق^۴ می باشد. در این فرآیند ثبت شده که رپلیکست^۵ CS نام دارد، پوسته ای حول مدل فومی ایجاد می شود و فوم با حرارت دادن پوسته سرامیکی حذف می گردد. این فرآیند برای تولید قطعاتی که برای فرآیند ریخته گری دقیق بسیار بزرگ می باشند، مناسب است. قطعات ریختگی فولادی اغلب با یکی از این دو روش یاد شده تولید می گردند. دقت ابعادی حاصل از فرآیند رپلیکست CS در جدول ۱-۲ نشان داده شده است [۱]. فرآیند EPC انعطاف پذیری در طراحی را میسر نموده و فرصتهایی را ایجاد می نماید که در فرآیند های ریخته گری معمولی امکان پذیر نیست و در همان حال طیفی از مزایا را برای تولید کننده ایجاد می نماید. مزایای عمده این فرآیند عبارتند از: حذف ماهیچه ها و خطوط جدایش، دقت ابعادی بالا و ایجاد یک جایگزین عملی برای ماسه چسب دار.

جدول ۱-۲: دقت ابعادی فرآیند رپلیکست CS [۱].

تولرانس	بعد
$\pm 0.25 \text{ mm}$ یا 0.75 درصد بعد مربوطه (هر کدام که بزرگتر باشد)	۲/۵-۱۰۰ mm
$\pm 0.75 \text{ mm}$	۱۰۱-۳۰۰ mm
$\pm 1.5 \text{ mm}$	۳۰۰-۶۰۰ mm
$\pm 0.25 \text{ mm}$	اندازه سوراخ
$\pm 0.75 \text{ mm}$	مکان سوراخ

investment castings - ۴

Replicast - ۵

laps - ۱

folds - ۲

stamping dies - ۳

حذف ماهیچه ها در فرآیند EPC بدین علت است که در این فرآیند ماسه بدون چسب به درون حفره های داخلی مدل فومی سیلان نموده و حفره ها را در قطعات ریختگی ایجاد می نماید. پر کردن مجراهای داخلی^۱ با ماسه به یک سوراخ کوچک احتیاج دارد و به محل دسترسی بزرگی که یک ماهیچه معمولی بدان نیازمند می باشد، نیازی نخواهد بود. این امر باعث می شود که هندسه های داخلی پیچیده تری در قطعات استفاده شود. از طرفی ماهیچه های معمولی بایستی در موضع خود توسط تکیه گاه ها^۲ یا چپلت هایی^۳ نگه داشته شوند و درحین ریخته گری ممکن است جابجا شده و باعث ایجاد مجراهای داخلی غیر دقیق و تغییر در ضخامت دیواره شوند.

همچنین قطعات بایستی دارای محللهای دسترسی^۴ جهت تسهیل خروج ماهیچه های ماسه ای بعد از ریخته گری باشند. در برخی مواقع فلز مذاب در شکاف میان ماهیچه و قالب در محل تکیه گاه ماهیچه نفوذ کرده و پلیسه^۵ ایجاد می نماید که این پلیسه بعد از ریخته گری بایستی حذف گردد. قابلیت مدل های فومی در حذف ماهیچه گذاری، به طراح این امکان را می دهد که مجراهای داخلی پیچیده یا حتی مجراهای چند تایی^۶ را بصورت دقیق با ریخته گری تولید نماید. دیواره های قطعه ریختگی می تواند بصورت منحنی بوده یا دارای ضخامت متغیر باشد. مشکلات ناشی از ایجاد پلیسه، شکستن ماهیچه و خارج کردن ماهیچه یا تکیه گاههای آن، درحین طراحی قطعه به حداقل رسیده یا بطور کلی حذف می گردد. تولید کننده قطعات نیازی به ایجاد تجهیزات جداگانه برای تولید ماهیچه، مخلوط کردن ماسه، کار گذاشتن ماهیچه یا خارج کردن آن ندارد. شکستن ماهیچه، صدمه دیدن ماهیچه، تخلخل مربوط به ماهیچه یا سایر مشکلاتی که در اثر استفاده از ماهیچه ایجاد می گردد، وجود ندارد. همچنین عدم وجود ماسه چسب دار در مجراهای داخلی، سبب کاهش میزان تمیزکاری قطعات می شود. عدم استفاده از تکیه گاههای ماهیچه، چپلت ها، قانجاها^۷ و نیز حذف پلیسه ها میزان تمیزکاری قطعه ریختگی نهایی را می کاهش دهد. در برخی از گزارشها، کاهش هزینه های بخش تمیزکاری حدود ۸۰ درصد تخمین زده شده است [۱].

مزیت دیگر فرآیند EPC، حذف خط جدایش است. یک قطعه پیچیده ممکن است که به تولید مدل از تکه های جداگانه فوم که بعدا به همدیگر چسبانده می شوند، نیاز داشته باشد ولی این امر

core rods -۷

access holes -۴

internal passages -۱

fin -۵

coreprints -۲

multiple passages -۶

chaplets -۳

یک نیازمندی ساده در مقایسه با محدودیت های اعمال شده توسط خط جدایش به قطعات ریختگی معمول است. محدودیتهایی که تقسیم یک قالب ایجاد می نماید، ممکن است آشکار نباشد و یا برخی از این محدودیتها با بکارگیری ماهیچه ها برطرف گردد. در فرآیند قالبگیری معمولی، محفظه قالب با مدل دائمی که هر لنگه آن بعد از کوبش ماسه چسب دار خارج گردد، ساخته می شود. خارج کردن مدل از قالب بدین معنی است که مدل بایستی با شیب کافی طراحی گردد تا بتواند خارج شود. لذا شیب معکوس وجود ندارد و دیواره های مدل بایستی شیبدار باشد. از طرفی خط جدایش، جهت گیری^۱ مدل در قالب را تعیین می نماید. اگرچه قابلیت انعطاف در قراردادی سطوح نیازمند به ماشینکاری و نیز مقاطعی که دارای الزامات سلامتی بحرانی می باشند، سودمند است ولی غالباً قراردادی دلخواه مدل امکان پذیر نیست زیرا قطعه ریختگی بایستی بنحوی قرار داده شود که بتواند جدا شده و از قالب بیرون کشیده شود.

خط جدایش همچنین تعداد و نحوه چیدمان قطعات در داخل درجه را محدود می نماید. چیدن طبقاتی یا قراردادن قطعات حول یک کانال بارریز مشترک، اغلب امکان پذیر نیست و این امر باعث محدودیت در تعداد قطعات هر درجه می شود. گاهی اوقات خط جدایش قابلیت تغییر در قراردادی راهگاهها یا تغذیه ها را می کاهد. این امر باعث می شود که راهگاهها و یا تغذیه ها در سطوحی که دقت بالایی دارند، قرار گیرند. حذف راهگاه ها یا تغذیه ها می تواند سبب عدم دقت ابعادی شود که در این حالت این بی دقتی بایستی با فرآیند های دیگری مانند ماشینکاری تصحیح شود. بستن یا جفت نمودن قالب ممکن است که به ناردیفی^۲ یا عدم انطباق کامل منجر شود که این حالت جابجایی قالب^۳ نامیده می شود. بعنوان مثال، حد مجاز^۴ برای جابجایی بین قسمت بالا و پایین قالب ۰/۷۵ mm است [۱]. این حد مجاز مثالی از بی دقتی حاصل میان قالب و ماهیچه ها نیز می باشد. حذف این جابجایی ها در فرآیند EPC یکی از دلایل دقیق تر بودن این فرآیند نسبت به برخی از فرآیند های قالبگیری و ریخته گری معمول است.

استفاده مجدد از مدل های دائمی در فرآیند قالبگیری با ماسه چسب دار، باعث سایش مدل و جعبه ماهیچه ها می شود. این امر جابجایی ها را شدیدتر کرده و تغییر پذیری ابعادی^۵ بیشتری را

allowance -
dimensional variability -

orientation -
misalignment -
mold shift -

ایجاد می نماید. اتصالات ضعیف میان ماهیچه ها و قالب ها یا میان نیمه های قالب، باعث نفوذ مذاب به میان آنها شده و در نتیجه پلیسه فلزی ایجاد می نماید که بایستی در هنگام پرداخت کاری قطعه ریختگی حذف گردد. حذف پلیسه ها نیز تغییر پذیری ابعادی قطعه را افزایش می دهد. در مواردی که خط جدایش باعث ایجاد محدودیت می شود، استفاده از مدل های فومی بسیاری از این محدودیت ها را می کاهد.

با این حال مزیت دیگر استفاده از فرآیند EPC، قابلیت ابعادی^۱ بالایی می باشد که این فرآیند در مقایسه با روشهای ریخته گری متداول ارائه می کند. عدم وجود ماهیچه ها و خط جدایش باعث حذف جایجایی ها می شود. استفاده از مدل های مصرف شدنی، میزان سایش قالب را کاسته، پلیسه ها را حذف کرده و مقاطع یکنواختی را ایجاد می کند و کنترل ابعادی را بهبود می بخشد. بطور کلی مدل های فومی بصورت دقیق تری نسبت به طرح مشابه در یک قالب معمولی، تولید می شوند. تلرانسهای تخمینی مدل های EPS^۲ در جدول ۲-۲ نشان داده می شود [۱].

جدول ۲-۲: تلرانسهای ابعادی مدل های EPS [۱]

تلرانس (in.)	بعد (in.)
± 0.015	< 1
± 0.020	۱ تا ۳
± 0.025	۳ تا ۵
± 0.035	۵ تا ۷
$\pm (in. \times 0.005)$	۷ تا ۱۰
$\pm (in. \times 0.004)$	> 10
$\pm 0.030 in.$	< 7
$\pm 0.005 \frac{in.}{in.}$	> 7
	تخمین تقریبی

قطعه ریختگی تولید مجدد دقیق از مدل می باشد و دقت بالای مدل فومی مستقیماً به قطعه ریختگی دقیق تر تبدیل می شود.

۱ - dimensional capability

۲ - expanded polystyrene

۲-۱-۴- سایر جنبه های فرآیند EPC

در بیشتر موارد دقت بالای فرآیند EPC، عملیات ماشینکاری را کاسته یا حذف می کند. دقت ابعادی این فرآیند از دقت ابعادی فرآیند ریخته گری در ماسه تر یا قالب ها و ماهیچه های ماسه ای با اتصال شیمیایی^۱ بیشتر بوده و به دقت ابعادی حاصل از فرآیند ریخته گری دقیق نزدیک می باشد. علاوه بر این مزایا، خصوصیات دیگر فرآیند EPC نیز مفید است. مثلاً قطعات چدنی را می توان در دمای بالاتری از قالب خارج کرده و با نرخ بسیار کنترل شده ای خنک نمود که این امر به کنترل بهتر خواص مکانیکی منجر می شود. از طرفی راهگاهها و تغذیه ها را می توان در حالت داغ جهت ذوب مجدد استفاده نمود که در این صورت در هزینه های انرژی صرفه جویی می شود. حذف پلیسه ها و اثر خنک کنندگی ناشی از آنها، باعث حذف مناطق تبریدی^۲ یا کاربرد ها می شود که ایجاد این مناطق در فرآیند های معمول ریخته گری متداول می باشد. ماسه بدون چسب متراکم شده، در مقابل جابجایی ناشی از انجماد چدن نشکن مقاومت می نماید و نیاز به تغذیه را کاهش می دهد.

مباحث مفیدی درخصوص هزینه ها و سرمایه گذاری مورد نیاز برای فرآیند EPC در مقایسه با فرآیند متداول ریخته گری در ماسه وجود داشته است. بسیاری از منابع نشان می دهند که سرمایه گذاری در تجهیزات اصلی و میزان نیروی کار مورد نیاز برای تولید قطعات ریختگی با استفاده از مدل های فومی، در مقایسه با فرآیند های مرسوم کمتر می باشد. بهمین دلیل این فرآیند از نظر هزینه ای با فرآیند ریخته گری در ماسه قابل رقابت است. بکارگیری مدل های فومی نیاز به مخلوط کردن ماسه، ماهیچه سازی، قالب گیری^۳، خرد کردن کلوخه ها و بازیابی ماسه را رفع می نماید. قالب ها ساییده نمی شوند و نیاز به سنگ زنی یا پرداخت اولیه^۴ قطعات ریختگی کم شده یا حذف می گردد. این فرآیند یقیناً نسبت به سایر روشها گرانتر نمی باشد و فرصتی را برای تولید کم هزینه ولی همراه با کیفیت بهتر و ارزش افزوده^۵ ارائه می نماید. خلاصه ای از مزایای این فرآیند در جدول ۲-۳ نشان داده شده است [۱].

۱- rough- finish
۵- value added

۱- chemically bonded
۲- chill
۳- moldmaking

جدول ۲-۳: مزایای استفاده از مدل های فومی برای تولید قطعات ریختگی [۱].

دقت ابعادی	حذف ماهیچه ها	حذف خط جدایش	یکپارچگی قطعه
<ul style="list-style-type: none"> * مدل ها دقیق می باشند. * عدم سایش قالب های بکار رفته جهت تولید مدل ها * پرداخت کاری کمتر * عدم وجود خطوط جدایش 	<ul style="list-style-type: none"> * پیچیدگی بیشتر طرح قطعه * ضخامت کنترل شده دیواره های قطعه * عدم وجود تکیه گاه های ماهیچه * حذف پلیسه ها و جابجایی ها * حذف عیوب ناشی از ماهیچه ها * عدم نیاز به مخلوط کردن ماسه 	<ul style="list-style-type: none"> * حذف شیب مدل * چیدمانی طبقاتی قطعات * قراردهی صحیح سیستم راهگامی و تغذیه * حذف جابجایی قالب یا پلیسه ها 	

۲-۱-۵- معایب فرآیند EPC

فرآیند EPC معایبی نیز دارد. یکی از مشکلات این فرآیند، آگاهی ضعیف تولید کنندگان نسبت به تکنولوژی ساخت مدل های فومی می باشد. انحصاری بودن فرآیند نیز بمدت چند سال روند مقبولیت آنرا کند نمود. تسلط اولیه برخی از تولید کنندگان بزرگ و پیشرفت ظاهرا آهسته آنها، باعث شد تا سایرین برای سرمایه گذاری در این فرآیند محتاط و ملاحظه کار باشند. ماهیت محافظه کارانه صنعتکاران و سرمایه گذاری های اولیه مورد نیاز نیز توسعه تکنولوژی EPC را به تاخیر انداخت.

انتخاب یک قطعه مناسب جهت ریخته گری با فرآیند EPC کلید موفقیت می باشد. قطعات حجیمی^۱ که به ماهیچه سازی و ماشین کاری زیادی نیاز دارند، بهترین نتیجه را می دهند. البته ریخته گری موفقیت آمیز این قطعات اغلب بسیار دشوار است. یکی از محدودیت های اصلی این فرآیند، طراحی و ساخت قالب های مورد نیاز برای تولید مدل های فومی است. قطعات نمونه^۲ را می توان از بلوک های EPC تولید نمود ولی این قطعات عموماً کیفیتی را که از مدل های قالبگیری شده انتظار می رود، نشان نمی دهند. زمان^۳ و هزینه های قالب سازی مهم و اساسی است. قالب های ساده را می توان به شکل مورد نظر ریخته گری نمود که در این صورت زمان و هزینه تولید کاهش

large volume parts -۱

prototype parts -۲

lead times -۳

می یابد ولی زمانیکه قالب ساخته شد، اعمال تغییرات نه آسان بوده و نه ارزان می باشد. سیستم های راهگامی نسبت به فرآیند های متداول بزرگتر می باشد و حذف آنها مشکل تر است. این امر همچنین راندمان قطعات ریختگی^۱ را در برخی موارد می کاهش دهد. در این فرآیند جابجایی های ماهیچه یا خط جدایش حذف می شود ولی مدل فومی ممکن است که در فرآیند ریخته گری دچار اعوجاج شده و باعث ایجاد یک قطعه بد شکل^۲ گردد. در جدول ۲-۴ خصوصیات که یک قطعه ریختگی را نامزد تولید با این فرآیند می کند، نشان داده می شود [۱].

بطور خلاصه استفاده از مدل های فومی جهت تولید قطعات ریختگی، مزایای بیشتری را نسبت به معایب ارائه می کند. قطعات ریختگی بسیار زیادی می توانست با این فرآیند تولید شود اگر این فرآیند بهتر درک می شد.

جدول ۲-۴ : مشخصات قطعات مناسب جهت تولید با فرآیند EPC [۱].

* قطعاتی که تیراژ تولید بالایی دارند ($> \frac{10,000}{year}$).
* قطعات پیچیده ای که به دو یا تعداد بیشتری ماهیچه نیاز دارند.
* قطعاتی که حفرات داخلی پیچیده ای دارند (ماهیچه های پیچیده یا شکننده).
* قطعاتی که ماشینکاری می شوند.
* قطعاتی که اجزای مونتاژی قطعات دیگری می باشند.
* قطعاتی که با روش دایکاست تولید می شوند.

۲-۱-۶- نمای کلی از فرآیند EPC

اولین مرحله در فرآیند EPC طراحی قطعه است. تبدیل یک قطعه ساده موجود به مدل های فومی سبب می گردد تا تولید کننده تجربیات ارزشمندی را با احتمال شکست کمتر بدست آورد و از نظر اقتصادی تخمینی برای این فرآیند داشته باشد. قطعات پیچیده ای که بطور خاص برای

۱- casting yield

۲- distorted casting

ریخته گری فومی طراحی شده اند، بیشترین مزیت را برای طراح و بالاترین ارزش را برای قطعه ارائه می نمایند ولی ممکن است که فراتر از قابلیت های یک فرد تازه کار یا تجهیزات تازه تاسیس باشد. نمای کلی از این فرآیند در جدول ۲-۵ نشان داده می شود [۱].

هر قطعه ای برای تولید با فرآیند EPC مناسب نمی باشد. تیم ریخته گری تازه کار بایستی قطعات ساده ای را برای شروع یادگیری درخصوص این فرآیند انتخاب نماید. انتخاب یک قطعه مناسب بر اساس قابلیت های کارگاه و کارکنان، کلید موفقیت در عرصه جدید است. بعد از اینکه قطعه انتخاب و طراحی شد، لازم است که قالبی جهت تولید مقاطع گوناگون مدل فومی، طراحی گردد. طراحی قالب برای تولید مدل فومی مهم می باشد زیرا ابعاد اولیه فوم را که بر کیفیت مدل، همجواری^۱ دانه های سطحی و درونی و زمان تولید تاثیر دارد، تثبیت می نماید. طراحی قالب برای مدل های فومی می تواند آسان بوده یا با بکارگیری کشویی ها^۲ جهت ایجاد شیارها یا سوراخ ها در فوم، نسبتا پیچیده باشد. گاهی اوقات ماهیچه های چند تکه^۳ جهت ایجاد حفرات داخلی بزرگ در مقاطع فومی استفاده می شود. طرح های پیچیده برخی از قطعات ریختگی ایجاب می نماید که چندین مقطع فومی^۴ بطور جداگانه تولید شده و بهمدیگر چسبانده شوند تا مدل نهایی شکل گیرد.

هر مقطع فومی به یک قالب جداگانه نیاز دارد و ممکن است که به قالب ثانوی هم جهت نگهداری درحین چسباندن نیاز داشته باشد. طراحی و ساخت قالب پر هزینه بوده و ممکن است که زمان بر باشد. قطعات نمونه یا قطعاتی با تیراژ بسیار کم را می توان از مقطعی که از بلوک های فومی بریده یا تراشیده شده و بصورت دستی با چسب مونتاژ شده اند، تولید نمود. این روش مفید است ولی مدل های تولید شده، قطعاتی با کیفیت سطحی پایین تولید می نمایند. دقت^۵ این مدلها پایین بوده و فرآیند مونتاژ دستی، عموما چسب زیادی را مصرف می کند که باعث ایجاد عیوب یا سایر مشکلات کیفیتی می شود.

۱- foam sections

۵- accuracy

۱- fusion

۲- pullbacks

۳- collapsible cores

جدول ۲-۵: مراحل مختلف فرآیند EPC [۱].

۱- طراحی قطعه
۲- قالب سازی
الف- قالبهای مورد نیاز جهت تولید مقاطع فومی ب- راهنماها و شابلون های لازم جهت مونتاژ مقاطع فومی
۳- تولید مقاطع فومی
الف- پیش انبساط دانه های EPS ب- قالبگیری دانه های پیش منبسط شده ج- پیرسازی مقاطع فومی تولید شده
۴- مونتاژ مقاطع فومی
۵- پوشش دهی مدلها
۶- پر کردن ماسه و متراکم نمودن آن
۷- تخلیه قالب ها
۸- تمیزکاری قطعات

۲-۱-۶-۱-۱-۲- قالبگیری مدل

الف- پیش انبساط دانه ها^۱

تولید مقاطع فومی یک فرآیند دو مرحله ای می باشد: پیش انبساط دانه ها و قالبگیری. متداول ترین ماده فومی که استفاده می شود، پلی استایرن^۲ است که حاوی پتتان بعنوان عامل انبساط می باشد. مواد خام پلی استایرن منبسط شونده^۳ (EPS) بصورت دانه های منبسط نشده با دانسیته $60.8 \frac{kg}{m^3}$ تهیه می شوند. اولین گام در تولید مدل فومی، انبساط دانه های پلاستیکی تا دانسیته مصرف است. برای تولید قطعات آلومینیمی معمولا از مدل های EPS با دانسیته $22-26 \frac{kg}{m^3}$ و برای تولید ریختگی های چدنی عموما از دانسیته $16-22 \frac{kg}{m^3}$ استفاده می شود [۱]. در فرآیند انبساط، دانه های EPS بطور دقیق و سریع تا حدود $100^\circ C$ حرارت داده می شوند. فرآیند انبساط هنگامی متوقف می شود که دانسیته مورد نظر بدست آید.

۱- bead preexpansion

۲- polystyrene

۳- expandable polystyrene

ب- قالبگیری

مرحله اول انبساط دانه ها، پیش انبساط نام دارد و محصول آن دانه های پیش منبسط شده یا پیش پف کرده^۱ نامیده می شود. پس از اینکه دانه های پیش منبسط شده پایدار گردیدند، می توان آنها را جهت ساخت مدل فومی استفاده نمود. کنترل فرآیند پیش انبساط بمنظور اطمینان از دانسیته صحیح فوم، مهم می باشد. زمان پایدار شدن^۲ نیز یک عامل مهم در کیفیت نهایی فوم و دقت ابعادی است.

در مرحله دوم، دانه های پیش منبسط شده جهت تزریق، به ماشین قالبگیری منتقل می شوند تا به شکل مقاطع مدل درآیند. قالب در ماشین قالبگیری بایستی تا دمای کاری پیشگرم شده و بسته شود تا فرآیند آغاز گردد. کشویی های مکانیکی^۳ ممکن است در قالب جهت ایجاد سوراخها یا سایر اشکال بکار گرفته شوند. اگر از کشویی ها استفاده شده باشد، هنگامیکه قالب بسته می شود آنها معمولاً به موقعیت بسته خود هدایت می گردند. سپس دانه های پیش منبسط شده به درون محفظه خالی قالب تزریق می شود. بسیاری از مشکلات کیفی در تولید فوم از عدم پر شدن کامل ناشی می شود. ایجاد هواکش های کافی در قالب جهت خروج هوای محفظه قالب در حین پر شدن، ضروری است. در قالب های بدون هواکش، هوای قالب از طریق خط جدایش آن خارج می گردد. مجاری تزریق^۴ نیز بایستی بصورت صحیح قرار گرفته و برای پر شدن صحیح محفظه قالب تنظیم شوند.

هنگامیکه محفظه قالب با دانه های پیش منبسط شده پر شد، فرآیند بخاردهی^۵ آغاز می گردد. در ابتدا بخار از طریق منافذ از یک سمت قالب به سمت مقابل آن عبور می کند. گرمای بخار سبب می شود که دانه ها نرم شده و مجدداً منبسط شوند. سپس بخار در جهت مخالف عبور داده می شود. این بخاردهی سرتاسری، بخش های داخلی فوم را گرم می کند بگونه ای که دانه ها منبسط شده و به همدیگر متصل شوند. بعد از اتصال (همجوشی)^۶، بخار از هر دو سمت قالب تزریق می شود و فشار محفظه قالب افزایش می یابد. این عمل باعث می شود که دمای سطح قالب بالا رفته و سطح خارجی فوم به همدیگر متصل شود. اعمال بخار از هر دو سمت قالب، مرحله اتوکلاو^۷ نامیده می شود.

autoclave -۷

fill guns -۴

prepuff -۱

steam cycle -۵

stabilization -۲

fusion -۶

mechanical pulls -۳

در حین بخاردهی بایستی مراقب بود تا از گرم شدن بیش از حد جلوگیری گردد زیرا می تواند سبب تخریب دانه ها شود. بعد از بخاردهی، فوم بایستی سریعا خنک شود. این امر با پاشش حجم زیاد آب یا بوسیله استفاده از مقادیر کم آب که بدنال آن خلاء اعمال می شود، تامین می گردد. سپس قالب باز شده، کشویی ها جمع می شوند و مقطع فومی خنک شده، خارج می گردد. در این مرحله مقطع فومی هنوز نرم است و در حین خارج کردن مدل از قالب و انبارداری بعد از آن، بایستی مراقب بود تا اعوجاج مدل حداقل شود.

۲-۱-۶-۲- پیرسازی مدل^۱

فوم بلافاصله پس از تولید از نظر ابعادی پایدار نمی باشد. مدل پس از خروج از قالب تا حدی منبسط شده و سپس به آرامی منقبض می گردد. بیشتر انقباضات فوم تقریباً در مدت ۳۰ روز رخ می دهد و تقریباً ۰/۸ درصد است. کنترل انقباضات جهت بهره برداری کامل از مزایای فرآیند، ضروری می باشد. یک راه برای پایدار نمودن مدل، پیرسازی مصنوعی آن در کوره است. این عمل فرآیند پیر شدن مدل را تسریع می کند. پیرسازی معمولاً در دمای 70°C - 60°C بمدت ۱۸-۲ ساعت انجام می شود [۱]. پیرسازی مصنوعی دقت ابعادی مدل ها را می کاهد. انقباض فوم قالبگیری شده بایستی جهت استفاده سودمند از فرآیند EPC در نظر گرفته شود. بالاترین دقت ابعادی صرفاً از طریق طراحی دقیق، قالب سازی خوب، کنترل فرآیند پیش انبساط، پیرسازی آگاهانه قبل از مونتاژ مدل، پوشش دهی صحیح مدل، متراکم نمودن مناسب ماسه و بارریزی درست حاصل می گردد.

۲-۱-۶-۳- مونتاژ مقاطع مدل

پس از پیرسازی مقاطع فومی، بایستی آنها را مونتاژ نمود. جابجایی ها^۲ و سایر بی دقتی ها^۳ عیناً در قطعه ریختگی نهایی ایجاد خواهد شد. لذا مونتاژ به همان دقتی که در قطعه ریختگی مورد نیاز است، احتیاج دارد. مقاطع فومی معمولاً با استفاده از چسب گرم^۴ در دستگاه اتوماتیک به همدیگر چسبانده می شوند. به منظور ایجاد و حفظ دقت مورد نظر، قالبی برای فرآیند مونتاژ تهیه می گردد.

hot- melt glue -۴

pattern aging -۱

shifts -۲

inaccuracies -۳

اتصالات چسبی بایستی جهت نگهداشتن قطعات در کنار هم بقدر کافی محکم باشند، جهت ایجاد سرعت تولید مورد نیاز سریع خودگیر شوند، باعث ایجاد عیوب نشوند و در مقابل نفوذ پوشانی که بعد از چسباندن مدل به آن اعمال می شود آبیندی شده و نفوذ ناپذیر باشند. اتصالات چسبی ضعیف علت اصلی ایجاد قطعات ریختگی معیوب در فرآیند EPC است. اتصالات چسبی و نحوه مونتاژ تاثیر شدیدی بر کیفیت قطعات ریختگی حاصله دارد. راهگاه بارریز و سیستم راهگاهی نیز ممکن است در دستگاه اتوماتیک و یا بصورت دستی مونتاژ شوند. مقاطع سیستم راهگاهی با استفاده از قالب تهیه می گردد یا از بلوک های فومی بریده می شود. اتصال و مونتاژ راهگاه به مدل، بصورت دستی با استفاده از فیکسچر ها و یا بطور اتوماتیک صورت می گیرد. اتصال سیستم راهگاهی به مدل، تهیه مدل فومی یا خوشه ریختگی^۱ را کامل می کند. مدل های مونتاژ شده ممکن است که بمنظور کاهش مشکلات اولیه فرآیند EPS، خریداری شوند.

۲-۱-۶-۴- پوشش دهی مدل

پس از مونتاژ، خوشه فومی معمولا با یک پوشش سرامیکی پوشش داده می شود. برخی از قطعات ریختگی آلومینیمی ممکن است که نیازی به پوشش دهی نداشته باشند ولی تقریبا برای کلیه قطعات ریختگی چدنی پوشش دهی ضروری است. در مواردی که پوشش دهی ضروری نمی باشد، پوشش دهی مدل مزایای مهمی را عرضه می نماید. پوشان سدی ایجاد می نماید تا فلز مذاب درحین بارریزی به درون ماسه نفوذ نکرده یا باعث سایش ماسه نشود. همچنین پوشان از ریزش ماسه به درون شکاف میان مذاب پیشرونده و فوم پسرونده جلوگیری کرده و اجازه می دهد تا محصولات حاصل از تجزیه فوم خارج شوند. پوشان همچنین باعث می شود که مدل فومی درحین متراکم نمودن ماسه، شکل خود را حفظ کرده و دچار اعوجاج نشود.

پوشان را می توان بوسیله غوطه وری^۲، پاشش^۳ یا جاری نمودن^۴ به خوشه فومی اعمال نمود. پوشان معمولا بصورت دوغابی از مواد سرامیکی در یک حامل پایه آبی تهیه می گردد. بعد از اینکه پوشان به خوشه فومی اعمال شد، خوشه بایستی خشک گردد. پوشانهایی که خشک نشده اند، باعث

pouring - ۴

casting cluster - ۱

dipping - ۲

spraying - ۳

ایجاد عیوب گوناگونی همچون تخلخل و عیوب سطحی می شود. به منظور ایجاد یک پوشش یکنواخت بر روی هر خوشه، کنترل دقیق ضروری است زیرا ضخامت پوشان بر کیفیت قطعه موثر می باشد. یک روش کنترلی اولیه، اندازه گیری وزن پوشان خشک روی خوشه است. خشک کردن خوشه در یک اتاق کم رطوبت میسر می باشد ولی متداول ترین روش خشک کردن، گذراندن فوم پوشش دهی شده از داخل یک کوره دارای سیستم چرخش هوا^۱ است. خشک کردن خوشه ها در دمای °C ۶۰ - ۴۰ معمولاً ۲ تا ۱۰ ساعت بطول می انجامد [۱]. حصول اطمینان از خشک شدن خوشه قبل از استفاده بسیار مهم و ضروری می باشد.

۲-۱-۶-۵- پر کردن ماسه و متراکم نمودن آن

پس از اینکه پوشان خشک گردید، خوشه پوشش دهی شده برای قرارگیری در داخل درجه و تقویت آن با ماسه بدون چسب، آماده می باشد. قراردهی خوشه، پر کردن درجه و متراکم نمودن ماسه، همه به منظور اطمینان از فشردگی کامل ماسه در اطراف مدل و پر شدن کامل تمامی حفره های داخلی مدل بدون ایجاد اعوجاج در آن، انجام می شود. توسعه سیکل پر شدن و متراکم نمودن ماسه برای هر طراحی خوشه، مهم می باشد. ماسه ممکن است به روش بارانی از میان یک شبکه (توری)^۲ یا بوسیله لوله هایی که در اطراف مدل قرار داده شده است، به داخل درجه ریخته شود. متراکم نمودن ماسه قالب با استفاده از یک میز لرزاننده صورت می گیرد. این میز توسط موتورهایی که دارای وزنه های خارج از مرکز می باشند و در جهت عکس هم می چرخند، لرزانده می شود. درجه ممکن است بر روی بالشتک های نگهدارنده^۳ موجود در روی میز، قرار داده شده یا به خود میز متصل شود. متراکم نمودن ماسه معمولاً درحین پر کردن درجه با آن انجام می شود تا سیلان ماسه به درون حفره های داخلی تسهیل شده و اعوجاج مدل حداقل شود.

۱- circulating- air oven

۲- screen

۳- locator pads

۲-۱-۶-۶- بارریزی

پس از اینکه ماسه در اطراف مدل متراکم شد، قالب برای بارریزی آماده می باشد. بارریزی در فرآیند EPC نسبت به فرآیند های ریخته گری معمولی بسیار حساس است. معمولاً از روش بارریزی اتوماتیک در فرآیند EPC استفاده می شود تا از ایجاد تغییرات در بارریزی های مختلف جلوگیری گردد. اگر در حین بارریزی وقفه ای ایجاد شود، ماسه به درون محفظه قالب ریزش کرده و باعث خرابی قطعه می شود. نرخ بارریزی بایستی تا حد ممکن سریع باشد تا از ریزش قالب جلوگیری شده و بقایای مواد فومی به خارج از آن هدایت گردد. سیستم راهگاهی، طراحی قطعه ریختگی، خواص پوشان، خواص ماسه و فرآیند بارریزی بایستی بصورت یک سیستم عمل نماید تا بقایای مواد فومی از محفظه قالب خارج گردد در غیر اینصورت، عیوب ریخته گری قابل توجهی ایجاد خواهد شد.

۲-۱-۶-۷- تمیزکاری و پرداخت قطعات

پس از بارریزی، به خوشه ریختگی زمان داده می شود تا قبل از تخلیه، در داخل درجه منجمد گردد. استفاده از مدل های فومی، میزان تمیزکاری مورد نیاز برای آماده سازی قطعات جهت استفاده یا فرآیند بعدی را می کاهش دهد. فرآیند های تمیزکاری و پرداختکاری معمول در ریخته گری نیز در این روش جهت آماده سازی قطعات برای تحویل به مشتری بکار برده می شود. در قطعات تولید شده با فرآیند EPC، تمیزکاری قطعات معمولاً آسانتر است و به مراحل کمتری نیاز دارد زیرا پلیسه یا خطوط جدایشی برای سنگ زدن وجود ندارد. هرچند در این روش راهگاهها بزرگتر می باشد و حذف آنها نسبت به فرآیند های متداول ریخته گری مشکل تر است. ماسه بدون چسب بکار رفته در این فرآیند نسبت به تکه های بهم چسبیده مواد چسبی یا کلوخه های ماسه تر، راحت تر از حفره های درونی قطعه خارج می شود. حذف راهگاه ها و تغذیه ها بایستی با دقت انجام شود بگونه ای که دقت ابعادی قطعه از بین نرود. فرآیند EPC بر مراحلی که در تمیزکاری قطعات دنبال می شود تأثیری ندارد یا اثر آن بسیار کم است. دقت ابعادی قابل حصول در این فرآیند باعث می شود که برخی از طرح های^۱ موجود در قطعات بصورت ریختگی ایجاد شده و برخی از عملیات های ماشینکاری حذف گردد. در مواردی که عملیات ماشینکاری ضروری می باشد، دقت فرآیند EPC مقدار

ماده ای را که باید حذف شود، می کاهد.

۲-۱-۷- انواع دیگر فرآیند EPC

در تولید قطعات ریختگی فولادی، جذب کربن و گاز ناشی از مدل های فومی مانع دشواری برای موفقیت در کاربرد تجاری این قطعات می باشد لذا فنون دیگری برای استفاده از مدل های فومی در تولید قطعات فولادی لازم است. نقطه اشتراک روش های دیگر، حذف مدل فومی قبل از بارریزی می باشد. دو روش مورد استفاده قرار گرفته است که عبارتند از :

۱- استفاده از ماسه چسب دار همراه با مدل فومی که مدل بعد از استقرار و محکم شدن قالب، بصورت تخریبی خارج می گردد.

۲- استفاده از مدل فومی برای ساخت پوسته سرامیکی جهت ریخته گری هر دو روش بصورت تجاری برای تولید قطعات فولادی استفاده می شود.

۲-۱-۷-۱- ماسه چسب دار

تولید قطعات ریختگی بزرگ بوسیله مدل فومی در ماسه چسب دار یک فرآیند قدیمی ولی موفقیت آمیز است. مشکلات ناشی از خروج گاز و جذب کربن، استفاده کنندگان را بسمت حذف مدل از قالب ماسه ای قبل از بارریزی، سوق داده است. در این فرآیند، مدل فومی بعنوان یک مدل ارزان برای تولید قطعات با تیراژ کم می باشد. مدل معمولاً از بلوک های EPS ماشینکاری می شود که یک روش تولید اقتصادی برای قطعات یک تکه یکجور^۱ و بزرگ است. هزینه ساخت مدل های EPS می تواند کمتر از نصف هزینه ساخت مدل های چوبی باشد. در این روش ماهیچه ها حذف شده و از ایجاد پلیسه ها و ناجفتی ها در قالب نیز جلوگیری می شود و دقت قطعات ریختگی خوب است. در هنگام استفاده از مدل های مصرف شدنی بزرگ، بایستی موارد زیر را رعایت نمود :

الف- جابجایی مدل ها در مرحله پوشش دهی و در مرحله قالب گیری در ماسه چسب دار بایستی با دقت صورت گیرد.

ب- مدل ها حتی درحین متراکم نمودن ماسه و سیخ زدن^۲ قالب نبایستی صدمه ببینند. استفاده از

one- of- a-kind parts -۱

venting -۲

مدل های فومی خطا پذیری کمتری دارد زیرا بروز یک اشتباه مستلزم تهیه مدل دیگری است.

۲-۱-۷-۲- پوستره سرامیکی^۱

یکی از راههای ارائه مزایای فرآیند EPC، ساخت مدل فومی جهت تولید پوستره های سرامیکی برای ریخته گری می باشد. مدل های فومی با چندین لایه از مواد سرامیکی پوشش دهی شده و پس از خشک شدن لایه ها، پوستره سرامیکی حرارت داده می شود. حرارت دهی، پوستره سرامیکی را مستحکم نموده و در عین حال مواد فومی را از داخل حفره قالب خارج می نماید. پوستره های سرامیکی با ماسه بدون چسب تقویت می گردد. در این فرآیند، قطعات بزرگ را می توان با دقتی در حد فرآیند ریخته گری دقیق تولید نمود. از آنجائیکه در این فرآیند مدل فومی از داخل پوستره سرامیکی حذف می شود، لذا می توان از مدل های فومی با دانسیته بالا استفاده نمود که به ایجاد پایداری ابعادی بیشتر و پرداخت سطحی بهتر منجر شده و استحکام مورد نیاز جهت جابجایی مدلها را افزایش داده و از اعوجاج مدل می کاهد.

در مقایسه با فرآیند های معمول ریخته گری در قالب های توپر، ساخت و حرارت دهی پوستره سرامیکی هزینه بر است و همانند روش قالب توپر، هزینه ساخت قالب مورد نیاز برای تولید مدل تاثیر زیادی بر هزینه های تولید دارد. در مقایسه با فرآیند ریخته گری دقیق، استفاده از مدل های فومی بجای مدل های مومی باعث می شود که پوستره های سرامیکی سریعتر خشک گردد. ترک خوردن پوستره سرامیکی که در فرآیند ریخته گری دقیق رخ می دهد، در این فرآیند ایجاد نمی شود. بسیاری از مزایای فرآیند قالب توپر در روش پوستره سرامیکی حفظ می شود.

استفاده از پوستره های سرامیکی توسط SCRATA^۲ توسعه یافت و تحت عنوان فرآیند رپلیکست پوستره سرامیکی، مجوز تولید داده شد. روشهای دیگر پوستره سرامیکی در حال توسعه می باشند. علاوه بر این روشها، هنوز مدل های فومی بزرگ عموماً جهت ساخت قطعات فولادی بزرگ ماتریس های قالبها^۳ یا قطعات چدنی مورد استفاده قرار می گیرد.

ceramic shell -۱

Steel Casting Research and Trade Association -۲

die block -۳

۲-۲- معرفی انواع فوم های مورد استفاده در فرآیند EPC

۲-۲-۱- انواع مواد پلیمری

مواد پلیمری را می توان به سه گروه اصلی تقسیم نمود :

الف- ترموپلاستیک ها^۱ که از زنجیر های بلند و مجزای مولکول ها تشکیل شده اند. هر فرآورده ای را می توان از طریق خرد کردن^۲ و تزریق مجدد آن به یک دستگاه مناسب دوباره فرآوری نمود.

ب- مواد ترموست^۳ که از شبکه سه بعدی نامحدودی تشکیل شده اند. این شبکه فقط هنگامیکه محصول در شکل نهایی خود می باشد، ایجاد می گردد و نمی توان این شبکه را با حرارت دهی مجدد تجزیه نمود.

ج- لاستیک ها^۴ که شبکه سه بعدی سست تری دارند و زنجیر های مولکولی آزادانه می توانند شکل خود را عوض نمایند.

اهمیت نسبی هر کدام از اعضای این سه گروه را می توان از طریق مقایسه مصرف سالیانه آنها مشخص نمود. جدول ۲-۶ چهار دسته از مواد ترموپلاستیک را نشان می دهد که مواد ترموپلاستیک کالایی^۵ نامیده می شوند [۲]. تولید کنندگان زیادی در زمینه تهیه انواع مختلفی از این مواد با هم رقابت می کنند و قیمت هر تن از آنها در سال ۱۹۸۴، ۵۰۰ تا ۸۰۰ پوند بوده است. دانسیته پایین این مواد که از $900 \frac{kg}{m^3}$ برای پلی پروپیلن (PP) تا $1400 \frac{kg}{m^3}$ برای پلی وینیل کلراید (PVC) متغیر است، بیانگر هزینه های پایین این مواد از نظر حجمی می باشد. سایر مواد ترموپلاستیکی جدول ۲-۶، ترموپلاستیک های مهندسی^۶ نام دارند زیرا دارای خواص مکانیکی بهتری می باشند. این مواد به میزان کمتری تولید می شوند و محدوده قیمتی آنها £/tonne ۲۰۰۰-۱۰۰۰ می باشد [۲]. همچنین پلاستیک های مخصوصی وجود دارد که سالیانه فقط چند هزار تن از آنها بفروش می رسد و قیمت آنها بالای £/tonne ۵۰۰۰ است. از جمله این مواد، پلی تترافلوئورو اتیلن (PTFE) می باشد که خواص اصطکاکی پایین و منحصر بفردی دارد.

واکنش اتصال جانبی^۷ که در تولید مواد ترموست رخ می دهد مزیتی جهت ایجاد چسبندگی

crosslinking -v

rubbers -t

thermoplastics -۱

commodity thermoplastics -۵

chopping up -۲

engineering thermoplastics -۶

thermosets -۳

خوب به سایر مواد است. از اینرو رزین های اپوکسی و پلی استر بعنوان مواد زمینه برای کامپوزیت های الیافی، رزین های آمینو برای چسباندن نئوپان و فنل ها برای اتصال الیاف در لنت ترمزها و چسباندن ماسه ریخته گری استفاده می گردد. مصرف مواد ترموست تقریباً ثابت است که این موضوع نشانه عدم استفاده از این مواد در برخی مصارف نسبت به مواد ترموپلاستیکی مقاوم به حرارت، می باشد.

جدول ۲-۶: میزان مصرف مواد پلاستیکی [۲].

Plastics	Abbreviation	Physical state	1985 UK Consumption 1000 tonnes
Thermoplastics			
<i>Polyethylene</i>	LDPE	semi-crystalline	570
	HDPE	semi-crystalline	250
<i>Polypropylene</i>	PP	semi-crystalline	325
<i>Polyvinylchloride</i>	PVC	glassy	450
<i>Polystyrene</i>	PS	glassy	180
Acrylonitrile Butadiene Styrene Terpolymer	ABS	glassy	55
Polyamides (nylon)	PA	semi-crystalline	21
Polyethylene terephthalate	PET	semi-crystalline	65
Polybutylene terephthalate	PBT	semi-crystalline	
Polymethylmethacrylate (acrylic)	PMMA	glassy	27
Polyoxymethylene (acetal)	POM	semi-crystalline	11
Thermosets			
Aminos		glassy	125
Epoxy		glassy	18
Polyester		glassy	51
Phenolic		glassy	50
Urethane		semi-crystalline or rubbery	94
Others			294
Rubbers			940
Total			3250

Commodity plastics are in italics.

* Courtesy of European Plastics News.

مصرف لاستیک ها بطور عمده به تولید لاستیک وسایط نقلیه مربوط می شود. بیشترین مصرف لاستیک ها به لاستیک طبیعی و لاستیک کوپلیمر استایرن - بوتادین (SBR)^۱ مربوط می شود. سایر

۱- styrene- butadiene copolymer rubber

لاستیک ها دارای خواص ویژه ای از قبیل نفوذ پذیری کم هوا (لاستیک های بوتیلن)، مقاومت خوب در مقابل مواد نفتی (لاستیک های نیتریل) و مقاومت حرارتی در دماهای بالا و پایین (لاستیک های سیلیکون) می باشند [۲].

از لحاظ ریز ساختاری، مواد ترموپلاستیک به دو دسته جامدات آمورف و نیمه کریستالی^۱ تقسیم می شوند. مواد آمورف تا دمایی موسوم به دمای انتقال شیشه ای^۲ (T_g)، شیشه ای می باشند و در دماهای بالاتر از آن به یک مایع لاستیکی^۳ تبدیل می شوند و با افزایش مجدد دما، ویسکوزیته آنها کاهش می یابد. مواد ترموپلاستیکی نیمه کریستالی را می توان بصورت مواد دو فازی در نظر گرفت که شامل یک فاز آمورف و یک فاز کریستالی با نقطه ذوب (T_m) معین، می باشند. در جدول ۲-۷ ساختار شیمیایی و دماهای انتقالی برخی از مواد ترموپلاستیک نشان داده می شود. مقادیر دماهای مشخصه این مواد مانند نقطه ذوب فلزات خالص، دقیق نمی باشد. فاز کریستالی مواد پلیمری در یک محدوده دمایی که به T_m منتهی می شود، ذوب می گردد و مقدار دقیق T_m و T_g به وزن مولکولی بستگی دارد [۲]. در پلیمر های نیمه کریستالی درصد کریستالی بودن^۴ پارامتر مهم دیگری است که بوسیله نظم در ساختار شیمیایی تعیین می شود.

۲-۲-۲- مواد فومی

هنگامیکه حبابهای گاز در یک مایع رشد می کنند، ماده فومی پس از طی مراحل ایجاد می گردد. شکل ۲-۲ تصویر دو بعدی از حبابهای هم اندازه را نشان می دهد که بطور منظم در کنار هم قرار گرفته اند. هنگامیکه دانسیته ماده فومی کاهش می یابد، حبابها به همدیگر نزدیک شده و یک فوم سلول بسته^۵ ایجاد می نمایند. سرانجام دیواره های سلول ها ترکیده و مایع در گوشه های^۶ سلول ها جمع می شود و یک فوم سلول باز^۷ را بر جای می گذارد. هنگامیکه فومهای پلاستیکی بوسیله میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار می گیرند، دو نوع اصلی از این مواد را می توان یافت. اگر حبابهای گازی در مذاب یک ماده ترموپلاستیکی دارای ویسکوزیته بالا رشد کنند، فرآیند نازک شدن دیواره های سلول ها^۸ کند بوده و انجماد مذاب باعث ایجاد یک فوم سلول بسته

open cell foam -v
cell walls -a

crystallinity -t
closed cell foam -o
edges -b

semi-crystalline -i
glass transition temperature -y
rubbery liquid -r

می شود. ایجاد چنین فومهایی با استفاده از پلیمر های شیشه ای^۱ آسان می باشد ولی اخیرا خواص رئولوژی پلی پروپیلن اصلاح شده است تا بتوان فوم های پایداری را در محدوده دمایی بسته ای بالاتر از نقطه ذوب فاز کریستالی ایجاد نمود [۲].

هچنین اتصال عرضی پلی الفینها^۲ قبل از فوم سازی امکان پذیر است تا سلول ها پایدارتر شوند. هنگامیکه یک پیش پلیمر^۳ ترموست با ویسکوزیته پایین بصورت فوم در می آید، ماده پلیمری بسهولت می تواند قبل از تثبیت گوشه های سلول های فوم توسط واکنش پیوند عرضی، از دیواره های سلولها تخلیه گردد. این سلولها سه دیواره مقعر دارند و شکل سلول ها بوسیله کشش سطحی مایع پیش پلیمر تعیین می گردد. ریز ساختار ماده فومی را می توان با استفاده از یکسری پارامتر ها مشخص نمود که یکی از این پارامتر ها اندازه سلول ها یا توزیع اندازه سلول ها است. کسر حجمی گاز موجود در ماده فومی را می توان به میانگین دانسیته فوم ارتباط داد.

جدول ۲-۷: ساختار شیمیایی و دماهای انتقالی برخی از مواد ترموپلاستیکی [۲].

Generic structure		Name	T_g °C	T_m °C
$\left[\begin{array}{cc} X & X \\ | & | \\ C & - C \\ | & | \\ X & X \end{array} \right]$	X = H	polyethylene	-120	140
	X = F	polytetrafluoroethylene	-113	327
$\left[\begin{array}{cc} H & X \\ | & | \\ C & - C \\ | & | \\ H & H \end{array} \right]$	X = CH ₃	polypropylene	-10	170
	X = Cl	polyvinylchloride	80	220
	X = C ₆ H ₅	polystyrene	100	—
	X = CN	polyacrylonitrile	105	D
	X = OCOCH ₃	polyvinylacetate	29	—
$\left[\begin{array}{cc} H & X \\ | & | \\ C & - C \\ | & | \\ H & X \end{array} \right]$	X = Cl	polyvinylidene chloride	-18	205
	X = F	polyvinylidene fluoride	-45	210
	X = CH ₃	polyisobutylene (butyl rubber)	-70	—
$\left[\begin{array}{cc} H & X \\ | & | \\ C & - C \\ | & | \\ H & Y \end{array} \right]$	X = CH ₃ Y = COOCH ₃	polymethyl methacrylate	105	—

glassy polymers -۱

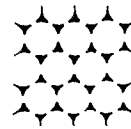
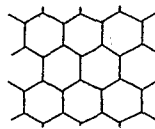
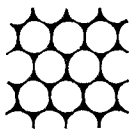
polyolefins -۲

prepolymer -۳

جدول ۷-۲ : ادامه

Generic structure		Name	T_g °C	T_m °C
$\left[\begin{array}{c} \text{HC}=\text{CX} \\ | \quad | \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \end{array} \right]$	X = H X = CH ₃	polybutadiene polyisoprene (natural rubber)	-85 -75	11 25
$\left[\text{O}-(\text{CH}_2)_n \right]$	n = 1 n = 2	polyoxymethylene polyethylene oxide	-85 -67	170 69
$\left[\text{O}-(\text{CH}_2)_n-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O}) \right]$	n = 2 n = 4	polyethyleneterephthalate polybutyleneterephthalate	69 80	265 232
$\left[(\text{CH}_2)_n-\text{C}(=\text{O})-\text{NH} \right]$	n = 5 n = 10	nylon 6 nylon 11	50 46	228 185
$\left[(\text{CH}_2)_n-\text{NH}-\text{C}(=\text{O})-(\text{CH}_2)_m-\text{C}(=\text{O})-\text{NH} \right]$	n = 6, m = 4	nylon 6,6	57	265
$\left[\text{C}_6\text{H}_2(\text{CH}_3)_2-\text{O} \right]$		polyphenylene oxide	209	(261)
$\left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{S} \right]$		polyphenylene sulphide	90	290
$\left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{S}(=\text{O})_2 \right]$		polyethersulphone	225	—
$\left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{O} \right]$		polycarbonate	145	(295)
$\left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O}) \right]$		polyetheretherketone	143	343

Parentheses on melting point signify the polymer is usually amorphous.
'D' means that the polymer decomposes before melting.



شکل ۷-۲ : مراحل تغییر ساختار ماده فومی حاوی آرایشی منظم از حباب ها در اثر افزایش کسر حجمی گاز [۲].

در فوم های سلول بسته، آگاهی از کسر حجمی ماده پلیمری موجود در دیواره ها و گوشه های سلول ها مفید می باشد. ضخامت دیواره ها و مقطع عرضی^۱ گوشه ها بر خواص مکانیکی این مواد تاثیر می گذارد. سلولها بصورت چند وجهی های نامنظم می باشند که دیواره های آنها بطور میانگین ۵ گوشه دارد. ۱۲ وجهی منظم بعنوان تقریبی برای شکل سلول ها بکار می رود که ۱۲ دیواره و ۳۰ گوشه دارد که این گوشه ها در ۲۰ کنج^۲ به همدیگر برخورد می کنند. از آنجائیکه هر گوشه در سه سلول مشترک است لذا بطور میانگین هر سلول ۱۰ گوشه دارد. پر کردن فضا با ۱۲ وجهی های منظم امکان پذیر نمی باشد بنابراین چند وجهی های منظم دیگری باید در میان ۱۲ وجهی ها ایجاد گردد[۲].

پارامتر های هندسی برای خانواده ای از فوم های پلیمری که با فرآیند مشابهی تولید شده اند، به هم وابسته و مرتبط می باشد. در فوم دانه ای^۳ پلی استایرن که دانسیته بوسیله جرم اولیه دانه های قرار گرفته در قالب تعیین می گردد، با کاهش دانسیته فوم، سلول ها بزرگتر شده و دیواره های سلولها نازک تر می شود.

۲-۲-۳- انواع فوم های مورد استفاده در ریخته گری فومی

در فرآیند ریخته گری فومی از انواع مواد فومی متناسب با نوع فلز مذاب، جهت ساخت مدل استفاده می گردد که عمده ترین آنها پلی استایرن (PS)، پلی متیل متاکریلیت (PMMA) و پلی اورتان (PU) می باشد.

پلی متیل متاکریلیت در ریخته گری فومی آلیاژ های آهنی بمنظور حل مشکل جذب کربن از مدل های پلی استایرنی، استفاده می شود. این پلیمر در ریخته گری فولاد ها باعث افزایش کربن در حدود ۰/۰۵ درصد می شود درحالیکه این افزایش برای مدل های پلی استایرنی ۰/۳ - ۰/۱ درصد است. مهمترین مزیت PMMA، قابلیت تجزیه آن با کمترین مقدار کربن باقی مانده است که این قابلیت بدلیل ترکیب شیمیایی و مکانیزم خاص تجزیه آن ایجاد شده است. این پلیمر دارای منومری با ۵ اتم کربن است درحالیکه پلی استایرن ۸ اتم کربن دارد. بنابراین در اثر استفاده از این ماده، کربن

cross- section -۱

vertices -۲

bead foam -۳

باقیمانده را می توان به پنج هشتم مقدار مربوط به EPS کاهش داد. همچنین PMMA دارای اتمهای اکسیژن می باشد درحالیکه EPS فاقد آن است. وجود این اتمهای اکسیژن می تواند باعث ترکیب کربن با آن و خروج کربن باقی مانده شود. در دماهای بارریزی آلیاژهای آهنی، اکسیژن بصورت گاز CO از قالب خارج می گردد[۳].

پلی اورتان در تولید قطعات چدنی و برنزی نتایج رضایت بخشی داشته است اما در ریخته گری فلزات دارای نقطه ذوب پایین مانند آلومینیم، بخاطر مقاومتی که در برابر مذاب نشان می دهد، مناسب نمی باشد. پلی استایرنی که در فرآیند ریخته گری بکار می رود دارای دانسیته ۲۰ گرم در لیتر است در صورتیکه دانسیته پلی اورتان مصرفی ۵۳-۴۰ گرم بر لیتر می باشد. بنابراین مقدار مواد آلی که باید تجزیه شود در مدل های پلی اورتان بیشتر بوده و حرارت بیشتری را از مذاب جذب می کند[۳].

از مواد دیگری که در فرآیند ریخته گری فومی استفاده می شود می توان به پلی آلکیلن کربنات^۱ (PAC) که برای ریخته گری آلیاژهای آهنی و نیز به استایرن آکریلو نیتریل^۲ (SAN) که عناصر و محصولات تجزیه آن نسبت به پلی استایرن کمتر می باشد، اشاره نمود[۳]. از میان مواد یاد شده، پلی استایرن رایج ترین ماده مصرفی جهت ساخت مدل خصوصا در فرآیند ریخته گری آلیاژهای آلومینیم است. برخی از ریخته گران قطعات آهنی از مدل های EPS نمی توانند استفاده نمایند زیرا در حین تجزیه در دمای ۱۵۰۰°C کربن درخشان^۳ بسیار زیادی وارد قطعه می شود. در این موارد از دانه های کوپلیمر استایرن/ متیل متاکریلیت یا کلیرپور^۴ (استایرن/ متیل متاکریلیت/ آلفا- متیل استایرن) بجای دانه های EPS استفاده می گردد[۵].

۲-۲-۴- پلی استایرن

در دوران جنگ سالهای ۴۵-۱۹۳۹ تامین لاستیک طبیعی برای متفقان غربی بواسطه اشغال مالزی و سایر مناطق تولید کننده لاستیک طبیعی در خاور دور توسط ژاپنی ها، ممنوع شد. به عنوان جایگزین، لاستیک های مصنوعی بوتادین- استایرن به طور ضروری در مقیاس وسیع تولید شد

Clearpor -۴

۱- Poly Alkylene Carbonate

۲- Styrene Acrylonitrile

۳- lustrous carbon

که این امر مستلزم تولید استایرن به میزان قابل توجه بود. پس از پایان جنگ به علت دسترسی آزاد به لاستیک طبیعی، تقاضا برای لاستیک مصنوعی کاهش یافت و کارخانجات استایرن با قیمت ارزان به صنایع شیمیایی فروخته شد. استایرن از طریق واکنش فریدل-کرافتس^۱ میان بنزن و اتیلن تهیه می شود که محصول این واکنش اتیلن بنزن است. اتیلن بنزن هیدروژن گیری شده و به منومر تبدیل می شود [۴]. این ترکیب ماده شیمیایی مهمی نمی باشد مگر اینکه جزء ساختاری پلیمرها باشد که این پلیمرها از طریق پلیمریزاسیون توده ای^۲ یا تعلیقی^۳ تولید می شوند و معمولاً پلیمریزاسیون امولسیون شیره پلی استایرن^۴ را ایجاد می نماید.

کیفیت پلیمر بوسیله نقطه نرم شوندگی^۵، ویسکوزیته محلول ۲ درصد در تولوئن و نسبت متانول- ماده انحلال پذیر^۶ نشان داده می شود [۴]. اگرچه پلی استایرن یک پلاستیک کالایی می باشد ولی بسیاری از پیشرفتهای اخیر در زمینه انواع اصلاح شده آن بوده است. پلی استایرن کریستالی که بدلیل ظاهر درخشان و نه به خاطر داشتن ساختار کریستالی به این نام موسوم است، در انواع گوناگون با وزن مولکولی های مختلف در دسترس می باشد که عبارتند از :

۱- نوع چند منظوره (general-purpose) : تلفیقی از وزن مولکولی بالا (جهت ایجاد خواص مکانیکی خوب) و وزن مولکولی پایین (جهت سیلان کافی) می باشد.

۲- نوع دارای وزن مولکولی بالا (high molecular weight) : برای عملکرد ضربه ای بهتر

۳- نوع دارای مواد فرار کم (low volatiles) : با افزایشی تا حدود ۷ °C در دمای نرم شوندگی

۴- نوع دارای سیلان آسان (easy flow) : پلیمری با وزن مولکولی پایین تر به اضافه ماده روانکار داخلی

پلی استایرن تجاری غیر کریستالی می باشد و نقطه نرم شوندگی آن تقریباً ۱۰۰ °C است. دمای نرم شوندگی پایین و ماهیت آمورف این پلاستیک بدین معنی است که پلی استایرن (PS) یکی از پلاستیکهایی می باشد که به سهولت قالبگیری می شود. زیرا با افزایش دما می توان ویسکوزیته آنرا تا حد قابل قبول کاهش داد. با اینحال پلی استایرن در دماهای بالای ۱۵۰ °C تجزیه می شود لذا از ماندگاری طولانی پلیمر در حالت مذاب بایستی اجتناب گردد. از طرفی بدلیل قابلیت قالبگیری خوب

۱- Friedel-Crafts

۲- mass

۳- suspension

۴- polystyrene latex

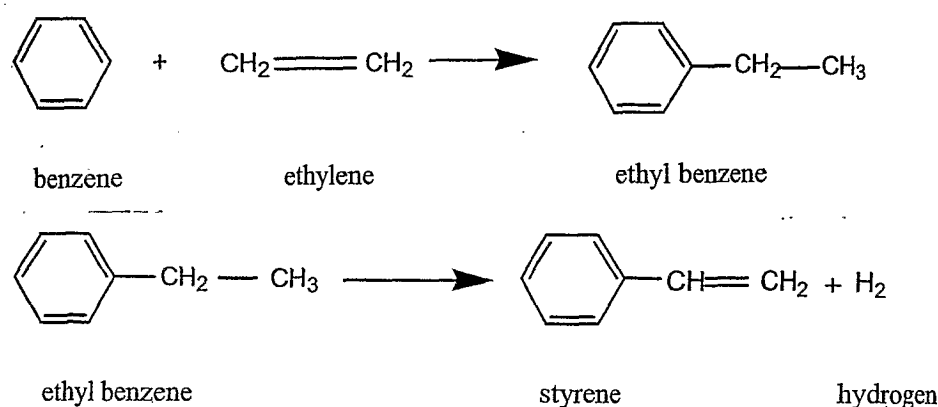
۵- softening point

۶- methanol-soluble

پلی استایرن، تولید کنندگان به منظور صرفه جویی در زمان تمایل به استفاده از مسیرهای سیلان طولانی و دماهای پایین قالب دارند که این امر باعث ایجاد کرنشهای باقی مانده زیاد در قطعات شده و اثرات مخربی بر استحکام دارد. مزایای دیگر ناشی از ماهیت غیر کریستالی این پلیمر، میزان انقباض در قالب کمتر و محتوای گرمایی پایین (آنتالپی) نسبت به دمای فرآیند در مقایسه با سایر پلاستیکهای کریستالی است. پلی استایرن به دلیل آمورف بودن، شفاف می باشد مگر اینکه افزودنیهای نامحلول در آن استفاده شود و همچنین در حلال های آروماتیک^۱ (حلقوی) و هیدروکربن های کلردار^۲ حل می گردد و تمایل شدیدی به ترک برداشتن تنشی در محلول ها^۳ دارد [۴]. همچنانکه از یک پلیمر هیدروکربنی انتظار می رود، پلی استایرن تمایل کمتری به جذب آب داشته و خواص الکتریکی خوبی دارد. وزن مخصوص آن ۱/۰۷ می باشد و این ماده پلاستیکی سخت و ترد بوده و استحکام زیادی ندارد و قبل از گسیختگی، در اثر کشش به طور آشکارا ترک بر می دارد. پلی استایرن در اثر تابش UV تجزیه می گردد (هوازدگی) و نیز قابل اشتعال بوده و با شعله زرد دوده ای (تیره) می سوزد.

۲-۲-۴-۱- تولید استایرن

استایرن که یک ماده شیمیایی آلی می باشد توسط تعدادی از تولید کنندگان تهیه می گردد. این ماده به صورت تجارتي با دو روش مختلف تولید می گردد. در روش اول از بنزن و اتیلن استفاده می شود و در روش دوم از اتیل بنزن و پروپیلن استفاده می گردد [۵]. بنزن که یکی از فرآورده های بنزین حاصل از نفت خام می باشد، مطابق واکنش زیر با اتیلن حاصل از کراکینگ حرارتی^۴ گاز طبیعی ترکیب شده و در یک فرآیند آلکیلاسیون^۵، اتیل بنزن حاصل می شود که بعدا هیدروژن گیری شده و به استایرن و هیدروژن تبدیل می شود.



thermal cracking -۴

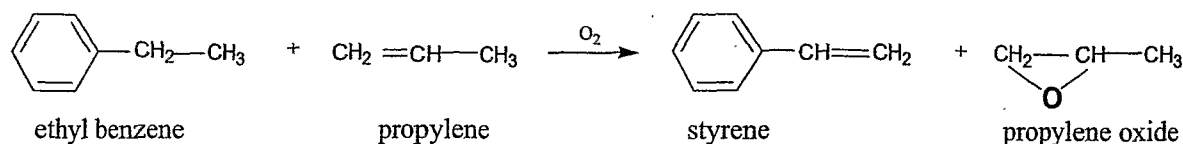
alkylation -۵

aromatic -۱

chlorinated hydrocarbons -۲

stress-solvent crazing -۳

در روش دوم، استایرن و اکسید پروپیلن محصولات حاصل از واکنش اتیل بنزن و پروپیلن در حضور اکسیژن و یک کاتالیزر می باشد.



۲-۲-۴-۲-۲ تولید EPS

دانه های EPS مصرفی در ریخته گری فومی در یک فرآیند دو مرحله ای^۱ [Sonnenberg, Hajnik, poole, 1993] تولید می شوند [۵]. گام نخست از این فرآیند، پلیمریزاسیون استایرن می باشد که در آن استایرن، آب، یک شروع کننده^۲ مانند پراکسید بنزویل^۳ و یک عامل معلق کننده^۴ مانند TCP (tricalcium phosphate) به یک راکتور دارای همزن اضافه می شود. راکتور تا دمای ۹۰°C حرارت داده می شود تا شروع کننده های پراکسید بصورت رادیکال های آزاد تجزیه گردند. این رادیکال ها با استایرن واکنش داده و باعث می شود تا استایرن پلیمری شده و بصورت دانه های مجزای پلی استایرن درآید. سپس راکتور تا دمای اتاق خنک می گردد و مخلوط حاصله در مخزن شستشو با اسید فرآوری می شود تا عامل معلق کننده TCP از دانه های مجزای پلی استایرن حذف گردد.

در گام دوم، دانه ها خشک شده و آب خارج می گردد. از آنجائیکه دانه های پلی استایرن تولیدی توزیع اندازه دانه گسترده ای از ۱۰۰ تا ۸۰۰ میکرون دارد، این دانه ها بصورت کلاس های مختلف سرند می گردد. دانه های کلاس T دارای میانگین اندازه دانه ۳۵۰ میکرون است و اندازه دانه ها از ۲۰۰ تا ۵۰۰ میکرون متغیر می باشد. هر تولید کننده ای محدوده اندازه دانه خود را تنظیم می نماید. دانه هایی که خیلی زیاد سرند شده اند در سیلو یا در جعبه هایی ذخیره می گردند تا در آینده مصرف شوند. این دانه ها مدت نگهداری نامحدودی دارند.

۱- suspending agent -۱

۱-two-step process-

۲-initiator -۲

۳-benzoyl peroxide -۳

گام سوم از فرآیند دو مرحله ای، آغشته کردن دانه های پلی استایرن با یک عامل پف کننده^۱ است که در آن آب و دانه های غربال شده کلاس T به مخزنی اضافه شده و سپس بدرون راکتوری که در آن TCP افزوده می شود، پمپاژ می گردد. همچنانکه دما در راکتور بالا برده می شود، عامل پف کننده پنتان در یک بازه زمانی طولانی اضافه می گردد تا بدرون پلی استایرن نرم شده، نفوذ نماید. با گذشت زمان و افزایش دما، پنتان دانه ها را بارور کرده و پلی استایرن منبسط شده (EPS) ایجاد می گردد. سپس راکتور تا دمای محیط خنک می شود و دانه های EPS به مخزن شستشویی که حاوی اسید جهت حذف عامل معلق کننده TCP است، اضافه می گردد.

در گام چهارم آب از سطح دانه ها حذف می شود. دانه ها خشک می گردند که با این عمل، پنتان سطحی اضافی خارج شده و ساختار سلول EPS تثبیت می گردد. دانه های EPS برای آخرین بار سرند می شوند تا کلوخه هایی که در مرحله تلقیح^۲ با پنتان ایجاد شده اند، حذف گردد.

در گام پنجم از فرآیند دو مرحله ای درست قبل از بسته بندی دانه ها در کیسه های ۱۰۰۰ پوندی یا بشکه های ۲۵۰ پوندی، پوشانها در مخلوط کن بزرگی به دانه ها افزوده می شود. این پوشانها عبارتند از: روغن سیلیکون، عامل رها کننده قالب^۳، استئارات روی و یک عامل ضد کلوخه شدن^۴ که از کلوخه شدن دانه های پیش منبسط شده (prefoam یا prepuff) در محفظه انبساط جلوگیری می نماید. از آستری های پلاستیکی مخصوصی جهت ریختن دانه های EPS بدرون آن استفاده می شود. عمر مفید یک کیسه باز نشده حاوی دانه های EPS حداقل یک سال است و خروج عامل پف کننده از میان این آستری حداقل می باشد.

فرآیند یک مرحله ای [Sonnenberg, Hajnik, 1997] روش دیگری برای تولید دانه های EPS است. مشابه فرآیند دو مرحله ای، استایرن، آب، یک شروع کننده مانند پراکسید بنزویل و یک عامل معلق کننده مانند TCP به راکتور دارای همزن افزوده می شود [۵]. هنگامیکه ۷۰ درصد استایرن پلیمری شده است، عامل پف کننده پنتان بدرون راکتور تزریق می گردد. همچنانکه واکنش پیش می رود دانه ها بدون اینکه همانند فرآیند دو مرحله ای جدا سازی شده و سرند شوند، تلقیح می گردند. هر چند فرآیند یک مرحله ای ساده تر است ولی دانه های EPS تولیدی دامنه توزیع

۱- anti-lumping agent

۱- blowing agent

۲- impregnation

۳- mold release agent

اندازه دانه وسیعتری دارند. این امر برخی از کاربرد های دانه های تولیدی را محدود می سازد. عملیات بعدی دانه های تولیدی مشابه عملیات صورت گرفته در فرآیند دو مرحله ای است. راکتور تا دمای محیط خنک می گردد و دانه های EPS به مخزن شستشویی که حاوی اسید است، اضافه می شوند. آب از سطح دانه ها حذف شده و دانه ها خشک می گردند و در مخلوط کن بزرگی پوشش داده می شوند و سپس بدرون کیسه های بزرگی ریخته می شوند.

۲-۲-۵- انواع دانه های EPS ارائه شده برای ریخته گری فومی

در آمریکا دو تولیدکننده دانه های EPS جهت ریخته گری فومی وجود دارد. همچنانکه در جدول ۸-۲ نشان داده می شود خواص فیزیکی دانه های پلی استایرن T170B بسیار شبیه خواص F-271TF است [۵].

جدول ۸-۲: نسل اول از دانه های تجاری EPS مصرفی در فرآیند ریخته گری فومی [۵].

نام تولید کننده	نوع دانه	n-پنتان	کل مواد فرار	میانگین اندازه دانه (میکرون)	وزن مولکولی
NOVA	F-271TF	۱۰۰ %	۵/۷ - ۶/۴ %	۳۵۰	۲۷۱,۰۰۰
StyroChem	T170B	۱۰۰ %	۵/۷ - ۶/۴ %	۳۵۰	۲۴۰,۰۰۰

در سال ۱۹۸۹، یکی از کارخانجات بزرگ ریخته گری فومی قطعات آهنی، تقاضا نمود تا مطالعات جامعی جهت تغییر فرمولاسیون دانه های EPS صورت گیرد. پراکسیدهای گوناگونی با غلظت های نسبتا بالا به درون دانه های EPS تزریق شدند تا از این طریق میزان کربن درخشان ایجاد شده در قطعات آهنی کاهش یابد [۵]. عمده ترین ماده حاصل از تجزیه مدل های پلی استایرنی در دماهای بارریزی قطعات آهنی (1450°C)، کربن است. اگر بتوان کربن را احیا نمود تا حذف گردد، تعداد قطعات ریختگی مردودی کاهش می یابد. پراکسیدها تجزیه شده و اکسیژن تولید می نمایند. اکسیژن اضافی با کربن واکنش داده و CO یا CO₂ ایجاد می نماید. استفاده از tert-butyl cumyl مقدار کلی کربن درخشان را در قطعات ریختگی کاهش داد ولی این فرمولاسیون هرگز به صورت تجاری در نیامد [۵].

در اواسط سال ۱۹۹۰ نسل دوم دانه های مصرفی در ریخته گری فومی یعنی T180D، که در آن از triblend بعنوان عامل پف کننده استفاده شده است، بصورت تجاری جهت ریخته گری قطعات آلومینیومی ارائه گردید (جدول ۹-۲).

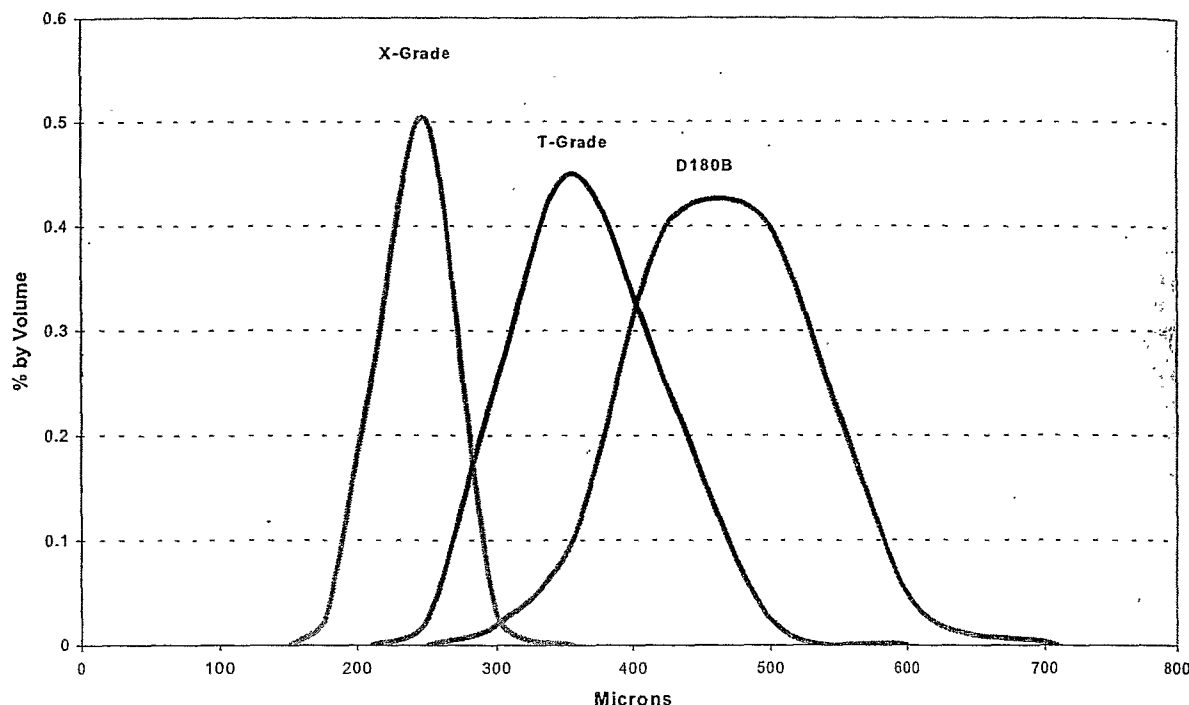
جدول ۲-۹: نسل دوم از دانه های تجاری EPS مصرفی در فرآیند ریخته گری فومی [۵].

نام محصول	میانگین اندازه دانه (میکرون)	دانسیته (pcf)	درصد وزنی عامل پف کننده	درصد n- پتان	درصد iso- پتان
T170B	۳۵۰	$\geq 1/5$	۵/۷ - ۶/۴	۱۰۰	۰
T180D	۳۵۰	$\geq 1/1$	۶/۲ - ۷/۰	۷۰	۱۵
X180	۲۵۰	$\geq 1/3$	۶/۲ - ۷/۰	۷۰	۱۵
D180B	۴۵۰	$\geq 1/0$	۶/۲ - ۷/۰	۷۰	۱۵

Triblend، مخلوطی از n- پتان، ایزو- پتان و سیکلوپتان می باشد که باعث می شود دانه های EPS با سهولت بیشتری نسبت به محصول نسل اول یعنی T170B که فقط حاوی n- پتان به عنوان عامل پف کننده است، پیش منبسط شود [۵]. فوم های کم دانسیته برای ریخته گری مطلوب اند زیرا حاوی بقایای فومی کمتری جهت تجزیه حرارتی می باشند. با ترکیبی از سه عامل پف کننده متفاوت پتان با درصد وزنی بالاتر نسبت به پتان موجود در دانه های EPS، مدل هایی از T180D با دانسیته کمتر از $16 \frac{kg}{m^3}$ را می توان تولید نمود.

همچنین انواع تجارتي دانه های ریزتر از کلاس T یعنی نوع X180 موجود می باشد. دانه های ریزتر EPS قالبگیری مقاطع نازک تر را میسر ساخته و سطح ظاهری بهتری ایجاد می نماید. با اینحال قالبگیری دانه های کلاس X نسبت به دانه های درشت تر کلاس T بسیار مشکل تر است. برای تولید برخی از قطعات بزرگ که دانه های درشت تر توسط سازندگان ترجیح داده می شود، نوع D180B ارائه شده است. این نوع از دانه ها قابلیت پیش- انبساط تا دانسیته حداقل $16 \frac{kg}{m^3}$ را دارد. در شکل ۲-۳ منحنی های توزیع اندازه دانه فومهای EPS تجارتي مورد استفاده در ریخته گری فومی نشان داده شده است [۵].

برای حذف عیب چین خوردگی در قطعات روشهای مختلفی از قبیل تغییر نفوذ پذیری پوشان، تغییر اندازه و مکان سیستم راهگامی و ... وجود دارد که بکارگیری این روشها بر اساس سعی و خطا است. وجود راه حل اجرایی تر دیگری علاوه بر موارد یاد شده، جهت رفع این مشکل برای ریخته گران حائز اهمیت می باشد. شرکت StyroChem به سفارش یکی از کارخانجات ریخته گری فومی آمریکا تحقیقاتی را جهت کاهش یا حذف عیب چین خوردگی در قطعات از طریق تغییر خواص شیمیایی محصولات ناشی از پیرولیز EPS آغاز نمود [۵].



شکل ۳-۲: منحنی های توزیع اندازه دانه کلاس های X، T و D از فوم EPS مصرفی در فرآیند ریخته گری [۵].

در این تحقیقات از دانه های پلی استایرن تجاری T170B که با افزودنی های آلی پایه برمیدی^۱ تلقیح شده بودند، جهت ریخته گری مدل های جعبه ای^۲ مخصوص استفاده گردید. علت انتخاب افزودنی های پایه برمیدی این بود که این ترکیبات در حین تجزیه شیمیایی در دماهای بالا، رادیکالهای آزاد و برمید هیدروژن تولید می نمایند. رادیکال های آزاد به سهولت در دماهای بالا به توده پلی استایرنی حمله کرده و وزن مولکولی پلی استایرن را سریعاً می کاهند. در جدول ۲-۱۰ و شکل ۲-۴ به ترتیب خواص فیزیکی و ساختار شیمیایی افزودنی های آلی پایه برمیدی نشان داده می شود [۵].

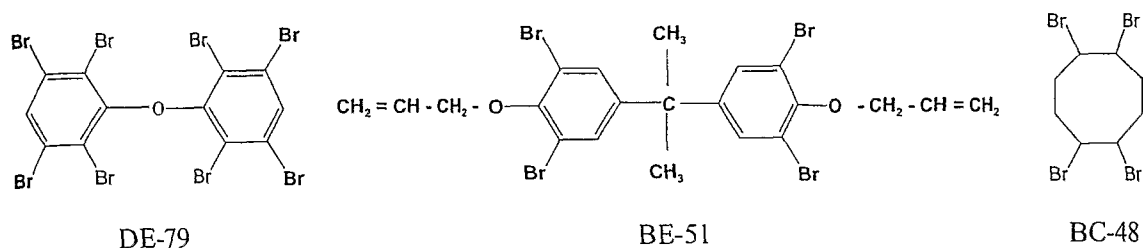
نتایج تحقیقات فوق نشان داده است که فوم پلی استایرن T170B تلقیح شده با افزودنی های DE-79 و BE-51 در مقایسه با فوم T170B بدون افزودنی، به ترتیب باعث افزایش و کاهش شدت

۱- organic brominated additives

۲- box pattern

جدول ۲-۱۰: خواص فیزیکی افزودنی های آلی پایه برمیدی [۵].

افزودنی	نام شیمیایی	% Br	T _m (°C)
BC-48	Tetrabromocyclo-octane	۷۴/۷	۱۰۳
BE-51	Tetrabromophenol A bis (allyl ether)	۵۱/۳	۱۱۹
DE-79	Octabromodiphenyl oxide	۷۹/۸	۸۷



شکل ۲-۴: ساختار شیمیایی افزودنی های آلی پایه برمیدی [۵].

چین خوردگی در قطعات می شود. همچنین فوم پلی استایرن T170B که با افزودنی BC-48 تلقیح شده است، باعث حذف عیوب چین خوردگی در قطعات می شود [۵]. افزودنی BC-48 برای کاهش سریع وزن مولکولی پلی استایرن در دماهای بالا موثر می باشد. بنابراین نسل سوم دانه های اصلاح شده برای ریخته گری فومی (T175) که حاوی افزودنی BC-48 می باشد، ارائه گردیده است. دانه های پلی استایرن منبسط شده کلاس T185 که به دانه های بدون چین^۱ معروف می باشد، نوع جدیدی از این ماده است که حاوی افزودنی BC-48 می باشد. این دانه ها به منظور کاهش سریع تر وزن مولکولی زنجیرهای پلیمر در هنگام تماس با فلز مذاب، توسعه یافته اند که سبب می شوند تا محصولات تجزیه فوم راحت تر خارج گردد. نتایج اولیه حاصل از بکارگیری این دانه ها در فرآیند ریخته گری رضایت بخش بوده است. تحقیقات انجام شده توسط D. R. Hess و همکارانش بر روی این دانه ها نشان داده است که این دانه ها در کاهش عیوب مربوط به پیرولیز فوم در قطعات ریختگی آلومینیمی بسیار موثر بوده و تقریباً باعث حذف چین ها^۲ و تاوول ها^۳ در قطعات

۱- No-Fold beads

۲- fold

۳- blisters

می شود [۶۵].

نسل سوم دانه های EPS اصلاح شده برای ریخته گری فومی که حاوی افزودنی های آلی پایه برمیدی می باشند، شامل چهار گروه مختلف است. تعدادی از ریخته گران قطعات آلومینیمی در آمریکا و اروپا از این دانه های اصلاح شده جهت تولید مدل های پیچیده استفاده می نمایند. خواص فیزیکی نسل سوم دانه های EPS در جدول ۱۱-۲ نشان داده می شود [۵].

جدول ۱۱-۲: نسل سوم از دانه های تجاری EPS مصرفی در فرآیند ریخته گری فومی [۵].

نام محصول	میانگین اندازه دانه (میکرون)	دانسیته (pcf)	درصد وزنی عامل پف کننده	درصد -n پتتان	درصد -iso پتتان	درصد سیکلو پتتان
T175 ^{^^}	۳۵۰	$\geq 1/5$	۵/۷-۶/۴	۱۰۰	۰	۰
X175	۲۵۰	$\geq 1/5$	۵/۷-۶/۴	۷۰	۱۵	۱۵
T185	۳۵۰	$\geq 1/1$	۶/۲-۷/۰	۷۰	۱۵	۱۵
X185	۲۵۰	$\geq 1/3$	۶/۲-۷/۰	۷۰	۱۵	۱۵

^{^^} هنوز بصورت تجاری تولید نشده است.

۲-۲-۶- تاثیر دانسیته و مرفولوژی فوم پلی استایرن در ریخته گری فومی

چگالی و میزان اتصال سلول ها کلید های خواص فوم است. دانسیته فوم معیار مستقیمی از اندازه خلل و فرج زمینه فوم و اندازه سلول های هوا می باشد. کنترل اولیه خواص فوم، از طریق دانسیته می باشد. در طول مراحل ریخته گری فومی ثبت دقیق دانسیته فوم ضروری است. فوم های کم دانسیته برای فرآیند ریخته گری مطلوب می باشد زیرا حذف بقایای مواد پلاستیکی از محفظه قالب رمز موفقیت آمیز بودن فرآیند ریخته گری فومی است. استفاده از فوم کم دانسیته ایجاد چین خوردگی در قطعات آلومینیومی و نیز بروز عیب کربن درخشان در قطعات چدنی را می کاهد. بهترین قطعات ریختگی در اثر استفاده از فومهایی با کمترین مقدار دانسیته ممکن، حاصل می گردد. دانسیته پایین به بهای از دست دادن خواص مکانیکی فوم ایجاد می شود. البته طراحی مدل و همجوشی آن نیز بر رفتار مکانیکی موثر می باشند. از آنجائیکه خواص مکانیکی عمدتاً ناشی از دیواره های پلاستیکی سلولها است، دانسیته بالاتر عموماً با استحکام و صلیبت بیشتر همراه می باشد. استحکام بطور مستقیم با ازدیاد دانسیته افزایش می یابد. معمولاً استحکام کششی فوم معیاری برای صدمات ناشی از جابجایی مدلها است و ملاک مفیدی برای ارزیابی مقاومت به اعوجاج نمی باشد. استحکام فشاری معیار مفیدی برای نشان دادن مقاومت خوشه فومی در برابر له شدن است. در مدلهایی که از مواد فومی کم دانسیته استفاده شده است، استحکام فشاری نسبتاً پایین می باشد [۱].

مرفولوژی سطح شکست بعنوان معیاری جهت ارزیابی خواص مکانیکی و خواص انتقالی^۱ فوم های پلی استایرن می باشد. رشد ترک در فوم ها از مسیرهای بین دانه ای^۲ یا درون دانه ای^۳ صورت می گیرد. رشد ترک به پارامترهای فرآیند تولید فوم از قبیل زمان، دما و فشار در مرحله بخاردهی بستگی دارد. تاثیر متقابل این پارامترها به تقسیم بندی کلی فوم ها بر اساس درجه همجوشی دانه ها، منجر شده است [۷]. مکانیزم شکست فوم هایی که درجه همجوشی دانه های آن پایین است، بصورت بین دانه ای می باشد و نیز سطح این نوع فوم ها از دانه هایی تشکیل شده است که میزان کروی بودن بالایی دارند. از طرفی، مکانیزم شکست فوم هایی که درجه همجوشی دانه های آن بالا می باشد اساساً بصورت درون دانه ای است. شکست سایر فوم هایی که از نظر درجه

۱- transport properties

۲- inter-bead

۳- trans-bead

همجوشی دانه ها در میان دو حد بالا و پایین فوق قرار می گیرند، بصورت انتقالی از مکانیزم بین دانه ای به مکانیزم درون دانه ای است. با افزایش درجه همجوشی، دانه های EPS از حالت کروی به دوازده وجهی هایی که دارای وجوه پنج ضلعی می باشند، تبدیل می شوند. ایجاد سلولهای دوازده وجهی باعث افزایش فاکتور تراکم^۱ می شود. خواص انتقالی این نوع فوم ها به نوع سلولهای دوازده وجهی (منظم، باز و ...) بستگی دارد [۷].

در سال ۲۰۰۳، Harry E. Littleton و همکارانش پس از بررسی مدل های قبلی ارائه شده برای فرآیند جایگزینی فوم با فلز مذاب و همچنین با مطالعه نتایج حاصل از مشاهده پروفیل جبهه مذاب در فرآیند ریخته گری فومی با اشعه X که در سال ۲۰۰۱ توسط Sun ارائه گردیده است، مدلی را برای فرآیند جایگزینی فوم با فلز مذاب ارائه نمودند که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است [۸]. در این مدل که مکمل مدل های قبلی می باشد، برای خروج محصولات گازی حاصل از پیرولیز فوم دو راه در نظر گرفته شده است :

۱- از میان پوشان واقع در منطقه سینتیکی^۲

۲- از طریق مدل و پوشان واقع در جلوی منطقه سینتیکی

نتایج حاصل از تحقیق فوق نشان داده است که نفوذ پذیری مدل که توسط تخلخل های باز ایجاد می گردد، نرخ فرآیند جایگزینی فوم با فلز مذاب را شدیداً تغییر می دهد. نواحی دارای میزان همجوشی پایین دانه ها در مدل های فومی، باعث افزایش سرعت حرکت فلز مذاب و شکسته شدن جبهه مذاب شده و میزان تخلخل و چین خوردگی^۳ را در قطعات افزایش می دهد. مدل هایی که درجه همجوشی دانه های آن بصورت نرمال است، نفوذ پذیری یکنواختی داشته و باعث ایجاد سرعت های حرکت پایین تری در فاز مذاب می شود. با بکارگیری چنین مدل هایی، جبهه مذاب تقریباً صاف بوده و میزان عیوب قطعات ریخته گری کمتر می باشد [۸]. درک مسئله تاثیر میزان همجوشی دانه های مدل بر کیفیت قطعات ریخته گری، پیشرفت غیر منتظره ای در فهم فرآیند ریخته گری فومی می باشد.

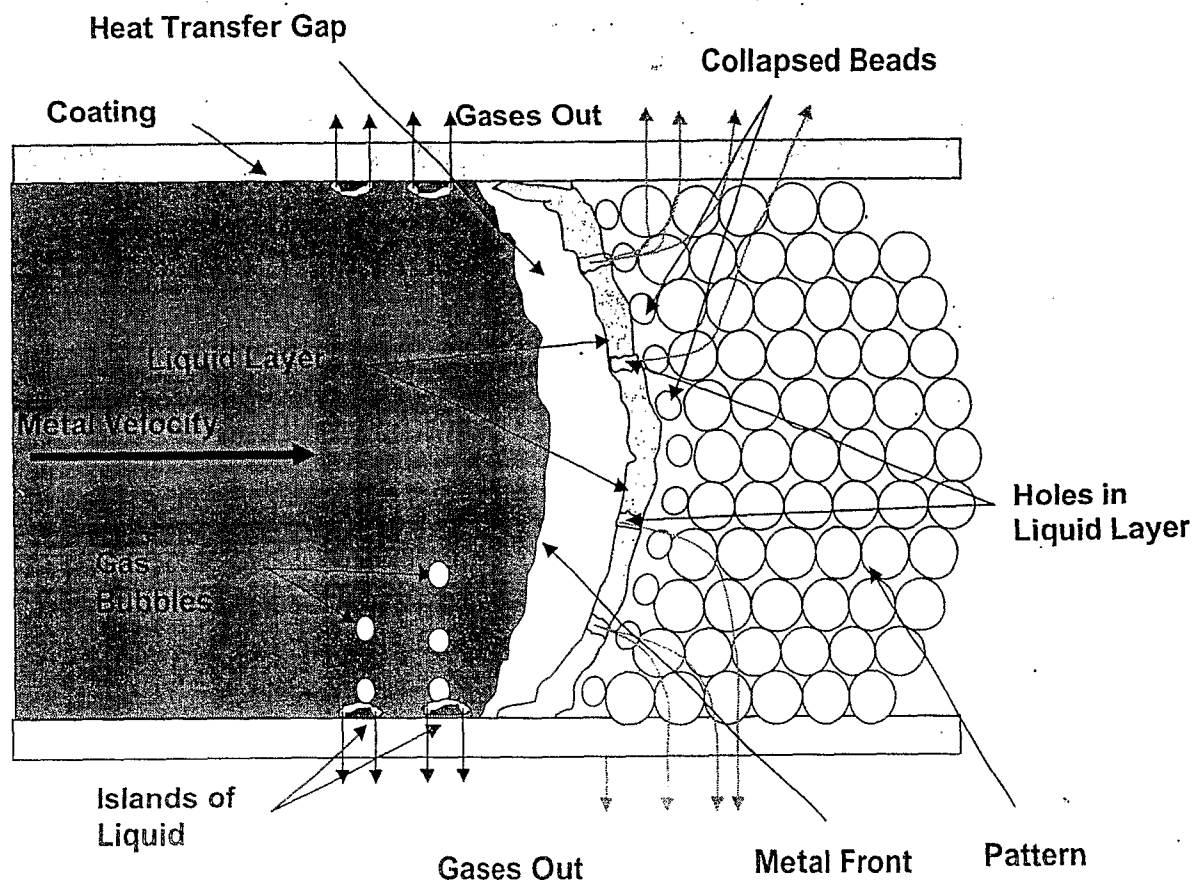
پیش از این، پوشان بعنوان عامل ایجاد قطعات معیوب محسوب می شد حتی با وجود اینکه تغییر نفوذ پذیری پوشان غالباً در حذف قطعات معیوب بی تاثیر بود. به نظر می رسد که عدم کنترل

۱- packing factor

۲- kinetic zone

۳- fold

درجه همجواری (نفوذ پذیری) مدل ها در ایجاد بی ثباتی در فرآیند ریخته گری سهم بوده است.

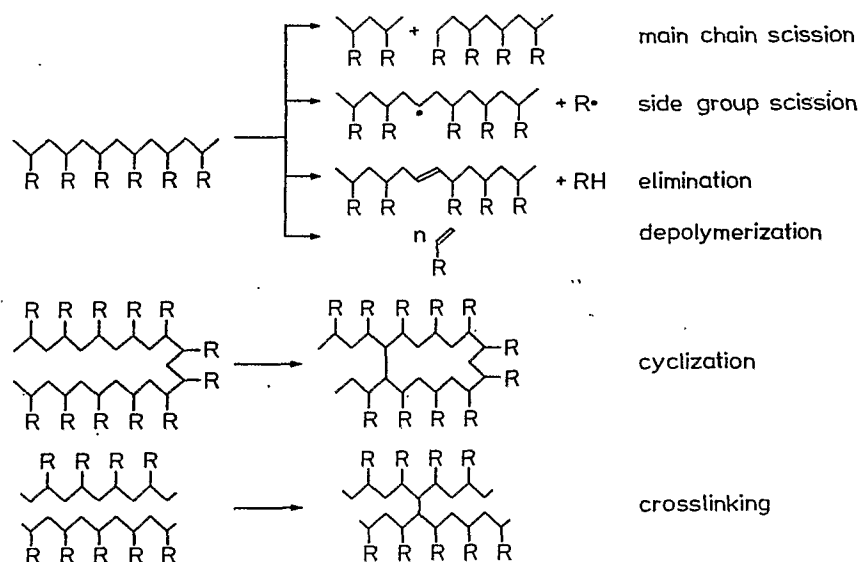


شکل ۵-۲: مدل فرآیند جایگزینی فوم با فلز مذاب [۸].

۲-۲-۷- تجزیه شیمیایی^۱ EPS و گازهای حاصل از آن در حین آلومینیوم ریزی

در فرآیند ریخته گری فومی نرخ و مکانیزم های تجزیه پلی استایرن توسط فلز مذاب، نحوه پر شدن محفظه قالب و کیفیت قطعه تولیدی را کنترل نموده و تاثیر شدیدی بر آنها دارد. مشخصات فرآیند تجزیه پلیمرها عبارت است از:

- ۱- ایجاد گازها و یا محصولات با وزن مولکولی پایین تر (مایع)
 - ۲- گرماگیری بالای واکنش تجزیه
 - ۳- وابستگی به مدت زمان قرارگیری در معرض دما
 - ۴- وابستگی به فشار
 - ۵- وابستگی به نرخ حرارت دهی و دمای اولیه
- در تجزیه حرارتی پلی استایرن هریک از حالت های زیر بسته به شرایط انجام واکنش پیرولیز ممکن است ایجاد گردد [۹]:



در جدول ۱۲-۲ درصد وزنی و نوع محصولات حاصل از تجزیه حرارتی پلی استایرن در دمای 740°C دیده می شود [۹].

جدول ۱۲-۲: نوع و درصد وزنی محصولات پیرولیز پلی استایرن در دمای 740°C [۹].

نام محصول	درصد وزنی
هیدروژن	۰/۰۳
متان	۰/۳
اتیلن	۰/۵
اتان	۰/۰۴
پروپن	۰/۰۲
پنتن و هگزن	۰/۰۱
بنزن	۲/۱
تولوئن	۴/۵
گزیلن و اتیل بنزن	۱/۰
استایرن	۷۱/۰
نفتالین	۰/۸
کربن	۰/۳
دیمرها، تریمرها و ترکیباتی با وزن مولکولی بالاتر	۱۵/۰

محصولات حاصل از تجزیه پلی استایرن در دماهای مختلف در جدول ۱۳-۲ نشان داده شده است [۱]. برای جمع آوری، جداسازی و آنالیز محصولات پیرولیزی از روش های زیر استفاده می گردد:

- ۱- کروماتوگرافی گازی: جهت شناسایی و آنالیز کمی محصولات گازی
 - ۲- طیف سنجی FTIR: جهت شناسایی محصولات گازی یا مایع
 - ۳- ویسکوزیته محلول^۲: جهت تعیین وزن مولکولی محصولات مایع
- در شکل ۲-۶ تصویر شماتیک طرح بکار رفته توسط Ronald Michaels و همکارانش جهت آنالیز کیفی و کمی محصولات حاصل از تجزیه فوم دیده می شود [۹].

۱- Fourier Transform Infrared

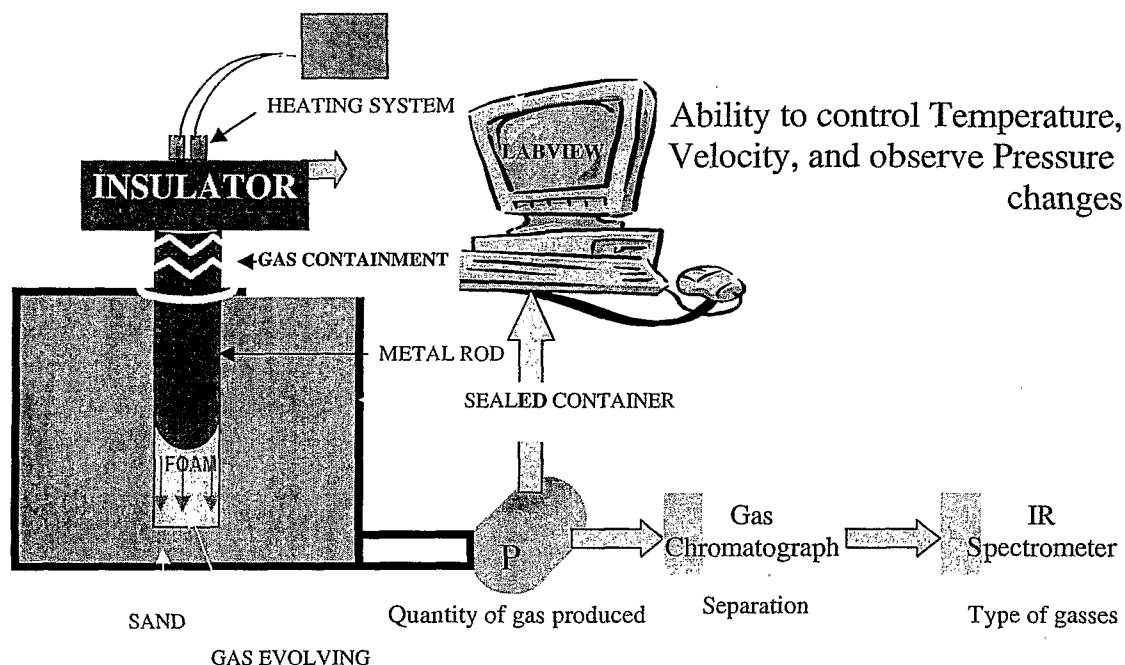
۲- Solution Viscosity

جدول ۲-۱۳: محصولات حاصل از تجزیه حرارتی EPS در دماهای مختلف (بر حسب درصد وزنی) [۱].

Substance	100C 212F	200C 392F	300C 572F	400C 752F	500C 932F	600C 1112F	700C 1292F
Hydrogen, H ₂	—	—	T	0.01	0.5	1.5	3.0
Carbon monoxide, CO	—	0.2	0.5	2.0	6.0	7.5	8.5
Methane, CH ₄	—	T	0.15	1.0	4.0	8.5	9.0
Carbon dioxide, CO ₂	—	1.0	2.0	4.0	12.5	17.5	20.0
Acetylene, C ₂ H ₂	—	—	0.1	0.5	1.0	2.0	2.5
Ethylene, C ₂ H ₄	—	T	0.5	1.0	4.0	5.5	6.0
Ethane, C ₂ H ₆	—	T	0.1	0.5	1.0	3.0	5.0
Propylene, C ₃ H ₆	—	T	0.15	0.5	1.5	3.0	4.5
Pentane, C ₅ H ₁₂	0.01	0.15	0.25	0.5	1.5	0.5	0.08
Benzene, C ₆ H ₆	—	0.05	0.5	3.0	6.0	14.0	16.0
Toluene, C ₇ H ₈	—	0.05	0.5	3.5	6.5	8.0	4.0
Styrene, C ₈ H ₈	T	0.05	23.5	62.0	45.0	20.0	10.0
Ethylbenzene, C ₈ H ₁₀	—	—	T	0.1	0.5	1.0	1.5
Carbon black	—	—	—	—	—	6.0	10.0
Residue	99.5	96.5	70.0	20.0	8.0	—	—
Yield of mixed gases, cm ³ /gm	10.0	25.0	50.0	100.0	150.0	200.0	350.0
TOTAL	99.5	98.0	98.2	98.6	98.0	98.0	100.0

Sub.	800C 1472F	900C 1662F	1000C 1832F	1100C 2012F	1200C 2192F	1300C 2372F	1400C 2562F	1500C 2732F
H ₂	4.5	6.0	8.0	9.0	10.0	10.5	11.0	11.5
CO	10.5	11.5	11.5	12.5	10.5	9.0	7.5	5.0
CH ₄	11.5	16.0	19.5	15.0	13.0	10.5	9.0	8.0
CO ₂	16.5	8.5	6.0	4.0	2.5	1.0	0.5	T
C ₂ H ₂	3.0	4.0	5.0	10.0	12.5	11.0	9.5	8.0
C ₂ H ₄	7.5	6.0	4.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.2
C ₂ H ₆	7.0	4.0	2.5	1.5	1.0	0.5	0.2	0.05
C ₃ H ₆	2.5	1.0	0.5	0.1	T	—	—	—
C ₅ H ₁₂	0.01	T	—	—	—	—	—	—
C ₆ H ₆	10.5	7.0	4.0	3.0	2.0	1.0	0.5	0.02
C ₇ H ₈	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.1	0.01	T
C ₈ H ₈	5.0	3.5	2.0	1.5	1.0	0.6	0.3	0.06
C ₈ H ₁₀	0.8	0.5	0.1	0.05	T	—	—	—
C-Blk	17.0	21.0	25.0	30.0	35.0	43.0	50.0	57.0
Res.	—	—	—	—	—	—	—	—
Yld. gases	500.0	650.0	800.0	900.0	950.0	1000.0	1050.0	1100.0
TOTAL	98.3	90.5	91.1	90.6	90.3	89.2	90.0	90.8

T = trace



شکل ۶-۲: طرح شماتیک تجهیزات لازم جهت آنالیز کیفی و کمی محصولات پیرولیز فوم [۹].

در تحقیق انجام شده در دمای آلومینیم ریزی 750°C ، کروماتوگرافی گازی محصولات حاصل از واکنش پیرولیز که در درون ماسه و در هوای بسته سیستم مربوطه ایجاد شده بودند، نشان داده است که از ۱۰ درصد کسر مربوط به مواد فرار، ۸۶ درصد آن استایرن می باشد. سایر مواد حاصل از پیرولیز EPS، دیمرها^۱، تریمرها^۲ و الیگومرهای^۳ پلی استایرن و دیگر محصولات حاصل از تجزیه بود [۵].

حجم کلی گازهای حاصل از تجزیه فوم نیز از پارامترهای مهم در این فرآیند می باشد زیرا این گازها بعنوان عامل مقاوم در برابر جریان مذاب به درون محفظه قالب عمل می نماید و با آگاهی از آن می توان ارتفاع متالواستاتیکی مذاب و شرایط نفوذ پذیری مجموعه قالب که شامل فوم، پوشان و

dimers -۱

trimers -۲

oligomers -۳

ماسه است را بخوبی انتخاب نمود تا ورود مذاب به محفظه قالب بطور کامل صورت گرفته و قبل از انجماد کامل قطعه، کلیه گازهای حاصل از آن خارج گردد. در جدول ۲-۱۴ حجم گازهای ایجاد شده در ریخته گری فومی فلزات مختلف نمایش داده می شود [۱].

جدول ۲-۱۴ : حجم گازهای ایجاد شده در ریخته گری فومی فلزات مختلف [۱].

نام فلز	دمای بارریزی (°C)	حجم گاز (cc/g)	حجم گاز (cc/cc)
روی	۴۵۰	۲۵	۰/۵
آلومینیم	۷۵۰	۴۰	۰/۹
چدن	۱۳۰۰	۳۰۰	۶/۰
فولاد	۱۵۵۰	۶۰۰	۱۲/۰

۲-۳- پوشانهای مورد استفاده در فرآیند ریخته گری فومی

در فرآیند ریخته گری فومی عموماً از پوشانهای استفاده می شود. این پوشانها کیفیت سطحی قطعات را افزایش داده و سبب صلیبیت خوشه فومی می شوند. همچنین پوشانها باعث می شوند که محصولات پیرولیز فوم از محفظه قالب خارج گردند. خروج و حذف بقایای مواد پلاستیکی، مهمترین نقش پوشانها است. اصولاً هدف از اعمال پوشان به مدل، ایجاد سدی برای جلوگیری از مخلوط شدن فلز مذاب و ماسه در حین بارریزی می باشد. پوشان از نفوذ فلز مذاب به درون ماسه ممانعت کرده و از ریزش ماسه به فضای میان فوم و مذاب در جبهه مذاب جلوگیری می نماید. البته عدم فشردگی مناسب ماسه در اطراف خوشه فومی نیز می تواند سبب ریزش دیواره قالب یا نفوذ فلز مذاب گردد. اگر پوشان از خروج مناسب محصولات پیرولیز فوم جلوگیری نماید، این محصولات در قطعات چدنی بصورت کربن و در قطعات آلومینیمی بصورت تخلخل ظاهر خواهد شد [۱]. قابلیت پوشان برای خروج محصولات پیرولیز فوم، نفوذ پذیری^۱ نامیده می شود. نفوذ پذیری معمولاً بعنوان مقاومت یک محیط متخلخل در مقابل گازها و مایعاتی که از آن عبور می نمایند، مطرح می شود.

در ریخته گری قطعات چدنی که معمولاً دمای بارریزی بالا است، نفوذ پذیری پوشان برای گازها بسیار مهم می باشد. در ریخته گری قطعات آلومینیمی که معمولاً در دماهای پایین تری صورت می گیرد، پوشان بایستی نفوذ پذیری بالایی را برای خروج فازهای مایع حاصل از پیرولیز فوم داشته باشد. اندازه گیری نفوذ پذیری پوشان در دمای محیط، اطلاعات چندانی مفیدی را برای پوشان ارائه نمی نماید زیرا تعامل پوشان و فوم در دماهای بالا است. در فرآیند پیرولیز، فوم هم بصورت مایع درآمده و هم بصورت گازی می باشد. حذف فازهای مایع و فازهای گازی از محفظه قالب فرآیند مهم و حساسی است. پوشانهایی که برای آلومینیم ریزی استفاده می شوند با پوشانهای بکار رفته جهت چدن ریزی متفاوت می باشند. در آلومینیم ریزی، تجزیه شیمیایی فوم سبب سرد شدن جبهه مذاب شده و در نتیجه باعث ایجاد رویهم افتادگی ها یا چین خوردگی ها در قطعات می شود. بنابراین پوشان استفاده شده برای آلومینیم ریزی بایستی برای جبهه مذاب پیشرونده از نظر حرارتی، عایق باشد. در چدن ریزی، نفوذ مذاب و عیوب کربنی^۲ از مسائل عمده است. در این حالت پوشان

۱- permeability

۲- carbon defects

بکار رفته بایستی از نفوذ مذاب جلوگیری کرده و باعث خروج محصولات پیرولیزی گردد[۱].

مجموعه پوشان و ماسه بایستی باهم سبب خروج بقایای مواد پلاستیکی گردند تا نتایج بهتری حاصل شود. اولین وظیفه پوشان ایجاد کیفیت سطحی بالایی باشد. بعلاوه پوشان باعث ایجاد صلیبیت در خوشه فومی می شود. مدل های فومی بطور ذاتی از صلیبیت خوبی برخوردار نیستند لذا اعوجاج مدل در هنگام ریختن ماسه و متراکم نمودن آن پدید می آید. البته تغییر طراحی خوشه فومی یکی از راههای کاهش اعوجاج مدل است. افزایش صلیبیت مدلها در اثر پوشش دهی، اعوجاج آنها می کاهد. با تغییر ترکیب شیمیایی پوشان می توان در موارد خاص صلیبیت های بالایی را ایجاد نمود. همچنین می توان با تغییر ترکیب شیمیایی پوشان از نفوذ آن به درون مدل جلوگیری کرده و کیفیت سطحی قطعات ریختگی را افزایش داد. هدایت حرارتی پوشان نقش بسیار مهمی در تلفات حرارتی فلز مذاب دارد. هدایت حرارتی بالای پوشان افزایش سیالیت مذاب را که در اثر نفوذ پذیری بالای پوشان ایجاد می شود، جبران می نماید بگونه ای که مجموع این عوامل تاثیر کمتری بر سیالیت دارد.

۲-۳-۱- ترکیب شیمیایی پوشانها

پوشانها ترکیبات پیچیده ای از مواد معلق در یک ماده حامل^۱ که معمولا آب است، می باشند. بسیاری از پوشانها دوغاب های پایه آبی تیکسوتروپیک^۲ می باشند و در اصل از یک ماده دیرگداز ساخته شده اند. قابلیت نفوذ پذیری پوشان از اندازه و شکل ذرات دیرگداز بکار رفته که عمدتاً سیلیس، آلومین، زیرکن، کرومیت یا آلومینوسیلیکات های کمپلکس است، حاصل می گردد. ذرات دیرگداز موجود در پوشان، از نفوذ و واکنش مذاب با آن جلوگیری می نمایند. همچنین پوشانها حاوی یک عامل پخش کننده^۳ جهت معلق نگه داشتن ذرات دیرگداز در دوغاب آنها، می باشند. ذرات دیرگداز توسط یک چسب در کنار هم نگاه داشته می شوند. ممکن است که ترکیبی از چسبها استفاده شود بگونه ای که برخی از آنها سبب چسبندگی و پیوستگی ذرات پوشان قبل از خشک شدن آن شده و برخی دیگر باعث ایجاد استحکام در پوشان بعد از خشک شدن و در حین بارریزی، شوند[۱]. علاوه بر چسب، پوشان ها حاوی عوامل معلق کننده^۴ و ترککننده ها^۵ می باشد که به ترتیب

۴- suspension agents

۵- surfactants

۱- carrier

۲- thixotropic

۳- dispersant

باعث حفظ مواد در داخل دوغاب درحین مصرف و ایجاد ترشوندگی میان مدل و پوشان می شوند. در جدول ۲-۱۵ خواص فیزیکی برخی از مواد دیرگداز بکار رفته در ساختمان پوشان ها نشان داده می شود [۱].

جدول ۲-۱۵: خواص فیزیکی مواد دیرگداز بکار رفته در تولید پوشانها و رنگهای قالب [۱].

نام ماده	وزن مخصوص		نقطه ذوب °F	گرمای ویژه $\frac{Btu}{lb}$	رسانایی گرمایی $\frac{Btu}{ft^2 (hr) (\frac{°F}{in.})}$		
	$\frac{lb}{gal}$	$\frac{gr}{cc}$			۲۴۰۰°F	۱۶۰۰°F	۱۰۰۰°F
آلومین ۹۹٪	۲۷/۴۹	۳/۳۰	۳۶۶۰	۰/۲۷	۱۶	۱۸	۲۲
پریکلاس MgO	۲۸/۳۲	۳/۴۰	۵۰۷۲	۰/۲۶	۲۰	۲۳	۲۸
مولایت	۲۶/۶۶	۳/۲۰	۳۳۲۵	۰/۲۴	۱۳	۱۴	۱۷
سیلیس	۲۲/۰۷	۲/۶۵	۳۱۲۰	۰/۲۵	۱۴	۱۲	۱۰
زیرکن	۳۷/۴۹	۴/۵۰	۴۵۳۲	۰/۱۳	۱۴	۱۶	۲۰
زیرکونیا	۴۸/۳۱	۵/۵-۶/۱	۴۸۹۲	۰/۱۷	۵	۵	۵

ساختمان پیچیده پوشانها و نقش حساس آنها در فرآیند ریخته گری، انتخاب و استعمال آنها را جهت تولید قطعات سالم مهم می سازد. قواعد مشخصی جهت انتخاب بهترین پوشان برای هر قطعه ریختگی وجود ندارد. قبل از انتخاب نهایی، پوشان های مختلف بایستی انتخاب شده و تحت بررسی قرار گیرند. البته درخصوص انتخاب نوع ترکیب شیمیایی پوشان برای ریخته گری یک قطعه خاص، می توان از نتایج حاصل از بکارگیری آن در سایر موارد استفاده نمود. هنگامیکه ترکیب شیمیایی اصلی پوشان مشخص گردید، ایجاد تغییرات کوچک در دانسیته مخلوط پوشان جهت مصرف بهینه آن مفید می باشد. این تغییرات میزان رقیق بودن پوشان را در هنگام استفاده تعیین می نماید و بر ضخامت پوشان ایجاد شده بر روی مدل تاثیر می گذارد.

۲-۳-۲- دانسیته پوشان

دانسیته پوشان و روش اعمال آن، ضخامت پوشان روی مدل را تعیین می نماید. ضخامت پوشان از ۰/۲۵ تا ۱/۵۲ میلیمتر متغیر است. هنگامیکه دمای بارریزی بالا می باشد و یا

ارتفاع ایستایی مذاب^۱ زیاد است، پوشانهای ضخیم تر مناسب می باشد. نفوذ پذیری پوشان حتی در ضخامت های بالای آن نیز بایستی حفظ گردد. وجود عیوب ناشی از حبس مواد پلاستیکی نشانه ضخامت بیش از حد پوشان است. وزن پوشان خشک شده را می توان از طریق توزین خوشه فومی قبل از پوشش دهی و پس از خشک شدن آن محاسبه نمود. این عمل یکی از مهمترین معیارهای ارزیابی یکنواختی پوشان است.

دانشیه پوشان اغلب با چگالی سنج^۲ اندازه گیری می شود که عدد بومه^۳ پوشان را تعیین می نماید. عدد بومه معیاری از دانشیه و لزجت یک فاز مایع است. برای عدد بومه دو مقیاس مختلف وجود دارد. مقیاس اول برای مایعات سبک تر از آب بوده و مقیاس دوم برای مایعات سنگین تر از آب می باشد. مثلاً برای مایعات سبک تر از آب، عدد بومه ۶۰ با وزن مخصوص ۰/۷۴۵ معادل است در صورتیکه برای مایعات سنگین تر از آب عدد بومه ۶۰ با وزن مخصوص ۱/۸۴۲ معادل است. البته اندازه گیری عدد بومه پوشان، آزمایش دقیقی نمی باشد زیرا بدلیل خطاهای اپراتوری و دستگاهی، دقت اندازه گیری پایین است [۱]. از طرفی تعیین دانشیه پوشان ها با استفاده از عدد بومه معمولاً با ویسکوزیته بالای این پوشان ها اشتباه می شود. اندازه گیری عدد بومه به دلایل زیر از دقت کافی برخوردار نیست :

- ۱- فاصله زمانی اتمام همزدن پوشان و فرو بردن سنج، بر اندازه گیری تاثیر دارد.
- ۲- مدت زمانی که سنج در داخل مخلوط پوشان می ماند بر اندازه گیری دارد.
- ۳- سنج های مختلف اغلب اعداد متفاوتی را برای یک مخلوط پوشان نشان می دهند.
- ۴- خواندن عدد بومه بایستی با روند ثابتی صورت گیرد ولی اپراتورها اغلب تمایل به تغییر روند اندازه گیری دارند.
- ۵- کثیفی یا خشک نبودن سنج بر نتایج تاثیر خواهد داشت.

بنابراین عدد بومه معیار خوبی برای ارزیابی پوشان ها نمی باشد. اندازه گیری سایر خواص پوشان مانند وزن مخصوص نیز بایستی صورت گیرد. پوشان ها بصورت دوغاب تهیه می شوند و بایستی قبل از استفاده رقیق شده و بهمزده شوند. اندازه گیری دانشیه پوشان قبل از همزدن یکنواخت

۱- metal head

۲- hydrometer

۳- Baume

آن به مدت حداقل ۱۵-۱۰ دقیقه، بایستی صورت گیرد. کلیه پوشانهای بکار رفته در فرآیند ریخته گری با مدل‌های مصرف شونده، تیکسوتروپیک می باشند یعنی ترکیب شیمیایی این پوشانها بگونه ای است که ضخامت یکنواختی را حتی در سطوح پیچیده ایجاد می نماید. ویسکوزیته پوشانهای تیکسوتروپیک در حین همزدن کاهش می یابد. بمنظور حصول نتایج بهتر، پوشان بایستی در حین مصرف همزده شود و نیز دمای آن بایستی کنترل گردد. اگر پس از همزدن پوشان، زمان پوشش دهی مدل بیشتر از ۱۰ دقیقه باشد ایجاد ضخامت یکنواخت در پوشان مشکل خواهد بود.

اندازه گیری منظم خواص دیگری از پوشان مانند ویسکوزیته، در حین همزدن آن مهم است. میزان اسیدی بودن^۱ پوشان را نیز می توان اندازه گیری نمود. کاهش PH پوشان نشانه رشد بیولوژیکی^۲ است که بیشتر در حمام های پوشان که بندرت استفاده می شود، مشکلاتی را ایجاد می نماید. ایجاد بوی غیر معمول در پوشان نیز دلیلی بر رشد بیولوژیکی می باشد.

۱- acidity

۲- biological growth

۲-۴- سیالیت مذاب در قالب های توپر

با پیشرفت تکنولوژی ریخته گری فومی، تولید قطعات بسیار بزرگ و پیچیده امکان پذیر شده است. بعلاوه، قابلیت تولید مقاطع آلومینیمی بسیار نازک با فرآیند ریخته گری فومی برای حذف اضافه تراش لحاظ شده در این نوع قطعات مطلوب می باشد. در قطعات ریختگی بزرگ با مقاطع نازک تر، خصوصیات پر شدن قالب^۱ در این فرآیند به منظور کاهش عیوب مربوط به پرکنندگی، بسیار مهم می باشد. سیالیت مشخصه مهم فلز مذاب است که پر شدن قالب را میسر می سازد. سیالیت را می توان به دو جنبه قابلیت جریان یابی^۲ و قابلیت پرکنندگی^۳ تقسیم نمود. قابلیت جریان یابی معیاری دینامیکی است که قابلیت سیلان فلز مذاب را از درون یک مقطع بزرگ قالب می سنجد و قابلیت پرکنندگی معیاری استاتیکی می باشد که قابلیت فلز مذاب را جهت غلبه بر تنش سطحی و پر کردن جزئیات قالب نشان می دهد. در تحقیق حاضر و تحقیقات انجام شده توسط سایر محققان، منظور از سیالیت، طولی از مدل فومی می باشد که فلز مذاب جایگزین آن شده است.

سیالیت نه تنها به خواص سیالاتی ذاتی فلز مذاب بستگی دارد بلکه به شرایط ریخته گری نیز وابسته است. برخی از خواص فلز مذاب که بر سیالیت موثر می باشد عبارتند از: کشش سطحی، خصوصیات فیلم اکسید سطحی، میزان آخالها و نوع انجماد. شرایط ریخته گری موثر بر سیالیت شامل هندسه قطعه^۴، دینامیک سیالاتی سیستم، مواد قالب، مشخصات سطحی قالب/پوشان، شار حرارتی^۵، نرخ بارریزی و دمای بارریزی است. در فرآیند ریخته گری فومی، خواص فوم و پوشان نیز نقش مهمی در سیالیت دارند. M. C. Flemings با فرض اینکه:

- ۱- خروج شار حرارتی فقط از طریق فصل مشترک مذاب - قالب انجام شود.
- ۲- قالب یک محیط بی نهایت باشد (دمای اولیه قالب ثابت مانده و افت دمایی بین مذاب و قالب فقط در فصل مشترک آنها ایجاد شود).
- ۳- فلز، خالص باشد.
- ۴- از اصطکاک صرف نظر شده و سرعت حرکت مذاب ثابت باشد.
- ۵- هیچگونه جدایشی در جریان مذاب رخ ندهد.

part geometry - ۴

heat flux - ۵

filling - ۱

flowability - ۲

fillability - ۳

رابطه زیر را برای سیالیت ارائه نموده است [۱۱]:

$$L_f = \frac{\rho_L v a}{2 h_g (T_m - T_i)} (C_L \Delta T + H_L) \quad \text{رابطه ۱-۲}$$

T_i : دمای محیط ($^{\circ}\text{C}$)

ρ_L : دانسیته مذاب ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)

C_L : ظرفیت گرمایی فلز مذاب ($\text{J/g}^{\circ}\text{C}$)

v : سرعت حرکت مذاب ($\frac{\text{cm}}{\text{s}}$)

ΔT : فوق ذوب ($^{\circ}\text{C}$)

a : ضخامت مدل (cm)

H_L : گرمای نهان ذوب ($\frac{\text{J}}{\text{g}}$)

h_g : ضریب انتقال حرارت $\text{W cm}^{-2}/^{\circ}\text{C}$

T_m : نقطه ذوب فلز ($^{\circ}\text{C}$)

در فرآیند ریخته گری فومی، تجزیه حرارتی پلی استایرن بخشی از انرژی جبهه مذاب را می گیرد. Pan و Liao گرمای لازم جهت تجزیه فوم را اندازه گیری کرده و رابطه ۱-۲ را به صورت زیر برای فرآیند ریخته گری فومی اصلاح نموده اند [۱۲]:

$$L_f = \frac{\rho_L v a}{2 h_g (T_m - T_i)} (C_L \Delta T + \frac{H_L}{2} - \frac{H_E \rho_P}{\rho_L}) \quad \text{رابطه ۲-۲}$$

H_E : انرژی تجزیه شیمیایی مدل فومی ($\frac{\text{J}}{\text{g}}$)

ρ_P : دانسیته مدل فومی ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)

برای هر شرایطی فوق ذوب موثر^۱ را می توان از نقاط ماکزیمم منحنی سرد شدن مربوطه بدست آورد. با داشتن فوق ذوب موثر، سرعت حرکت مذاب، دانسیته فوم، ضخامت مدل و نیز استفاده از اطلاعات جدول ۱۶-۲ می توان سیالیت آلیاژ A356 را در فرآیند ریخته گری فومی محاسبه نمود. با افزایش فوق ذوب موثر، طول سیالیت افزایش می یابد. در مواد قالبی که اثر تبریدی بالایی دارند، فوق ذوب موثر کمتری مشاهده شده است. این اثر در مقاطع فومی نازک نیز بیشتر می باشد لذا طول سیالیت کاهش می یابد [۱۲].

جدول ۲-۱۶: اطلاعات پایه ای مورد نیاز جهت محاسبه سیالیت آلیاژ A356 [۱۲].

$\rho_L \frac{g}{cm^3}$	۲/۳۷
$H_E \frac{J}{g}$	۱۶۸۴
$h_g \frac{cm^2}{^\circ C}$	۰/۰۴۲۷
T_m	۶۱۰ $^\circ C$
T_i	۲۰ $^\circ C$
$C_L \frac{J}{g^\circ C}$	۱/۰۸۶
$H_L \frac{J}{g}$	۳۸۹

R. Ajdar و همکارانش برای بیان ارتباط فوق ذوب موثر ($^\circ C$) و طول سیالیت (cm) و نیز رابطه میان زمان کلی انجماد (Sec) و طول سیالیت، روابط زیر را برای ریخته گری فومی آلیاژ A356 پیشنهاد نموده اند [۱۲].

$$\Delta T = 0.2 L_f - 160 \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

$$L_f = 0.029 t + 33/3 \quad \text{رابطه ۲-۴}$$

با فرض اینکه اتلاف حرارتی مذاب فقط صرف تجزیه حرارتی فوم شده و این اتلاف حرارتی در یک ناحیه باریک (ناحیه تبریدی مشخصه^۱) واقع در جبهه مذاب صورت گیرد، می توان موازنه انرژی میان مذاب و فوم را به صورت زیر بیان نمود [۱۲]:

$$L_c W t_p \rho_L C_L \Delta T = L_f W t_p \rho_p H_E \quad \text{رابطه ۲-۵}$$

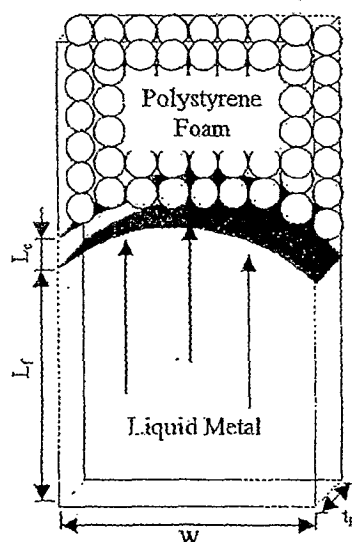
L_c : طول ناحیه تبریدی مشخصه (cm) C_L : گرمای ویژه مذاب ($J/g^\circ C$)

ΔT : افت دمای مذاب ($^{\circ}\text{C}$)	W : عرض (پهنای) مدل (cm)
L_f : طول سیلان مذاب (cm)	t_p : ضخامت مدل (cm)
H_E : انرژی تجزیه شیمیایی مدل EPS ($\frac{J}{g}$)	ρ_L : دانسیته فلز مذاب ($\frac{g}{cm^3}$)
	ρ_p : دانسیته مدل ($\frac{g}{cm^3}$)

طول ناحیه تبریدی مشخصه (L_c) برای مدل عمودی تقریباً $2/2$ برابر ضخامت مدل گزارش شده است. بنابراین با قرار دادن t_p $2/2$ بجای L_c در رابطه فوق و نیز مرتب نمودن آن خواهیم داشت:

$$\frac{\Delta T}{L_f} = \frac{\rho_p H_E}{C_L 2.2 t_p \rho_L} \quad \text{رابطه ۶-۲}$$

در شکل ۷-۲ تصویر شماتیک مقطع میان فوم و مذاب نشان داده می شود. رابطه ۶-۲ نشان می دهد که در فرآیند ریخته گری فومی با کاهش ضخامت مدل، افت دمای مذاب به ازای واحد طول ($\frac{\Delta T}{L_f}$) افزایش می یابد. با استفاده از رابطه ۶-۲ و اطلاعات جدول ۱۶-۲ و نیز آگاهی از دانسیته فوم می توان بصورت تقریبی افت دمای مذاب بر واحد طول را برای هر مقطعی از قالب محاسبه نمود [۱۲]. لازم به ذکر می باشد که در این حالت، برای افت دمای مذاب فقط اثر فوم در نظر گرفته



شکل ۷-۲: تصویر شماتیک مقطع میان فوم و جبهه مذاب [۱۲].

شده و اثر مواد قالب لحاظ نگردیده است. درخصوص تاثیر عوامل مختلف بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم در فرآیند ریخته گری فومی، تحقیقات مختلفی صورت گرفته است تا درک صحیحی از خصوصیات پر شدن مذاب ایجاد گردد. در برخی از این تحقیقات تاثیر عواملی مانند نسبت سطح به محیط ($\frac{A}{P}$)، فشار متالواستاتیکی و خواص مدل و پوشان مورد بررسی قرار گرفته است [۱۴و۱۳]. اگرچه در تحقیقات مختلف ممکن است تاثیر متغیر مشابهی بر سیالیت آلومینیم مذاب ارزیابی شده باشد ولی از لحاظ مقدار انتخاب شده برای آن متغیر و نیز شرایط انجام آزمایش (نوع سیستم راهگاهی، ...) تفاوت هایی وجود دارد و تعمیم نتایج مشترک حاصل از این تحقیقات برای سایر شرایط ریخته گری آلیاژهای آلومینیم در قالب های توپر، مفید می باشد.

۲-۴-۱- اثر ضخامت و هندسه مدل فومی بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم

تحقیقات انجام شده توسط Y. Sun و همکارانش نشان داده است هنگامیکه نسبت حجم به سطح ($\frac{V}{A}$) مدل ثابت است، سیالیت تقریباً بصورت خطی با افزایش سطح جانبی افزایش می یابد. در واقع هرچه سطح جانبی مدل وسیعتر باشد خروج محصولات پیرولیزی راحت تر انجام می شود. همچنین هنگامیکه سطح جانبی مدل ثابت است، با افزایش نسبت $\frac{V}{A}$ سیالیت مذاب بدلیل محتوای حرارتی بالای آن افزایش می یابد. در فرآیند ریخته گری فومی بدلیل وجود محصولات گازی حاصل از پیرولیز فوم، فاصله باریکی (gap) میان فلز مذاب و فوم وجود دارد. از آنجائیکه خروج این محصولات از میان مذاب غیر ممکن بوده و از طریق مدل فومی نیز بسیار مشکل می باشد، لذا فازهای گازی از طریق این شکاف به درون پوشان رانده می شوند. چون اندازه (در واقع مساحت جانبی) این شکاف معلوم نمی باشد بنابراین محیط مدل بعنوان مسیر موثر برای خروج محصولات پیرولیزی در نظر گرفته می شود. تحقیقات فوق نشان داده است که سیالیت رابطه خطی با محیط مدل داشته و هندسه مدل تاثیر بسیار زیادی بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم دارد [۱۳].

تحقیقات M. A. Tschopp Jr و همکارانش نشان داده است که ضخامت مقطع و نسبت سطح به محیط ($\frac{A}{P}$) در مقایسه با سایر عوامل موثر بر ریخته گری فومی آلیاژهای آلومینیم، بیشترین تاثیر را بر سیالیت دارد. با افزایش ضخامت، نسبت $\frac{A}{P}$ افزایش یافته و در نتیجه اتلاف حرارتی از طریق سطح پوشان به ازاء واحد حجم فلز کاهش می یابد. همچنین بالا بودن نسبت $\frac{A}{P}$ بمعنی سطح بیشتر پوشان به ازاء واحد حجم محصولات پیرولیز فوم می باشد که باعث می شود تا محصولات گازی

حاصل از تجزیه با سرعت بیشتری از محفظه قالب خارج گردد [۱۴]. البته این تحقیق نشان داده است که تلفات حرارتی فلز مذاب واقع در پشت جبهه مذاب، مهمترین اثر نسبت $\frac{A}{P}$ است. بر اساس مطالعات قبلی انجام شده، سایر متغیرهای فرآیند باعث تغییر در نرخ پر شدن می شوند که این امر بر مدت زمانی که فلز مذاب حرارت خود را از طریق رسانایی به ماسه منتقل می کند، تاثیر می گذارد. حتی با وجود این تغییرات عمده، طول پرکنندگی^۱ اساساً به وسیله نسبت $\frac{A}{P}$ کنترل می گردد. لذا این موضوع بیانگر آن است که هندسه سیستم راهگامی و قطعه تاثیر زیادی بر قابلیت پرکنندگی قطعه داشته و از اینرو بیشترین کارایی را در حذف عیب نیامد^۲ دارد [۱۴]. مزیت استفاده از هندسه مدل جهت حذف این عیب، این است که رفع نیامدهای موضعی مذاب فقط به تغییرات موضعی در هندسه مدل نیاز دارد و مستلزم تغییر پارامترهای مهم فرآیند ریخته گری نمی باشد زیرا تغییر این پارامترها بر کل خوشه ریخته گری تاثیر می گذارد و حتی باعث بروز مشکلاتی در سایر نواحی می گردد. مزیت دیگر تغییر موضعی هندسه مدل این است که تاثیر زیاد این تغییر موضعی بر حذف عیب نیامد، می تواند آن ناحیه را نسبت به سایر متغیرهای فرآیند مقاوم نماید بگونه ای که حتی ممکن است بازتر شدن محدوده مشخصات فرآیند بر آن ناحیه بی تاثیر باشد.

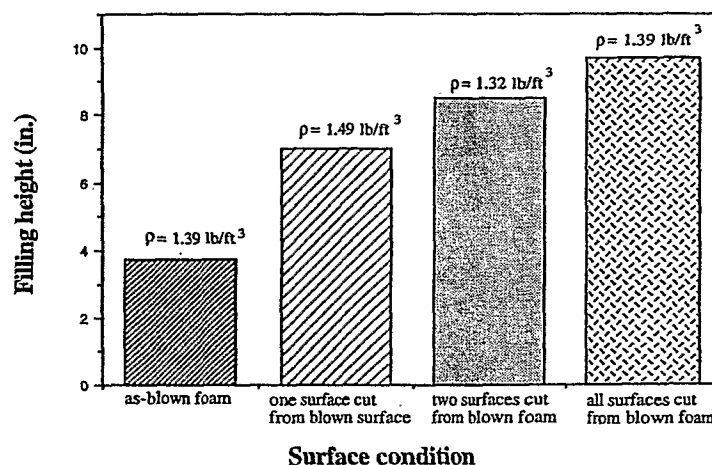
عیب کار کردن با هندسه قطعه این است که گاهی اوقات ممکن است که تغییر هندسه در ناحیه ای که نیامد رخ می دهد، میسر نباشد. در مواردی که تغییر هندسه مدل امکان پذیر است، اولین سوالی که مطرح می شود این است که مقدار ضخامت لازم جهت حذف عیب نیامد چقدر می باشد؟ ارزیابی اثر پرکنندگی مذاب در یک مقطع فومی معین از طریق چسباندن یک تکه فومی بریده شده به ضخامت ۱ mm به آن، مشکل است زیرا چسب، خواص تکه فومی بریده شده و سایر عوامل باعث ایجاد خطا می گردد. بعلاوه، افزایش ضخامت یک مقطع نازک باعث افزایش وزن قطعه می شود که بدلالی ممکن است مطلوب نباشد. لذا افزایش نسبت $\frac{A}{P}$ در قسمت هایی که نیامد مذاب رخ می دهد، بایستی حداقل افزایش در وزن قطعه را ایجاد نماید. مهمترین عیب تغییر هندسه مدل، این است که اصلاح قالب ها زمان بر بوده و مستلزم تولید نمونه هایی جهت تایید آنها می باشد.

۱- fill length

۲- misrun

۲-۴-۲- اثر شرایط سطحی مدل بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم

شرایط سطحی مدل بر فرآیند انتقال جرم و در نتیجه بر پر شدن قالب تاثیر می گذارد. تحقیقات Y. Sun و همکارانش نشان داده است که با افزایش تعداد سطوح بریده شده مدل EPS با روش سیم داغ^۱، سیالیت افزایش می یابد و سیالیت مدل تولید شده با قالب فلزی^۲ کمتر از نصف سیالیت حاصل از مدلی بوده است که تمام سطوح آن بطور کامل از بلوک فومی بریده شده است (شکل ۸-۲).



شکل ۸-۲: اثر شرایط سطحی مدل بر سیالیت (سیستم راهگاهی کف ریز، دمای بارریزی 790°C ، پوشان آلومینا با نفوذ پذیری بالا و عدد بومه ۴۵ که با قلم مو به مدل های EPS اعمال شده است). [۱۳]

تاثیر زیاد شرایط سطحی مدل بر سیالیت به چند دلیل می باشد :

۱- هنگامیکه مدل با قالب فلزی تهیه می شود سطح آن ممکن است با مواد روانکار یا سایر مواد آلی استفاده شده در حین تولید، آلوده شود. همچنین امکان آلودگی سطح مدل قبل از استفاده، در حین انبارداری و حمل و نقل وجود دارد. این فیلم سطحی نازک و متراکم ایجاد شده بر روی مدلها سبب اختلال در خروج محصولات پیرولیزی می شود.

۲- دلیل محتمل تر این است که سطح مدل تولید شده با قالب فلزی صاف تر، همگن تر و چگالتر

hot wire -۱

as-blown foam -۲

می باشد. کلیه دانه های EPS موجود در سطح مدل، در حین تولید در اثر دیواره گرم قالب دچار ذوب سطحی (همجوشی) می شوند درحالیکه میزان همجوشی دانه های داخلی مدل کمتر است. دانه هایی که دچار ذوب سطحی نشده اند مانند هواکش^۱ عمل کرده و فلز مذاب خیلی سریعتر جایگزین فوم می شود. از طرفی سرعت حرکت بالای مذاب در بخشهای داخلی مدل باعث می شود که جبهه مذاب بصورت پیکانی شکل^۲ درآمده و محصولات پیرولیزی به سمت پوشان رانده شوند. در تحقیقات فوق عنوان گردیده است که پوشان اعمال شده (با قلم مو) به سطح بریده شده مدل خیلی سریعتر خشک می شد درحالیکه پوشان اعمال شده به سطح فوم حاصل از قالب، مدت نسبتا زیادی بصورت مایع باقی مانده یا حتی در امتداد سطح جریان می یافت [۱۳].

با ایجاد ترکیبی بهینه از هندسه و شرایط سطحی مدل می توان انتظار داشت که سیالیت خصوصا در قطعات ریختگی نازک، بهبود یابد.

۲-۴-۳- تأثیر پوشان بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم

طراحی و انتخاب صحیح پوشان جهت تولید قطعات سالم مهم می باشد. تحقیقات نشان داده است که خروج فازهای گازی حاصل از پیرولیز اساسا بوسیله نفوذ پذیری پوشان کنترل می گردد در صورتیکه نرخ و نحوه حذف فازهای مایع حاصل از پیرولیز، هم به ترکیب شیمیایی پوشان و هم به نفوذ پذیری آن بستگی دارد. تحقیقات Y. Sun و همکارانش نشان داده است که با افزایش ضخامت پوشان سیالیت کاهش می یابد و این کاهش در مدل های ضخیم تر بیشتر است. بروز این رفتار در نتیجه تأثیر متقابل دو فرآیند انتقال حرارت و انتقال جرم می باشد. در مقاطع نازک انتظار می رود که سیالیت بطور طبیعی پایین باشد زیرا بدلیل پایین بودن نسبت $\frac{V}{A}$ و کوچک بودن سطح جانبی (محیط)، انتقال حرارت سریعتر بوده در صورتیکه سرعت انتقال جرم کمتر می باشد. هنگامیکه نرخ انتقال حرارت بالا می باشد (در مقاطع نازک) تأثیر انتقال جرم بر سیالیت کمتر است زیرا تحقیقات فوق نشان داده است که افت زیاد نفوذ پذیری پوشان (از طریق افزایش ضخامت پوشان) در واقع بر سیالیت تأثیری نداشته است.

۱- vent-holes

۲- arrow shape

در مقاطع ضخیم نسبت $\frac{V}{A}$ بالا بوده و سطح جانبی نیز بیشتر است. بدلیل نسبت بالای $\frac{V}{A}$ ، سرعت انجماد پایین بوده در صورتیکه خروج محصولات پیرولیزی از طریق سطح وسیع پوشان راحت تر انجام می گیرد لذا سیالیت خصوصاً هنگامیکه ضخامت پوشان کم است، بالاتر می باشد. با افزایش ضخامت پوشان، کاهش نفوذ پذیری آن سبب خروج مشکل تر محصولات پیرولیزی شده و سیالیت در اثر ایجاد فشار برگشتی^۱ شدیداً کاهش می یابد هر چند پوشان های ضخیم تر عایق حرارتی بهتری می باشند. بنابراین فرآیند انتقال جرم در مقاطع ضخیم تر از اهمیت بالایی برخوردار است. مدل های بدون پوشان حساسیت بالایی به تغییرات فشار متالواستاتیکی دارند زیرا محصولات پیرولیزی به سهولت می توانند خارج شوند و انرژی هیدرولیکی^۲ عامل مهمتری می باشد [۱۳].

تحقیقات M. A. Tschopp Jr نشان داده است که بعد از ضخامت مدل، نفوذ پذیری پوشان بیشترین تاثیر را بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم دارد. نقش هدایت حرارتی پوشان بر تلفات حرارتی مذاب نیز مهم است. هدایت حرارتی بالای پوشان می تواند افزایش سیالیت ناشی از نفوذ پذیری بالای آنرا کاسته و در نهایت سیالیت کمتری ایجاد نماید. البته در تحقیقات یاد شده تاثیر هدایت حرارتی پوشان های مصرفی بر سیالیت مذاب در مقایسه با اثر نفوذ پذیری، کمتر بوده است [۱۴]. در مراحل تولید ممکن است از خواص پوشان جهت حذف عیب نیامد استفاده شود. از طریق تغییر ویسکوزیته و درصد مواد جامد پوشان می توان ضخامت آنرا جهت تغییر میزان جذب فازهای مایع توسط پوشان، نفوذ پذیری و هدایت حرارتی پوشان تنظیم نمود. بعلاوه پوشانهای دیگری را که دارای نفوذ پذیری بالاتر یا هدایت حرارتی پایین و یا هر دو می باشند، می توان انتخاب نمود. عیب عمده تغییر خواص و یا تعویض خود پوشان جهت حذف نیامدهای موضعی این است که در این شرایط تمام خوشه فومی تحت تاثیر قرار می گیرد. چنانچه ویسکوزیته پایین تر پوشان برای حذف نیامد مفید ارزیابی شده باشد، در این حالت نفوذ پذیری پوشان بیشترین تاثیر را بر سیالیت دارد لذا سرعت های بالای مذاب ناشی از آن، سبب حبس محصولات پیرولیزی شده و احتمال ایجاد عیوبی مانند چین خوردگی ها^۳، تاول ها^۴ و تخلخل های داخلی در قطعات افزایش خواهد یافت. از طرفی اگر ویسکوزیته بالای پوشان جهت حذف نیامد مناسب تشخیص داده شده باشد، در

این حالت عدم رسانایی حرارتی و قابلیت جذب فازهای مایع حاصل از پیرولیز فوم توسط پوشان، در ایجاد نیامدها مهم می باشد ولی وزن بالای پوشان اعمال شده به مدل ممکن است سبب افزایش زمان خشک شدن، مسدود شدن برخی از مجاری^۱ یا آب انداختن پوشان^۲ شود. پوشانهایی که نفوذ پذیری بالایی دارند باعث حذف نیامد می شوند ولی امکان حبس محصولات پیرولیزی در این نوع پوشانها بیشتر است. اگر تغییر هندسه مدل امکان پذیر نباشد، خواص پوشان بیشترین کاربرد را جهت حذف عیوب نیامد دارد [۱۴].

۲-۴-۴- تاثیر نوع فوم بر سیالیت آلیازهای آلومینیم

در فرآیند ریخته گری فومی، سیالیت به مقدار تلفات حرارتی از طریق پوشان و ماسه، مقدار گرمای مورد نیاز جهت تجزیه شیمیایی مدل، سهولت خروج محصولات پیرولیزی و فشار برگشتی اعمال شده توسط محصولات پیرولیزی به مذاب بستگی دارد. نوع مواد فومی بر مقدار گرمای گرفته شده از مذاب جهت پیرولیز و بر مقدار فشار برگشتی موثر می باشد.

تحقیقات نشان داده است که سیالیت حاصل از فوم EPS با کاهش دانسیته، افزایش می یابد زیرا در اثر استفاده از فوم های کم دانسیته گرمای کمتری از مذاب گرفته شده و نیز محصولات پیرولیزی (مایع و گازی) کمتری تولید می شود. همچنین سیالیت حاصل از فوم PMMA با دانسیته $24 \frac{kg}{m^3}$ نسبت به فوم EPS با دانسیته های ۲۱ و $25/6 \frac{kg}{m^3}$ ، کمترین مقدار بوده است. علت این امر مقادیر بالای فازهای گازی حاصل از پیرولیز PMMA می باشد که سبب افزایش فشار برگشتی و کاهش سرعت حرکت مذاب می شود [۱۳]. در دانسیته یکسان، PMMA تقریباً ۴۵ درصد کسر گازی بالاتری نسبت به EPS خواهد داشت و انرژی پیرولیز آن ۳۰ درصد بیشتر از EPS می باشد. این کسر گازی بالا فشار برگشتی بیشتری بر جبهه مذاب اعمال می نماید. بنابراین نرخ پر شدن مذاب کم شده و تلفات حرارتی آن افزایش می یابد. تحقیقات M. A. Tschopp Jr و همکارانش نشان داده است که استفاده از فوم EPS با دانسیته $24 \frac{kg}{m^3}$ بجای فوم PMMA با دانسیته $25/6 \frac{kg}{m^3}$ سیالیت را به اندازه ۳۲/۲ درصد افزایش داده است [۱۴].

۱- plugged passages

۲- coating puddling

اندازه گیری دمای جبهه مذاب در حین پر شدن قالب های ساخته شده با مواد فومی مختلف نشان داده است که دمای جبهه مذاب تقریباً بصورت خطی با افزایش مسافت طی شده توسط مذاب، کاهش می یابد [۱۳]. دانسیته فوم یکی از متغیرهایی است که می توان جهت حذف نیامد بکار گرفت. البته کاهش دانسیته فوم باعث کاهش استحکام آن شده و امکان آسیب دیدگی و اعوجاج مدل در حین فشردن ماسه زیاد می شود. بعلاوه تغییرات زیاد دانسیته فوم بر نرخ انقباض مدل ها موثر است. در نهایت اینکه با کاهش دانسیته فوم، مقاطع نازک مدل حاوی تعداد کمتری از دانه های EPS می باشد که این امر ممکن است پر شدن مدل در حین تولید (قالبگیری) را مشکل نماید.

۲-۴-۵- اثر دمای بارریزی بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم

دمای بارریزی به چند طریق بر سیالیت مذاب در فرآیند EPC تاثیر می گذارد :

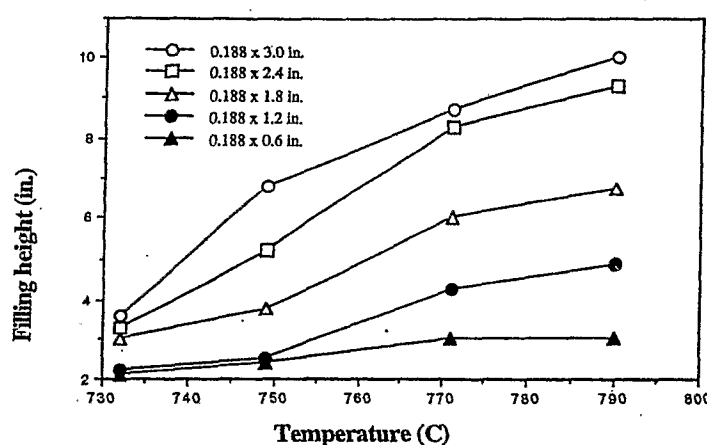
۱- مشابه فرآیند ریخته گری در قالب های توخالی، افزایش دمای بارریزی باعث افزایش محتوای گرمایی مذاب شده و در نتیجه از انجماد زود رس آن جلوگیری می نماید و بنابراین سیالیت افزایش می یابد.

۲- تجزیه شیمیایی مدل مقدار معینی از انرژی گرمایی مذاب را (جهت مایع نمودن یا گازی کردن فوم) مصرف خواهد کرد، هرچند مقدار این انرژی گرمایی مورد نیاز نسبتاً کم می باشد. Tseng انرژی گرمایی لازم جهت تجزیه شیمیایی کامل یک گرم فوم EPS را ۸۷۶ ژول تخمین زده است. البته در شرایط واقعی فقط کسری از این انرژی در فصل مشترک مذاب - فوم مورد نیاز می باشد زیرا بخش اعظم پلی استایرن مایع به فصل مشترک مذاب - پوشان رانده می شود. افزایش دمای بارریزی هرگونه تلفات حرارتی ناشی از فوم را جبران کرده و سیالیت را بهبود می بخشد.

۳- در دماهای بارریزی بالاتر محصولات گازی بیشتری در اثر تجزیه فوم تولید می گردد. چنانچه خروج گازها بدلالی مانند زیاد بودن محصولات پیرولیزی یا کوچک بودن منافذ پوشان مقدور نباشد، سرعت حرکت مذاب کاهش یافته و اثر معکوسی بر سیالیت دارد. مشخصات پوشان و فوم و هندسه مدل نیز مؤثر می باشند.

تحقیقات انجام شده توسط Y. Sun نشان داده است که در دماهای بارریزی بالا (790°C) پهنای مدل تاثیر زیادی بر سیالیت دارد در صورتیکه در دماهای بارریزی پایین (730°C) تغییرات سیالیت برحسب پهنای مدل کم است (شکل ۲-۹). در باریکترین مدل استفاده شده در تحقیقات فوق (که کوچکترین سطح جانبی را دارد) تاثیر دمای بارریزی بر سیالیت تقریباً ناچیز می باشد. بر اساس نظریات Fu، در محدوده دمایی 730 تا 790 درجه سانتیگراد مقادیر قابل توجهی از محصولات گازی

حاصل از تجزیه شیمیایی فوم تولید می گردد. با افزایش دمای بارریزی و ازدیاد محصولات گازی حاصل از پیرولیز، وجود سطح جانبی (محیط) وسیع جهت حذف این محصولات و افزایش سیالیت ضروری می باشد. در مقاطع ضخیم، علت افزایش سیالیت با افزایش دمای بارریزی این است که با افزایش دمای بارریزی ویسکوزیته مذاب کاهش یافته و محتوای گرمایی آن زیاد می شود لذا مذاب فرصت بیشتری جهت گرم کردن قالب و تجزیه شیمیایی مدل قبل از انجماد دارد. چنانچه دمای بارریزی به اندازه کافی بالا نباشد (730°C) عیب نیامد ایجاد می گردد. در چنین شرایطی سیالیت در مدل هایی که ضخامت های مختلف دارند تقریباً یکسان است زیرا خروج محصولات گازی حاصل از پیرولیز فوم مسئله مهمی نمی باشد. در مدل های نازک سیالیت با تغییر دمای بارریزی ثابت می ماند. علت این امر (همانگونه که قبلاً بیان شد) عدم سهولت خروج محصولات پیرولیزی گازی در اثر کوچک بودن بیش از حد محیط مدل است [۱۳].



شکل ۲-۹: اثر دمای بارریزی بر سیالیت مذاب در مدل هایی با پهنای مختلف (سیستم راهگای کف ریز، سطح مقطع راهباره 72 mm^2 ، مدل EPS با دانسیته $21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ، پوشان آلومینا با نفوذ پذیری بالا و عدد بومه ۴۵ که با قلم مو به مدل اعمال شده است). [۱۳].

تحقیقات M. A. Tschopp Jr و همکارانش نشان داده است که در فرآیند ریخته گری فومی دمای بارریزی نسبت به سایر عوامل (ضخامت مدل، نفوذ پذیری پوشان، ...) تاثیر کمتری بر سیالیت دارد زیرا با افزایش دمای بارریزی شیب دمایی میان مذاب - ماسه و مذاب - فوم بیشتر می شود. شیب دمایی بالاتر میان مذاب و فوم باعث می شود که مقدار بیشتری از فوم تبخیر شده و کسر بالاتری از آن به فازهای گازی تبدیل گردد در نتیجه فشار برگشتی در جبهه مذاب افزایش می یابد. البته این فشار برگشتی بالای ایجاد شده در منطقه سیپتیکی، افت فشار در داخل پوشان را زیاد کرده و

باعث می شود تا گازهای بیشتری از محفظه قالب خارج گردد. بعلاوه شیب دمایی بالا میان مذاب و ماسه نیز خروج گرما را آسان می کند. همچنین دمای بالای فلز مذاب باعث ازدیاد نرخ اکسیداسیون سطحی آن شده و در نتیجه کشش سطحی مذاب را می افزاید. بنابراین اثر خالص افزایش دمای بارریزی بر نرخ پر شدن قالب بسیار کم بوده و زمان لازم برای انتقال حرارت از طریق رسانایی به ماسه، چندان تحت تاثیر قرار نمی گیرد [۱۴].

اگر کشش سطحی مذاب از حاصلضرب ارتفاع متالواستاتیکی موثر و سطح مقطع قطعه بیشتر شود، قطعه ریختگی نازک دچار نیامد خواهد شد. افزایش دمای بارریزی تاثیر محسوسی بر کشش سطحی مذاب ندارد [۱۳]. استفاده از دمای بارریزی جهت حذف نیامدها، معایبی دارد. اولاً ایجاد تغییرات کوچک در نرخ پر شدن و سیالیت، مستلزم افزایش بسیار زیاد دمای بارریزی است. ثانیاً افزایش دمای مذاب باعث ازدیاد حلالیت هیدروژن در آن شده و سبب افزایش تخلخل در قطعات می شود. بعلاوه مشاهده شده است که در دماهای بارریزی بالای 800°C هنگامیکه از پوشانی با نفوذ پذیری پایین استفاده شود، سرعت حرکت آلومینیم مذاب با افزایش دما کاهش می یابد [۱۴]. دمای بارریزی جز در مواردی که تلفات حرارتی زیادی بین پاتیل^۱ و راهگاه بارریز رخ می دهد، نبایستی بعنوان روشی جهت حذف عیب نیامد بکار رود.

۲-۴-۶- اثر اندازه مقطع راهباره بر پر شدن قالب های فومی در ریخته گری آلیاژ های آلومینیم

در فرآیند ریخته گری فومی اندازه سطح مقطع راهباره تاثیر کمی بر سیالیت مذاب دارد. بر خلاف فرآیند ریخته گری در قالب های توخالی، پر شدن قالب در فرآیند ریخته گری فومی اصولاً بوسیله خروج محصولات پیرولیزی یا نرخ عقب نشینی^۲ مواد مدل کنترل می شود. معمولاً نرخ ورود مذاب از راهباره به محفظه قالب نسبت به سرعت تجزیه شیمیایی مدل یا حذف محصولات پیرولیزی بالاتر است. به استثنای مواردی که مساحت راهباره از مقدار بحرانی (که در کمتر از آن نرخ جریان مذاب نسبت به نرخ عقب نشینی مواد مدل کمتر است) کوچکتر می باشد، سطح راهباره اثر اندکی بر سرعت پر شدن و سیالیت دارد [۱۳].

dip well -۱

recession -۲

۲-۴-۷- اثر ارتفاع متالواستاتیکی مذاب بر سیالیت آلیاژهای آلومینیم

افزایش ارتفاع متالواستاتیکی مذاب (از طریق افزایش ارتفاع راهگاه بارریز سرامیکی توخالی) سبب افزایش سیالیت مذاب می گردد و تاثیر آن بر سیالیت نسبت به دمای بارریزی بیشتر می باشد. البته در شرایط عملی ارتفاع متالواستاتیکی جز در مواردی که نرخ بارریزی یا ارتفاع ماسه قالب متغیر است، تقریباً ثابت می باشد. افزایش اندک سیالیت مستلزم تغییر زیاد ارتفاع متالواستاتیکی است زیرا علیرغم افزایش فشار اعمالی بر محصولات پیرولیزی موجود در منطقه سینتیکی، پوشان همچنان بعنوان گلوگاهی برای خروج این محصولات از محفظه قالب می باشد بنابراین اثر خالص ارتفاع متالواستاتیکی بر نرخ پر شدن و سیالیت کم است [۱۴].

تاثیر کم ارتفاع متالواستاتیکی بر سیالیت مذاب از محدودیتهای استفاده از آن جهت حذف عیب نیامد است. ایجاد تغییرات قابل ملاحظه در سیالیت نیازمند تغییر بسیار زیاد ارتفاع متالواستاتیکی می باشد که این امر سبب نفوذ مذاب می شود. Pan با افزایش ارتفاع راهگاه بارریز فومی (توپر) از ۱۰ cm به ۱۵ cm تاثیر معین و مشخصی بر سیالیت مذاب بدست نیاورد زیرا با افزایش ارتفاع راهگاه بارریز و در نتیجه افزایش حجم آن، به انرژی بیشتری جهت تجزیه شیمیایی راهگاه بارریز فومی نیاز است. البته تحقیقات وی نشان داد که راهگاه بارریز توخالی همواره سیالیت بیشتری نسبت به راهگاه بارریز فومی ایجاد می نماید. Pan علت این امر را به کاهش تلفات حرارتی مذاب در راهگاه بارریز توخالی قبل از ورود به قطعه، نسبت داده است. بنابراین استفاده از فشار متالواستاتیکی جهت حذف عیب نیامد فقط در مواردی که امکان استفاده از راهگاه بارریز توخالی وجود دارد، مفید می باشد [۱۴].

۲-۵- رفتار پر شدن مذاب در فرآیند ریخته گری فومی

حضور مدل فومی در حین پر شدن قالب، از خصوصیات منحصر بفرد فرآیند ریخته گری فومی است. رفتار پر شدن مذاب در این فرآیند نسبت به فرآیند های معمول ریخته گری با قالب های توخالی بواسطه وجود سه عامل اساسی زیر پیچیده تر می باشد :

۱- اثر خنک کنندگی^۱ (بخاطر واکنش گرماگیر تجزیه مدل فومی)

۲- اثر بازدارندگی^۲ (بدلیل حضور مدل فومی در حین پر شدن قالب)

۳- اثر فشار برگشتی^۳ (ناشی از محصولات گازی حاصل از تجزیه فوم)

از طرفی، عواملی که بر نوع و مقدار محصولات پیرولیز فوم موثر بوده و نیز بر خروج این محصولات از طریق پوشان تاثیر گذار می باشند، رفتار پر شدن قالب ها و نیز کیفیت قطعات ریخته گری را در این فرآیند کنترل می نمایند. تحقیقات زیادی روی این جنبه از فرآیند ریخته گری فومی صورت گرفته است که اطلاعات ارزشمندی را درخصوص نقش پارامترهای موثر بر پر شدن قالب و تولید قطعات کیفی ارائه می نماید.

E. N. Pan و همکارانش از خوشه فومی شکل ۲-۱۰ جهت بررسی و مقایسه رفتار پر شدن آلیاژهای آلومینیم و چدن استفاده نموده اند. نتایج حاصل از تحقیقات آنها نشان می دهد که رفتار پر شدن قالب در چدن ریزی اصولاً تحت تاثیر نیروی جاذبه است و حضور مدل EPS تاثیر کمتری بر آن دارد. بنابراین نحوه پر شدن چدن مذاب در قالب های ریخته گری فومی تا حدی شبیه به قالب های توخالی می باشد. یعنی چدن مذاب ابتدا تمایل به پر کردن راهگاه بارریز عمودی و بالا آمدن در آن داشته و سپس بطور همزمان وارد هر دو قسمت بالایی و پایینی قالب می شود. همچنین قسمت پایینی قالب قبل از قسمت بالایی آن پر می شود.

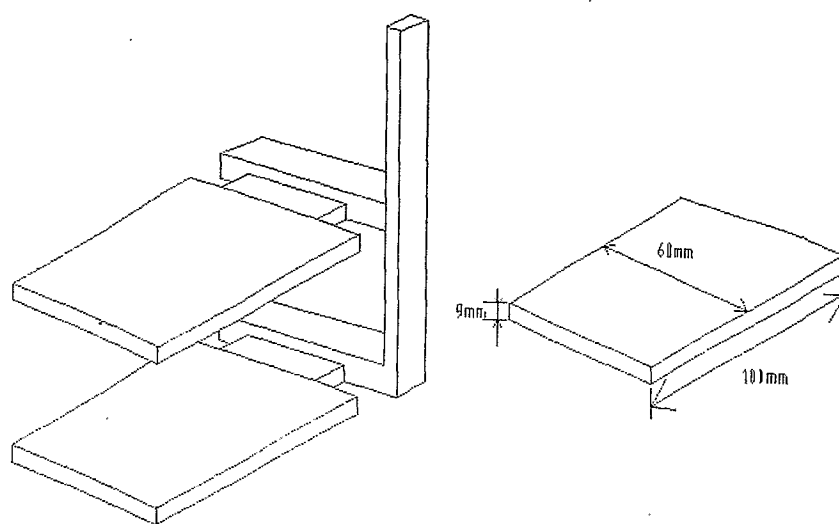
رفتار پر شدن آلیاژهای آلومینیم در این فرآیند تحت تاثیر حضور مدل EPS در قالب بوده و نقش نیروی جاذبه در مقایسه با چدن ریزی کمتر است. در واقع رفتار پر شدن آلومینیم مذاب بصورت مرحله ای بوده و مذاب ابتدا در قسمت بالایی قالب جریان می یابد و سپس قسمت پایینی آنرا پر می کند. بنابراین در این حالت قسمت بالایی قالب قبل از قسمت پایینی از مذاب

۱- quench effect

۲- cushioning effect

۳- back - pressure effect

آلومینیم پر می شود. این تحقیقات همچنین نشان داده است که سرعت جریان چدن مذاب در قالبهای فومی تقریباً $2 - 3/5$ برابر بالاتر از سرعت آلومینیم مذاب می باشد. در چدن ریزی مساحت کانال بارریز بر کل زمان پر شدن قالب تاثیر چندانی ندارد درحالیکه در آلومینیم ریزی افزایش سطح مقطع کانال بارریز سبب کاهش سرعت جریان مذاب شده است [۱۵].



شکل ۲-۱۰: خوشه فومی و ابعاد آن که در تحقیق E. N. Pan و همکارانش استفاده شده است [۱۵].

تحقیقات انجام شده توسط رضا غلامی پور و همکارانش نشان داده است که در ریخته گری آلومینیم در قالب های فومی افقی، با افزایش ارتفاع راهگاه بارریز جبهه مذاب یکنواختی و شکل دایره ای خود را از دست می دهد. همچنین افزایش ارتفاع راهگاه بارریز سرعت ورود مذاب به قالب را افزایش می دهد. بنابراین شکل جبهه مذاب ضمن آنکه تحت کنترل انتقال حرارت است، از جریانهای پشت جبهه نیز تاثیر می پذیرد. اگر سرعت ورود مذاب به قالب (یا ارتفاع راهگاه بارریز) کم باشد، تاثیر جریانهای مذکور نیز تقلیل یافته و شکل جبهه مذاب تحت تاثیر انتقال حرارت به سمت نیم دایره پیش می رود. همچنین زمان پر شدن قالب با افزایش ارتفاع راهگاه بارریز کاهش می یابد. می توان اظهار داشت که در فرآیند ریخته گری فومی فشار ایستایی مذاب و فشار محصولات گازی حاصل از پیرولیز فوم در فاصله گازی با هم موازنه می شوند. بنابراین وقتی فشار ایستایی مذاب افزایش می یابد، فشار در فاصله گازی بایستی افزایش یابد تا موازنه این دو فشار مجدداً برقرار گردد. این حالت با کاهش ضخامت فاصله گازی فراهم می گردد. کاهش فاصله گازی

به منزله افزایش آهنگ انتقال حرارت و در نتیجه سرعت پر شدن بالاتر قالب است. از نتایج دیگر تحقیق فوق این است که افزایش ارتفاع راهگاه بارریز سبب ایجاد جریان های شدیدتر در پشت جبهه مذاب شده و موجب افزایش شیب دمایی در جبهه مذاب می شود [۱۶].

بررسی رفتار پر شدن مذاب آلومینیم در مدل های صفحه ای از جنس بلوفوم^۱ که با روش مشاهده مستقیم توسط سعید ساقی و همکارانش صورت گرفته است (شکل ۲-۱۱) نشان می دهد که در ریخته گری فومی سطح تنگه در سیستم راهگاهی نبوده بلکه سطح جبهه مذاب و واکنش های صورت گرفته در فصل مشترک فوم/مذاب/پوشان سطح تنگه می باشد و رفتار جریان مذاب را کنترل می کند. همچنین این تحقیق نشان داده است که :

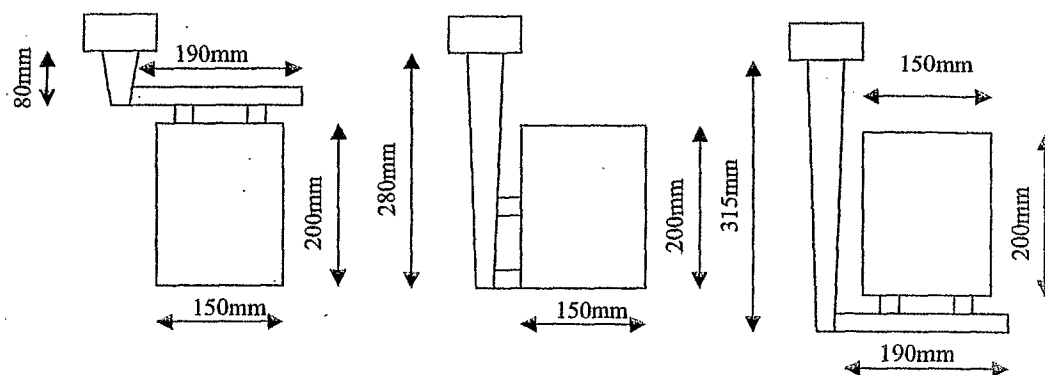
۱- بر خلاف ریخته گری در قالب های توخالی که در آن مذاب در سیستم سر ریز از پایین به بالا پر می شود، در ریخته گری توپر مذاب از بالا به پایین پر می شود.

۲- در اثر استفاده از دو راهباره بجای یک راهباره، مذاب از حرکت غیر یکنواختی برخوردار بوده و محل های برخورد جبهه های مذاب مکان تشکیل عیوبی مانند تخلخل و چین خوردگی می باشد.

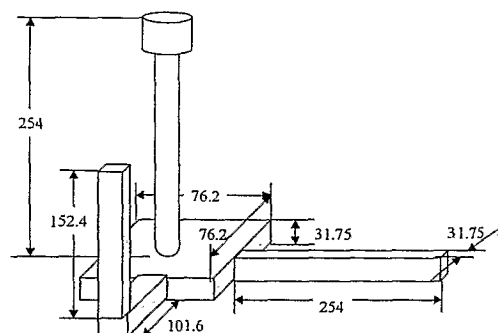
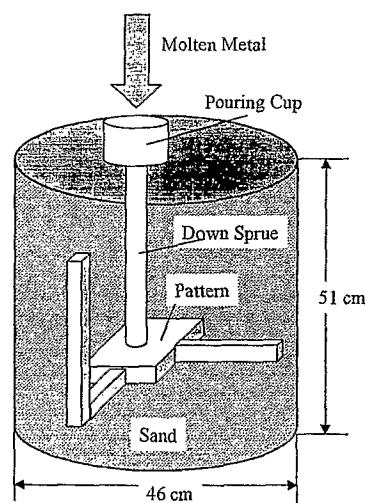
۳- برخلاف ریخته گری در قالب های توخالی مذاب به دلیل حرکت آرام خود، از اولین راهباره در مسیر خود وارد قالب شده و سپس از راهباره دوم وارد قالب می شود.

نتایج این تحقیق نشان می دهد که در سیستم کف ریز مذاب از حرکت یکنواخت تری نسبت به نوع سر ریز و پهلوی ریز برخوردار بوده و در سیستم پهلوی ریز حرکت مذاب نسبت به سیستم سر ریز یکنواخت تر است. همچنین با افزایش ضخامت مدل، حرکت مذاب یکنواخت تر می شود زیرا سطحی از مدل که محصولات پیرولیزی بتواند از آن خارج گردد افزایش یافته و در نتیجه خروج محصولات پیرولیزی تسهیل خواهد شد [۱۷].

S. I. Bakhtiyarov و همکارانش از خوشه فومی مطابق شکل ۲-۱۲ برای اندازه گیری فشار گاز حاصل از تبخیر فوم و نیز ثبت تغییرات دمایی در نقاط مختلف مدل درحین ریخته گری چدن نشکن استفاده نموده اند. در این تحقیق محاسبه عدد رینولدز برای کانال اصلی نشان داده است که رژیم جریان در کانال اصلی آرام می باشد یعنی درحین پر شدن قالب، نیروهای اینرسی نسبت به نیروهای ویسکوزی کوچکتر می باشد. در ریخته گری آلومینیم در قالب های توپر، بسیاری از



شکل ۲-۱۱: انواع سیستم های راهگاهی مورد استفاده در تحقیق سعید ساقی و همکارانش [۱۷].



شکل ۲-۱۲: مدل استفاده شده در تحقیق S. I. Bakhtiyarov و همکارانش [۱۸].

محققان رژیم جریان را از نوع متلاطم پیش بینی نموده اند. علت اصلی این امر ویسکوزیته دینامیکی یا سینماتیکی پایین آلومینیم (به ترتیب ۵ و ۱/۷ برابر) و گرمای ویژه^۱ بالای آن (۱/۴ برابر) نسبت به چدن نشکن می باشد که در این تحقیق بکار رفته است [۱۸].

درخصوص شبیه سازی نحوه پر شدن قالب در فرآیند ریخته گری فومی، مدل های مختلفی ارائه شده است تا به کمک آنها بتوان مراحل ریخته گری هر قطعه را روی صفحه نمایش کامپیوتر بصورت مجازی مشاهده کرده و در صورت صحت و سلامت قطعه، طرح و تکنولوژی مورد نظر را به خط تولید ارائه نمود. در غیر اینصورت با تغییر تکنولوژی، عملیات شبیه سازی مجدداً انجام می شود تا قطعه ای عاری از عیب به روش مجازی تهیه شده و سپس طرح مذکور برای اجرا به کارگاه ریخته گری ارسال گردد.

از جمله این مدلها می توان به مدل ارائه شده توسط محمد حسین میر باقری و همکارانش اشاره نمود که در آن از یکی از روشهای دینامیک سیالات محاسباتی موسوم به VOF^۲ جهت شبیه سازی نحوه پر شدن مدل های فومی صفحه ای با چدن خاکستری (شکل ۲-۱۳) استفاده شده است. در این مدل با استفاده از نتایج تجربی حاصل از روش فیلم برداری سرعت بالا و قانون گازهای کامل، اثر فشار بخار فوم (فشار بخار ناشی از احتراق فوم های پلی استایرن که باعث ایجاد یک فشار معکوس بر سطح مذاب در داخل محفظه قالب می شود) بصورت یک مدل ریاضی در محاسبات شبیه سازی استفاده شده است تا صحت و دقت کد شبیه سازی ریخته گری با مدل های فومی تضمین گردد [۱۹].

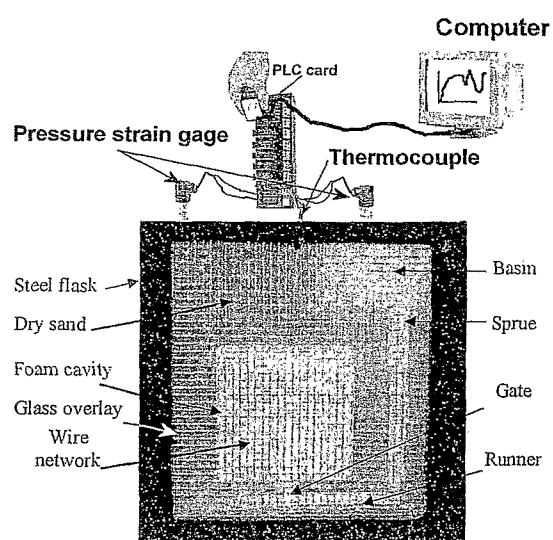
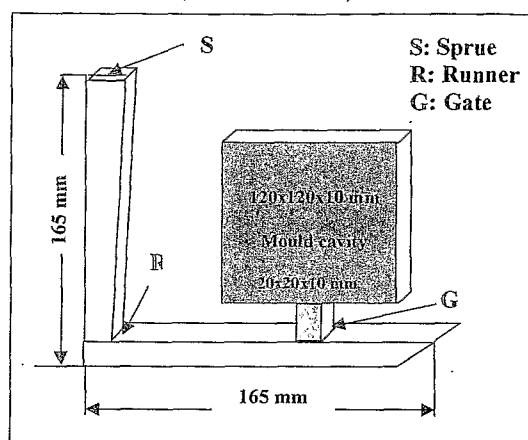
این مدل قادر است با توجه به خصوصیات پوشان مصرفی، دانسیته فوم و زمان بارریزی، مکانیزم تجزیه فوم و فشار ناشی از آنرا بدست آورد. این فشار که به فشار برگشتی موسوم است، با اعمال نیروی مخالف روی سطح مذاب و در خلاف جهت پر شدن قالب، باعث کاهش نرخ جریان مذاب به داخل قالب می شود. از اینرو زمان پر شدن قالبهای فومی عموماً اندکی طولانی تر از قالبهای معمولی است. با توجه به عوامل فوق می توان میزان ورود مذاب به قالب را کنترل نمود بطوریکه بتوان از جریانهای اغتشاشی در سطح مذاب (نه داخل مذاب) که منجر به حبس ناخالصی ها و گازها در مذاب می شود، جلوگیری کرد.

specific heat -۱

volume of fraction fluid -۲

نسبت سیستم راهگاهی

Gating system ratio
(S=1:R=1.1:G=2)



شکل ۲-۱۳: شماتیک ابعاد مدل فومی و تجهیزات بکار رفته در تحقیق محمد حسین میر باقری و همکارانش [۱۹].

۲-۶- عیوب قطعات تولید شده با فرآیند ریخته گری فومی

در فرآیند ریخته گری فومی علاوه بر عیوب متداول در قطعات ریختگی، عیوب دیگری نیز ممکن است ایجاد شود که تقریباً مختص به این فرآیند بوده و در اثر حضور مدل فومی در محفظه قالب و تجزیه شیمیایی آن در هنگام برخورد با فلز مذاب، ایجاد می گردد. این عیوب به نوع فلز مذاب نیز بستگی دارد زیرا دمای فلز مذاب بر نوع و مقدار محصولات حاصل از پیرولیز فوم تاثیر می گذارد.

۲-۶-۱- عیوب مربوط به قطعات چدنی و فولادی

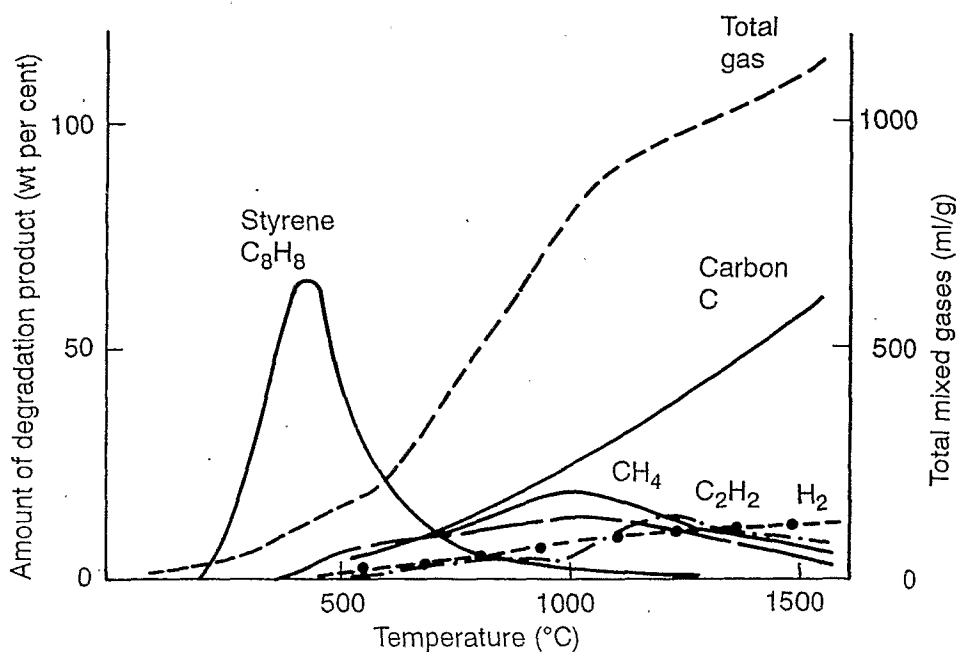
در حین ریخته گری چدن در قالب های فومی، تجزیه حرارتی پلی استایرن بصورت کامل انجام شده و گازهای هیدروژن و متان و نیز مقادیر قابل توجهی کربن آزاد ایجاد می شود (شکل ۲-۱۴). کربن، روی جبهه مذاب بصورت دوده^۱ رسوب می نماید اما سریعاً به گرافیت تبدیل می شود. البته ممکن است کربن مستقیماً بصورت گرافیت رسوب نماید. رسوب گرافیت به کربن درخشان^۲ معروف است. لایه گرافیتی ایجاد شده در دماهای چدن ریزی نسبتاً پایدار بوده و بر پیشروی و یکپارچگی جبهه مذاب تاثیر منفی می گذارد و سبب ایجاد عیوب در قطعات می شود [۲۰].

در ریخته گری فولاد، دمای بارریزی به اندازه کافی بالا بوده و سبب انحلال کربن در مذاب می شود. لذا در قطعات تولید شده از فولاد های کم کربن و متوسط کربن، مناطقی با کربن بالا ایجاد می گردد. به همین دلیل فرآیند ریخته گری فومی برای تولید قطعات ریختگی از فولادهای کم کربن و متوسط کربن بکار نمی رود. بقایای مواد پلاستیکی حاصل از پیرولیز فوم EPS، در داخل مذاب فولاد حبس شده و باعث ایجاد نواحی پرکربن (تا حدود ۰/۷ %C) می شود. این نواحی پرکربن اغلب در زیر سطوح فوقانی قطعه که بقایای مواد EPS فرصت کافی جهت شناوری و خروج از محفظه قالب را ندارند، تشکیل می شود. حتی در اثر استفاده از فوم های PMMA نیز این مشکل بطور کامل برطرف نمی شود. برخی از فولادهای پرکربن مانند فولادهای منگن دار آستینیتی که حدود ۱/۲۵ درصد کربن دارد را می توان با این فرآیند ریخته گری نمود [۲۰ و ۲۱].

در ریخته گری قطعات چدنی با سیستم های راهگاهی سر ریز و پهلوی ریز، عیوب کربنی در

carbon black -۱

lustrous carbon -۲



شکل ۲-۱۴: محصولات حاصل از تجزیه EPS در دماهای مختلف [۲۰].

سطح قطعه کمتر ایجاد می شود ولی این عیوب در درون قطعه پدید می آید زیرا بقایای مواد پلاستیکی در اثر برخورد جریانهای مذاب حبس می شوند. استفاده از سیستم راهگاهی کف ریز عیوب کربنی در داخل قطعه را کاهش داده ولی سبب ایجاد این عیوب در سطح قسمت های فوقانی قطعه مخصوصاً در مقاطع ضخیم می شود.

مقدار مواد پلاستیکی باقی مانده به ضخامت دیواره مدل بستگی دارد. از اینرو قرار دهی عمودی مدل در ماسه نسبت به حالت افقی ترجیح داده می شود. قطعات ریختگی با ضخامت $3/2 - 7/4$ mm معمولاً در این فرآیند مشکل ساز نمی باشند. در مقاطع ضخیم تر ممکن است که به تعداد بیشتر راهباره ها، دانسیته کمتر فوم، تغییر نوع ماده فوم، تغییر نوع پوشان، اعمال خلاء درحین بارریزی و سایر تغییرات نیاز باشد. طراحی قطعه و سیستم راهگاهی بایستی بگونه ای باشد که از برخورد دو جریان مذاب جلوگیری نماید. زیرا مقداری از بقایای مواد پلاستیکی توسط جبهه مذاب حمل می شود و در اثر برخورد دو جریان مذاب، این مواد در محل برخورد حبس می گردد. به همین

دلیل بایستی از ایجاد تغییرات شدید در اندازه مقطع قطعه اجتناب شود. در طراحی سیستم راهگاهی این نکته را باید در نظر داشت که جبهه مذاب درحین سیلان، بقایای مواد پلاستیکی را جمع می نماید که این مواد بایستی از محفظه قالب خارج شده و یا به طرق دیگر حذف شوند.

۲-۶-۲- عیوب مربوط به قطعات آلومینیمی

عیوب قطعات آلومینیمی تولید شده با روش ریخته گری توپر به سه گروه عیوب سطحی^۱، عیوب داخلی^۲ و چین خوردگی ها^۳ تقسیم می شود (شکل ۲-۱۵). در این بخش هر کدام از این عیوب به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته و مکانیزم های تشکیل آنها که توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است، ارائه می شود.

۲-۶-۲-۱- عیوب سطحی پوست پرتقالی^۴

این عیوب مجموعه ای از فرورفتگی های کم عمق روی سطح قطعه ریخته گری است که در اثر عدم حذف کامل محصولات پیرولیزی پلی استایرن پدید می آید. شدت و میزان عیوب سطحی معمولاً بصورت طول ناحیه سطحی که این عیوب روی آن ایجاد شده است، بیان می گردد [۲۲]. در فرآیند ریخته گری در ماسه تر، کیفیت سطحی قطعات آلومینیمی با افزایش مقدار سیلیسیم بهبود می یابد ولی تحقیقات Y. Sun و همکارانش نشان داده است که در فرآیند ریخته گری فومی با افزایش مقدار سیلیسیم، عیوب سطحی پوست پرتقالی شدیدتر می شود.

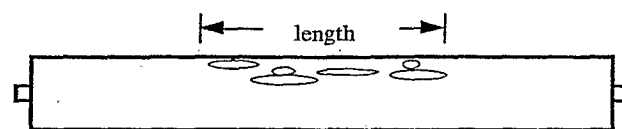
در قسمت فوقانی قطعه شدت این عیوب بیشتر بوده ولی قسمت های تحتانی آن تقریباً عاری از این عیوب می باشد. با افزایش مقدار سیلیسیم طول ناحیه متاثر از این عیوب افزایش یافته و میانگین عمق آنها نیز بیشتر شده است [۲۲]. این تحقیقات نشان داده است که طول و عمق عیوب سطحی به نوع پوشان نیز بستگی دارد بطوریکه در هنگام استفاده از پوشانی با نفوذ پذیری پایین، در قسمت فوقانی قطعه این عیوب ظاهر می شود ولی در اثر استفاده از پوشانی با نفوذ پذیری بالا این عیوب تقریباً حذف می گردد. همچنین میزان عیوب سطحی با افزایش دمای بارریزی کاهش

۴- orange peel surface defects

۱- surface defects

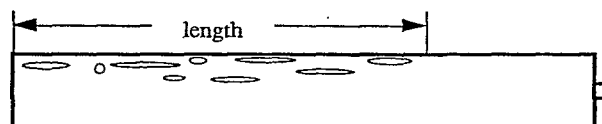
۲- internal defects

۳- laps



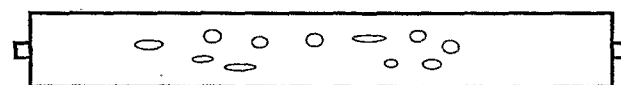
orange peel defect - two-sided gate

الف



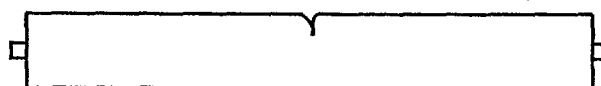
orange peel defect - side gate

ب



internal pores

ج



laps from two metal fronts

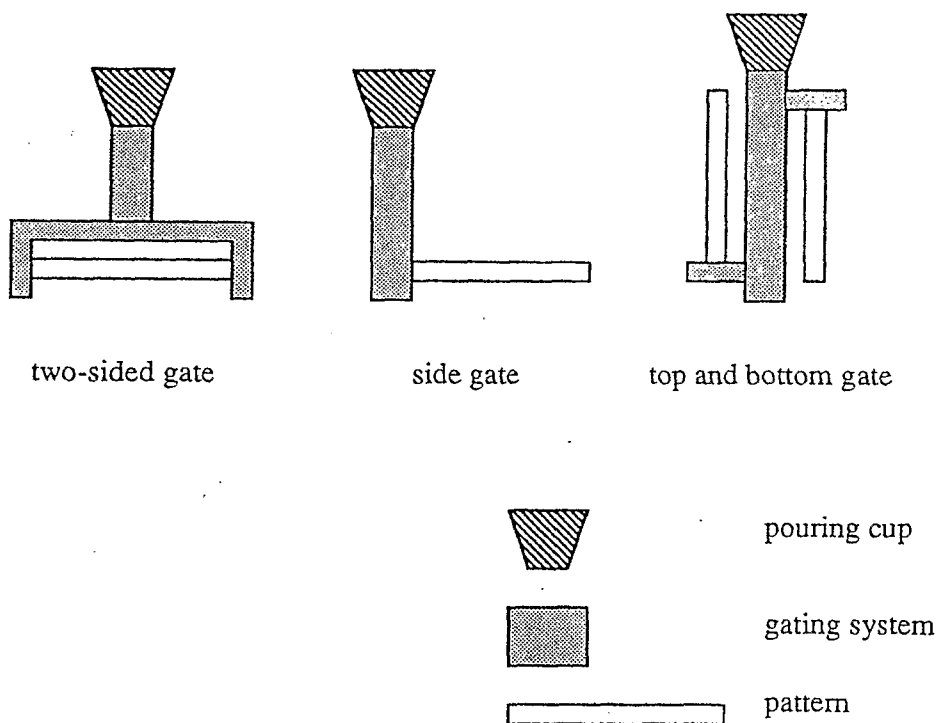
د

شکل ۲-۱۵: تصویر شماتیک انواع عیوب و روش اندازه گیری آنها، الف و ب - عیوب سطحی پوست پرتقالی ج - تخلخل های داخلی د - چین خوردگی ها [۲۲].

می یابد.

در تحقیق یاد شده، از چهار نوع سیستم راهگاهی (سر ریز، کف ریز، پهلوی ریز یکطرفه و پهلوی ریز دو طرفه^۱) و از مدل های استوانه ای به قطر ۳ cm و طول ۲۵/۴ cm جهت بررسی اثر نوع سیستم راهگاهی بر تشکیل عیوب در قطعات ریختگی آلومینیمی استفاده شده است (شکل ۲-۱۶). این تحقیق نشان داده است که فاصله ناحیه بدون عیوب سطحی از راهبار، در سیستم های راهگاهی پهلوی ریز یکطرفه و پهلوی ریز دو طرفه تقریباً یکسان می باشد ولی طول کلی ناحیه معیوب، در سیستم پهلوی ریز یکطرفه بیشتر از سیستم پهلوی ریز دو طرفه است زیرا در سیستم پهلوی ریز دو طرفه ناحیه بدون عیب دیگری در سمت دیگر قطعه وجود دارد. این موضوع نشان می دهد که ایجاد عیوب به

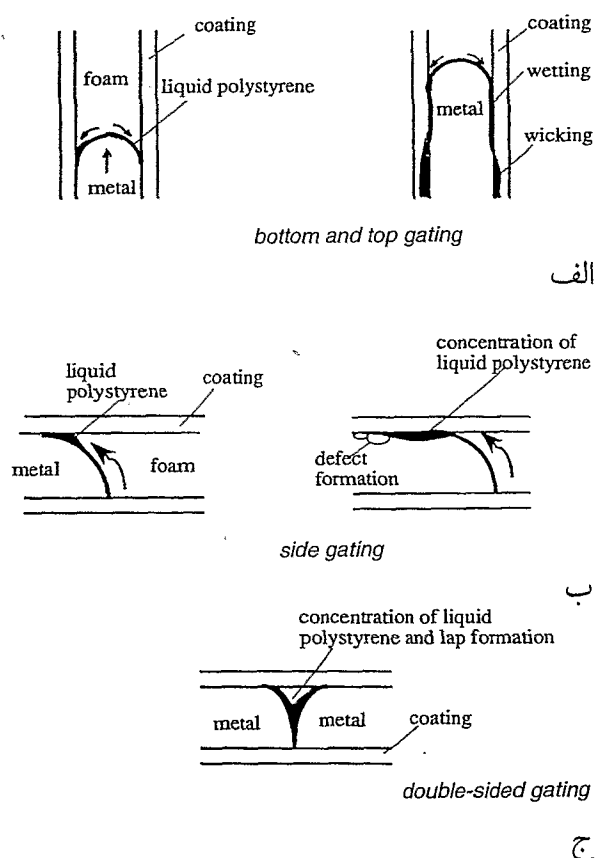
فاصله از راهباره بستگی داشته و در اثر تجمع پلی استایرن مایع حاصل از تجزیه فوم ایجاد می گردد. طول ناحیه بدون عیب در سیستم سر ریز نسبت به سیستم کف ریز بیشتر بوده است. یکی از علت های آن افت کمتر دمای جبهه مذاب در سیستم سر ریز نسبت به سیستم کف ریز می باشد زیرا در نوع کف ریز مسیر کانال اصلی طولانی تر است. دمای فلز مذاب بر حذف پلی استایرن مایع و در نتیجه بر میزان عیوب موثر می باشد. شدت عیوب در هر دو سیستم سر ریز و کف ریز در مقایسه با سیستم پهلوی ریز یکطرفه کمتر است زیرا در سیستم های سر ریز و کف ریز توزیع پلی استایرن مایع در محیط فصل مشترک پوشان و مذاب یکنواخت تر بوده و سریعتر حذف می گردد.



شکل ۲-۱۶: انواع سیستم های راهگاهی استفاده شده در تحقیق Y. Sun و همکارانش [۲۲].

Y. Sun و همکارانش پس از بررسی نتایج حاصل از تحقیق یاد شده و نیز تحقیقات قبلی، مکانیزمی برای ایجاد عیوب سطحی در قطعات آلومینیمی ارائه نمودند (شکل ۲-۱۷) که در ادامه بیان می شود [۲۲]. در ریخته گری قطعات آلومینیمی مقدار زیادی پلی استایرن مایع در حین واکنش پیرولیز ایجاد می گردد. هنگامیکه سطح جبهه مذاب صاف و محدب است، بخش اعظم پلی استایرن مایع در فصل مشترک پوشان و فلز مذاب جمع می شود. پلی استایرن مایع از طریق نفوذ به درون پوشان از

محفظه قالب خارج می گردد. پلی استایرن مایع در ابتدا بایستی پوشان را تر نماید ولی فرآیند ترشوندگی^۱ صرفاً پس از حصول دمای بحرانی میان پوشان و پلی استایرن مایع، انجام می شود. جذب^۲ پلی استایرن مایع توسط پوشان همچنان به دمای بالاتر و زمان زیاد نیاز دارد. در شرایط واقعی، پر شدن قالب سریع می باشد و فرآیند ترشوندگی و جذب ممکن است که پس از اتمام پر شدن قالب نیز ادامه یابد. چنانچه پلی استایرن مایع قبل از انجماد فلز مذاب حذف نگردد،



شکل ۲-۱۷: شکل جبهه مذاب و نحوه تشکیل عیوب در سیستم های راهگاهی مختلف که توسط Y. Sun و همکارانش پیشنهاد شده است، الف- سیستم کف ریز و سر ریز ب- سیستم پهلوی یکطرفه ج- سیستم پهلوی ریز دو طرفه [۲۲].

۱- wetting

۲- wicking

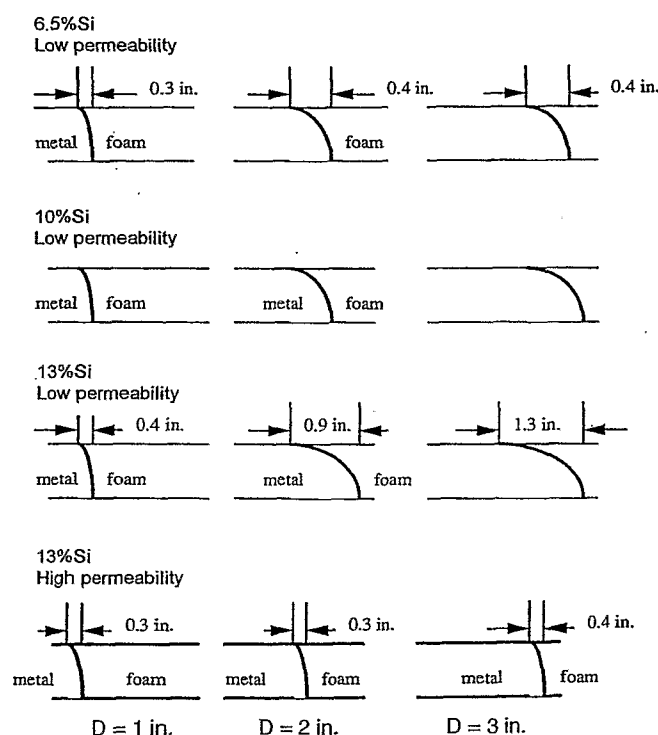
مقداری از بقایای آن در سطح قطعه بر جای مانده و عیوب سطحی را ایجاد می نماید.

در سیستم راهگاهی کف ریز پلی استایرن مایع در هنگام بالا آمدن مذاب در قالب، بصورت متقارن به محیط آن رانده می شود (شکل ۲-۱۷ الف). پلی استایرن مایع در نقاط خاصی از فصل مشترک تجمع نکرده و مقادیر کم آن مخصوصا در شرایطی که از پوشانی با نفوذ پذیری بالا استفاده شود، به سهولت حذف می گردد. عیوب سطحی اگر هم وجود داشته باشد بصورت یکنواخت در پیرامون سطح آخرین قسمتی از قطعه که با مذاب پر می شود (قسمت فوقانی) توزیع می گردد. در سیستم سر ریز نیز تقریبا مکانیزم مشابهی مشاهده شده است [۲۲].

در سیستم پهلوی ریز یکطرفه قرارگیری عمودی و متقارن جبهه مذاب پس از شروع پر شدن قالب مخصوصا در آلیاژهایی که مقدار سیلیسیم بالا می باشد، مشکل است. بنابراین جبهه مذاب بصورت منحنی بوده و پلی استایرن مایع در قسمت بالای قطعه در حد فاصل پوشان و مذاب جمع می شود (شکل ۲-۱۷ ب). در نزدیکی راهباره تجمع پلی استایرن مایع به اندازه کافی کم است و جذب آن توسط پوشان صورت می گیرد ولی با ادامه تجمع آن، در فاصله معینی از راهباره دیگر حذف کامل پلی استایرن مایع انجام نمی شود. در نتیجه عیوب سطحی در قسمت های فوقانی قطعه بوجود می آید و شدت آن در امتداد جهت پر شدن مذاب افزایش می یابد. بیشترین میزان عیوب در محل اتصال دو جبهه مذاب ایجاد می گردد (شکل ۲-۱۷ ج).

Y. Sun و همکارانش با قراردادن ترموکوپل هایی در عمق های مختلف از سطح مدل، پروفیل جبهه مذاب را در حالت های مختلف تعیین نمودند (شکل ۲-۱۸). هنگامیکه مذاب از درون راهباره به سمت قالب شروع به حرکت می نماید، سطح جبهه مذاب تقریبا عمودی بوده و پلی استایرن مایع بصورت متقارن به محیط اطراف رانده می شود در نتیجه عیوب سطحی کمتری در این نواحی ایجاد می گردد. با پیشروی بیشتر فلز مذاب، سطح جبهه مذاب بدلیل تاثیر نیروی جاذبه، کشش سطحی مذاب و واکنش های مرزی میان پوشان و مذاب دیگر بصورت عمودی یا محدب نمی باشد. در این حالت زاویه حاده ای میان سطح قالب و سطح جبهه مذاب ایجاد می گردد. پلی استایرن مایع در قسمت بالایی این زاویه جمع می شود. زاویه حاده با ادامه پر شدن قالب ظاهرا کوچکتر شده و پلی استایرن مایع بیشتری در سطح بالایی انباشته می شود. با افزایش مقدار سیلیسیم، جبهه مذاب از حالت عمودی خارج شده و پلی استایرن مایع بهسولت در قسمت فوقانی قطعه تجمع می کند. در واقع با افزایش سیلیسیم، سرعت حرکت مذاب افزایش یافته و زمان کمتری برای حذف پلی استایرن از طریق فرآیند ترشوندگی و جذب (مخصوصا در پوشانهایی با نفوذ پذیری پایین) وجود دارد. هنگامیکه مدل با پوشانی با نفوذ پذیری بالا پوشش داده می شود، تغییرات پروفیل جبهه

مذاب کم است. یعنی سطح جبهه مذاب تقریباً در تمامی مدت پر شدن قالب، بصورت عمودی باقی می ماند. در این حالت پلی استایرن مایع در محیط قطعه توزیع شده و سریعاً به درون پوشان رخنه می کند، بنابراین عیوب سطحی کمتری حتی در مقادیر بالای سیلیسیم (۱۳٪) ایجاد می گردد [۲۲].

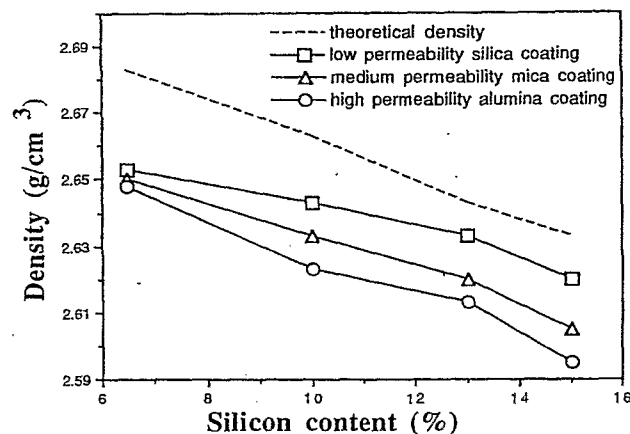


شکل ۲-۱۸: پروفیل جبهه مذاب در حالت های گوناگون که از طریق قرار دادن ترموکوپل های مختلف در مدل فومی اندازه گیری شده است (D فاصله از راهباره می باشد). [۲۲]

۲-۶-۲-۲- عیوب داخلی

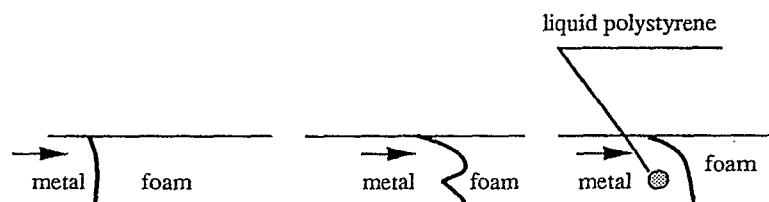
این عیوب، تخلخل های ایجاد شده در اثر حبس محصولات پیرولیزی است. روش رادیوگرافی با اشعه X جهت تعیین نحوه توزیع این تخلخل ها بکار می رود. بعلاوه، شدت عیوب داخلی از طریق اندازه گیری دانسیته کلی قطعه نیز مورد بررسی قرار می گیرد. تحقیقات Y. Sun و همکارانش نشان داده است که عیوب داخلی در اثر استفاده از پوشانی با نفوذ پذیری بالا افزایش می یابد. همچنین نمونه هایی که سیلیسیم بالایی دارند حاوی تخلخل های بیشتری می باشند [۲۲]. این تحقیق نشان داده است که در مقادیر کم سیلیسیم، اختلاف دانسیته قطعات حتی در شرایطی که از پوشانهای مختلف استفاده شده است، کمتر می باشد و با افزایش مقدار سیلیسیم تاثیر پوشانها بیشتر می شود

یعنی پوشانمایی که نفوذ پذیری پایینی دارند کمترین میزان عیوب داخلی را ایجاد می نمایند (شکل ۲-۱۹).



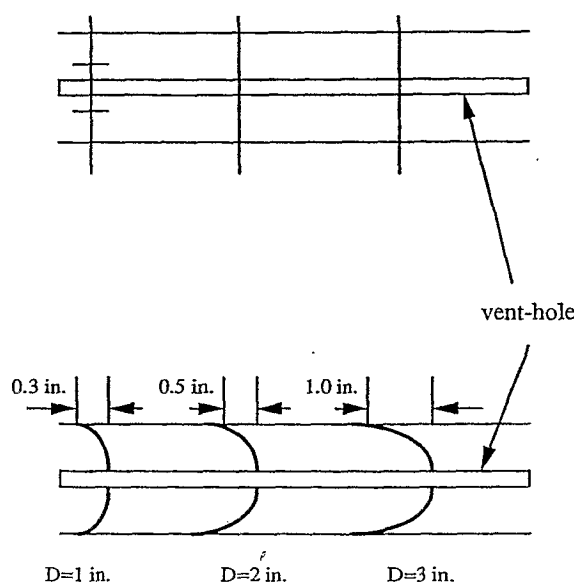
شکل ۲-۱۹: تاثیر مقدار سیلیسیم و نفوذ پذیری پوشان بر ایجاد عیوب داخلی (سیستم راهگای پهلوریز دو طرفه و دمای بارریزی 732°C) [۲۲].

چنانچه در حین پر شدن قالب در سطح جبهه مذاب ناپایداری هایی پدید آید، پلی استایرن مایع به فصل مشترک پوشان و مذاب نمی رسد. بنابراین پلی استایرن مایع حبس شده و در نهایت پس از تجزیه شیمیایی باعث ایجاد تخلخل می گردد (شکل ۲-۲۰). با استفاده از پوشان هایی با نفوذ پذیری پایین، پلی استایرن مایع کمتر در داخل قطعه محبوس می شود زیرا بخش اعظم آن به دلیل فصل مشترک شیدار فوم مایع، به محیط قطعه منتقل می گردد. ولی در اثر استفاده از پوشان هایی با نفوذ پذیری بالا، احتمالاً بدلیل سرعت بالای مذاب ناپایداری هایی در سطح عمودی جبهه مذاب ایجاد شده و در نتیجه پلی استایرن مایع قبل از رسیدن به قسمت فوقانی قطعه در داخل مذاب حبس می گردد.



شکل ۲-۲۰: تصویر شماتیک ایجاد عیوب داخلی در اثر ناپایداری فصل مشترک فوم - مذاب ناشی از سرعت های بالای مذاب [۲۲].

بکارگیری روشهایی مانند ایجاد هواکش (سوراخ) در داخل مدل (جهت تغییر شکل جبهه مذاب) عیوب سطحی و داخلی را می‌کاهد (شکل ۲-۲۱). در این حالت فصل مشترک پیکانی شکل^۱ فوم - مذاب بخش اعظم پلی استایرن مایع را بصورت متقارن به محیط قطعه منتقل می‌نماید [۲۲].



شکل ۲-۲۱: پروفیل جبهه مذاب هنگامیکه در داخل مدل سوراخی ایجاد شده است (آلیاژ Si ۱۳٪، پوشان با نفوذ پذیری پایین و دمای بارریزی ۷۳۲ °C) [۲۲].

۲-۶-۲-۳- چین خوردگی

سومین عیب مربوط به قطعات آلومینیمی چین خوردگی است. این عیب بدلیل حبس بقایای مواد پلاستیکی و کافی نبودن انرژی حرارتی مذاب جهت همجوشی کامل در هنگام برخورد دو جبهه مذاب ایجاد می‌شود. چنانچه در طراحی قطعه ریختگی از ایجاد گوشه های تیز و تغییرات شدید در اندازه مقطع جلوگیری گردد، بقایای مواد پلاستیکی حبس نشده و کیفیت قطعات بالاتر خواهد بود. با ایجاد تغییرات در سیستم راهگاهی می‌توان چین خوردگی را کاهش داد. سرد جوشی^۲ با چین خوردگی تفاوت زیادی دارد. سرد جوشی هنگامی ایجاد می‌شود که فلز مذاب نتواند بطور

۱- arrow-shaped

۲- cold lap

کامل محفظه قالب را پر کند. بعبارت دیگر چین خوردگی ها فیلم های اکسیدی حبس شده در قطعه می باشند (شکل ۲-۲۲). اگرچه معمولاً چین خوردگی ها را بصورت چشمی نمی توان مشاهده کرد ولی با حکاری^۱ طولانی مدت (۴۰ دقیقه) با سودا^۲ می توان آنها را روی سطح قطعه آشکار نمود. چین خوردگی ها بصورت فیلم خاکستری تیره و صاف و نیز بطور متقارن در هر دو قسمت سطح شکست ظاهر می شوند (شکل ۲-۲۳).

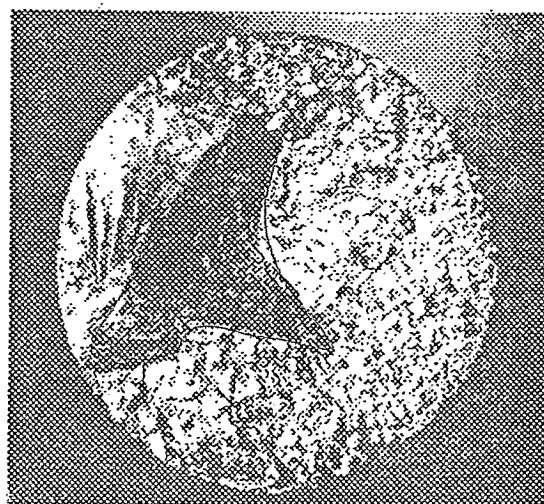


ب

الف

شکل ۲-۲۲: تصویر شماتیک چین خوردگی (الف) و سرد جوشی (ب) [۱].

آنالیز شیمیایی سطح چین خوردگی نشان می دهد که لایه کوچکی از بقایای مواد آلی، یک فیلم اکسیدی ضخیم تر را احاطه نموده است (شکل ۲-۲۴). چین خوردگی ها اغلب در مقاطعی از قطعه که بطور ناگهانی باریک می شود یا در جایی که دو جبهه مذاب به همدیگر می رسد، ایجاد می شود (شکل ۲-۲۵) [۱].



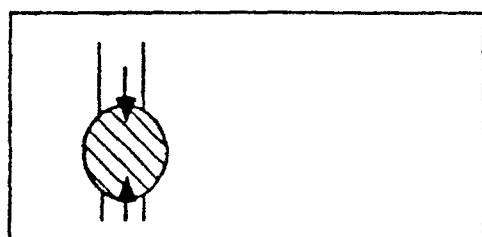
شکل ۲-۲۳: مقطع نمونه شکسته شده به قطر ۱۷ mm [۱].

etch -۱

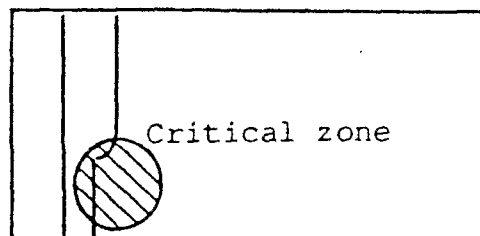
soda -۲

	50Å	100Å
	←-----→	←-----→
	Zone of Organic Residues	Zone of Al_2O_3 + MgO Oxide with a small amount of carbon
Surface of Film	C: 52%	O: 47%
	O: 28%	Al: 26%
	Al: 8%	C: 8.5%
	Si: 7%	Mg: 7.6%
		Si: 7%

شکل ۲-۲۴: آنالیز سطح فیلم که شیب تند ترکیب شیمیایی را نشان می دهد [۱].



ب



الف

شکل ۲-۲۵: مکان چین خوردگی الف-جایی که یک جریان مذاب با باریک شدن ناگهانی مواجه می شود. ب-جایی که دو جریان مذاب به هم می رسند [۱].

وجود چین خوردگی های سرد^۱ در قطعاتی که بصورت متناوب گرم و سرد می شوند، می تواند به ایجاد خستگی^۲ در آنها منجر شود. بسته به نوع قطعه چنانچه چین خوردگی در نقاط

cold folds - ۱

fatigue - ۲

حساس آن ایجاد نشده باشد، این عیب زیاد مهم نیست ولی در برخی قطعات خاص مانند سر سیلندر و بدنه موتور که بصورت متناوب گرم و سرد شده و نیز تحت فشار می باشند، نشت مایعات از یک سمت قطعه به سمت دیگر آن بوجود می آید و اگر چین خوردگی در قسمت های حساس باشد، قطعه دچار شکست نیز می شود. برای انتقال محل چین خوردگی به قسمت های غیر حساس قطعه می توان از روشهایی مانند تغییر اندازه و مکان سیستم راهگاهی یا تغییر نحوه قراردعی مدل در داخل درجه استفاده نمود. اندازه درجه و مکان سوراخهای هواکش آن و یا اعمال خلاء بر روی درجه پس از هر بارریزی نیز حائز اهمیت است. روش دیگر، افزایش ضخامت مدل فومی در نواحی غیر بحرانی است تا بتوان چین خوردگی ایجاد شده را با ماشینکاری حذف نمود[۵].

تغییر نفوذ پذیری پوشان از راه حل های دیگر است. حذف محصولات پیرولیزی از طریق پوشان موجود در مقابل جبهه پیشرونده مذاب کلید موفقیت جهت تولید قطعات آلومینیمی قابل قبول می باشد. پوشانها خروج محصولات پیرولیزی گازی به درون ماسه را با نرخ کنترل شده ای میسر می سازند. بعلاوه، پوشان ها به حذف استایرن و سایر فازهای مایع حاصل از پیرولیز از طریق جذب و انتقال به درون ماسه کمک می نمایند. گاهی اوقات به هر دو نقش یاد شده پوشانها جهت رفع عیوب نیاز می باشد[۵].

درخصوص تاثیر میزان نفوذ پذیری پوشانها در تشکیل چین خوردگی در قطعات نظریات متفاوتی وجود دارد. در برخی از منابع گزارش شده است که پوشانهای با نفوذ پذیری پایین، چین خوردگی را کاهش می دهد ولی تحقیقات Y. Sun و همکارانش نشان داده است که پوشانهای با نفوذ پذیری پایین ایجاد چین خوردگی را تشدید می کند[۲۱و۲۲]. علت ایجاد این رفتار دوگانه را می توان چنین بیان نمود که پوشانهای با نفوذ پذیری پایین بدلیل کاهش سرعت حرکت مذاب از شکسته شدن جبهه مذاب و حبس محصولات پیرولیزی جلوگیری می نماید لذا چین خوردگی کاهش می یابد.

از طرف دیگر پوشان های با نفوذ پذیری پایین، خروج فازهای گازی و مایع حاصل از پیرولیز فوم را (که در جلوی جبهه مذاب جمع شده است) کندتر کرده لذا در اثر برخورد دو جبهه مذاب بقایای مواد پیرولیزی در محل برخورد حبس شده و چین خوردگی افزایش می یابد. بنابراین برای بیان تاثیر میزان نفوذ پذیری پوشان در ایجاد چین خوردگی بایستی این دو حالت را در نظر داشت. لذا درخصوص اثر نفوذ پذیری پوشان در ایجاد چین خوردگی، نمی توان قاعده کلی بیان نمود. تحقیقات نشان داده است که کاهش دانسیته فوم و نیز کاهش مقدار سیلیسیم مذاب بروز چین خوردگی در قطعات آلومینیمی را می کاهد[۲۱و۲۲].

سعید ساقی و همکارانش جهت بررسی نقش مکان سیستم راهگاهی بر سلامت قطعات آلومینیومی از مدل های صفحه ای به ابعاد $10 \times 190 \times 200$ mm استفاده نموده اند [۲۳]. در این تحقیق از روش رادیوگرافی با اشعه X و نیز آزمایش خمش سه محوره جهت بررسی عیوب (چین خوردگی و تخلخل های داخلی) استفاده شده است. نتایج این تحقیق به شرح ذیل می باشد:

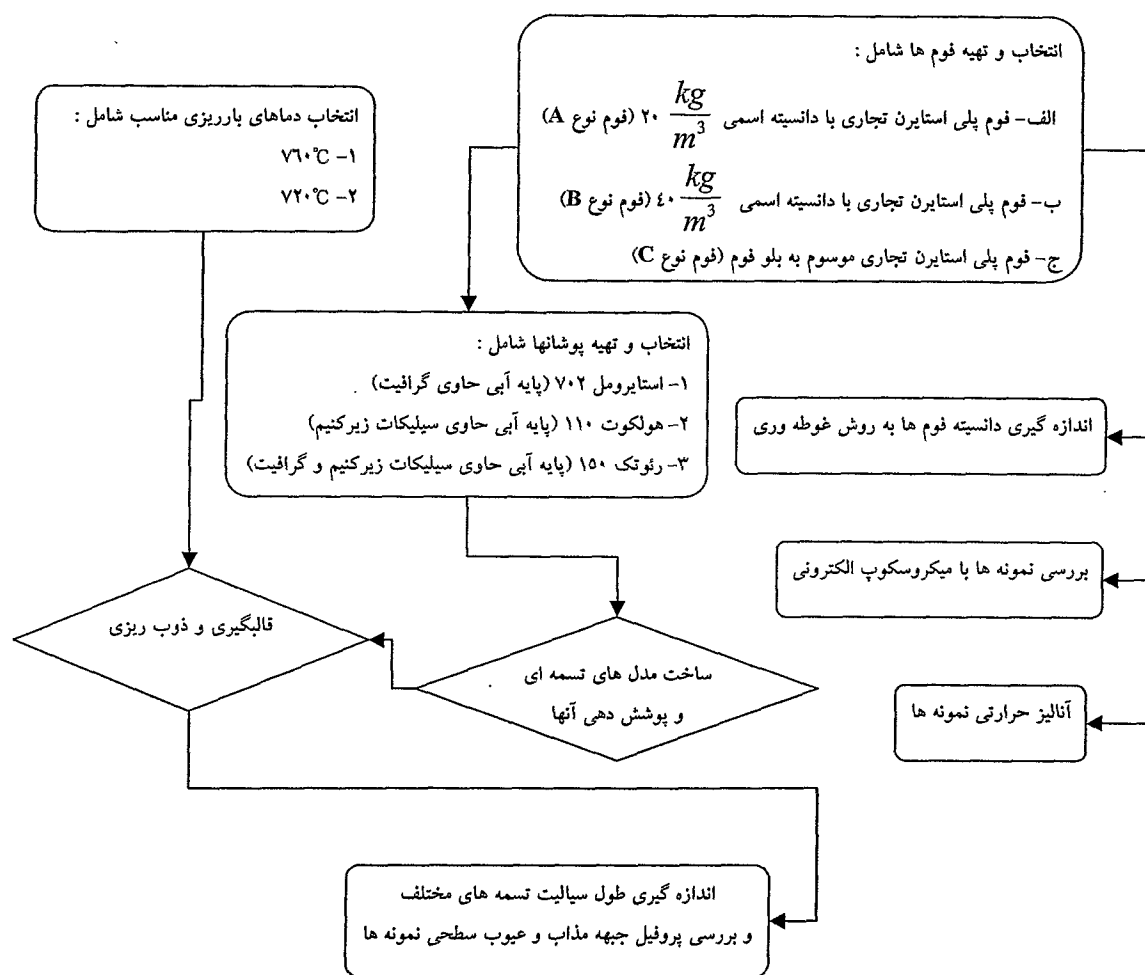
۱- استفاده از یک راهباره در سیستم های سر ریز و کف ریز عیوب کمتری نسبت به استفاده از دو راهباره ایجاد نموده است. درحالیکه در سیستم پهلوی ریز استفاده از دو راهباره عیوب کمتری نسبت به زمانی که از یک راهباره در این سیستم استفاده شود، بوجود می آورد.

۲- میزان عیوب در سیستم راهگاهی کف ریز کمتر از سیستم پهلوی ریز و آنهم کمتر از سیستم سر ریز است.

۳- وجود عیوبی مانند چین خوردگی (fold) استحکام خمشی را به شدت (مخصوصاً در سیستم سر ریز) می کاهش دهد. استحکام خمشی در اثر استفاده از سیستم کف ریز نسبت به دو سیستم دیگر مطلوب ترین می باشد.

فصل سوم : روش تحقیق

در تحقیق حاضر بر اساس متغیرهای انتخاب شده، آزمایشهای مختلفی انجام شده است که در شکل ۱-۳ نمای کلی و مراحل مختلف این تحقیق نشان داده می شود.



شکل ۱-۳ : نمای کلی از مراحل مختلف تحقیق

۳-۱- اندازه گیری خواص فیزیکی و شیمیایی فوم ها

در تحقیق حاضر خواص فیزیکی (چگالی و ریز ساختار) و شیمیایی (آنالیز حرارتی) فوم ها که از عوامل مهم و موثر بر کیفیت قطعات ریختگی می باشند، مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت.

۳-۱-۱- تهیه فوم ها و اندازه گیری دانسیته آنها

در این تحقیق، از سه نوع فوم به شرح ذیل استفاده شده است :

الف- فوم پلی استایرن تجاری با دانسیته اسمی $20 \frac{kg}{m^3}$ (فوم نوع A)

ب- فوم پلی استایرن تجاری با دانسیته اسمی $40 \frac{kg}{m^3}$ (فوم نوع B)

ج- فوم پلی استایرن تجاری موسوم به بلو فوم (فوم نوع C)

فوم های نوع A و B سفید رنگ بوده و در بازار بصورت صفحه های $200 \times 100 \text{ cm}$ و در ضخامت های مختلف با روش سیم برش داغ (hot wire) از بلوکهایی به ابعاد $200 \times 100 \times 50 \text{ cm}$ (که در اصل از طریق تزریق دانه های پلی استایرن به درون قالبهای فلزی تولید می گردند) تهیه می شوند. این فوم ها دارای ظاهر دانه ای می باشند و در عایق کاری، ماکت سازی، ریخته گری و ... بکار می روند. فوم نوع C بدلیل داشتن رنگ آبی، در بازار به بلو فوم موسوم است و صرفا جهت ماکت سازی کاربرد دارد. این نوع فوم ظاهرا در خارج از کشور تولید می گردد و در بازار بصورت صفحه های $40 \times 30 \text{ cm}$ و با ضخامتهای مختلف موجود می باشد. بلو فوم بدلیل داشتن کیفیت سطحی بسیار خوب نسبت به فوم های نوع A و B، مورد توجه قرار گرفته است زیرا کیفیت سطحی قطعات ریختگی بسیار مهم بوده و مستقیما به مدل و نوع فوم بستگی دارد. همچنین از آنجائیکه فوم نوع C ماهیت ناشناخته ای برای ریخته گران دارد لذا آگاهی از عملکرد این نوع فوم در فرآیند ریخته گری فومی و تاثیر آن بر قطعات تولیدی بسیار جالب توجه و مورد سوال می باشد. در مرحله اول از تحقیق حاضر بمنظور تعیین دانسیته دقیق فومها، چگالی آنها مطابق با استاندارد ASTM D792-00 اندازه گیری شد. این استاندارد روش تعیین دانسیته جامدات پلاستیکی را که به شکل صفحه، میله، لوله یا قطعات قالبگیری می باشند، ارائه می نماید. دستور العمل ذکر شده برای اندازه گیری دانسیته در این استاندارد، به شرح زیر است :

۱- دمای آب را اندازه گیری کرده و ثبت کنید. آب مصرفی بایستی عاری از هوای آزاد و مواد معدنی باشد (آب مقطر).

۲- وزن نمونه هایی با محدوده وزنی $10 \text{ g} - 1$ را با دقت 0.1 mg و نمونه هایی با دامنه وزنی $50 \text{ g} - 10$ را با دقت 1 mg در هوا تعیین کنید.

۳- به ترازو یک تکه سیم نازک وصل کنید طوری که نمونه متصل به آن در ۲۵ میلیمتری بالای نگهدارنده ظرف قرار گیرد.

اگر از سیم استفاده می شود، نمونه ها بایستی در هوا درحالیته که از سیم آویزان هستند، توزین شوند (a).

$$\text{وزن سیم در هوا} - \text{وزن سیم و نمونه در هوا} = a$$

۴- ظرف آب را روی نگهدارنده قرار داده و نمونه (و وزنه ها در صورت وجود) را به طور کامل در آب 23°C غوطه ور نمایید. ظرف نبایستی با سیم و نمونه تماس داشته باشد.

۵- کلیه حباب های ایجاد شده را حذف کنید. طول غوطه وری سیم را بوسیله یک علامت مشخص کنید.

۶- وزن ظاهری نمونه غوطه ور شده را ثبت کنید (b).

$$\text{مجموع وزن نمونه، وزنه و سیم که در آب غوطه ور شده اند} = b$$

۷- بمنظور جلوگیری از کاهش میزان جذب آب توسط نمونه، اندازه گیری وزن را سریع انجام دهید.

۸- وزن سیم و وزنه ها را در آب به همان مقداری که غوطه ور شده بودند، اندازه گیری نمایید (w). چگالی نسبی و چگالی فوم از روابط زیر بدست می آید:

$$\text{چگالی نسبی (spgr}_{23/23^{\circ}\text{C}}) = a/(a + w - b)$$

$$\text{چگالی فوم (D}_{23^{\circ}\text{C}}^{\text{kg/m}^3}) = \text{spgr}_{23/23^{\circ}\text{C}} \times 997.5$$

برای اندازه گیری چگالی فوم های A، B و C بر اساس دستورالعمل استاندارد فوق از هر نوع فوم، دو نمونه به ابعاد $5 \times 5 \text{ cm}$ با روش سیم برش داغ بریده شد. ضخامت تقریبی نمونه های تهیه شده از فوم های A، B و C به ترتیب ۲، ۲ و ۳ سانتیمتر بود. دو سطح از شش سطح جانبی نمونه های مکعب مستطیلی شکل، سطوح اولیه نمونه های خریداری شده (as fabricated) بود و الباقی سطوح، سطوح حاصل از برش با سیم داغ بود. جهت اتصال نمونه ها به وزنه ها و سیم، دو سوراخ در دو انتهای قطر نمونه های مکعب مستطیلی و روی سطوح $5 \times 5 \text{ cm}$ با استفاده از میله داغ ایجاد گردید. در این اندازه گیری بر اساس امکانات و شرایط موجود، از ترازوی دیجیتالی با دقت

یک هزارم گرم جهت توزین استفاده شد. دمای هوای آزمایشگاه ۱۹ درجه سانتیگراد و دمای آب مقطر مصرفی ۱۶ درجه سانتیگراد بود. همچنین وزن سیم آویزان در هوا، $g \ 2/633$ بود.

۳-۱-۲- بررسی ریز ساختار فوم ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM)

برای بررسی ساختار میکروسکوپی فومها، از هر نوع فوم دو نمونه تهیه گردید. از نمونه اول جهت بررسی سطوح اولیه فوم های خریداری شده (احتمالاً سطوح حاصل از تماس فوم با قالب) و از نمونه دوم برای بررسی سطوح شکست فومها استفاده گردید. از آنجائیکه مواد فومی هادی جریان الکتریکی نمی باشند، لذا در مرحله اول نمونه ها با طلا پوشش داده شدند. درحین فرآیند پوشش دهی، سطوح شکست نمونه ها دچار تورم و سوختگی موضعی شده و حالت اولیه خود را از دست داد ولی این مسئله برای سطوح اولیه فوم ها، ایجاد نگردید. علت بروز چنین مشکلی برای سطوح شکست نمونه ها، میزان همجواری کمتر دانه های فوم موجود در مرکز و نیز سطوح داخلی می باشد که این مسئله سبب سست شدن اتصال دانه ها به همدیگر می شود. میزان همجواری دانه های واقع در سطوح اولیه فومها بدلیل تماس نزدیکتر با بدنه گرم قالب فلزی درحین فرآیند تولید، بمراتب بیشتر از دانه های مرکزی بوده در نتیجه اتصال این دانه ها محکمتر و پایداری آنها بیشتر است. بنابراین فقط بررسی ساختار میکروسکوپی سطوح اولیه نمونه های خریداری شده میسر گردید.

۳-۱-۳- آنالیز حرارتی^۱ (TGA) فوم ها

به منظور بررسی و مقایسه رفتار حرارتی فوم ها در اثر گرمای مذاب، نمونه ها تحت آزمایش آنالیز حرارتی (TGA) قرار گرفتند. در این آزمایش نمونه های تمیزی از هر نوع فوم و با وزن مشخص تهیه گردید و در محفظه دستگاه TGA قرار داده شد. بر اساس مقادیر انتخاب شده برای متغیرهای این آزمایش در تحقیقات مشابه، نمونه ها تحت اتمسفر N_2 و با نرخ $10^\circ C/min$ از دمای ۴۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شدند [۲۶ و ۵]. با انجام این آزمایش، درصد کاهش وزنی نمونه ها برحسب دما، بصورت منحنی هایی رسم گردید.

۳-۲- طراحی آزمایش ها

با توجه به تعداد متغیرهای انتخاب شده برای فوم، پوشان و دمای بارریزی، تعداد کل آزمایشهای سیالیت ۱۸ مورد می باشد که شرایط و شماره آنها در جدول ۳-۱ نشان داده شده است. در این تحقیق بمنظور ارزیابی میزان تکرارپذیری آزمایش ها، کلیه آزمایشها یکبار دیگر تکرار گردیدند که شماره آزمایش های تکراری با عدد صفر شروع می شود مثلا شماره مربوط به تکرار آزمایش ۱، ۰۱ است.

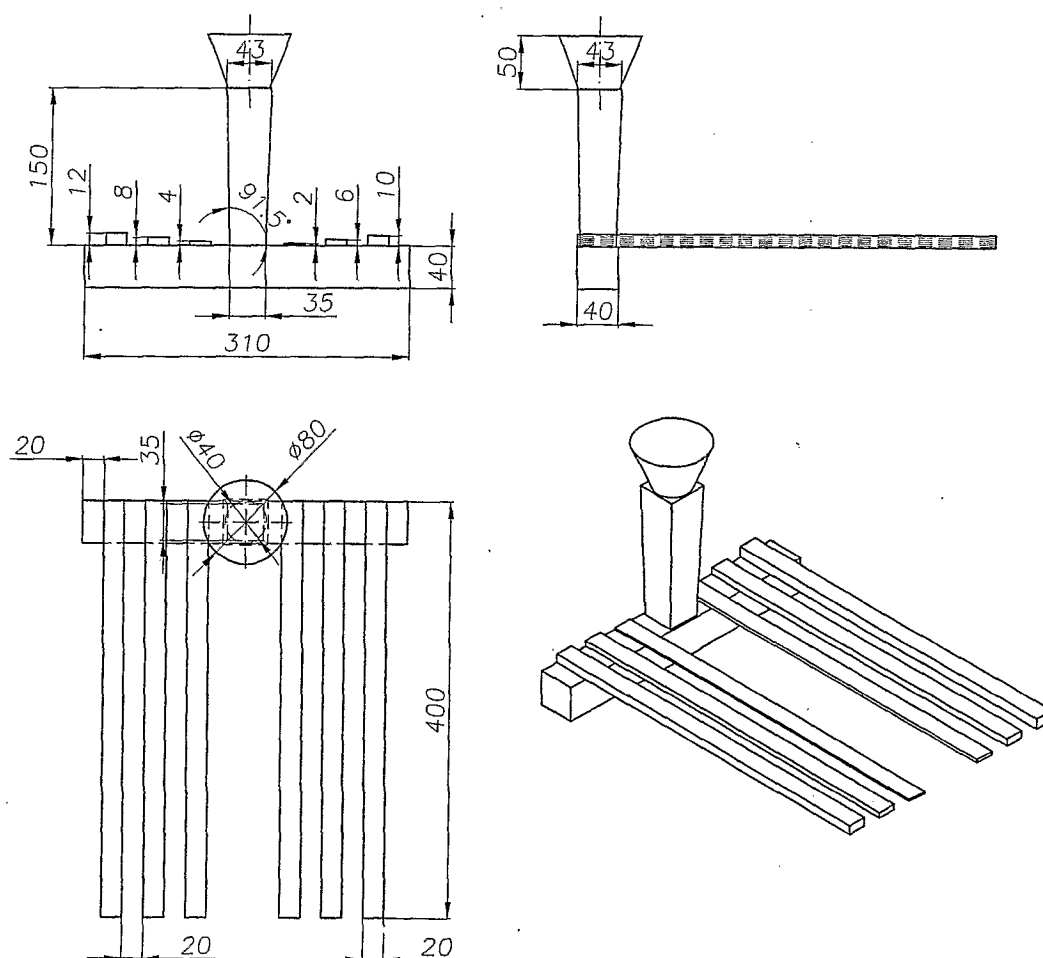
جدول ۳-۱: متغیرهای مربوط به آزمایش های انجام شده

شماره آزمایش	نوع فوم	دمای بارریزی (°C)	نوع پوشان
۱	A	۷۶۰	استایرومل ۷۰۲
۲	B		
۳	C		
۴	A	۷۲۰	
۵	B		
۶	C		
۷	A	۷۶۰	هولکوت ۱۱۰
۸	B		
۹	C		
۱۰	A	۷۲۰	
۱۱	B		
۱۲	C		
۱۳	A	۷۶۰	رئوتک ۱۵۰
۱۴	B		
۱۵	C		
۱۶	A	۷۲۰	
۱۷	B		
۱۸	C		

۳-۳- طراحی سیستم راهگاهی و ساخت مدل های فومی

در فرآیند ریخته گری فومی، اصول پذیرفته شده عمومی برای طراحی سیستم راهگاهی وجود ندارد. در این فرآیند از راهگاه بارریز و حوضچه بارریز بزرگتری نسبت به فرآیندهای ریخته گری معمولی استفاده می شود تا نرخ بارریزی تا حد امکان زیاد بوده و از ریزش دیواره های قالب و کند شدن سرعت پیشروی مذاب جلوگیری گردد. در فرآیند ریخته گری فومی آلیاژهای آلومینیم معمولا از سیستم راهگاهی سر ریز استفاده می گردد زیرا سرعت تجزیه شیمیایی فوم بقدری کند است که محفظه قالب ریزش نخواهد کرد. با این حال کنترل جریان مذاب به درون محفظه قالب به منظور اجتناب از ایجاد بقایای مواد فومی، در سیستم های سر ریز یا پهلوی ریز مشکل می باشد. در

سیستم کف ریز کنترل پر شدن محفظه قالب بیشتر است. لذا با توجه به مطالب فوق و نیز تحقیقات صورت گرفته قبلی، سیستم راهگاهی شکل ۲-۳ برای این تحقیق طراحی گردید. البته طرح مدل تسمه ای قبلا توسط امامی و کمبل جهت بررسی سیالیت کامپوزیت های ذره ای TiB_2 در زمینه فلزی، بکار گرفته شده است [۲۷]. در تحقیق حاضر، ایده اولیه برای طراحی مدل و سیستم راهگاهی نیز از تحقیق مذکور گرفته شده و با اعمال تغییراتی مطابق با آزمایش های سایر محققان، جهت ارزیابی تاثیر ضخامت مدل و سایر متغیرهای فرآیند بر سیالیت آلیاژ آلومینیم در فرآیند ریخته گری فومی استفاده شده است [۱۲، ۱۴، ۱۸، ۲۸، ۲۹، ۳۰ و ۳۱]. هر خوشه فومی از ۶ عدد تسمه تشکیل شده که طول و عرض کلیه تسمه ها به ترتیب ۴۰ و ۲ سانتیمتر و ضخامت تسمه ها ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر است.



شکل ۲-۳: تصویر خوشه های فومی بکار رفته جهت ریخته گری (ابعاد به میلیمتر می باشد).

کلیه مقاطع مدل با روش سیم برش داغ از صفحه های فومی تهیه شده، بریده شدند. دقت ابعادی تسمه های بریده شده $\pm 0.2 \text{ mm}$ و دقت ابعادی راهگاه های بارریز و کانالهای اصلی (runner) بریده شده از صفحه های فومی، $\pm 1 \text{ mm}$ بود.

در هنگام برش صفحه های فومی، لبه های آنها بدلیل دانسیته بالاتر کنار گذاشته شد و نیز قسمتهایی که دارای صدمات سطحی بودند، حذف گردیدند تا یکنواختی دانسیته فوم در کلیه مقاطع تا حد امکان حفظ شود. جهت اتصال تسمه ها و راهگاه بارریز به کانال اصلی از چسب مخصوص فوم استفاده گردید. همچنین بدلیل محدود بودن ضخامت صفحه های فومی، مقاطع راهگاه بارریز و کانال اصلی بصورت دو تکه برش داده شد و سپس با همان چسب مذکور به همدیگر چسبانده شدند. درحین چسباندن مقاطع مختلف، سعی گردید که مقدار چسب بکار رفته در کلیه خوشه های فومی ثابت و یکنواخت باشد.

۳-۴- پوشش دهی مدلها

برای پوشش دهی مدلها از سه نوع پوشان استایرومل ۷۰۲ (STYROMOL 702)، هولکوت ۱۱۰ (HOLCOTE 110) و رنوتک ۱۵۰ (RHEOTEC 150) استفاده گردید که کلیه این پوشانها از محصولات شرکت فارس ایران (فوسیکو) می باشند و با عدد بومه ۷۰-۶۵ عرضه می شوند. در جدول ۲-۳ مشخصات پوشانهای بکار رفته، ارائه شده است.

جدول ۲-۳: مشخصات پوشانهای بکار رفته جهت پوشش دهی مدل های فومی

نام پوشان	مشخصات	کاربرد توصیه شده توسط سازنده
استایرومل ۷۰۲	پوشان مشکی پایه آبی حاوی مخلوطی از گرافیت و دیرگذاهای دیگر	پوشش دهی مدل های پلی استایرن در فرآیند ریخته گری توپر
هولکوت ۱۱۰	پوشان سفید پایه آبی حاوی زیرکن	پوشش دهی قالب و ماهیچه برای ریخته گری چدن، فولاد و آلیاژهای پایه مس و نیکل
رنوتک ۱۵۰	پوشان خاکستری پایه آبی حاوی سیلیکات زیرکونیم و فیلرهای گرافیت	پوشش دهی ماهیچه های شل (shell)

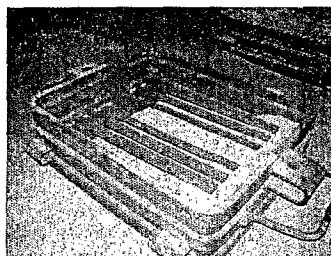
جهت پوشش دهی مدل ها با پوشانهای فوق از قلم مو استفاده گردید. بطور میانگین با دو سری رنگ آمیزی مدل ها، پوشانی با ضخامت تقریبی 0.5 mm بر روی آنها ایجاد می گردد. لازم به ذکر است که رنگ آمیزی مجدد مدلها پس از خشک شدن کامل پوشان اعمال شده در مرحله اول، صورت گرفت. پس از اتمام فرآیند پوشش دهی و نیز خشک شدن کامل پوشان در دمای محیط،

ابعاد مقطع تسمه ها با استفاده از کولیس کنترل گردید و در قسمت هایی که ضخامت پوشان بیشتر بود، پوشان اضافی با استفاده از سنباده ریز حذف گردید و بخشهایی که ضخامت پوشان کمی داشتند، مجدداً رنگ آمیزی شدند تا ضخامت مربوطه حاصل گردد. با اعمال چنین کنترلی، ضخامت پوشان ایجاد شده بر روی کلیه تسمه ها حدود $0.50 \text{ mm} - 0.45 \text{ mm}$ بود.

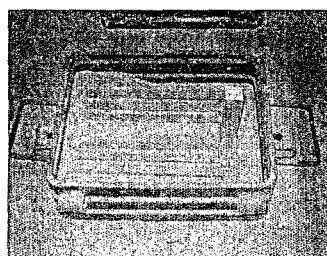
پس از اتمام فرآیند پوشش دهی، مدلها حداقل بمدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق باقی ماندند تا پوشان کاملاً خشک گردد. شایان ذکر است که در ضخامت های بالای 0.5 mm برای پوشان، تسمه های نازکتر (مخصوصاً تسمه ۲ میلیمتر) تحمل وزن پوشان اعمالی را نداشته و درحین جابجایی دچار خمیدگی و حتی گسیختگی می شدند. خمیدگی بیش از حد تسمه های نازک نیز باعث ترک خوردن پوشان می شد. ضخامت های کمتر از 0.5 mm نیز مطلوب نمی باشد زیرا در برابر جریان مذاب استحکام کافی ندارد. از آنجائیکه با گذشت زمان ذرات معلق موجود در پوشان ته نشین شده و نیز بخشی از آب پوشان مصرفی تبخیر می شود لذا در مراحل مختلف با همزدن پوشان و یا افزودن آب، سعی گردید که خواص پوشان در طول مرحله پوشش دهی ثابت نگاه داشته شود.

۳-۵- قالبگیری

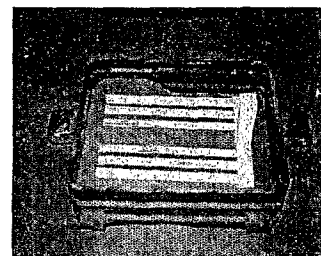
پس از پوشش دهی، خوشه های فومی در داخل درجه های فولادی به ابعاد $15 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 50$ قرار داده شد و ماسه سیلیسی بدون چسب با عدد ریزی $\text{AFS}=47$ به درون درجه ها ریخته شد (شکل ۳-۳). در شکل ۳-۴ منحنی توزیع اندازه دانه ماسه سیلیسی مصرفی در این تحقیق، نشان داده شده است. در این تحقیق بدلیل عدم دسترسی به ویراتور مناسب جهت متراکم نمودن ماسه در اطراف مدل، در چندین مرحله ماسه با وزن معینی به اطراف مدل ریخته شده و در هر مرحله با استفاده از یک کوبه دستی، کوبیده می شد تا دانسیته مورد نظر برای ماسه کوبیده شده حاصل گردد. ارتفاع ماسه کوبیده شده مدلها تقریباً 4 cm بود.



ج



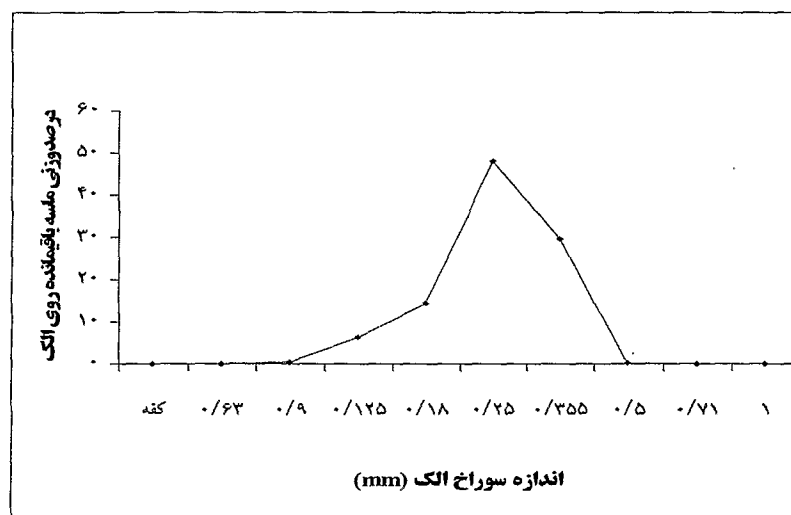
ب



الف

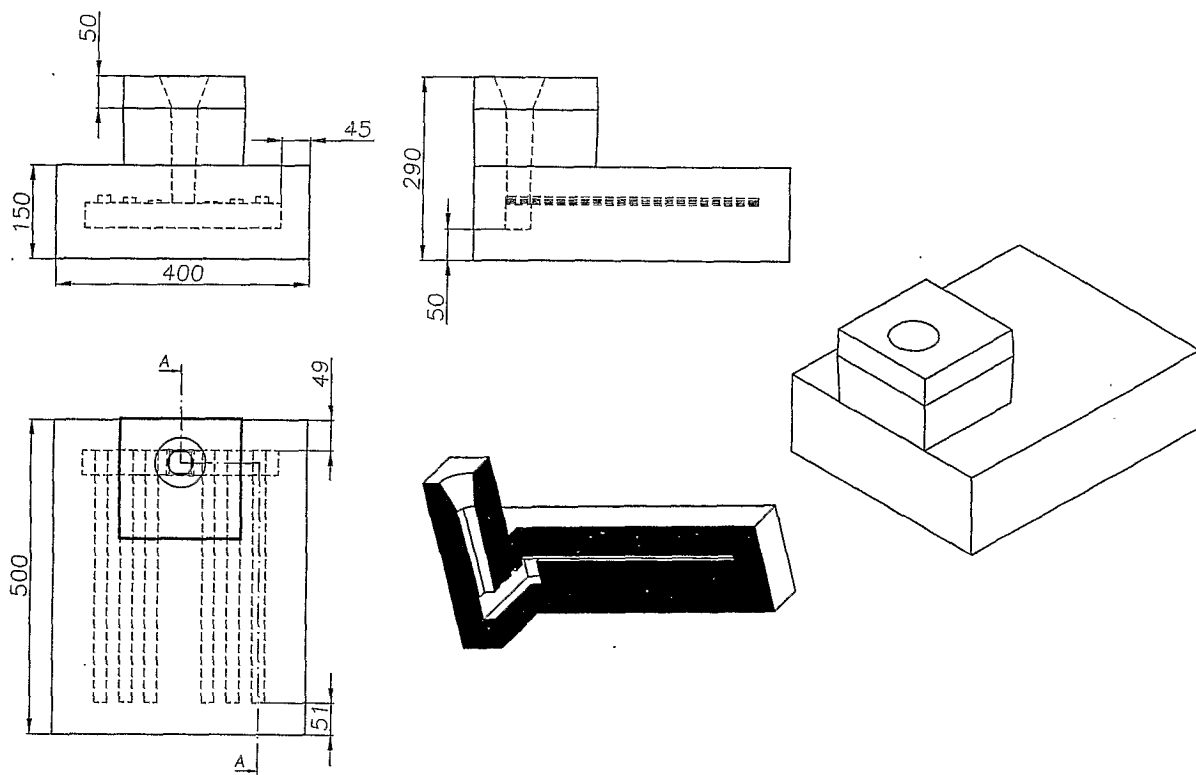
شکل ۳-۳: مدل فومی قرار گرفته در داخل درجه فولادی، الف- مدل فومی با پوشش هولکوت ب- مدل فومی با پوشش رثوتک ج- مدل فومی با پوشش استایرومل

همچنین از یک لنگه درجه آلومینیمی به ابعاد $19 \times 19 \times 9$ cm جهت ریختن و فشردن ماسه در اطراف کانال بارریز استفاده گردید به نحوی که با قرارگیری هر کدام از این درجه ها روی درجه های فولادی، خوشه های فومی بطور کامل با ماسه احاطه می شد. دانسیته ماسه متراکم شده در اطراف مدل فومی بطور میانگین $\frac{8}{cm^3}$ بود. حوضچه های بارریز مخروطی با استفاده از یک مدل چوبی و با روش قالبگیری CO_2 تهیه شدند. جهت قالبگیری حوضچه ها نیز از ماسه سیلیسی با عدد ریزی $AFS=47$ استفاده گردید و مقدار چسب سیلیکات سدیم بکار رفته، ۶ درصد بود.

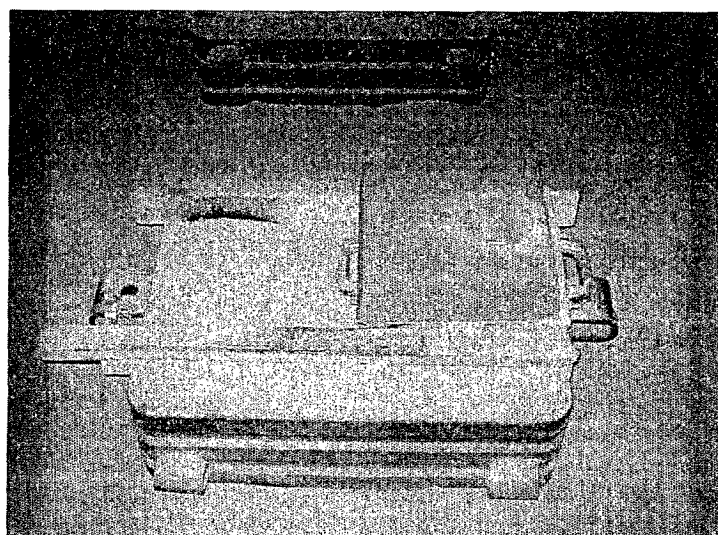


شکل ۳-۴: منحنی توزیع اندازه دانه ماسه سیلیسی بکار رفته جهت قالبگیری حوضچه های بارریزی و مدل های فومی

پس از پایان مرحله فشردن ماسه دهانه ورودی راهگاه بارریز ضمن حذف ماسه های اضافی، با بالاترین سطح درجه آلومینیمی تراز گردید و حوضچه بارریز توخالی ماسه ای روی درجه آلومینیمی قرار گرفت. در شکل های ۳-۵ و ۳-۶ تصویر شماتیک و اجرایی قالب آماده برای بارریزی دیده می شود.



شکل ۳-۵: نمای قالب مونتاژ شده و ابعاد مختلف آن (ابعاد به میلیمتر می باشد).



شکل ۳-۶: تصویر قالب آماده برای ذوب ریزی

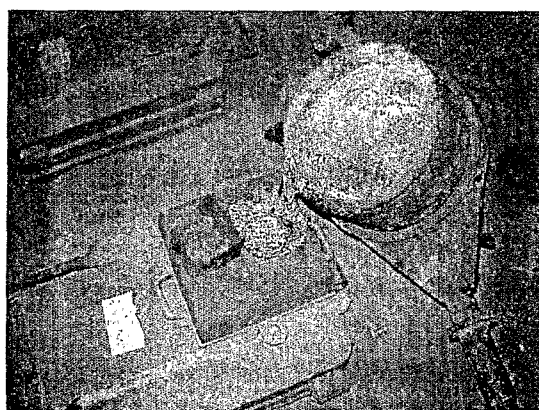
۳-۶- ذوب آلیاژ و بارریزی

پس از آماده شدن قالبها، آلیاژ آلومینیم 356.1 که از شرکت آمیژه ساز اراک خریداری شده بود در کوره بوته ای ذوب گردید. ترکیب شیمیایی آلیاژ در جدول ۳-۳ مشاهده می شود. در هر مرحله تهیه مذاب، از ۲۰ درصد برگشتی و ۸۰ درصد شمش نو جهت شارژ کوره استفاده شد.

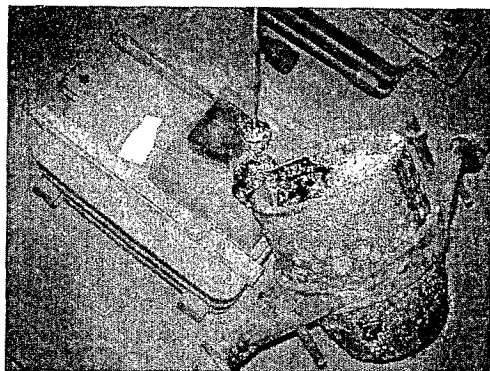
جدول ۳-۳: ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم استفاده شده جهت ریخته گری نمونه های سیالیت (درصد وزنی)

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn
bal	۶/۸۰	۰/۳۵	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۳۳	۰/۰۴	۰/۰۲	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	<۰/۰۱

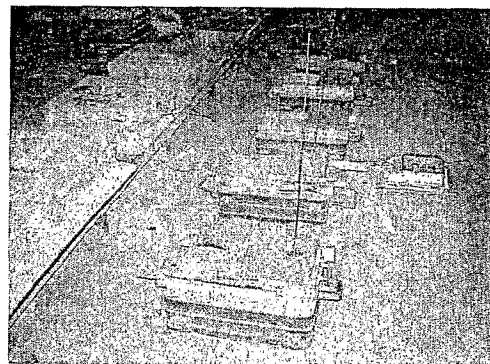
پس از آنکه شارژ بطور کامل ذوب شد، مذاب با قرص های دگازر M ۱۹۰ گاززدایی گردید. این قرصها محصول شرکت فارس ایران است و علاوه بر گاززدایی، عمل جوانه زایی را نیز انجام می دهد. پس از این مرحله و حصول دمای بارریزی مربوطه، مذاب با استفاده از کاورال ۱۱ سرباره گیری شده و سپس به درون قالب ریخته شد (شکل ۳-۷). کاورال ۱۱ نیز از محصولات شرکت فارس ایران می باشد. در این تحقیق از تویی های مخروطی گرافیتی جهت کنترل و ثابت نگه داشتن ارتفاع متالواستاتیکی مذاب در حین ذوب ریزی استفاده گردید (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۷: ریخته گری آلومینیم مذاب بدرون محفظه قالب



ب



الف

شکل ۳-۸: تصویر توپی های گرافیتی استفاده شده برای ثابت نگه داشتن ارتفاع متالواستاتیکی مذاب، الف- توپی قرار گرفته در دهانه ورودی کانال بارریز ب- خارج کردن توپی پس از پر شدن کامل حوضچه بارریزی

در تحقیق حاضر بر اساس آزمایشهای سایر محققان، از دو دمای بارریزی ۷۶۰ و ۷۲۰ درجه سانتیگراد جهت ریخته گری نمونه ها استفاده شد [۶، ۱۲، ۱۴، ۳۴]. در کلیه مراحل ذوب ریزی از ترموکوپل غلاف دار نوع R که محصول شرکت Northern Instruments (LEEDS- DPP) می باشد، جهت اندازه گیری دما استفاده شد. غلاف این ترموکوپل از نوع MMT13-250-AL بود و از شرکت صنعتی دفتر کل کالا تهیه گردیده بود. خطای اندازه گیری مجموعه ترموکوپل و غلاف آن تقریباً ± 10 درجه سانتیگراد بود.

۳-۷- اندازه گیری طول سیالیت نمونه ها و بررسی عیوب آنها

نمونه ها پس از ریخته گری و سرد شدن کامل از داخل درجه ها خارج گردیدند و پس از تمیزکاری، با استفاده از سنبه های شماره زنی مطابق جدول ۳-۱ کد گذاری شدند. سپس سیالیت (L_f) هر یک از تسمه ها اندازه گیری و ثبت گردید. دقت اندازه گیری طول سیالیت ± 1 mm بود. همچنین میزان سیالیت تسمه ها بصورت فاصله دورترین نقطه تسمه از ابتدای آن، در نظر گرفته شده است. نمونه ها از نظر ظاهری نیز مورد بررسی قرار گرفتند تا از لحاظ عیوب سطحی و پروفیل جبهه مذاب ارزیابی و مقایسه شوند.

فصل چهارم : نتایج

۴-۱- نتایج حاصل از آزمایش های اندازه گیری خواص فیزیکی و شیمیایی فوم ها

۴-۱-۱- دانسیته فوم ها

نتایج آزمایش اندازه گیری دانسیته فوم های A، B و C که به روش غوطه وری و بر اساس استاندارد ASTM D792-00 صورت گرفته است در جدول ۴-۱ نشان داده می شود.

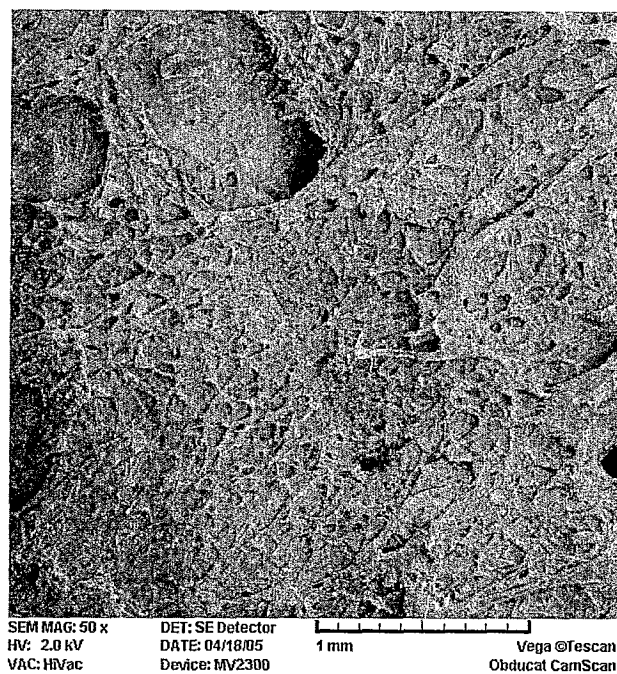
جدول ۴-۱: نتایج آزمایش اندازه گیری دانسیته فوم های A، B و C

نوع فوم	شماره نمونه	وزن سیم معلق در هوا (g)	وزن فوم + معلق + وزن سیم در هوا (وزن فوم معلق + وزن سیم در هوا) (a)	وزن فوم + وزن سیم + وزنه در آب (b) (g)	وزن سیم + وزنه در آب (w) (g)	چگالی نسبی $a/(a+w-b)$	چگالی نسبی میانگین
A	۱	۲/۶۳۳	۳/۷۳۸	۱/۱۰۵	۸/۶۱۲	$۱/۷۷ \times 10^{-2}$	$۱/۷۸ \times 10^{-2}$
	۲	۲/۶۳۳	۳/۷۸۷	۱/۱۵۴	۶/۰۰۰	$۱/۷۸ \times 10^{-2}$	
B	۱	۲/۶۳۳	۴/۷۲۳	۲/۰۹	۴/۳۲۵	$۴/۶۳ \times 10^{-2}$	$۴/۶۴ \times 10^{-2}$
	۲	۲/۶۳۳	۴/۷۳۳	۲/۱	۴/۳۹۴	$۴/۶۵ \times 10^{-2}$	
C	۱	۲/۶۳۳	۴/۲۰۴	۱/۵۷۱	۱۰/۰۰۰	$۳/۲۳ \times 10^{-2}$	$۳/۲۵ \times 10^{-2}$
	۲	۲/۶۳۳	۴/۲۱۸	۱/۵۸۵	۱۰/۱۶۵	$۳/۲۷ \times 10^{-2}$	

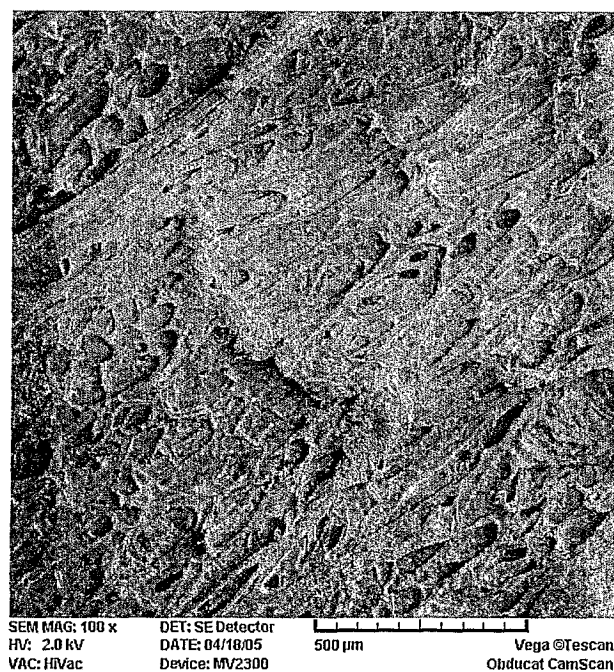
بر اساس نتایج حاصله، فوم نوع A دارای کمترین مقدار دانسیته بوده و دانسیته فوم نوع B بیشترین مقدار است.

۴-۱-۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های فومی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی فوم های A، B و C در شکل های ۴-۱ تا ۴-۳ نمایش داده می شود. بطور کلی از هر فوم دو تصویر با دو بزرگنمایی مختلف گرفته شد و همانگونه که در بخش ۳-۱-۲ توضیح داده شده است، این تصاویر مربوط به سطوح اولیه فوم های خریداری شده می باشد.

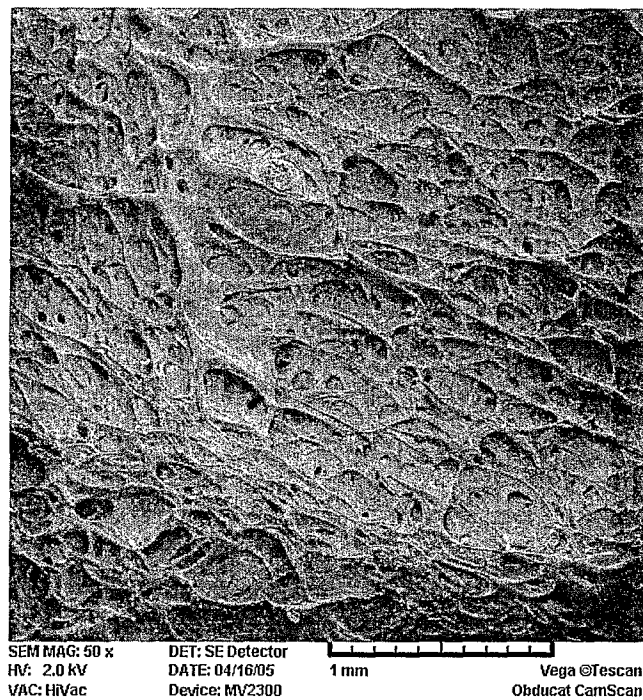


الف

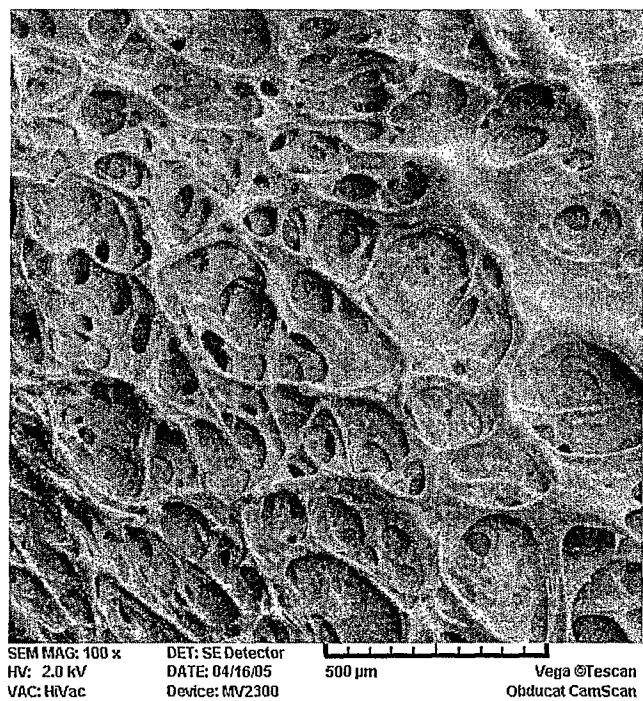


ب

شکل ۴-۱: تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطوح اولیه فوم نوع A با بزرگنمایی ۵۰ (شکل الف) و با بزرگنمایی ۱۰۰ (شکل ب).

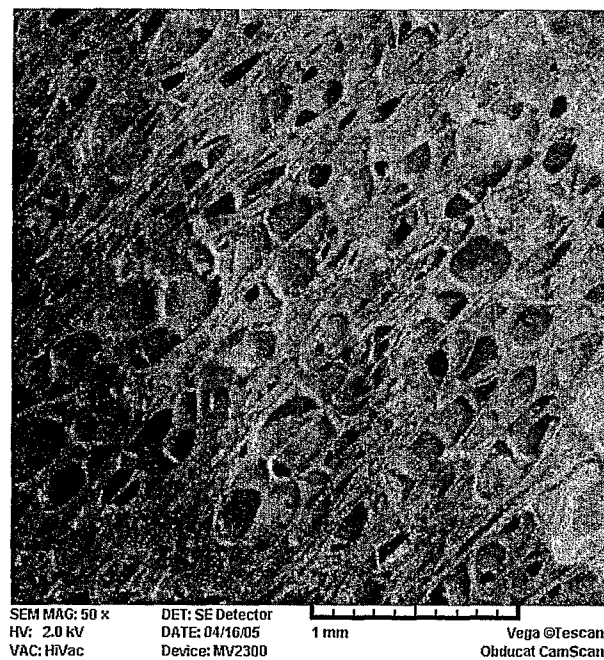


الف

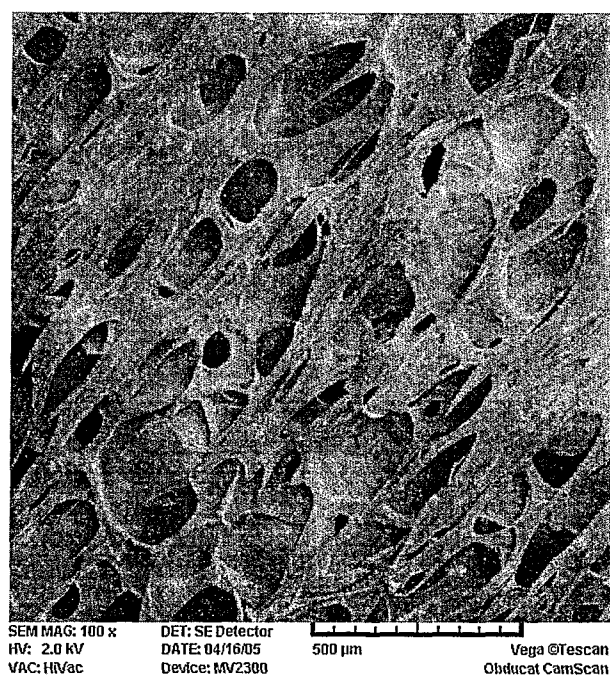


ب

شکل ۴-۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطوح اولیه فوم نوع B با بزرگنمایی ۵۰ (شکل الف) و بزرگنمایی ۱۰۰ (شکل ب).



الف



ب

شکل ۳-۴: تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطوح اولیه فوم نوع C با بزرگنمایی ۵۰ (شکل الف) و با بزرگنمایی ۱۰۰ (شکل ب).

فوم های A و B در حالت میکروسکوپی بصورت دانه ای می باشند که ناشی از اتصال دانه های EPS به همدیگر است و تصاویر میکروسکوپی فوم های A و B در واقع تصویر یکی از دانه های EPS آن فوم ها می باشد. به همین دلیل است که در حالت میکروسکوپی اثری از بافت دانه ای مشاهده نمی گردد. از لحاظ میکروسکوپی، می توان گفت که فوم نوع C بافت تقریباً ییافی دارد و همانند فوم های A و B، بصورت دانه ای نمی باشد.

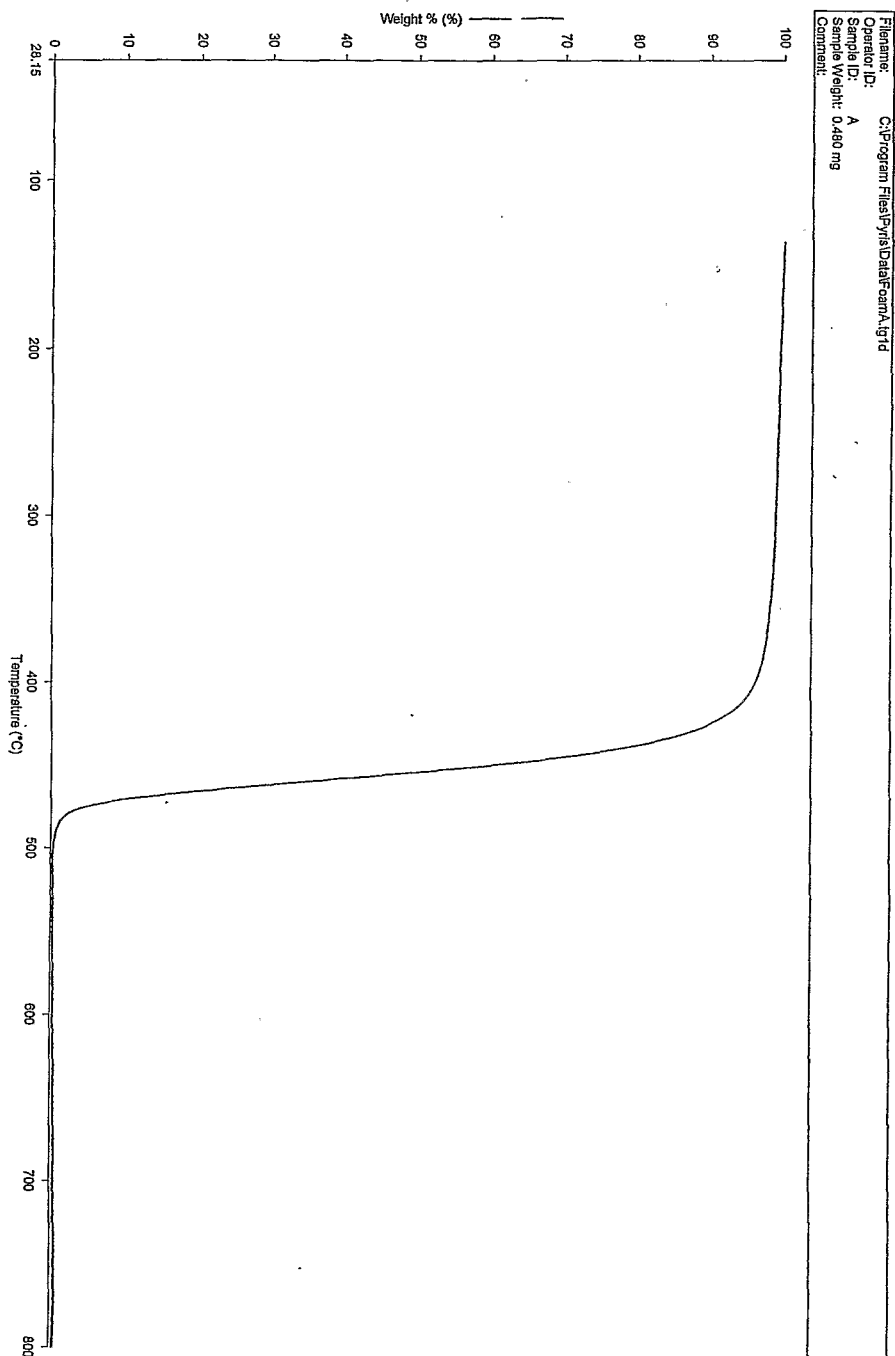
۴-۱-۳- منحنی های آنالیز حرارتی نمونه های فومی

منحنی های حاصل از افت وزنی نمونه های فومی در دماهای مختلف که از آزمایش TGA بدست آمده است، در شکلهای ۴-۴ و ۴-۵ و ۴-۶ نشان داده می شود. با استفاده از منحنیهای TGA، دماهایی که در آن وزن نمونه ها به ۹۰، ۸۰، ۵۰ و ۰ درصد مقدار اولیه می رسد استخراج گردیده و در جدول ۴-۲ نشان داده می شود.

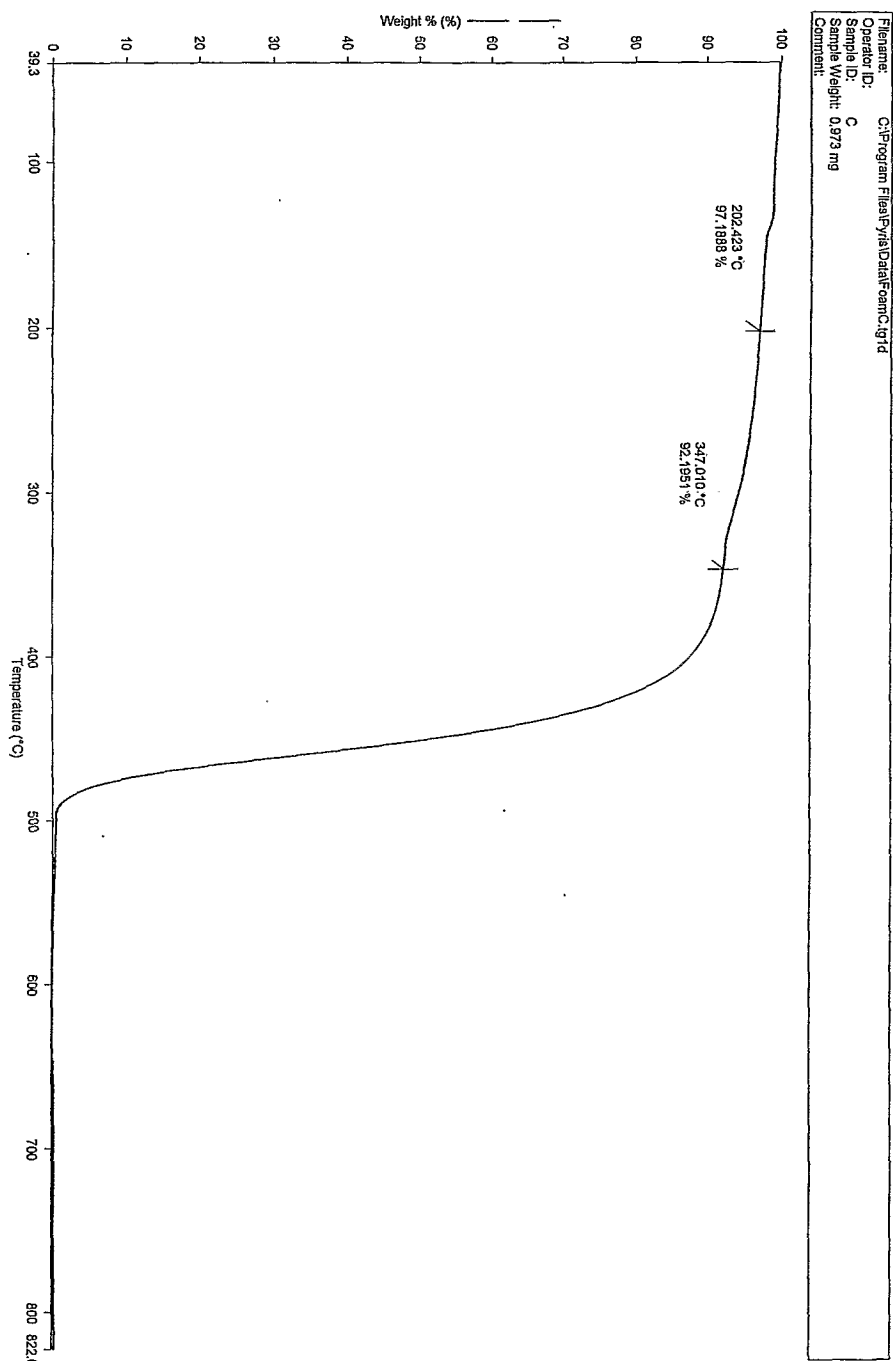
جدول ۴-۲: اطلاعات مربوط به کاهش وزن نمونه ها در دماهای مختلف

نوع فوم	دمای (°C) متناظر با ۱۰٪ افت وزنی	دمای (°C) متناظر با ۲۰٪ افت وزنی	دمای (°C) متناظر با ۵۰٪ افت وزنی	دمای (°C) متناظر با ۱۰۰٪ افت وزنی
A	۴۲۶	۴۴۰	۴۵۷	۵۱۴
B	۳۵۴	۳۸۵	۴۲۵	۴۷۱
C	۳۹۱	۴۲۳	۴۵۱	۵۸۶

چنانچه ۱۰ درصد افت وزنی نمونه ها را بعنوان نقطه شروع فرآیند پیرولیز فوم در نظر بگیریم، بر اساس اطلاعات جدول فوق می توان چنین نتیجه گیری نمود که محدوده دمایی واکنش پیرولیز برای فوم A کمترین (۸۸ درجه = ۵۱۴-۴۲۶) و برای فوم C بیشترین (۱۹۵ درجه = ۵۸۶-۳۹۱) مقدار است. همچنین فرآیند پیرولیز فوم C در دماهای بالاتری به پایان می رسد.



شکل ۴-۴: منحنی آنالیز حرارتی فوم نوع A



شکل ۴-۶: منحنی آنالیز حرارتی فوم نوع C

۲-۴- نتایج حاصل از ریخته گری نمونه های تسمه ای

۱-۲-۴- سیالیت نمونه های تسمه ای

نتایج حاصل از اندازه گیری طول سیالیت (L_f) نمونه های تسمه ای در جدول ۳-۴ نشان داده می شود. در این جدول شماره هر کدام از آزمایشها مطابق با جدول ۱-۳ بخش ۲-۳ می باشد.

جدول ۳-۴: نتایج تست سیالیت نمونه ها

شماره آزمایش	ضخامت تسمه (mm)	ماکزیمم طول سیالیت (mm) در مرحله اول	ماکزیمم طول سیالیت (mm) در مرحله دوم (تکرار)
۰۱ و ۱	۲	۹۹	۴۹
	۴	۱۷۶	۸۲
	۶	۲۲۵	۱۳۱
	۸	۲۴۷	۱۶۶
	۱۰	۳۶۰	۳۲۰
	۱۲	۳۶۸	۳۲۴
۰۲ و ۲	۲	۷۴	۵۶
	۴	۸۵	۶۵
	۶	۸۷	۷۱
	۸	۱۰۴	۷۵
	۱۰	۱۱۳	۹۲
	۱۲	۱۳۹	۸۹
۰۳ و ۳	۲	۷۱	۵۵
	۴	۶۲	۶۸
	۶	۷۱	۷۳
	۸	۸۷	۷۹
	۱۰	۹۰	۸۶
	۱۲	۹۶	۱۰۲
۰۴ و ۴	۲	۷۱	۵۱
	۴	۸۹	۱۴۶
	۶	۱۹۷	۱۸۵
	۸	۱۶۲	۲۶۸
	۱۰	۲۶۰	۲۶۲
	۱۲	۲۶۴	۳۲۲
۰۵ و ۵	۲	۵۸	۴۸
	۴	۶۵	۶۰
	۶	۶۵	۷۰
	۸	۷۷	۷۰
	۱۰	۱۰۰	۹۰
	۱۲	۱۰۶	۱۰۹
۰۶ و ۶	۲	۵۶	۴۹
	۴	۶۱	۵۸
	۶	۶۸	۶۹
	۸	۷۸	۸۰
	۱۰	۸۲	۹۲
	۱۲	۹۶	۹۴

توضیح: آزمایشهایی که رقم سمت چپ شماره آنها صفر است، آزمایشهای تکراری می باشند.

جدول ۴-۳: ادامه

شماره آزمایش	ضخامت تسمه (mm)	ماکزیمم طول سیالیت (mm) در مرحله اول	ماکزیمم طول سیالیت (mm) در مرحله دوم (تکرار)
۰۷ و ۷	۲	۷۸	۷۱
	۴	۲۰۵	۱۶۳
	۶	۲۲۰	۱۶۹
	۸	۲۶۹	۳۲۵
	۱۰	۳۴۰	۳۲۳
	۱۲	۳۹۶	۳۶۱
۰۸ و ۸	۲	۵۲	۵۳
	۴	۱۰۶	۶۸
	۶	۹۹	۱۱۵
	۸	۱۰۹	۹۲
	۱۰	۱۱۳	۱۲۸
	۱۲	۱۳۲	۱۲۴
۰۹ و ۹	۲	۹۸	۸۶
	۴	۱۰۳	۸۹
	۶	۸۳	۸۴
	۸	۱۱۲	۱۱۰
	۱۰	۹۵	۱۰۵
	۱۲	۱۰۴	۱۰۵
۰۱۰ و ۱۰	۲	۶۰	۵۵
	۴	۱۹۱	۲۲۳
	۶	۱۶۵	۳۷۰
	۸	۲۱۶	۳۹۳
	۱۰	۲۷۱	۳۹۶
	۱۲	۳۱۷	۳۹۶
۰۱۱ و ۱۱	۲	۶۱	۴۹
	۴	۷۱	۹۶
	۶	۸۴	۹۶
	۸	۱۰۱	۱۰۳
	۱۰	۱۰۹	۱۱۱
	۱۲	۱۱۹	۱۱۹
۰۱۲ و ۱۲	۲	۶۱	۶۹
	۴	۵۸	۸۰
	۶	۸۶	۸۱
	۸	۷۸	۱۰۴
	۱۰	۱۲۵	۹۱
	۱۲	۱۳۴	۱۱۱
۰۱۳ و ۱۳	۲	۱۴۰	۱۱۰
	۴	۲۲۵	۱۵۲
	۶	۲۸۴	۳۶۴
	۸	۲۳۶	۳۸۶
	۱۰	۲۹۲	۳۷۸
	۱۲	۳۹۰	۳۹۴

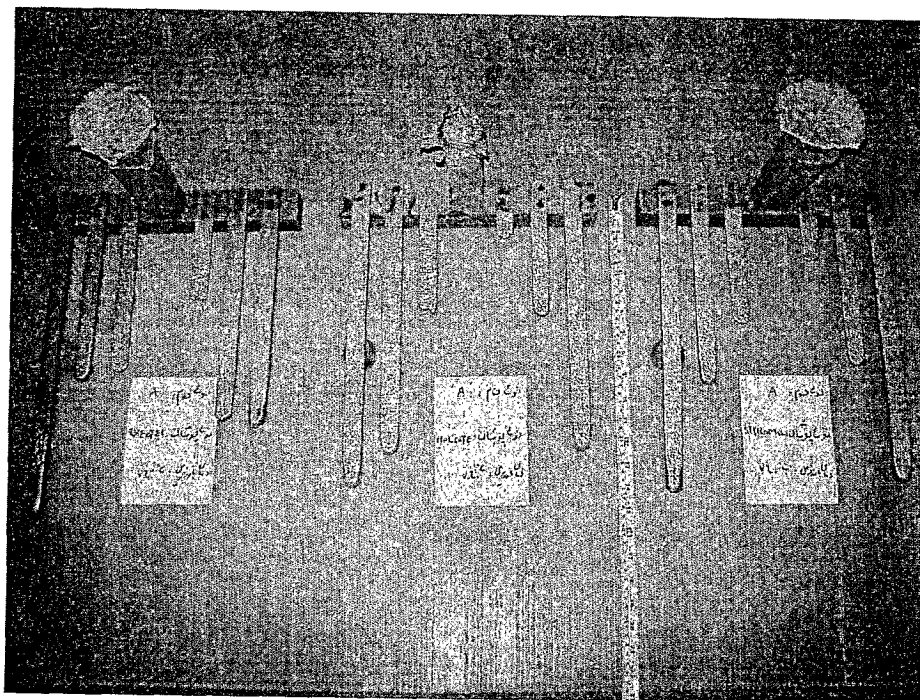
توضیح: آزمایشهایی که رقم سمت چپ شماره آنها صفر است، آزمایشهای تکراری می باشند.

جدول ۴-۳: ادامه

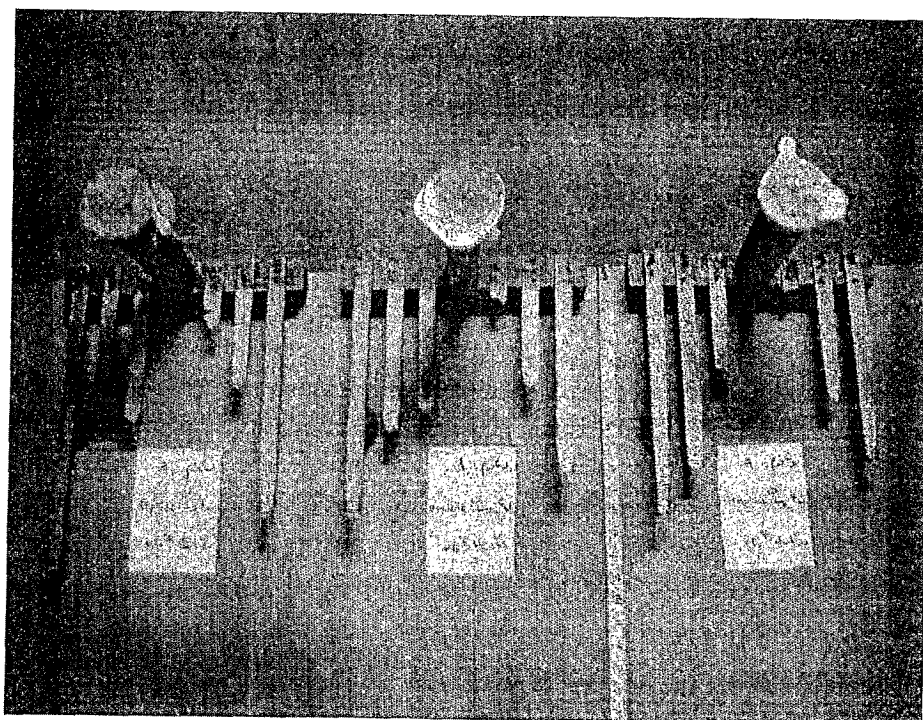
شماره آزمایش	ضخامت تسمه (mm)	ماکزیمم طول سیالیت (mm) در مرحله اول	ماکزیمم طول سیالیت (mm) در مرحله دوم (تکرار)
۱۴ و ۱۴	۲	۷۶	۵۱
	۴	۸۷	۷۵
	۶	۱۳۰	۸۹
	۸	۱۳۹	۷۷
	۱۰	۱۴۷	۸۸
	۱۲	۱۶۵	۱۱۷
۱۵ و ۱۵	۲	۶۶	۵۷
	۴	۷۳	۷۱
	۶	۷۸	۷۴
	۸	۱۲۸	۱۰۰
	۱۰	۱۲۴	۱۰۰
	۱۲	۱۵۹	۱۱۱
۱۶ و ۱۶	۲	۸۵	۵۶
	۴	۲۰۰	۸۳
	۶	۱۶۱	۳۰۰
	۸	۱۴۶	۳۹۰
	۱۰	۳۱۵	۳۳۷
	۱۲	۳۷۵	۳۴۲
۱۷ و ۱۷	۲	۶۱	۵۶
	۴	۸۲	۵۸
	۶	۹۶	۷۹
	۸	۹۱	۷۷
	۱۰	۱۰۹	۹۲
	۱۲	۱۱۴	۱۰۲
۱۸ و ۱۸	۲	۶۰	۵۱
	۴	۶۰	۶۴
	۶	۷۵	۷۲
	۸	۹۲	۸۲
	۱۰	۹۰	۹۴
	۱۲	۱۳۰	۱۰۲

توضیح: آزمایشهایی که رقم سمت چپ شماره آنها صفر است، آزمایشهای تکراری می باشند.

تصاویر مقایسه ای برخی از نمونه های ریخته گری شده در شکل های ۴-۷ تا ۴-۹ نشان داده می شود. در این تصاویر از دو نمونه ریختگی مربوط به هر آزمایش، صرفا یکی بعنوان نماینده انتخاب شده است.

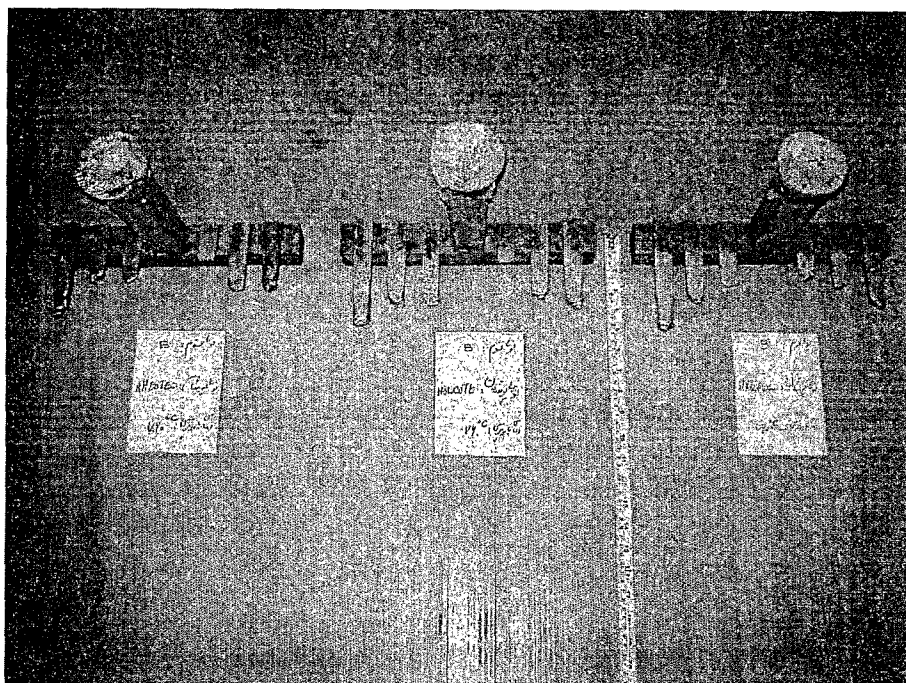


الف

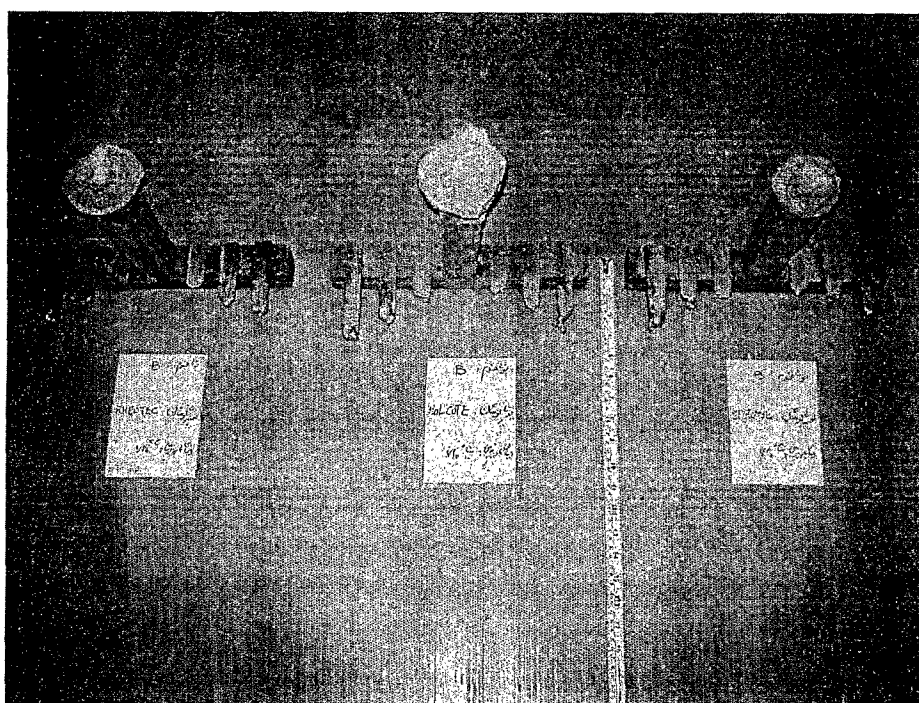


ب

شکل ۴-۷: تصاویر نمونه های ریخته گری شده مربوط به آزمایش های ۱، ۷، ۱۳ و (شکل الف) و آزمایشهای ۴، ۱۰ و ۱۶ (شکل ب) به ترتیب از راست به چپ.

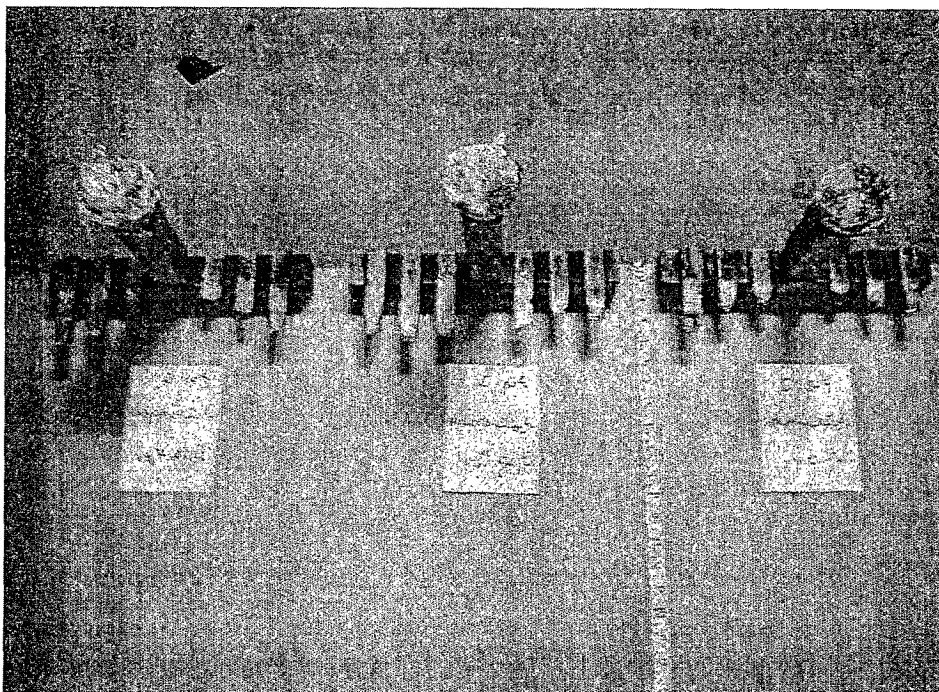


الف

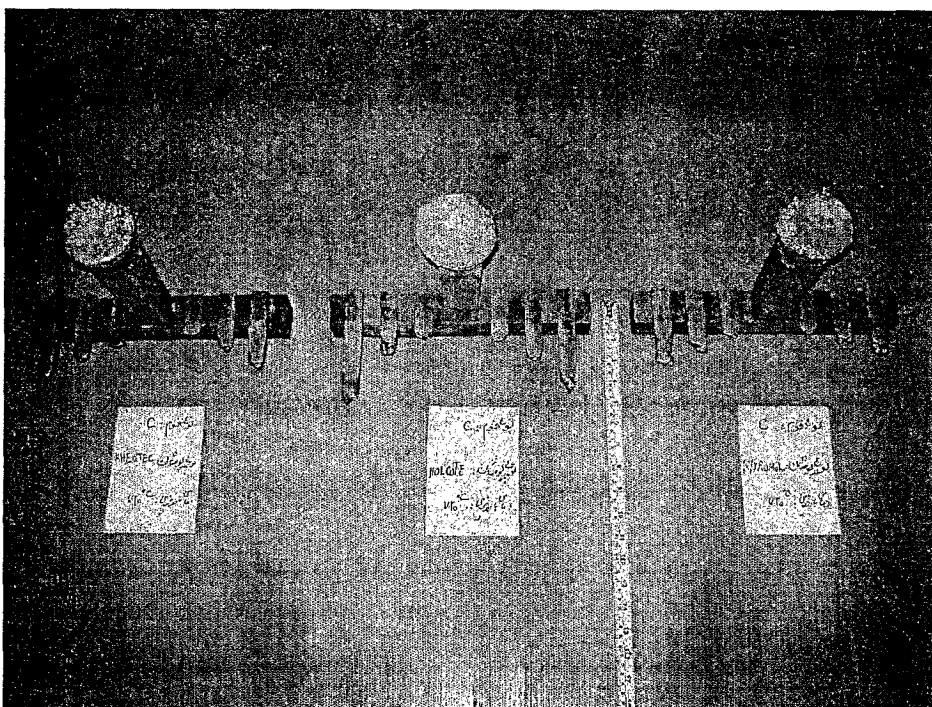


ب

شکل ۴-۸: تصاویر نمونه های ریخته گری شده مربوط به آزمایش های ۲، ۸ و ۱۴ (شکل الف) و آزمایشهای ۵، ۱۱ و ۱۷ (شکل ب) به ترتیب از راست به چپ.



الف

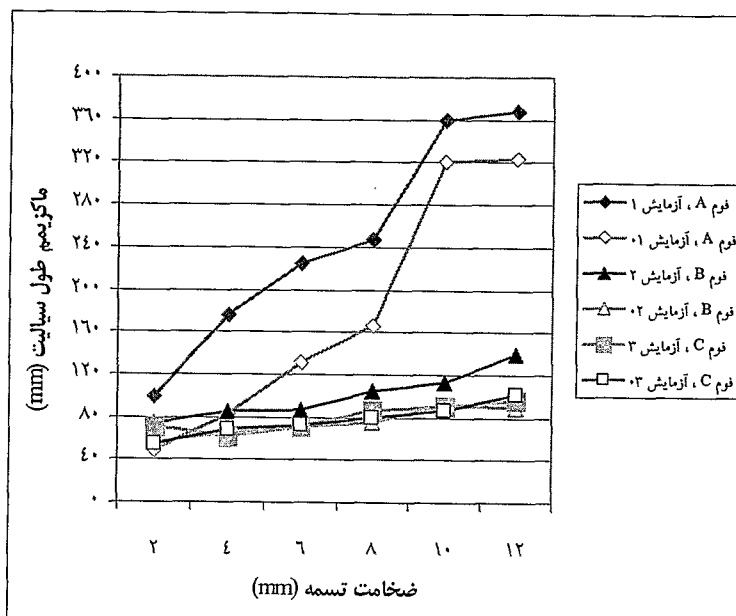


ب

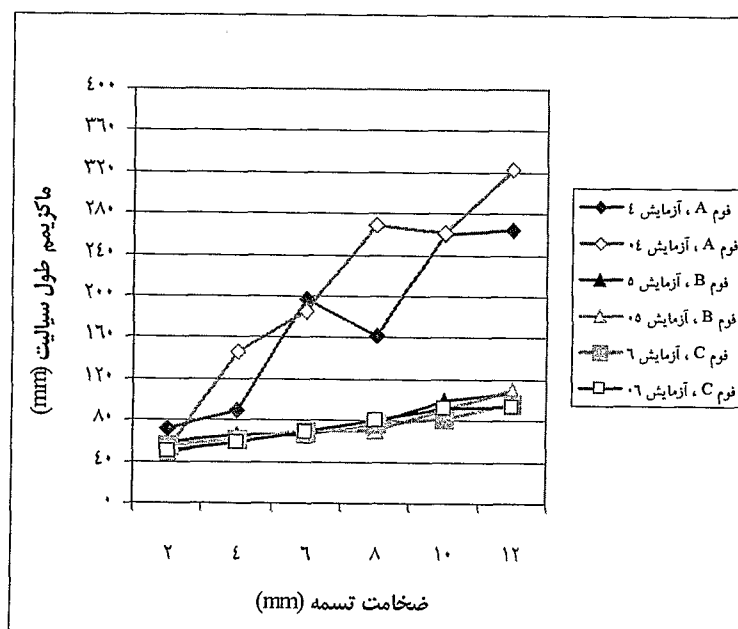
شکل ۴-۹: تصاویر نمونه های ریخته گری شده مربوط به آزمایش های ۰۳، ۹ و ۱۵ (شکل الف) و آزمایش های ۶، ۱۲ و ۱۸ (شکل ب) به ترتیب از راست به چپ.

۴-۲-۱-۱- تاثیر نوع فوم بر سیالیت

بر اساس اطلاعات جدول ۴-۳ و با ثابت گرفتن سایر متغیرهای فرآیند، اثر نوع فوم بر میزان سیالیت تسمه های مختلف بصورت منحنی هایی رسم گردیده که در شکلهای ۴-۱۰ تا ۴-۱۲ نشان داده می شود.

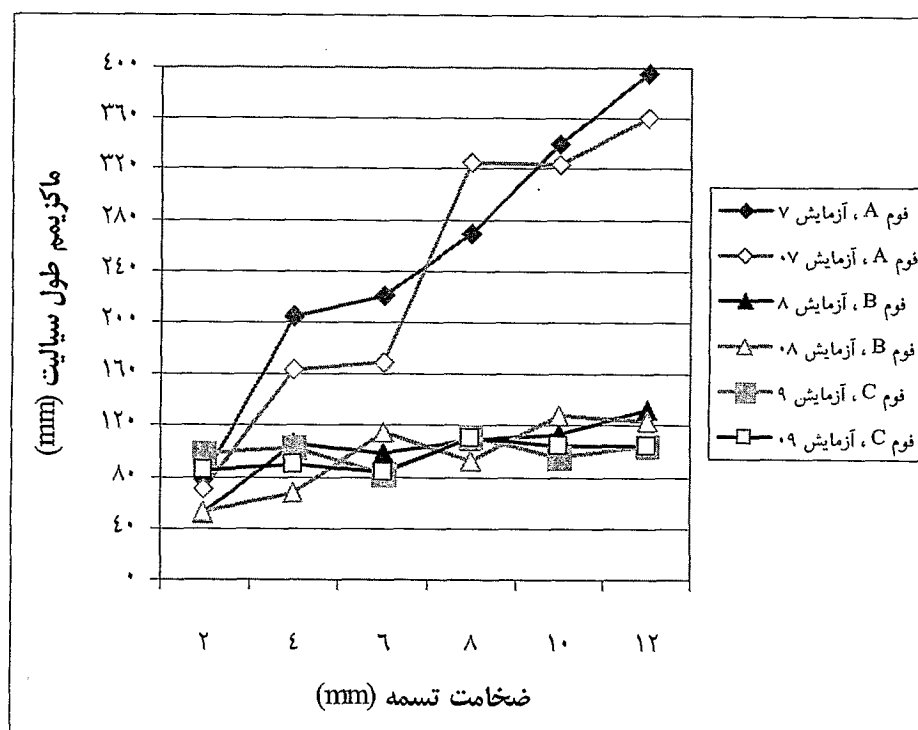


الف

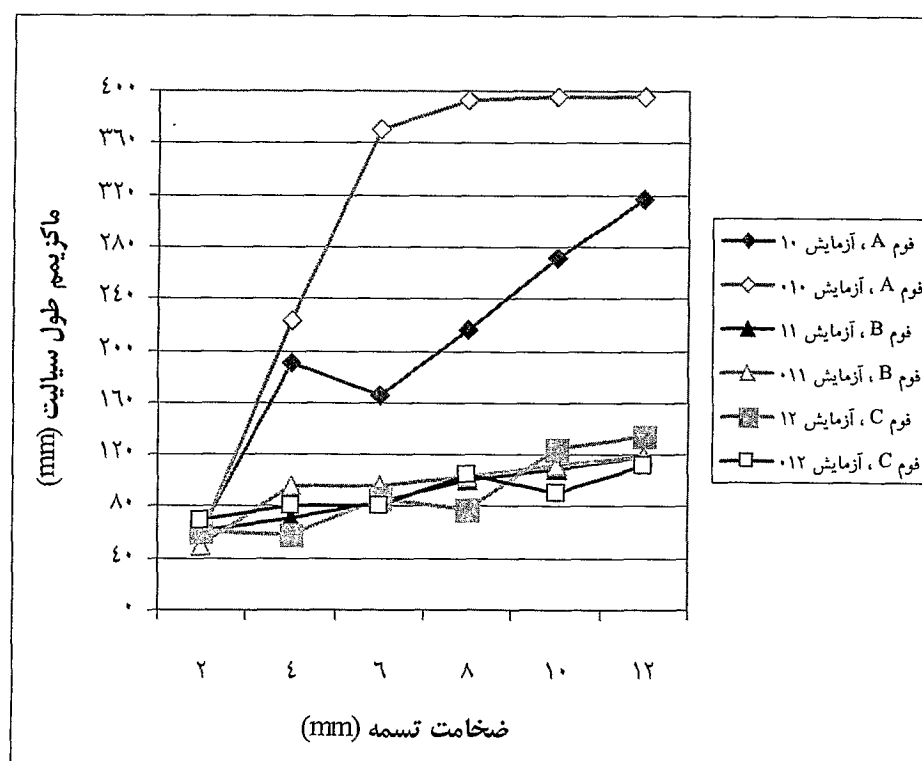


ب

شکل ۴-۱۰: اثر نوع فوم بر میزان سیالیت خوشه های فومی پوشش دهی شده با استایرومل ۷۰۲ و با دماهای بارریزی ۷۶۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه سانتیگراد.

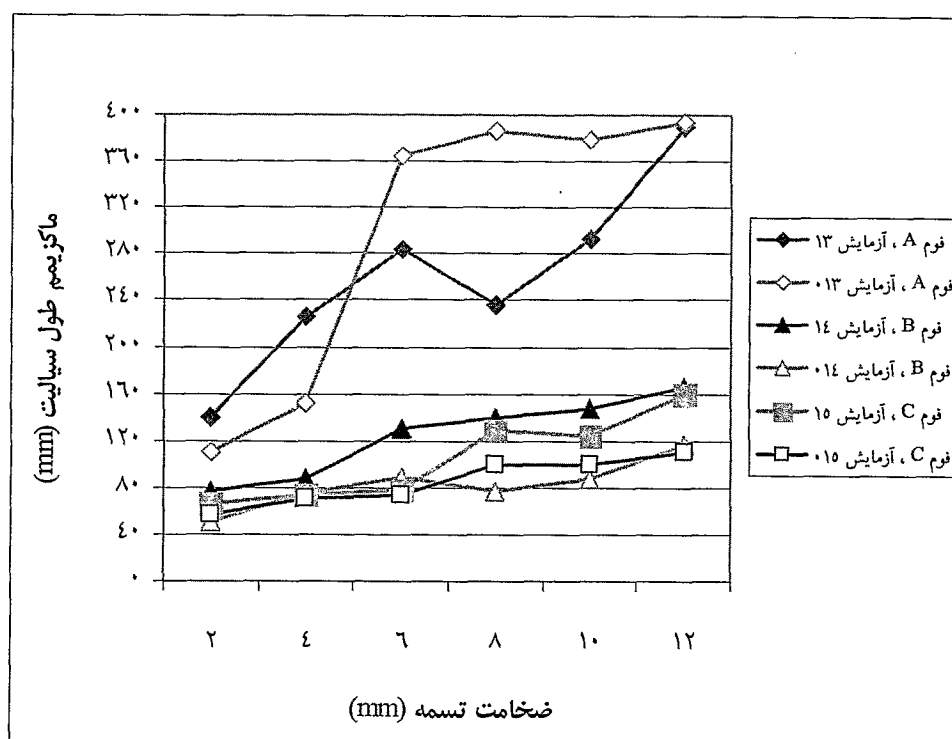


الف

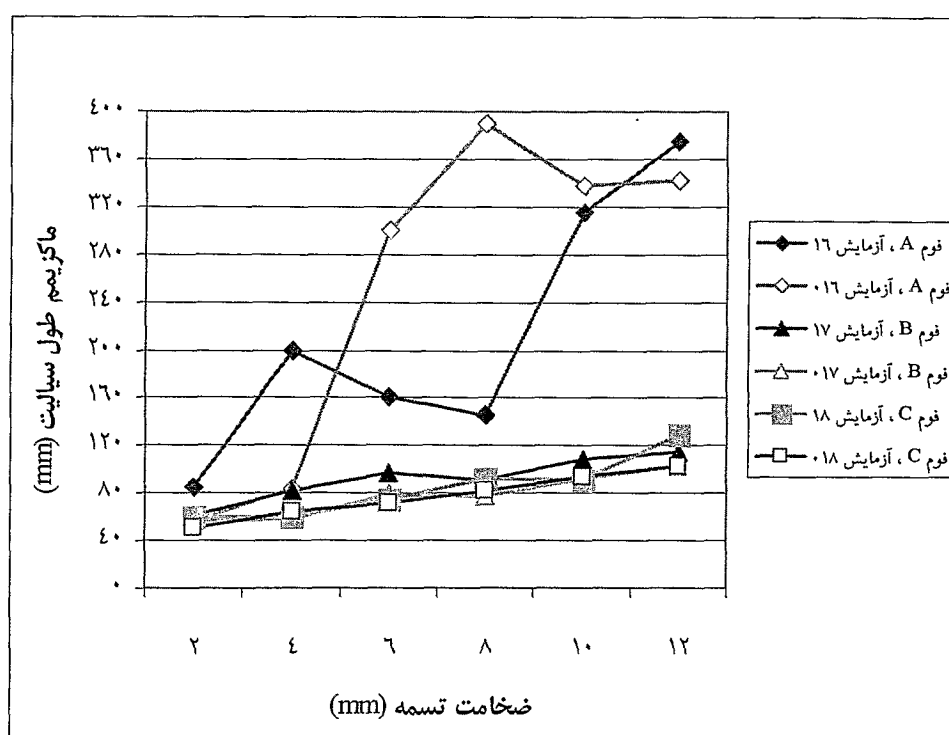


ب

شکل ۱۱-۴: اثر نوع فوم بر میزان سیالیت خوشه های فومی پوشش دهی شده با هولکوت ۱۱۰ و با دماهای بارریزی ۷۶۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه سانتیگراد.



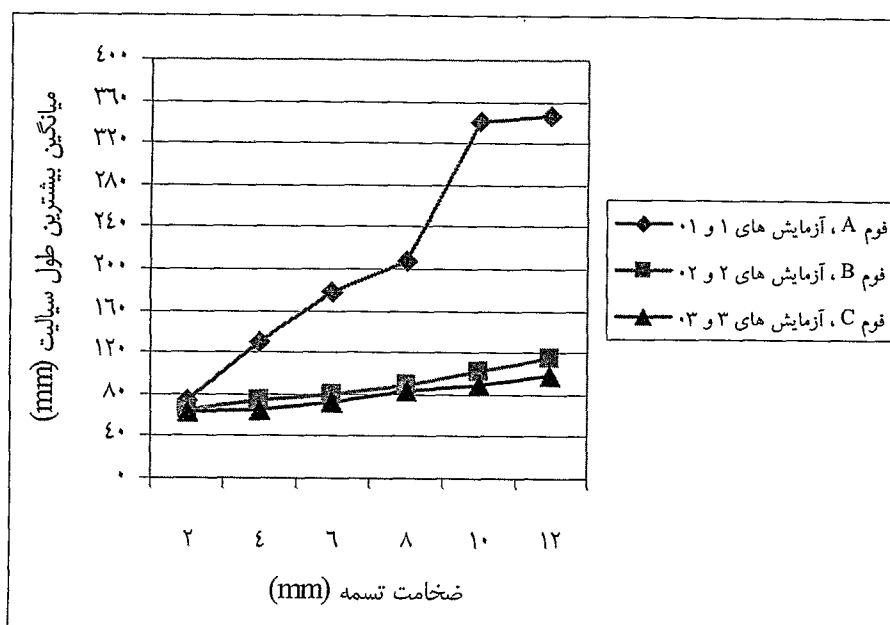
الف



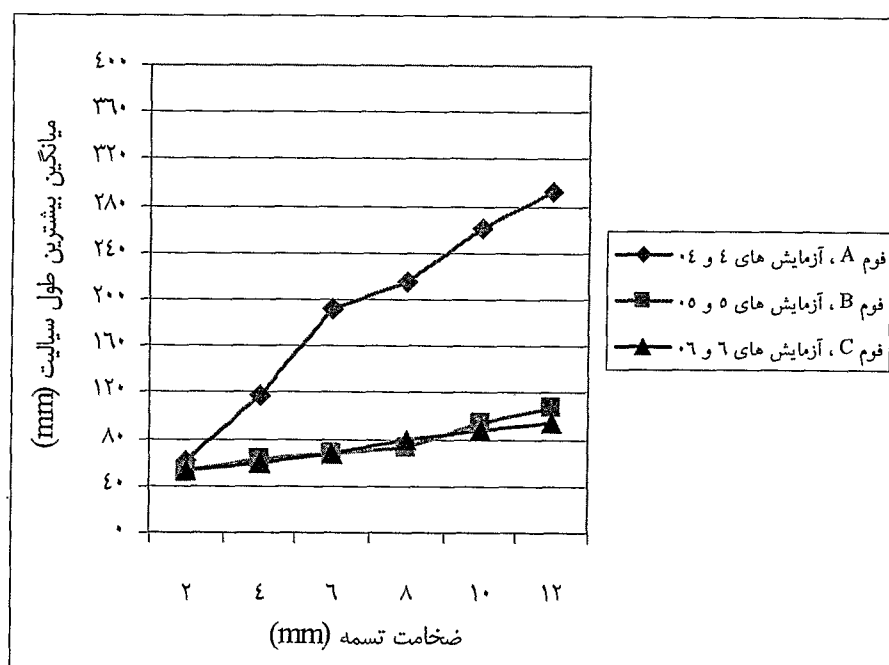
ب

شکل ۴-۱۲: اثر نوع فوم بر میزان سیالیت خوشه های فومی پوشش دهی شده با رثوتک ۱۵۰ و با دماهای بارریزی ۷۶۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه سانتیگراد.

با فرض اینکه میانگین گیری از نتایج آزمایش های اولیه و آزمایشهای تکراری صحیح باشد، لذا اثر نوع فوم بر میانگین بیشترین طول سیالیت در شکلهای ۴-۱۳ تا ۴-۱۵ نشان داده می شود.

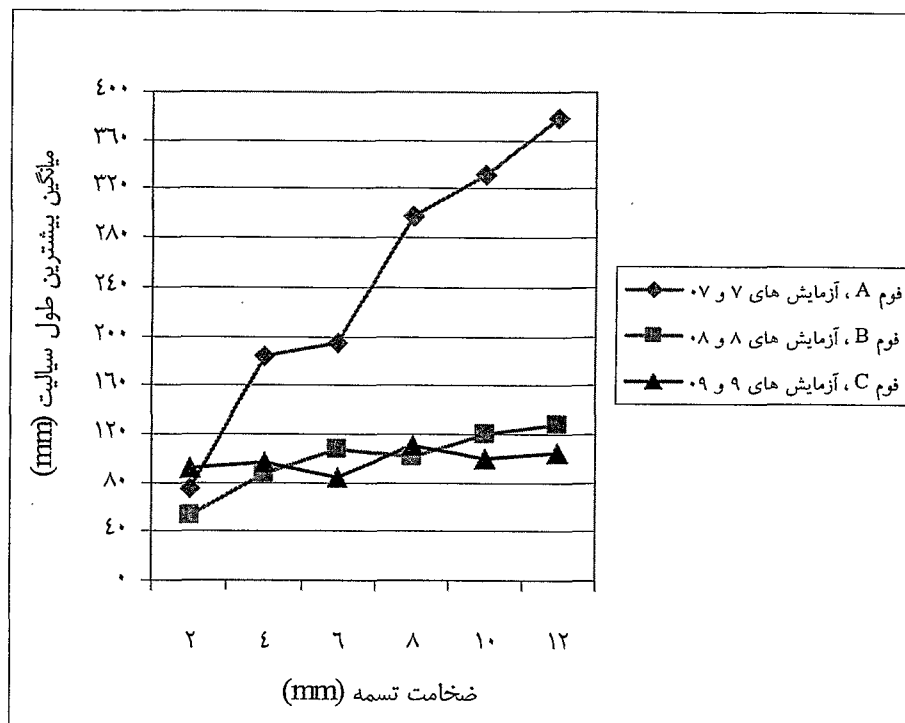


الف

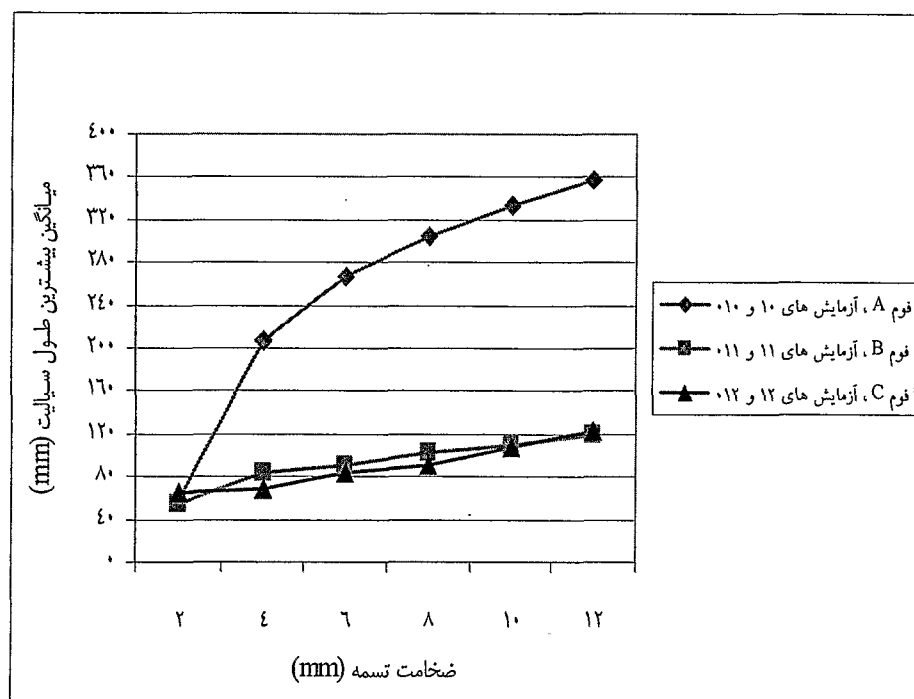


ب

شکل ۴-۱۳: اثر نوع فوم بر میانگین بیشترین طول سیالیت خوشه های فومی پوشش دهی شده با استایرومل ۷۰۲ و با دماهای بارریزی ۷۶۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه سانتیگراد.

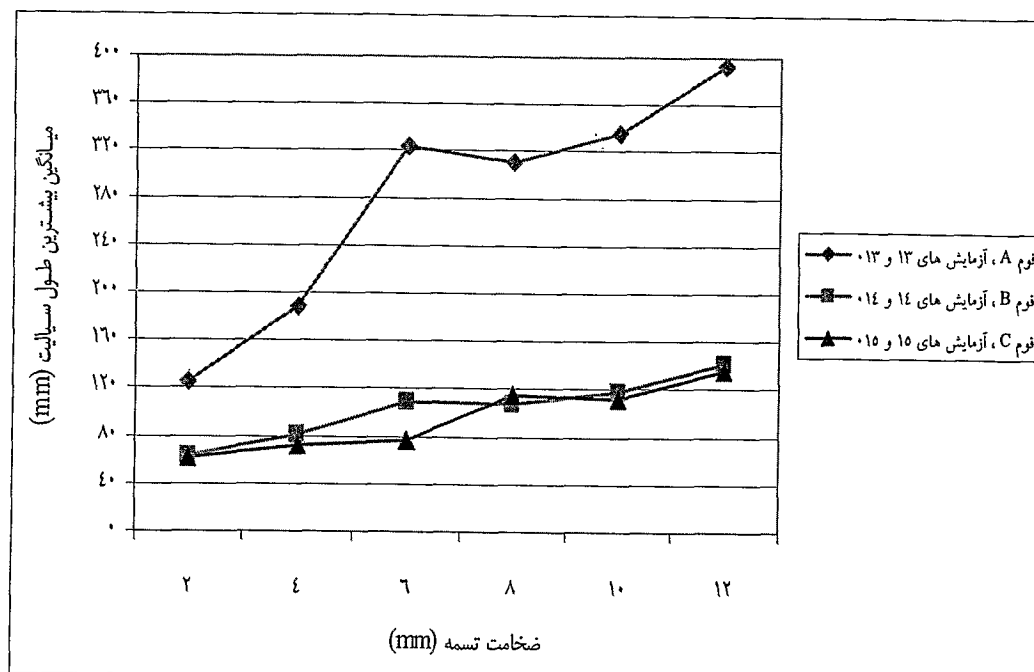


الف

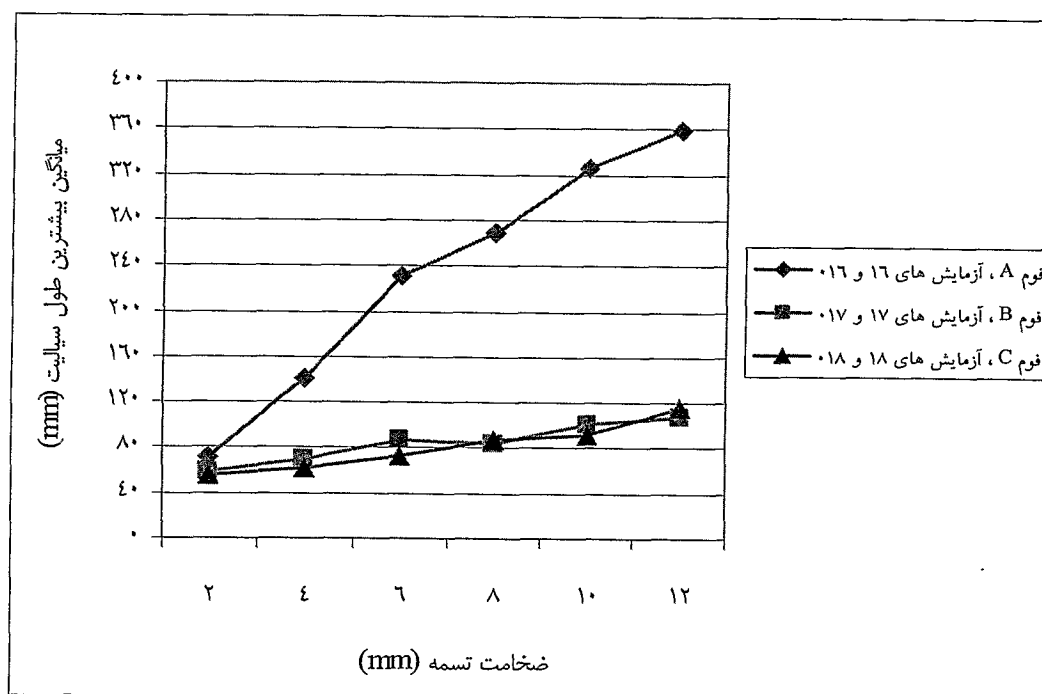


ب

شکل ۴-۱۴: اثر نوع فوم بر میانگین بیشترین طول سیالیت خوشه های فومی پوشش دهی شده با هولکوت ۱۱۰ و با دماهای بارریزی ۷۶۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه ساتیگراد.



الف



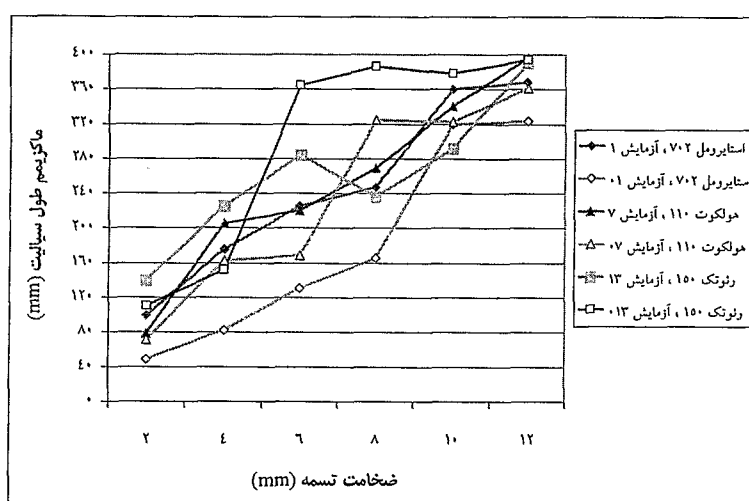
ب

شکل ۴-۱۵: اثر نوع فوم بر میانگین بیشترین طول سیالیت خوشه های فومی پوشش دهی شده با رثوتک ۱۵۰ و با دماهای بارریزی ۷۶۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه سانتیگراد.

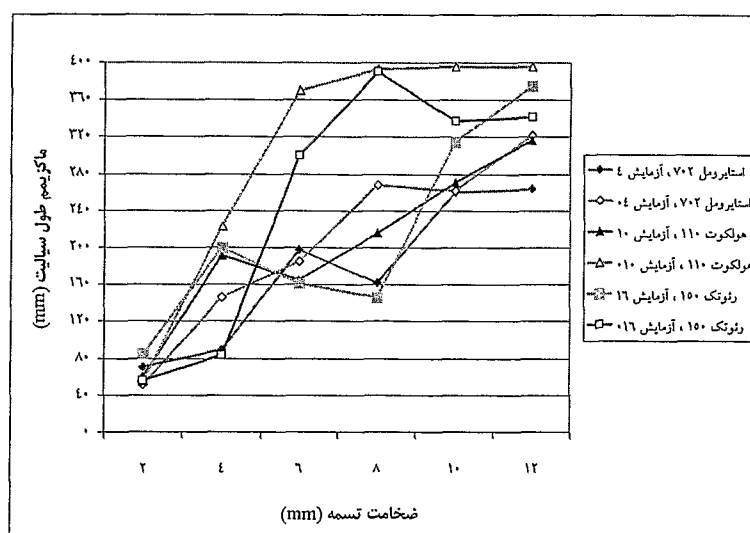
از منحنیهای ۴-۱۳ تا ۴-۱۵ می توان چنین نتیجه گیری کرد که در شرایط یکسان، فوم نوع A باعث ایجاد بیشترین طول سیالیت می شود. همچنین سیالیت حاصل از فوم های B و C تقریباً یکسان بوده و کمتر از فوم نوع A می باشد.

۴-۲-۱-۲-۴- تأثیر نوع پوشان بر سیالیت

بر اساس اطلاعات جدول ۴-۳ و با ثابت گرفتن سایر متغیرهای فرآیند، اثر نوع پوشان بر سیالیت تسمه های مختلف در شکلهای ۴-۱۶ تا ۴-۱۸ نشان داده می شود.

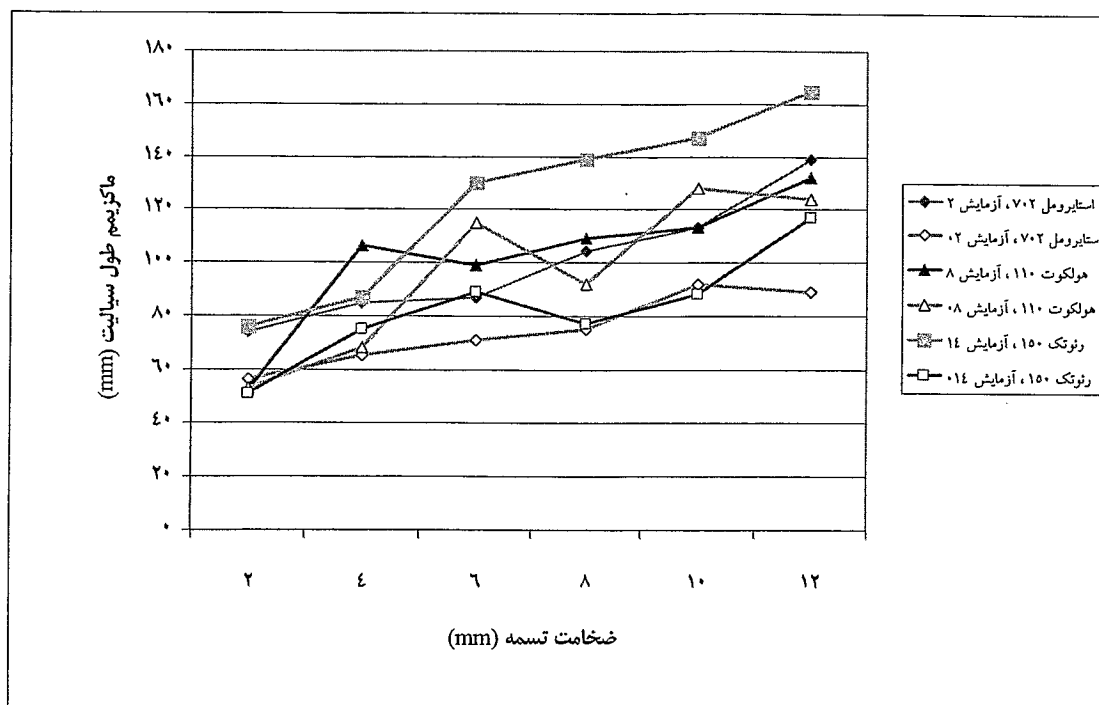


الف

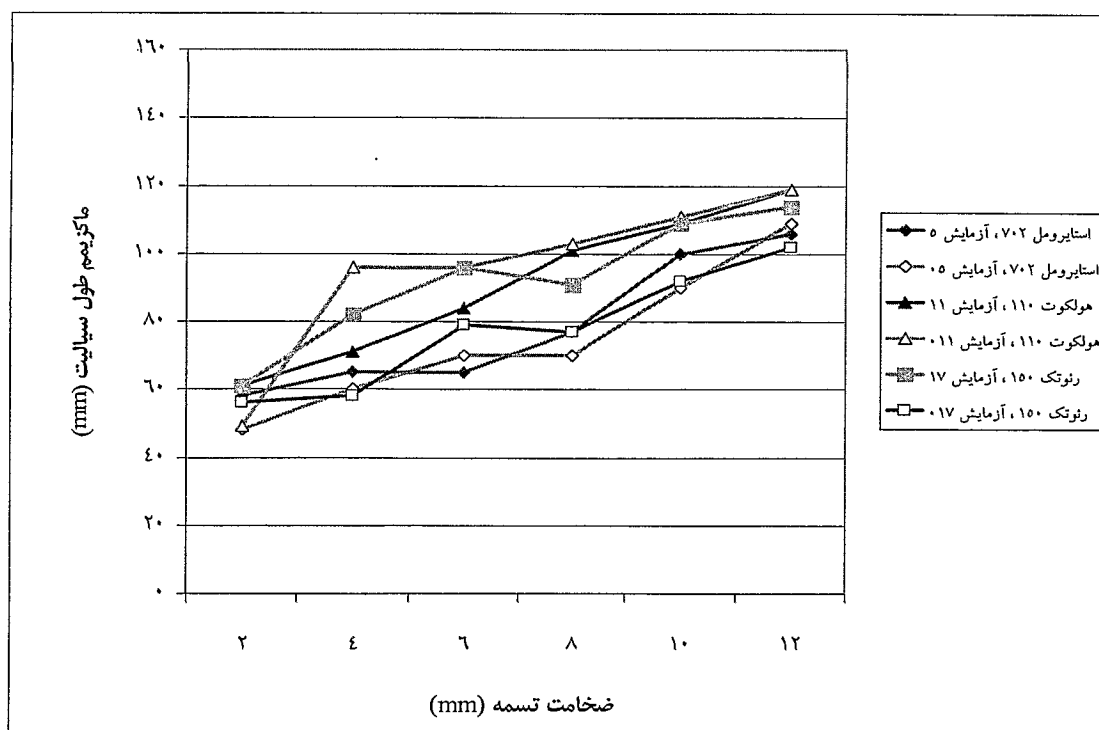


ب

شکل ۴-۱۶: اثر نوع پوشان بر میزان سیالیت خوشه های فومی ساخته شده از فوم نوع A و با دماهای بارریزی ۷۱۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه سانتیگراد.

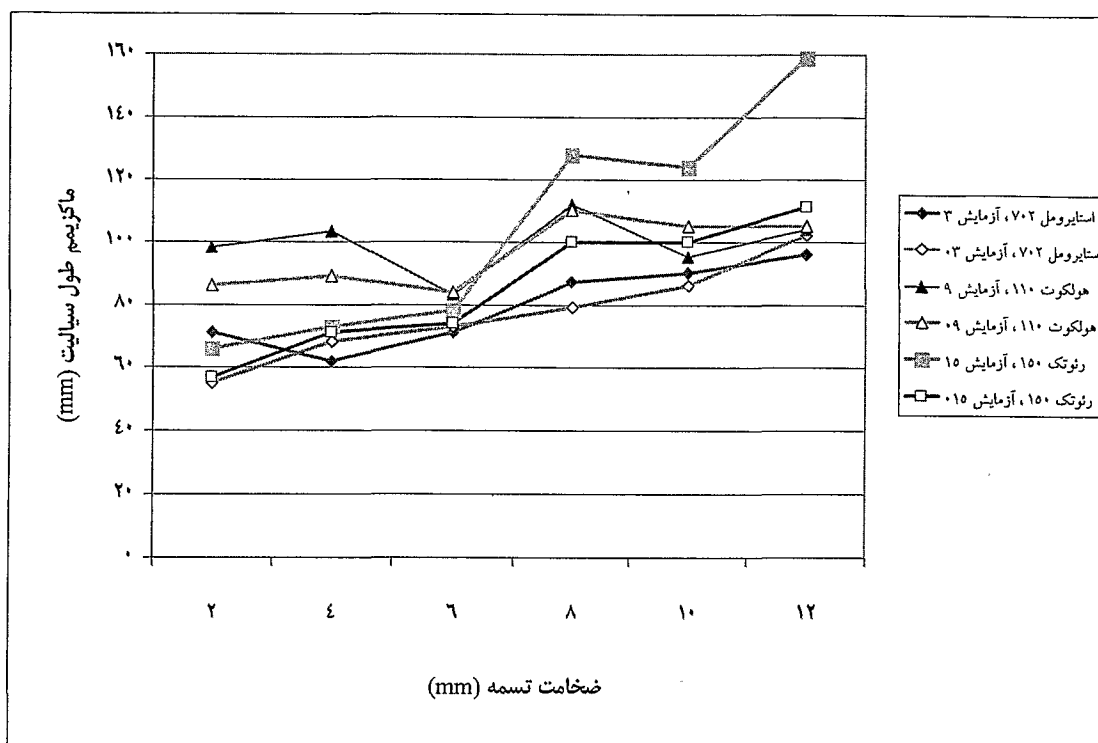


الف

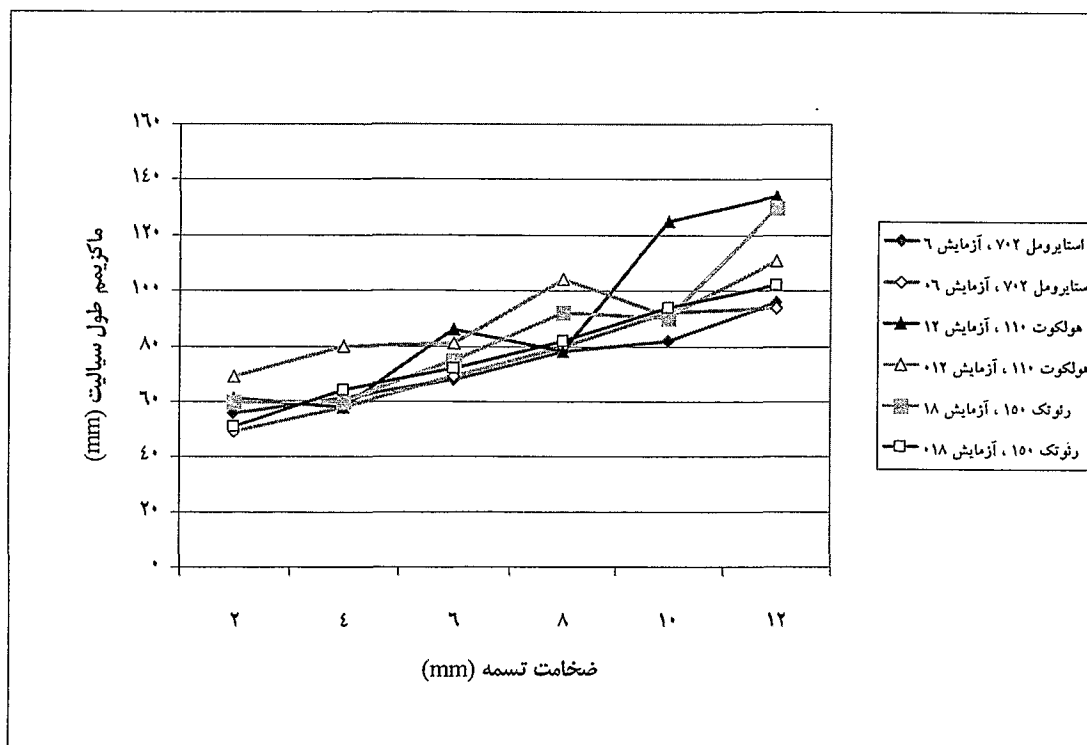


ب

شکل ۱۷-۴: اثر نوع پوشان بر میزان سیالیت خوشه های فومی ساخته شده از فوم نوع B و با دماهای بارریزی ۷۶۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه سانتیگراد.



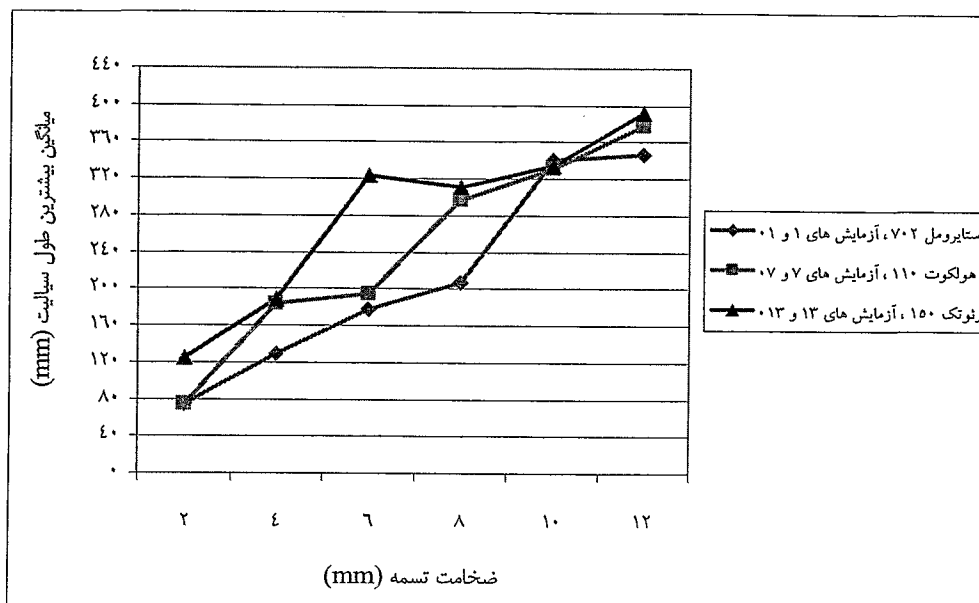
الف



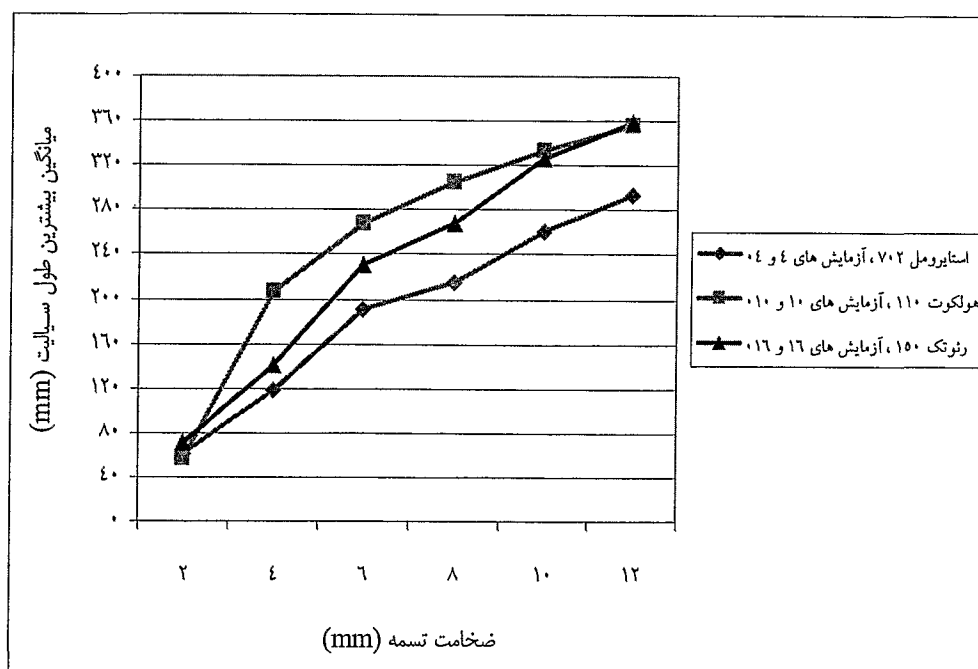
ب

شکل ۴-۱۸: اثر نوع پوشان بر میزان سیالیت خوشه های فومی ساخته شده از فوم نوع C و با دماهای بارریزی ۷۶۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه سانتیگراد.

در منحنی های ۴-۱۹ تا ۴-۲۱ اثر نوع پوشان بر میانگین بیشترین طول سیالیت نشان داده می شود. در رسم این منحنی ها نیز از میانگین سیالیت حاصل از آزمایشهای اولیه و آزمایشهای تکراری استفاده شده است.

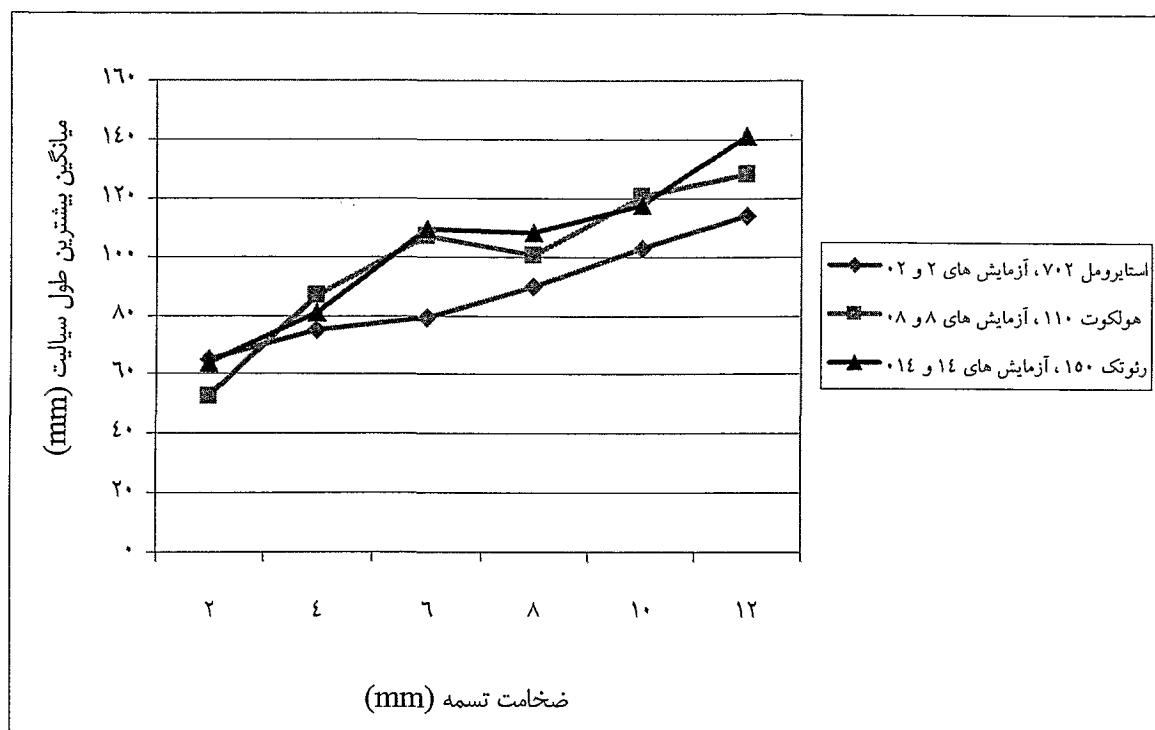


الف

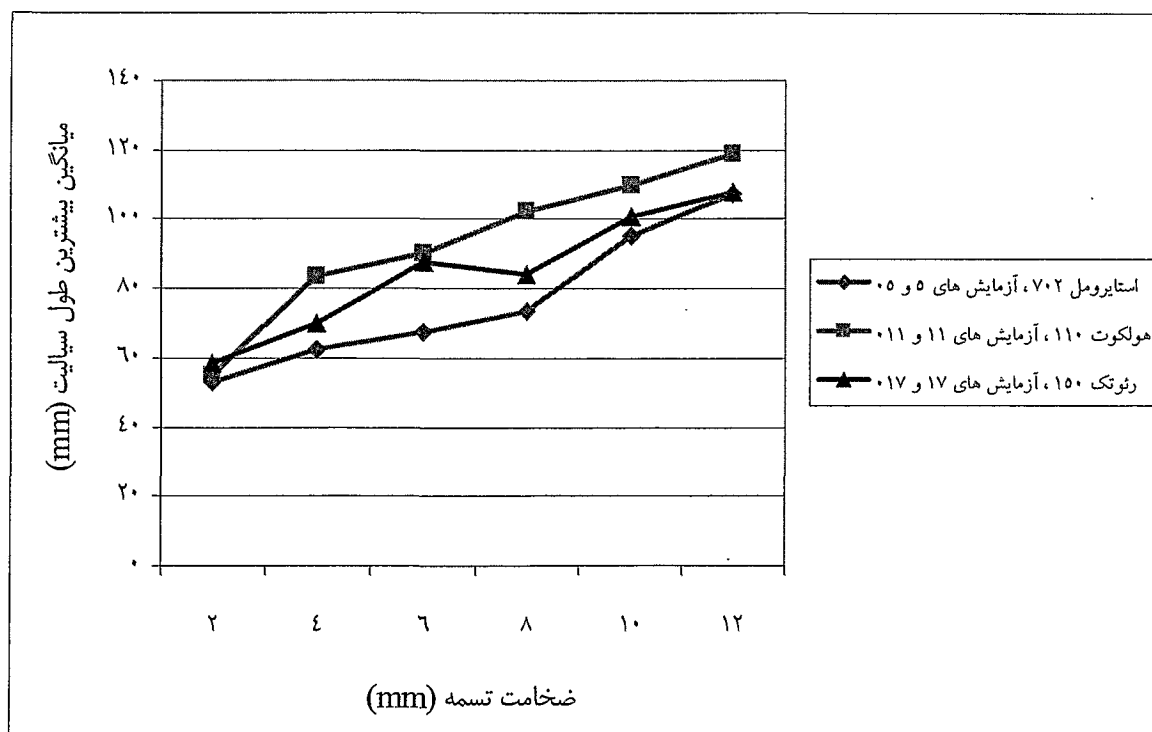


ب

شکل ۴-۱۹: اثر نوع پوشان بر میانگین بیشترین طول سیالیت خوشه های فومی ساخته شده از فوم نوع A و با دماهای بارریزی ۷۶۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه سانتیگراد.

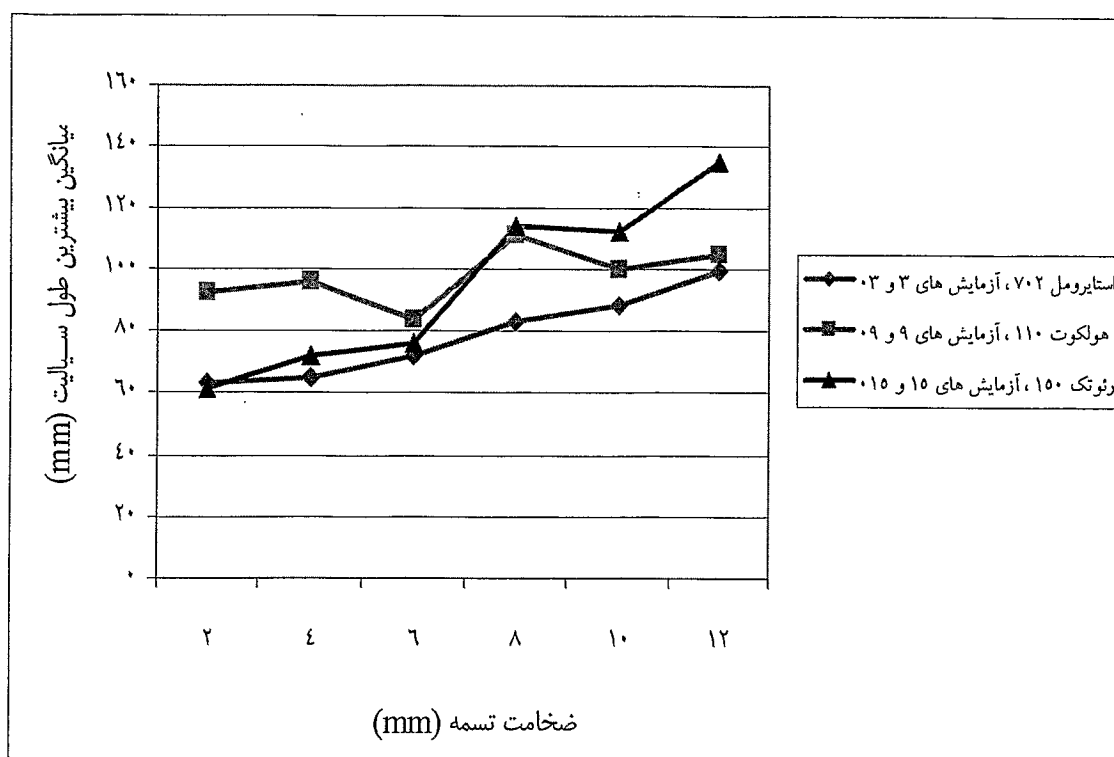


الف

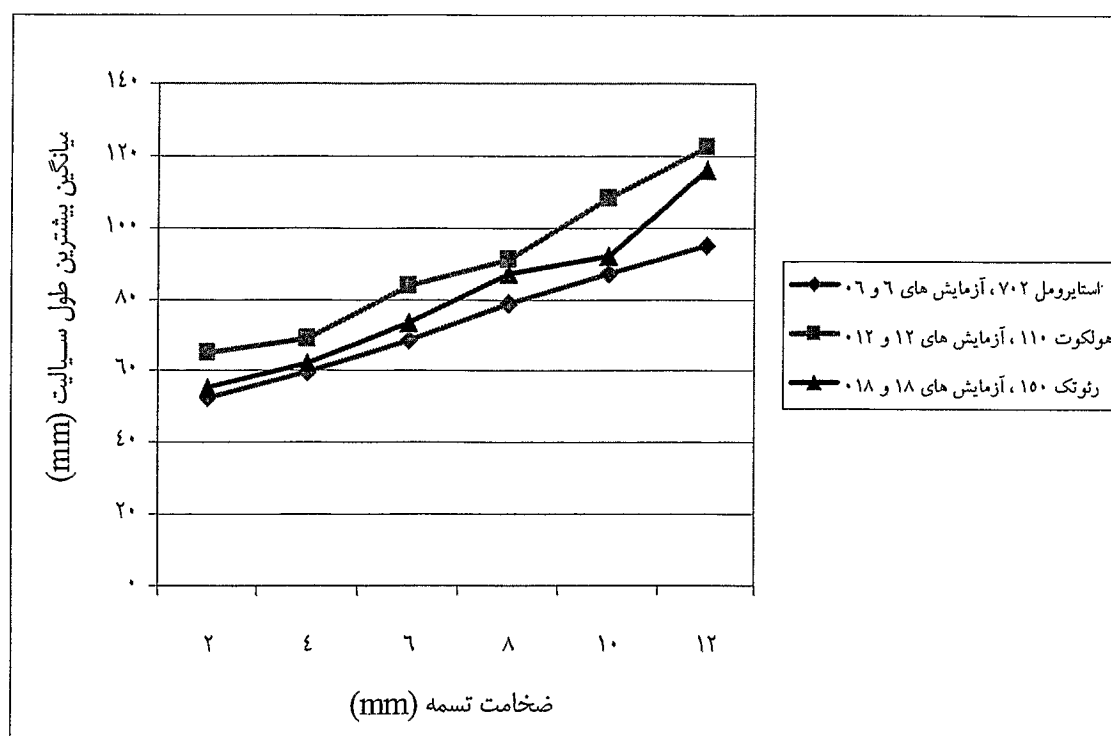


ب

شکل ۴-۲۰: اثر نوع پوشان بر میانگین بیشترین طول سیالیت خوشه های فومی ساخته شده از فوم نوع B و با دماهای بارریزی ۷۶۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه سانتیگراد.



الف



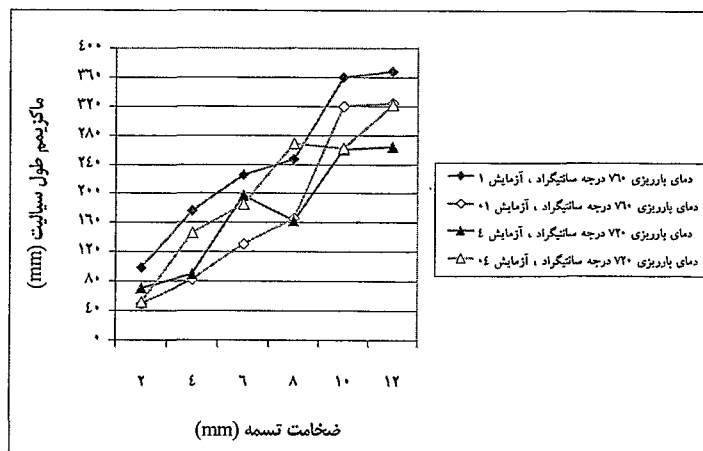
ب

شکل ۴-۲۱: اثر نوع پوشان بر میانگین بیشترین طول سیالیت خوشه های فومی ساخته شده از فوم نوع C و با دماهای بارریزی ۷۶۰ (شکل الف) و ۷۲۰ (شکل ب) درجه ساتیگراد.

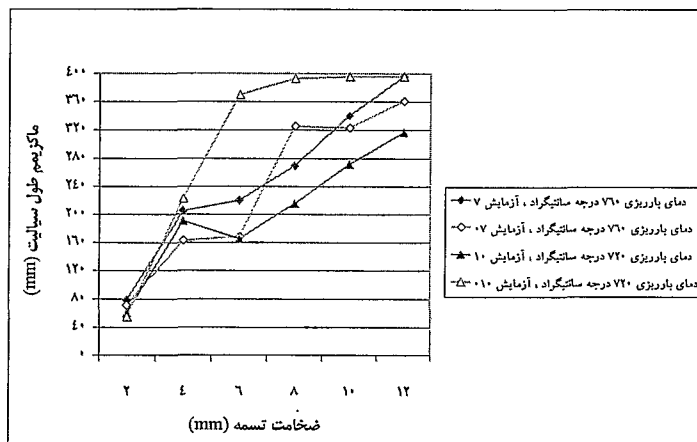
منحنی های ۱۹-۴ تا ۲۱-۴ نشان می دهد که در هر دو دمای بارریزی ۷۶۰ و ۷۲۰ درجه سانتیگراد، پوشان استایرومل ۷۰۲ باعث ایجاد کمترین میزان سیالیت آلومینیم مذاب شده است. همچنین در دمای بارریزی ۷۶۰ درجه سانتیگراد، سیالیت ناشی از بکارگیری هر دو پوشان هولکوت ۱۱۰ و رثوتک ۱۵۰ تقریباً یکسان می باشد. در دمای بارریزی ۷۲۰ درجه سانتیگراد، سیالیت ایجاد شده با پوشان هولکوت ۱۱۰ بیشترین مقدار بوده و سیالیت ناشی از پوشان رثوتک ۱۵۰ در حد فاصل دو پوشان دیگر قرار دارد.

۴-۲-۱-۳- تاثیر دمای بارریزی بر سیالیت

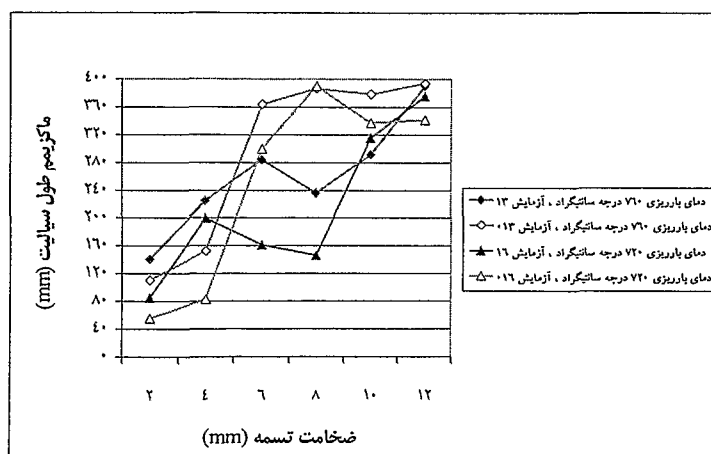
در شکل های ۲۲-۴ تا ۲۴-۴ تاثیر دمای بارریزی بر سیالیت نمونه های تسمه ای که از آزمایش های مختلف بدست آمده است، نشان داده می شود. در رسم این منحنیها بجز دمای بارریزی، سایر متغیر های فرآیند ریخته گری یکسان در نظر گرفته شده است.



الف

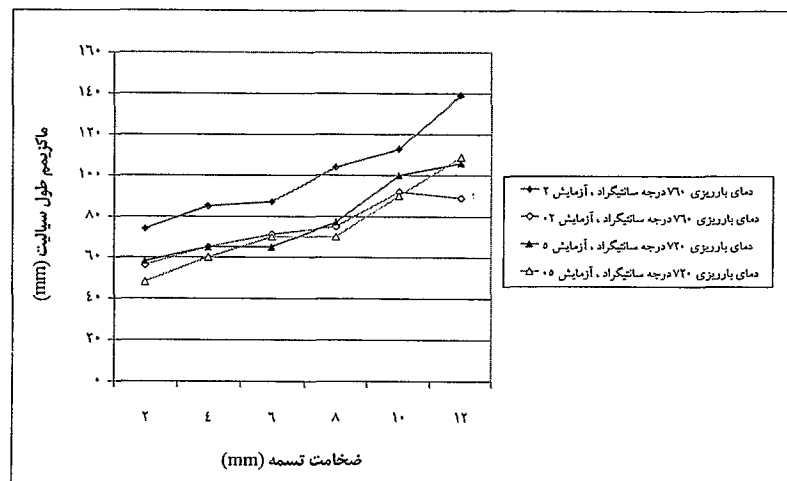


ب

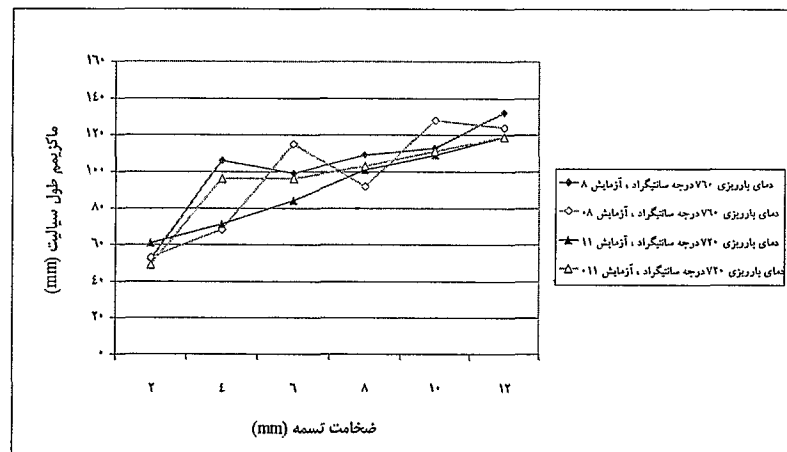


ج

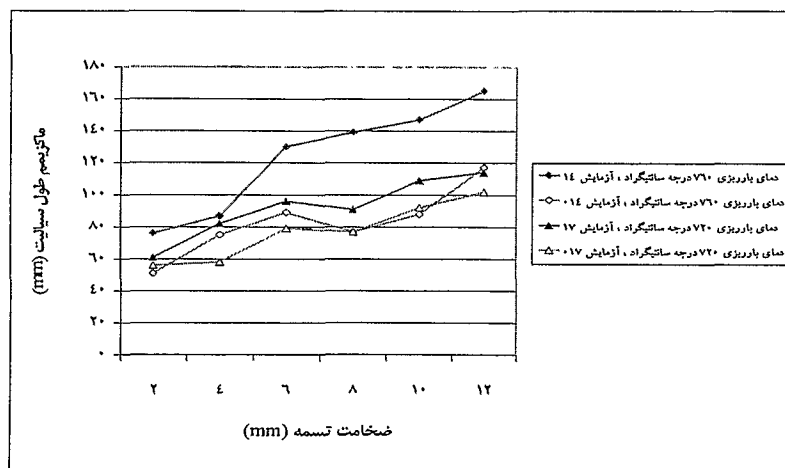
شکل ۴-۲۲: اثر دمای بارریزی بر سیالیت خوشه های فومی ساخته شده از فوم نوع A با پوشش استایرومل ۷۰۲ (شکل الف)، پوشش هولکوت ۱۱۰ (شکل ب) و پوشش رثوتک ۱۵۰ (شکل ج).



الف

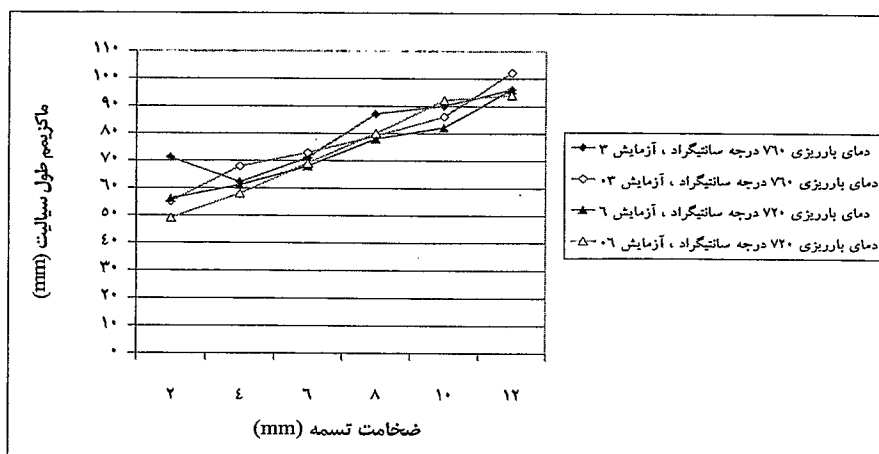


ب

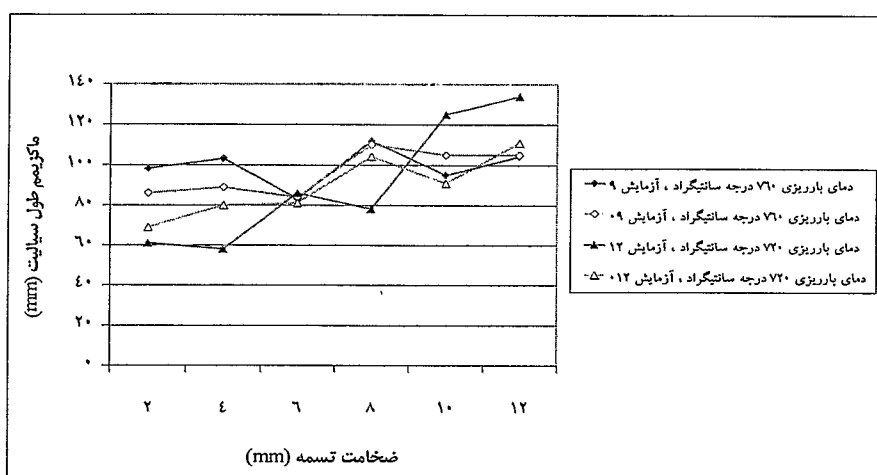


ج

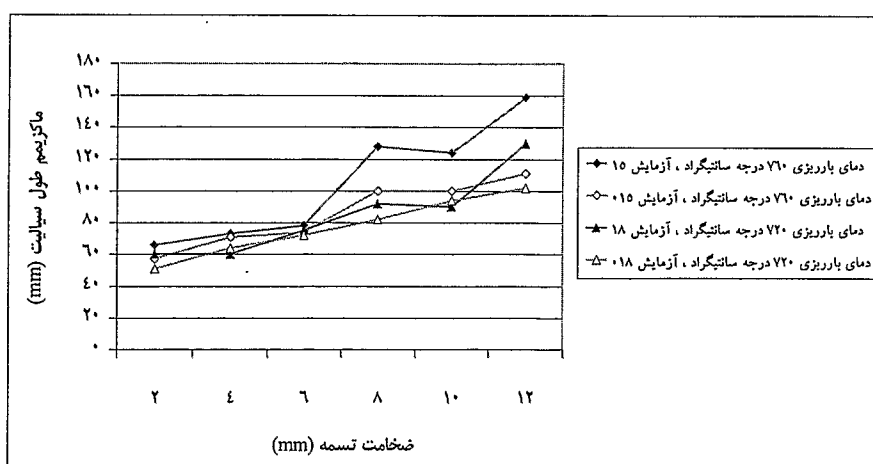
شکل ۴-۲۳: اثر دمای بارریزی بر سیالیت خوشه های فومی ساخته شده از فوم نوع B با پوشش استایرومل ۷۰۲ (شکل الف)، پوشش هولکوت ۱۱۰ (شکل ب) و پوشش رثوتک ۱۵۰ (شکل ج).



الف



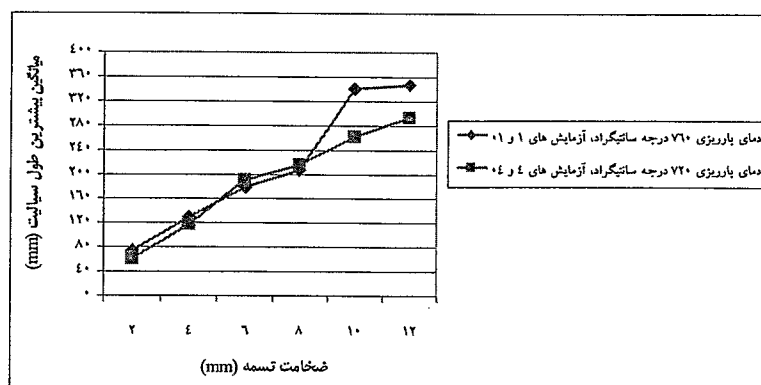
ب



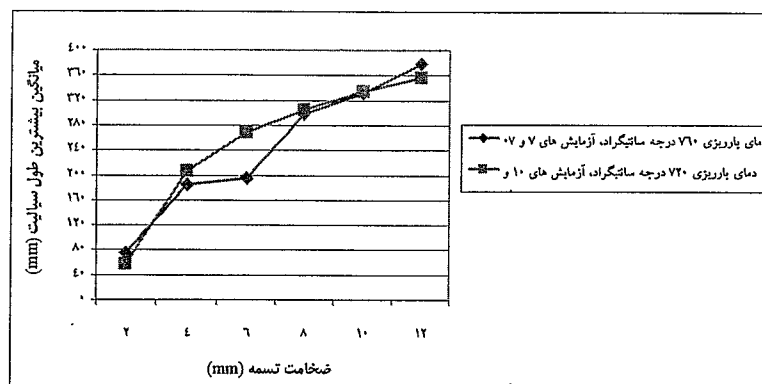
ج

شکل ۴-۲۴: اثر دمای بارریزی بر سیالیت خوشه های فومی ساخته شده از فوم نوع C با پوشش استایرومل ۷۰۲ (شکل الف)، پوشش هولکوت ۱۱۰ (شکل ب) و پوشش رئوتک ۱۵۰ (شکل ج).

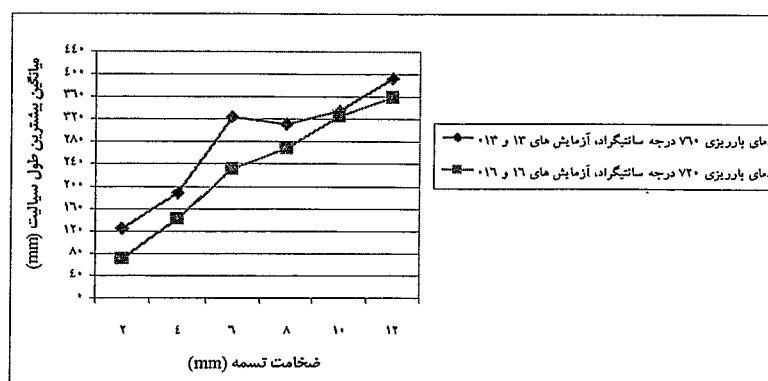
در شکل‌های ۴-۲۵ تا ۴-۲۷ اثر دمای بارریزی بر میانگین بیشترین طول سیالیت نشان داده می‌شود. در رسم این منحنیها نیز فرض شده است که میانگین گیری از نتایج آزمایشهای مشابه صحیح می‌باشد.



الف

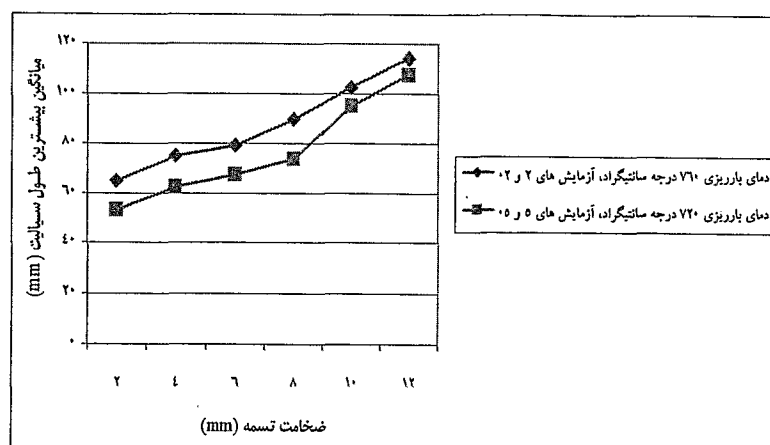


ب

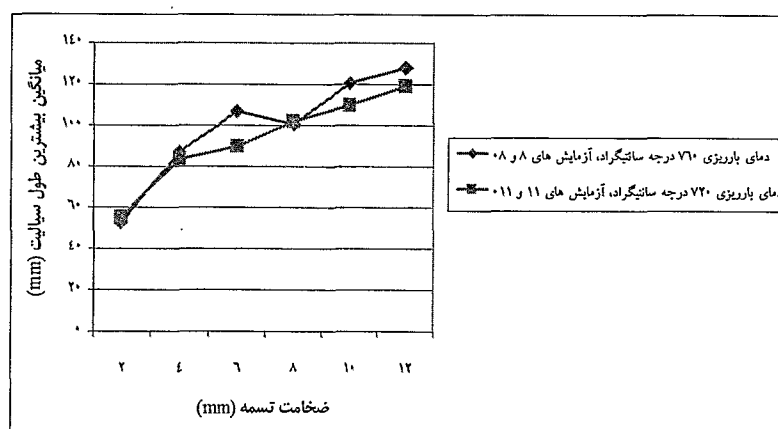


ج

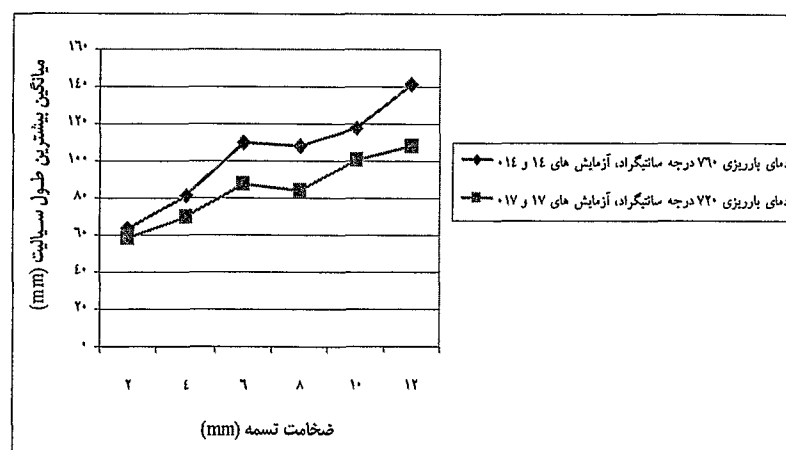
شکل ۴-۲۵: اثر دمای بارریزی بر میانگین بیشترین طول سیالیت خوشه‌های فومی ساخته شده از فوم نوع A با پوشش استایرومل ۷۰۲ (شکل الف)، پوشش هولکوت ۱۱۰ (شکل ب) و پوشش رثوتک ۱۵۰ (شکل ج).



الف

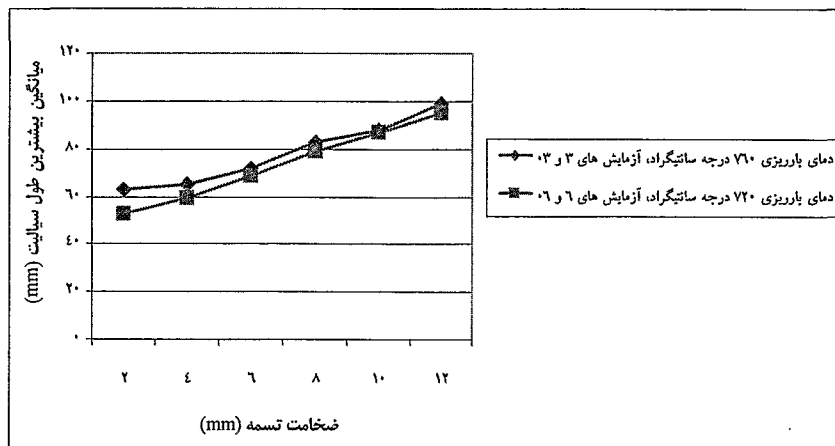


ب

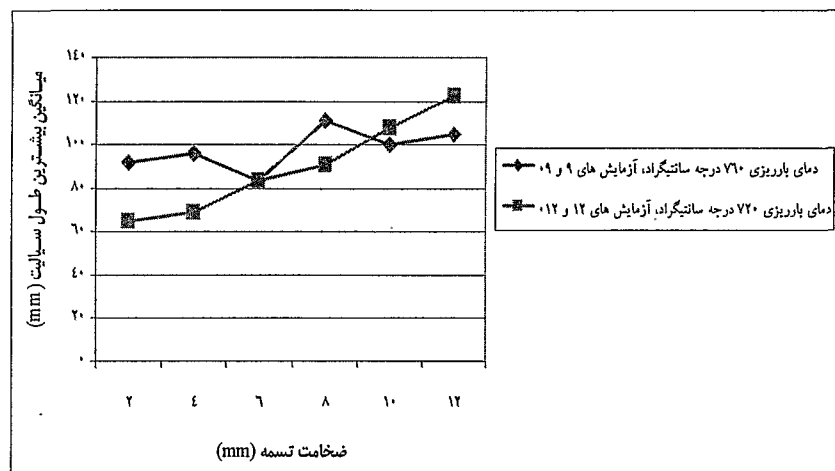


ج

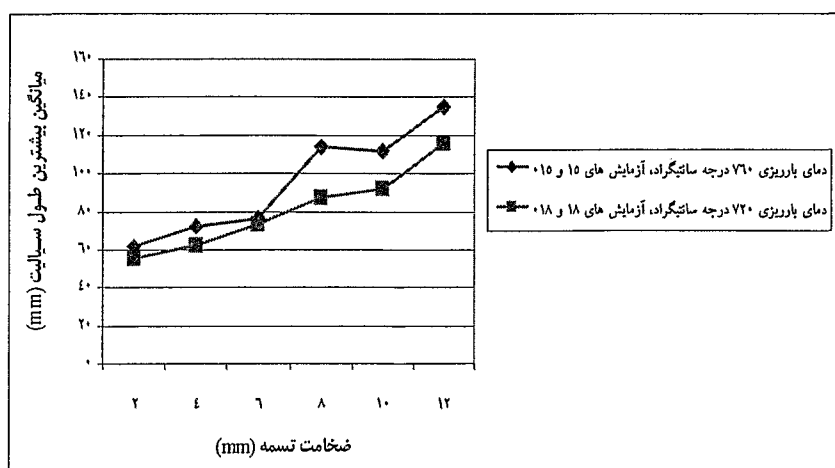
شکل ۴-۲۶: اثر دمای بارریزی بر میانگین بیشترین طول سیالیت خوشه های فومی ساخته شده از فوم نوع B با پوشش استایرومل ۷۰۲ (شکل الف)، پوشش هولکوت ۱۱۰ (شکل ب) و پوشش رثوتک ۱۵۰ (شکل ج).



الف



ب



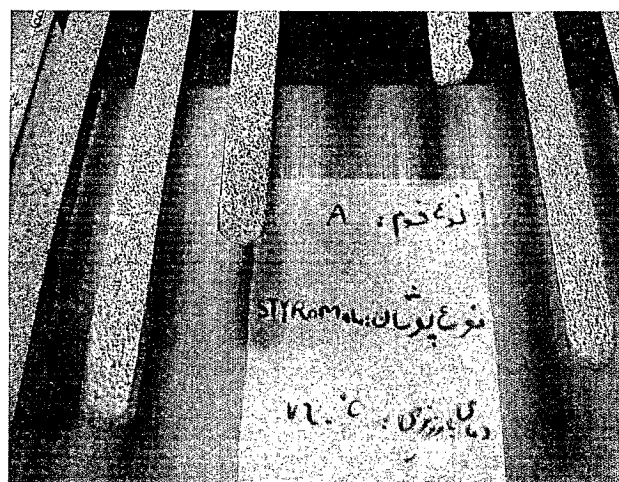
ج

شکل ۴-۲۷: اثر دمای بارریزی بر میانگین بیشترین طول سیالیت خوشه های فومی ساخته شده از فوم نوع C با پوشش استایرومل ۷۰۲ (شکل الف)، پوشش هولکوت ۱۱۰ (شکل ب) و پوشش رئوتک ۱۵۰ (شکل ج).

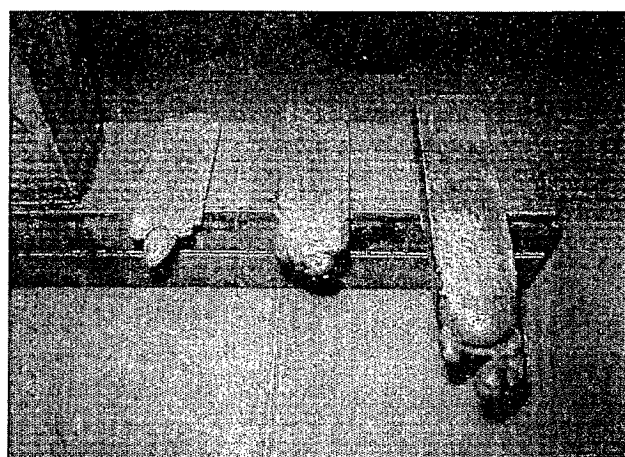
منحنیهای ۴-۲۵ تا ۴-۲۷ نشان می دهد که افزایش دما باعث افزایش طول سیالیت شده است. البته تاثیر افزایش دما بر سیالیت در محدوده دمایی مورد آزمایش ناچیز می باشد. با بررسی کلیه منحنیهای بخش ۴-۲-۱ می توان چنین نتیجه گیری کرد که بطور کلی با افزایش ضخامت تسمه ها، طول سیالیت افزایش یافته است. البته در برخی از آزمایشها نیز انحرافهایی از این رفتار مشاهده می گردد.

۴-۲-۲- بررسی شکل جبهه مذاب و کیفیت سطحی نمونه ها

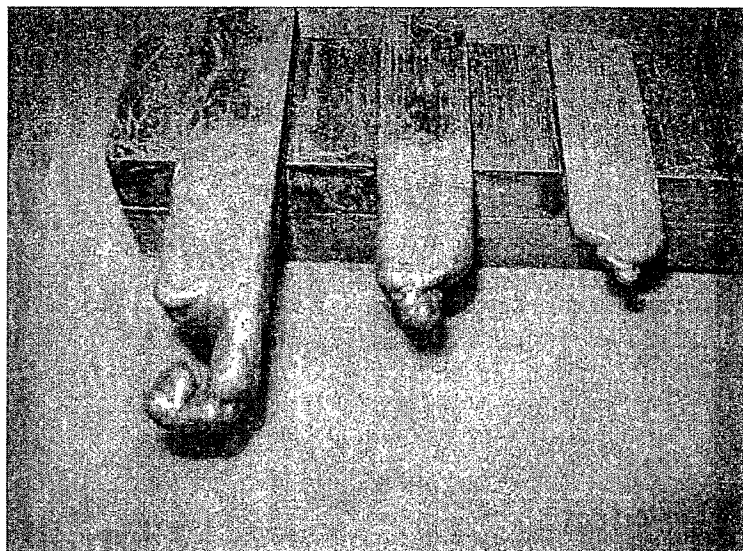
در شکلهای ۴-۲۸ تا ۴-۳۰ پروفیل جبهه مذاب نمونه های ریخته گری شده نشان داده می شود.



شکل ۴-۲۸: تصویر جبهه مذاب حاصل از ریخته گری تسمه های ساخته شده با فوم نوع A

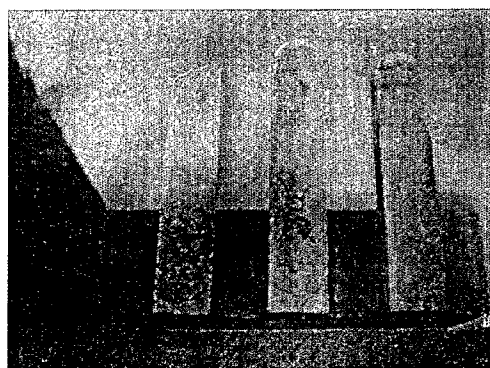
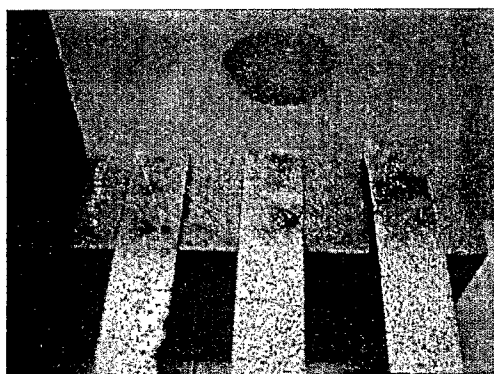


شکل ۴-۲۹: تصویر جبهه مذاب حاصل از ریخته گری تسمه های ساخته شده با فوم نوع B



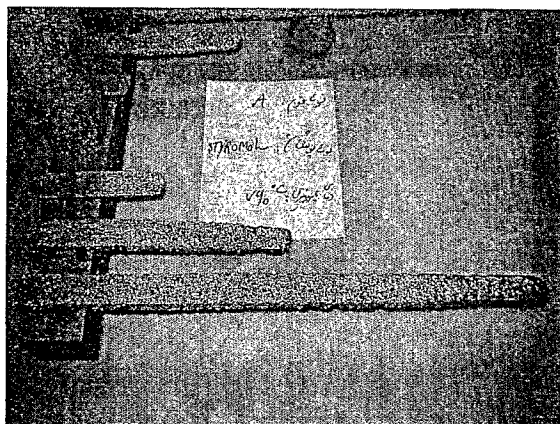
شکل ۴-۳۰: تصویر جبهه مذاب حاصل از ریخته گری تسمه های ساخته شده با فوم نوع C

بطور کلی جبهه مذاب حاصل از مدل های فومی نوع A بصورت نیم دایره ای و محدب بوده و جبهه مذاب مربوط به مدل های فومی نوع B و C بصورت شاخه ای می باشد. همچنین روی سطوح فوقانی تسمه ها در محل اتصال آنها به کانال اصلی، عیوب سطحی و بقای مواد فومی مشاهده گردید (شکل ۴-۳۱).

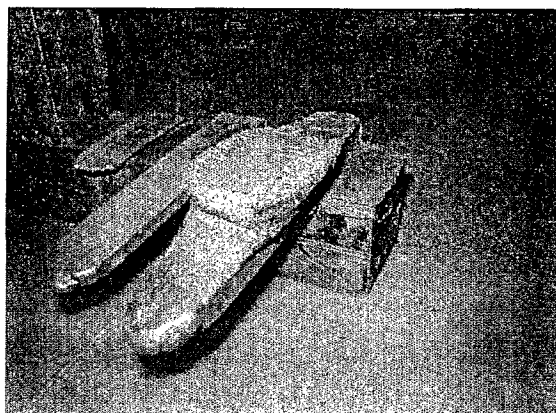


شکل ۴-۳۱: عیوب سطحی و بقای مواد فومی روی سطوح فوقانی تسمه ها در محل اتصال آنها به کانال اصلی

در این تحقیق بصورت موردی، در نمونه ها عیوبی همچون زبری سطحی بیش از حد (شکل ۴-۳۲)، نفوذ مذاب به درون ماسه (شکل ۴-۳۳) و یا ریزش دیواره قالب (شکل ۴-۳۴) نیز مشاهده گردید.



شکل ۴-۳۲: زیری سطحی بیش از حد تسمه های ریخته گری شده (آزمایش شماره ۰۱)



شکل ۴-۳۳: نفوذ مذاب به درون ماسه (آزمایش شماره ۰۸)



شکل ۴-۳۴: ریزش دیواره قالب در محل کانال اصلی (آزمایش شماره ۷)

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری

۵-۱-۱- تأثیر نوع فوم بر سیالیت و شکل جبهه مذاب

همانگونه که در بخش ۴-۲-۱-۱ مشاهده گردید، فوم نوع A باعث ایجاد بیشترین طول سیالیت می شود درحالیکه سیالیت حاصل از فومهای نوع B و C تقریباً یکسان بوده و کمتر از فوم نوع A است. فوم نوع A کمترین مقدار دانسیته را نسبت به انواع دیگر دارد (جدول ۴-۱) و همانگونه که در جدول ۴-۲ نشان داده شده است، این نوع فوم در فاصله دمایی تقریباً ۸۸ درجه سانتیگراد دچار ۹۰ درصد کاهش وزن می شود. لذا محدوده دمایی پیرولیز این فوم کمترین مقدار بوده که خود بمعنی پیرولیز سریع تر این فوم نسبت به فوم های دیگر می باشد. از طرفی چنانچه ۱۰ درصد افت وزنی فوم ها را به عنوان نقطه شروع پیرولیز در نظر بگیریم (جدول ۴-۲)، پیرولیز فوم نوع A در دمای بالاتری آغاز می گردد. با توجه به مطالب فوق می توان اظهار داشت که فوم نوع A در اثر تماس با جبهه مذاب سریع تر پیرولیز شده و محصولات پیرولیزی کمتری ایجاد می نماید که بخش عمده این محصولات به صورت گازی است لذا گرمای کمتری از مذاب جذب شده و خروج محصولات حاصل از تجزیه فوم از داخل محفظه قالب سریعتر و آسانتر انجام می شود. بنابراین مقاومت کمتری در برابر پیشروی جبهه مذاب ایجاد شده و سیالیت افزایش می یابد.

بدلیل پایین بودن دانسیته فوم نوع C نسبت به فوم نوع B، انتظار می رود که سیالیت حاصل از بکارگیری فوم نوع C در مقایسه با فوم نوع B بیشتر باشد ولی آزمایش ها نشان می دهد که در شرایط ثابت، سیالیت حاصل از این دو نوع فوم تقریباً یکسان است. اگرچه حجم محصولات حاصل از پیرولیز فوم نوع C بدلیل دانسیته پایین، نسبت به حجم محصولات حاصل از پیرولیز فوم نوع B کمتر می باشد ولی همانگونه که در جدول ۴-۲ نشان داده شده است محدوده پیرولیز فوم نوع C (۱۹۵ درجه سانتیگراد) نسبت به محدوده پیرولیز فوم نوع B (۱۱۷ درجه سانتیگراد) بیشتر بوده و پیرولیز فوم نوع C در مقایسه با فوم نوع B در دمای بالاتری به پایان می رسد. این امر بمعنی پایداری بیشتر محصولات پیرولیزی حاصل از فوم نوع C و نیز بالا بودن کسر فازهای مایع در اثر پیرولیز این نوع فوم است. بنابراین در اثر بکارگیری فوم نوع C، حرارت بیشتری از مذاب جذب می شود و نیز خروج فازهای مایع حاصل از پیرولیز از طریق پوشان، بدلیل مسئله ترشوندگی (wetting) و قابلیت جذب (wicking) پوشان در مقایسه با خروج فازهای گازی مشکل تر می باشد [۳۴]. بنابراین اثر دانسیته کمتر این فوم نسبت به فوم نوع B، با خروج مشکل تر محصولات پیرولیزی مایع حاصل از آن خنثی شده و سیالیت حاصل از این دو نوع فوم تقریباً یکسان خواهد بود.

حجم بالای محصولات پیرولیزی، پایداری بیشتر این محصولات و نیز کسر بالای فازهای مایع ایجاد شده در فرآیند پیرولیز فوم های B و C نسبت به فوم A، دلایل اصلی سیالیت بیشتر نمونه های ساخته شده با فوم نوع A می باشد.

در بخش ۴-۲-۲ نشان داده شد که جبهه مذاب حاصل از ریخته گری تسمه های فومی نوع A بصورت صاف و محدب بوده در صورتیکه جبهه مذاب حاصل از فوم های B و C به صورت شاخه ای می باشد. علت بروز چنین پدیده ای برای فوم نوع A، یکنواختی این فوم از لحاظ همجوشی دانه های EPS است که سبب می گردد تا مقطع فومی موجود در مقابل جبهه مذاب، نفوذ پذیری یکسانی برای محصولات گازی پیرولیز فوم داشته باشد بنابراین جبهه مذاب بصورت صاف و محدب در می آید. بر اساس مدل ارائه شده توسط Harry E. Littleton و همکارانش (بخش ۲-۲-۶) و نیز نتایج حاصل از تحقیق حاضر، می توان گفت که فوم نوع A تقریباً دارای درجه همجوشی نرمال (normal fusion) و یکنواخت دانه های EPS است که سبب می گردد تا پروفیل جبهه مذاب صاف شده و احتمال ایجاد عیوبی مانند تخلخل و چین خوردگی در قطعات کاهش یابد [۸].

ایجاد جبهه مذاب شاخه ای برای فوم های B و C بدلیل عدم یکنواختی مقطع فومی موجود در مقابل جبهه مذاب از لحاظ درجه همجوشی دانه های EPS می باشد. عبارتی مقطع این نوع فوم ها در مقابل جبهه مذاب از نفوذ پذیری یکنواختی برخوردار نیست و جبهه مذاب در اثر برخورد با نقاطی از مدل که میزان همجوشی دانه ها پایین بوده و از نفوذ پذیری بالایی برای خروج محصولات گازی حاصل از پیرولیز فوم برخوردار می باشد، شکسته شده و بصورت شاخه ای در می آید. این شکسته شدن جبهه مذاب در مدل های فومی نوع B و نوع C احتمال بروز عیوبی مانند چین خوردگی و تخلخل در قطعات را افزایش می دهد.

۵-۱-۲- اثر نوع پوشان بر سیالیت

منحنی های ۴-۱۹ تا ۴-۲۱ نشان می دهد که سیالیت مذاب با بکارگیری پوشان استایرومل ۷۰۲ در دماهای بارریزی مختلف، کمترین مقدار می باشد. همچنین در دمای بارریزی ۷۶۰ درجه سانتیگراد، سیالیت حاصل از پوشانهای هولکوت ۱۱۰ و رثوتک ۱۵۰ تقریباً یکسان است. در دمای بارریزی ۷۲۰ درجه سانتیگراد، پوشان هولکوت ۱۱۰ سیالیت بیشتری را نسبت به پوشان رثوتک ۱۵۰ ایجاد می نماید. برخی از مشخصات شیمیایی و فیزیکی مهم پوشان ها مانند اندازه دانه های مواد دیرگداز، نوع چسب و... بدلائل تجاری صرفاً در اختیار سازنده آن است و درخصوص تاثیر آنها بر

سیالیت نمی توان بطور دقیق اظهار نظر نمود. ولی آنچه که مسلم است، نفوذ پذیری پوشان استایرومل ۷۰۲ برای محصولات پیرولیز فوم کمترین مقدار است. پوشان استایرومل ۷۰۲ ایجاد شده بر روی مدلها، پس از خشک شدن استحکام بالایی دارد که احتمالاً بدلیل استفاده از یک چسب قوی در ترکیب این پوشان می باشد. این موضوع نیز از دلایل نفوذ پذیری پایین آن است. بعلاوه تلفات حرارتی مذاب با بکارگیری این پوشان بالا می باشد زیرا مواد دیرگداز موجود در آن (گرافیت) هدایت حرارتی بالایی دارد. بنابراین دو عامل نفوذ پذیری پایین و هدایت حرارتی بالا از دلایل افت شدید سیالیت در مدل‌های پوشش دهی شده با این نوع پوشان است. البته استحکام بالای این پوشان، در فرآیند ریخته گری فومی مفید می باشد زیرا صلیبت مدل های پوشش دهی شده را می افزاید. بنابراین خواص فیزیکی و شیمیایی این پوشان بایستی از لحاظ نفوذ پذیری بالا و استحکام بالا بهینه باشد.

در دمای ۷۲۰ درجه سانتیگراد، احتمالاً پوشان هولکوت ۱۱۰ نسبت به پوشان رثوتک ۱۵۰ فرآیند ترشوندگی و جذب فازهای مایع حاصل از پیرولیز فوم را سریعتر انجام می دهد که این عمل سبب تسهیل در خروج محصولات پیرولیزی از طریق پوشان هولکوت ۱۱۰ در این دما می شود. همچنین بدلیل پایین بودن هدایت حرارتی پوشان هولکوت ۱۱۰ (حاوی فیلرهای زیرکنی) نسبت به پوشان رثوتک ۱۵۰ (حاوی فیلرهای زیرکنی و گرافیتی)، تلفات حرارتی مذاب در هنگام استفاده از پوشان هولکوت ۱۱۰ کمتر بوده بنابراین مذاب فرصت بیشتری برای سیلان خواهد داشت. می توان گفت که در دمای بارریزی ۷۲۰ درجه سانتیگراد برای این دو پوشان، تاثیر فرآیند انتقال حرارت بر سیالیت نسبت به فرآیند انتقال جرم بیشتر می باشد.

در دمای ۷۶۰ درجه سانتیگراد، فرآیند ترشوندگی و جذب فازهای مایع حاصل از پیرولیز فوم و نیز نفوذ پذیری دو پوشان هولکوت ۱۱۰ و رثوتک ۱۵۰ برای فازهای گازی حاصل از پیرولیز تقریباً یکسان است. می توان گفت که در این دما فرآیند انتقال جرم نقش اساسی بر سیالیت مذاب دارد بگونه ای که هدایت حرارتی پایین پوشان هولکوت ۱۱۰ نسبت به پوشان رثوتک ۱۵۰، بر سیالیت مذاب در این دما تاثیری نداشته است.

۵-۱-۳- اثر دمای بارریزی بر سیالیت

همانگونه که در شکل‌های ۴-۲۵ تا ۴-۲۷ نشان داده شده است، افزایش دمای بارریزی باعث افزایش سیالیت مذاب می شود. در واقع با افزایش میزان فوق ذوب، فرآیند ترشوندگی و جذب میان پوشان و پلی استایرن مایع در جبهه مذاب آسانتر انجام می شود زیرا پوشان و پلی استایرن مایع

سریعتر به دمای بحرانی لازم برای انجام این فرآیند می‌رسند. همچنین فوق ذوب بالا از انجماد زودرس جلوگیری کرده و زمان زیادی جهت جذب پلی استایرن مایع به درون پوشان مهیا می‌کند. بعلاوه با افزایش دمای بارریزی کسر حجمی محصولات گازی حاصل از تجزیه فوم افزایش می‌یابد و این محصولات خصوصا از طریق پوشانهایی با نفوذ پذیری بالا، به سهولت خارج می‌گردند. البته افزایش دمای بارریزی نسبت به سایر متغیرهای موثر بر سیالیت، تاثیر کمی بر افزایش آن دارد زیرا افزایش اکسیداسیون سطحی، جذب گاز و آخال و نیز تلفات حرارتی مذاب (بدلیل شیب حرارتی بالا میان مذاب و ماسه) از عوامل منفی دماهای بارریزی بالا می‌باشد. این موضوع در تحقیقات M. A. Tschopp Jr نیز عنوان شده است [۱۴].

۵-۱-۴- اثر ضخامت بر سیالیت

همانگونه که در بخش ۲-۴-۱ توضیح داده شد بطور کلی با افزایش ضخامت مقطع، سیالیت فلز مذاب بدلیل افزایش نسبت سطح به محیط ($\frac{A}{P}$) افزایش می‌یابد که این موضوع در اکثر منحنیهای بخش ۲-۴-۱ مشهود است. البته کاهش میزان تنش سطحی مذاب در اثر افزایش ضخامت نیز از عوامل افزایش طول سیالیت با افزایش ضخامت می‌باشد.

در برخی از منحنیهای بخش ۲-۴-۱ مشاهده می‌گردد که طول سیالیت با افزایش ضخامت، کاهش یافته است. علل بروز چنین رفتار غیر متعارفی عبارتند از :

- ۱- وجود اختلاف دانسیته در مقاطع فومی
 - ۲- غیر یکنواخت بودن مقاطع فومی از نظر میزان همجوشی دانه های EPS
 - ۳- متغیر بودن احتمالی ضخامت پوشان در برخی از مناطق مدل
 - ۴- ایجاد ترک های ریز در پوشان اعمالی به مدل ها بر اثر جابجایی، کوبش ماسه در اطراف مدل و شوک حرارتی ناشی از برخورد مذاب به پوشان
- ایجاد این رفتار غیر متعارف در برخی از آزمایشها علت اصلی تکرار کلیه آنها بوده است ولی همچنانکه در بخش ۲-۴-۱ نشان داده شد، در آزمایش های تکراری نیز علیرغم دقت و کنترل بیشتر، چنین رفتاری مجددا ظاهر شده است. این امر تفرق پذیری ذاتی فرآیند ریخته گری خصوصا فرآیند ریخته گری فومی را که دارای عوامل موثر بیشتری نسبت به فرآیندهای ریخته گری معمولی می‌باشد، نشان می‌دهد. بروز چنین رفتار غیر متعارف در فرآیند ریخته گری فومی معمول می‌باشد و در تحقیقات سایر محققان نیز اعلام شده است [۳۵].

۵-۱-۵- ایجاد عیوب سطحی در قطعات

عیوب سطحی و بقایای مواد فومی که در برخی از نمونه ها در محل اتصال تسمه ها به کانال اصلی مشاهده گردیده است (شکل ۴-۳۱) ناشی از وجود چسب می باشد که باعث ایجاد محصولات پیرولیزی بیشتری می شود. در برخی از نمونه های ریخته گری شده بصورت موردی عیوبی همچون زبری سطحی بیش از حد (شکل ۴-۳۲)، نفوذ مذاب به درون ماسه (شکل ۴-۳۳) و یا ریزش دیواره قالب (شکل ۴-۳۴) مشاهده گردیده است. زبری سطحی بیش از حد نمونه مربوطه، بدلیل غلظت (ویسکوزیته) پایین پوشان بکار رفته خصوصا در مرحله اول رنگ آمیزی مدل بوده است. زیرا پوشان رقیق به سهولت به درون مدل فومی نفوذ کرده و برخی از فضاهای خالی میان دانه های EPS را پر می کند. لذا فضاهای خالی میان دانه های EPS از دانه های دیرگداز پوشان پر شده و فلز مذاب نمی تواند بطور کامل آنها را پر نماید. نفوذ مذاب به درون ماسه و نیز ریزش دیواره قالب که به ترتیب در آزمایشهای شماره ۰۸ و ۷ ایجاد شده است، بدلیل استحکام پایین پوشان هولکوت استفاده شده و ایجاد ترک در آن می باشد.

۵-۲- نتیجه گیری

بطور خلاصه نتایج حاصل از تحقیق حاضر عبارت است از :

۱- فوم پلی استایرن تجاری با دانسیته اسمی $20 \frac{kg}{m^3}$ در مقایسه با فوم های پلی استایرن تجاری با دانسیته اسمی $40 \frac{kg}{m^3}$ و بلو فوم، جهت ساخت مدل مناسب تر است و قطعات ریختگی حاصل از آن دارای عیوب کمتری خواهد بود.

۲- هر چند فوم پلی استایرن تجاری با دانسیته اسمی $40 \frac{kg}{m^3}$ بدلیل داشتن دانسیته بالاتر (و طبعاً استحکام بیشتر) و بلو فوم بدلیل برخورداری از سطحی صاف، جهت ساخت مدل مطلوب به نظر می رسند ولی قطعات ریختگی حاصل از آنها دارای عیوب بیشتری خواهد بود و بهمین دلیل این نوع فوم ها جهت ریخته گری توصیه نمی گردند.

۳- فوم پلی استایرن تجاری با دانسیته اسمی $20 \frac{kg}{m^3}$ بدلیل ایجاد جبهه مذاب صاف، باعث کاهش عیوبی مانند چین خوردگی (fold) در قطعات ریختگی می شود در صورتیکه در اثر استفاده از فوم های پلی استایرن تجاری با دانسیته اسمی $40 \frac{kg}{m^3}$ و بلو فوم، قطعات تولیدی عیوب بیشتری خواهد داشت.

۴- پوشان هولکوت ۱۱۰ (حاوی فیلرهای زیرکنی) بدلیل استحکام پایین و نیز چسبندگی ضعیف به مدل فومی، جهت فرآیند ریخته گری فومی مناسب نمی باشد هر چند سیالیت حاصل از آن خصوصاً در دمای بارریزی ۷۲۰ درجه سانتیگراد نسبت به سایر پوشانها بیشتر است.

۵- پوشان های استایرومل ۷۰۲ (حاوی فیلرهای گرافیتی) و رثوتک ۱۵۰ (حاوی فیلرهای گرافیتی و زیرکنی) بدلیل برخورداری از استحکام مناسب، نفوذ پذیری خوب و نیز سهولت اعمال به مدل های فومی جهت فرآیند ریخته گری فومی مناسب می باشند. انتخاب هر یک از این دو پوشان به نوع قطعه و شرایط تولید بستگی دارد .

۶- استفاده از فوق ذوب های بالاتر تاثیر کمتری در کاهش عیوبی مانند نیامد در قطعات تولیدی به روش ریخته گری فومی دارد.

۷- در فرآیند ریخته گری فومی با افزایش ضخامت مقطع، سیالیت افزایش می یابد.

منابع و مراجع

- [1]- R. W. Monroe, **Expendable Pattern Casting**, AFS. Inc., USA, 1992, pp. 1-30, 71-82, 95-102, 111-116
- [2]- N. J. Mills, **Plastics Microstructure, properties and Applications**, first ed, Edward Arnold, Great Britain, 1986, pp. 1-83
- ۳- میرکریم مرسلی، ریخته گری با مدل‌های فومی، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۷۸، ص ۲۲-۲۷
- [4]- A. W. Birley, R. J. Heath, M. J. Scott, **Plastics Materials Properties and Applications**, second ed, Chapman and Hall, USA, 1988, pp. 47-53
- [5]- F. Sonnenberg, "Recent Innovations with EPS Lost Foam Beads", *AFS Transactions*, 2003, 03-006
- [6]- D. R. Hess, D. R. Askeland, C. W. Ramsay, "Influence of Bead Chemistry on Metal Velocity and Defect Formation in Aluminum Lost Foam Castings", *AFS Transactions*, 2003, 03-105
- [7]- D. Penumadu, R. Benson, R. Michaels, "Qualitative and Quantitative Description of EPS Foam for Lost Foam Casting", *AFS Transactions*, 2003, 03-113
- [8]- H. E. Littleton, T. Molibog, W. Sun, "The Role of Pattern Permeability in Lost Foam Casting", *AFS Transactions*, 2003, 03-090
- [9]- R. Michaels, D. Penumadu, R. Benson, "Quantification and Standardization of Pattern Properties for the Control of the Lost Foam Casting Process", [http // www.foamcity.com](http://www.foamcity.com)
- [10]- **Metals Handbook**, Vol. 15, 9th ed, ASM, USA, pp. 230-234
- [11]- M. C. Flemings, **Solidification Processing**, Mc Graw-Hill, USA, 1974, pp. 219-224
- [12]- R. Ajdar, C. Ravindran, A. Melean, "Total Solidification Time and Flow Length of A356 Alloy During Lost Foam Casting", *AFS Transactions*, 2002, 02-147
- [13]- Y. Sun, H. L. Tsai, D. R. Askeland, "Influence of Pattern Geometry and Other Process Parameters on Mold Filling in Aluminum EPC Process", *AFS Transactions*, Vol. 103, 1995, pp. 651-662
- [14]- M. A. Tschopp Jr, "Fluidity of Aluminum A356 in the Lost Foam Casting Process", *AFS Transactions*, 2002, 02-029
- [15]- E. N. Pan, G. L. Sheu, "The Filling Phenomena of Lost Foam Cast Irons and Aluminum Alloys", *AFS Transactions*, 2003, 03-087
- ۱۶- رضا غلامی پور، جلال حجازی، یوسف خرازی، مدل جریان مذاب در قالبهای ریخته گری توپر (EPC)، نهمین سمینار سالانه جامعه ریخته گران ایران، ۱۳۷۶، ص ۲۳۸-۲۵۳
- ۱۷- سعید ساقی، مهدی دیواندری، یوسف خرازی، تاثیر سیستم راهگای و ضخامت قالب بر رفتار پر شدن مذاب در ریخته گری فومی، شانزدهمین سمینار سالانه انجمن علمی ریخته گری ایران، ۱۳۸۳، ص ۲۷۲-۲۸۴
- [18]- S. I. Bakhtiyarov, Y. Liu, R. A. Overfelt, "Pressure Measurements on Decomposed EPS Gases in Lost Foam Iron Casting", *AFS Transactions*, 2002, 02-087
- ۱۹- سید محمد حسین میر باقری، کیانوش عسکری، مسعود داداش زاده، پرویز دوامی، شبیه سازی فرآیند ریخته گری به روش مدل های فومی فدا شونده LFC، هفتمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ایران، ۱۳۸۲، ص ۸۹۱-۹۰۲
- [20]- J. Campbell, **Castings**, Butter Worth Heinemann, Great Britain, 1993, pp. 115-117
- [21]- J. R. Brown, **Foseco Ferrous Foundryman's Handbook**, Butter Worth Heinemann, Great Britain, 2000, pp. 216-225
- [22]- Y. Sun, H. L. Tsai, D. R. Askeland, "Effects of Silicon Content, Coating Materials and Gating Design on Casting Defects in the Aluminum Lost Foam Process", *AFS Transactions*, Vol. 104, 1996, pp. 271-279
- ۲۳- سعید ساقی، مهدی دیواندری، یوسف خرازی، بررسی نقش مکان سیستم راهگای بر سلامت قطعات در روش ریخته گری فومی، شانزدهمین سمینار سالانه انجمن علمی ریخته گری ایران، ۱۳۸۳، ص ۷۸-۸۸
- [24]- W. Sun, H. E. Littleton, C. E. Bates, "Effects of Foam Pattern Fusion on the Quality of Lost Foam Aluminum Castings: Real Time and Digital X-Ray Observations", *AFS Transactions*, 2003, 03-083
- [25]- Q. Zhao, J. T. Burke, T. W. Gustafson, "Foam Removal Mechanism in Aluminum Lost Foam Casting", *AFS Transactions*, 2002, 02-083
- [26]- E. J. Vinarcik, "Thermo Gravimetric Analysis of Expendable Pattern Casting Adhesives", *AFS Transactions*, Vol. 105, 1997, pp. 355-357

[27]- M. Emamy, J. Campbell, " The Flowability of Particulate TiB_2 -Containing Metal Matrix Composite ", *Cast Metals*, Vol. 8, No. 1, 1995, pp. 13-20

[28]- P. Beeley, **Foundry Technology**, second ed, *Butter Worth Heinemann*, Great Britain, 2001, pp. 15-49

[29]- J. R. Brown, **Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook**, 11th ed, *Butter Worth Heinemann*, Great Britain, 1999, pp. 89- 98

۳۰- عبدا.. ولی نژاد، طراحی و ساخت مدل های ریخته گری، طراح، ۱۳۸۲، ص ۱۳۸-۱۴۴ و ۲۷۶-۲۹۰

۳۱- محمد علی بوترابی، غلامرضا کزازی، نگرشی نوین بر طراحی سیستم های راهگاهی، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۶،

ص ۸۱-۱۶۶

[32]- G. H. Kocan, " Incorporating Permeability into Lost Foam Casting Controls ", *AFS Transactions*, Vol. 104, 1996, pp. 565-569

۳۳- بهزاد موثقیان، مصطفی تفضلی یزدی، تاثیر پوشانها بر روی میزان سیالیت مذاب در روش ریخته گری توپر، نهمین

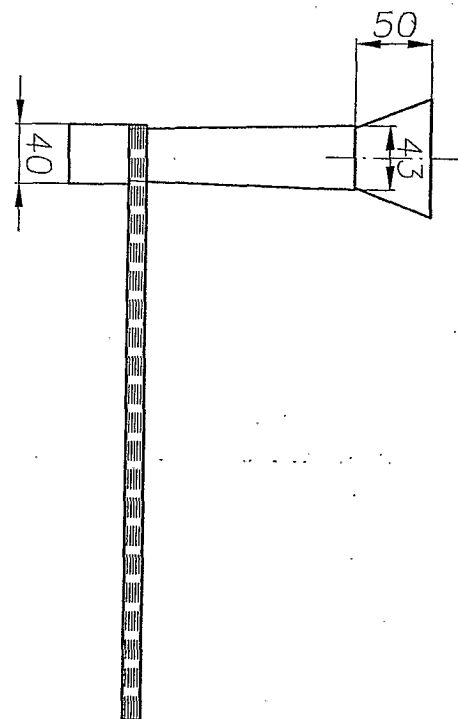
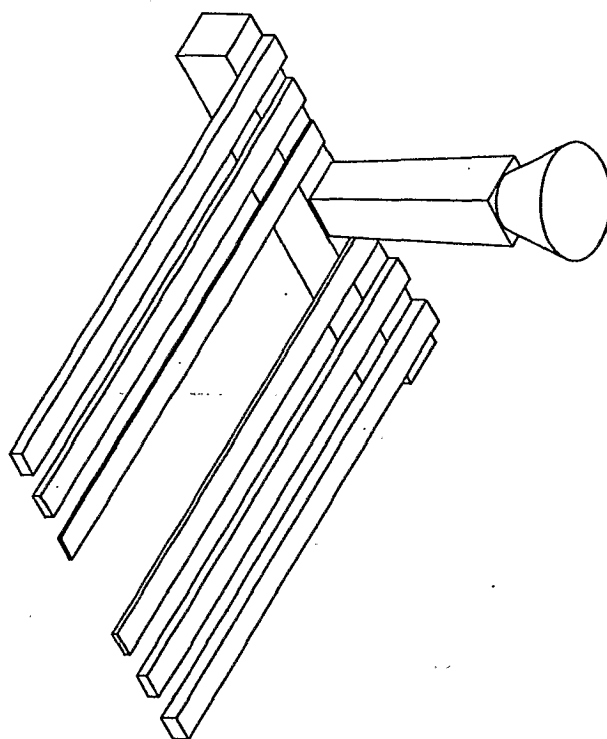
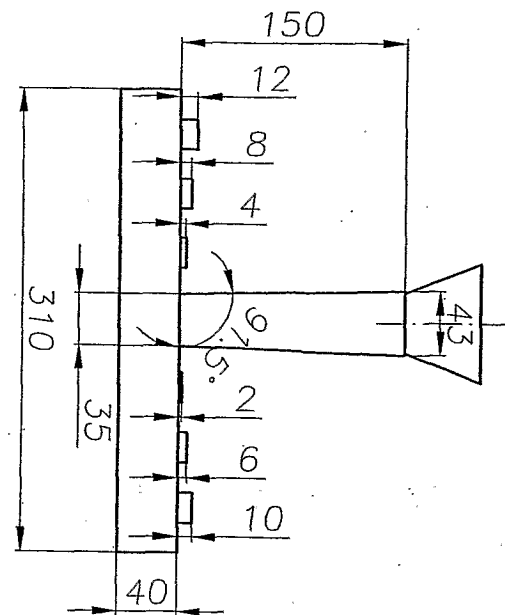
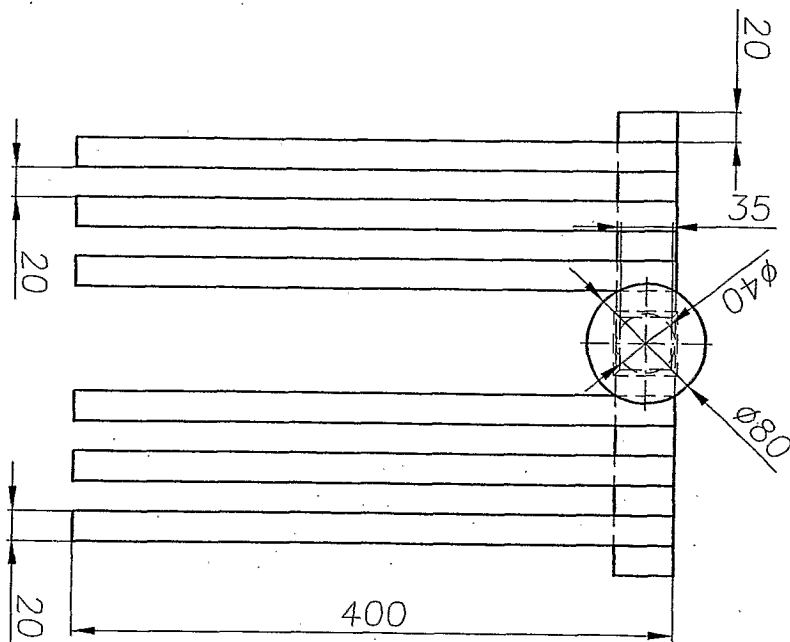
سمینار سالانه جامعه ریخته گران ایران، ۱۳۷۶، ص ۲۰۲-۲۱۹

۳۴- سیامک شکری، پرویز دوامی، بررسی عوامل موثر بر سیالیت مذاب آلومینیم ۳۵۶ در روش ریخته گری با مدل های

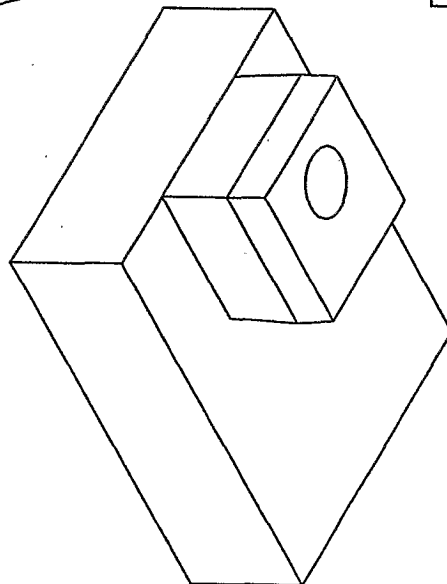
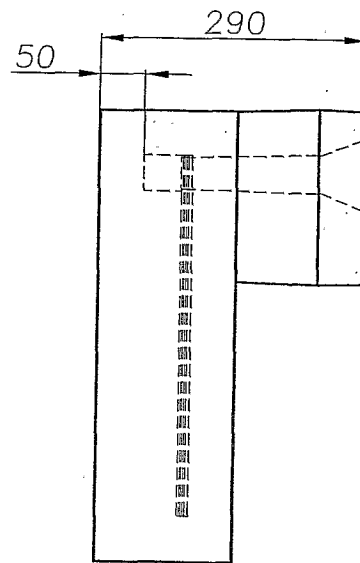
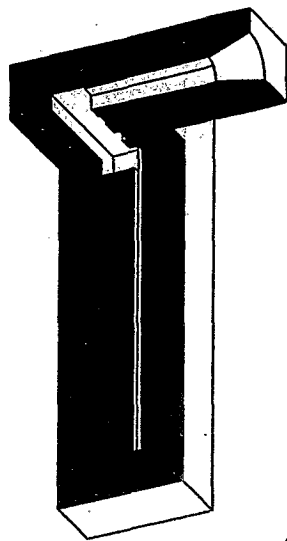
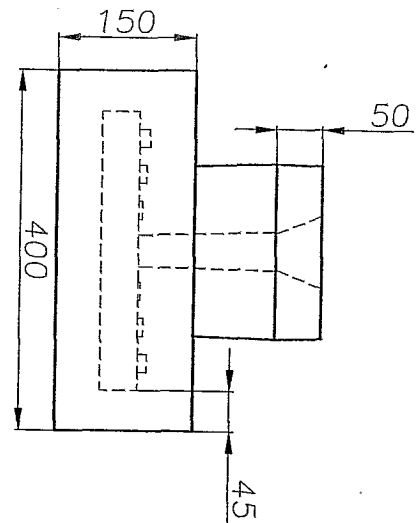
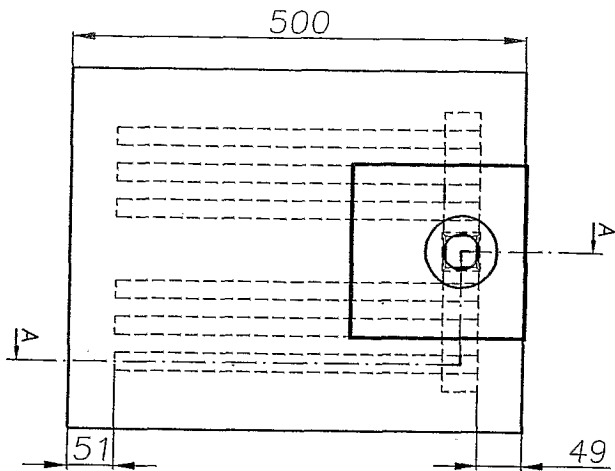
تبخیر شونده (EPC)، چهاردهمین سمینار سالانه انجمن علمی ریخته گران ایران، ۱۳۸۱، ص ۱۰۵-۱۲۰

[35]- J. Liu, C. W. Ramsay, D. R. Askeland, " Effects of Foam Density and Density Gradients on Metal Fill in the LFC Process ", *AFS Transactions*, Vol. 105, 1997, pp. 435-442

پوست‌ها

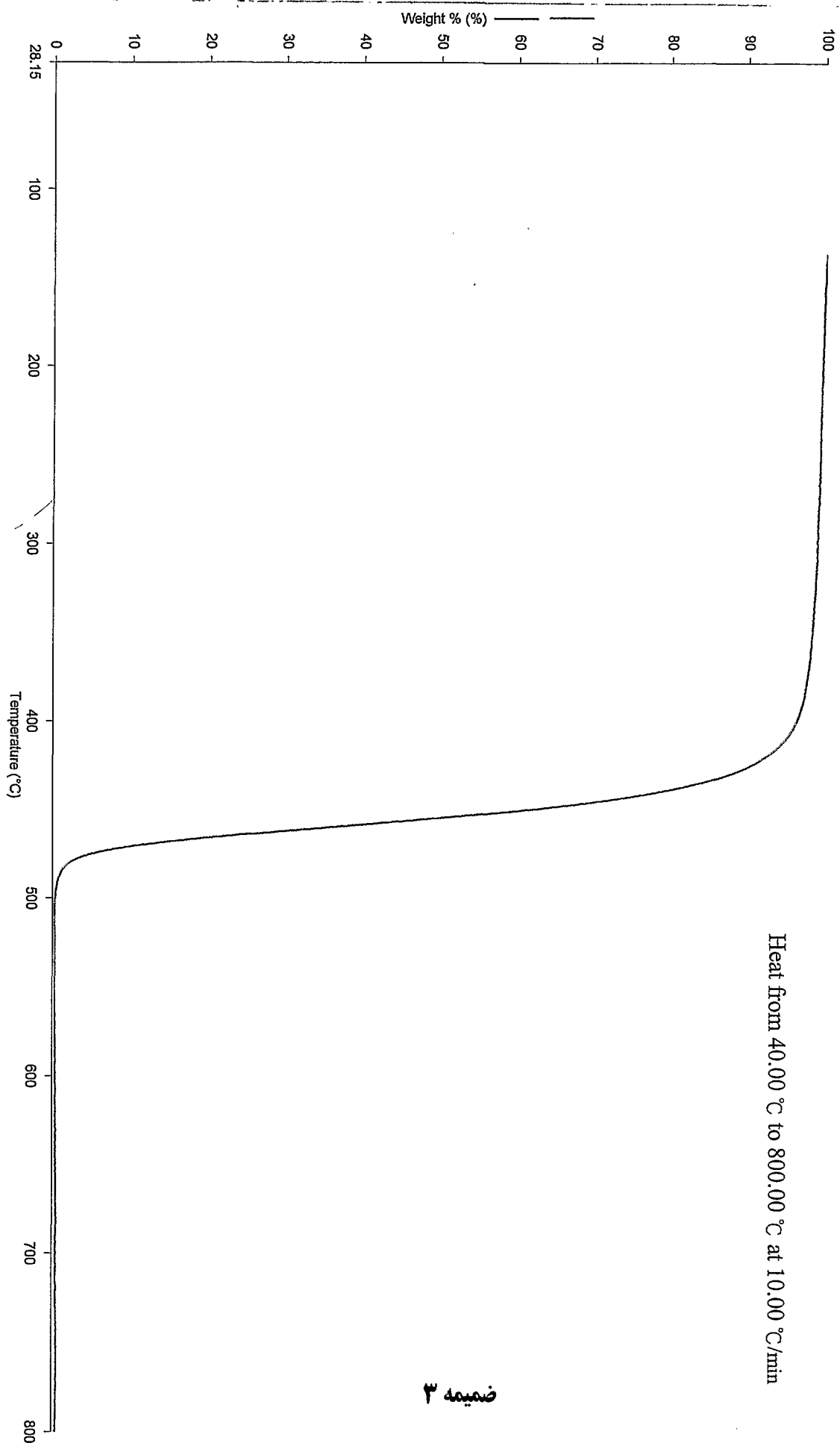


ضمیمه ۱



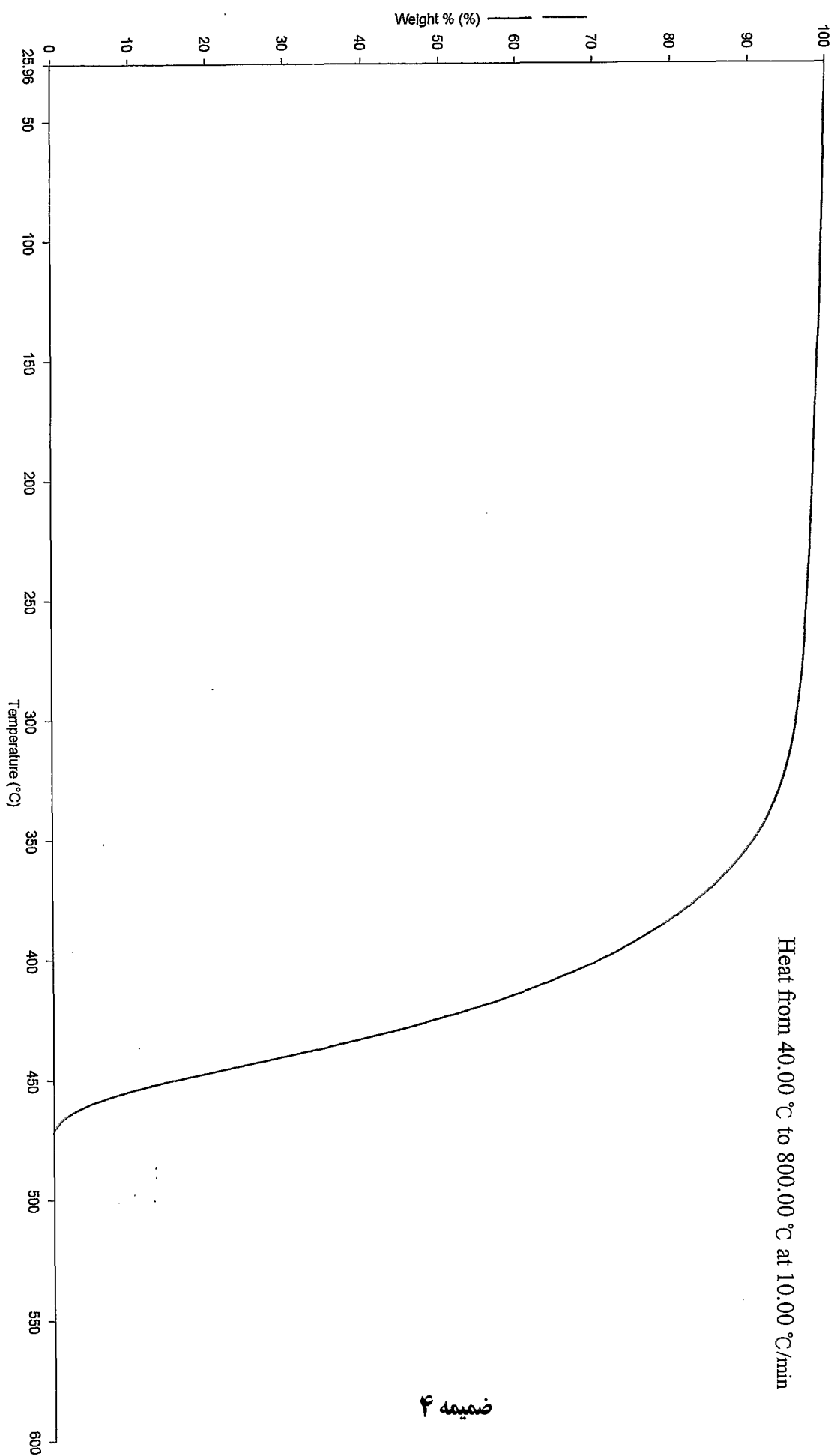
ضمیمه ۲

Filename: C:\Program Files\Pyris\Data\FoamA.tg1d
Operator ID:
Sample ID: A
Sample Weight: 0.480 mg
Comment:



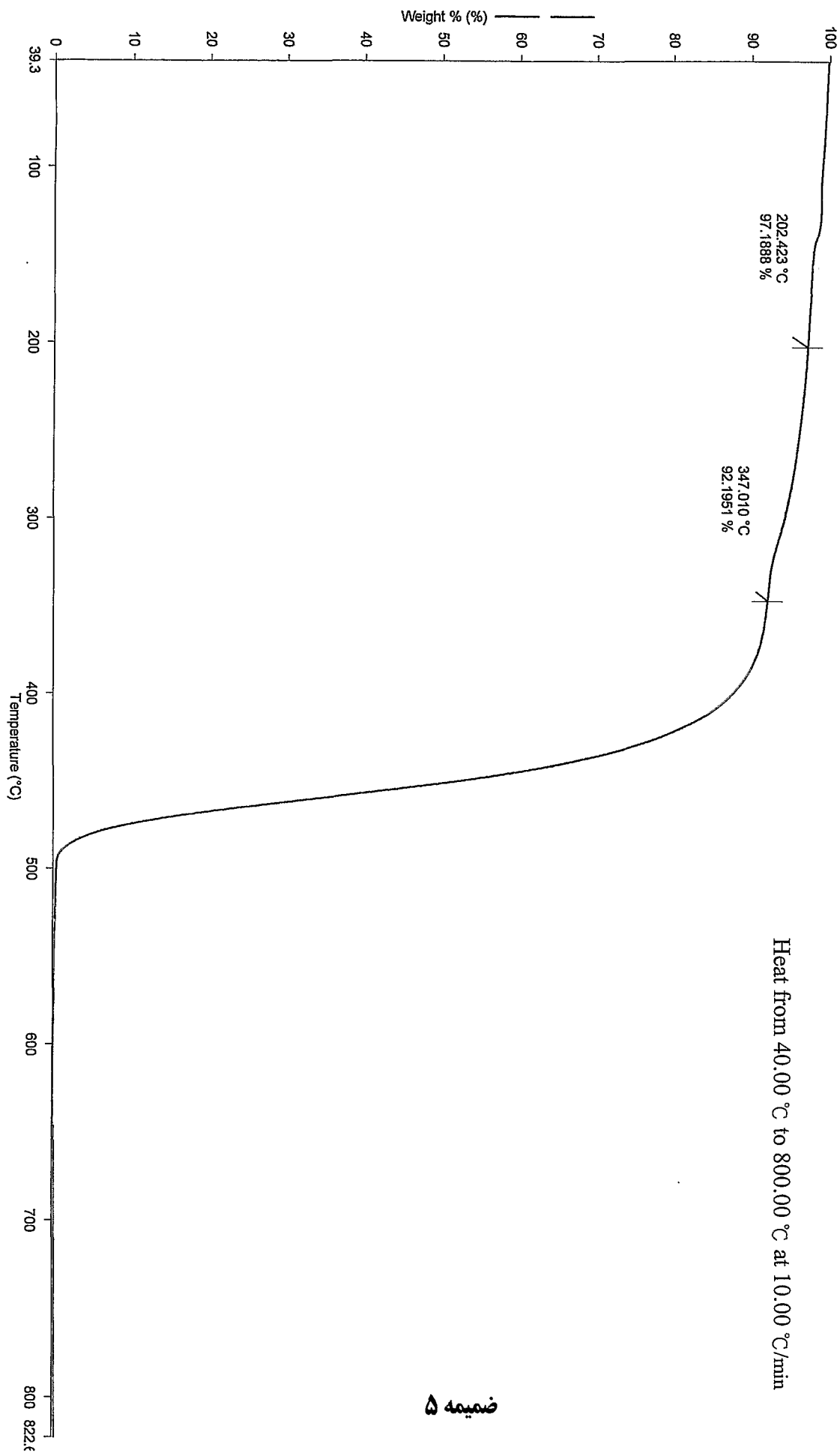
ضمیمه ۳

Filename: C:\Program Files\Pyris\Data\FoamB.tg1d
Operator ID:
Sample ID: B
Sample Weight: 1.433 mg
Comment:



ضمیمه ۴

Filename: C:\Program Files\Pyris\DATA\F00mC.Ig1d
Operator ID:
Sample ID: C
Sample Weight: 0.973 mg
Comment:



ضمیمه ۵

Abstract

Expendable pattern casting (EPC) has always been interesting for foundrymen and industrial people due to its unique advantages. Many aspects of this process have been investigated. This process is still considered as a new casting method in Iran because there is not enough knowledge about the process. Promising researches have been carried out about different related parameters such as coating materials, coating thickness and etc. but a little work has been performed about the physical and chemical properties of foams and their effect on the quality of castings, especially in Iran.

In this research, effect of different commercial foams i.e. polystyrene with 20 & 40 $\frac{kg}{m^3}$ nominal density and polystyrene called blue foam, and coatings including Styromol 702 (contains graphite fillers), Holcote 110 (contains zircon fillers) and Rheotec 150 (contains both graphite and zircon fillers) on the soundness of Aluminium castings have been studied through strip fluidity test. Also, the effect of pouring temperature on 40 × 20 cm fluidity strips in thickness of 2,4,6,8,10 and 12 mm, has been investigated.

The results show that polystyrene foam of 20 $\frac{kg}{m^3}$ nominal density is the most suitable foam for casting. Styromol 702 and Rheotec 150 are also appropriate due to ease of application and their enough dry strength. Fluidity caused by Styromol 702 is the lowest. Increasing pouring temperature from 720 to 760 °C has little effect on fluidity. As expected, by increasing the strip thickness the fluidity length increased, although some deviations from this trend have also been observed.

University of Tehran

Faculty of Engineering

**Investigation the Effect of Physical and Chemical Properties of Foam,
Type of Coating, Pouring Temperature and Pattern Thickness on the
Soundness of Aluminium Castings in the Lost Foam Process.**

by : M. Pouyamehr

Under Supervision of Dr. A. Halvae and Dr. M. Divandari

A thesis submitted to the **Graduate Studies Office** in partial
fulfillment of the requirements for the degree of master of science in

Engineering of Metallurgy and Materials

Oct. 2005