دانشکده مهندسی مواد ومتالورژی

بررسی اثر شرایط ریخته‌گری و قطر سیم مس و منیزیم در ساختار مقاطع چدنی تولید شده به روش ریخته‌گری فومی

یاسر دلاوریان

اساتید راهنما

دکتر مهدی دیواندری

دکتر یوسف خرازی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد گرایش ریخته‌گری

اردیبهشت ۱۳۸۷

کلیه حقوق مادی و معنوی این پایان نامه متعلق به دانشگاه علم و صنعت ایران است.

چکیده

یکی از ویژگیهای روش ریخته گری فومی امکان قرار دادن الیاف یا سیم در داخل فوم یا در واقع مغزه گذاری و سپس انجام عملیات ریخته‌گری است. بدین ترتیب از این روش می توان برای بررسی فازها و واکنش های انجام گرفته بین سیم و فلز زمینه استفاده نمود. در این تحقیق، با ساخت قالب و قرار دادن سیم مسی و نوار منیزیمی در داخل قالب، مدل فومی حاوی مغزه تهیه شد. ۸عدد از مدلهای فومی تولیدی روی دیسک فومی به ضخامت ۱۰میلیمتر مونتاژ شدند. پس از قالب گیری، ریخته‌گری در دو دمای ۱۳۰۰ و ۱۴۰۰ درجه‌ی سانتیگراد انجام گرفت. نحوه انحلال سیم ها، چگونگی نفوذ مس به داخل زمینه چدنی و تغییرات ایجاد شده توسط مس و منیزیم در ریز ساختار چدن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش ها نشان داد که با افزایش قطر سیم مسی ، میزان انحلال و ذوب شدن سیم در مذاب چدن و ریز ساختار زمینه چدنی، تغییر می یابد. مطالعه و بررسی ریزساختار نمونه ها و نتایج حاصل از آن نشان داد که در اثر ذوب سطحی سیم های مسی به وسیله مذاب چدن و نفوذ مس در زمینه چدن، مقدار و اندازه پرلیت در ریز ساختار از ۶۵درصد در نمونه شاهد به ۷۵ الی ۸۵ درصد در نمونه های حاوی سیم مسی، تغییر می نماید. بدلیل وجود سیم مسی در زمینه و انحلال آن در زمینه گرافیت های ظریفتری در مرکز نمونه ایجاد شد. بررسی متالوگرافی نمونه های حاوی منیزیم نشان داد که در تمامی نمونه ها، منیزیم بطور کامل در زمینه حل شده و موجب شکل گرفتن مناطقی با گرافیت کروی و نیمه کروی در زمینه چدنی می شود. بررسی ها نشان دادند که از این روش می توان برای کروی کردن موضعی استفاده نمود.

.

فهرست

فصل اول ۱
مقدمه ۱
فصل دوم ۳
مروری بر منابع ۳
۲-۱- تاریخچه ریخته گری فومی ۳
۲-۱-۱- ریخته گری توپر رشد تکنولوژیکی و بازار جهانی ۳
۲-۲- فرایند ریخته گری فومی ٤
۲-۳- مزایای ٤
۲-۴- معایب و محدودیت ها ٥
۲-۵- مروری بر فرایند ریخته گری فومی ٦
۲-۵-۱- طراحی قطعه ٦
۲-۵-۲- طراحی و تولید قالب ساخت تولید مدلهای فومی ٦
۲-۵-۳- ساخت مدل فومی ۷
۲-۵-۴- سر هم کردن اجزاء فومی ۱۱
۲-۵-۵- پوشش دادن مدل ۱۱
۲-۶- بررسی سیلان مذاب در ریخته گری فومی ۱۳
۲-۶-۱-سیلان مذاب در آلیاژهای با نقطه ذوب پایین ۱٤
۲-۶-۲-سیلان مذاب در آلیاژهای با نقطه ذوب بالا ۱٤
۲-۷-بررسی عواملی موثر بر پر شدن قالب ۱٥
۲-۷-۱- تاثیر عواملی مرتبط با مدل فومی بر پر شدن قالب ۱٦
۲-۷-۲- تاثیر پوشان ۱۸
۲-۷-۳- بررسی موارد مرتبط با فلز ۱۹
۲-۷-۴- بررسی تاثیر سیستم راهگاهی بر فرایند ریخته گری فومی ۲۰
۲-۷-۵-تاثیر ماسه مصرفی در موارد مرتبط با آن ۲۳
۲-۸- چدن های خاکستری ۲۳
۲-۹- ویژگیهای مس ۲٦
۲-۹-۲- فازهای تعادلی در دیاگرام آهن و مس ۲۷
۲-۹-۳- تأثیر مس بر ساختار میکروسکوپی ۲۸
۲-۹-۴- قدرت گرافیت زایی مس ۲۸
۲-۹-۵- اثر مس بر پرلیت زایی و فریت زایی ۲۹
۲-۹-۶- خاصیت ظریف کنندگی پرلیت ۳۰
۲-۹-۷- تاثیر مس بر خواص مکانیکی چدن خاکستری ۳۱
۲-۱۰- ویژگیهای منیزیم ۳۱
۲-۱۱- مکانیزم شکل گیری مورفولوژی های متفاوت گرافیت ۳۲

۲-۱۱-۱- تاثیر سرعت رشد فصل مشترک بر شکل گیری مورفولوژی های متفاوت گرافیت ۳۳
۲-۱۱-۲- تاثیر ناخالصیها بر شکل گیری مورفولوژی های متفاوت گرافیت ۳٤
۲-۱۲- کروی کردن گرافیت در چدن خاکستری ۳٤
فصل سوم ۳۶
روش تحقیق ۳۶
مقدمه: ۳٦
۳-۱- آماده سازی مدلها ۳۷
۳-۲- تهیه و طراحی سیستم را هگاهی ٤۱
۳-۳- قالب گیری ٤۳
۳-۴- ذوب ریزی ٤۳
۳-۵- آماده سازی نمونه ها ٤٤
۳-۶- عملیات متالوگرافی ٤٥
۳-۷- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ٤٦
فصل چهارم ۴۷
نتایج ۴۷
مقدمه ٤۷
۴-۱-تصاویر متالوگرافی نمونه های اچ نشده با میکروسکوپ نوری ٤۸
۴-۱-۱- تصاویر متالوگرافی نمونه شاهد ٤۸
۴-۱-۳- تصاویر متالوگرافی نمونه های حاوی سیم مسی به قطر ۱/۲ میلیمتر ٥۱
۴-۱-۴- تصاویر متالوگرافی نمونه های حاوی سیم مسی به قطر ۲ میلیمتر ٥٥
۴-۲- تصاویر متالو گرافی شده نمونه های اچ شده با میکروسکوپ نوری ٦۲۱
۴-۳-تصاویر و نتایج آنالیز نقطه ای و آنالیز خطی با میکروسکوپ الکترونی روبشی ٦۷٥
۴-۴- تصاویر متالوگرافی با میکروسکوپ نوری ازنمونه های حاوی نوار منیزیمی ۷٦۷
فصل ۵ ..... ۸۲
سگالش ۸۲
۵-۱- بررسی عوامل مختلف بر میزان حل شدن سیم مسی در چدن خاکستری ۸۲
۵-۲- نحوه تشکیل تخلخل ۸٦
۵-۳-جابجایی سیم در مدل ۸۹٦
۵-۴- تاثیر مس بر ریز ساختار چدن خاکستری ۹۰
۵-۴-۱- تاثیر سیم مسی بر تشکیل پرلیت در چدن خاکستری ۹۰
۵-۴-۲- تاثیر مس بر مورفولوژی گرافیت شکل گرفته در چدن خاکستری ۸۸
۵-۶- بررسی آنالیز خطی نمونه ها ۸۹
۵-۷-بررسی تاثیر منیزیم بر ریز ساختار چدن ۹۲
نتیجه گیری ۹۳۱
مراجع ۹۴۲

فصل اول

مقدمه

امروزه پیشرفت علم و تکنولوژی و نیاز به قطعات منحصر به فرد با خواص ویژه وعیوب کمتر، موجب ترغیب و تشویق محققین و صنعتگران در به کارگیری روش های جدید، کارآمد و اقتصادی شده است.

روش ریخته گری فومی یکی از روش های ریخته گری است که حدودا از سال ۱۹۶۰ برای تولید قطعات بزرگ صنعتی و یا تولید انبوه قطعات کوچک استفاده شده است. این فرایند به دلیل داشتن مزایای متعدد فنی واقتصادی، در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته و رشد روز افزون مقالات مربوط به استفاده از این روش، به خوبی نشان دهندهٔ آیندهٔ درخشان و ارزشمند این روش است.

در فرایند ریخته گری فومی، معمولا از پلی استایرن منبسط شونده برای ساخت مدل استفاده می شود. مدل ها پس از ساخت، به یکدیگر و به سیستم راهگاهی متصل شده و سپس به وسیلهٔ یک پوشان دیر گداز نفوذپذیر، پوشش داده می شوند. پس از خشک شدن پوشان، مدل ها و سیستم راهگاهی متصل به آن در داخل قالب مخصوص قرار داده شده و ماسهٔ خشک به داخل آن ریخته و قالب گیری انجام می‌شود. با انجام ذوب ریزی، فوم پلی استایرن تجزیه و مذاب جای آن را گرفته و قطعه اصلی شکل می گیرد.

روش ریخته گری فومی، از زمان ابداع تا کنون، دچار تحولات بسیاری شده است، به طوری که در سال های اخیر، تکنیک های جدید ساخت فوم، پوشان های مختلف، آلیاژهای گوناگون و روش های اجرائی متفاوتی از این روش مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

از خصوصیات این روش حرکت آرام سیال و جبهه مذاب است، از این خصوصیات می توان برای کارگـذاری انواع سیم ها والیافها در آلیاژ های مختلف استفاده نمود. به این ترتیب، علاوه بر استفاده از مزایا و سهولت این روش ریخته گری، می توان به بررسی فاز های تشکیل شده و نحوه انحلال سیم هاو الیاف ها پرداخت.

در سالهای اخیر تحقیقات متعددی جهت بکارگیری ریخته گری فومی برای کارگذاری انواع الیـاف و سـیم ها در آلیاژ های آلومینیوم و چدن صورت گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی اثر سیم مسی و منیزیمی بر ریز ساختار و خواص مقاطع چدنی تولیدی و چگونگی انحلال سیم ها در چدن خاکستری، همچنـین بررسـی امکان کروی کردن گرافیت در چدن خاکستری با استفاده از کارگذاری منیزیم خالص در مدل فومی، است.

فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱- تاریخچه ریخته گری فومی

در ۱۵ آوریل سال ۱۹۵۸ اچ. اف. شرویر در آمریکا پتنتی را به شماره ۲۸۳۰۳۴۳ به ثبت میرساند که در آن به استفاده از فوم استیرول که ماده ای سبک و قابل برش است، به جای مدلهای معمول اشاره می کند، که این مدل در حین ریخته گری تجزیه و حذف می گردد. آنچه شرویر به ثبت رساند، امروزه تحت عنوان فرایند ریخته گری توپر شناخته می شود[۱].

تحقیقات بر روی روش ریخته گری فومی ابتدا با ماسه چسبدار و در سالهای بعد با استفاده از ماسه بدون چسب برای صنعتی کردن این روش و همچنین تولید انبوه قطعات با این روش ادامه یافت. حدود بیست سال بعد یعنی در سال ۱۹۸۰ اولین خط تولید با این روش در آمریکای شمالی آغاز به کار کرد. برای این روش ریخته گری نامهای کلی و اختصاصی متنوعی نسبت داده شده است. نامهایی نظیر ریخته گری با مدلهای تبخیر شونده، ریخته گری توپر، ریخته گری فومی و ریخته گری فومی تبخیری به این فرایند نسبت داده شده است[۲و۳].

۲-۱-۱- ریخته گری توپر رشد تکنولوژیکی و بازار جهانی

پیشرفت در درک و کنترل فرایند ریخته گری فومی موجب پیشرفت این روش در جهان شده است. در آمریکای شمالی نرخ رشد ۲۰٪ به ازای هر سال مشاهده میگردد[۴].

بحران نفت و اثر آن بر روی صنایع اتومبیل سازی باعث شد، کاهش قیمت و وزن قطعات تولیدی جهت پایین آوردن هزینه تولید، مورد توجه قرار گیرد. به همین منظور متخصصین در کارخانجات مختلف با سرمایه گذاری بیشتر بر روی فرایند ریخته گری توپر با ساخت طرح های نیمه صنعتی و آزمایشی آغاز به کار کردند.

تحقیقات نشان می دهد که در سال ۱۹۹۰ حدود ۶٪ از قطعات آلومینیومی در آمریکای شمالی با استفاده از این روش تولید شده است و در مورد چدن خاکستری و داکتیل نیز در سال ۱۹۹۷، حدود ۲٪ قطعات چدنی مذکور با این روش تولید شده اند که پیش بینی می شود این نرخ به حدود ۱۵٪ در سال ۲۰۰۹ خواهد رسید. در بین این تولیدات می توان به پوسته پمپهای آلومینیومی، سیلندر و سر سیلندر موتور و غیره اشاره کرد[۴].

۲-۲- فرایند ریخته گری فومی

در روش ریخته گری فومی ، ابتدا مدل فومی به شکل دلخواه تولید میگردد، سپس سیستم راهگاهی به مدل متصل شده و بعد از این مرحله یک لایه نازک از یک ماده دیرگداز به عنوان پوشان بر روی این مدل فومی به روش های متفاوت نظیر غوطه وری و پاشش ایجاد میگردد و به مدل زمان داده میشود تا این پوشش خشک گردد. سپس مدل در درجه قرار گرفته و همزمان با ریزش ماسه به داخل درجه با استفاده از میز لرزاننده، ماسه فشرده میشود. سپس مذاب ریزی انجام میگردد، هم زمان با ریزش مذاب مدل فومی تجزیه میگردد و مذاب جای آنرا گرفته و در نهایت قطعه به شکل مورد نظر تولید میگردد[۵].

۲-۳- مزایای ریخته گری فومی

مزایای ریخته گری با مدلهای فومی را میتوان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱-محیط کار گاهی تمیزتر و کم سرو صدا تر

۲-مدل ارزان قیمت

۳-زمان تمیز کاری کمتر

۴-نیاز کمتر به نیروی انسانی

۵-فضای کمتر برای قالب گیری

۶-عدم نیاز به ماهیچه

۷-عدم نیاز به چسب و سایر افزودنیها به ماسه قالب گیری

۸-عدم نیاز به عملیات بازیافت ماسه

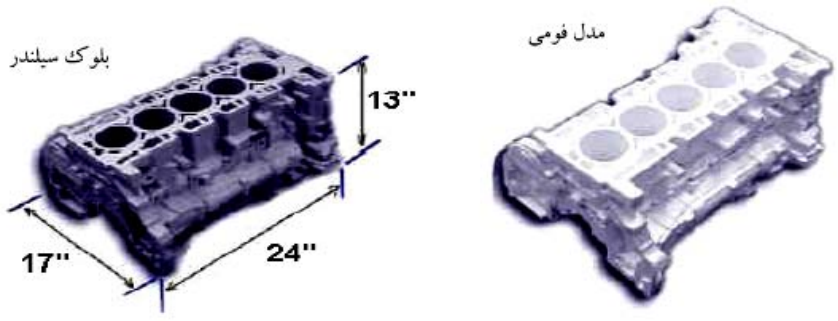
۹-بهبود دقت ابعادی، سهولت انتقال ماسه

۱۰-عدم وجود خطوط جدایش[۶].

۲-۴- معایب و محدودیت های روش ریخته گری فومی :

همانند سایر روشهای ریخته گری، این روش نیز در کنار مزایایی که دارد محدودیت ها و معایبی نیـز دارد. از مهمترین معایب ریخته گری فومی میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

- کیفیت سطحی قطعه بستگی تام به کیفیت سطحی فوم دارد
- هزینه ساخت قالب های فومی بالا است
- مدل های فومی نرم و آسیب پذیرند
- مدلها با گذشت زمان دستخوش انقباض میشوند
- در مورد فولادهای کم کربن افزایش کربن رخ میدهد
- عیوبی در این روش وجود دارند که منحصر به این روش می باشند
- اما در مجموع استفاده از مدلهای فومی برای تولید قطعات ریخته گری، مزایای بیشتری نسبت بـه معایب مرتبط داشته و اگر این روش بـه خـوبی درک شـود، امکـان تولیـد و گـسترش ایـن روش افزایش پیدا خواهد کرد[۷].



شکل ۲-۱: نمونه ای ازیک قطعه که به علت چند تکه بودن و نیاز به ماشین کاری بالا تولید آن به روش ریخته گری با مدل از بین رونده امکان پذیر است[۶].

۲-۵- مروری بر فرایند ریخته گری فومی

مراحل مختلف فرایند ریخته گری فومی را می توان به صورت زیر ارائه داد:

۱-طراحی قطعه ۲-طراحی و تولید قالب تهیه مدل های فومی

۳-مونتاژ کردن مقاطع فومی ۴-پوشش کاری مدلهای فومی

۵-پر کردن درجه از ماسه و فشرده سازی آن ۶-مذاب ریزی

۷-خارج ساختن قطعه از درجه تمیز کاری ۸-کنترل کیفی قطعه تولیدی

۲-۵-۱- طراحی قطعه

اولین قدم در فرایند ریخته گری فومی طراحی اجزاء مورد نظر است. برای سود جستن از مزایای فرایند نظیر تبدیل یک قطعه چند تکه به یک قطعه واحد و یا ایجاد سوراخها در همان مرحله ریخته گری لازم است به طراحی قطعه دقت کافی مبذول گردد. قیمت تمام شده قطعه پس از ریخته گری ممکن است بیش از سایر روش های معمول باشد، اما قیمت نهایی پس از احتساب مراحل تمیز کاری و ماشین کاری معمولا به میزان قابل توجهی کمتر است[۵].

۲-۵-۲- طراحی و تولید قالب ساخت تولید مدلهای فومی

پس از طراحی قطعه لازم است تا تجهیزات قالب و بیرون انداز، نازل های پر کننده، محفظه های خنک کننده و ساخت مقاطع فومی لازم برای مدل که می تواند یکپارچه یا چند باشد طراحی گردد. طراحی این تجهیزات از آنجا حائز اهمیت است که تعیین کننده ابعاد اولیه فوم بوده و بر مدل فومی، زمان سیکل تولید، اندازه سطوح، ذوب سطحی دانه ها در داخل مقاطع نیز تاثیر گذار است. طراحی این تجهیزات می تواند بسیار ساده یا به همراه تعبیه کشویی و موارد دیگر برای ایجاد سوراخ در داخل مقاطع باشد. در طراحی مدل قطعات پیچیده و معمولا چند تکه به صورت جداگانه ساخته می شوند و سپس با استفاده از چسب به منظور آماده سازی مدل نهایی به یکدیگر متصل می شوند. ساخت هر قسمت فومی نیاز به قالب جداگانه ای داشته و برای اتصال دقیق قسمتهای مختلف مدل نیاز به نگهدارنده هایی است. طراحی و ساخت قالب پر هزینه بوده و بسته به تجربه قالب ساز معمولا به زمان زیادی نیاز دارد[۲].

۲-۵-۳- ساخت مدل فومی

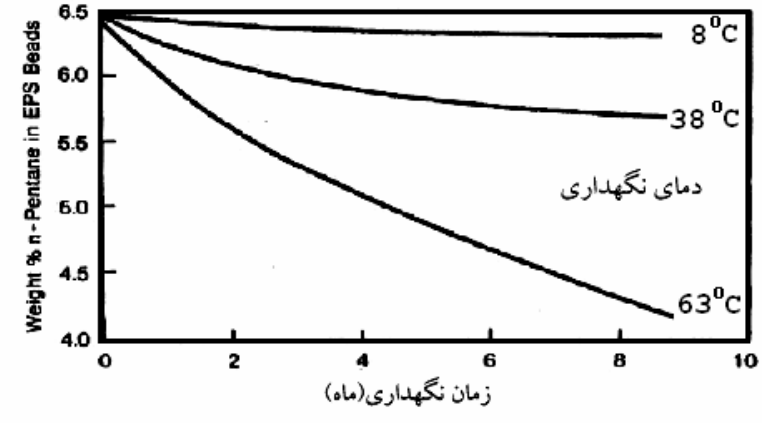
برای ساخت قطعات در تعداد کم میتوان از بلوکهای فومی برای ساخت مدل استفاده کرد. اتصال نیز میتواند به کمک چسب و به صورت دستی انجام بگیرد البته قطعات تولید شده با این روش کیفیت سطحی پایین تری داشته و از دقت ابعادی کمتری بر خوردار هستند. در مواردی که اتصال به صورت دستی انجام میشود، معمولا به دلیل مصرف بیشتر چسب عیوب ناشی از چسب در قطعه ایجاد خواهد شد.

ماده سازنده مدلهای فومی که در حال حاضر بیشترین استفاده را دارد پلی استایرن انبساط یافته است که محتوی ۴-۷٪ پنتان به عنوان عامل انبساط دهنده است. استفاده از پلی استایرن انبساط یافته خالی از مشکل نیست که می توان به جذب کربن و عیوب کربنی در تولید قطعات ریخته گری فولادی و چدنی اشاره کرد. محدودیت های استفاده از پلی استایرن انبساط یافته، منجر به استفاده از پلی متیل متااکریلیک شد که موفقیت های زیادی نیز به دست آمد. استفاده از پلی متیل متااکریلیک به شدت میزان جذب کربن و عیوب کربنی را کاهش می دهد. به همین منظور استفاده از آن به جای پلی استایرن انبساط یافته در ریخته گری قطعات چدنی و فولادی معمول شده است[۲]. با توجه به جدول ۲-۱ میزان کربرویزاسیون پلی متیل متا اکریلیک نسبت به پلی استایرن انبساط یافته بسیار پایین است، که می تواند میزان عیوب کربنی را به شدت کاهش بدهد.

جدول ۲-۱: میزان کربوریزاسیون پلی مرهای متفاوت در فرایند ریخته گری با مدلهای از بین رونده[۲].

Material	Carburization(%)
EPS	35-50
Styrene malice anhydride	35-50
Polyethylene	11-44
Polypropylene	11-44
EPMMA	4-6
Polybutene-sulfone	4-6
EPS-EPMMA	6-35

انبساط اولیه دانه ها با گرم کردن سریع توسط بخار انجام می‌گیرد و دانه های انبساط یافته بایستی پیش از مصرف به حالت پایدار برسند مرحله انبساط اولیه دانه ها را پیش انبساط می نامند و محصول آن دانه های "پیش انبساط یافته" نامیده می شود. دانه های اولیه پلی استایرن انبساط یافته غالبا شامل ۷-۵٪ پنتان هستند اما پیش انبساط دانه هایی که میزان پنتان محتوی آنها کمتر از ۴٪ باشد غالبا با مشکل روبه روخواهد شد. هر چه میزان پنتان محتوی دانه ها بیشتر باشد، دانسیته نهایی هم کمتر خواهد بود. بنابراین درفرایند پیش انبساط دانه ها باید به میزان افت پنتان دانه ها بعد از تولید و انبار کردن آنها و قبل از پیش انبساط توجه داشت. در نمودار ۲-۲ میزان افت پنتان در دماهای متفاوت ارائه شده است.



شکل ۲-۲ : میزان افت پنتان در مدلهای فومی در دماهای مختلف[۲].

در حین فرایند پیش انبساط حدود ۱٪ پنتان از دست خواهد رفت بنابراین بعد از فرایند حدود ۴-۳٪ پنتان در دانه های پیش انبساط یافته باقی خواهد ماند. البته دانه های بزرگتر نسبت به از دست دادن پنتان حساسیت کمتری داشته و برای پیش انبساط و قالب گیری مناسب ترند. دانه های خام و پیش انبساط یافته در اندازه های متفاوتی قابل تهیه هستند که در جدول ۲-۲ نمونه ای از آن ارائه شده است. غالبا دانه های پلی استایرن قابل انبساط ۲۰ تا ۵۰ برابر اندازه اولیه شان منبسط می شوند که در این شرایط دانسیته های gr/cm^3 ۰/۰۱۹-۰/۰۲۷ قابل حصول است. برای پیش انبساط دانه های پلی استایرن قابل انبساط دو روش وجود دارد، اما در هر دو روش برای پیش انبساط دادن دانه ها از بخار آب استفاده می گردد. این دو روش عبارتند از:

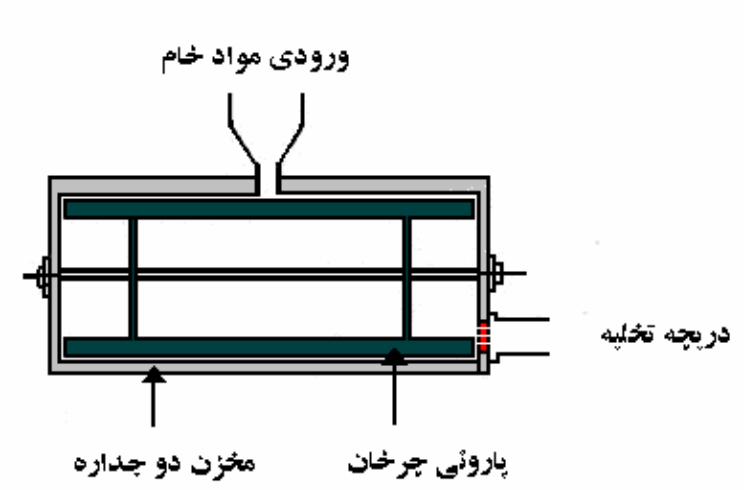
۱-پیش انبساط خشک تحت خلاء (خشک) ۲-پیش انبساط تحت تاثیر بخار مستقیم (تر)

جدول ۲-۲ : اندازه دانه های خام پلی استایرن قابل انبساط[۲].

Bead Type	U.S. Sleve Size	AFS gfn	Raw Size(in)
A	10-20	8	0.079-0.033
B	16-30	13	0.047-0.023
C	25-45	24	0.028-0.014
T	36-60	38	0.020-0.010
X	45-70	43	0.014-0.008

در روش اول بخار آب در پوسته خارجی دستگاه جریان یافته و بطور غیر مستقیم باعث پیش گرم شدن و انبساط می گردد،درشکل ۲-۳، تجهیزات این روش به طور شماتیکی نشان داده شده است.

غالبا در صنعت از همین روش استفاده می گردد. با این روش می توان به دانسیته هایی در حدود gr/cm^3 ۰/۰۱۹-۰/۰۲۷ نیز رسید. در این روش به منظور جلوگیری از به هم چسبیدن دانه ها و تشکیل کلوخه، از روانسازهای نظیر سیلیکای خشک استفاده می گردد. که میزان آن از نظر وزنی ۰/۱٪ وزن کل شارژ است و از طرف دیگر داخل دستگاه نیز پاروئی های چرخان وجود داشته که مرتبا باعث بهم زدن دانه ها می گردد.



شکل ۲-۳: شماتیک دستگاه پیش انبساط دهنده خشک تحت خلا[۲].

در روش دوم بخار آب مستقیما وارد محفظه حاوی دانه های پلی استایرن شده و باعث انبساط آنها می گـردد. بخار آب از پایین دمیده شده و بعد از انبساط و رسیدن به حجم معین، محفظه تخلیه میگردد. کنترل دانسیته با این روش نیز به همین صورت است. در این روش بدون استفاده از خلاء امکان دست یابی به دانـسیته هـای پایین ممکن نیست. در این روش نیز همانند روش قبل استفاه از روان ساز معمول است، با این تفاوت که نـوع روان ساز مصرفی در این روش استارات روی است که نسبت به روان سـاز قبلـی کـارایی آن در محـیط هـای مرطوب بالاتر است.

برای ساخت مدل، دانه های پیش انبساط یافته وارد ماشین قالب گیری می شوند. قالب مدل ابتدا تا درجه حرارت کاری پیش گرم شده، خشک گردیده و سپس جفت می گردد. بـسیاری مـشکلات مربـوط بـه کیفـت مدلهای فومی ناشی از عدم پر شدن کامل است. سوراخ های هوا بایستی به تعداد کافی باشد تا امکـان خـروج هوایی که به همراه دانه ها وارد محفظه قالب می شوند، فراهم شود. نازل های پر کننده باید در محل مناسـب قرار گیرد تا پر کردن قالب از دانه های به خوبی صورت بگیرد. وقتی محفظه از دانه های پیش انبـساط یافتـه پر گردید، سیکل بخار دهی آغاز میشود. بخار از طریق سوراخ هایی از یک سمت قالب بـه سـمت مخـالف آن عبور می کند. برای مقاطع ضخیم جهت دمش بخار معکوس می گردد. بخار باعث می گردد، تـا دانـه هـا نـرم شده و انبساط پیدا کنند به گونه ای که فضای خالی بین دانه های پر شده و دانه ها به یکدیگر متصل شـوند. پس از پیوند درونی (در هم جوشی دانه ها) بخار همزمان از طرفین قالب دمیده شده و فشار آن بالا برده مـی شود. این امر موجب سطحی در سطح فوم و در مجاورت دیواره های قالب انجـام مـی گیـرد. بـه ایـن مرحلـه اصطلاحا اتوکلاو گفته می شود. در این مرحله بایستی از گرم شدن بیش از حـد اجتنـاب گـردد زیـرا موجـب جمع شدگی در سطح دانه ها می شود. پس از بخار دهی قالب بایستی خنک گردد. این امر با پاشـش مقـادیر زیادی آب به پشت قالب و به دنبال ان اعمال خلاء صورت می گیـرد. سـپس قالـب بـاز شـده، قـسمت هـای کشویی خارج گردیده و مدل بیرون رانده می شود. مدل در این زمان گرم و نـرم اسـت، از اینـرو بایـد خـارج کردن آن با دقت انجام بگیرد. در جدول ۲-۳ زمان های مورد نیاز برای یک سیکل کامل کـاری قالـب گیـری ارائه شده است.

جدول ۲-۳ : زمانهای مورد نیاز در مراحل مختلف قالب گیری(زمان بر حسب ثانیه) [۲].

جمع کل	خارج کردن	باز کردن	سرد کردن	بخار دهی	هم جوشی	پر کردن	بستن
۹۰	۵	۵	۵۰	۱۰	۱۰	۵	۵

انبارکردن آن بلافاصله بعد از این مرحله برای ممانعت از اعوجاج ضروری است. با خارج شدن مدل فومی از قالب، به دلیل سرد شدن، انقباض اولیه خواهد شد، سپس مدل به دلیل نفوذ هوا مختصری انبساط یافته و سپس با خروج پنتان و بخار آب از فوم دچار انقباض می گردد. قسمت اعظم انقباض ظرف ۳۰ روز اولیه رخ می دهد. این انقباض برای مدلهای از جنس پلی استایرن انبساط یافته درحد ۱-۷٪ و برای مدلهای از جنس پلی متیل متا اکریکلیک در حدود ۰/۲-۴٪ است. کنترل انقباض برای حفظ ثبات ضروری است و در واقع با کنترل ابعاد فوم به مزیت دقت ابعادی با این روش می توان دست یافت[۲].

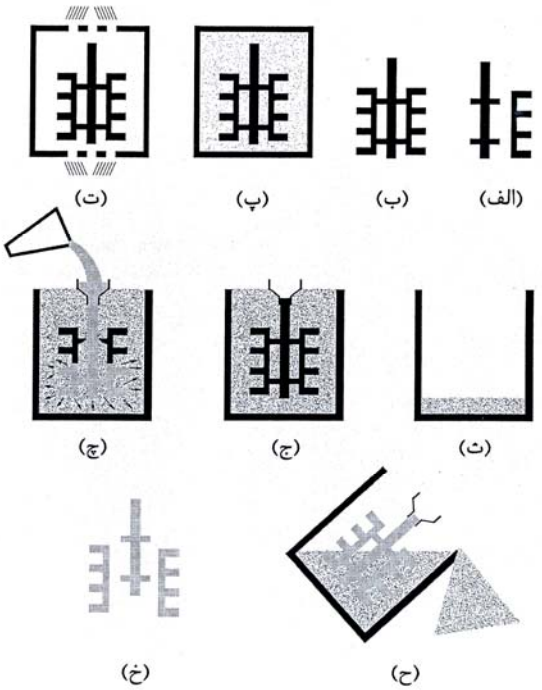
۲-۵-۴- سر هم کردن اجزاء فومی

پس از پیر سازی مقاطع فومی، مدل آماده اسمبل کردن است. این عمل معمولا توسط چسبی مخصوص که دانسیته پایینی داشته و در اثر سوختن نیز خاکستر کمی تولید می کند به صورت اتوماتیک و ماشینی و یا دستی صورت می گیرد. چسبهای مورد استفاده در فرایند ریخته گری فومی غالبا به صورت آمورف است[۲و۸].

۲-۵-۵- پوشش دادن مدل

خوشه فومی تهیه شده، قبل از قرار گرفتن در درجه فرم گیری باید با دیرگدازی مناسب پوشش داده شود. برخی قطعات آلومینیومی را میتوان با مدلهای بدون پوشش نیز تولید کرد اما پوشش بر روی مدلهای فومی برای آلیاژهای آهنی به دلیل حضور فاصله گازی نسبتا بزرگ و بالا بودن احتمال ریزش ماسه به درون آن و مخلوط شدن ماسه و فلز مذاب الزامی است. اهدافی که در استفاده از پوشان دنبال میشود را میتوان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ممانعت از نفوذ مذاب به درون ماسه
- ماسه شوئی
- ممانعت از فروپاشی ماسه و ریزش ماسه به درون فاصله گازی
- افزایش استحکام مدل
- ایجاد کیفیت سطحی مناسب



شکل۲-۴: مراحل مختلف فرآیند ریخته گری توپر. (الف) تهیه مدل فومی. (ب) اتصال مدل ها به یکدیگر و سیستم راهگاهی. (پ) اعمال پوشان. (ت) خشک کردن پوشان. (ث) ظرف قالب گیری و بستر ماسه ای. (ج) دفن مجموعه در داخل ماسه و ایجاد لرزش برای افزایش استحکام قالب. (چ) عملیات ذوب ریـزی. (ح) تخلیـه ماسه و بازیافت آن. (خ) خارج کردن قطعات و عملیات جداسازی و تمیزکاری آنها[۲].

به همین منظور پوشانهای متعددی برای استفاده در این فرایند توسعه داده شده است. آنچه باید در مـورد پوشانها مورد توجه قرار بگیرد تا بتوان از آن به عنوان یک پوشان مناسب در این فرایند استفاده کرد را میتوان به شرح زیر ارائه کرد:

- براحتی به کمک روشهای معمول بتوان آن را بر روی مدل اعمال کرد
- براحتی در اثر جریان هوا خشک گردد
- در مقابل ضربه و سایش مقاوم باشد
- نباید جذب پلی استایرن شده یا با آن واکنش بدهد
- نباید قبل از انجماد فلز پوسته شده و ترک بخورد
- دارای تنش سطحی نسبتا بالائی باشد تا از نفوذ بداخل خلل و فرج موجود بین دانه های پلی استایرن جلوگیری شود.
- انعطاف پذیری مناسبی داشته باشد تا بعد از خشک شدن ترک نخورده و ضمن قالب گیری نیز در اثر ضربه شکسته نشود [۲].

اما مهمترین وظیفه پوشان، توانائی پوشان در عبور محصولات ناشی از تجزیه فوم از خود به خارج محفظه قالب است توانائی پوشان به منظور اجازه خروج دادن به محصولات ناشی از تجزیه فوم را نفوذپذیری گویند. اما به طور کلی نفوذپذیری معمولا برای بحث در مورد قالب یک ماده متخلخل در برابر عبور گازها یا مایعات استفاده میگردد. عدم خروج محصولات ناشی از تجزیه فوم میتواند منجر به بروز مشکلاتی متعدد در کیفیت قطعات تولیدی گردد. در مورد قطعات ریختگی آهنی که دمای بارریزی نسبتا بالائی دارند نفوذپذیری پوشان در برابر گازها اهمیت پیدا میکند در مورد قطعات ریختگی غیر آهنی نظیر آلومینیوم که در دماهای پایین تری ریخته گری انجام می گیرد توانائی پوشان در برابر خروج محصولات مایع ناشی از تجزیه فوم نیز باید مورد توجه قرار بگیرد، همین امر باعث میگردد که نوع پوشان مصرفی برای قطعات آهنی و غیر آهنی متفاوت گردد. در مورد چدن و فولاد که دمای بارریزی نسبتا بالایی دارند، نیاز به دیرگدازهای مقاومتر، باعث می گردد که گزینه های ما در مورد پوشانی پوشانهای سیلیکاتی و آلومینایی باشند اما برای قطعات ریخته گری آلومینیومی و آلیاژهای آن پوشان های حاوی میکا و آلومینا- سیلیکات به عنوان ماده دیرگداز قابل استفاده هستند[۵و۱۰و۱۱].

۲-۶- بررسی سیلان مذاب در ریخته گری فومی

روش ریخته گری توپر در گروه روش های ریخته گری ثقلی طبقه بندی شده، به همین دلیل انرژی لازم برای حرکت مذاب، از ارتفاع و وزن آن ناشی می شود. ولی مسئله ای که در این روش وجود دارد این است که

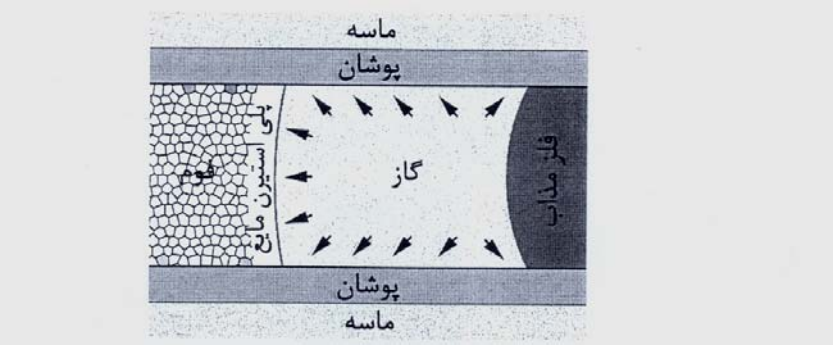
مدل فومی، به عنوان یک مانع، مدل حرکت مذاب را تحت تاثیر قرار می دهد. محققان مذاب فلـزات را بـه دو گروه، مذاب با نقطه ذوب پایین ومذاب با نقطه ذوب بالا تقسیم کردند[۱۲].

۲-۶-۱-سیلان مذاب در آلیاژهای با نقطه ذوب پایین

تحقیقات و بررسی های بسیاری در مورد خصوصیات و ویژگیهای حرکت مذاب آلومینیم و آلیاژهای آن بـه وسیله شیو کومار و همکارانش [۱۳] صورت گرفته است. آنها با بررسی حرکت مذاب هایی که دمای بـارریزی پایینی دارند اعلام نمودند که هیچ فاصله ای بین مذاب و مدل فومی در حال تجزیه وجود ندارد.

۲-۶-۲-سیلان مذاب در آلیاژهای با نقطه ذوب بالا

در ریخته گری فلزاتی که دمای بارریزی بالایی دارند، مشاهده شده است که بـه علـت دمـای بـسیار زیـاد مذاب، سرعت تجزیه مدل فومی بسیار سریعتر از سرعت پر شدن قالب است. از طرف دیگر محصولات حاصـل از تجزیه فوم نیز بیشتر بصورت گاز است. به همین دلیل در این گونه موارد یک فاصله هوایی بین جبهه پیش رونده مذاب و مدل فومی در حال تجزیه به وجود می آید. این فاصله هوایی که اکثـرا شـامل گازهـای هیـدرو کربن است، قبل از عبور از پوشان و خروج از قالب برای مدت زمان کوتاهی در مقابل حرکت مذاب باقی مانده و بنابراین بر روی سرعت و مدل جریان مذاب تاثیر مـی گـذارد. برخـی از محققـین نظیـر لیـو و همکـارانش، معتقدند که وجود واندازه این فاصله هوایی به دمای مذاب بارریزی شده بستگی دارد. شکل ۲-۵ ایـن موضـوع را به صورت شماتیک نشان می دهد[۱۱و۱۲].



شکل۲-۵ : فاصله هوایی بین جبهه پیش رونده مذاب و فوم در حال تجزیه در مذاب چدن[۱۱].

۲-۷-بررسی عوامل موثر بر پر شدن قالب

پر شدن قالب در فرایند ریخته گری فومی مستلزم جایگزین شدن مدل فومی به وسیله فلز مذاب است. جریان حرارتی فلز مذاب باعث می گردد که مدل فومی دچار تحولاتی گردد که این تحولات به ترتیب عبارتند از: تخریب، ذوب و تجزیه، این تغییرات با توجه به افزایش درجه حرارت صورت خواهد گرفت. برای اینکه قالب به طور کامل پر گردد، محصولات ناشی از تجزیه چه به صورت مایع و چه به صورت گاز باید توانایی خارج شدن از محفظه قالب را داشته باشند. عوامل متعددی بر پر شدن قالب تاثیرگذار هستند که می توان آنها را به شرح ذیل ارائه کرد:

-دانسیته فوم مصرفی
-نوع فوم مصرفی
-میزان در هم جوشی مدل فومی
-استفاده از خلاء
-نوع فلز
-دمای بارریزی
-سیستم راهگاهی
-نفوذپذیری پوشان
-نوع پوشان
-ضخامت پوشان
-نوع ماسه و دانه بندی
-دمای ماسه

می توان این عوامل را در ۶ دسته کلی قرار داد:

۱. موارد مربوط به مدل فومی
۲. موارد مربوط به فلز مذاب
۳. موارد مربوط به پوشان
۴. موارد مربوط به ماسه
۵. موارد مربوط به سیستم راهگاهی
۶. موارد مربوط به تکنولوژی

۲-۷-۱- تاثیر عواملی مرتبط با مدل فومی بر پر شدن قالب

۲-۷-۱-۱- نوع فوم

همان گونه که قبلا در قسمت معرفی فرایند ریخته گری فومی توضیح داده شد، غالبا سه نوع فوم در این فرایند مورد استفاده قرار می گیرند که عبارتند از پلی استایرن، پلی متا متیل اکریلیک و پلی آلکالین.

در فرایند ریخته گری فومی ، زمان پر شدن قالب نسبت به قالبهای معمولی و خالی زیادتر است که از جمله دلایل آن میتوان به گرماگیر بودن فرآیندهای تجزیه، تخریب و تبخیر مدل فومی و از طرف دیگر مقاومت محصولات ناشی از تجزیه در برابر جبهه پیش رونده مذاب، اشاره کرد. نرخ تجزیه مدل فومی و میزان محصولات ناشی از تجزیه، به خصوص محصولات گازی، به نوع فوم بستگی دارد. در شکل ۲-۶ میزان تغییرات محصولات ناشی از تجزیه فوم برای واحد جرم دو نوع فوم پلی استایرن و پلی متامتیل اکریلیک با دما نشان داده شده است. با توجه به شکل میزان محصولات گازی با افزایش دما، برای هر دو نوع فوم افزایش یافته و از طرف دیگر در هر دما میزان محصولات ناشی از تجزیه فوم پلی متا متیل اکریلیک انبساط یافته نسبت به پلی استایرن زیادتر است[۱۴و۱۵].

سیالیت در فرایند ریخته گری با مدلهای فومی تبخیر شونده به میزان حرارتی که از طریق پوشان و ماسه منتقل می شود، میزان حرارتی که برای تجزیه فوم نیاز است، سهولت خروج مواد ناشی از تجزیه و میزان فشار برگشتی احتمالی ناشی از تجزیه فوم بر فلز مذاب در سطح پیش رونده مذاب، بستگی دارد. همانگونه که توضیح داده شد، بررسی اثر یک پارامتر به تنهایی امکان پذیر نیست و نمی توان نتایج بدست آمده را تعمیم داد. بطور مثال، فشار برگشتی ناشی از محصولات تجزیه به عوامل متعددی نظیر نوع فوم، دانسیته فوم، میزان نفوذپذیری پوشان، ضخامت پوشان و نوع پوشان بستگی خواهد داشت و برای بررسی تاثیر آن باید همه موارد فوق الذکر در نظر گرفته شود[۱۶].