

St-1902

## ۱- خلاصه طرح

**مدل:** اصول طراحی باید طبق خصوصیات انجمادی آلیاژ، شکل قطعه، روش تولید و رسیدن به خواص خواسته شده باشد، لذا مدل طراحی شده جهت این قطعه به صورت یک تکه با سطح جدایش یکنواخت می‌باشد.

برای سهولت در قالبگیری و سرعت تولید این قطعه، قسمت زیرین مدل یعنی قسمت پره‌ها، در مدل پر شده است و این قسمت توسط ماهیچه ایجاد می‌شود، همچنین سوراخ مرکزی قطعه هم در مدل بسته شده و پایین و بالای آن ریشه ماهیچه طراحی شده تا این قسمت نیز توسط ماهیچه ایجاد گردد. بدلیل نیاز به دقت ابعادی و کیفیت سطح بالا برای تولید این قطعه از مدل فلزی استفاده می‌کنیم. برای ساخت مدل ابتدا باید اضافات مجاز قالبگیری را به ابعاد قطعه اضافه کرد و پس از آن طبق طراحی انجام شده و ابعاد اضافه شده، مدل اولیه را از جنس چوب می‌سازیم و سپس آن را تبدیل به مدل آلومینیومی می‌کنیم.

**قالب:** قالبی که برای این قطعه استفاده می‌کنیم بصورت دو لنگه است و جنس آن از مخلوط ماسه سیلیسی مصنوعی با مش ۶۰ و چسب سیلیکات سدیم با دمش گاز  $CO_2$  می‌باشد. این نوع ماسه بعد از خودگیری توسط گاز  $CO_2$  صافی سطح خوبی را فراهم می‌کند. همچنین بوسیله پوشش سرامی سطوح قالب را پوشش می‌زنیم که با این کار کیفیت سطح را بهبود می‌بخشیم و با خاک اره قابلیت فروپاشی ماسه را افزایش می‌دهیم.

**ماهیچه:** قسمت سوراخ مرکز قطعه و همچنین قسمت پره‌ها را توسط دو ماهیچه ایجاد می‌کنیم. این دو ماهیچه طوری طراحی شده‌اند که پس از متناژ در قالب به نوعی یکدیگر را قفل می‌کنند که با این کار از جابجایی ماهیچه‌ها جلوگیری می‌شود. ماهیچه مرکزی به صورت یک تکه می‌باشد اما ماهیچه مربوط به پره‌ها را بوسیله مجموعه پنج ماهیچه ایجاد می‌کنیم. جعبه ماهیچه‌ها را نیز ابتدا بصورت چوبی تولید و بعد بصورت آلومینیمی ریخته‌گری می‌کنیم تا بعد از ماشین‌کاری به دقت ابعادی بالای مورد نیاز دست پیدا کنیم.

**سیستم راهگاهی:** طراحی سیستم راهگاهی نیز باید با توجه به خواص متالورژیکی آلیاژ و البته توجه به مسائل اقتصادی صورت گیرد، یعنی در عین طراحی بهترین نوع سیستم سعی شود تا حد امکان از کوتاه‌ترین سیستم استفاده شود تا از هزینه‌های اضافه جلوگیری کند. برای مثال در رابطه با آلیاژ فولاد باید سیستم طوری طراحی شود که مذاب بدون تلاطم و اغتشاش وارد حفره قالب شود، همچنین از ایجاد تمرکز حرارتی در قسمت ورودی مذاب جلوگیری کند و البته بتواند در کوتاه‌ترین زمان ممکن قالب را پر کند و در صورت داشتن تغذیه گرمترین مذاب را به تغذیه برساند. پس با توجه به این نکات ما در اینجا از سیستم راهگاهی غیرفشاری استفاده می‌کنیم.

**تغذیه:** با توجه به ضخامت قسمت استوانه‌ای وسط و قطر نسبتاً کم سوراخ مرکزی، در این قسمت تمرکز حرارت داریم و مدول حرارتی این قسمت بالای یک است. به همین دلیل برای جبران انقباضات این قسمت، حتماً نیاز به تغذیه داریم که این تغذیه به صورت لوبیایی شکل طراحی شده است. خصوصیات آن در ادامه توضیح داده خواهد شد.

کوره مورد استفاده با توجه به دمای ذوب فولاد، کوره القایی با فرکانس بالا می‌باشد. با توجه به اینکه سرباره کوره القایی سرد است انتظار حذف عناصر مضر مثل فسفر و گوگرد را نداریم بنابراین باید شارژ مورد استفاده دارای حداقل این عناصر باشد. در نتیجه عملیات کیفی مربوط به فسفرزدایی، گوگردزدایی و تنظیم ترکیب با FeO حذف می‌شوند.

**عملیات کیفی:** در قسمت عملیات کیفی همانطور که گفته شد ما فرآیندی به نام گوگرد زدایی و فسفر زایی نداریم به همین دلیل این عناصر باید در شمش مورد استفاده به میزان مجاز باشند. در کل سه گاز اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن به علت اینکه شعاع اتمی آنها زیر یک آنگستروم است در مذاب فولاد قابلیت انحلال دارند و مهمترین آنها گاز هیدروژن است (کوچکترین شعاع اتمی را دارد ۰,۴۶ آنگستروم) که به راحتی در مذاب بیشتر آلیاژها جذب می شود و در خلال انجماد مقداری از آن خارج و باقی مانده آن باعث ایجاد حبابهای گازی در قطعه می شود.

**اکسیژن زدایی:** یکی از فرآیندهای عملیات کیفی که حتما در همه فولادها انجام می شود، اکسیژن زدایی است که این عملیات به صورت دومرحله ای می باشد. همچنین از دیگر فرآیندهای عملیات کیفی می توان به جوانه زایی اشاره کرد که در فولاد توسط  $Al_2O_3$  انجام می شود.

**جوانه زایی:** برای مذاب فولاد اغلب به منظور ریز کردن دانه ها که باعث بالا رفتن خواص مکانیکی می شود از آلومینیم استفاده می کنیم. آلومینیم با اکسیژن موجود در مذاب ترکیب شده و  $Al_2O_3$  ایجاد می کند که بصورت ذره هایی در سرتاسر ذوب پخش می شود. این ذرات از رشد دانه ها جلوگیری کرده و سبب ریزدانه گی فولاد می شود.

**دما و سرعت بارریزی:** انتخاب صحیح دمای فوق ذوب یکی از پارامترهای مهم در فولادها می باشد که در صورت انتخاب غیراصولی آن با مشکلات فراوانی از جمله ماسه سوزی، جذب گاز بالا، ایجاد نیامد در قطعه و... مواجه می شویم. همچنین میزان فوق ذوب به عواملی همچون شکل قطعه وابستگی شدیدی دارد. برای انتخاب صحیح فوق ذوب در اینجا به علت ضخامت کم پره ها (حدود ۷ میلی متر) مجاز به انتخاب فوق ذوب پایین نیستیم چون قطعه در این ناحیه ممکن است نیامد کند پس برای اطمینان از پر شدن پره ها و رسیدن به سیالیت مناسب فوق ذوب را ۱۵۷ درجه سانتی گراد در نظر می گیریم یعنی مذاب با دمای ۱۶۵۰ درجه بر روی حوضچه ی بارریز ریخته شود.

**نکته:** تمام طراحی های صورت گرفته اعم از طراحی مدل و قالب، سیستم راهگاہی، فوق ذوب و... بر تکیه بر دو فاکتور مهم صرفه اقتصادی و خواص متالورژیکی آلیاژ صورت گرفته است.

## جزئیات طراحی اجزاء مدل و قالب

همانطور که گفته شد اصول طراحی مدل باید طبق خصوصیات انجمادی آلیاژ و رسیدن به خواص خواسته شده باشد. به طور کلی نکات مربوط به طراحی مدل شامل مشخص نمودن سطح جدایش و اعمال اضافات مجاز ریخته‌گری می‌باشد.

تعیین سطح جدایش، به شکل قطعه و روش تولید قطعه و طراحی سیستم راهگاهی و محل ورود مذاب بستگی دارد. همچنین اضافات مجاز ریخته‌گری نیز شامل موارد زیر می‌شود:

۱. اضافات ریخته‌گری
۲. اضافات قالبگیری
۳. اضافات ماشینکاری

**اضافه انقباضی مجاز:** فلزات در حین انجماد، انقباض دارند البته در اینجا انقباض از لحظه پرکردن محفظه قالب توسط مذاب تا سرد شدن تا دمای محیط مدنظر است. میزان کاهش حجمی هر فلز بسته به درجه حرارت مذاب، محیط و قالب، به سه قسمت تقسیم می‌شود. منطقه (۱) فاز مایع. منطقه (۲) فاز مایع و جامد. منطقه (۳) فاز جامد.

با توجه به اینکه مدل‌های چوبی دوام کمتری دارند از مدل فلزی برای تولید این قطعه استفاده می‌کنیم، پس نیاز به یک مدل مادر داریم که ابتدا آن را به صورت چوبی می‌سازیم سپس تبدیل به مدل آلومینیمی می‌کنیم. با توجه به این نکات برای ساختن مدل چوبی علاوه بر انقباض عملی این فولاد که ۲,۲ می‌باشد یک انقباض مضاعف برای تبدیل مدل چوبی به مدل آلومینیمی لحاظ می‌کنیم که در مجموع برای محاسبات قطعه ۳,۶ درصد انقباض را توسط نرم افزار کتیا برای تمام قسمت های قطعه لحاظ می‌کنیم.

**اضافات قالب‌گیری:** اضافات قالب‌گیری عبارتند از شیب مدل، ریشه ماهیچه‌ها و غیره، که پس از اضافه کردن درصد انقباض، قسمت هایی را که احتیاج به شیب دارند و یا ریشه ماهیچه‌ها و قسمت‌هایی که توسط ماهیچه ایجاد می‌شوند و در مدل به صورت توپر می‌باشند را طراحی می‌کنیم.

**اضافات ماشینکاری:** اضافات ماشینکاری مانند اضافه تراش، یعنی قسمت هایی که احتیاج به ماشینکاری دارند، که در نقشه مکانیکی مشخص کردیم.

**طراحی سیستم راهگاهی:** با توجه به خواص متالورژیکی ذکر شده آلیاژ و همچنین مسائل اقتصادی باید سیستم راهگاهی شرایط زیر را دارا باشد:

۱: مذاب با حداقل تلاطم وارد قطعه شود.

۲: ابعاد سیستم راهگاهی در حدی باشد که هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد و حداقل تلفات حرارتی را داشته باشد.

۳: جداسازی سیستم راهگاهی از قطعه به راحتی صورت گیرد و صدمه‌ای به قطعه وارد نشود.

۴: محل ورود مذاب به گونه‌ای باشد که تمرکز حرارتی ایجاد نکند و قالب را سریعاً پر کند.

پس با توجه به پارامترهای فوق از دو کانال اصلی و چهار کانال فرعی استفاده می‌کنیم تا هم قالب سریع پر شود و هم در ناحیه ای تمرکز حرارت نداشته باشیم همچنین کانال‌های فرعی را همانند شکل‌های موجود در پیوست به لبه پره متصل می-

کنیم. همچنین برای وارد شدن مذاب با حداقل تلاطم از سیستم راهگاهی غیرفشاری با نسبت  $\frac{As}{1} \frac{Ar}{2} \frac{Ag}{2}$  استفاده می‌کنیم. بدلیل چسبنده بودن سرباره فولاد همچنین سهولت عملیات قالبگیری کانال اصلی و فرعی هر دو در درجه پایین قرار می‌گیرند ولی کانال فرعی مقداری بالاتر از کف کانال اصلی قرار می‌گیرد تا اول مذاب کانال اصلی را پر کند و سرباره‌ها به جداره کانال اصلی چسبیده سپس مذاب تمیز وارد قالب شود.

**تذکر:** همانطور که مشخص است قالب در قسمت بالای پره‌ها به صورت شیب دار است با ورود مذاب به حفره قالب به صورت خودکار مذاب بر روی سطح شیب دار حرکت می‌کند و در قسمت دور رینگ جمع می‌شود که در این صورت در این منطقه حتماً تمرکز حرارت خواهیم داشت، که بدین منظور با تدابیری که اندیشیده ایم این تمرکز حرارت را کاهش می‌دهیم.

**حوضچه بارریز:** وظیفه این حوضچه گرفتن فشار اولیه مذاب و صفر کردن سرعت مذاب می‌باشد همچنین باید دیواره‌های آن عمود باشد تا از پاشش مذاب به بیرون جلوگیری کند و می‌توان از حوضچه ی گلابی یا مستطیلی شکل استفاده کرد.

**نکته:** زمانی از حوضچه‌های قیفی استفاده می‌شود که پاتیل کفریز باشد در این شرایط پاتیل بالای حوضچه قرار می‌گیرد و ارتفاع بارریز همان ارتفاع لوله راهگاه می‌شود ولی زمانی که پاتیل لبریز است از این حوضچه نمی‌توان استفاده کرد چون نمی‌تواند سرعت مذاب را صفر کند و فشار اولیه آن را بگیرد.

**نکته:** به دلیل ایرادهایی که از کانالهای اصلی قوس دار وجود دارد مثل کاهش سرعت خطی مذاب و برخورد دائم مذاب با جداره کانال از کانال اصلی مستقیم و بدون قوس استفاده می‌کنیم.

**توجه:** در اینجا به علت مشخص بودن وظیفه قسمت‌های مختلف سیستم راهگاهی بحث را ادامه نمی‌دهیم.

**تغذیه:** با انجام محاسبات مدول انتقال حرارت مشخص شد که در قسمت مرکزی قطعه، یعنی درست اطراف سوراخ مرکزی و زیر قسمت فیلتر خورده (R14) بیشترین مدول حرارتی را داریم که این موضوع به خاطر سوراخ مرکزی که قطر نسبتاً کمی دارد ( $d=50.5$ ) تشدید هم می‌شود، در واقع این قسمت محل تمرکز حرارتی در قطعه می‌باشد. بدین منظور برای جبران انقباض این قسمت باید از تغذیه استفاده کنیم.

**طراحی تغذیه:** معمولاً قطعاتی که مدول حرارتی آنها بالای یک است احتیاج به تغذیه دارد، البته بستگی به شرایط دیگری چون نوع ذوب نیز دارد به هر حال با محاسبه کردن مدول این قطعه و همچنین شبیه سازی‌های صورت گرفته مشخص شد که این قطعه نیاز به تغذیه دارد. مهمترین وظیفه تغذیه جبران انقباضات ناشی از انجماد می‌باشد. در اینجا ما برای جبران انقباضات از دو تغذیه لوبیایی شکل استفاده می‌کنیم. (بحث کامل درباره جبران انقباضات در قسمت شبیه سازی انجام می‌شود)

**استفاده از مواد گرمازا:** گرم نگه داشتن تغذیه در طول انجماد قطعه، شیب حرارتی مناسبی را در قالب جهت مذاب‌رسانی از تغذیه به قطعه فراهم می‌سازد. به طور کلی مواد حرارت‌زا از مخلوط آلومینیم خالص و اکسیدهای فلزات آهن، باریم، منیزیم و سیلیسیم تشکیل می‌شود. به منظور افزایش راندمان تولید با استفاده از گرمازا حجم تغذیه‌های مورد استفاده را کاهش می‌دهیم. که در اینجا از مواد حرارت‌زای جانبی به مقدار یک سانتی‌متر دور تا دور تغذیه استفاده می‌کنیم. در داخل ماده حرارت‌زا که در جداره تغذیه قرار می‌دهیم سوراخهای ریزی تعبیه می‌کنیم که باعث خروج گازهای تولیدی به خارج قالب می‌شود و

همچنین این سوراخها جهت رسیدن اکسیژن هوای خارج برای انجام کامل فعل و انفعالات (اکسیداسیون Al) ضروری می باشد.

**مواد حرارت زای پودری:** در شرایط عادی ۲۵ درصد از گرمای تغذیه به صورت تشعشع خارج می شود از اینرو از مواد پودری حرارت زا بر روی سطح تغذیه استفاده می کنیم که باعث:

۱: به عنوان عایق حرارتی عمل می کند و تغذیه را گرم نگه می دارد.

۲: از تشکیل پوسته جامد که باعث تشکیل حفره های ثانویه می شود جلوگیری می کند.

**نکته:** در تغذیه های کوچک بلافاصله پس از ورود مذاب به تغذیه مواد پودری حرارت زا را بر روی آن می ریزند ولی در قطعات بزرگ با گذشت زمان معینی اینکار را انجام می دهند، علت آن تشعشع شدید مذاب روی تغذیه است که شیب حرارتی معینی را از قطعه به طرف تغذیه دامن زده که انتقال حرارت قطعه را از طریق تغذیه به خارج میسر می سازد. در اینجا به علت کوچکی تغذیه بلافاصله پس از ورود مذاب به تغذیه مواد پودری حرارت زا بر روی آن ریخته می شود.

**طراحی تغذیه:** تغذیه به شکل رویی و باز، سه شرط دارد: ۱. گرادیان فشار ۲. گرادیان حرارت (مذاب از قسمت های گرم به سوی قسمت های سرد حرکت میکند) ۳. رعایت شیب مدول حرارتی از سوی تغذیه به قطعه جهت ایجاد انجماد جهت دار از قطعه به تغذیه.

تغذیه طراحی شده برای این قطعه از نوع تغذیه های رویی و باز می باشد. محل تغذیه درست در قسمت بالای قطعه و بر روی رینگ مرکز می باشد. اما به خاطر وجود سوراخ مرکزی و تعبیه ماهیچه برای این قسمت امکان قرار دادن تغذیه استوانه ای در قسمت بالای این سوراخ وجود ندارد، بنابراین تصمیم گرفتیم از تغذیه به فرم لوبیایی شکل استفاده کنیم که این تغذیه درست در کنار سوراخ و بر روی استوانه قرار می گیرد. استفاده از تغذیه لوبیایی شکل موجب افزایش راندمان و مذاب رسانی آسانتر می گردد.

انقباض مذاب به ازای هر ۵۵ درجه فوق ذوب ۰,۹ درصد است که مربوط به فوق ذوب می باشد. میزان انقباض حین انجماد ۳ درصد است پس هرچه فوق ذوب کمتر باشد مقداری از انقباضها حذف می شوند. این انقباضها مربوط به قبل از انجماد هستند و وظیفه ی جبران آنها بر عهده تغذیه است.

تذکر: البته در اینجا به علت ضخامت کم پره ها و امکان ایجاد عیب نیامد مجاز نیستیم فوق ذوب را پایین بگیریم.

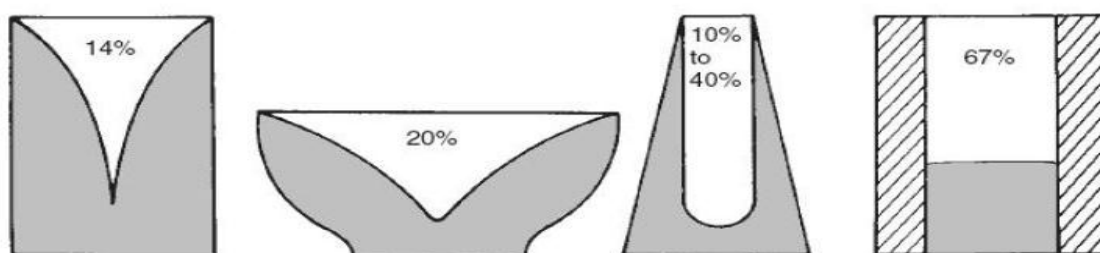
**مزایای تغذیه باز عبارتند از:** ۱: ایجاد تغذیه باز در قالب آسانتر از نوع بسته صورت می گیرد. ۲: به دلیل اینکه تغذیه باز به فشار هوای خارج متصل است امکان بوجود آمدن خلاء در هنگام انجماد کم است و در نتیجه احتمال کشیده شدن مذاب قطعه به داخل تغذیه وجود ندارد (عملکرد عکس تغذیه). ۳: در تغذیه باز امکان استفاده از مواد گرمازا و اکزوترم در کنار و روی تغذیه و گرم نگاه داشتن مذاب درون تغذیه وجود دارد.

برای افزایش کارایی تغذیه و ایجاد انجماد جهت دار که نتیجه آن تولید قطعه سالم می باشد به دو طریق می توان عمل کرد. ۱: افزایش سرعت انجماد قطعه ۲: کاهش انتقال حرارت و سرعت سرد شدن مذاب در تغذیه.

برای این منظور از این روش‌ها استفاده می‌کنیم: ۱: تعیین محل مناسب برای تغذیه در قالب. ۲: استفاده از مواد عایق حرارت یا مواد حرارت‌زا در جداره‌های تغذیه. ۳: تعبیه گلوگاه مناسب برای تغذیه. ۴: استفاده از مواد متعدد با قابلیت انتقال حرارت متفاوت در قسمت‌های مختلف قالب.

نکته: استفاده از ماسه کرومیتی نمی‌تواند انقباضات را جبران کند بلکه فقط انقباضات را جابجا می‌کند که در اینجا ما با استفاده از ماسه کرومیتی در محل‌هایی که در نقشه‌ها مشخص شده انقباضات را به درون تغذیه‌ها جابجا می‌کنیم.

**پارامتر مهم در محاسبه‌ی تغذیه:** ۱: یک تغذیه باید با سرعت کمتری نسبت به قطعه سرد شود تا بتواند تا اتمام انجماد قطعه، کمبود مذاب آنرا جبران کند و قطعه سالم بدست آید. ۲: تغذیه باید از حجم کافی جهت جبران کمبود مذاب قطعه برخوردار باشد.

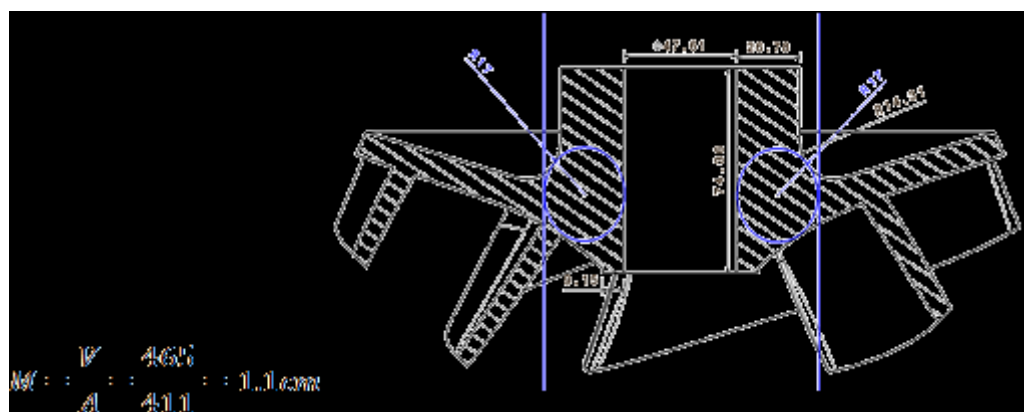


تاثیر اشکال مختلف تغذیه بر راندمان تغذیه

#### محاسبات تغذیه:

اولین گام در طراحی تغذیه محاسبه مدول حرارتی قطعه می‌باشد که ابتدا مقدار اضافه تراشهای سطوح را اضافه کرده و سپس مدول حرارتی قسمت ضخیم قطعه که در بین دو خط عمودی قرار دارد را با استفاده از نرم افزار solid work محاسبه می‌کنیم بدین صورت که قسمت‌های اضافی را برش داده و حجم قسمت ضخیم قطعه و سطوح انتقال حرارت آن ناحیه را از نرم افزار استخراج کرده و مدول قسمت مورد نظر را محاسبه می‌کنیم، دوایر محیطی نیز نشان دهنده گرمترین نقاط قطعه می‌باشند.

**تذکر:** برای افزایش دقت و سرعت در محاسبات تمام محاسبات سطح و حجم توسط نرم افزار solid work انجام شده است.

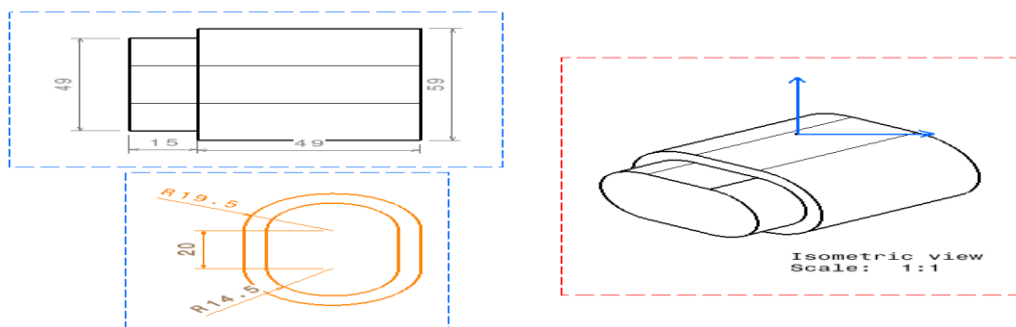


در استوانه‌های توخالی همانند قطعه فوق بدلیل اینکه ضخامت ماسه وسط رینگ کم است و ممکن است پس از مدتی انتقال حرارت مطلوب خود را از دست بدهد، مدول مورد نظر را تصحیح می‌کنند که در اینجا به سراغ ضریب تصحیح مدول رفتیم، با توجه به نمودارهای تصحیح مدول در کتاب تغذیه‌گذاری در ریخته‌گری قطعات فولادی از مهندس رئوف پرورش ضریب تصحیح برابر با ۱ شد پس حجم ماسه مورد نظر در وسط رینگ، انتقال حرارت مورد نظر را انجام می‌دهد و نیازی به تصحیح مدول نیست.

حال به سراغ محاسبه ابعاد تغذیه مورد نظر می‌رویم که در اینجا از روش کاین و تغذیه لوبیایی شکل استفاده می‌کنیم.

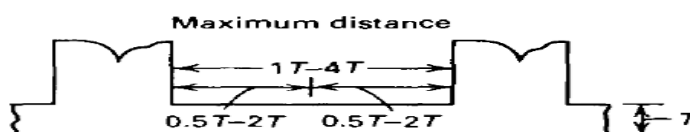
به طور تجربی مشخص شده که مدول تغذیه باید حداقل ۱٫۲، مدول قطعه باشد پس:  $M_r = 1.2 \times 1.1 = 1.32$  در نتیجه مدول تغذیه مورد نظر بدست می‌آید. برای فولاد داریم:  $x = \frac{0.1}{y - 0.03} + 1$  ،  $x = \frac{M_r}{M_c} = 1.2$  ،  $y = 0.53$  در نتیجه  $V_r = 0.53 V_c = 0.53 \times 465 = 246.5$  پس حجم تغذیه مورد نظر بدون استفاده از مواد گرمازا  $246.5 \text{ cm}^3$  می باشد. با استفاده از مواد گرمازا حجم تغذیه در ضریبی ضرب می‌شود که با استناد از کتاب ده قانون ریخته‌گری داریم:  $V_r = 0.4 V_r$  (حجم تغذیه با مواد گرمازا و عایق حرارتی) پس حجم تغذیه با عایق برابر است با  $98.6 \text{ cm}^3$  حال به سراغ روابط مربوط به تغذیه لوبیایی شکل می‌رویم.  $V_r = 1.605 a^3 = a = 3.94$  پس قطر کوچک تغذیه برابر است با  $3.94 \text{ cm}$ ، قطر بزرگ تغذیه برابر است با  $b = 1.5 \times 3.94 = 5.9 \text{ cm}$  و ارتفاع تغذیه نیز بدست می‌آید  $H = \frac{a+b}{2} = 4.9 \text{ cm}$  و برای گلولی داریم  $A_n = 0.65 A_r = 0.65 \times 18.8 = 12.2$  در نتیجه قطر بزرگ گلولی برابر است با  $5.1 \text{ cm}$  و قطر کوچک گلولی  $2.7 \text{ cm}$  و برای جداسازی راحت تغذیه ارتفاع آن را  $1.5$  سانتی متر در نظر می‌گیریم. برای راحت قرار گیری تغذیه بر روی رینگ می‌توانیم آن را مقداری قوس دهیم یعنی آن را طوری قوس دهیم تا قوس گردن آن به راحتی بر روی رینگ قرار گیرد.

در زیر شکل کامل تغذیه را مشاهده



میکنید.

در قطعات رینگی شکل معمولاً یک تغذیه نمی‌تواند کل انقباضات را برطرف کند اکنون به محاسبه تعداد تغذیه می‌پردازیم.





با توجه به شکل بالا که فاصله مذاب‌رسانی برای قطعات میله‌ای شکل را نشان می‌دهد فاصله مذاب‌رسانی برای هر تغذیه را  $1.5T$  در نظر می‌گیریم و در اینجا  $T$  را ۴ سانت در نظر می‌گیریم. ابتدا محیط متوسط رینگ را حساب می‌کنیم که برابر با  $7.4 \times 3.14 = 23.5 \text{ cm}$  می‌شود.  $1.5T + 1.5T = 3T = 3 \times 4 = 12 \text{ cm}$  منطقه اثر هر تغذیه، اکنون متوجه می‌شویم که یک تغذیه کافی نیست چون برد آن  $12 + 5.9 = 17.9 \text{ cm}$  است و نمی‌تواند ۲۳،۵ سانت را مذاب‌رسانی کند پس باید از دو تغذیه استفاده کنیم پس مجموع برد دو تغذیه  $35.8 \text{ cm}$  می‌باشد که به راحتی کل انقباضات را جبران می‌کند (البته به کمک تدابیری که برای جهت‌دار کردن انجماد در نظر گرفته‌ایم).

### محاسبات سیستم راهگاهی:

به علت کم بودن ضخامت پره‌ها امکان پرنشیدن این ناحیه توسط مذاب وجود دارد به همین دلیل جهت اطمینان از پرشدن سریع قالب از دو کانال اصلی و چهار کانال فرعی استفاده می‌کنیم و همچنین برای جلوگیری از برخورد مداوم مذاب با دیواره‌های سیستم و کاهش سرعت خطی آن و نیز جذب گاز به هیچ وجه نباید کانالهای اصلی به صورت قوس دار زده شوند پس باید کانالها به صورت مستقیم زده شود. دمای بارریزی را  $1650^\circ \text{C}$  در نظر می‌گیریم یعنی در دمایی بالاتر از این دما، ذوب باید از کوره خارج و پس از رسیدن به این دما بارریزی صورت گیرد.

در ابتدا با داشتن حجم تغذیه، حجم قطعه، زمان بارریزی، ضریب ریختگی و ارتفاع موثر سطح مقطع تنگه را بدست می‌آوریم و سپس با استفاده از نسبت تعریف شده ابعاد قسمت‌های مختلف سیستم راهگاهی را بدست می‌آوریم.

$$V_r = 98.5 \quad V_c = 1320.4 \quad V_t = 1418.9$$

زمان بارریزی از فرمول مقابل بدست می‌آید  $t(\text{second}) = k\sqrt{w}$  که در آن  $k$  ضریب ثابتی است که با توجه به وزن قطعه از روی نمودار بدست می‌آید و  $w$  نیز وزن قطعه بر حسب پوند می‌باشد.  $t = 1.4\sqrt{25} = 7(s)$  پس زمان بارریزی ۷ ثانیه می‌باشد.

ضریب ریختگی را برای این فولاد ۰،۴۵ در نظر می‌گیریم. ارتفاع موثر نیز از فرمول  $He = H - \left(\frac{0.5H_1^2}{H_2}\right)$  که در آن  $He$  ارتفاع موثر،  $H$  ارتفاع درجه بالایی،  $H_1$  ارتفاع قطعه در درجه بالایی و  $H_2$  ارتفاع قطعه می‌باشد.

پس ارتفاع موثر ۱۰،۷ بدست آمد. حال به محاسبه سطح مقطع تنگه می‌پردازیم.

$$A/c = 1.1 \cdot \left(\frac{0.5 \times 25}{7}\right) = 10.7 \text{ cm}^2$$

که در این رابطه  $V_t$  حجم کل (سیستم راهگاهی که معمولاً ۱۰ الی ۱۵ درصد حجم قطعه را در نظر می‌گیرند)،  $t$  زمان بارریزی (s)،  $\mu$  ضریب ریختگی،  $g$  شتاب ثقل زمین و  $He$  ارتفاع موثر بر حسب cm می‌باشد. و از سیستم

$$A/c = \frac{V_t}{\mu \cdot t \cdot g \cdot He}$$

راهگاهی غیرفشاری استفاده می‌کنیم.

$$A/c = \frac{1649}{7 \times 0.45 \times 9800 \times 10.7} = 0.0003 \text{ cm}^2$$

حال به محاسبه ابعاد اجزای مختلف می پردازیم. برای لوله ی راهگاه داریم  $A = \pi r^2$  و با جای گذاری

۳،۵ به جای A قطر لوله راهگاه بدست می آید  $D = 2.1cm$ . و برای کانال اصلی داریم  $A = x.x$  و با جای گذاری مقدار ۳،۵ (به دلیل استفاده از دو کانال اصلی عدد ۷ تقسیم بر دو می شود) به جای A عرض و عمق کانال اصلی بدست می آید  $x = 1.87cm$  پس عرض و عمق کانال اصلی ۱،۸۷ بدست آمد. برای کانال فرعی به دلیل استفاده از ۴ کانال فرعی عدد ۷ تقسیم بر ۴ می شود پس برای کانال فرعی داریم  $A = 3x.x$  و پس از جایگذاری عدد ۱،۷۵ به جای A عرض و عمق کانال فرعی بدست می آید  $x = 0.76cm$  و  $x = 2.28cm$  پس عرض ۲،۲۸ و عمق ۰،۷۶ بدست آمد.

محاسبه ی راندمان کل:

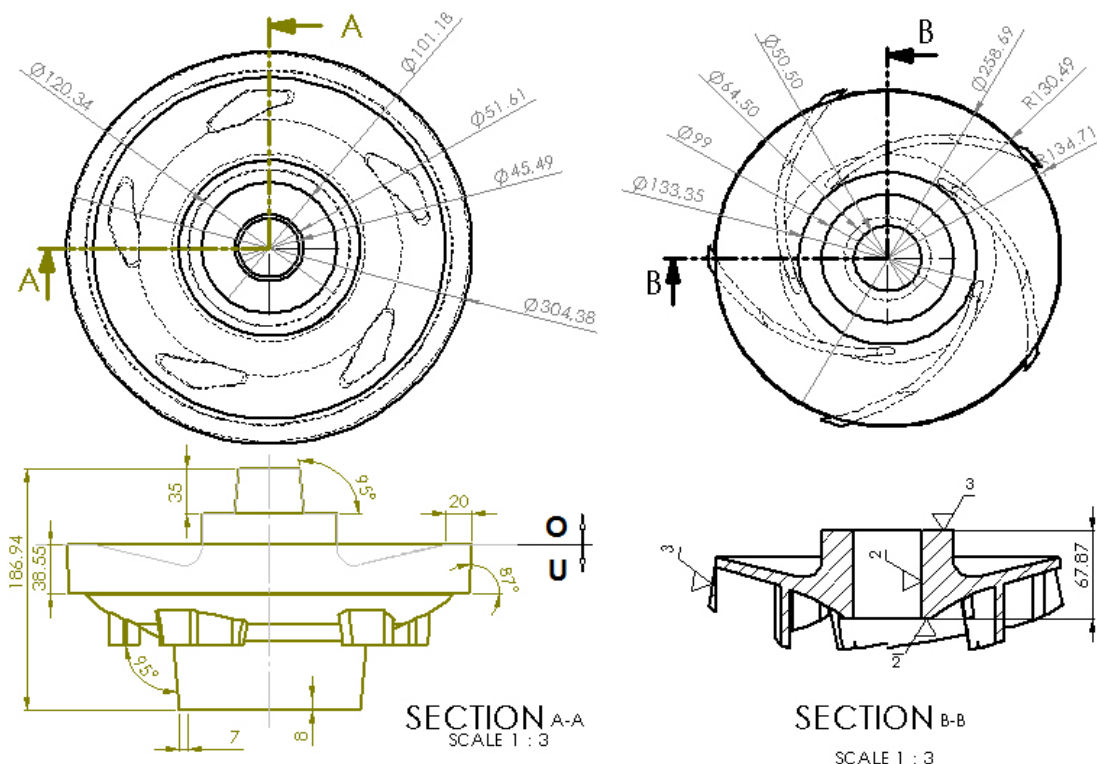
$$\%R = \frac{Wc}{Wt} * 100$$

که در آن Wc وزن قطعه بدون سیستم راهگاهی و تغذیه و تراشکاری شده (وزن قطعه قابل فروش) و Wt وزن قطعه با سیستم

$$\%R = \frac{9.436kg}{13.954kg} * 100 = 67.6$$

راهگاهی و تغذیه می باشد در نتیجه راندمان برابر است با ۶۷.۶

نکته: به علت سختی ریخته‌گری اینگونه قطعات بیشتر تاکید بر سلامت قطعه است و راندمان تولید زیاد مورد توجه قرار نمی‌گیرد، به هر حال تولید اینگونه قطعات بدون عیب و همراه با راندمان تولید بالا از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه است.



### ۳- عملیات مدل‌سازی، قالبگیری و ماهیچه سازی و منتاژ

**مدل:** پس از اعمال اضافات مجاز نظیر اضافه انقباض، اضافه تراش، شیب و غیره بر روی ابعاد قطعه نوبت به طراحی مدل می‌رسد. در طراحی مدل مواردی چون شکل قطعه، روش تولید، اهمیت صنعتی و اقتصادی و تیراژ تولید قطعه نقش مهمی دارند.

با توجه به اینکه مدل‌های چوبی دوام کمتری دارند، از مدل فلزی برای تولید این قطعه استفاده می‌کنیم پس نیاز به یک مدل مادر داریم که ابتدا آن را به صورت چوبی می‌سازیم سپس تبدیل به مدل آلومینیمی می‌کنیم. برای ساختن مدل چوبی علاوه بر انقباض عملی این فولاد که ۲,۲ می‌باشد یک انقباض مضاعف برای تبدیل مدل چوبی به مدل آلومینیمی لحاظ می‌کنیم که در مجموع برای محاسبات قطعه ۳,۶ درصد انقباض را توسط نرم افزار به کلیه ابعاد قطعه اضافه می‌کنیم.

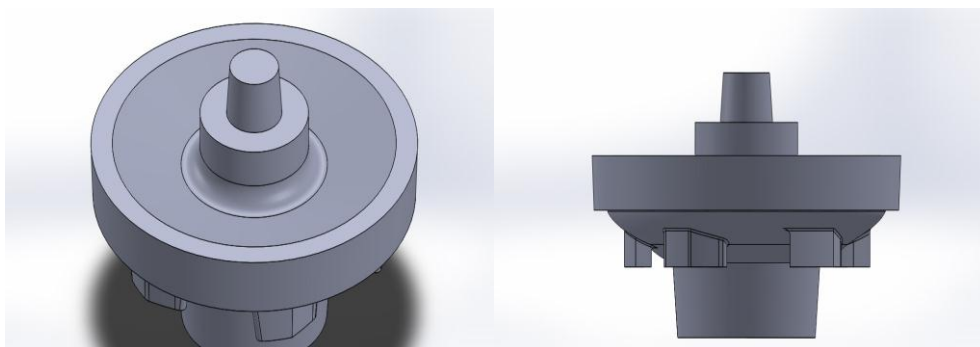
در مورد این قطعه با توجه به روش تولید آن که به صورت ریخته‌گری در قالب ماسه ای و قالبگیری به روش دستی می‌باشد،

دو طرح اصلی برای مدل وجود دارد: ۱. مدل با قطعه آزاد ۲. مدل ماهیچه‌دار. که تفاوت آنها در نحوه ایجاد پره ها می‌باشد.

ابتدا روش اول مورد بررسی قرار گرفت: این روش نسبت به روش دوم کم هزینه‌تر است زیرا احتیاجی به استفاده از ماهیچه برای ایجاد پره‌ها نیست و پره‌ها به صورت پنج قطعه آزاد بر روی مدل ایجاد می‌شوند و پس از قالبگیری و خروج مدل جدا جدا از داخل قالب خارج می‌شوند. اما ما از این روش استفاده نکردیم زیرا امکان انجام این روش وجود ندارد، علت این امر شکل پره هاست. همانطور که در شکل مشخص است پره ها علاوه بر قوس دار بودن، از دو لبه داخلی و خارجی هم دارای شیب زیادی می‌باشند. به همین دلیل امکان خارج کردن آنها از داخل قالب وجود ندارد، به خصوص که مخلوط ماسه قالب CO<sub>2</sub> می‌باشد و خروج مدل از این قالب به سختی انجام می‌شود. پس در صورت طراحی به این شکل حتی اگر تیغه ها خارج هم شوند، هنگام خروج قطعه آزاد هر دو لبه تیغه‌ها در قالب دچار ماسه‌ریزی خواهد شد که در اینصورت باید این قسمت‌های قالب یعنی لبه تیغه ها ترمیم شود، که با توجه به ضخامت کم تیغه ها عملاً امکان این کار وجود ندارد و با توجه به کیفیت سطحی بالایی که از این قطعه احتیاج است ترمیم قالب نمی‌تواند مورد قبول باشد. بنابراین امکان اجرای روش اول وجود ندارد.

اما روش دوم یعنی طراحی مدل به صورت ماهیچه‌دار که طرح ما بر اساس این طراحی می‌باشد. به طوری که مدل در قسمت زیرین، یعنی قسمت پره‌ها به صورت توپر می‌باشد و پره‌ها با استفاده از ماهیچه ایجاد می‌شوند. در این طرح علاوه بر سرعت و سهولت قالبگیری، کیفیت سطحی قطعات نیز بسیار خوب می‌باشد.

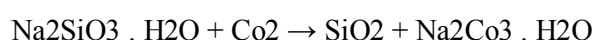
بر اساس این طرح مدل به صورت یک‌تکه می‌باشد و ریشه ماهیچه و راهنمای ماهیچه زیری و ریشه های ماهیچه مرکزی بر روی آن قرار دارند به طوری که پس از قالبگیری مدل و خارج کردن آن علاوه بر حفره قالب بستر ریشه ماهیچه‌ها و بستر راهنمای ماهیچه‌ها هم در داخل قالب ایجاد می‌شود. به شکلی که پس از منتاژ ماهیچه ها درون قالب، ماهیچه ها کاملاً درون بستر ریشه ماهیچه خود قرار می‌گیرند.



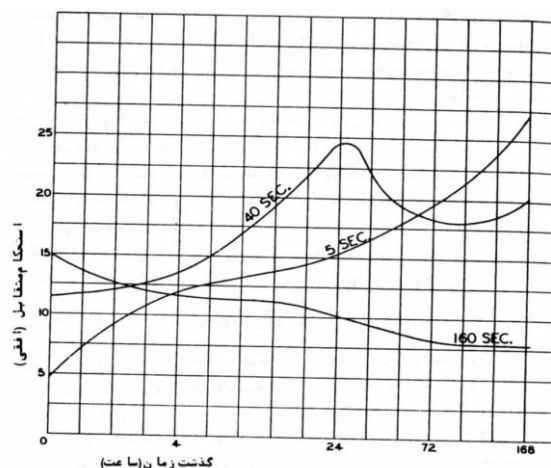
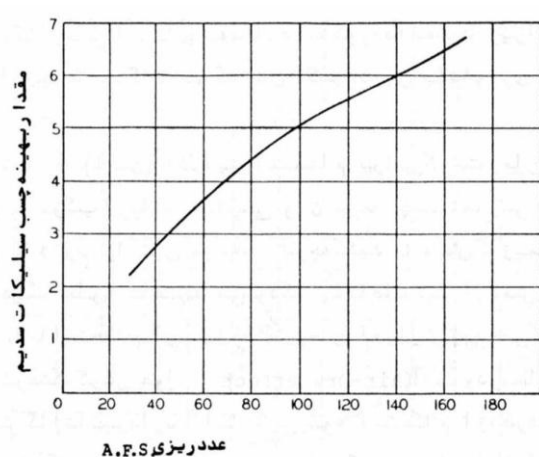
**قالب:** قالبی که برای این قطعه استفاده می‌کنیم بصورت دو درجه می‌باشد. جنس قالب ماسه سیلیسی مصنوعی با مش ۶۰ و چسب سیلیکات سدیم با دمش گاز CO<sub>2</sub> است. این نوع ماسه بعد از خودگیری توسط گاز CO<sub>2</sub> صافی سطح خوبی دارد.

علت انتخاب قالبگیری به روش CO<sub>2</sub>: انتخاب مواد قالبگیری بستگی به روش قالبگیری، جنس مذاب، پیچیدگی مدل و غیره دارد که اینجا با در نظر گرفتن شرایطی چون استحکام بالای قالب، دیرگدازی بالای مخلوط قالبگیری، عدم شستن برآمدگی‌ها توسط جریان مذاب، کیفیت سطحی مطلوب، دقت ابعادی بالا و همچنین عدم تولید گاز، از ماسه سیلیسی به همراه چسب سیلیکات سدیم استفاده کردیم.

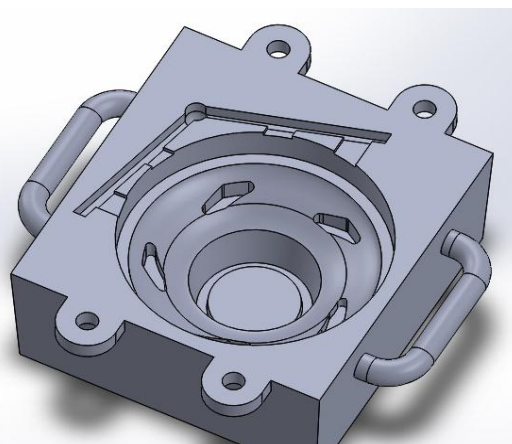
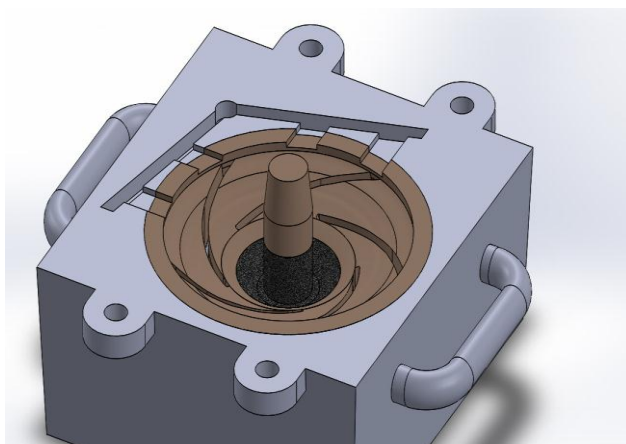
چسب مصرفی: مقدار چسب مصرفی طبق نمودار حدود ۴٫۵ درصد است که به ماسه خشک و تمیز اضافه می‌گردد. میزان چسب مصرفی به خواص مورد نیاز و وضعیت ماسه از نظر اندازه و توزیع دانه بندی بستگی دارد. سپس گاز دی اکسید کربن به داخل قالب دمیده می‌شود تا طی واکنش زیر سیلیس ژلاتینی حاصل شود و اتصال ذرات ماسه را به یکدیگر انجام دهد.



دمش گاز: دمش گاز به مدت طولانی باعث حصول استحکام زیاد بلافاصله پس از دمش خواهد شد، اما با گذشت زمان کاهش شدید استحکام قابل توجه است. بنابراین، زمان دمش گاز برای مخلوط ماسه که ظرف چند ساعت مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌تواند طولانی و زیاد باشد تا هم استحکام اولیه برای نگهداری، زیاد شود هم قابلیت فروپاشی آن در حد قابل قبول باشد.



اثر تلفیقی زمان دمش گاز بر استحکام یک مخلوط ماسه قالبگیری با چسب سیلیکات سدیم

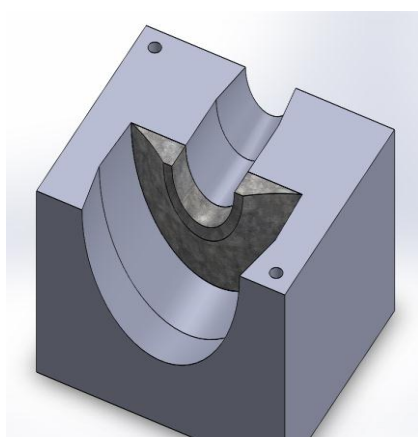


**ماه‌یچه:** همانطور که گفته شد بهترین و راحت‌ترین روش تولید این قطعه استفاده از ماه‌یچه می‌باشد. بدین منظور دو ماه‌یچه برای ایجاد سوراخ مرکز قطعه و همچنین ایجاد پره‌ها طراحی شد.

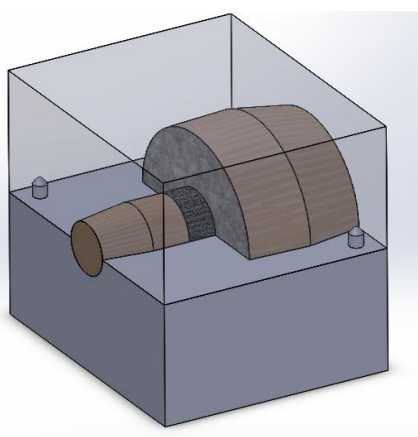
ماه‌یچه یک: ماه‌یچه مرکزی قطعه می‌باشد که دو هدف از طراحی آن داشتیم. اول ایجاد سوراخ مرکز قطعه و دوم قرارگیری آن در مرکز مجموعه ماه‌یچه‌های پره‌ها و جلوگیری از جابجایی و حرکت آنها. این ماه‌یچه دارای دو ریشه ماه‌یچه است یکی در درجه زیری و کف قالب و دیگری در درجه بالایی قرار دارد که پس از منتاژ درجه‌ها، درجه رویی بر روی آن قرار می‌گیرد و از جابجایی آن و احیاناً بلند شدن آن هنگام ورود مذاب جلوگیری می‌کند. البته ماه‌یچه شماره یک بدلیل محل قرارگیری و مخلوط ماه‌یچه دارای شرایط خاصی است که در ادامه توضیح داده می‌شود.

جعبه ماه‌یچه شماره یک هم بدلیل سهولت خارج شدن ماه‌یچه به صورت دو تکه طراحی شده و یک قسمت اضافی هم به صورت قطعه آزاد درون جعبه ماه‌یچه قرار داده می‌شود که هدف آن ایجاد قسمت فرورفتگی بالای ماه‌یچه است. این قسمت در طراحی‌ها به خوبی قابل مشاهده است.

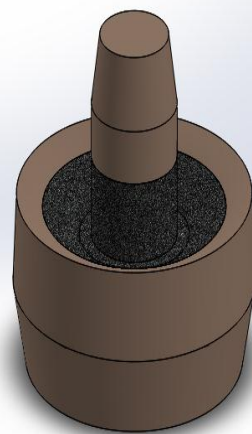
ماه‌یچه شماره دو: با توجه به شرایط خاص و پیچیده پره‌ها طراحی این ماه‌یچه و بخصوص جعبه ماه‌یچه آن کار مشکلی بود. در این طرح ماه‌یچه اصلی در واقع فضای بین دو ماه‌یچه به همراه ریشه ماه‌یچه و راهنمای ماه‌یچه می‌باشد و پس از کنار هم قرار گرفتن پنج عدد از این ماه‌یچه‌ها، ماه‌یچه اصلی تشکیل می‌شود. که مجموع ماه‌یچه‌ها به صورت ماه‌یچه دور یا ماه‌یچه پوششی می‌باشد. در واقع پره‌ها در بین این پنج ماه‌یچه قرار می‌گیرند. این ماه‌یچه دارای یک ریشه ماه‌یچه در قسمت خارجی است که پس از منتاژ ماه‌یچه‌ها در کنار هم این ریشه ماه‌یچه به صورت یک ریشه ماه‌یچه دور در می‌آید. که پس از منتاژ درجه رویی، این ریشه ماه‌یچه در زیر درجه رویی قرار می‌گیرد و به این شکل دیگر احتمال بلند شدن ماه‌یچه‌ها نیز در هنگام ورود مذاب وجود ندارد. همچنین برای قرار گرفتن درست این ماه‌یچه‌ها در جای خود و جلوگیری از کوچکترین جابجایی، در قسمت زیر این ماه‌یچه‌ها یک راهنمای ماه‌یچه طراحی کردیم که این موضوع در طراحی‌ها به خوبی مشخص است.



قطعه آزاد درون جعبه ماه‌یچه

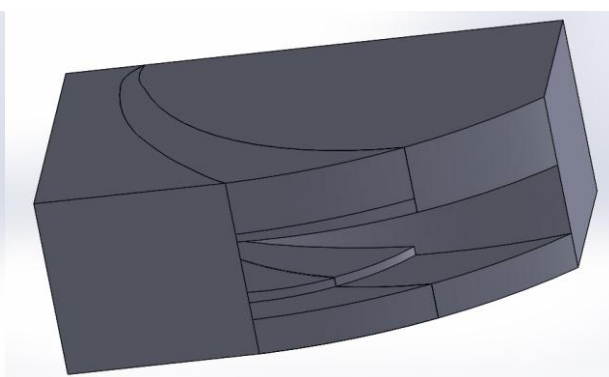
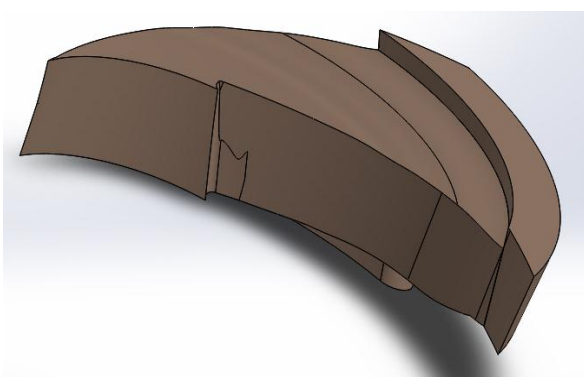


جعبه ماه‌یچه یک

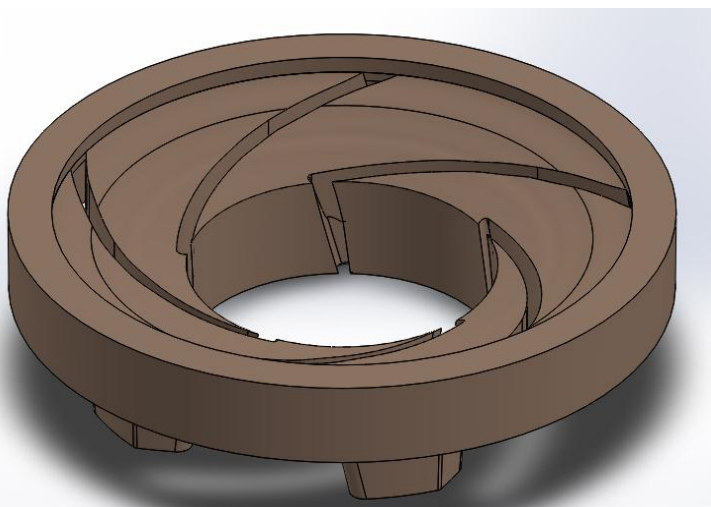
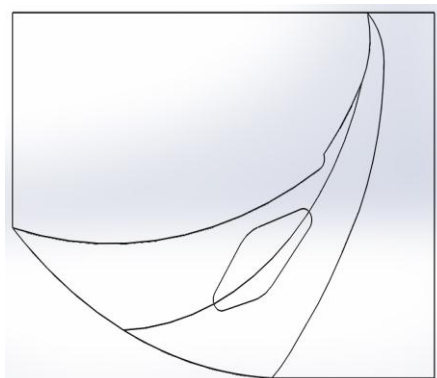


ماه‌یچه شماره یک





جعبه ماهیچه و ماهیچه شماره دو



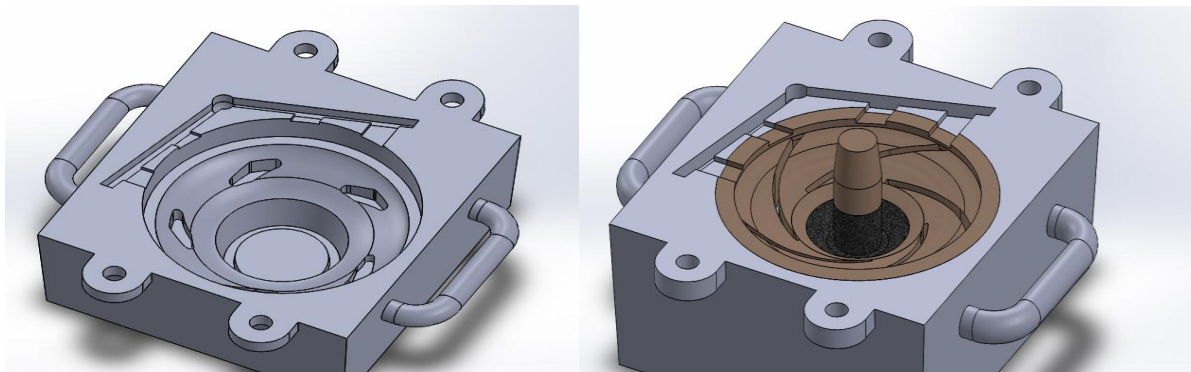
نمای بالای جعبه ماهیچه دو

مجموعه ماهیچه شماره دو

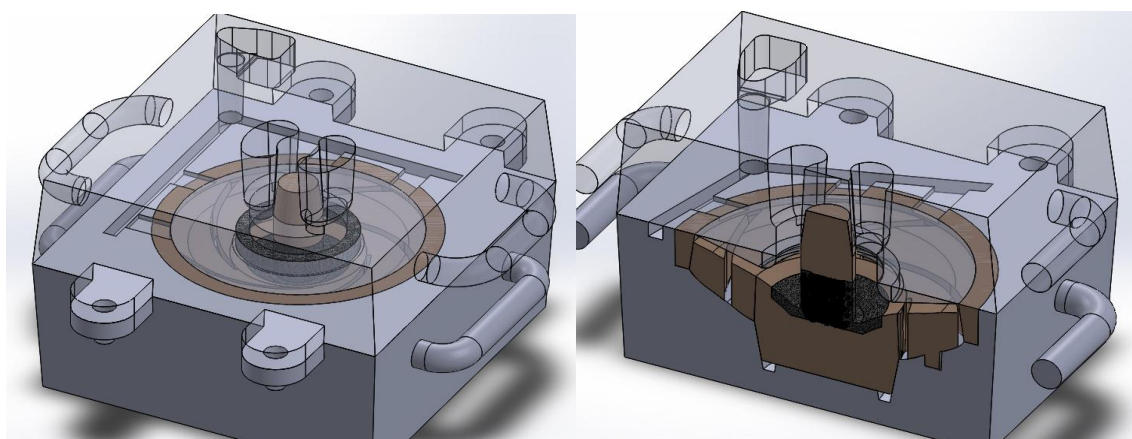
**نکته:** قطعات رینگی شکل که از جنس فولادهای کربنی تولید می‌شوند به شدت به پارگی گرم حساس هستند و مکانیزم بدین صورت است که مذاب اطراف رینگ در حال انجماد است و به ماهیچه وسط رینگ فشار وارد می‌کند، حال اگر ماهیچه استحکام خود را حفظ کند و در مقابل نیروی وارده از طرف قطعه مقاومت کند قطعه در حالت خمیری دچار پارگی می‌شود در اینجا نیز دقیقاً یک رینگ وجود دارد که ممکن است دچار پارگی گرم شود. در قطعات رینگی شکلی که حجم مذاب اطراف رینگ زیاد است برای جلوگیری از این عیب ماهیچه وسطی را به صورت توخالی درست می‌کنند تا در مقابل نیروی وارده از طرف قطعه تغییر فرم داده و شکسته شود ولی در قطعاتی که حجم مذاب اطراف ماهیچه کم است همانند قطعه مورد نظر ماهیچه را در حدی می‌کوبند که شکل مورد نظر را به خود گیرد و درونش خلل و فرج داشته باشد. ما هم در اینجا همین کار را می‌کنیم. یعنی ماهیچه‌ای با حداقل استحکام تهیه می‌کنیم ولی باید توجه داشت که تهیه این نوع ماهیچه باعث کاهش کیفیت سطح داخلی رینگ می‌شود پس برای بالابردن کیفیت سطح این قسمت درون رینگ را ماشینکاری می‌کنیم.

**نکته:** تهیه ی ماهیچه با استفاده از ماسه چراغی عیب ترک گرم را برطرف می‌کند چون این ماهیچه در تماس با مذاب استحکام خود را از دست داده و در مقابل انقباض مقاومت نمی‌کند ولی عیب بزرگ آن تولید گاز فراوان آن است پس استفاده از ماسه چراغی توصیه نمی‌شود.

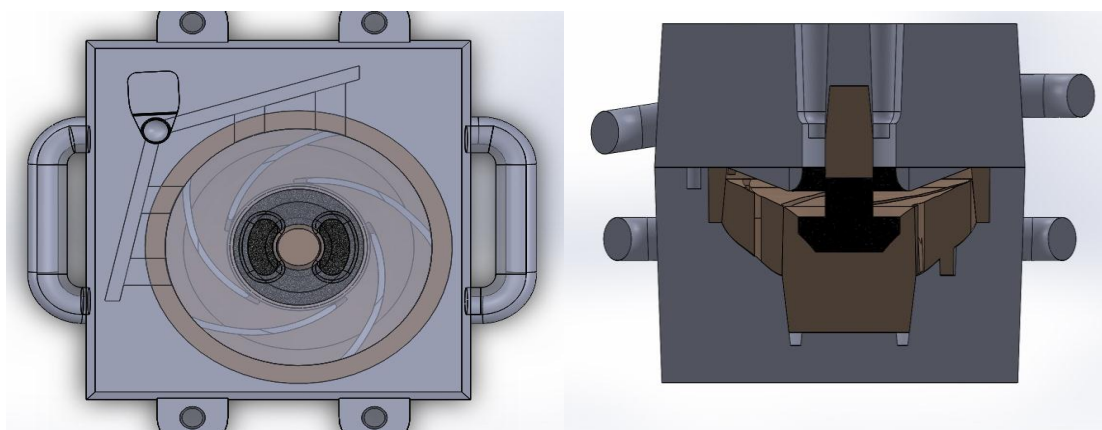
**منتاژ:** پس از آماده شدن مدل و جعبه ماهیچه می توان قالبگیری را انجام داد. برای این کار ابتدا مخلوط ماسه را آماده کرده و پس از انتخاب درجه مناسب مدل را داخل درجه قرار می‌دهیم. و شروع به کوبش مخلوط ماسه می‌کنیم، پس از کوبش درجه‌زیری و قراردادن درجه‌روی، ابتدا تمام اجزا مدل مثل سیستم راهگامی و تغذیه‌ها را درون قالب قرار می‌دهیم. در این قسمت و در مورد مخلوط ماسه ذکر یک نکته ضروری است. همانطور که در نقشه‌ها هم مشخص شده و قبلا هم ذکر شد در قسمت بالای مدل و روی قسمت فیلتر خورده R14 (دور رینگ) باید از ماسه کرومیتی برای افزایش سرعت انتقال حرارت این قسمت استفاده کنیم. علت آن در قسمت شبیه سازی توضیح داده می‌شود و بقیه قالب را از همان مخلوط ماسه معمولی استفاده می‌کنیم و قالب را می‌کوبیم. در مورد کوبش ماسه باید دقت کرد که بهتر است برای کمک به خروج گاز بهتر قالب میزان کوبش قالب متوسط باشد یعنی نه خیلی کم باشد که کیفیت سطح افت کند و نه خیلی زیاد باشد که خروج گاز دچار مشکل شود. پس از آن مدل را از قالب خارج می‌کنیم و ماهیچه‌ها را آماده کرده و در قالب منتاژ می‌کنیم. در مورد ماهیچه مرکزی باید دقت کرد که در قسمت مرکز این ماهیچه باید از ماسه کرومیتی استفاده کرد یعنی درست در زیر قسمت فیلتر خورده مدل R14 و از پایین تا وسط سوراخ مرکزی از ماسه کرومیتی برای این قسمت ماهیچه استفاده می‌کنیم و بقیه ماهیچه را ماسه معمولی می‌کوبیم (این قسمت در نقشه‌ها به خوبی مشخص است). ماهیچه شماره دو را نیز کلا از مخلوط ماسه سیلیسی تولید می‌کنیم. در مورد کوبش ماهیچه‌ها باید ذکر کرد که میزان کوبش ماهیچه‌ها به خصوص ماهیچه مرکزی نباید خیلی زیاد باشد، یعنی این ماهیچه نباید استحکام خیلی زیادی داشته باشد زیرا در قسمت رینگ واقع شده و احتمال ایجاد ترک گرم را به شدت افزایش می‌دهد. پس از آماده شدن ماهیچه‌ها آنها را درون قالب منتاژ می‌کنیم و درجه روی را نیز منتاژ می‌کنیم که در این لحظه قالب آماده ذوب‌ریزی است. البته باید توجه کرد که در فولاد حتما باید از وزنه‌گذاری بر روی درجه هنگام ذوب‌ریزی استفاده کرد چون در غیر اینصورت بدلیل وزن مخصوص بالای مذاب احتمال بلند شدن درجه‌ها و بیرون زدن ذوب از سطح جدایش بسیار بالاست.



منتاژ ماهیچه‌ها درون قالب و درجه زیرین قالب که محل ریشه ماهیچه‌ها و راهنمای ماهیچه‌ها کاملاً مشخص است



قسمت هایی که ماسه کرومیتی استفاده شده کاملاً مشخص است

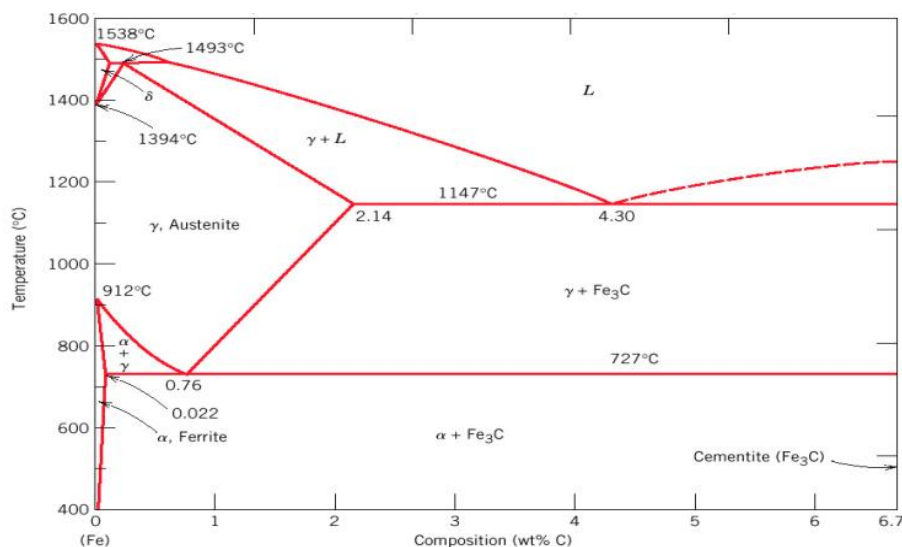


تصاویر بالا: سمت راست: نمای قالب در برش را نشان می‌دهد که منتاژ ماهیچه‌ها و قسمت‌هایی که از ماسه کرومیتی استفاده شده و نحوه قرارگیری تغذیه‌ها را بخوبی نشان می‌دهد.

سمت چپ: نمای بالای قالب را نشان می‌دهد که فرم کلی سیستم راهگامی را بخوبی مشخص می‌کند و نحوه منتاژ ماهیچه‌ها را از نمای بالا نشان می‌دهد و همچنین نحوه قرارگیری تغذیه‌ها را نشان می‌دهد.



#### ۴- شرایط تهیه، عملیات کیفی و ریخته‌گری مذاب



**Chemical composition:**  
(Typical analysis in %)

	Steel	C	Si	Mn	S
C45E		0.45	0.25	0.65	<0.030
C45R		0.45	0.25	0.65	0.020 0.035

دامنه انجماد	دمای لیکوئیدوس	دمای سالدوس
78° C	1493° C	1415° C

**خواص متالورژیکی آلیاژ:** فولادهای ساده کربنی به دلیل سیالیت کم، وزن مخصوص بالا، نقطه ذوب بالا و در نتیجه خطرات ماسه سوزی و شوک‌های حرارتی به قالب، تمایل شدید به جذب گازهایی همچون هیدروژن و اکسیژن و... معمولاً ریخته‌گری مشکلی دارند و در هنگام طراحی باید به تمام نکات بالا دقت کرد. فولاد CK45 دارای دامنه ی انجماد ۷۸ درجه سانتی‌گراد می باشد پس انجماد آن میانی است و سیالیت آن نیز متوسط است. پس اگر تمهیدات لازم برای جهت دار کردن انجماد صورت نگیرد انجماد به سمت خمیری میل می کند در نتیجه قطعات تولیدی دارای مک‌های انقباضی و همچنین گازی (در صورت عدم انجام عملیات کیفی مناسب) می‌باشند. در صورت عدم تهیه ی سیستم راهگاهی مناسب حتی قسمت هایی که مدولشان ۰.۸ هست نیز ممکن است دچار کشیدگی ناشی از انجماد شوند، پس باید به جهت دار کردن انجماد بسیار توجه کرد. به علت دامنه انجماد این آلیاژ باید کوره مورد نظر طوری انتخاب شود که قدرت این را داشته باشد که این ناحیه را سریع رد کند و فلز را ذوب کند.

**نکته:** تمام طراحی های صورت گرفته اعم از طراحی مدل و قالب، سیستم راهگاهی، فوق ذوب و... بر تکیه بر دو فاکتور مهم صرفه اقتصادی و خواص متالورژیکی آلیاژ صورت گرفته است.

**انتخاب نوع کوره:** در اینجا برای رسیدن به مذابی با کیفیت بالا از کوره القایی بدون هسته استفاده می‌کنیم که این کوره ها در سه مدل فرکانس بالا، فرکانس متوسط و فرکانس کم موجود می باشند و این را میدانیم که هرچه فرکانس بالاتر برود تلاطم و جذب گاز مذاب کاهش می یابد و هرچه فرکانس پایین باشد تلاطم مذاب بیشتر است و این را هم میدانیم که فولادها نسبت به تلاطم و جذب گاز حساس هستند پس در اینجا از کوره القایی بدون هسته با فرکانس پایین یا متوسط استفاده می کنیم تا مذابی با کیفیت بالا بدست آید.

**نکته:** به علت سردی سرباره و عدم انجام واکنش های شیمیایی در آن باید توجه شود که امکان عملیات گوگرد زدایی و فسفر زدایی درون کوره بسیار مشکل است پس باید شمش مورد استفاده کمترین مقدار فسفر و گوگرد را داشته باشد.

**نکته:** یکی از مشکلاتی که کوره های القایی با فرکانس پایین و متوسط دارند عدم هموژن سازی مناسب مذاب است و برای حل این مسئله قبل از مذاب ریزی مذاب را از کوره به پاتیل ریخته و دوباره به درون کوره می ریزیم تا مذاب یکنواخت شود.

**شارژ کوره:** برای شارژ کوره قطعات ریز را در کف کوره و قطعات درشت را همانند شمشها روی قطعات ریز قرار می دهند و تا می توانند مواد شارژ را به صورت فشرده در کوره قرار می دهند و فواصل هوایی بین آنها را کاهش می دهند تا مواد شارژ آمپر بیشتری از کوره بگیرند و عملیات ذوب سریعتر صورت گیرد.

**مواد شارژ:** در اینجا می توان از شمش CK45 (در صورت موجود بودن در بازار) استفاده کرد اما با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و به دلیل ارزان بودن قراضه های ST37 از این مواد استفاده کرد و با اضافه کردن گرانول در حین ذوب درصد کربن را به مقدار مورد نظر رساند.

**نکته:** در صورت استفاده کردن از قراضه یا شمش ST37 به دلیل مشکل بودن جذب کربن در کوره مورد استفاده عملیات هموژن سازی که بدان اشاره شد حتما باید صورت گیرد.

**عملیات کیفی:** با توجه به دلایلی که گفته شد عملیات کیفی با نام گوگرد زدایی و فسفر زایی نداریم و باید این عناصر در شمش مورد نظر به مقدار مجاز موجود باشند. در کل سه گاز اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن به علت اینکه شعاع اتمی آنها زیر یک آنگستروم است در مذاب فولاد قابلیت انحلال دارند و مهمترین آنها گاز هیدروژن است (کوچکترین شعاع اتمی را دارد ۰,۴۶ آنگستروم) که به راحتی در مذاب بیشتر آلیاژها جذب می شود و در خلال انجماد مقداری از آن خارج و باقی مانده آن باعث ایجاد حبابهای گازی در قطعه می شود.

**نکته:** گازهای حل شده در مذاب فولاد موجب پارگی و بادکردگی می شوند و خود هیدروژن به تنهایی باعث ایجاد حفرات گازی نمی شود بلکه بدلیل بالا بودن فشار متالواستاتیکی در فولادها و همچنین مقدار کم حلالیت جامد و مذاب، معمولاً اندازه حفرات گازی ناشی از تشکیل گاز CO را افزایش می دهد.

**اکسیژن زدایی:** در اثر واکنش بین اکسیژن و کربن موجود در مذاب گاز منواکسید کربن ایجاد می شود که این گاز منشا ایجاد تخلخل در قطعه می باشد و برای جلوگیری از این عیب باید از انجام این واکنش در هنگام شروع انجماد به شدت جلوگیری کرد در نتیجه نقش عناصر اکسیژن زدا متوقف کردن همین واکنش است. با توجه به دلایلی که گفته شد عملیات کیفی با نام گوگرد زدایی و فسفر زایی نداریم و باید این عناصر در شمش مورد نظر به مقدار مجاز موجود باشند. در کل سه گاز اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن به علت اینکه شعاع اتمی آنها زیر یک آنگستروم است در مذاب فولاد قابلیت انحلال دارند و مهمترین آنها گاز هیدروژن است (کوچکترین شعاع اتمی را دارد ۰,۴۶ آنگستروم) که به راحتی در مذاب بیشتر آلیاژها جذب می شود و در خلال انجماد مقداری از آن خارج و باقی مانده آن باعث ایجاد حبابهای گازی در قطعه می شود.

**نکته:** گازهای حل شده در مذاب فولاد موجب پارگی و بادکردگی می شوند و خود هیدروژن به تنهایی باعث ایجاد حفرات گازی نمی شود بلکه بدلیل بالا بودن فشار متالواستاتیکی در فولادها و همچنین مقدار کم حلالیت جامد و مذاب، معمولاً اندازه ی حفرات گازی ناشی از تشکیل گاز CO را افزایش می دهد.

و با ایجاد شرایط اکسیدی عناصری مانند کربن، منگنز، فسفر و سیلیسیم اکسید می شوند و به دو صورت زیر صورت می گیرد:

۱: اکسیژن زدایی در کوره: که توسط عناصری مثل فروسیلیس یا فرومنگنز صورت می‌گیرد که تشکیل اکسیدهای منگنز و سیلیسیم را موجب می‌شوند و به راحتی جذب سرباره می‌شوند. به میزان ۰,۱ تا ۰,۲ درصد استفاده می‌شود.

۲: اکسیژن زدایی در پاتیل: برای اکسیژن زدایی در پاتیل می‌توانیم از تیتانیوم، زیرکونیوم و آلومینیم استفاده کنیم ولی به دلیل مسائل اقتصادی و همچنین قدرت بیشتر تمال اکسیژن با آلومینیم از این عنصر به میزان ۰,۱ درصد استفاده می‌کنیم بدین صورت که آلومینیم را در کف پاتیل انداخته و مذاب را بر روی آن می‌ریزیم.

**نکته:** اکسیژن زدایی در کوره به دلیل جلوگیری از واکنش کربن با اکسیژن و تشکیل CO و در نتیجه جلوگیری از کم شدن کربن مذاب صورت می‌گیرد.

**نکته:** بدلیل جذب گاز بالای مذاب فولاد ابتدا باید از عنصری برای اکسیژن زدایی استفاده کنیم که قدرت کمتری دارد و در صورت استفاده از آلومینیم مذاب بسیار متشنج می‌شود. و همچنین به علت وزن مخصوص پایین آلومینیم بهتر است از آن در مرحله دوم استفاده شود.

**نکته:** نمی‌توانیم اکسیژن زدایی را در یک مرحله انجام دهیم چون در هنگام تخلیه مذاب دچار تلاطم و آشفته‌گی می‌شود و جذب اکسیژن می‌کند پس باید این اکسیژن‌ها را هم از مذاب خارج کرد.

**جوانه زایی:** در اینجا آلومینیم با تشکیل  $Al_2O_3$  کار جوانه زایی را هم انجام می‌دهد بدین صورت که این ذرات در مذاب پخش شده و از رشد دانه‌ها جلوگیری می‌کنند. باعث افزایش خواص مکانیکی فولاد می‌شوند.

**سرباره گیری:** سرباره گیری فولادها را بعد از ریختن سلاکس روی ذوب انجام می‌دهیم که سلاکس باعث می‌شود کلیه ی سرباره‌های روی ذوب به صورت کلوخه‌ای در آیند و خارج شدنشان راحت شود.

**پوشش قالب (استفاده از پوششهای سراملی):** برای جلوگیری از ماسه سوزی قالب و همچنین شوکهای حرارتی وارد به قالب مخصوصاً سقف قالب که ناشی از دمای بالای مذاب می‌باشد باید قالب پوشش داده شود که در اینجا برای جلوگیری از این عیوب و همچنین افزایش سیالیت مذاب در سیستم راهگاهی تمام اجزای درونی قالب همچون ماهیچه‌ها، محفظه ی قالب و سیستم راهگاهی را پوشش می‌دهیم.

**نکته:** چون در فولادها دمای بارریزی بالا است حتی با استفاده از پوشش قالب نیز سقف قالب در خطر شوک حرارتی و طبله کردن قرار دارد و چون در هنگام ورود مذاب به قالب سقف قالب در معرض تشعشع شدید مذاب قرار می‌گیرد و برای جلوگیری از شوک حرارتی وارده معمولاً در سقف قالب میخهای بزرگی فرو می‌برند تا مقداری از حرارت را به خود جذب کنند و مانع از طبله کردن سقف قالب شوند.

**دمای فوق ذوب:** انتخاب صحیح دمای فوق ذوب یکی از پارامترهای مهم در فولادها می‌باشد که در صورت انتخاب غیراصولی آن با مشکلات فراوانی از جمله ماسه سوزی، جذب گاز بالا، ایجاد نیامد در قطعه و... مواجه می‌شویم در صورت بالا بودن فوق ذوب جذب گاز افزایش می‌یابد، خطر ماسه سوزی و شوک های حرارتی در قالب بالا می‌رود ولی سیالیت هم به میزان قابل توجهی بهبود می‌یابد و در صورت کم بودن آن سیالیت که یکی از پارامترهای مهم در فولادها می‌باشد به شدت افت می‌کند همچنین میزان فوق ذوب به عواملی همچون شکل قطعه وابستگی شدیدی دارد. همچنین برای انتخاب صحیح فوق ذوب در اینجا به علت ضخامت کم پره‌ها (حدود ۷ میلی‌متر) مجاز به انتخاب فوق ذوب پایین نیستیم چون قطعه در این ناحیه ممکن

است نیامد کند پس برای اطمینان از پر شدن پره ها و رسیدن به سیالیت مناسب فوق ذوب را ۱۵۷ درجه سانتیگراد در نظر میگیریم یعنی مذاب با دمای ۱۶۵۰ درجه بر روی حوضچه ی بارریز ریخته شود.

**نکته:** معمولاً باید سعی شود قطعات فولادی با کمترین فوق ذوب ریخته شوند و در بعضی موارد نمی توانیم فوق ذوب را کاهش دهیم چون قطعه معیوب می شود پس برای دست یابی به فوق ذوب مناسب باید تمام جوانب را بسنجیم.

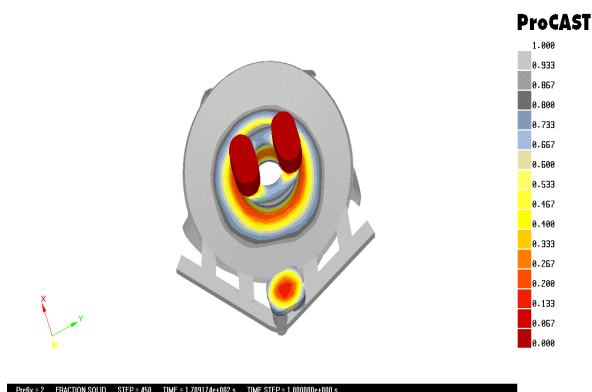
**توجه:** آماده سازی مذاب فولاد بر خلاف فلزات غیر آهنی مشکل است چون در فولادها با خطر بزرگی تحت عنوان پل زدن کوره مواجه هستیم (در کوره ی القایی) و در صورت غفلت مسئول آماده سازی مذاب باعث انفجار کوره شده و عواقب جانی و مالی بسیاری را به دنبال دارد. پل زدن بدین صورت است که سطح مذاب منجمد است و به نظر می آید که هنوز فلزات ذوب نشده اند (یا فلز در ابتدا ذوب شده و در پی غفلت مسئول آماده سازی مذاب سطحش منجمد شده است) در صورتی که زیر لایه های منجمد از خیلی وقت پیش به حالت مذاب در آمده پس دمای مذاب در این قسمت به قدری بالا می رود که لایه نسوز را سوراخ می کند و مذاب با لوله های گردش آب برخورد کرده و حجم بخار تولیدی به قدری زیاد است که باعث انفجار می شود.

### شبیه سازی:

اولین گام در شبیه سازی شناسایی نقاط گرم قطعه می باشد و بررسی اینکه آیا این نقاط گرم در حدی هستند که باعث معیوب شدن قطعه شوند یا نه، در اینجا رینگ وسط قطعه گرمترین مکان قطعه می باشد و همچنین نیاز به تغذیه دارد و می توان دریافت که با توجه به ارتفاع این مکان تغذیه نمی تواند انقباضاتی که در این نقطه بوجود می آیند را به خوبی برطرف کند و امکان مذاب رسانی به این ناحیه وجود ندارد. برای تضمین سلامت این ناحیه باید انقباضات را به درون تغذیه هدایت کنیم و می دانیم که انتقال حرارت ماسه کرومیتی در دماهای بالا بسیار بالا است پس کف رینگ و قسمت قوس دار خارجی رینگ را ماسه کرومیتی قرار می دهیم (باید مراقب بود که در کف رینگ ماسه کرومیتی به پره ها برخورد نکند) و همچنین قسمت پایین ماهیچه ی وسط رینگ را ماسه کرومیت قرار می دهیم (یعنی نصف ماهیچه سیلیسی و نصف کرومیتی) با این کار سرعت سرد شدن در این نقاط را بالا برده و انقباضات را به درون تغذیه ها هدایت می کنیم. اکنون با شبیه سازی گفته های خود را تایید می کنیم.

**نکته:** در این قطعه برای برطرف کردن انقباضات استفاده از مبرد به هیچ وجه توصیه نمی شود چون تعبیه ی چنین مبردهایی مشکل و هزینه بر است و همچنین عمل قالبگیری را مشکل و سرعت تولید کاهش می یابد.

اکنون به بررسی دو تصویر زیر می پردازیم

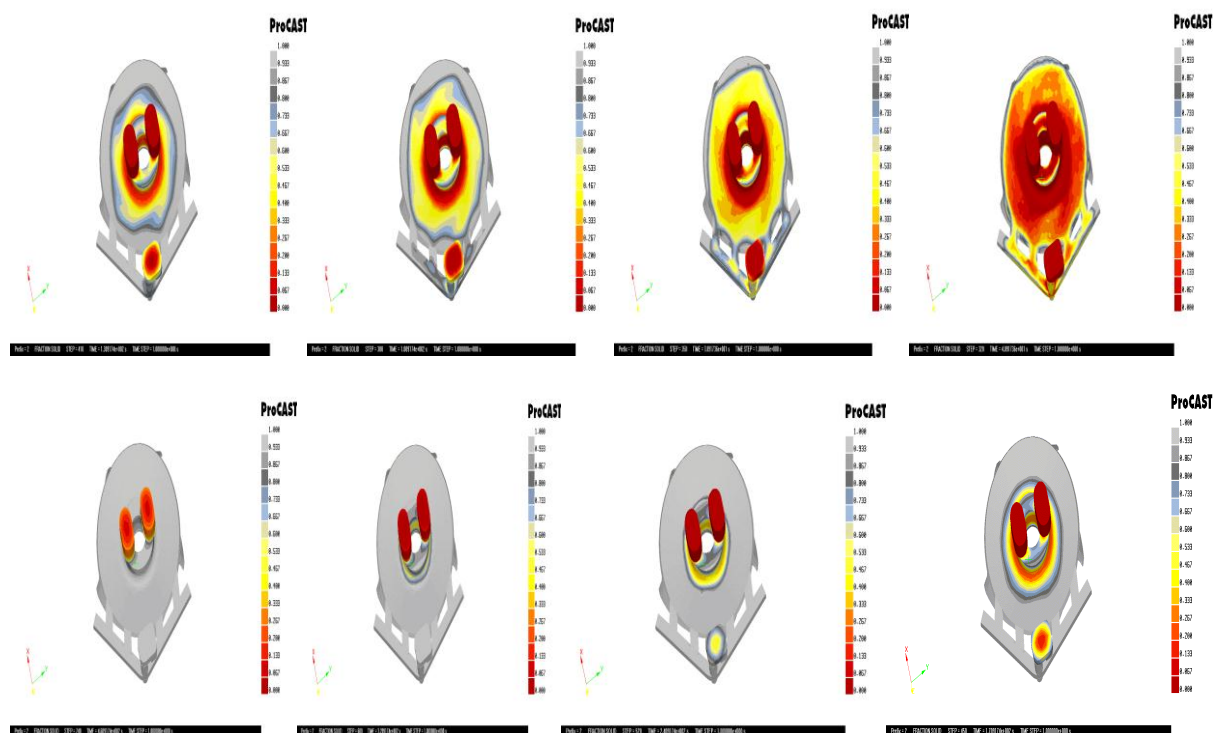


تصویر (۲)

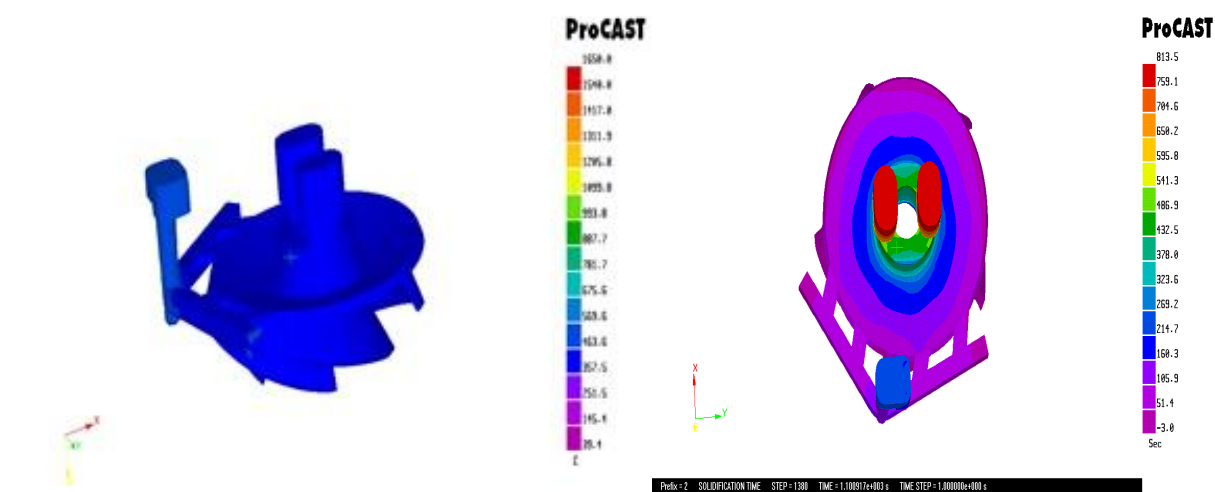
تصویر (۱)

تصویر شماره یک و دو هر دو کسر جامد شدن قطعه را نشان می‌دهند، با این تفاوت که در قطعه شماره یک از ماسه کرومیتی استفاده نشده ولی در قطعه ی شماره دو از ماسه کرومیتی استفاده شده است. و از زمانهای ثبت شده در زیر تصاویر در می یابیم که قطعه ی شماره ی یک در ۱۷۵ ثانیه و قطعه ی شماره ی دو در ۱۷۰ ثانیه پس از شروع انجماد قرار دارند. پس نتیجه اینکه ماسه کرومیتی انقباضات را به سمت تغذیه هدایت کرده است.

تصاویر زیر نشان دهنده ی مراحل انجماد و جهت دار بودن آن به سمت قطعه می باشد.



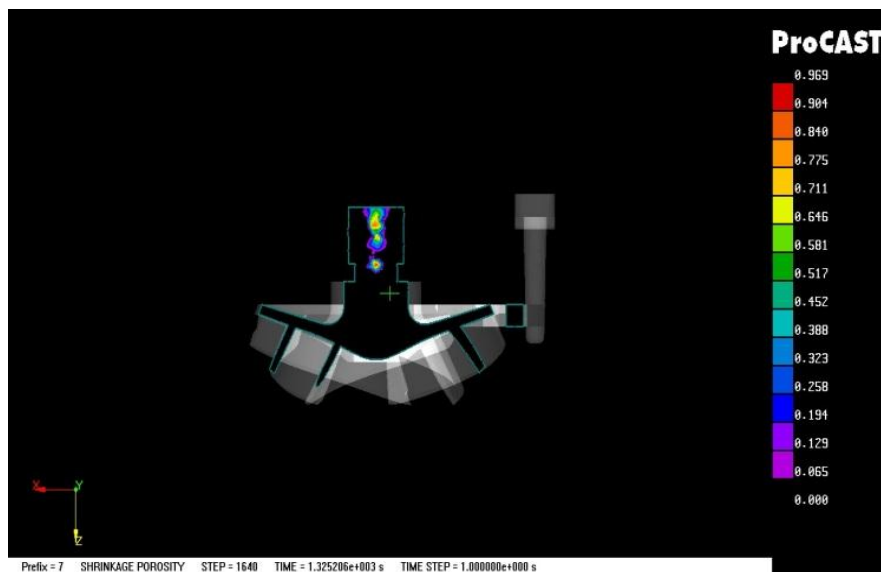
تصویر زیر: (سمت راست) زمان انجماد قسمت‌های مختلف قطعه را نشان می‌دهد و نشان‌دهنده جهت‌دار بودن انجماد به سمت تغذیه‌ها می‌باشد. (سمت چپ) پر شدن کامل پره‌ها را نشان می‌دهد.



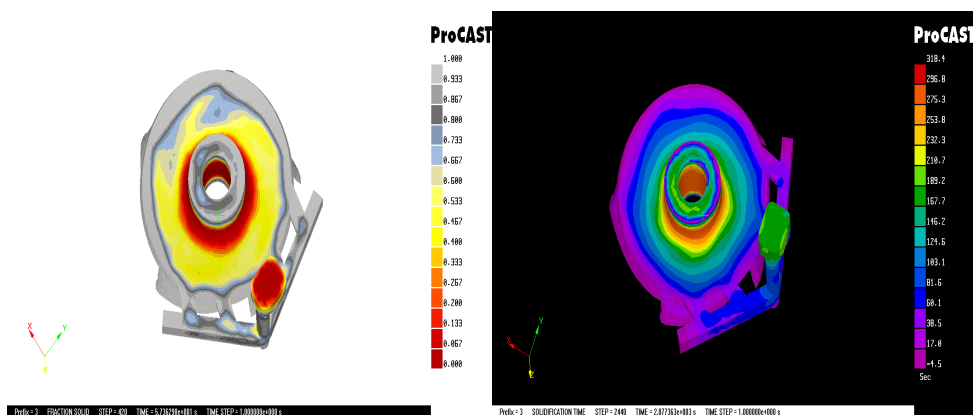
نشان دهنده پر شدن کامل پره‌هاست.

زمان انجماد قطعه

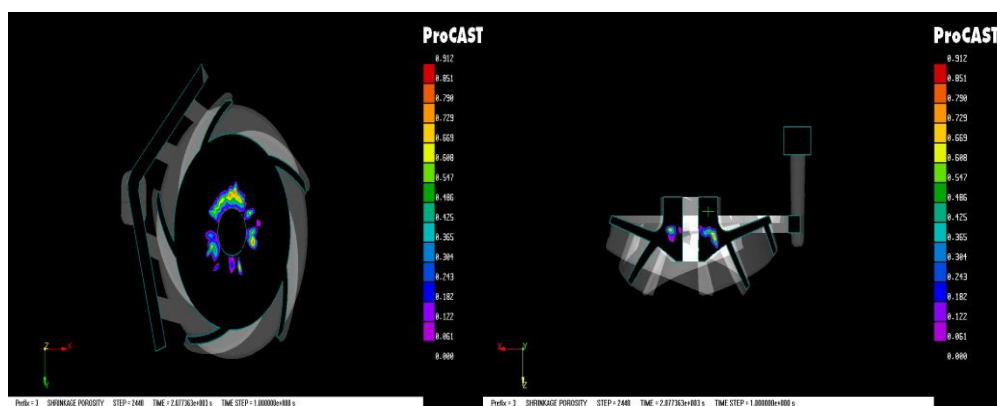
تصویر زیر نشان دهنده ی رانده شدن انقباضات به درون تغذیه می باشد.



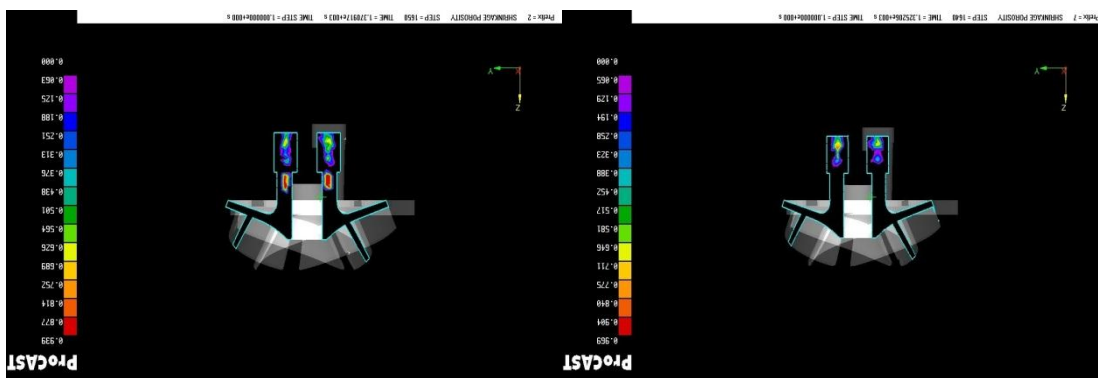
دو تصویر زیر که یکی نشان دهنده ی این است که آخرین مذاب در دور رینگ منجمد می شود در حالی که ارتباط این ناحیه با سطح قطع شده است و دیگری نشان دهنده ی زمان انجماد قسمتهای مختلف است که باز هم گویای مطلب فوق است.



دو تصویر زیر نشان دهنده ی حفرات انقباضی بوجود آمده در این نواحی هستند



تصویر شماره ۱ یک نشان دهنده ی این است که تنها تغذیه نمی تواند انقباضات را در قطعه جبران کند ولی تغذیه ی شماره دو انقباضات را جبران کرده است چون در نقاط گفته شده از ماسه کرومیتی استفاده شده است.



شماره (۲)

شماره (۱)

## منابع و مراجع

۱: ریخته‌گری پیشرفته جلد اول، جان کمبل، چاپ چهارم ۸۹، انتشارات دانشگاه علم و صنعت

۲: ریخته‌گری پیشرفته جلد دوم، جان کمبل، چاپ چهارم ۸۹، انتشارات دانشگاه علم و صنعت

۳: Metals Handbook Volume 15 casting

۴: تغذیه‌گذاری در ریخته‌گری قطعات فولادی، رئوف پرورش، چاپ دوم فروردین ۸۴

۵: ده قانون ریخته‌گری، جان کمبل، انتشارات دانشگاه علم و صنعت





## ۵- سادگی، انجام پذیری، ابتکار و خلاقیت و توجیه اقتصادی

طراحی مدل به این شکل و استفاده از ماهیچه برای تولید پره‌ها به صورتی که ماهیچه‌ها به شکل جداگانه و کوچک تولید و سپس در کنار هم منتاژ می‌شوند و ماهیچه بزرگ را می‌سازند، می‌تواند ابتکار خوبی باشد زیرا با این کار به جای استفاده از جعبه ماهیچه بزرگ، از یک جعبه ماهیچه کوچک استفاده می‌کنیم که به این صورت در هزینه های ساخت جعبه ماهیچه صرفه‌جویی کرده‌ایم.

موضوع بعدی استفاده از ماسه کرومیتی در مناطقی است که تمرکز حرارتی وجود دارد. با این روش توانستیم انقباضات را به طور کامل از قطعه به تغذیه منتقل کنیم، که این موضوع در شبیه سازی ها هم به خوبی اثبات شد. یعنی وقتی که حتی با تغذیه هم انقباضات به طور کامل جبران نشدند، استفاده از این روش و افزایش سرعت تبرید آن منطقه که در نتیجه به جهت دار شدن کامل انجماد انجامید باعث حذف کامل انقباضات و تولید قطعه ای سالم گردید.

استفاده از نرم‌افزارهای طراحی در سرعت و دقت در طراحی بسیار موثر بود به طوری که ما تمام محاسبات و شبیه سازی‌ها را با استفاده از نرم‌افزارها انجام دادیم. این امر در حالت صنعتی و تولیدات انبوه بسیار به ما کمک خواهد کرد، به گونه‌ای که دیگر نیاز به انجام آزمون و خطا به صورت عملی نیست و تمام فرضیات ابتدا در شبیه سازی‌ها تست می‌شود و در نهایت بهترین شبیه روش انتخاب می‌گردد، که این موضوع به بهبود راندمان تولید بسیار کمک خواهد کرد.