



چهارمین دوره مسابقات سراسری ریخته‌گری دانشجویان کشور دانشگاه صنعتی اصفهان

گزارش مرحله مقدماتی چهارمین دوره مسابقات سراسری ریخته‌گری دانشجویان کشور

سوال ریخته‌گری	
Casting SRN	نام تیم شرکت کننده
صنعتی اصفهان	نام دانشگاه
فضل الله صادقی	نام سرپرست تیم
۰۹۱۳۱۰۶۷۹۰۵	شماره تلفن همراه
Fazlollah.sadeghi@ma.iut.ac.ir	پست الکترونیک

لطفا در این قسمت چیزی ننویسید.	
کد گروه	2005

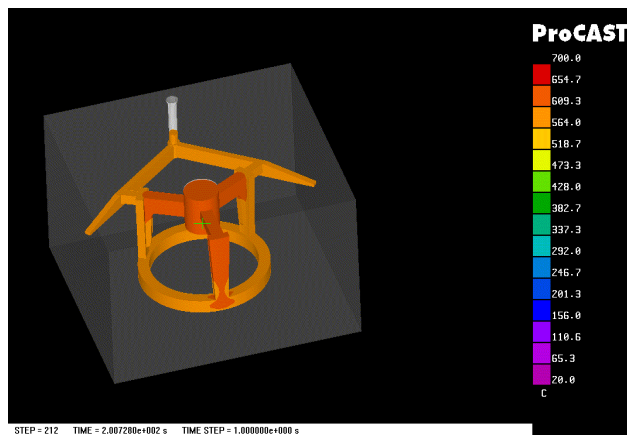
۱- خلاصه طرح (یک صفحه به علاوه نقشه های مربوطه)

یکی از نکات مهم در طراحی اولیه مدل (تبدیل سه‌نمای مکانیکی اولیه به نقشه مدل‌سازی) در نظر گرفتن صرفه اقتصادی در طرح می‌باشد. با دو روش می‌توان به این مهم دست یافت:

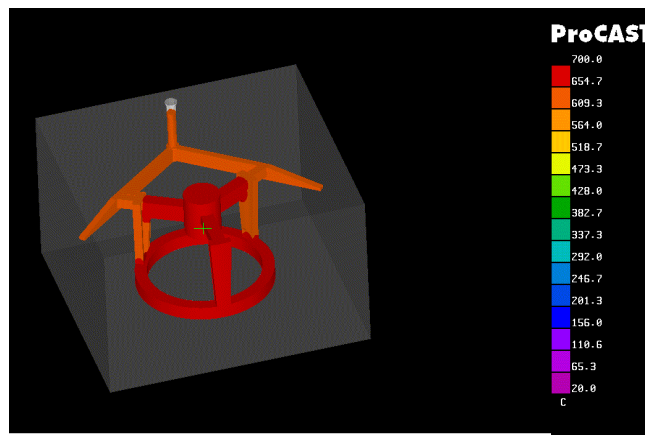
۱) دقت در انتخاب صحیح سطح جدایش: سطح جدایش مناسب باعث سادگی در ساخت مدل و همچنین تسهیل قالب‌گیری و در کل سلامت قطعه ریخته شده همراه با کاهش هزینه‌های تولید آن می‌شود.

۲) طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری با راندمان بالا و موقعیت مناسب برای مدل: این امر سبب کاهش هزینه‌های ریخته‌گری و قیمت تمام‌شده قطعه می‌شود [۱].

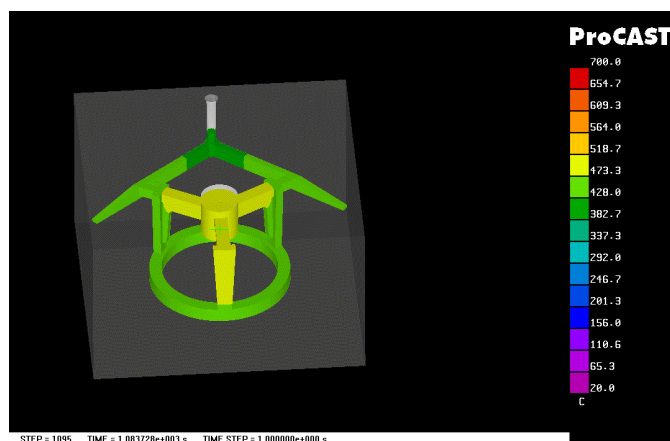
شکل مدور این قطعه شرایط خاصی را برای آن ایجاد می‌کند. اگر بخواهیم اجزای مختلف این قطعه را به تفکیک بیان کنیم باید گفت که این قطعه از یک استوانه توخالی زیری و یک استوانه توپر فوقانی تشکیل شده است و این دو استوانه توسط سه تیغه به فواصل مساوی به هم متصل شده‌اند. حالت مدور این شکل و همچنین سه تیغه جانبی با فواصل مساوی آن ایجاب می‌کند که سیستم راهگاهی به نحوی طراحی شود که مذاب به‌صورت کاملاً مساوی و هم‌زمان تمام قسمت‌های قالب، بخصوص سه تیغه کناری را پر کند. در غیراین‌صورت به دلیل عدم یکنواختی دمای تمام نقاط قطعه در حین سرد شدن، قطعه دچار تنش‌ها و کرنش‌های داخلی شده و درنهایت سبب اعوجاج قطعه و تاب برداشتن آن می‌گردد. شبیه‌سازی انجام‌شده توسط نرم‌افزار پروکست کاملاً مطالب فوق را تایید می‌نماید. همان‌طور که در شکل ۱ می‌بینید طراحی سیستم راهگاهی به نحوی که ورود مذاب به قطعه از طریق دوتا از تیغه‌های کناری انجام شود سبب می‌شود که در تمام مراحل انجماد و سرد شدن قطعه، تیغه‌ای که سیستم راهگاهی به آن متصل نیست حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد با دوتیغه محل اتصال سیستم راهگاهی اختلاف داشته باشد. در این نوع از طراحی سیستم راهگاهی، به‌محض انجماد کامل استوانه توپر، تنش‌های حرارتی در قسمت‌های مختلف قطعه شروع شده و به‌مرور زمان بر میزان آن افزوده می‌شود. شکل ۲ میزان تنش حرارتی وارد بر جسم در دمای نزدیک به دمای محیط را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که تنش تسلیم در این آلیاژ حدود ۲۰۰ مگاپاسکال است.



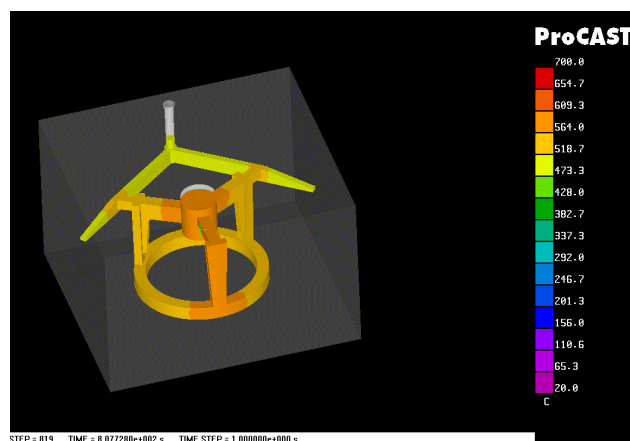
(ب)



(الف)

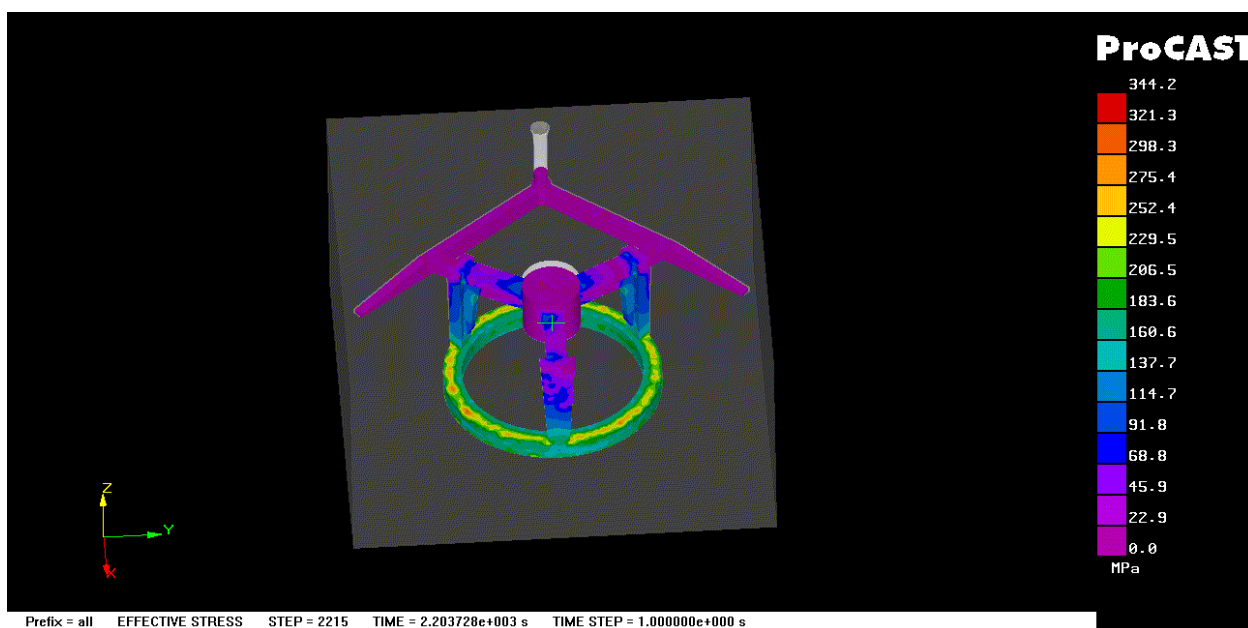


(د)



(ج)

شکل ۱ (الف، ب، ج، د). اختلاف دمای یکی از تیغه‌ها با دو تیغه کناری در اثر عدم یکنواختی در سرد شدن قسمت‌های مختلف قطعه در کلیه مراحل سرد شدن که در نهایت منجر به تحمیل تنش‌های حرارتی بسیار زیاد به قطعه و تاب برداشتن آن می‌شود



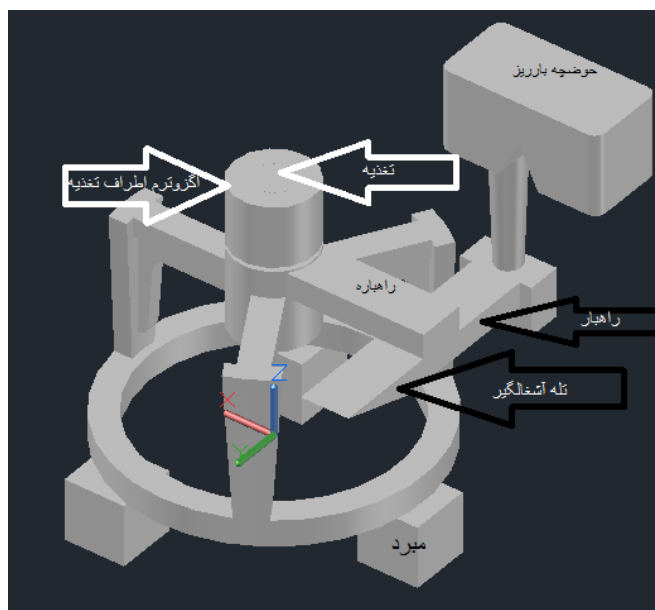
شکل ۲. وقوع تنش‌های حرارتی بسیار شدید در قطعه به دلیل عدم یکنواختی در سرد شدن تمام قسمت‌های قطعه

بنابراین دو طراحی برای رفع این مشکل مطرح است:

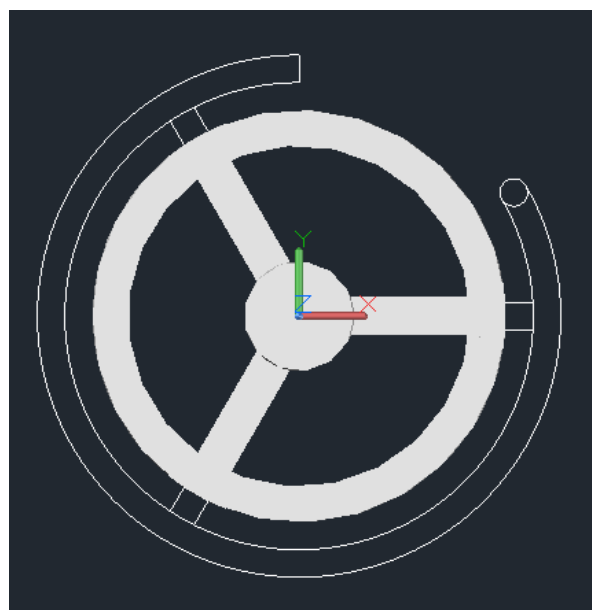
۱) استفاده از یک سیستم راهگاهی با راهبار مدور به نحوی که ورودی مذاب قطعه از سه تیغه کناری آن با دبی یکسان صورت پذیرد (شکل ۳). این طراحی علاوه بر مشکلات عملیاتی آن، دارای راندمان پایین و همچنین تلاطم بیشتر مذاب به دلیل مدور بودن راهبار و مشکل بودن عملیات ماشین‌کاری پس از ریخته‌گری آن می‌باشد. لازم به ذکر است که در این طراحی باید راهبار و راهباره در درجه زیری قرار بگیرند که این موضوع با توجه به غیرفشاری بودن سیستم راهگاهی این آلیاژ و همچنین وزن مخصوص پایین آن نسبت به آخال‌های موجود در مذاب، مغایر با اصول طراحی سیستم راهگاهی غیرفشاری است.

۲) استفاده از یک سیستم راهگاهی کوچک و بدون انحنا مطابق با شکل ۴ که کلیه معایب طراحی قبلی در آن رفع می‌شود. این سیستم راهگاهی علاوه بر راندمان بالا و تلاطم پایین، به دلیل پر شدن هم‌زمان هر سه تیغه، می‌تواند دغدغه ایجاد اعوجاج در قطعه را هم مرتفع کند. از طرفی امکان قرارگیری راهباره در درجه سوم سبب می‌شود که خواسته‌های ما در طراحی سیستم‌های راهگاهی

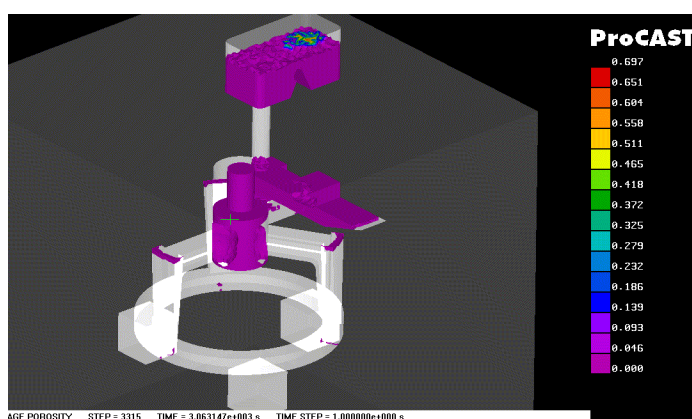
غیرفشاری برآورده شده و جداسازی سیستم راهگاهی از قطعه در مرحله تمیزکاری آن پس از عملیات ریخته‌گری به سهولت انجام شود. به منظور ایجاد انجماد جهت دار، از سه مبرد در کف قطعه استفاده شده است. همچنین با استفاده از مواد حرارت زا در اطراف تغذیه توانستیم حجم تغذیه را به میزان قابل توجهی کاهش داده و راندمان ریختگی را افزایش دهیم. قالب‌گیری این مدل توسط مدل دوتکه و قالب‌گیری با سه درجه انجام شد. جزئیات روش در قسمت بعد مفصلاً تشریح خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی بیانگر تولید قطعه‌ای با حداقل تنش‌های حرارتی و عدم وجود کشیدگی‌های انقباضی در آن است (شکل ۵-الف و ۵-ب).



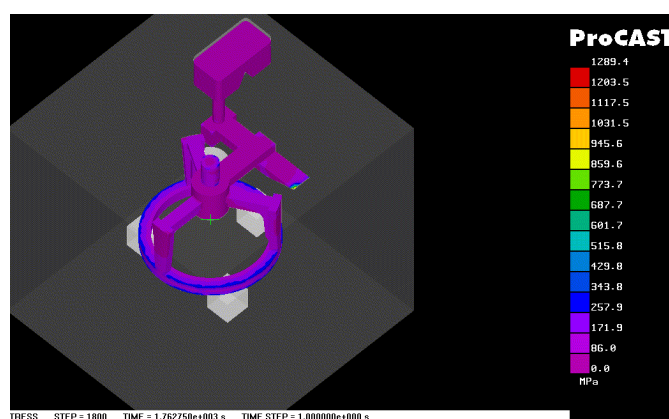
شکل ۴. طراحی صحیح سیستم راهگاهی (طراحی ۲) و رفع مشکلات عدم یکنواختی در پر شدن قالب



شکل ۳. طراحی مدور سیستم راهگاهی (طراحی ۱) جهت ورود یکنواخت مذاب به قطعه



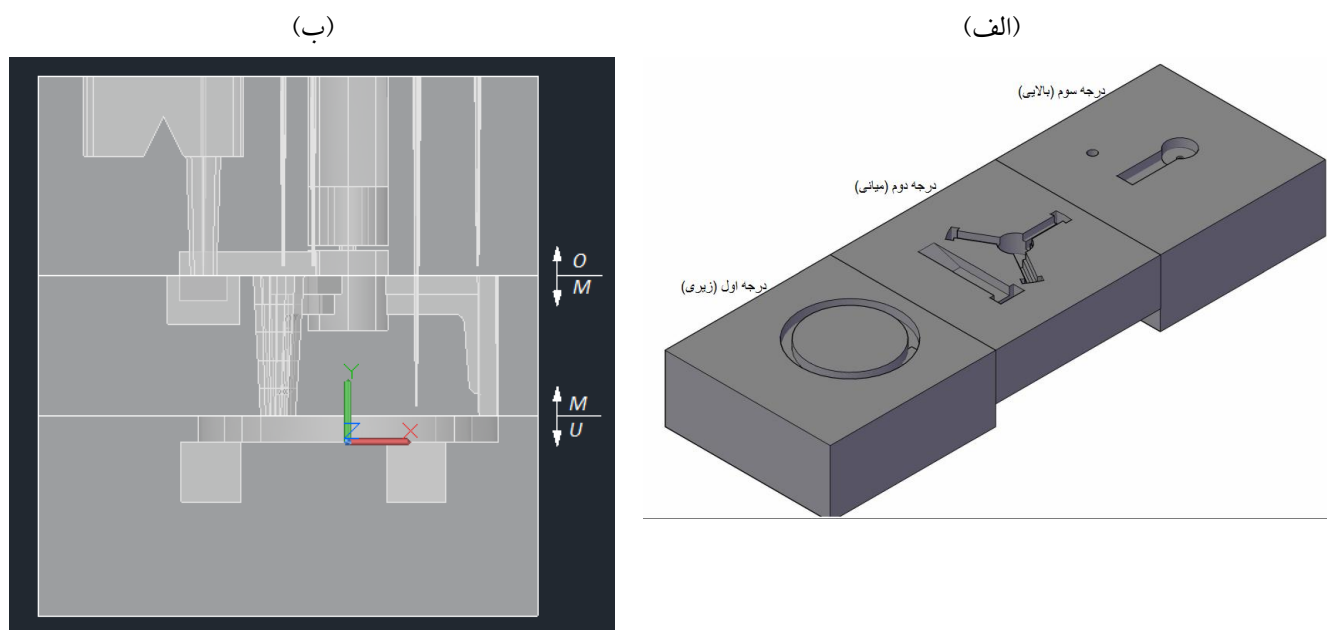
شکل ۵-ب) نتایج میزان کشیدگی‌های انقباضی در قطعه (مناطق مستعد کشیدگی با رنگ بنفش که بیانگر صفر درصد عیوب انقباضی است، نشان داده شده‌اند).



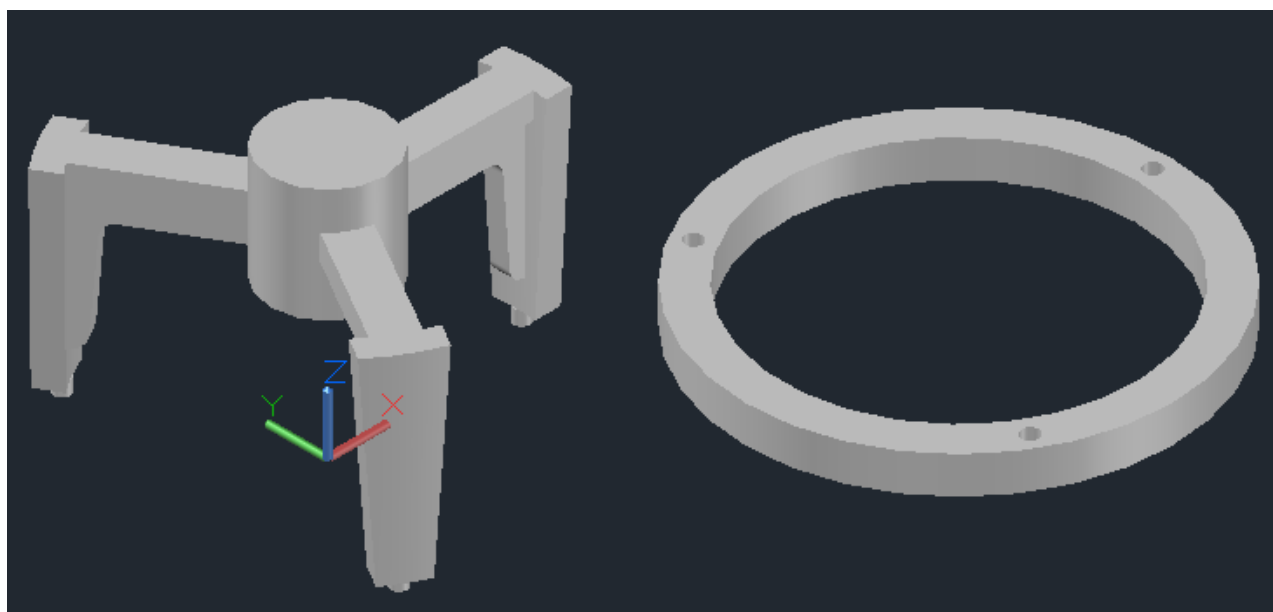
شکل ۵-الف) شبیه‌سازی تنش حرارتی قطعه (بدلیل یکنواخت پر شدن قالب، و تقارن در نحوه سرد شدن قسمت‌های مختلف، شاهد کمترین میزان تنش‌های حرارتی هستیم).

۲- جزئیات طراحی اجزاء مدل و قالب (حداکثر ۳ صفحه به‌علاوه نقشه‌ها، تصاویر و نمودارهای موردنیاز)

اولین قدم در طراحی یک قطعه ریخته‌گری، انتخاب سطح جدایش آن است. این موضوع می‌تواند کلیه مراحل بعدی تولید قطعه ۱، تحت تاثیر قرار دهد. به همین دلیل معمولاً ریخته‌گران حساسیت زیادی بر روی این موضوع دارند. برای تولید این قطعه از قالب^۴ سه درجه و دو سطح جدایش استفاده شد. شکل ۶ (الف و ب) سطوح جدایش مختلف را همراه با نحوه قالب‌گیری آن در سه درجه نشان می‌دهد. مدل این قطعه به صورت دوتکه ساخته شده است. شکل ۷ قسمت‌های مجزای این مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید دوتکه مدل به‌طور نر و مادگی و توسط یک پین در هنگام قالب‌گیری روی هم قرار می‌گیرند.



شکل ۶. (الف) سطوح جدایش مختلف و (ب) نحوه قالب‌گیری قطعه همراه با سیستم راهگاهی، تغذیه، مواد حرارت زا، مبرد و کانال‌های عبور گاز



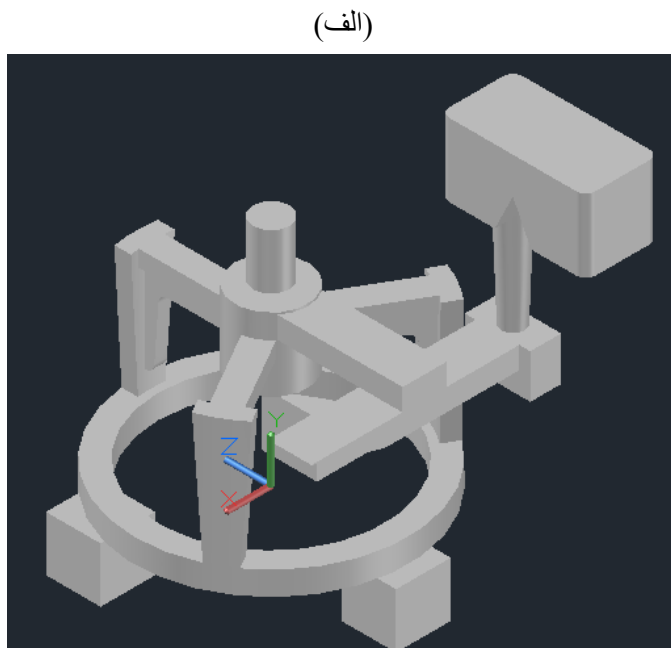
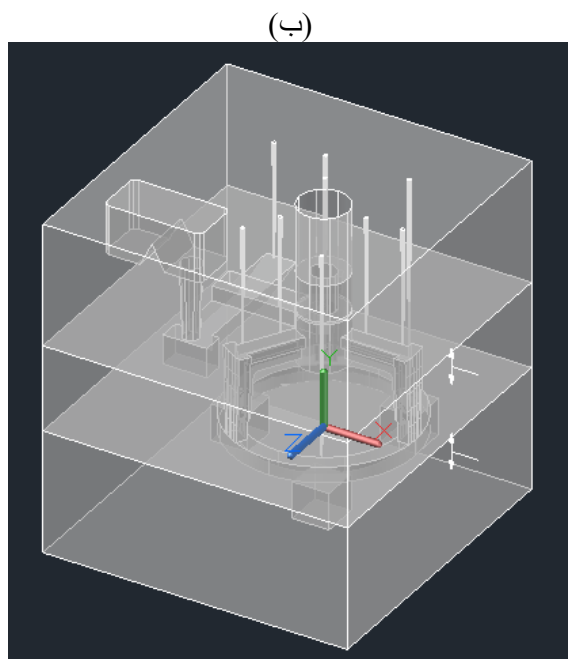
شکل ۷. نمایش ساخت مدل به‌صورت دوتکه

ایجاد سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری صحیح در ریخته‌گری آلومینیوم از دیرباز به‌عنوان عامل موثر در ایجاد قطعه سالم شناخته شده است [۲]. سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری آلومینیوم متأثر از مشخصات متالورژیکی و تکنولوژیکی زیر است: الف) تمایل شدید به اکسیداسیون و تولید سرباره ب) تمایل شدید به تلاطم و دخول گازها ج) خاصیت شدید جذب گاز د) انقباض حجمی زیاد مذاب ه) هدایت حرارتی زیاد.

قابلیت اکسیداسیون و جذب گازها در شرایط ایجاد تلاطم در مذاب تشدید می‌گردد. همچنین دخول گازهای ناشی از تلاطم مذاب باعث عدم پر شدن قالب و ایجاد محفظه‌های هوا در سطح قطعه می‌گردد. لذا استفاده از سیستم راهگاهی غیرفشاری می‌تواند معایب فوق را رفع کند. از طرفی دامنه انجماد میانی مایل به پوسته‌ای این آلیاژ (حدود ۶۰ درجه سانتی‌گراد) به ما اجازه می‌دهد که از کمترین نسبت سیستم راهگاهی غیرفشاری، یعنی نسبت ۱:۲:۲ (As:Ar:Ag) استفاده شود. استفاده از مبرد در دورترین قسمت قالب نسبت به تغذیه و اعمال تغذیه‌گذاری صحیح می‌تواند در جهت حذف انقباضات متمرکز و پراکنده بسیار موثر باشد. مشخصات قسمت‌های مختلف سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری در ادامه شرح داده خواهد شد.

طراحی سیستم راهگاهی:

یک قطعه مدور که از تمام محیط آن خواص یکسانی انتظار می‌رود، حتی‌الامکان نباید از یک گوشه پر شود، بلکه راهباره‌ها باید به نقاطی وصل شوند که مذاب را به‌طور متقارن، هم‌زمان و یکنواخت وارد قطعه کنند [۳]. در طراحی‌های متداول سیستم راهگاهی به‌منظور جلوگیری از تمرکز حرارتی در محل اتصال قطعه به راهباره، معمولاً از چند راهباره برای ورود مذاب به قطعه استفاده می‌شود؛ لیکن در اینجا شکل قطعه مانع از اجرای این نوع طراحی می‌شود هرچند که وزن پایین قطعه و حجم کم مذاب ورودی به آن و همچنین دمای پایین آلیاژهای آلومینیوم-سیلیسیم امکان وقوع چنین عیبی را پایین می‌آورد. با توجه به اصول طراحی سیستم غیرفشاری، راهباره باید به سطح بالایی راهبار متصل گردد تا اول راهبار و سپس راهباره پر شود. این پیوستگی رو به بالا سبب خروج هوا می‌گردد. در صورت استفاده از تغذیه گرم، جهت ایجاد انجماد جهت‌دار از قطعه به تغذیه، راهباره به قسمت ضخیم قطعه متصل می‌شود [۳]. در این قطعه به دلیل ممانعت از ایجاد تمرکز حرارتی نسبت عرض به ضخامت راهباره را ۲ به ۱ در نظر گرفتیم. کانال‌های هواکش به‌منظور ایجاد فضای مورد نیاز جهت خروج گاز از قالب تعبیه شد. حداقل مجموع مقدار مساحت این کانال‌ها باید به اندازه مساحت تنگه باشد با توجه به اینکه مساحت تنگه ۱/۳۵ سانتیمتر مربع محاسبه شده است و همچنین وجود تغذیه اتمسفری در سیستم، تعبیه ۱۰ عدد کانال هواکش در قالب می‌تواند خروج گازها در قالب را تضمین کند. به همین منظور ۳ عدد کانال هواکش بر روی استوانه توخالی زیری و بر روی هر تیغه دو عدد، و یک عدد کانال هواکش هم در انتهای راهبار تعبیه شد. شکل ۸ (الف و ب) طراحی سیستم راهگاهی برای این قطعه را بدون قالب و با قالب نشان می‌دهد.

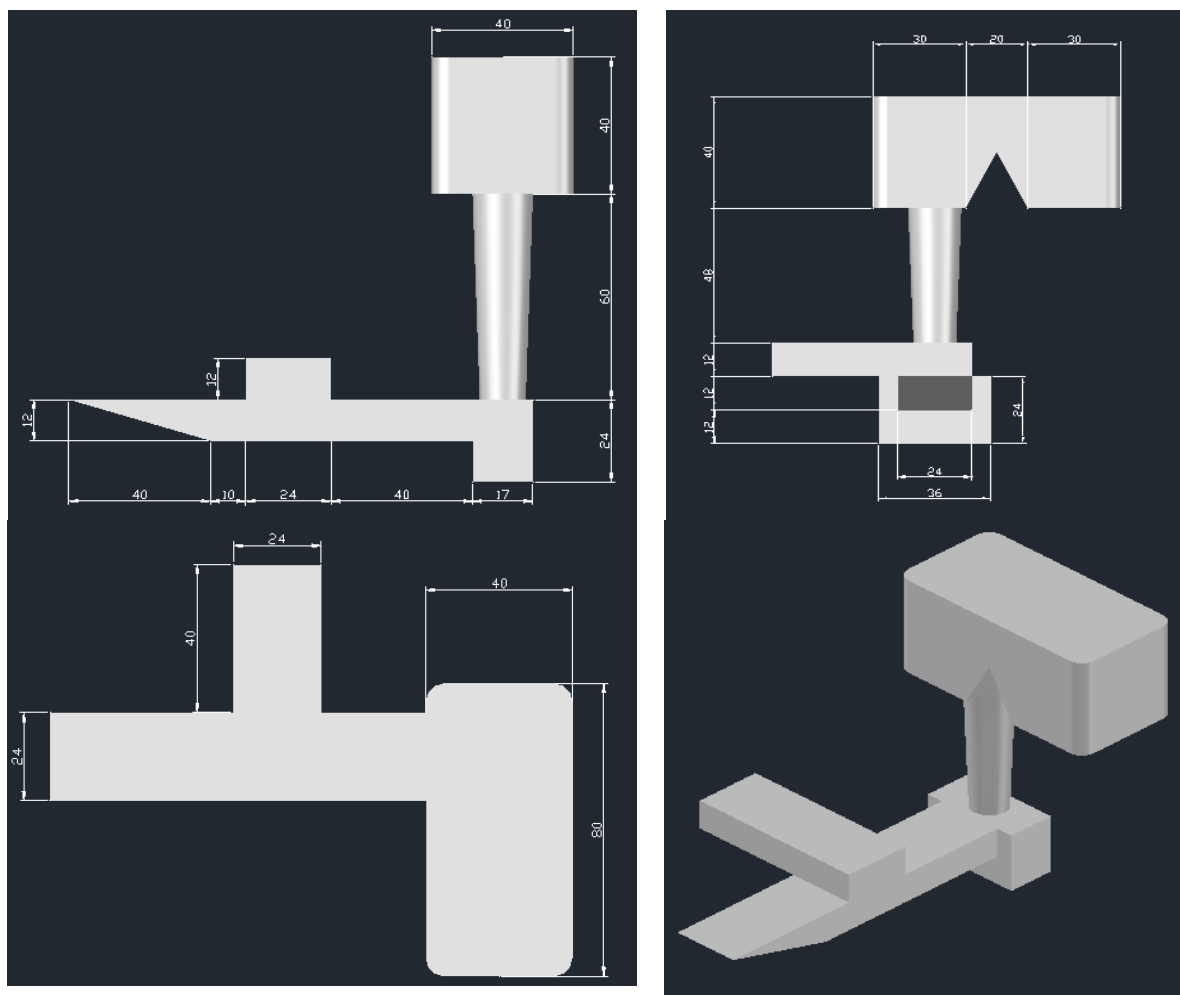


شکل ۸. نمایش طراحی سیستم راهگامی (الف) بدون قالب (ب) همراه با قالب

ابعاد سیستم راهگامی:

ابتدا با استفاده از فرمول $Ac = \frac{V}{t \cdot \mu \cdot v}$ مساحت تنگه را محاسبه می‌کنیم. در این فرمول t زمان بارریزی بوده که از فرمول پیشنهادی برای آلیاژهای سبک $t = K\sqrt{W}$ به دست می‌آید [۳]. مقدار K بین $0/6$ تا $1/4$ است که با توجه به ابعاد قطعه $1/4$ در نظر گرفته شد. W وزن قطعه بر حسب پوند می‌باشد که مقدار آن $1/6$ پوند به دست آمد. با جایگذاری در فرمول فوق زمان بارریزی حدوداً ۲ ثانیه به دست می‌آید. μ ضریب تخلیه می‌باشد. ضریب تخلیه برای آلومینیوم و آلیاژهای آن $0/55$ تا $0/7$ در نظر گرفته می‌شود [۳]. با توجه به شرایط ریخته‌گری این قطعه و استفاده از نسبت‌های سیستم راهگامی پایین در نظر گرفتن عدد $0/7$ مناسب می‌باشد. پارامتر دیگر، v (سرعت بارریزی) است؛ که از فرمول $v = \sqrt{2gH_e}$ به دست می‌آید در این رابطه g ضریب گرانش زمین و برابر ۹۸۱ سانتیمتر بر مجذور ثانیه است و H_e ارتفاع موثر می‌باشد. به دلیل اینکه بیشتر ارتفاع قطعه در درجه اول و دوم قرار گرفته است و از طرفی به دلیل طراحی راهبار در درجه سوم، ارتفاع مؤثر همان ارتفاع راهگاه بارریز (ارتفاع درجه سوم) در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه ارتفاع درجه سوم ۱۰ سانتیمتر است، ارتفاع مؤثر در محاسبات، ۱۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. اگر این اعداد را در فرمول قرار دهیم سرعت بارریزی ۱۴۰ سانتی‌متر بر ثانیه به دست می‌آید. با جایگذاری این اعداد، مقدار تنگه برابر $1/35$ سانتی‌متر مربع و قطر آن ۱۳ میلی‌متر به دقت آمد. بر اساس قانون پیوستگی و معادله تریچلی، جریان سیال در هنگام سقوط باریک می‌شود [۳]؛ بنابراین به منظور جلوگیری از مکش هوا، از راهگاه مخروطی شکل استفاده شد. در مورد آلیاژهای آلومینیوم استفاده از راهگاه‌های بارریز با شیب ۲ درصد با موفقیت بکار می‌روند [۲]؛ بنابراین قطر قسمت بالای راهگاه ۲۰ میلی‌متر به دست آمد. اکثر محققان استفاده از یک حوضچه در پای راهگاه بارریز را برای آرام‌سازی جریان مذاب پیشنهاد کرده‌اند. کف این حوضچه باید صاف باشد زیرا نیم کروی بودن آن سبب آشفستگی در جریان ورودی می‌شود. حوضچه بارریز باید به شکل مکعب مستطیل با گوشه‌های انحنا دار باشد که در کف آن دهانه ورودی راهگاه بارریز قرار می‌گیرد [۳]. ابعاد این دو قسمت سیستم راهگامی بر اساس پیشنهادهای موجود در مرجع [۳] محاسبه و اعمال شد. ابعاد سطح مقطع

راهبار و راهباره بر اساس مقدار به‌دست آمده از محاسبه مساحت تنگه و نسبت ۱:۲:۲ بکار برده شده برای این قطعه مطابق با شکل ۹ محاسبه و اعمال شد. جهت جلوگیری از ورود سرباره و آخال به محفظه قالب و در نتیجه تمیزی قطعه و همچنین به جهت کاهش سرعت جریان مذاب ورودی به قطعه و کاهش تلاطم و اغتشاش در آن، در محل اتصال راهبار به راهباره از فیلتر استفاده شد؛ اما استفاده از فیلتر به دلیل زیاد شدن سطح تماس و انتقال حرارت، مقاومت در برابر جریان نیز بیشتر می‌شود. از این رو باید به دمای بارریزی (کمی بالاتر از شرایط معمولی) و پیش گرم کردن صافی توجه کافی نمود. علاوه بر آن دبی بارریزی در ابتدا باید به اندازه‌ای باشد تا فشار فلز ایستایی لازم را برای حرکت مذاب از درون صافی تأمین نماید [۳]. تله سرباره محفظه‌ای است که در انتهای راهبار قرار می‌گیرد تا از ورود مذاب سرد اولیه حاوی اکسید و سرباره، داخل قطعه جلوگیری کند استفاده از نوع گوه‌ای تله سرباره به دلیل به دام انداختن مذاب در قسمت تنگ آن و جلوگیری از ایجاد موج برگشتی مذاب بسیار مفید می‌باشد. همچنین به علت نازک بودن، مذاب در آنجا به سرعت سرد می‌شود. تعبیه سوراخ هواکش در انتهای امتداد راهبار به منظور کاهش فشار گاز موجود در قالب بسیار مناسب می‌باشد [۳]. شکل ۹ ابعاد سیستم راهگاهی طراحی شده را در نماهای مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۹. ابعاد سیستم راهگاهی طراحی شده

طراحی و محاسبه سیستم تغذیه‌گذاری:

برای محاسبه سیستم تغذیه گذاری مدول تمامی قسمت‌های قطعه به تفکیک محاسبه شد. مدول قسمت استوانه توخالی حلقه‌ای شکل با مدول محل اتصال تیغه با استوانه تقریباً برابر و مساوی ۰/۳ است. مدول استوانه توپر بالایی هم تقریباً برابر با یک است بنابراین با قرار

دادن سه مبرد به صورت کاملاً متقارن در کف قالب و قرار دادن یک تغذیه با ابعاد صحیح می‌توان انجماد جهت‌داری را در این قطعه فراهم کرد. مطابق با نمودار شکل ۱۰ اگر بخواهیم مدول قسمت استوانه‌ای را از ۰/۳ به ۰/۲ کاهش دهیم به مبرد با سطح ۵۰۰ سانتی‌متر مربع به ازای هر لیتر مذاب نیاز داریم؛ لیکن حجم کل مذاب ما جهت تولید این قطعه ۰/۳ لیتر است که اگر یک تناسب ساده بگیریم سطح مبرد موردنظر برابر ۱۵۰ سانتیمتر مربع خواهد بود که اگر سطح مقطع مبرد را به شکل مربع فرض کنیم طول هر ضلع آن ۱۳ سانتی‌متر به دست می‌آید. از طرفی به دلیل اینکه ما از سه مبرد استفاده می‌کنیم طول هر ضلع تقریباً ۴/۵ سانتی‌متر به دست می‌آید. به علت شکل ساده این قطعه که به صورت استوانه می‌باشد احتمال ترک خوردن آن در حین انجماد وجود ندارد لذا می‌توان مقدار بیشتری مبرد خارجی که کاهش بیشتری در مدول اصلی آن به وجود می‌آورد را بکار گرفت [۴]؛ بنابراین ابعاد مبرد ۵×۵×۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

عنصر آلومینیوم دارای ۷ درصد انقباض حجمی می‌باشد؛ بنابراین در صورتی که قادر باشیم تغذیه‌ها را برای مدت بیشتری گرم نگه داریم یقیناً با تغذیه‌های کوچک می‌توان قطعات سالمی ریخته‌گری نمود [۴]. در این قطعه با استفاده از مواد عایق و حرارت‌زا توانستیم به این هدف دست پیدا کنیم و راندمان تولید را به مقدار قابل توجهی بالا ببریم.

همان‌طور که می‌دانید یک تغذیه مناسب باید دو شرط لازم جهت مذاب رسانی به قطعه را تأمین کند: (۱) شرط زمانی (۲) شرط حجمی. در این قطعه کافی است این دو شرط را برای استوانه توپر فوقانی حساب کنیم و محاسبات هر کدام از این دو شرط که عدد بزرگ‌تری را نشان داد، همان عدد را مبنای محاسبات تغذیه قرار دهیم.

محاسبات مربوط به شرط حجمی:

$$\varepsilon V_f = \alpha(V_c + V_f) \Rightarrow V_f = \frac{\alpha}{\varepsilon - \alpha} V_c = \frac{0.07}{0.6 - 0.07} \times 50.3 = 6.64 \text{ cm}^3$$

V_f : حجم تغذیه (برحسب سانتیمتر مکعب)

V_c : حج قطعه (حجم استوانه توپر با قطر و ارتفاع ۴ سانتی‌متر که ۵۰/۳ سانتیمتر مکعب به دست آمد)

α : درصد انقباض حجمی آلومینیوم که ۷ درصد می‌باشد

ε : راندمان تغذیه (راندمان تغذیه با استفاده از مواد حرارت‌زا ۶۰ درصد می‌باشد)

اگر $H_r = 1.5 D_r$ ارتفاع تغذیه و D_r قطر تغذیه) در نظر بگیریم آنگاه داریم:

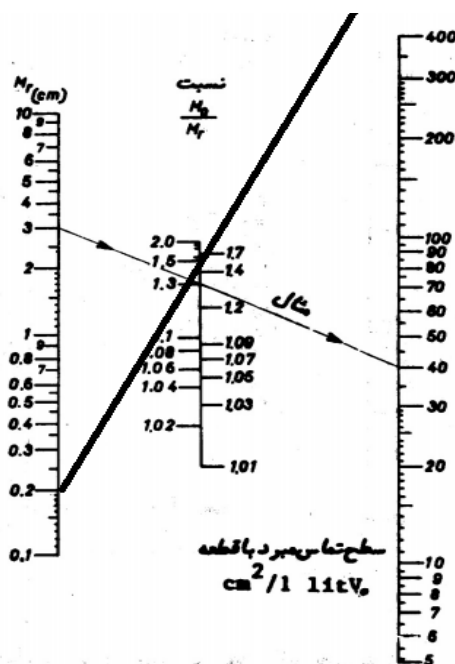
$$6.64 = \frac{D^2 \pi}{4} \times H = 6.64 = \frac{1.5 D^3}{4} \approx D_r = 2 \text{ cm}$$

$$H_r = 3 \text{ cm}$$

با استفاده از مواد حرارت‌زا انتقال حرارت از سطوح جانبی از بین می‌رود و اگر ابعاد به دست آمده از محاسبات شرط حجمی را در مورد تغذیه لحاظ کنیم مدول تغذیه برابر با ۳ خواهد شد. تغییر و کاهش تدریجی مدول تغذیه‌های معمولی در خلال انجماد قالب، در اثر ایجاد حفره انقباض و افزایش سطح سرد شونده تغذیه پدید می‌آید. این کاهش تدریجی مدول در خلال انجماد در تغذیه‌های گرم شونده با مواد حرارت‌زای جانبی به علت عدم انتقال حرارت از سطوح کناری، سطح حفره انقباض ایجاد شده صاف و ارتفاع آن به $\frac{2}{3}$ ارتفاع تغذیه خواهد رسید. لذا سطح سرد شونده تغذیه در پایان انجماد افزایش نمی‌یابد و تنها در اثر کم شدن حجم تغذیه طبق فرمول $M=V/A$ از مدول آن کاسته می‌شود [۴]. با این توضیحات می‌توان فهمید که مدول تغذیه در پایان مذاب رسانی به ۲ می‌رسد؛ بنابراین با توجه به اینکه مدول استوانه توپر برابر یک است؛ با استفاده از مواد حرارت‌زا شرط زمانی تأمین شده و محاسبات شرط حجمی

تغذیه‌ای با ابعاد کوچک و راندمان بالا به دست می‌دهد. راندمان با استفاده از مواد حرارت‌زا برای این قطعه، اگر حجم سیستم راهگامی را ۱۵ درصد حجم قطعه در نظر بگیریم ۸۰ درصد به دست می‌آید. با توجه به جدول ۱ ضخامت ماده حرارت‌زای جانبی برای تغذیه‌های با قطر کمتر از ۳ اینچ حدود ۱۰ میلی‌متر می‌باشد. با این روش قطر خارجی ماده حرارت‌زا با توجه به قطر تغذیه که ۲ سانتیمتر بود، ۴ سانتیمتر در نظر گرفته شد.

ماهیچه برشی معمولاً بین تغذیه و قطعه قرار می‌گیرد. بطوری که سطح اتصال آنها را کاهش داده و جداسازی تغذیه را از قطعه پس از ریخته‌گری با ضربه یا حداقل برشکاری میسر می‌سازد [۴]. قطر آن برابر با ۰/۴ قطر تغذیه و ارتفاع آن برابر با ۰/۱ قطر تغذیه در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین در این قطعه ماهیچه برشی برابر با ۸ میلی‌متر و ضخامت آن ۲ میلی‌متر محاسبه شد.



شکل ۱۰. تعیین مقدار مجموع سطح مبردهای خارجی با تماس مستقیم

جدول ۱. ضخامت ماده حرارت‌زای جانبی با توجه به قطر تغذیه

ضخامت ماده حرارت‌زای جانبی in	قطر داخلی تغذیه in
$\frac{1}{2}$	کمتر از ۳
$\frac{3}{4}$	۴ - ۶
۱	۷ - ۹
$1\frac{1}{4}$	۱۰ - ۱۲
$1\frac{1}{2}$	۱۳ - ۱۵
$1\frac{3}{4}$	۱۶ - ۱۸
۲	۱۹ - ۲۱
$2\frac{1}{4}$	۲۲ - ۲۴
$2\frac{1}{2}$	۲۵ - ۲۷
$2\frac{3}{4}$	۲۸ - ۳۰

۳- عملیات مدل‌سازی، قالب‌گیری و ماهیچه‌سازی (حداکثر ۲ صفحه به‌علاوه جداول و نمودارهای موردنیاز)

رسم فنی (نقشه مکانیکی)، فرم و اندازه قطعه مکانیکی را تضمین می‌کند و با رعایت اصول نقشه‌کشی و استانداردهای جهانی انجام می‌شود [۵]. کلیه علائم موردنیاز جهت محاسبات اضافات مجاز بر روی این نقشه آورده می‌شود. همان‌طور که می‌دانید اضافه‌تراش سطوح مختلف بر اساس میزان حساسیت سطح موردنظر و همچنین کاربرد قطعه مربوطه تعیین می‌شود. با توجه به اینکه در نقشه مکانیکی مورد سؤال مسابقات هیچ‌گونه علامت اضافه‌تراشی (Δ) دیده نمی‌شود بنابراین میزان اضافه‌تراش برای کلیه سطوح بر اساس جداول استاندارد محاسبه و اعمال شد. این مقدار مطابق با جداول استاندارد برای کلیه سطوح جانبی و داخلی و زیری ۱/۵ میلی‌متر و برای سطوح فوقانی به دلیل تجمع بیشتر اکسیدها و سرباره‌ها، ۲ میلی‌متر محاسبه شد. توجه کنید که از اعمال اضافه‌تراش برای ابعاد کوچک مدل خودداری شده است. این موضوع برای ضخامت میله کناری (بعد ۹ میلی‌متر) به دلیل حفظ هندسه مدل استثنا می‌باشد. شایان ذکر است که رسم مدل و محاسبات اعمالی بر روی آن بر اساس استاندارد ایزو دین ۱۵۱۱ آلمان به مقیاس ۱:۱ انجام شد.

با مراجعه به جداول استاندارد، درصد انقباض عملی آلیاژهای آلومینیوم بین ۰/۸ تا ۱/۵ است که با توجه به نوع آلیاژ، روش قالب‌گیری و ریخته‌گری و کوچکی و بزرگی قطعه درصد واقعی انتخاب می‌شود. در حالت تئوری فرض می‌شود که این مقدار برابر ۱/۲ درصد باشد. درصد اضافه‌انقباض هریک از ابعاد قطعه با استفاده از فرمول زیر محاسبه‌شده و در نقشه مدل‌سازی اعمال شد.

$$LM = \frac{LG \times 100}{100 - S}$$

اندازه مدل: LM

اندازه قطعه: LG

درصد انقباض: S

برای جلوگیری از خراب شدن قالب و یا به‌عبارتی دیگر به‌آسانی جدا شدن مدل از قالب و بالعکس، مدل‌ساز مجبور است مدل را برای قالب‌گیری شیب دهد. در اثر شیب دادن، ابعاد مدل کوچک و یا بزرگ می‌شود ابعاد قطعه ریختگی نیز نسبت به ابعاد نقشه مکانیکی کوچک‌تر و یا بزرگ‌تر می‌شود که آن را تلورانس یا شیب مجاز مدل می‌نامند. در این مدل قسمت‌های استوانه توخالی حلقوی شکل پایین قطعه و سه تیغه متصل به آن و همچنین استوانه توپر محل اتصال سه تیغه کناری باید شیب داشته باشند. همچنین برای تمام قسمت‌ها از شیب اضافی استفاده شده است. نکته قابل‌توجه دیگر، شیب استوانه توپر محل اتصال تیغه‌هاست. همان‌طور که در شکل ۶ ملاحظه کردید، مقداری از این استوانه در درجه دوم و مقداری از آن در درجه سوم قالب‌گیری شده است بنابراین باید شیب در نظر گرفته‌شده برای این دو قسمت مخالف هم و با توجه به قالب‌گیری آن انتخاب شود. جدول ۲ ابعاد مختلف قطعه را در صورت اعمال هر کدام از اضافات فوق‌نشان می‌دهد. شکل ۱۲ نمای جانبی و فوقانی مدل را با اعمال اضافات فوق‌نشان می‌دهد.

جدول ۲. ابعاد مختلف قطعه با اعمال اضافات مجاز

ابعاد اولیه نقشه مکانیکی	۷۵	۶۲	۱۳	۱۵	۹♣	۸	*۴۰	۷	**۴۰	۲۴	۷۰	۵۵
اعمال اضافه‌انقباض	۷۵/۹	۶۲/۷۴	۱۳/۱۵	۱۵/۱۸	۹/۱	۸/۰۹	۴۰/۴۸	۷/۰۸	۴۰/۴۸	۲۴/۲۹	۷۰/۸۴	۵۵/۶۶
اعمال اضافه‌تراش	۷۷/۴	۶۱/۲۴	-	-	۱۰/۶	-	۴۲/۴۸	-	۴۱/۹۸	-	۷۲/۸۴	۵۷/۱۶
اعمال شیب مجاز	۷۸/۳	۶۰/۳۴	-	-	-	-	-	-	۴۲/۸۸	-	-	۵۸/۰۶
اندازه نهایی	۷۸/۳	۶۰/۳۴	۱۳/۱۵	۱۵/۱۸	۱۰/۶	۸/۰۹	۴۲/۴۸		۴۲/۸۸	۲۴/۲۹	۷۲/۸۴	۵۸/۰۶

♣ ضخامت میله جانبی

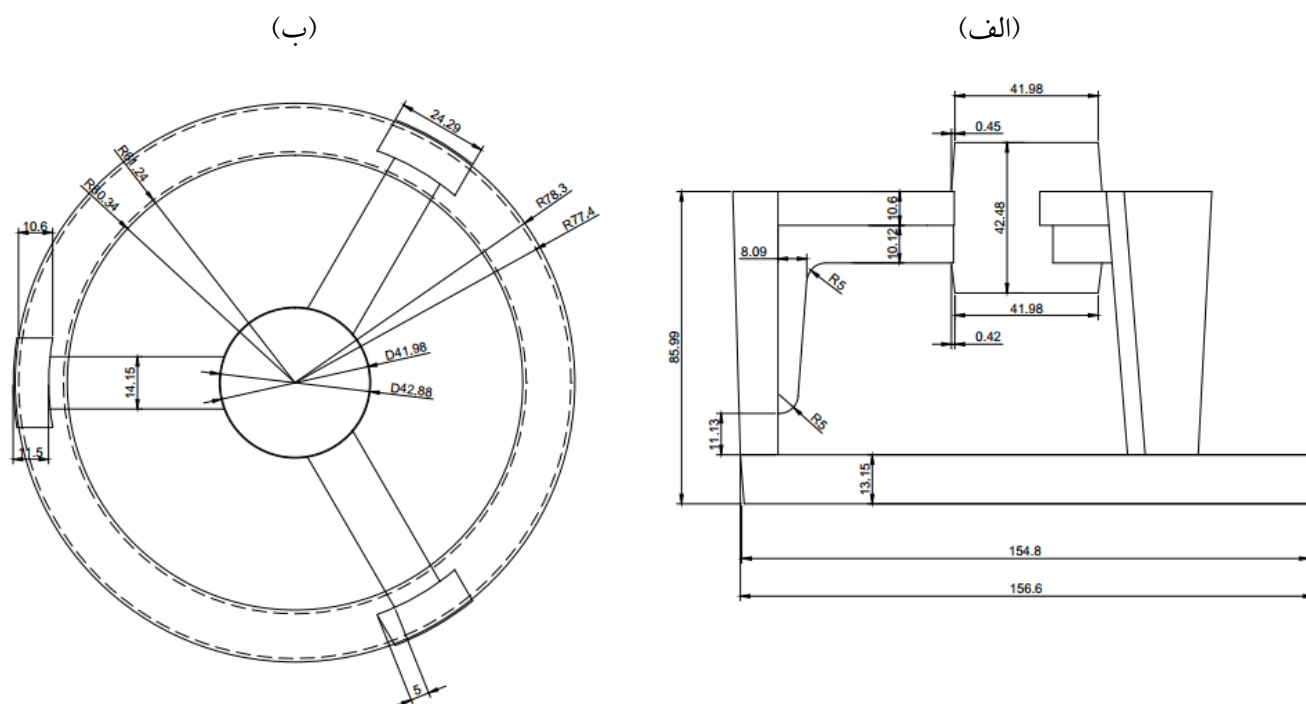
** قطر استوانه توپر

* ارتفاع استوانه توپر

در بعضی موارد در کارخانه‌های ریخته‌گری به دلیل صرفه‌جویی در تولید، از دو نوع ماسه برای قالب‌گیری استفاده می‌شود. روش کار به این شکل است که اطراف مدل را توسط ماسه مصنوعی با خواص بالا می‌پوشانند و بقیه قسمت‌های قالب را توسط ماسه‌های ارزان‌قیمت طبیعی پر می‌کنند اما در اینجا به دلیل کوچک بودن قطعه و حجم تولید پایین قطعه و همچنین به جهت ممانعت از مقاومت غیریکنواخت قالب در برابر انقباض قطعه که می‌تواند باعث ایجاد انقباض غیریکنواخت و در نتیجه اعوجاج در قطعه شود، از یک نوع ماسه سیلیسی مصنوعی جهت قالب‌گیری استفاده شد. میزان ۴ درصد وزنی چسب سیلیکات سدیم در این ماسه قالب‌گیری استفاده شد. جهت قابلیت از هم پاشیدگی قالب به میزان ۲ درصد خاک اره به ماسه افزوده شد.

مدل‌ها یکی از ابزارهای اصلی برای قالب‌گیری و ریخته‌گری هستند و کیفیت و دقت ابعادی قطعات ریخته‌گری به مقدار زیادی به ساختار و طرح و مواد مدل بستگی دارد. قیمت مدل و تجهیزات وابسته به آن (جعبه ماهیچه) روی قیمت قطعات ریخته شده منعکس می‌شود. استفاده از مدل گران‌قیمت هنگامی قابل توجیه اقتصادی است که نیاز به ریخته‌گری تعداد زیادی قطعه باشد. هنگامی که تعداد کمی قطعه ریخته‌گری نیاز باشد یک مدل ساده از چوب نرم تهیه می‌شود. چوب درخت کاج اگرچه ضعیف است اما بسیار سبک و پایدار است و کار کردن با آن راحت است و کیفیت سطحی مناسبی نیز دارد. این چوب برای تعداد کم قالب‌گیری (مثلاً تا زیر ۲۵) و مدل‌هایی با ابعاد ۵۰ سانتیمتر مناسب است؛ اما برای قالب‌گیری تعداد زیادی قطعه، مدل‌ها باید از فلز یا رزین‌ها و اپوکسی یا چوب سخت تهیه شوند. در این حالت بهتر است از مدل صفحه‌ای برای قالب‌گیری ماشینی استفاده شود [۱].

به منظور جلوگیری از ایجاد تمرکز حرارتی در گوشه‌های تیز قطعه و وقوع عیب ترک گرم، تمامی گوشه‌های مدل به اندازه ۲ میلی‌متر پخ زده شدند.



شکل ۱۲. رسم مدل‌سازی قطعه همراه با افزودن اضافات مجاز. (الف) نمای روبرو (ب) نمای جانبی

۴- شرایط عملیات ذوب و ریخته‌گری (حداکثر ۲ صفحه به‌علاوه جداول و نمودارهای مورد نیاز)

آلومینیم و آلیاژهای آن به دلیل نقطه ذوب کم و برخورداری از سیالیت نسبتاً خوب و همچنین گسترش خواص مکانیکی و فیزیکی در اثر آلیاژسازی و قبول پدیده‌های عملیات حرارتی و عملیات مکانیکی، در صنایع امروز از اهمیت زیادی برخوردارند و روز به روز موارد مصرف این آلیاژها توسعه می‌یابد. ذوب آن‌ها توسط کوره‌های مختلفی انجام می‌گیرد. از کوره‌های بوت‌های به دلیل عدم تماس مستقیم مذاب با محصولات احتراق، به‌طور گسترده‌ای در ذوب آلیاژهای آلومینیوم استفاده می‌شود. بوت‌ها در این کوره‌ها می‌تواند از جنس گرافیتی یا کربور سیلیس یا چدنی باشد. بوت‌های گرافیتی و کربور سیلیسی معمولاً به دلیل قیمت زیاد کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ زیرا علاوه بر افزایش نسبی قیمت، نسبت به بوت‌های چدنی، عمر مفید کمتری دارند. ولی به دلیل بی‌اثر بودن در مقابل مواد مذاب آلومینیومی در ذوب قطعاتی که کنترل کیفی مطلوب‌تری مورد نیاز است به کار می‌روند [۲].

در ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیم بسیاری از عناصر به‌صورت ناخالصی فلزی، ترکیبات بین فلزی، گازها و آخال‌ها از منابع متنوع و متعدد به مذاب افزوده می‌گردند که در صورت عدم کنترل دقیق بر آن‌ها و یا انجام عملیات خاص جهت حذف این مواد و یا تقلیل خواص مضر آنان، آلیاژ ریخته شده از کیفیت مطلوب برخوردار نخواهد بود. وجود مواد اکسیدی، حباب‌های گازی و درشت بودن شبکه ازجمله مسائلی است که در ذوب آلومینیم همواره مورد توجه و بررسی قرار می‌گیرد. گازهای محلول در مایع بعد از انجماد به دلیل تنش سطحی مذاب و عدم امکان خروج کامل به‌صورت حباب‌هایی با اندازه‌های مختلف در قطعه ریخته شده باقی می‌مانند که خواص مکانیکی و وزن مخصوص قطعه را شدیداً کاهش می‌دهند در مورد ذوب آلیاژهای آلومینیم، هیدروژن تنها گازی است که به‌صورت محلول در مایع و حباب در جامد ظاهر می‌گردد و از این‌رو عملیات گاز زدایی (هیدروژن زدایی) در ذوب آلومینیم و آلیاژهای آن از اهمیت خاص برخوردار است. میزان حلالیت هیدروژن در مذاب آلومینیم به درجه حرارت و فشار خارج (نسبت به فشار داخل) بستگی دارد و همین امر پایه و اساس گاز زدایی آلومینیم را تشکیل می‌دهد. لذا کنترل درجه حرارت برای اجتناب از جذب گاز که بایستی حداقل ممکن باشد اولین عاملی است که در جریان ذوب مورد توجه قرار می‌گیرد. بهترین روش مؤثر در هیدروژن زدایی از آلومینیم مذاب استفاده از کلر می‌باشد. بجای استفاده از گاز کلر، اغلب ترکیبات قابل تبخیر آن و بخصوص هگزاکلرواتان C_2Cl_6 استفاده می‌شود [۲]. مقدار مصرف قرص‌های دگازر یک دانه برای ۳۰ کیلوگرم مذاب می‌باشد.

در بسیاری موارد برای جلوگیری از اکسیداسیون مواد شارژ، آن‌ها را با فلاکس (Coveral Flux) پوشش می‌دهند. فلاکس‌ها موادی هستند که برای افزایش کیفیت مذاب و تقلیل مواد ترکیبی (غیرفلزی) بدون تغییر کلی در ترکیب آلیاژ و یا با اندکی تغییر بکار می‌روند. اغلب ترکیبات فلاکس‌ها دارای مواد گاززدا نیز می‌باشد و از این‌رو فلاکس‌ها برای منظوره‌های مختلف و یا گاز زدایی و خارج کردن مواد غیرفلزی و حفاظت مذاب، توأم با بکار می‌روند و در صنایع ذوب آلومینیم از اهمیت ویژه برخوردارند. نوعی از فلاکس‌ها قادرند با تشکیل فیلم ضخیم در سطح مذاب، از ورود گاز و اکسیژن به داخل آن جلوگیری نمایند؛ و به نام فلاکس‌های پوششی (coveral) بکار می‌روند. مشخصه عمومی این فلاکس‌ها، وزن مخصوص کم، نقطه ذوب پایین و نقطه تبخیر بالاتر از درجه حرارت مذاب می‌باشد؛ و از این‌رو به‌صورت مایع در سطح مذاب قرار می‌گیرند. این فلاکس‌ها با ترکیبات مختلف اغلب بر مبنای ترکیبات $CaCl_2$, FNH , ClK , $ClNa$ قرار دارند که معمولاً همراه با فلز جامد شارژ می‌گردند. به ازای هر ۵۰ کیلوگرم مذاب یک کیلوگرم کاورال استفاده می‌شود.

جوانه‌زها ذرات جامد معلق در مایع می‌باشند که به‌عنوان هسته‌های غیریکنواخت در انجماد عمل می‌کنند و با افزایش تعداد هسته‌ها، باعث کوچک و یکنواخت شدن شبکه‌های کریستالی آلیاژ جامد می‌گردند. مشخصات عمومی این عناصر، نقطه ذوب بالا، شباهت ساختمان کریستالی و نزدیکی ابعاد سلولی به ساختمان جامد آلومینیم و قابلیت چسبندگی (Wettability) می‌باشد. تیتانیم موجود در آلومینیم و همچنین زیرکینیم، به‌سهولت با B ترکیب شده و ترکیبات TiB_2 , ZrB_2 در ساختمان‌های منشوری پدید می‌آورند که تأثیر آن‌ها در ریز کردن دانه‌های کریستالی قابل ملاحظه است. در حالت کلی افزایش ۰/۱ درصد وزنی تیتانیم و ۰/۱ درصد وزنی بر، برای ریز کردن و یکنواخت کردن کامل شبکه کافی است. از سدیم و استرانسیم جهت عملیات ظریف کردن آلیاژهای آلومینیم-سیلیسیم استفاده می‌شود.

شرایط عملی ریختگری آلیاژ آلومینیم-سیلیسیم (A356)

ابتدا کوره را روشن کرده و مواد شارژ و بوت‌ه را در مجاورت آن قرار می‌دهیم و اجازه می‌دهیم به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه پیش گرم شوند این کار به‌منظور جلوگیری از ایجاد شوک حرارتی در بوت‌ه و افزایش عمر بوت‌ه بسیار موثر می‌باشد. سپس بوت‌ه حاوی شمش A356 را درون کوره قرار می‌دهیم. در اینجا ذکر این نکته لازم است که عملیاتی که شرح داده می‌شود بر اساس مواد موجود در دانشگاه صنعتی است؛ و مسلماً این عملیات ممکن است در کارخانه‌ها و کارگاه‌های دیگر متفاوت باشد. می‌توان همراه مواد شارژ، کاورال (فلاکس پوششی) را هم از همان ابتدا در درون بوت‌ه قرار داد. بهتر است در زمانی که کوره در حال ذوب مواد است عملیات قالب‌گیری انجام شود تا زمان کافی جهت خشک کردن قالب توسط حرارت وجود داشته باشد. بهتر است بین اتمام زمان خشک کردن قالب و ریختن مذاب در آن حداقل چند دقیقه زمان باشد این زمان کافی است تا بخار آب ناشی از خشک کردن قالب از محفظه قالب خارج شود. شعله کوره حتماً باید تحت شرایط خنثی باشد. (به هیچ عنوان نباید چند لحظه قبل از بارریزی قالب را خشک کرد زیرا این کار سبب معیوب شدن قطعه ریختگی در اثر گازهای درون محفظه قالب می‌شود.) پس از ذوب شدن مواد شارژ بهتر است عملیات گاز زدایی در درون کوره انجام شود. این کار سبب می‌شود تا یک فاصله‌ای بین خروج بوت‌ه از کوره و عملیات ذوب ریزی بیفتد و این فاصله زمانی می‌تواند جهت خروج کامل گازها و آخال‌های همراه آن‌ها (طبق رابطه استوک) از درون مذاب بسیار مفید باشد. قبل از بارریزی باید دمای مذاب کنترل شود با توجه به اینکه دمای لیکوئیدوس این آلیاژ ۶۱۵ درجه سانتی‌گراد است، ریختن مذاب در دمای ۶۵۰ تا ۶۶۰ درجه سانتی‌گراد مناسب است. از طرفی همان‌طور که در قسمت طراحی سیستم راهگاهی ذکر گردید استفاده از فیلتر در این طراحی ایجاب می‌کند که دمای بارریزی را کمی بالاتر از حالت معمول در نظر بگیریم؛ بنابراین دمای مناسب بارریزی برای این آلیاژ بین ۶۷۰ تا ۶۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. قبل از ریختن عملیات جوانه‌زایی با مواد جوانه‌زا انجام شده و اگر عملیات ظریف کردن نیاز باشد این عملیات انجام می‌شود. (عملیات ظریف کردن حتماً باید آخرین عملیاتی باشد که بر روی مذاب انجام می‌شود.) ما در این قطعه از انجام این عملیات و عملیات جوانه‌زایی به دلیل اینکه خواص مکانیکی خواسته شده در سوال مسابقات فقط مقاومت فشاری و سختی می‌باشد صرفه نظر کردیم. از طرفی عملیات جوانه‌زایی معمولاً بر روی قطعاتی انجام می‌شود که قرار است بعداً بر روی آن‌ها کار مکانیکی انجام شود.

۵- سادگی، انجام‌پذیری، ابتکار و خلاقیت (حداکثر ۲ صفحه)

همان‌طور که در قسمت‌های مختلف این گزارش ذکر گردید برای تولید این قطعه از ریزه‌کاری‌های زیادی استفاده شده است. تمام این موارد در جهت افزایش راندمان ریخته‌گری در کنار تولید قطعه‌ای با کیفیت و با سلامت بالا انجام شد. در ابتدا سعی شد که بهترین سطح جدایش انتخاب گردد. تقارن درجه ۳ این شکل سبب شد که اجازه مانور زیاد بر روی نحوه قالب‌گیری وجود نداشته باشد ولی انتخاب نوع سطح جدایش و دوتکه ساختن مدل، سهولت قالب‌گیری را بالا می‌برد. در انتخاب ابعاد درجه سعی شد تا حد امکان از کوچک‌ترین ابعاد درجه استفاده شود. به همین منظور با توجه به درجه‌های موجود در دانشگاه صنعتی، درجه با ابعاد $25 \times 25 \times 10$ سانتی‌متر انتخاب شد. این موضوع می‌تواند از جهت صرفه‌جویی در مواد قالب‌گیری بسیار حائز اهمیت باشد. از طرفی انتخاب نوع طراحی سیستم راهگاهی هم به این امر کمک کرد. همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه شد، نوع طراحی سیستم راهگاهی به نحوی است که از لزوم انتخاب درجه‌های بزرگ جلوگیری می‌کند.

قرار دادن سه مبرد به صورت متقارن در کف قطعه ابتکار دیگری بود که سبب می‌شود که قطعه به صورت کاملاً یکنواخت سرد شود و این موضوع همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه گردید سبب شد که تنش‌های حرارتی در قطعه به حداقل ممکن کاهش یابد. استفاده از مواد حرارت‌زا و جبران انقباض کل قطعه با یک تغذیه کوچک با حجم تقریبی ۵ درصد حجم کل قطعه ابتکار دیگری بود که انجام شد. مشخص نبودن نوع ماده حرارت‌زا و در نتیجه نداشتن خواص حرارتی آن باعث شد که شبیه‌سازی این قطعه مقداری با مشکل مواجه شود ولی این مورد توسط مقداری بزرگ گرفتن ابعاد تغذیه و فرض کردن نامرغوب‌ترین نوع مواد آگزوترم و استفاده از داده‌های آن سبب شد که بتوانیم تا این مشکل را تا حدودی حل کنیم؛ لیکن داشتن مشخصات دقیق مواد موجود در کارگاه قطعا می‌توانست کمک بسیار بزرگی در افزایش راندمان هرچه بیشتر ریختگی به ما بکند. همچنین استفاده از یک ماهیچه برشی با ابعاد کوچک توانست جداسازی قطعه از تغذیه را تسهیل کند. جسارت استفاده از تغذیه و گردن تغذیه‌ای با این ابعاد از نکات بسیار جالب از نظر طراحان این سیستم تغذیه‌گذاری بوده است.

طراحی سیستم راهگاهی به نحوی انجام شد که کلیه موارد احتمالی در نظر گرفته شود. در این راستا می‌توان به قرارگیری راهبار در درجه فوقانی اشاره کرد. این کار علاوه بر اینکه خواسته‌های ما را در جهت غیرفشاری بودن سیستم راهگاهی تامین کرد، توانست بسیاری از مشکلات ناشی از تمیزکاری قطعه بعد از ریخته‌گری آن و جداسازی سیستم راهگاهی از قطعه را تسهیل کند. قرار گرفتن راهبار در بالای سطح تیغه‌های کناری سبب می‌شود که سنگ‌زنی این قطعه و برش سیستم راهگاهی با مشکل مواجه نشود. همچنین اتصال راهبار به ضخیم‌ترین قسمت قطعه هم می‌تواند از نکات مثبت این نوع طراحی باشد. قرار گرفتن راهبار در نزدیکی تغذیه و در حقیقت ایجاد یک تغذیه گرم سبب شد که انجمادی جهت‌دار در قطعه بوجود آید.

هر جای قطعه احساس شد که امکان حبس هوا وجود دارد از کانال هواکش استفاده شده است. با استفاده از یک فیلتر در محل اتصال راهبار به راهبار توانستیم علاوه بر اینکه از ورود آخال‌ها به مذاب جلوگیری کنیم، از شدت تلاطم مذاب ورودی به محفظه قالب هم جلوگیری شد. این عمل تاثیر بسیار زیادی در تولید قطعه سالم و عاری از هرگونه مک و حفره داشت.

نکته‌ای که در اینجا لازم است به آن اشاره شود در مورد تغذیه است. همان‌طور که در قسمت طراحی سیستم تغذیه گذاری آورده شد، ارتفاع تغذیه ۳ سانتی‌متر به دست آمد. اگر این عدد را به $1/5$ سانتیمتر ارتفاع قطعه که در درجه بالایی قرار می‌گیرد اضافه کنیم عدد ۵ سانتیمتر به دست می‌آید که با توجه به ارتفاع ۱۰ سانتیمتری درجه رویی، تغذیه به صورت بسته می‌شود اما ما به جهت استفاده از تغذیه اتمسفری مجبور شدیم که روی مواد آگزوترم از یک قطعه استوانه‌ای به ارتفاع ۵ سانتیمتر و قطر ۴ سانتیمتر (مساوی با قطر خارجی مواد

اگزوترم) استفاده کنیم تا فضای مورد نظر تا سطح درجه سوم در درون قالب تعبیه شود. این سوراخ ۴ سانتی‌متری سبب می‌شود که هنگام بارریزی ما بتوانیم بر روی مذاب ورودی به قسمت تغذیه کاملاً دید داشته باشیم تا اینکه به محض رسیدن مذاب به بالاترین قسمت تغذیه بارریزی را قطع کنیم.

در پایان اشاره به این نکته ضروریست که روابط پیشنهادی در کتب و مراجع مختلف صرفاً جهت راهنمایی طراح است و هر جا نیاز باشد طراح می‌تواند اعداد فوق را بر اساس تجارب شخصی خود دستکاری نماید. این موضوع در طراحی این قطعه در چندین مورد توسط نویسنده به کار برده شده است.

۶- برآورد تقریبی هزینه تولید و توجیه اقتصادی طرح (حداکثر ۱ صفحه)

همان‌طور که در ابتدای گزارش گفته شد، یکی از نکات مهم در طراحی اولیه مدل، در نظر گرفتن صرفه اقتصادی در طرح می‌باشد. یک مهندس خوب کسی است که بتواند قطعه‌ای سالم با حداقل هزینه تولید کند. این مهم نیازمند برآورد دقیق هزینه‌های تولید قطعه می‌باشد. به همین دلیل ما نیز در این طرح با استعلام از فروشنده‌های مختلف مواد ریخته‌گری توانستیم هزینه‌های تولید این قطعه را برآورد کنیم.

تولید این قطعه نیاز به مقداری وسایل مصرفی دارد که هزینه‌های آن مستقیماً بر روی هزینه‌های تولید اثر می‌گذارد و بعضی از وسایل مورد مصرف جهت تولید این قطعه حالت غیر مصرفی دارد؛ که قیمت این وسایل در درازمدت بر روی قیمت محصولات تولیدی اثر می‌گذارد. از جمله وسایل مصرفی می‌توان به شمش A356 مورد استفاده جهت ذوب و تولید این قطعه اشاره کرد. از وسایل غیر مصرفی می‌توان به بوته اشاره کرد. یک بوته ممکن است در صورت استفاده صحیح از آن بتواند تا صدمبار و شاید بیشتر برای مذاب‌ریزی استفاده شود. به جهت برآورد قیمت تولید این قطعه، قیمت کلیه متریال و لوازمی که جهت تولید آن بکار برده شده است استعلام گردید که در ادامه جزئیات آن شرح داده خواهد شد.

وزن مجموع (قطعه، سیستم راهگامی و تغذیه) هر قطعه برابر ۷۵۰ گرم می‌باشد؛ بنابراین با ذوب شمش ۱ کیلوگرمی می‌توان یک قطعه تولید کرد؛ بنابراین ما محاسباتمان را برای مواد مصرفی بر اساس یک کیلوگرم مذاب انجام می‌دهیم

قیمت هر کیلوگرم شمش A356 ۱۰,۰۰۰ تومان استعلام شد. میزان مصرف جوانه‌زا برای تولید این ساختار بر حسب نوع ماده جوانه‌زا تا ۰/۳ درصد وزنی ذوب است؛ که برای یک کیلوگرم مذاب ۳ گرم است. قیمت یک کارتن ۸ کیلوگرمی جوانه‌زا ۱۲۰,۰۰۰ تومان استعلام شد؛ بنابراین قیمت جوانه‌زای مصرفی برای تولید این ساختار ۵۰ تومان شد. قیمت یک بسته ۸ کیلوگرمی قرص دگازر ۱۰۵,۰۰۰ تومان است. مقدار مصرف ماده گاززدا برای هر ۳۰ کیلوگرم مذاب ۱ قرص ۱۰۰ گرمی است بنابراین مقدار مصرف ماده گاز زدا برای یک کیلوگرم مذاب حدود ۳/۵ گرم است که قیمت آن ۵۰ تومان می‌باشد. قیمت ماسه سیلیسی مصنوعی کیلویی ۵۰۰ تومان است برای قالب‌گیری این قطعه ۴۰ کیلوگرم ماسه نیاز است که قیمت آن ۲۰ هزار تومان می‌شود. هر جعبه ۵ کیلویی چسب سیلیکات سدیم ۲۰,۰۰۰ تومان می‌شود. اگر برای این قطعه ۴ درصد وزنی چسب استفاده کنیم قیمت آن ۶۴۰۰ تومان می‌شود. هر کیسه ۲۰ کیلویی فلاکس پوششی ۳۳,۰۰۰ تومان است اگر برای این قطعه ۲۰ گرم فلاکس استفاده کنیم قیمت آن ۳۰ تومان می‌شود. هر دانه فیلتر ۱۵۰۰ تومان است؛ و هر بسته اگزوترم جهت یک تغذیه با قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر ۸۰۰ تومان می‌شود؛ که برای تغذیه ما حدود ۱۰۰ تومان می‌شود. همچنین برای تولید یک کیلوگرم مذاب A356 حدود ۲۰ مترمکعب گاز مصرف می‌شود که به‌قرار مترمکعبی ۱۵۰ تومان، قیمت گاز مصرفی ۳۰۰۰ تومان می‌شود؛ بنابراین جمع کل قیمت مواد مصرفی حدود ۴۱,۱۳۰ تومان می‌شود.

قیمت مواد غیرمصرفی شامل یک بوته ۷۰,۰۰۰ تومانی است؛ و سه درجه قالب‌گیری کیلویی ۹۰۰۰ تومان است؛ که قیمت آن ۲۰,۰۰۰ تومان می‌شود طبق میانگین آمار جهانی ۹۰ درصد قیمت تمام‌شده مدل را کار انجام‌شده روی مدل و فقط ۱۰ درصد آن را هزینه چوب تشکیل می‌دهد. چنانکه مدل‌ساز از چوب نامناسب و ارزان استفاده کند، هزینه تمام‌شده مدل ممکن است افزایش یابد زیرا باید زمان و کار بیشتری صرف حذف عیوب چوب نماید بنابراین مدل‌سازان سعی می‌کنند از بهترین چوب استفاده کنند [۵]. قیمت چوب مصرفی برای تولید این قطعه ۵,۰۰۰ تومان شد. ساخت مدل توسط خود اعضای گروه انجام می‌شود؛ که نهایتاً قیمت مواد غیرمصرفی ۹۵,۰۰۰ تومان می‌شود.

۷- توجه زیست‌محیطی طرح و فرایند تولید (حداکثر ۱ صفحه)

به‌منظور بسط و گسترش و ترویج روحیه احساس مسئولیت در مورد حفظ منابع طبیعی و انرژی و همچنین کاهش آلودگی‌های محیط‌زیست، صنایع ریخته‌گری موظف به حفظ سلامتی انسان و محیط‌زیست به‌صورت توأمان می‌باشند. در حقیقت تا به امروز سرمایه‌گذاری این صنایع در محیط‌زیست باعث کاهش ۹۰ درصدی آلاینده‌های آب‌وهوا نسبت به دهه ۱۹۸۰ شده است. صنایع ازجمله مهم‌ترین آلاینده‌ها می‌باشند و یکی از آلوده‌کننده‌ترین آن‌ها صنعت ریخته‌گری می‌باشد؛ بنابراین باید از نظر زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار گیرد.

برای تولید یک قطعه صنعتی از طریق ریخته‌گری باید آن را ذوب کرد. ذوب کردن یک عنصر یا آلیاژ از طریق کوره‌های مختلفی می‌تواند انجام شود؛ که سوخت و نحوه کارکرد این کوره‌ها بر اساس نوع شارژ کوره انتخاب می‌شود. در پروژه حاضر آلیاژ مورد نظر جهت ذوب، نوعی از آلیاژ آلومینیوم-سیلیسیم با نام تجاری A356 است. ذوب آلومینیوم و آلیاژهای آن عمدتاً توسط کوره‌های زمینی با سوخت گازی یا گازویلی انجام می‌شود. از طرف دیگر تولید قطعه‌ای با کیفیت بالا و خواص مطلوب نیازمند انجام یک سری عملیات کیفی بر روی مذاب است؛ که این عملیات عمدتاً توسط مواد با ترکیبات شیمیایی مختلف انجام می‌شود. همان‌طور که می‌بینید تولید آلودگی‌های زیست‌محیطی در صنعت ریخته‌گری اجتناب‌ناپذیر است؛ لیکن دانشمندان توانسته‌اند با ارائه راهکارهای جایگزین و یا به کار بردن فیلترهای مناسب، از میزان این آلاینده‌ها بکاهند. آلاینده‌های مهم ناشی از فرایند تولید این آلیاژ، محصولات ناشی از احتراق سوخت گاز کوره است؛ که با توجه به میزان کم آن، اثرات محسوسی ندارد. دیگر منشأ آلاینده در تولید این قطعه و شاید مهم‌ترین آن، گاز کلر ناشی از ترکیبات کلردار مورد استفاده جهت گاز زدایی می‌باشد. گاز کلر گازی سمی و خطرناک است و اثرات مخربی برای محیط‌زیست دارد. به همین دلیل در واحدهای آموزشی و کارگاه‌های کوچک که از ترکیبات کلردار جهت گاز زدایی استفاده می‌کنند توصیه می‌شود که این عملیات در زمانی انجام شود که مذاب درون کوره قرار دارد. (قبل از خارج کردن بوته از کوره جهت ذوب ریزی) و حتماً بالای سر کوره هود وجود داشته باشد؛ و هیچ‌کس در این زمان نباید در نزدیک کوره باشد. لیکن در کارخانه‌های بزرگ به‌منظور حذف اثرات مخرب گاز کلر، از گازهای بی‌اثر مانند گاز آرگون جهت گاز زدایی استفاده می‌شود. سایر مواد مصرفی جهت تولید این قطعه مانند مواد جوانه‌زا و فیلتر دارای اثرات آلاینده‌گی قابل توجهی نیستند. از طرفی مقادیر استفاده آن‌ها در حد ناچیزی می‌باشد. استفاده از ماسه سیلیسی و چسب سیلیکات سدیم و درصد بازیابی کم آن‌ها پس از ریخته‌گری از موارد دیگر آلاینده‌های محیط‌زیست است. از طرفی خود سیلیس عنصری خطرناک و سرطان‌زا محسوب می‌شود. هرچند استفاده محدود از این مواد و حجم پایین تولید، کاربرد این مواد را جهت تولید این قطعه اجتناب‌ناپذیر و موجه می‌سازد.

مراجع

- [۱] یوسفی ر.، خدایی م.، فرایندهای ساخت مدل، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی شهر مجلسی، چاپ اول، ۱۳۸۹.
- [۲] حجازی ج.، ریخته‌گری فلزات غیرآهنی، انتشارات آزاده، چاپ ششم، ۱۳۸۳.
- [۳] ابوترابی م.ع.، کزازی غ.، مصلح ب.، نگرشی نوین بر طراحی سیستمهای راهگاهی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ اول، ۱۳۷۶.
- [۴] پرورش ر.، تغذیه گذاری در ریخته‌گری قطعات فولادی، چاپ دوم، ۱۳۸۴.
- [۵] سلیمی م.، رسم مدل و قالب، چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ویرایش دوم، ۱۳۹۳.