



چهارمین دوره مسابقات سراسری ریخته‌گری دانشجویان کشور دانشگاه صنعتی اصفهان

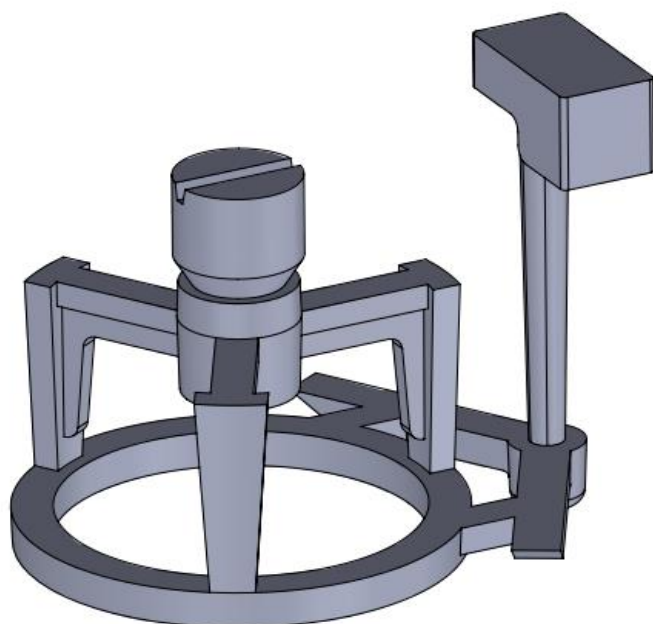
گزارش مرحله مقدماتی چهارمین دوره مسابقات سراسری ریخته‌گری دانشجویان کشور

سوال ریخته‌گری	
نام تیم شرکت کننده	<i>Spadan casting</i>
نام دانشگاه	صنعتی اصفهان
نام سرپرست تیم	مسعود فتحیان
شماره تلفن همراه	0913 114 64 45
پست الکترونیک	m.fathian@ ma.iut.ac.ir

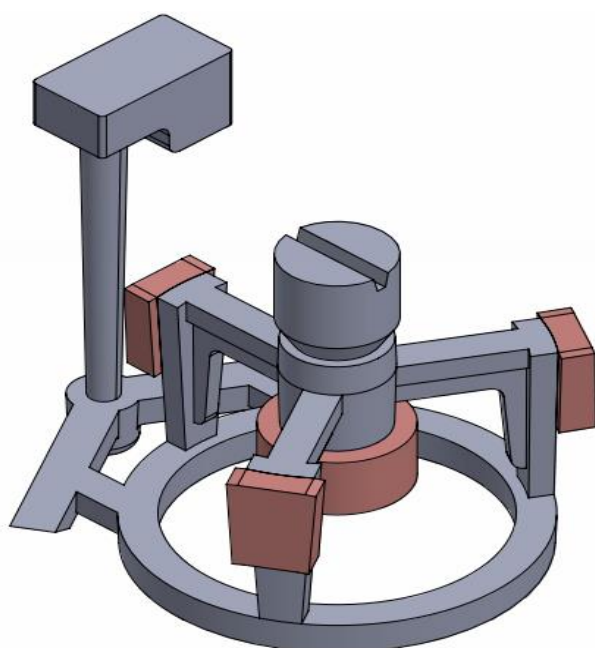
لطفا در این قسمت چیزی ننویسید.	
کد گروه	2015

۱- خلاصه طرح

دانش طراحی جهت انطباق خواص مواد با نیازها بوجود آمده، و امروزه بایستی با آگاهی از شناخت مواد و قابلیت‌های آن‌ها و همچنین الزامات استفاده از آنها اقدام به طراحی نمود. با توجه به این شرایط در هر یک از بخش‌های بعدی طرح پیشنهادی به طور کامل ارائه شده است و در این بخش خلاصه‌ای از گزارش ارائه شده است. شکل ۱-۱ تا ۵-۱ به ترتیب طرح سه بعدی قطعه پس از ریخته‌گری، نمای قطعه به همراه مبردهای خارجی، نمایی از قالبگیری انجام شده، نمایش درصد مک‌های انقباضی قطعه توسط نرم افزار شبیه‌ساز ریخته‌گری و نحوه سرد شدن قطعه ریختگی در طرح پیشنهادی را نشان می‌دهد.

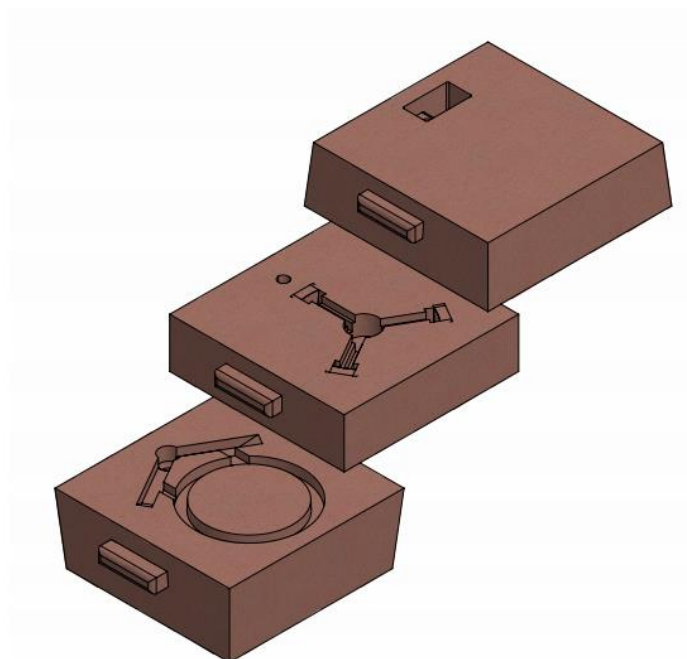


شکل ۱-۱. نمایی از قطعه پس از ریخته‌گری



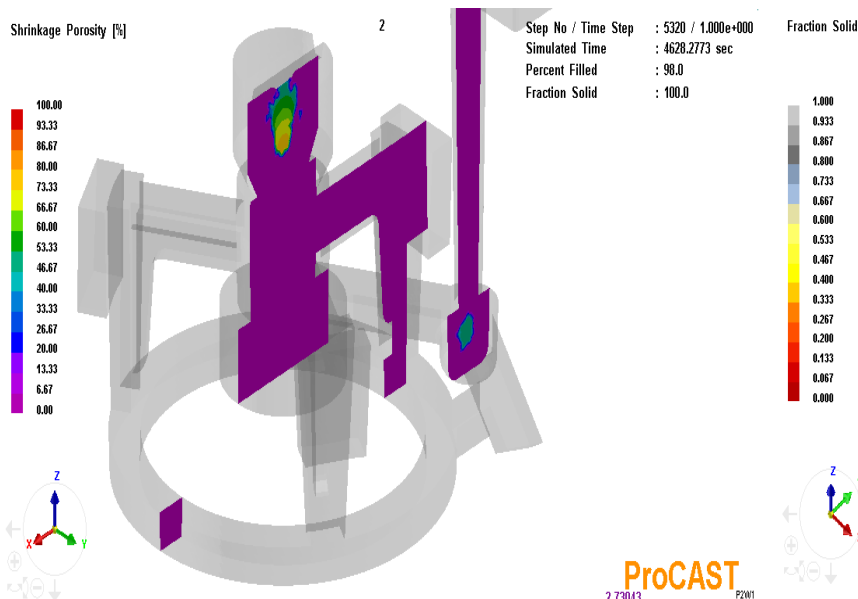
شکل ۱-۲. نمایی از قطعه به همراه مبردهای خارجی.

مشخصات قطعه ریختگی	
جنس قطعه	آلیاژ A356
چگالی	2.685 gr/cm ³
میزان انقباض مدل‌سازی	1.6-2%
نرم افزار نقشه کشی	CatiaV5, Solidwork 2015
نرم افزار شبیه‌ساز	Procast2013, Visual.. 9.6
جنس مدل	آلومینیوم
جنس مدل سیستم راهگامی	چوبی
جنس مدل تغذیه	اسفنجی
جنس قالب	ماسه CO ₂
مواد افزودنی ماسه ماهیچه	(Dexil 60)
پوشش قالب	گرافیت
جنس مبرد	مس
تعداد مبرد	4
تعداد درجه قالبگیری	ترجیحا 3
ابعاد درجه	25*25*10
سیستم راهگامی غیر فشاری	1:3:3
ارتفاع راهگاه بارریز	15 cm
سطح مقطع تنگه (A _c)	1.178 cm ²
زمان بارریز	3.3 sec
نرخ میانگین پر شدن	0.25 kg/s
نوع تغذیه	کور (تحت فشار)
حوضچه بارریز	مکعبی زانویی
راهگاه بارریز	استوانه‌ای مخروطی
حوضچه پای راهگاه	استوانه‌ای شیب دار
تعداد راهگاه اصلی	2
تعداد راهگاه فرعی	2

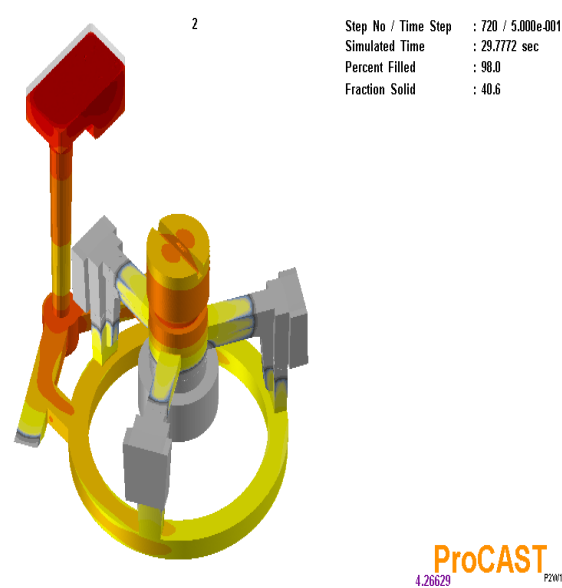


شکل ۱-۳. نمایی از قالبگیری انجام شده

2	تعداد آشغالگیر گوه‌ای
الکتریکی	نوع کوره
20*20*40	ابعاد کوره
گرافیتی	نوع بوته
شمش آلیاژ-کاورال	شارژر بوته
گاز آرگون	گاززدایی
قرص (Nucleant 11M)	بهسازی به همراه جوانه‌زایی
730 °C	دمای بارریزی
60%	راندمان ریختگی



شکل ۱-۴. عدم حضور مک‌های انقباضی در قطعه شبیه‌سازی شده.



شکل ۱-۵. نحوه سرد شدن قطعه شبیه‌سازی شده.

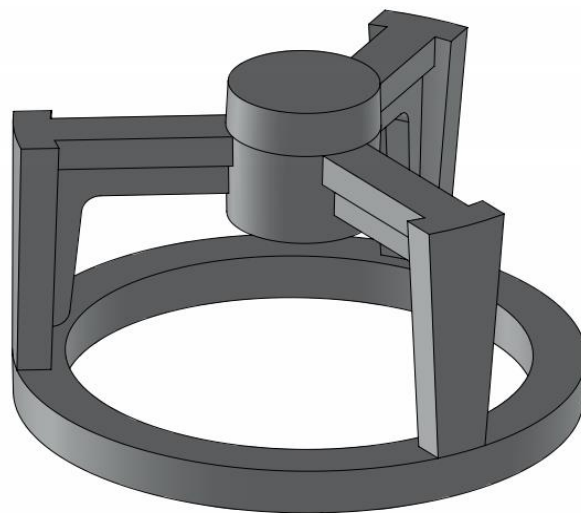
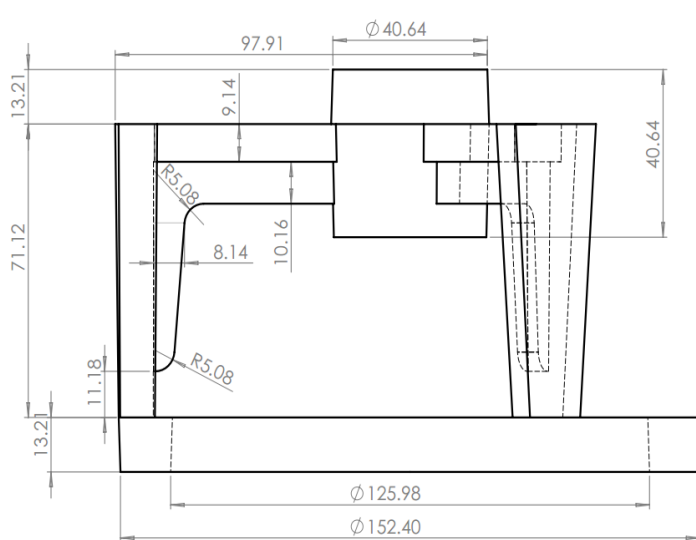
۲- جزئیات طراحی اجزاء مدل و قالب

طراحی و اصول اولیه مدل:

انقباض فاز جامد: کلیه فلزات و آلیاژها در اثر ذوب شدن منبسط و در اثر سرد شدن منقبض می‌شوند، در مدل‌سازی مسئله سرد شدن مطرح می‌باشد، مقدار کاهش حجمی هر فلز متفاوت می‌باشد و به طور کلی به فاز مایع، فاز مایع و جامد، فاز جامد تقسیم می‌گردد، در بخش انقباض فاز جامد چون پایان انجماد کامل یک قطعه می‌باشد، یعنی کاهش درجه حرارت از نقطه ذوب فلز تا دمای محیط است، باعث کوچک شدن ابعاد قطعه ریختگی می‌گردد که می‌بایستی در طراحی مدل‌سازی و قالبگیری مورد بررسی جدی قرار گیرد [۱].

با استناد و متن استاندارد ASTM A618 میزان انقباض فاز جامد برای آلیاژ آلومینیوم A356 به مقدار ۲-۱/۶ درصد و یا ۱۳ میلی‌متر بر متر می‌باشد که این میزان بر روی تمامی بخش‌های مدل اعمال گردید. (جدول ۲-۱) موجود در پیوست.

شیب مدل: وقتی سطوح خارجی مدل زاویه‌ای قائم با سطح جدایش داشته باشند در کنار نیروی چسبندگی بین ذرات مدل و قالب نیروی اصطکاک بین آن دو نیز بوجود می‌آید. نیروی مقاوم در جدایش بین مدل و ماده قالب‌گیری باعث در هم ریختن قالب می‌شود. برای رفع این اشکال می‌توان سطوح خارجی را نسبت به راستای خروج مدل به طور مایل طراحی کرد تا از خرابی و آسیب دیدن قالب جلوگیری کند. شیب مدل تابع ارتفاع مدل، صاف بودن سطح مدل، دقت قطعات ریختگی (به طوری که حتی می‌توان با مشورت سفارش دهنده از ابعاد قطعه کاسته شود)، کیفیت سطح مدل و امکان چسبندگی ماده قالبگیری، انتخاب فرایند قالبگیری و جدا شدن مدل از قالب می‌باشد [۱]. لذا با توجه به جدول ۲-۲ که از استاندارد Din 1511 برگرفته شده است میزان این شیب تعیین گردید. شکل ۲-۱ نقشه‌ای از مدل قطعه ریختگی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱. نماهای مختلف از مدل اولیه

تحلیل و بررسی نتایج شبیه‌سازی:

طرح اول: یکی از عوامل لازم در تهیه قطعات ریختگی سالم آگاهی از چگونگی رفتار مذاب از هنگام ورود به داخل قالب تا مرحله خاتمه انجماد آن است. حداکثر سرعت بحرانی مذاب آلیاژهای آلومینیوم باید ۰/۵ متر بر ثانیه باشد به طوریکه ارتفاع سقوط مذاب نباید از ۱۲/۵ میلی‌متر تجاوز کند، اهمیت میزان سرعت بحرانی مذاب در قالب به صورتیست که اگر میزان این سرعت در آلیاژهای آلومینیوم بیش از حد شود، استحکام قطعات ریختگی تا ۹۰ درصد کاهش پیدا می‌کند [۲]. با توجه به تحقیقات به عمل آمده علاوه بر روش ریخته‌گری کج شونده (Tilt Casting)، ریخته‌گری رو به بالا (بر خلاف جهت گرانش) تنها این دو مورد قابلیت تولید قطعه تقریباً بدون عیب را بوجود می‌آورند [۲]. علاوه بر این در صورت سقوط مذاب خطر حبس اکسیدهای سطحی و متعاقباً بوجود آمدن ترک و منفذها به شدت زیاد خواهد شد. پس در طرح اولیه و طرح‌های بعدی سعی شده تا مذاب از پایین‌ترین قسمت وارد محفظه قالب گردد. در طرح اول سیستم راهگامی به صورت غیرفشاری با نسبت ۱:۲:۲ شامل دو کانال اصلی و دو کانال فرعی به صورت افقی بهینه شده نسبت به حالت چرخشی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین دمای بارریزی ۷۲۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب شد.

در فرایند طراحی یک قطعه با استفاد از شبیه‌سازی، اولین گام شبیه‌سازی بررسی شرایط انجماد قطعه با در نظر گرفتن طرح اولیه می‌باشد. این عمل به شناسایی درصد مک‌های انقباضی، مناطق گرم و حساس و نحوه سرد شدن قطعه کمک می‌کند، تا بتوان در تعیین جهت دار کردن انجماد و با تعیین محل تغذیه‌گذاری و یا مبرد گذاری از آن استفاده کرد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی طرح اولیه در شکل‌های ۲-۲ تا ۵-۲ موجود در پیوست نشان داده شده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی مک‌های انقباضی در وسط استوانه به حجم نشان داده شده به حدود ۶۶ درصد می‌رسد، و این میزان برای گوشه‌های بازویی و پایین بازویی‌ها با حجم کمتری به حدود ۴۰ درصد رسیده است. همچنین نتایج کسر انجماد و زمان انجماد گویای این مطلب است که انجماد در این سه قسمت ذکر شده جهت دار نیست به طوری که زمان انجماد بین فاصله گوشه بازویی تا قسمت استوانه کمتر است و همچنین همین شرایط برای قسمت فاصله بین گوشه بازویی تا پایین بازویی وجود دارد. با این شرایط مناطق استوانه، گوشه و پایین بازوی دیرتر منجمد گردیده و جزء مناطق گرم محسوب می‌شوند و با توجه به عدم مذاب رسانی در این مناطق مک‌های انقباضی حاصل می‌گردد.

طرح دوم:

با روشن شدن شرایط انجمادی، در طرح دوم استفاده از یک مبرد مسی با در نظر گرفتن برد مبرد و همچنین یک ضریب اطمینان به قطر ۵۶ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵ میلی‌متر در پایین استوانه بدلیل جهت دار کردن انجماد و سوق دادن مک‌های انقباضی به محل مذاب رسانی استفاده گردید. شکل‌های ۲-۶ تا ۹-۲ نتایج حاصل از شبیه‌سازی طرح دوم را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، زمان انجماد استوانه کاهش یافته به طوری که مقداری از مک انقباضی این قسمت به طرف بازوها کشیده شده و قسمتی دیگر در بالای استوانه قرار گرفته است. این شرایط بیان گوی این موضوع است که مبرد در کف استوانه صرفاً مک‌ها را به بازویی‌ها منتقل کرده است. از طرفی همانطور که در شکل ۲-۹ مشخص است زمان انجماد قسمت بازویی‌ها بیشتر از قسمت استوانه‌ای است که در نتیجه مک‌ها و مناطق گرم در این مکان بیشتر تمرکز دارند. با این شرایط بدلیل تمرکز حرارتی احتمال پارگی گرم در مکان قسمت ۹۰ درجه بازویی‌ها نیز بسیار زیاد است. در ادامه جهت اطمینان از شرایط پیش آمده، از یک مبرد بزرگتر با قطر ۳۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۵ میلی‌متر استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی در شکل‌های ۲-۱۰ و ۱۱-۲ بیان گوی این موضوع است که با ابعاد مبرد بزرگتر تاثیر قابل توجهی رو نتایج نخواهیم داشت، صرفاً تا حدود زمان انجماد در قسمت‌های نرسیده به مرکز بازویی کاهش یافته است. ولی با این وجود مک‌ها انقباضی و مکان‌های گرم در بازوها و قسمت استوانه‌ای شکل، قابل ملاحظه است.

طرح سوم:

روشن است که مکان استوانه‌ای شکل با توجه به نتایج قبلی حاوی مک انقباضی است و فقط این مشکل با تغذیه برطرف خواهد شد. در طی شبیه سازی صورت گرفته یک تغذیه با ابعاد محاسبه شده برای قطعه در نظر گرفته شد. مدول قسمت استوانه‌ای حدود 0.738 سانتی‌متر می‌باشد. در نتیجه تغذیه با مدول 0.88 سانتی‌متر و با قطر $4/5$ و همچنین با ارتفاع $6/3$ سانتی‌متر تا سطح روباز قالب در نظر گرفته شد (انجام محاسبات در قسمت‌های بعدی صورت گرفته است). نتایج شبیه سازی در شکل‌های ۲-۱۲ و ۲-۱۳ نشان می‌دهد که با وجود تغذیه بزرگ‌تر، در گوشه‌های بازویی هنوز مک انقباضی وجود دارد، و برد تغذیه جوابگو نیست به طوریکه مک انقباضی به طرف تغذیه جهت دار نخواهد شد. از طرفی اندازه بیش از حد تغذیه نیز به صرفه نخواهد بود و احتمال تشکیل این عیوب باز پیش بینی می‌شود. **بهینه کردن اندازه تغذیه:** در ادامه با استفاده از یک مبرد در کف استوانه با همان ابعاد اولیه و یک تغذیه بزرگ روی قسمت استوانه برای رسیدن به یک شرایط بهینه از نظر جهت دار شدن انجماد، قطر تغذیه و شرایط مک‌های انقباضی در گوشه‌ها تلاشی صورت گرفت. نتایج شبیه سازی در شکل‌های ۲-۱۴ و ۲-۱۵ آورده شده است. با توجه به نتایج، تغییر چندانی در مک‌های انقباضی در گوشه‌ها ایجاد نشد و فقط مک انقباضی در قسمت بالای تغذیه کاهش یافت. با مقایسه میزان مک انقباضی دو تغذیه، اندازه بهینه تغذیه بدست آمد (شکل ۲-۱۶ و شکل ۲-۱۷). همچنین در این تغذیه کور در قسمت بالای تغذیه می‌توان شیاری تعبیه کرد که با ایجاد نقطه‌ای داغ، تغذیه را به اتمسفر مرتبط نموده و در نتیجه فشار خالص در تغذیه بیشتر از قطعه گردد و در نتیجه عملکرد تغذیه بهبود یابد.

طرح چهارم:

با توجه به اینکه استفاده از این تغذیه کوچکتر مستلزم استفاده از مبرد است و انتخاب این طرح علاوه بر افزایش راندمان ریختگی و افزایش خواص مکانیکی که تاثیر بالقوه‌ای بر استحکام فشاری دارد، می‌تواند حداکثر توان خود را در جهت دار کردن انجماد به سمت بازوها اعمال کند و سپس مک‌های انقباضی موجود در گوشه‌ها را می‌توان یا با تغذیه رسانی توسط اعمال سیستم راهگاهی به قسمت پایین بازوها و یا استفاده از مبرد در جهت دار کردن آنها به سمت پایین و سیستم راهگاهی سوق داد.

در این طرح از روش اول یعنی اعمال سیستم راهگاهی بزرگتر با نسبت $1:4:4$ به دو بازو صورت گرفت، که البته در این حالت باید از سیستم راهگاهی چرخشی استفاده می‌شد. علاوه بر این موضوع طول حرکت مذاب طولانی می‌شد به طوریکه با اعمال دمای بارریزی 720 درجه سانتی‌گراد همانند طرح‌های قبلی، عملیات شبیه‌سازی متوقف گردید و این ناشی از این بود که ذوب به دمای نقطه لیکوئیدوس خود رسیده است. با این شرایط دمای 740 درجه سانتی‌گراد برای این طرح استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی در شکل ۲-۱۸ و ۲-۱۹ نشان می‌دهد که هنوز مک‌های انقباضی در گوشه‌ها وجود دارد. به خوبی در شکل ۲-۱۹ مشخص است که در قسمتی از طول بازویی که ضخامت کم شده انجماد سریعتر رخ می‌دهد و مذاب رسانی به قسمت بالاتر محدود می‌شود. شاید با استفاده از پوشش Diecoat در این محل به ضخامت مناسب ۲ تا ۳ لایه بتوان این منطقه را عایق کرد. (نرم افزار شبیه ساز قادر به پوشش دادن یک قسمت از قالب نبود و صرفاً تمامی فصل مشترک قالب را می‌توانست پوشش دهد، در نتیجه انجام شبیه سازی این مورد انجام نمی‌پذیرفت). همچنین با این وجود مک به دام افتاده در پایین بازو نشان می‌دهد، سیستم راهباره نیاز به مدول بالاتر دارد.

طرح پنجم:

در این طرح همانطور که گفته شد از مبردی با ابعاد بدست آمده در قسمت بالای بازوها استفاده شد. تا انجماد را به سمت پایین و به طرف سیستم راهگاهی بکشاند. شکل‌های ۲-۲۰ و ۲-۲۱ نتایج شبیه سازی را نشان می‌دهد. طبق نتایج بدست آمده انجماد جهت داری در قطعه در قسمت بازوها صورت می‌گیرد با این حال هنوز زمان انجماد پایین بازو بالاست و تشکیل مک در این قسمت مشاهده می‌شود. از طرفی استفاده از مبرد در قسمت بالای بازو که قسمت تغییر جهت مذاب است و همچنین این قسمت، ضخامت نازک ۵

میلی‌متری را دارا می‌باشد، و از طرفی مکانی است که عبور گازها باید از ماسه صورت گیرد، مناسب نمی‌باشد. با توجه به شکل ۲-۲۱ مکان‌های روی بازویی (مکان‌های نارنجی رنگ) دیر از مذاب پر خواهند شد و در صورت استفاده از مبرد احتمال نیامد بسیار زیاد است. پس بهتر است مبرد به مکانی دیگر منتقل شود.

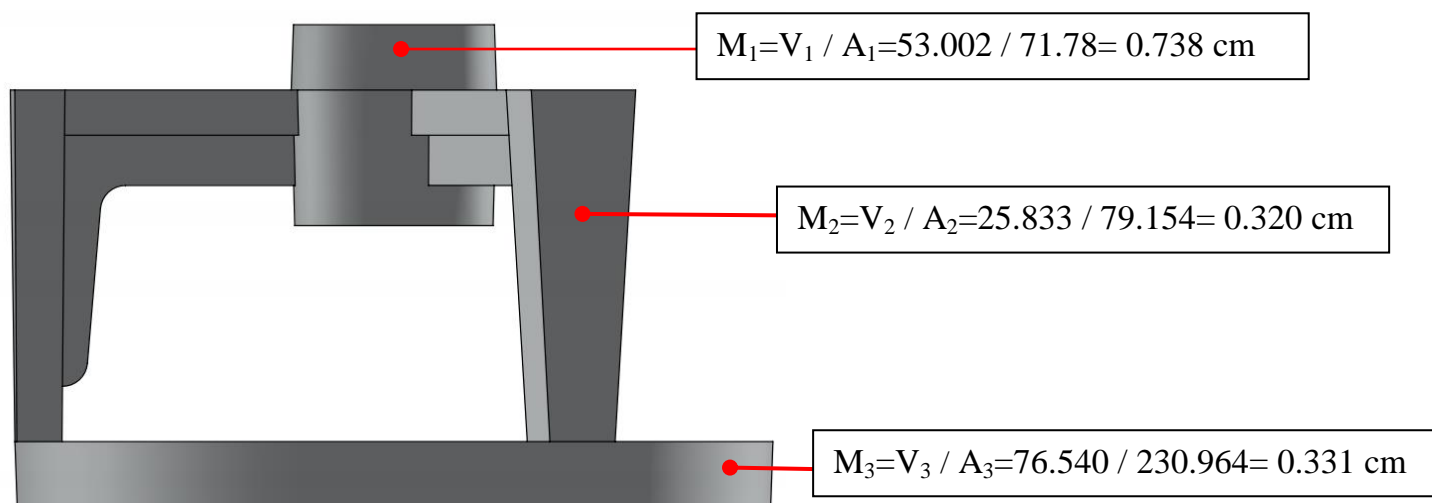
طرح نهایی (انتخابی):

در ادامه سه مبرد با ضخامت و طولی موثر حاصل از شبیه‌سازی، در کنار طول بازوها قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی در شکل‌های ۲-۲۲ تا ۲-۲۷ نشان داده شده است. ایجاد یک انجماد جهت دار و عاری از مک‌های انقباضی به سمت سیستم راهگاهی از جمله ویژگی‌های این طرح است. برای اطمینان از جهت دار شدن انجماد به سمت سیستم راهگاهی و تغذیه رسانی مناسب توسط سیستم راهگاهی و همچنین حفظ سرعت مذاب، نسبت سیستم راهگاهی از سیستم ۱:۲:۲ به سیستم ۱:۳:۳ تبدیل گردید. با توجه به شکل ۲-۲۵ اختلاف مدول در قسمت‌های مختلف قطعه به حداقل ممکن رسیده است، به طوریکه زمان انجماد در قسمت‌های ضخیم به طور یکنواخت پیش می‌رود، که همچنین با توجه به این شرایط طبق شکل ۲-۲۷ اختلاف شدت‌های پارگی گرم در بازوها و محل‌های اتصالات به حداقل ممکن رسیده است.

محاسبات مربوط به سیستم تغذیه گذاری و سیستم راهگاهی:

سیستم تغذیه گذاری

یکی از متداول‌ترین روش‌های محاسبه تغذیه روش مدول براساس رابطه چرنیف می‌باشد [۳ و ۴]. در ابتدا مدول قسمت‌های مختلف قطعه بر حسب سانتی‌متر شامل قسمت استوانه‌ای، بازوها و رینگ کف به طور کامل بدست آمد. (تمامی محاسبات حجم و سطح توسط نرم افزارهای CAD صورت گرفت).



با توجه به مدول، تحلیل و نتایج شبیه‌سازی تغذیه مورد نیاز برای این قطعه، برای قسمت استوانه‌ای شکل در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن معیار انتقال حرارت خواهیم داشت [۳ و ۴]:

$$M_c : M_n : M_r = 1 : 1.1 : 1.2$$

که به ترتیب M_c ، M_n و M_r ، مدول جزئی قطعه، مدول گردن تغذیه و مدول موثر تغذیه می‌باشند.

$$M_r = 1.2 M_c \longrightarrow M_r = 1.2 \times 0.738 \longrightarrow M_r = 0.88 \text{ cm}$$

با در نظر گرفتن انجماد به سمت خمیری و تغذیه رویی: (ارتفاع تغذیه = قطر تغذیه)

$$H_r = D_r$$

بنابراین:

$$M_r = D_r / 5 \rightarrow D_r = 5 \times 0.88 \rightarrow D_r = 4.4 \text{ cm}, \quad H_r = 4.4 \text{ cm}$$

اگر D_n و L_n به ترتیب برابر با قطر و ارتفاع گلولی تغذیه باشند، خواهیم داشت [۳ و ۴]:

$$D_n = L_n + 0.2 D_r$$

از طرفی:

$$M_n = 1.1 M_c \rightarrow M_n = 1.1 \times 0.738 \rightarrow M_n = 0.811, \quad A_n = 0.6 A_r \rightarrow A_n = 0.6 \times (D_r^2 \pi / 4) \rightarrow$$

$$A_n = 0.6 \times 1297.17 \rightarrow A_n = 778.3 \text{ cm}^2 \rightarrow D_n = 3.2 \text{ cm}, \quad L_n = 2.25 \text{ cm}$$

ابعاد بدست آمده در طرح سوم اعمال شد، و با توجه به بهینه سازی ابعاد تغذیه و استفاده از مبرد و کاهش مدول قطعه توسط مبرد، ابعاد نهایی برای یک تغذیه کور (شکل ۲-۱۶ و ۲-۱۷) بدست آمد:

$$D_r = 4.4 \text{ cm}, \quad H_r = 3 \text{ cm}, \quad D_n = 3.2 \text{ cm}, \quad D_n = 1 \text{ cm}$$

الزامات اتصال: از جمله الزامات اتصال بدین صورت است که اتصال بین قطعه و تغذیه نباید نقطه داغ بوجود آورد. همچنین با بررسی‌های تحلیل شیب دمایی و بهینه سازی ابعاد گلولی با توجه به شکل ۲-۲۸ و ابعاد تغذیه فعلی برای ایجاد تغذیه رسانی مفید از تغذیه به قطعه همچنین سهولت در جداسازی تغذیه از قطعه صلاح دیده شد شکل گلولی تغذیه مخروطی شکل در نظر گرفته شود [۵].

الزامات شیب فشار: فشار مورد نظر باید دو ویژگی، جریان یافتن مذاب تغذیه، و حرکت مذاب در جهت درست را داشته باشد. برای حصول این منظور در قسمت بالای تغذیه شیاری تعبیه شد، که با ایجاد نقطه‌ای داغ، تغذیه را به اتمسفر مرتبط کرده، و در نتیجه فشار خالص در تغذیه بیشتر از قطعه می‌گردد، همچنین می‌توان از یک سیستم کنترلر هم به عنوان اعمال فشار هم آگاهی از پر شدن کامل قالب استفاده کرد [۵ و ۶].

استفاده از مبرد:

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، استفاده از مبرد کمک شایانی در جهت دار کردن انجماد، بدام نیافتادن مک‌های انقباضی، افزایش راندمان ریختگی، می‌کند. از مبرد به عنوان دیواره قالب در نقطه‌ای که نیاز است سریع منجمد شود استفاده می‌گردد تا بتوان با افزایش سرعت سرد شدن، انجماد جهت دار بوجود آورد، که این عمل بخصوص در مورد آلیاژهای غیر آهنی موثر می‌باشد. استفاده از مبرد فاصله مذاب‌رسانی را نیز افزایش داده و اندازه مبرد بایستی در حدی باشد که قبل از بسته شدن گلولی مذاب رسانی باعث انجماد سریع گردد [۷]. لازم به توضیح است که محاسبه ابعاد مبرد در منابع متغیر و یا مختص یک آلیاژ خاص بوده به تفصیل بیان نشده است اما آنچه که از تجربیات و متون برمی‌آید مبرد می‌تواند باعث افزایش برد تا به $2.5T + 50 \text{ mm}$ (حد اقل ضخامت قطعه درگیر با مبرد) بشود [۳، ۴ و ۸]. که این شرایط در یک مبرد با ضخامت $1/2$ تا $2/3$ ارتفاع قطعه بدست می‌آید، به طوری که مبرد برای قسمت استوانه‌ای با ارتفاع ۴۰ میلی‌متر، ضخامتی حدود ۲۵ میلی‌متر و قطر ۵۶ میلی‌متر در نظر گرفته شد. و همچنین برای قسمت بازوها ۳ مبرد با ضخامت ۱۲ میلی‌متر و طول ۳۷ میلی‌متر در نظر گرفته شد. نتایج سرد شدن قطعه در جریان انجماد در شکل ۲-۲۶ به خوبی سرعت سرد شدن در قسمت‌های درگیر با مبرد را نشان می‌دهد. در اینجا جنس مبرد انتخابی از مس بوده که با توجه به فاصله مذاب رسانی زیاد می‌توان مبردها را در ابعاد کوچکتر نیز در نظر گرفت و به نتایج مورد نظر دست یافت. (شکل‌های ۲-۲۹ تا ۲-۳۱).

سیستم راهگاهی:

انتخاب موقعیت و نوع سیستم راهگاهی:

همانطور که گفته شد، در این قطعه سعی بر آن شده تا بهترین سیستم راهگاهی با توجه به تولید قطعه‌ای با خواص مطلوب و یکنواخت انجام پذیرد، که می‌توان گفت معقول ترین موقعیت برای سیستم راهگاهی منطبق با شکل ۱-۱ می‌باشد. این سیستم راهگاهی شامل دو راهبار و دو راهبار بوده، که این امکان را که مذاب با حداقل اغتشاش و تلاطم، مذاب رسانی به طور یکنواخت (شکل ۲-۳۲ و ۲-۳۳) در سرتاسر قطعه و از طرفی سهولت در جداسازی سیستم راهگاهی از قطعه، را فراهم آورد.

نسبت‌های ۱:۲:۲، ۱:۴:۴ و ۱:۶:۶ که براساس تعیین مقطع کانال راهگاه و سرعت بحرانی آزمایش شده‌اند، همواره بهترین نتایج را در قطعات آلیاژهای آلومینوم داشته‌اند [۹ و ۱۰]. همانطور که گفته شد برای داشتن سرعت بحرانی کمتر، حدود ۰/۵ متر بر ثانیه مستلزم سقوط مذاب در کمتر از ۱۲/۵ میلی‌متر می‌باشد، بنابراین سیستم راهگاهی یک سیستم غیرفشاری است که محاسبه سطوح مقاطع اجزای آن نه براساس نسبت‌های راهگاهی متداول، بلکه براساس تئوری سرعت بحرانی خروج مذاب از راهبار، انجام می‌شود. بنابراین ضمن برخورداری از سیستم غیرفشاری مرسوم (۱:۲:۲ و...)، اصل سرعت بحرانی را نیز رعایت می‌کند، همچنین لازم به ذکر است که در شرایط مختلف، امکان به دست آمدن نسبت‌های راهگاهی متفاوت وجود دارد [۱۰].

محاسبات سیستم راهگاهی

حجم کل = حجم قطعه + حجم تغذیه و گلوئی + حجم سیستم راهگاهی

$$V_t = V_c + V_r + V_n + V_g \longrightarrow V_t = 207.043 + 45.592 + 8.04 + 46 \longrightarrow V_t = 302.1 \text{ cm}^3$$

وزن کل:

$$W_t = V_t \times \rho \longrightarrow W_t = 302.1 \times 2.685 \longrightarrow W_t = 811.2 \text{ gr}$$

زمان بارریزی به صورت تجربی، متناسب با جذر (فورجه ۲ برای آلیاژهای غیر آهنی) ضخامت متوسط قطعه و وزن کل قطعه می‌باشد [۴] ، برابر است با:

$$t = \sqrt[3]{T \times W_t} \longrightarrow t = 1.2 \times (9 \times 0.8112)^{1/2} \longrightarrow t = 3.3 \text{ s}$$

نرخ میانگین پر شدن قالب:

$$Q = W_t / t \longrightarrow Q = 0.8112 / 3.3 \longrightarrow Q = 0.25 \text{ Kg/s}$$

ضریب ریختگی برای قطعه ، که برای آلیاژهای غیر آهنی بین ۰.۸-۰.۶ می‌باشد [۴، ۹ و ۱۰]:

$$\mu = 0.7$$

ارتفاع موثر برای مقاطع با مقاطع افقی غیر یکنواخت [۴]:

که H ارتفاع لوله راهگاه، H_g ارتفاع مرکز ثقل قسمت بالایی، V_t حجم کل و V_T برابر با حجم قسمت بالایی قالب می‌باشد.

$$H_e = H - (V_T / V_t) \times H_g \longrightarrow H_e = 15 - (187.67 / 260.675) \times 7.5 \longrightarrow H_e = 9.6 \text{ cm}$$

در نتیجه با در نظر گرفتن داده‌های بالا محاسبه سطح مقطعه تنگه (A_{chock}) برابر است با [۴ و ۱۰]:

$$Ac = \frac{V_t}{\mu \times t \times \sqrt[3]{2 \times 980 \times H_e}} \longrightarrow Ac = 362.1 / (0.7 \times 3.2 \times (2 \times 980 \times 9.6)^{1/2}) \longrightarrow Ac = 1.178 \text{ cm}^2$$

با در نظر گرفتن سیستم غیرفشاری ۱:۳:۳ با توجه به نتایج شبیه‌سازی، ابعاد اجزای سیستم راهگاهی بدست خواهد آمد:

$$A_s : A_R : A_g \longrightarrow 1 : 3 : 3 \longrightarrow A_s = A_c \longrightarrow A_s = (D_s^2 \pi) / 4 \longrightarrow D_s = 1.22 \text{ cm} \quad (\text{قطر خروجی راهگاه بارریز})$$

با استفاده از قانون تداوم و تریجلی، همچنین می‌توان قطر بالایی راهگاه بارریز را بدست آورد [۱۰ و ۱۱]:

$$A_{Top} / A_s = (H/H_{Top})^{1/2} \longrightarrow A_{Top} = (15/3.5)^{1/2} \times 1.178 \longrightarrow A_{Top} = 2.438 \text{ cm}^2 \longrightarrow D_{Top} = 1.762 \text{ cm}$$

که در آن A_{Top} سطح بالایی راهگاه بارریز و H_{Top} ارتفاع حوضچه بالایی راهگاه می‌باشد.

با استفاده از دو راهگاه اصلی (راهبار) و همچنین دو راهگاه فرعی (راهباره) سطوح مقاطع آن‌ها برابر است با:

$$A_R = 3A_s / 2 \longrightarrow A_R = 1.762 \text{ cm}^2, \quad A_g = 3A_s / 2 \longrightarrow A_g = 1.762 \text{ cm}^2$$

• کلیه طرح‌ها و اشکال مقاطع سیستم راهگاهی مطابق شکل ۲-۳۴ می‌تواند باشد [۱۱ و ۱۲]، که نسبت‌های بدست آمده تناسب

خوبی با آنها خواهد داشت، در ادامه به دلایل طراحی هر یک پرداخته خواهد شد.

حوضچه بالایی راهگاه: حوضچه بارریز باید به شکل مکعب مستطیلی با گوشه‌های انحنادار باشد. با این حوضچه‌ها حرکت مذاب دیگر

به صورت گردشی وارد راهگاه بارریز نخواهد شد، و هوایی به داخل راهگاه بارریز وارد نخواهد شد [۹ و ۱۰]. (شکل‌های ۲-۳۵)

راهگاه بارریز: راهگاه بارریز به صورت مخروطی شکل می‌باشد که تنگه در پایین آن قرار می‌گیرد تا نقش شخص بارریز را کم کند،

و از ورود و مکش هوا به داخل قالب بکاهد. همچنین سطح بالای راهگاه ورودی ۲۰٪ بیشتر به عنوان فاکتور ایمنی جهت اشتباه‌های

احتمالی در نظر گرفته می‌شود. [۱۰ و ۱۱].

حوضچه پای راهگاه: بدلیل سقوط مذاب و تغییر جهت آن به اندازه ۹۰ درجه در این حالت اگر سرعت مذاب کنترل نشود، علاوه بر

افزایش سرعت به بیش از سرعت بحرانی، ایجاد تشکیل حباب و تلاطم و مشکلات قطره قطره شدن را خواهد داشت. پس برای آرام

سازی جریان مذاب از یک حوضچه مطابق شکل استفاده شده است [۱۰ و ۱۱]. (شکل ۲-۳۶)

طراحی راهگاه اصلی (راهبار): با توجه به حرکت مستقیم الخط مذاب و جلوگیری از ایجاد جریان‌های ناآرام و نامناسب چرخشی سعی

شد تا از راهگاه قوس دار و یا چرخشی استفاده به عمل نیاید [۱۳]. همچنین راهبار در آلیاژهای آلومینیوم باید طویل و دارای سطح

مقطع دوزنقه‌ای شکل باشد و به دلیلی هدایت حرارتی بالا باید مذاب با تعبیه کانال‌های فرعی از یک نقطه وارد نشود و توزیع حرارتی

مذاب در قالب یکنواخت باشد. همچنین با تعبیه کانال ممتد به صورت گوه‌ای به عنوان آشغال گیر برای جلوگیری از ورود آخال‌های،

شلاکه، سرباره و ماسه‌های شسته شده استفاده می‌شود [۹]. (شکل ۲-۳۶)

طراحی راهگاه فرعی (راهباره): سعی شده از دو کانال فرعی در یک جهت موازی برای حرکت مذاب به طور یکنواخت به داخل قالب

و عدم ایجاد تلاطم و سردجوشی استفاده شود. همچنین سطح مقطع آن طوری لحاظ شده که علاوه بر مذاب رسانی مناسب، مذاب با

سرعتی در محدوده سرعت بحرانی از درون آن وارد قالب شود [۹ و ۱۱].

راندمان:

در صنایع هر عاملی که در تولید یک قطعه دخیل باشد و به نوعی هزینه در بر داشته باشد جای بحث خواهد داشت به عنوان مثال نیروی

انسانی مورد نیاز، میزان مصرف مواد اولیه، هزینه ساخت مدل، امکان تولید روزانه، هزینه برشکاری و تمیزکاری، تجهیزات مورد نیاز

جهت تولید و بسیاری موارد دیگر که در خصوص هر قطعه می‌تواند مد نظر قرار بگیرد، و این از وظایف مهندسين طراحی می‌باشد که

علاوه بر سالم بودن قطعات و رسیدن به راندمان ریخته‌گری مطلوب، موارد فوق الذکر را به لحاظ اهمیتی که دارند مورد توجه قرار

دهند. لازم به توضیح است که با در نظر گرفتن موارد فوق طرح حاضر از نظر صنعتی نیز امکان سنجی شده و قابلیت تولید و اجرایی

شدن را دارا می‌باشد، و در زیر به بررسی راندمان ریخته‌گری قطعه پرداخته می‌شود.

چنانچه نسبت وزن قطعه به وزن کل (قطعه، سیستم راهگاهی و تغذیه) مورد محاسبه قرار گیرند، راندمان ریخته‌گری تعیین می‌شود [۱۴]. بهره (yield) را ممکن است برای نشان دادن مقدار قطعات ریخته‌گری تمام شده نهائی بر حسب درصد وزن کل فلز بارگیری شده در بخش ذوب استفاده کرد، که بهره‌دهی کلی (overall yield) نامیده می‌شود. در این قطعه بعد از برشکاری ضایعات (سیستم راهگاهی و تغذیه) و بر فرض در نظر گرفتن وزن کل حوضچه بارریز راندمان ریخته‌گری عبارت است از:

$$\text{راندمان ریخته‌گری} = \left(\frac{560}{930} \right) \times 100 = 60\%$$

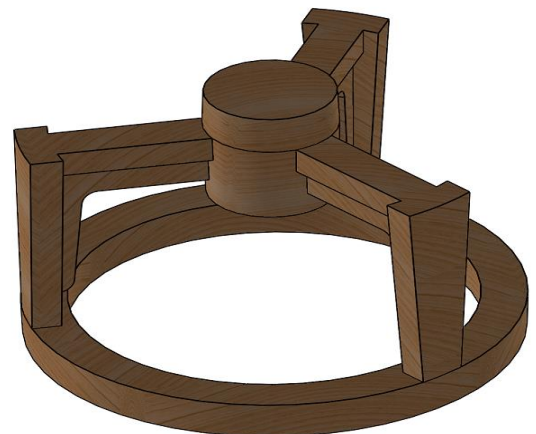
این نکته حائز اهمیت است که در کل آلیاژهای غیرآهنی برای الزامات سلامت قطعه و ضمانت اجرائی آن دارای راندمان کمی هستند [۲].

۳- عملیات مدل‌سازی، قالبگیری و ماهیچه سازی

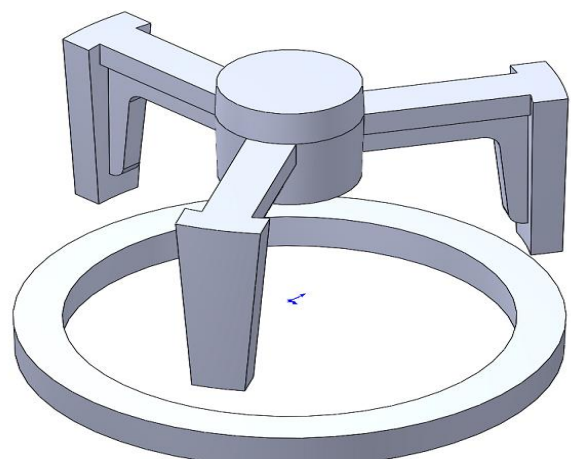
عملیات مدل‌سازی:

با توجه به امکان طراحی مدل توسط نرم افزارهای CAD همانند Catia و Solidwork که مورد استفاده قرار گردید، قبل از تولید نمونه، نوع مدل را می‌توان طراحی و ارزیابی نمود، و بر این اساس و شرایط خواسته شده بر مبنای یک قطعه در شرایط مسابقه، طراحی مدل طوری صورت پذیرفت که این مدل در گروه مدل‌های دستی قرار گیرد و مدل مذکور جزء مدل‌های دو تکه با سه سطح جدایش که قالبگیری راحت و هزینه ساخت پائینی را در بر دارد طراحی و به ساخته شد.

جنس مدل: یکی از مهمترین و پر مصرف‌ترین موادی که در مدل‌سازی و الگوی اولیه بکار می‌رود، چوب است. به طوری که تقریباً ۷۲٪ تولید سالیانه مدل‌های ریخته‌گری کشورهای صنعتی جهان چوب است [۱]. اما با توجه به متن استاندارد DIN:1511 انتخاب جنس مدل به آیت‌های نظیر صافی سطح مورد نیاز، تلرانس کمتر، پایداری ابعادی، دقت مورد نیاز و تعداد دفعات قالبگیری (احتمال شکست چوب با ماسه CO_2 به خصوص در این قطعه بسیار بالاست) بستگی دارد. لذا در این مدل با توجه به اهمیت صافی سطح و مقایسه تلرانس‌های ابعادی در مواد مختلف و نهایتاً دقت مورد نظر، جنس مدل از آلومینیوم انتخاب گردید (در جدول ۱-۳ مقایسه تلرانس‌های کیفیت نشان داده شده است). مدل چوبی ساخته شده و مدل آلومینیومی حاصل از ریخته‌گری به ترتیب در شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱-۳. مدل چوبی طراحی و ساخته شده.



شکل ۲-۳. مدل فلزی طراحی و ساخته شده.

لازم به توضیح است که با توجه به تحلیل‌های شبیه‌سازی صورت گرفته و محاسبات ابعاد، شکل و مکان تغذیه، این نکته که تغذیه به صورت کور (روسته) در نظر گرفته شده و دارای شیب معکوسی در منطقه گلویی می‌باشد، حائز اهمیت است، که برای حل این مهم جنس تغذیه از مواد اسفنجی (یونولیت سفید) یک بار مصرف که طبق Din:1511 دارای درجه کیفیت S3 می‌باشد لحاظ گردید، تا هزینه ساخت و مشکلات اجرایی جعبه ماهیچه و ۴ لنگه شدن قالب حذف شود. شایان ذکر است که تیرانس و کیفیت سطحی مواد اسفنجی از حد پایینی برخوردار است اما با توجه به نقش تغذیه و اهمیت کیفیت سطحی آن از این مواد استفاده گردید. شکل .. موجود در پیوست شکل تغذیه و ابعاد مورد نظر آن را نشان می‌دهد. همچنین مدل سیستم راهگاهی از جمله راهبار، راهباره، لوله راهگاه، حوضچه بالا و پایین سیستم راهگاهی نیز جهت قالبگیری ترجیحا و به دلیل سادگی در قالبگیری توسط مدل چوبی ساخته خواهد شد.

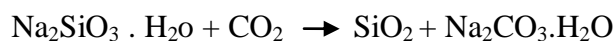
خلاصه‌ای از روش مدل‌سازی:

مدل‌سازی مدل چوبی توسط خود گروه صورت پذیرفت، به طوریکه سه بازویی (لقمه‌ها) با انتخاب دستگاه صفحه سنباده به ابعاد مورد نظر رسید و قوس‌های آن نیز با بتونه شکل داده شد، همچنین رینگ کف (طوقی) نیز با استفاده از چوب ام دی اف توسط دستگاه کنده‌گیر به ضخامت مورد نظر رسید و با پرگار دایره‌ها با در نظر گرفتن شیب و انقباض روی آن زده شد و سپس توسط نقاله یا زاویه دایره به سه قسمت تقسیم شد و در انتها داخل دایره‌ها با اره چکش و بیرون دایره‌ها با اره نواری درآورده شد. قسمت استوانه‌ای نیز توسط چوب توسکا و با استفاده از دستگاه خراطی با محاسبه شیب مورد نظر ساخته شد. بعد از مونتاژ بازویی‌ها به قسمت استوانه‌ای شکل و بتونه کاری جهت صافی سطح و رساندن به دقت ابعادی مورد نیاز، مدل چوبی قالبگیری شد و توسط مذاب آلومینیوم، مدل آلومینیومی حاصل گردید. سپس مدل فلزی پرداخت کاری گردید، که در ادامه می‌توان جهت کیفیت سطح مدل، آن را نیز رنگ نمود. شکل‌هایی از مدل چوبی و مدل فلزی نیز در پیوست آورده شده است.

قالبگیری:

استفاده از قالبگیری به روش ماسه CO_2 : فرایند قالبگیری با مواد قالبگیری مختلفی می‌تواند صورت پذیرد که انتخاب مواد مختلف بستگی به روش قالبگیری، دقت ابعادی قطعه ریختگی، پیچیدگی شکل قطعه و مدل، جنس مذاب و... دارد، که با توجه به شرایط موجود از جمله شکل قطعه و طراحی مدل که شامل سه بازوی لقمه‌ای است که حین قالبگیری استحکام بالایی را می‌طلبد، همچنین دقت ابعادی و کیفیت سطوح قطعه ریختگی که مدنظر است، علاوه بر این استفاده از مبرد که جاگیری مطمئنی را نیاز دارد و کاهش سایش ماسه از قالبگیری به روش ماسه CO_2 استفاده می‌شود. راندمان خوب در روش CO_2 به مقدار زیادی بستگی به نحوه آماده‌سازی و قالبگیری دارد. زمان و دمای مناسب مخلوط شدن مناسب چسب و ماسه موثر است، به طوریکه در درجه حرارت پایین، گرانیروی چسب سیلیکات سدیم افزایش می‌یابد، بنابراین با افزایش درجه حرارت مخلوط شدن بهتر انجام می‌گیرد، همچنین مخلوط کردن معمولاً بین ۳ تا ۵ دقیقه به طول می‌انجامد [۱۵]. در قالبگیری این قطعه که توسط ماسه CO_2 صورت پذیرفت بدلیل برودت هوا و زمان کم مخلوط سازی، حین خشک کردن قالب و مبرد، ماسه اطراف مبرد متورم گردید و متلاشی شد، که این ناشی از خوب مخلوط نشدن ماسه با چسب سیلیکات سدیم بود.

چسب مصرفی و گاز دی اکسید کربن: میزان چسب مصرفی به خواص مورد نیاز و وضعیت ماسه از نظر اندازه و توزیع دانه‌بندی بستگی دارد (شکل ۳-۳ ارتباط عدد ریزی و مقدار بهینه چسب سیلیکات سدیم را نشان می‌دهد). در فرایند تهیه ماسه CO_2 میزان ۳ تا ۴ درصد چسب سیلیکات سدیم به ماسه خشک سیلیسی مصنوعی با اندازه مش AFS No:62 اضافه می‌شود که این مقدار برای ماسه با مش No:90 به ۴ تا ۵ درصد نیز می‌رسد [۱۶]. گاز دی اکسید کربن به داخل سوراخ‌های تعبیه شده در قالب شکل گرفته، دمیده می‌شود تا طی واکنش (۱-۱) سیلیس ژلاتینی حاصل شود و اتصال ذرات ماسه را به یکدیگر انجام دهد [۱۶].



واکنش (۱-۱)

با توجه به شکل ۳-۴ نشان داده شده در پیوست، دمش گاز CO_2 به مدت کوتاه باعث ایجاد یک مخلوط ماسه می‌شود که بلافاصله پس از دمش گاز استحکام کمی دارد، اما استحکام آن با گذشت زمان افزایش می‌یابد، ولی این نوع استحکام از نظر قابلیت فروپاشی مناسب نیست. 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 واقع می‌شود می‌تواند طولانی و زیاد باشد تا هم استحکام اولیه برای نگهداری زیاد شود هم قابلیت فروپاشی آن در حد قابل قبول باشد [۱۶].

مواد افزودنی: قابلیت فروپاشی ماهیچه سرخود وسط بازوها همچنین باید مناسب باشد، گرچند آلیاژ A356 مقاومت به پارگی گرم (Hot tear) مناسبی دارا می‌باشد [۱۷]، ولی با توجه به شکل قطعه و ایجاد تمرکز حرارتی در قسمت ۹۰ درجه بازوها، در صورتی که تمرکز تنش در اثر مقاومت ماهیچه سرخود در برابر انقباض این قسمت‌ها نیز حاکم شود احتمال تشکیل پارگی گرم زیاد خواهد شد. در نتیجه جهت افزایش قابلیت فروپاشی از مواد خرد کننده (Dexil 60) به میزان ۱٪ صرفاً برای ماسه ماهیچه مورد استفاده قرار خواهد گرفت [۱۶].

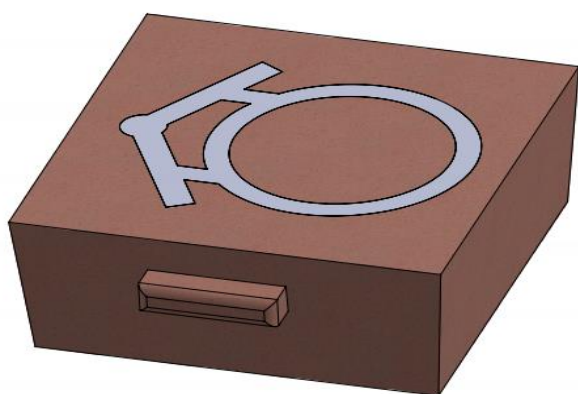
پوشش روی سطح قالب:

پوشش‌های قالب همچون گرافیت و Diecoat با کاهش تنش سطحی و کاهش زبری سطح در مواردی با ایجاد فاصله هوایی بین مذاب و دیواره قالب بر روی سیالیت اثر مثبت می‌گذارند. این پوشش‌ها در قالب باعث روانسازی و کاهش اصطکاک و زبری شده و سیالیت را افزایش می‌دهد [۱۸]. اصولاً پوشش‌های سفید همانند (Diaccoat 39) دارای ترکیباتی از مواد با دیرگدازی بالا همانند دی اکسید تیتانیوم و سلیکات سدیم می‌باشد و می‌تواند در جاهایی از قالب که دارای ضخامت متوسط تا ضخیم می‌باشد و نیاز به عایق بودن دارد پوشش داده شود [۱۲]. ولی طبق تحقیقات صورت گرفته استفاده از پوشش قالب گرافیت تأثیر زیادی در کاهش تنش سطحی بین مذاب و قالب دارد و در ریخته‌گری قطعات نازک بسیار تأثیر گذار است، به طوری که با حدود بیش از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد فوق ذوب طول سیالیت به بیش از ۳۵ سانتی‌متر افزایش خواهد یافت [۱۸]. این موضوع در شکل ۳-۵ در پیوست نشان داده شده است. در نتیجه از پوشش گرافیت بر روی سطح قالب بوسیله پیستوله استفاده خواهد شد. با این شرایط می‌توان بارریزی را در دمای پایین‌تری انجام داد.

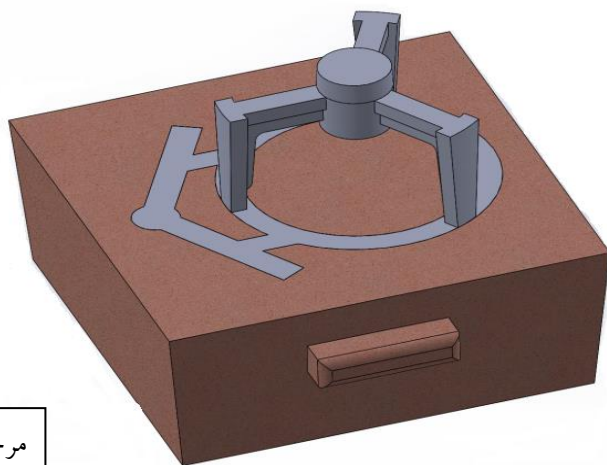
روش قالبگیری:

با وجود اینکه با این مدل دو تکه، می‌توان از دو لنگه قالب استفاده کرد به طوری که با درست کردن ماسه ماهیچه دور (ماهیچه آزاد) یا به اصطلاح ساده کردن دور تا لب بازویی‌ها و سپس قالبگیری لنگه دوم روی ماسه ماهیچه، ولی به چند دلیل اینکار صورت نپذیرفت. ۱- با توجه به نوع درجه‌های موجود با عرض ۳۵ میلیمتر با این حال ارتفاع آن ۱۲ سانتی‌متر است به طوری که این شرایط ارتفاع لازم برای ذوب ریزی و پر شدن به بالا را فراهم نمی‌آورد. ۲- با قالبگیری صورت گرفته و با وجود مبردها، احتمال خرابی لبه‌های ماسه زیاد است و تشکیل عیب پلیسه بسیار زیاد است. ۳- در حین ساده کردن چون به صورت دستی این کار صورت می‌گیرد احتمال در نیامدن ماسه ماهیچه از لنگه دوم زیاد است. ۴- در حین جفت کردن و با توجه به بلند بودن ماهیچه احتمال عیب ماسه سایبی بسیار زیاد است [۱۹]. با توجه به این شرایط این مدل دو تکه با سه لنگه درجه با ابعاد موجود ۱۰*۲۵*۲۵ صورت خواهد پذیرفت به طوریکه رینگگی کف در لنگه اول قرار می‌گیرد و قسمت بالای مدل (بازویی‌ها و قسمت استوانه‌ای) تا ارتفاع مشخصی که مدل بتواند از قالب خارج شود و همچنین مبردها در لنگه دوم قرار می‌گیرد، و سپس قسمت باقی مانده مدل و تغذیه توسط لنگه سوم قالبگیری می‌شود. در ادامه زدن سیخ هوا برای خروج گازها و همچنین اعمال فشار روی تغذیه کور لازم است. در نهایت مدل‌ها خارج گردیده و مدل اسفنجی تغذیه توسط

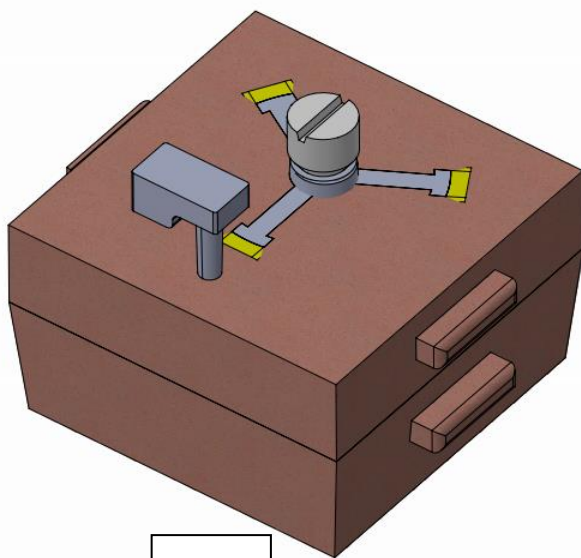
مشعل ذوب شده و پس از خشکاندن مناسب قالب و مبردها و جفت کردن درجه‌ها ذوب ریزی صورت می‌پذیرد. اشکال زیر (شکل ۳-۶) کلیه مراحل قالبگیری مدل مربوطه را نشان می‌دهند.



مرحله ۱



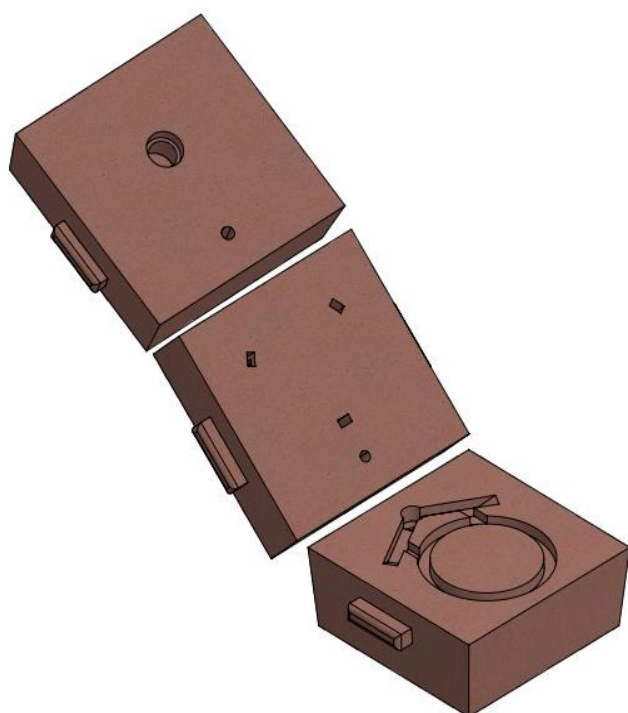
مرحله ۲



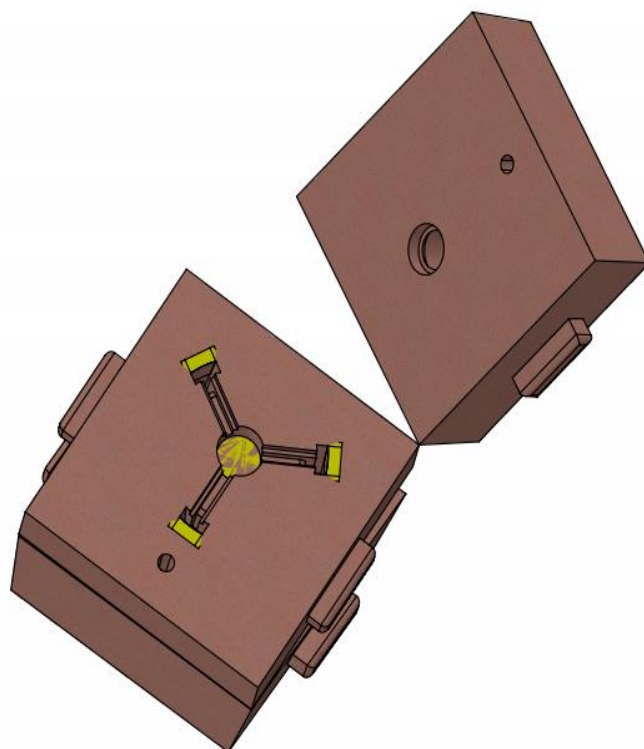
مرحله ۳



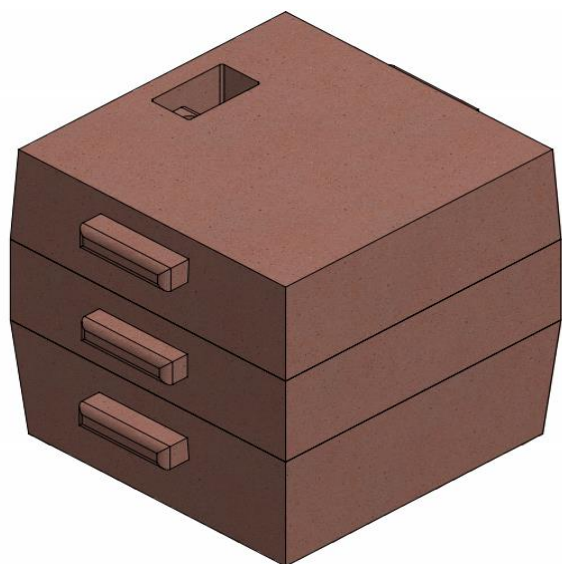
مرحله ۴



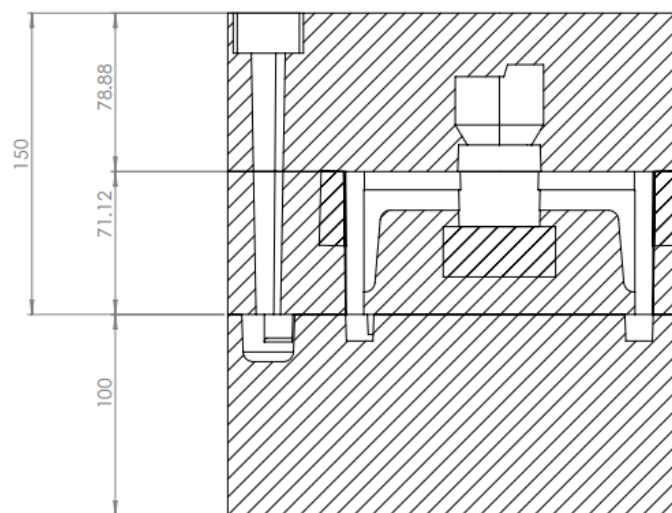
مرحله خارج کردن مدل‌ها



مرحله جفت کردن درجه‌ها



جفت شدن درجه‌ها و آماده بارریزی



نمای برشی ۱۲۰ درجه از قالب

شکل ۳-۶. نماهایی از مراحل مختلف قالبگیری.

۴- شرایط عملیات ذوب و ریخته‌گری

در ابتدا حائز اهمیت است که مشخصات شیمیایی، فیزیکی و ریخته‌گری آلیاژ A356 مورد بررسی قرار بگیرد. ترکیب شیمیایی و پارامترهای فیزیکی این آلیاژ با توجه به منابع در جدول ۴-۱ و ۴-۲ ذکر شده است.

جدول ۴-۱. ترکیب شیمیایی آلیاژ A356 [۲۰ و ۲۱]

Al%	Si%	Cu%	Mg%	Fe%
Balance.	6.5-7.5	0.1-0.2	0.20-0.45	0.0-0.2
Mn%	Zn%	Ti%	Na%	Other
0.05-0.1	0.05-0.1	0.0-0.2	0.0002	0.05 max

با توجه به ترکیب شیمیایی آلیاژ A356 عناصر اصلی این آلیاژ شامل Si و Mg (7Si-0.3Mg) می‌باشد.

جدول ۴-۲. پارامترهای فیزیکی آلیاژ A356

آلیاژ / پارامترهای فیزیکی	A356(s)	A356(L)
چگالی (g/cm^3)	۲/۶۸۵	۲/۳۹۴
ظرفیت حرارتی (W/gk)	۹۶۳	۱۰۸۰
ضریب نفوذ حرارتی (W/mk)	۹۰	۹۰

با توجه به جدول ۴-۳ آلیاژ A356 دارای قابلیت ریخته‌گری مناسبی می‌باشد. به طوریکه سیالیت خوب و همچنین دارای مقاومت به ترک گرم مناسبی می‌باشد [۲۰].

جدول ۴-۳. مشخصات ریخته‌گری بعضی از آلیاژهای آلومینیوم-سیلیسیم [۲۰]

Rankings are relative to other alloys in the same casting category. 1, best; 5, worst

Alloy	Foundry characteristics			
	Resistance to hot cracking	Fluidity	Solidification shrinkage	Pressure tightness
Sand castings				
C355.0	1	1	1	1
A356.0	1	1	1	1
A357.0	1	1	1	1
B443.0	1	1	1	1

۴-۱ عملیات ذوب

نوع کوره مورد استفاده برای ذوب آلیاژهای آلومینیوم می‌تواند الکتریکی، گازی و گازوئیلی باشد ولی باید دقت شود که هر چه محصولات احتراق و گازهای تولید شده از احتراق در تماس با ذوب باشند میزان جذب گاز و آلودگی مذاب بالا رفته و به طور کلی احتمال تشکیل عیوب را در قطعات افزایش می‌دهد، و همچنین هزینه‌های صرف شده برای انجام عملیات کیفی مذاب نیز افزایش می‌یابد، ولی اگر کوره مورد استفاده الکتریکی باشد، با توجه به اینکه محصولات احتراقی ناشی از سوخت وجود ندارد، در نتیجه ذوب تهیه شده دارای کمترین جذب گاز خواهد بود. در کل کوره‌های الکتریکی مذاب با کیفیت بالا، سرعت بالا و راندمان بالاتر از جهت

سوختن (اتلاف) عناصر موجود در مذاب، را تهیه می‌کنند، این موضوع در جدول ۴-۴ نشان داده شده است [۹ و ۱۵]. با توجه به شرایط موجود کوره الکتریکی با ابعاد محفظه $40 \times 20 \times 20$ می‌تواند انتخاب شود.

جدول ۴-۴. درصد اتلاف عناصر مختلف تحت شرایط نوع کوره و شارژ [۹ و ۱۵].

عنصر	شمش‌های اولیه		برگشتی‌ها و قراضه‌ها		
	کوره الکتریکی	کوره شعله‌ای	کوره الکتریکی	کوره شعله‌ای	
آلومینیوم	۱-۱/۲	۱-۲	۱-۱/۵	۲-۳	۱/۵-۲
آهن	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵
سیلیسیم	۰/۵	۱-۱/۵	۰/۵-۱	۱/۵-۲	۱-۲
منیزیم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۳-۱۰	۳-۶
منگنز	۰/۵	۱-۲	۰/۵-۱	۲-۳	۱-۲
فلز	۰/۵	۱-۱/۵	۰/۵-۱	۱/۵-۲	۱/۵-۲
مس	۰/۵	۱-۲	۰/۵	۲-۳	۱-۲
روی	۱-۳	۲-۴	۱-۳	۳-۵	۲-۴
نیکل	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵-۱	۰/۵-۱	۰/۵
بریلیم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۵-۱۰	۳-۶
سديم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۵-۱۰	۴-۷

بوته‌های مورد استفاده برای آلیاژ A356 می‌تواند آلومینایی و گرافیتی باشد، زیرا این بوته‌ها بدلیل بی‌اثر بودن در مقابل مواد مذاب آلومینیمی، مذاب با کیفیت مطلوب‌تری را فراهم می‌کند [۹]. با توجه به شرایط موجود بوته گرافیتی که وزنی معادل با ۲ کیلوگرم مذاب آلومینیوم را در خود جای می‌دهد، استفاده می‌شود.

۲-۴ عملیات بر روی ذوب

در ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیوم بسیاری از عناصر ناخواسته از جمله ناخالصی‌های فلزی، ترکیبات بین فلزی، آخال‌ها و گازها به طرق مختلف وارد مذاب می‌گردند، در صورتی که کنترل دقیق یا عملیات خاص جهت حذف و یا تقلیل خواص مضر آنها انجام نگیرد، آلیاژ ریخته شده از کیفیت مطلوب برخوردار نخواهد بود. از این رو جهت حصول خواصی مطلوب و همچنین با در نظر گرفتن شرایط موجود، عملیات کیفی بر روی مذاب آلیاژ A356 به شرح ذیل می‌باشد.

۱- ذوب ۲- فلاکسینگ برای حذف اکسیدها و ترکیبات بین فلزی ۳- گاززدایی ۴- اصلاح ساختار همراه جوانه‌زایی.

۱- ذوب: این آلیاژ جزء گروه آلیاژ آلومینیوم-سیلیسیم هیپوئوتکتیک می‌باشد و همچنین با توجه به نمودار تعادلی دمای لیکوئیدوس و دمای سالدوس این آلیاژ به ترتیب برابر با 613°C و 548°C می‌باشد به طوریکه دامنه انجماد میانی (پوسته‌ای-خمیری) است که فاصله این دامنه تقریباً 60°C می‌باشد. حال علاوه بر شرایط انجماد، اگر دقت کافی و لازم در حین تهیه مذاب (منظور زمان نگهداری مذاب، دمای کوره، میزان فوق ذوب، شرایط عملیات کیفی و...) صورت نگیرد نوع انجماد به سمت خمیری میل می‌کند که در صورت وجود آمدن این شرایط، سیالیت کاهش یافته و همچنین میزان انقباضات پراکنده و میزان جذب گاز افزایش خواهد یافت.

۲- فلاکسینگ برای حذف اکسیدها و ترکیبات بین فلزی: فلاکس‌های پوششی همچون کاورال (Coveral 11) موادی هستند که برای افزایش کیفیت مذاب و تقلیل مواد ترکیبی (غیر فلزی) بدون تغییر در ترکیب آلیاژ به کار می‌روند [۹]. موارد استفاده از فلاکس‌های پوششی آلومینیوم همچون کاورال در جدول ۴-۵ موجود در پیوست شرح داده شده است [۱۲ و ۲۲].

معمولاً مقدار پودر صورتی رنگ کاورال (Coveral 11) بین ۵/۰ تا ۱ درصد وزنی مذاب در نظر گرفته می‌شود و نحوه افزودن آن به مواد شارژ بهتر است طی دو مرحله صورت گیرد. نیمی از آن در ابتدای فرایند ذوب همراه با شارژ ذوب شود تا همانند سد پوششی از ورود اکسیژن و دیگر گازها در طی عملیات ذوب جلوگیری کند، و نیمی دیگر آن بعد از ذوب شدن آلیاژ به عنوان اولین مرحله عملیات کیفی به مذاب افزوده شود. همچنین پیشنهاد گردیده که پوشش تشکیل شده بر روی مذاب تا مرحله گاززدایی و حتی عملیات بهسازی دست نخورده باقی بماند [۱۲].

۳- گاززدایی: گازهای محلول در مایع بعد از انجماد به دلیلی تنش سطحی مذاب و عدم امکان خروج کامل به صورت 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 آلومینیوم هیدروژن تنها گازی است که به صورت محلول در مایع و حباب در جامد ظاهر می‌گردد (میزان حلالیت گاز هیدروژن در آلومینیوم در شکل ۱-۴ موجود در پیوست نشان داده شده است [۹ و ۱۲]). در این آلیاژ ممکن است مقدار گاز هیدروژن به بیش از $0.6 \text{ ml H}_2/100 \text{ gr Al}$ برسد. لذا با اعمال ملاحظات در ذوب می‌توان میزان گاز را کاهش داد اما حتی با بهترین شرایط ذوب در کوره‌های ذوب مجدد انتظار می‌رود که مقدار گاز به $0.2-0.3 \text{ ml H}_2/100 \text{ gr Al}$ برسد [۱۲]. از جمله روش‌های گاززدایی، گاززدایی طبیعی، گاززدایی در خلأ، گاززدایی به وسیله قرص (قرص دگازور) و گاززدایی به وسیله دمش گاز می‌باشد. انتخاب روش گاززدایی به حساسیت کار و میزان هیدروژن مجاز در قطعه بستگی دارد. برای قطعات با کیفیت بالا خصوصاً قطعاتی که مصرف نظامی دارند از نظر میزان گاز محلول در ذوب، محدودیت زیادی وجود دارد. و باید بوسیله بهترین روش‌ها تا حد ممکن میزان هیدروژن را در آنها کاهش داد [۲۳]. در شرایط موجود دو روش گاززدایی به وسیله قرص دگازور (Degaser 200) و گاززدایی بوسیله گاز خنثی (آرگون) در پیش‌رو است. قرص دگازور به میزان یک قرص ۹۰ تا ۱۰۰ گرمی برای ۵۰ کیلوگرم مذاب آلومینیوم مورد استفاده قرار می‌گیرد که با تولید گاز فعال هگزاکلوروآتان (C_2Cl_6) گاززدایی می‌کند. عنصر منیزیم موجود در آلیاژ A356 می‌تواند واکنش سریع با کلر داده و با تولید کلرید منیزیم (MgCl_2) علاوه بر کاهش خواص مکانیکی قطعه باعث اتلاف منیزیم مذاب شود، در نتیجه طی تحقیقات صورت گرفته استفاده از گاز فعال برای آلیاژهایی که عنصر منیزیم جزء عناصر اصلی آلیاژی آن به حساب می‌آید، مناسب نمی‌باشد [۲۳]. علاوه بر این موضوع استفاده از قرص‌های دگازور در آلیاژهایی که عملیات بهسازی روی آنها صورت می‌گیرد، در این شرایط مذاب بسیار وابسته به زمان گاززدایی و زمان میرایی عملیات بهسازی می‌شود. زیرا مذاب‌های که توسط سدیم و یا استرانسیم اصلاح می‌شوند این عناصر با گازهای فعال واکنش داده و باعث خروج این عناصر از مذاب می‌گردد، و عملیات اصلاح تیغه‌های سیلیسیم انجام نخواهد پذیرفت [۲۳]. قرص‌های دگازور همچنین بدلیل داشتن ترکیبات کلریدی و آزادسازی گازهای سمی در هنگام واکنش با مذاب، بسیار مضر می‌باشند [۹ و ۲۳]. در نتیجه استفاده از گاز خنثی آرگون می‌تواند انتخاب مناسبی از لحاظ کیفی باشد، به طوریکه این روش با افزایش فشار داخلی مذاب می‌تواند با خروج گازها مکانیزم موثری واقع شود. البته این نکته حائز اهمیت است که با توجه به حجم کم مذاب (حدود ۲ کیلوگرم) استفاده از یک تویی متخلخل سرامیکی در ورودی گاز آرگون از لوله پیشنهاد می‌شود، تا گاز آرگون با مقادیر حباب بیشتر و سطح بیشتری در مذاب پخش شوند.

۴- اصلاح ساختار همراه با جوانه‌زایی: ساختار آلیاژ A356 ریختگی شامل تیغه‌های سوزنی شکل سیلیسیم، دندریتهایی درشت آلومینیوم و خلل و فرج می‌باشد. خواص مکانیکی مد نظر این آلیاژ همانند استحکام فشاری به طور قابل ملاحظه‌ای متأثر از ریز ساختار آن می‌باشد، به گونه‌ای که وجود تخلخل، تیغه‌های سوزنی شکل و درشت سیلیسیم و دندریتهای درشت آلومینیوم در ساختار ریختگی، خواص مکانیکی را کاهش می‌دهد. طبق تحقیقات صورت گرفته روی استحکام فشاری آلیاژ A356، اکثر

مشاهدات ساختاری نشان می‌دهد که تغییر شکل و تشکیل ترک از ذرات درشت سیلیسیم صورت می‌گیرد [۲۴]. این موضوع در شکل ۴-۲ در پیوست نشان داده شده است. در نتیجه ریز کردن هر چه بیشتر تیغه‌های درشت سیلیسیم با عملیات بهسازی می‌تواند کسر تشکیل ترک را کاهش دهد [۲۴]. برای انجام عملیات اصلاح سازی از قرص بهساز (Nucleant 11M) حاوی ترکیبات سدیمی به میزان یک عدد قرص ۹۰ تا ۱۰۰ گرمی برای ۵۰ کیلوگرم مذاب استفاده می‌شود، اصولاً میزان بهساز برای ریخته‌گری ماسه‌ای، برای سدیم ۰/۰۱٪ و برای استرانسیم ۰/۱٪ می‌باشد [۲۰ و ۲۳]. این نکته حائز اهمیت است که اگر میزان سدیم بیش از ۰/۰۲٪ اضافه شود باعث تشکیل ترکیبات $AlSiNa$ و ترکیبات بین فلزی خواهد شد که خواص مکانیکی را افت خواهد داد [۲۰ و ۲۳]. با توجه به اهمیت زمان میرایی و همچنین درصد بازدهی اصلاح شونده طبق تحقیقات صورت گرفته بهتر است قرص بهساز توسط کلاهک خوراک دهنده در دمای $750^{\circ}C$ به مذاب اضافه شود و مذاب ۲ دقیقه تحت فلاکس پوششی نگهداری شود و سپس بعد از جمع آوری سرباره و کنترل دما توسط ترموکوپل ذوب ریخته شود [۲۳]. عملیات جوانه‌زایی به منظور بهبود خواص مکانیکی (افزایش سختی، استحکام کششی و ...) از طریق ریز کردن دانه‌ها نیز در این آلیاژ مورد بررسی قرار گرفته است [۱۲]، که می‌تواند توسط قرص نئوکالانت (Nucleant 2) به میزان ۰/۲۵٪ وزن مذاب صورت پذیرد ولی با توجه به اینکه قرص بهساز (Nucleant 11M) عناصر جوانه‌زا را نیز دارا می‌باشد، دیگر نیاز به عملیات جوانه‌زایی جدا توسط قرص نئوکالانت (Nucleant 2) نیست، زیرا درصد زیاد عناصر تیتانیم و جوانه‌زاها می‌تواند افزایش میزان تخلخل را به همراه داشته باشند [۲۴].

به طور خلاصه به ترتیب عملیات کیفی و ذوب ریز با توجه به امکانات مشخص شده، به شرح ذیل می‌باشد:

۱- شارژ آلیاژ A356 به میزان ۱/۵ کیلوگرم در بوتله گرافیتی همراه با میزان ۰/۵ درصد فلاکس کاورال (Coveral 11) و سپس حرارت دهی توسط کوره الکتریکی تا دمای $770^{\circ}C - 760^{\circ}C$ (البته با توجه به گرافیتی بودن بوتله و کم بودن حجم مذاب دما به سرعت افت می‌کند که باید دمای بالاتری را اتخاذ کرد).

۲- بعد از ذوب شدن، افزودن نیمی دیگر از فلاکس پوششی کاورال، بهتر است تا آخرین مرحله روی سطح مذاب را بپوشاند.

۳- انجام عملیات گاززدایی توسط گاز آرگون که توسط یک لوله آهنی با سر تویی متخلخل می‌باشد صورت می‌گیرد. بهتر است به میزان ۴ دقیقه گاززدایی صورت گیرد.

۴- انجام عملیات اصلاح سازی و جوانه‌زایی توسط قرص بهساز (Nucleant 11M) به میزان یک عدد قرص برای ۵۰ کیلوگرم مذاب توسط کلاهک خوراک دهنده و طبق تجربیات صورت گرفته به میزان ۱ دقیقه بعد ذوب ریخته شود.

۵- سرباره گیری و کنترل دمای مذاب و ذوب ریزی با توجه به نتایج شبیه‌سازی در دمای $730^{\circ}C$.

دماهای بارریزی پیشنهاد شده در ریخته‌گری ماسه‌ای [۱۲]:

ضخامت قطعه	دمای بارریزی
ریخته‌گری سبک، زیر 15mm	$730^{\circ}C$
ریخته‌گری متوسط، 15 - 40 mm	$710^{\circ}C$
ریخته‌گری سنگین، بالای 40 mm	$690^{\circ}C$

دمای ذوب ریزی با توجه به تکنولوژی و طراحی قطعه ریختگی توسط شبیه‌سازی پیشنهاد داده شده است. با توجه به شبیه‌سازی صورت گرفته با استفاده از پوشش گرافیت در سطح قالب می‌توان دمای ذوب‌ریزی را به میزان $730^{\circ}C$ تا $720^{\circ}C$ کاهش داد. این موضوع را می‌توان با عدم تشکیل عیب نیامد در دمای ریخته‌گری $720^{\circ}C$ در شکل‌های ۴-۳ و ۴-۴ بررسی کرد.

نکته حائز اهمیت اینکه، زمانی که از کلاهک خوراک دهنده جهت افزودن قرص بهساز استفاده می‌شود، کلاهک باید تمیز باشد و عاری از روغن، زنگ زدگی و رطوبت باشد، با توجه به حجم کم مذاب در صورت استفاده از کلاهک کثیف عملیات کیفی بالعکس صورت می‌گیرد، زیرا حدود ۴ درصد NaOH کافی است تا هیدروژن کافی برای حل شدن در ذوب را فراهم کند [۲۳]. پیشنهاد می‌شود که کلاهک حتماً توسط پوشش Diecoat، پوشش داده شود و سپس به خوبی خشک گردد. که اغلباً اینکار توسط پوشش Diehole صورت می‌پذیرد [۱۲].

۵-سادگی، انجام پذیری، ابتکار و خلاقیت

بدون تردید فناوری و دانش تخصصی در رشد و بالندگی صنعتی نقش انکار ناپذیری بر عهده دارد، که این شرایط در گروهی ابتکار و خلاقیت بر پایه دانش و آگاهی نهاده شده است. لذا با رعایت موارد ذکر شده و نیازهای عملکردی قطعه، شرایط مسابقه برای یک قطعه و محدودیت‌های اجرایی و تحقیق در خصوص استانداردهای زیربط اقدام به طراحی اولیه قطعه گردید که پس از بررسی، یک طرح پیشنهادی مطرح گردید.

- ساخت مدل چوبی با مواد ارزان و موجود از جنس چوب به طوری که گفته شد (شکل ۵-۱)
- ساخت مدل آلومینیومی که همان مدل چوبی قالبگیری می‌شود و ذوب آلومینیومی آن ریخته‌گری شد (شکل ۵-۲)
- مدل‌های سیستم راهگاهی به دلیل سادگی از جنس چوب انتخاب شد.
- استفاده از مدل تغذیه از جنس مدل‌های فدا شونده (اسفنج) که با توجه به مکان آن، علاوه بر عملکرد مطلوب مبرد و تغذیه همچنین حفظ جهت دار نمودن انجماد، موجب حذف طراحی و ساخت جعبه ماهیچه گردیده است.
- توان قالبگیری با دو روش با استفاده از سه لنگه و دو لنگه درجه، که با توجه به نوع درجه‌های موجود و موارد گفته شده سه لنگه درجه با توجه به اطمینان حاصله و راحتی در قالبگیری ارجحیت داده شد. به طوری که قالبگیری آن در شکل ۵-۳ نشان داده شده است.
- سهولت در جداسازی سیستم راهگاهی و تغذیه .
- انجام پذیری این قطعه با تلاشی که به عمل آمد، ریخته‌گری این قطعه به طور آزمایشی صورت گرفت و نتیجه آن تضمین سلامت قطعه بود. (شکل ۵-۴)



شکل ۵-۴. نمایی از قطعه ریخته شده به طور آزمایشی.

- استفاده از مبرد که علاوه بر جهت دار نمودن انجماد، همچنین پدید آورنده رشد ستونی دانه‌ها در راستای طولی استوانه می‌باشد (که این مهم در خواص مکانیکی مد نظر بسیار تاثیر گذار می‌باشد). همچنین این مبردها، موجب حذف حفرات

انقباضی و کاهش ابعاد تغذیه و در نتیجه افزایش راندمان ریخته‌گری می‌شود. و همچنین ایجاد یک شرایط بهینه برای عدم تشکیل پارگی گرم را بوجود خواهد آورد.

- استفاده از پوشش قالب گرافیت برای افزایش سیالیت و در نتیجه ریخته‌گری در دمای بارریزی پایین‌تر.
- پر شدن قالب بر خلاف جهت گرانش که خود طبق تحقیقات به عمل آمده یکی از روش‌های تولید قطعه با سلامت کامل است.

- استفاده از به روزترین نرم‌افزارهای CAD (CatiaV5، Solidwork 2015) که شرایط را علاوه بر نقشه‌کشی مناسب، همچنین سهولت در مش‌سازی طرح‌ها را فراهم می‌آورد.

- استفاده از به روزترین نرم‌افزار شبیه‌ساز ریخته‌گری (Procast 2013) که به موجب این نرم‌افزار و در نظر گرفتن کلیه عوامل دخیل در این فرایند ریخته‌گری، امکان بررسی و ارزیابی طرح‌های پیشنهادی و بهینه‌سازی سیستم راهگاهی و ابعاد تغذیه و مبردگذاری میسر گردید، که در این مورد شرایط مورد بررسی به شرح ذیل می‌باشد:

✓ ردیابی نقاط داغ و مک‌های انقباضی و آنالیز حرارتی قطعه در خصوص تعبیه سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری.

✓ تجزیه و تحلیل جریان سیال

✓ بررسی نحوه پر شدن و میزان یکنواختی در تمامی مراحل پر شدن قالب از مذاب

✓ پیش بینی نواقص احتمالی در خصوص حفرات انقباضی

✓ بررسی نحوه انجماد و دادن ایده برای جهت دار شدن انجماد

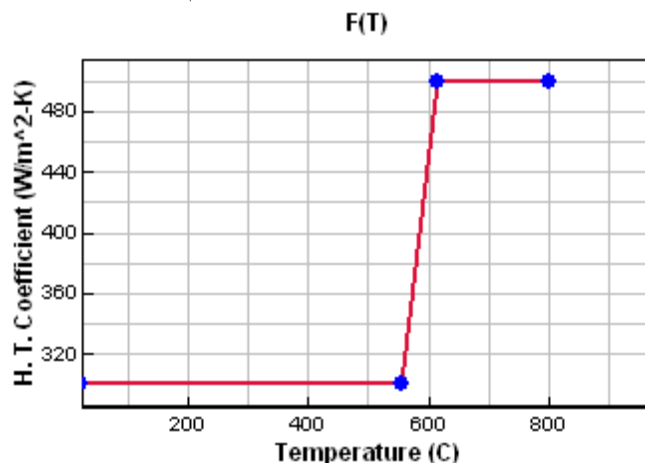
✓ بهینه کردن سیستم راهگاهی و ابعاد تغذیه

✓ اطمینان از عملکرد صحیح تغذیه

✓ امکان بررسی احتمال تشکیل پارگی گرم در قطعه

✓ امکان بهینه سازی دمای بارریزی با انتخاب نوع پوشش

از نکات مثبت این نرم افزار Procast2013، نسبت به ورژن‌های پایین‌تر متداول 2009 توان استفاده از یک نرم افزار جانبی شبیه‌ساز Visual-Environment 9.6 بود که علاوه بر بهینه شدن کلیه پارامترها، همچنین کلیه پیش فرض‌های لازم برای آلیاژ A356 و قالب ماسه CO₂ در نظر گرفته شده بود. به طوریکه در شرایط فصل مشترک A356/Silica sand، در نظر گرفتن ضریب انتقال حرارت (H.T. Coefficient) بر حسب دما (Temperature) یکی از نکات بهینه این نرم افزار به حساب می‌آید. (شکل ۵-۵).



شکل ۵-۵. ضریب انتقال حرارت فصل مشترک آلیاژ A356 با قالب ماسه‌ای CO₂ بر حسب دما.

۶- برآورد تقریبی هزینه تولید و توجیه اقتصادی طرح

عرضه یک فرآورده جدید مهندسی مستلزم ساختن چندین طرح و شبیه‌سازی، رسیدن به تصمیمات اقتصادی و همچنین انتخاب مواد و برگزیدن فرایندهای ساخت است، این فرایندها به هم متکی هستند و نباید به تنهایی و جدا از یکدیگر انجام شوند، به این دلیل که مواد و فرایندهایی که در ساخت یک فرآورده به کار می‌روند می‌توانند تاثیر زیادی بر طراحی، هزینه و عملکرد آن داشته باشند. با توجه به این نکات و شرایط مسابقه برای تولید یک قطعه، توجیحات اقتصادی به شرح زیر می‌باشد.

شبیه‌سازی: کاهش حجم آزمایشات همراه با سعی و خطا در دستیابی به طراحی بهینه و تدوین تکنولوژی، ایجاد روش‌های نوین و موثر کنترل فرایندهای تولید، زمینه‌سازی بهتر برای ظهور خلاقیت و ابتکار مهندسان، کاهش مدت زمان میان طراحی و تولید و مهم‌تر از همه صرفه جویی‌های اقتصادی ازدست آوردهای شبیه‌سازی رایانه‌ای است. با استفاده از نرم افزار شبیه سازی به روز شده که توسط افراد گروه شبیه‌سازی صورت گرفته است، طرح‌های مختلفی پیاده شد که با بررسی شرایط جریان سیال و انجمادی شرایط بهینه‌ای از طرح حاصل شد. که با توجه به حصول اطمینان اقدام به ساخت مدل شد.

مدل: این نکته حائز اهمیت است که ساخت مدل چوبی و آلومینیومی توسط افراد گروه صورت گرفته (بر حسب حرفه هر عضو) و به غیر از هزینه مواد اولیه هیچ گونه هزینه‌ای برای ساخت مدل صورت نپذیرفت. با این شرایط طراحی مدل به طوری است که اگر توسط مدلساز بخواهد صورت گیرد با توجه به تحقیقات به عمل آمده هزینه‌ای بالغ بر ۲۸۰۰۰۰۰ ریال در پی خواهد داشت. که این کم هزینه‌ترین روش ساخت این مدل است. و در صورتی که مدل به ریخته‌گری جهت ریخته‌گری این آلیاژ داده شود حدود ۱۴۰۰۰۰ ریال هزینه می‌برد. به طوری که اگر از جعبه ماهیچه برای ساخت مدل استفاده شود و بعد از آلومینیومی کردن آن و پرداختکاری مدل و جعبه ماهیچه، این مقدار به ۶۰۰۰۰۰۰ ریال خواهد رسید. همچنین در صورتی که مدل بدون جعبه ماهیچه توسط دستگاه CNC تولید شود هزینه آن ۶۰۰۰۰۰۰ ریال خواهد شد. همچنین ساخت این مدل به صورت افقی یا عمودی روی صفحه مدل هزینه‌ای بالغ بر ۱۱۰۰۰۰۰۰ ریال را نیز اتخاذ می‌کند.

انتخاب مدل برحسب تیراژ تولید: همانطور که گفته شد برای تولید یک قطعه در شرایط مسابقه، و حتی مثلاً تولید این قطعه برای ۱۰ تا ۲۰ عدد، روش ساخت مدل روش پیشنهادی است. زیرا به طور مثال در صورت استفاده از مدل با جعبه ماهیچه علاوه بر هزینه بالای ساخت مدل، زمان قالبگیری طولانی‌تر و همچنین مصرف گاز CO₂ و مصرف چسب نیز زیاد خواهد شد. حال در صورتی که نیاز به تولید قطعات، در روز بالا باشد، مسلماً استفاده از مدل با جعبه ماهیچه به صرفه‌تر است و به سرعت قالبگیری صورت می‌گیرد. اصولاً برای تیراژهای بالا از دو فرد کارگر که یک نفر قالبگیر و نفر دیگر ماهیچه گیر است استفاده می‌شود.

انتخاب نوع کوره: با توجه به حجم کم کوره الکتریکی، این کوره مناسب برای ذوب می‌باشد. این در حالی است که با توجه به محدودیت‌های کوره زمینی از لحاظ کیفی و زیست محیطی، شرایط برای سوخت‌های تجدید ناپذیر بسیار حساس است. به طوری که گاز متان سوختی استراتژیک محسوب می‌شود. همچنین قیمت سوخت‌های سیاه نیز رو به افزایش است این در شرایطی است که سازمان محیط زیست به شدت به عرضه آن به صنایع ریخته‌گری‌ها مخالفت می‌کند. از طرفی با توجه به اتلاف بالای عناصر آلیاژی در این کوره‌ها، استفاده از کوره‌های الکتریکی توجیه اقتصادی تری را دارا می‌باشد.

قطعه: یکی از مهم‌ترین اهداف اقتصادی در یک عملیات ریخته‌گری موفق، تولید محصولی است که بتوان آن را با قیمتی حداقل برابر با قیمت ساخت آن، به بازار عرضه کرد. همچنین تصور آینده‌ای روشن برای فرایند ریخته‌گری، بدون امکان تولید قطعات با کیفیت، چندان روشن نیست. بدین ترتیب، هر چند که تولید قطعات مناسب ریخته‌گری می‌تواند به صرف و سود آور باشد، ولی تولید محصولات

بی کیفیت معمولا خسارت بار خواهد بود. در نتیجه طرح اعمالی با توجه به نتایج شبیه سازی و قطعه ریخته شده سلامت و کیفیت مناسب را دارا می‌باشد.

۷- توجیه زیست محیطی طرح و فرایند تولید

ورود مستقیم یا غیر مستقیم هر عاملی توسط انسان که احتمال ایجاد اثرات نامطلوب بر سلامتی انسان و محیط زیست را داشته باشد، خطرات جبران ناپذیری را به دنبال خواهد داشت. گازهای حاصل از سوختن، آلودگی‌های صوتی، تولید گرد و غبار و ... از جمله این شرایط است.

انتخاب نوع کوره: همانطور که گفته شد کوره الکتریکی انتخابی، علاوه بر افزایش راندمان ریختگی و کاهش آلودگی‌های مذاب، محیط زیست سالمی را فراهم می‌آورد. به طوریکه اگر کوره زمینی انتخاب می‌شد علاوه بر کاهش راندمان و افزایش آلودگی‌های مذاب، همچنین آلودگی زیست محیط با تولید گازهای ناشی از احتراق و همچنین آلودگی صوتی را نیز به همراه می‌آورد. تحقیقات نشان داده که همچنین تشعشع و حرارتی که مواد به هنگام ذوب ایجاد می‌شود در کوره‌های زمینی عوارض مانند خیرگی چشم و سوختگی ناشی از تشعشع حرارت در پوست بدن ایجاد می‌کند. همچنین کوره مقدار زیادی مونوکسید کربن تولید می‌نماید که این گاز سمی غافل گیر کننده‌ای است و اگر مقدارش در محیط به اندازه کافی بالا برود می‌تواند اثرات مضر در پی داشته باشد [۲۵].

انتخاب نوع گاززدا: همانطور که گفته شد استفاده از قرص‌های دگازور جهت گاززدایی ذوب با تولید گاز هگزاکلرور اتان که حاوی گاز فعال کلر است به شدت سمی است. به خصوص اینکه زمانی که در یک بوته توسط فرد باید گاززدایی شود، آن فرد به شدت تحت تاثیر گاززدایی قرار می‌گیرد. پس انتخاب گاز خنثی آرگون علاوه بر شرایط متالورژیکی مطلوب شرایط محیط زیست سالمی را فراهم می‌آورد.

انتخاب روش بهسازی: این نکته حائز اهمیت است که استفاده از مواد بهساز برای آلیاژ A356 با توجه به خواص مکانیکی مورد نظر و اصلاح ساختار به شدت نیاز است. حال امروزه تحقیقاتی در خصوص اضافه کردن مواد بهساز به داخل قالب در حین ریختن مذاب صورت می‌گیرد ولی نتایج بدست آمده از این موضوع هنوز در دسترس نیست، علاوه بر این موضوع این شرایط نیاز دقیق به کنترل فرایند همانند میزان سطح تماس مذاب با این مواد و در پی تحقیقات صورت گرفته نیاز به یک سری شبکه‌های فلزی است که مذاب برای انجام واکنش با بهساز فرصت لازم را داشته باشد. در نتیجه سعی شد تا هنگام بهسازی از مقدار بیش از حد استفاده نشود و مذاب تحت فلاکس پوششی کاورال قرار گرفته باشد.

ماسه CO₂: ماسه طبیعی از لحاظ برگشت پذیری و قابلیت استفاده نسبت به ماسه CO₂ بهتر است. حال با توجه به شرایط همانند کیفیت سطح و پایداری و عوامل گفته شده ماسه CO₂ استفاده می‌شود. که البته این حجم از ماسه قابلیت برگشت پذیری دارد به طوری که در صنایع ریخته‌گری نیز در هر مرحله از درست کردن ماسه از این ماسه‌ها به عنوان ماسه برگشتی به داخل میکسر اضافه می‌شود، که به عنوان ماسه برگشتی برای پشت بند قالب و جاهایی که با سطح تماس قالب مواجه نیست استفاده می‌شود. همچنین سعی شده تا در پشت بند لنگه اول از ماسه طبیعی استفاده شود.

منابع و مراجع

- [۱] اصول طراحی مدل‌ها و قالب‌های ریخته‌گری، Rolf Roller، ترجمه عبدالمولی نژاد، چاپ اول، پاییز ۱۳۷۵، انتشارات موسسه نشر علوم نوین.
- [2] Casting practice: The 10 Rules of Castings, Jhon Cambell, First published 2004, Elsevier Butterworth-Heinemann.
- [3] Casting Design and performance, Lichun L. Chen, Chair, First printing, November 2009, ASM International.
- [۴] اصول متالورژی ریخته‌گری، حسن ثقیان لارجانی و منصور امامی، ۱۳۸۱، انتشارات چاپ و نشر کتاب‌های درسی.
- [۵] ریخته‌گری پیشرفته، جلد دوم، John Campbell، ترجمه سید محمد علی بوتربی و صابر بالی، چاپ چهارم، ۱۳۸۹، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.
- [6] The Feeding of Castings, John Cambell and Richard A. Harding, IRC in Materials, The University of Birmingham.
- [7] Metal Casting : A sand Casting Manual for the Small Foundry Vol. 2, Stephen D. Chastain, January 2004.
- [۸] تغذیه گذاری در ریخته‌گری قطعات فولادی، رئوف پرورش، چاپ دوم، فروردین ۱۳۸۴، انتشارات انجمن ریخته‌گری ایران.
- [۹] ریخته‌گری فلزات غیر آهنی، جلال حجازی، چاپ ششم، خرداد ۱۳۸۳، انتشارات آزاد.
- [۱۰] نگرشی نوین بر طراحی سیستم‌های راهگاهی، محمد علی بوتربی، چاپ اول، اردیبهشت ۱۳۷۶، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.
- [۱۱] ریخته‌گری پیشرفته، جلد اول، John Campbell، ترجمه سید محمد علی بوتربی و صابر بالی، چاپ چهارم، ۱۳۸۹، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.
- [12] Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook, John R. Brown, Eleventh edition 1999, Eleventh Butterworth-Heinemann.
- [۱۳] چدن‌های داکتیل، ضروریات طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری، دکتر محمدرضا نصر اصفهانی، چاپ اول، ۱۳۸۹، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
- [۱۴] محاسبات فنی تخصصی، سیاوش نظم دار شهری، ویرایش دوم ۱۳۸۱، انتشارات چاپ و نشر کتاب‌های درسی.
- [۱۵] اصول تکنولوژی ریخته‌گری، حسن ثقیان لارجانی و منصور امامی، ۱۳۸۱، انتشارات چاپ و نشر کتاب‌های درسی.
- [۱۶] مواد قالبگیری برای ریخته‌گری فلزات، محمد حسین فتحی، چاپ پنجم، بهار ۱۳۸۳، انتشارات نشر ارکان اصفهان.
- [17] S. Li., K. Sadayappan., D. Apelian., Characterisation of Hot Tearing in Al Cast Alloy: Methodology and Procedures, "International Journal of cast Metals Research", Vol. 24, No 2, PP. 88-95, 2011.
- [۱۸] بررسی تأثیر نوع پوشش و قالب بر سیالیت آلیاژ یوتکتیک Al-Si در ریخته‌گری مقاطع نازک، حامد میرزاده، حامد سلیمانی، بهزاد نیرومند، مجله آلومینیوم، شماره ۱۴، ۱۳۸۴.
- [۱۹] اطلس عیوب قطعات ریخته‌گری، دکتر جلال حجازی، دکتر پرویز دوامی، چاپ سوم، پاییز ۱۳۸۴، انتشارات آزاده.

[20] ASM Handbook", Formmely Ninth Edition, Metals Handbook Volume 15 Casting.

[21] J. Wang, S. He, B. Sun, Q. Guo and M. Nishio, "Grain Refinement of Al-Si Alloy (A356) by Melt Thermal Treatment," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 141, pp. 29- 34, 2003.

[22] Foseco Foundryman Handbook, John R. Brown, Eleventh edition, May-1994, Eleventh Butterworth-Heinemann.

[۲۳] بهینه سازی و کنترل پارامترهای موثر بر ریخته‌گری ماسه‌ای آلیاژ A356 آلومینیوم، مهدی قبادی،، علی شفیعی،، عباس نجفی‌زاده،، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۷۹.

[24] Large Deformation Behavior of Cast A356 Aluminum Alloy Under Uniaxial Tension, Compression and V-Bending, M. Mahmoud., Marzouk, B.Sc., A Thesis Submitted to the school of Graduate Studies, Mechanical Engineering Department, McMaster University, Hamilton, Ont., Canada, 2012.

[۲۵] راهنمای بهداشت حرفه‌ای در ریخته‌گری، دکتر عبدلرحمن بهرامی،، دکتر نوشین راستکاری،، تابستان ۱۳۹۱، پژوهشکده محیط زیست.

جدول ۱-۲. مشخصات آلیاژ A356 طبق استاندارد ASTM B618-02

NOTE 1— 1 indicates best of group, 5 indicates poorest of group.

B 618 - 02¹

Alloy	Pattern Shrinkage Allowance, in. ft ^A [mm/m]	Approximate Melting Range, ° F ^B [°C]	Resistance to Hot Cracking ^C	Pressure Tightness	Fluidity ^D	Solidification Shrinkage Tendency ^E	Normally Heat Treated	Resistance to Corrosion ^F	Machining ^G	Polishing ^H	Electroplating ^I	Anodizing (Appearance) ^J	Chemical Oxide Coating (Protection) ^K	Strength at Elevated Temperature ^L	Suitability for Welding ^M	Suitability for Brazing ^N
ANSI ^O	UNS															
201.0	A02010	1/32 [13]	050-1200 [566-649]	4	3	3	4	yes	4	1	1	2	2	1	4	no
204.0	A02040	1/32 [13]	985-1200 [529-649]	4	3	3	4	yes	4	1	2	1	3	4	1	4
208.0	A02080	1/32 [13]	970-1160 [521-627]	2	2	2	2	yes	4	3	3	2	3	3	3	2
222.0	A02220	1/32 [13]	965-1155 [518-624]	3	3	3	3	yes	4	1	2	1	3	4	1	4
242.0	A02420	1/32 [13]	990-1175 [532-635]	4	3	3	4	yes	4	2	2	1	3	4	1	4
295.0	A02950	1/32 [13]	970-1190 [521-643]	4	4	3	3	yes	3	2	2	1	2	3	3	no
319.0	A03190	1/32 [13]	950-1125 [510-607]	2	2	2	2	yes	3	3	4	2	4	3	3	2
328.0	A03280	1/32 [13]	960-1135 [516-613]	1	1	1	1	yes	3	4	5	2	4	2	2	no
355.0	A03550	1/32 [13]	015-1150 [546-621]	1	1	1	1	yes	3	3	3	1	4	2	2	no
C355.0	A33550	1/32 [13]	015-1150 [546-621]	1	1	1	1	yes	3	3	3	1	4	2	2	no
356.0	A33560	1/32 [13]	035-1135 [557-613]	1	1	1	1	yes	2	4	5	2	4	2	3	2
A356.0	A13560	1/32 [13]	035-1135 [557-621]	1	1	1	1	yes	2	4	5	2	4	2	3	2
443.0	A04430	1/32 [13]	065-1170 [574-632]	1	1	1	1	no	3	5	5	2	5	2	4	1

جدول ۲-۲. میزان شیب مدل‌های ریخته‌گری در ماسه با توجه به ارتفاع مدل طبق استاندارد DIN 1511

Height	up to 10	over 10 up to 18	over 18 up to 30	over 30 up to 50	over 50 up to 80	over 80 up to 180
Draft in degree (°)	3	2	1.5	1	0.75	0.5

Height	over 180 up to 250	over 250 up to 315	over 315 up to 400	over 400 up to 500	over 500 up to 630	over 630 up to 800	over 800 up to 1000
Draft in mm	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.5	5.5

Height	over 1000 up to 1250	over 1250 up to 1600	over 1600 up to 2000	over 2000 up to 2500	over 2500 up to 3150	over 3150 up to 4000
Draft in mm	7	9	11	13.5	17	21

جدول ۱-۳. تolerانس‌های درجه کیفیت طبق استاندارد DIN 1511

Features	Quality category		
	M 1	M 2	
Use	Long-run batchwise manufacture using machine moulding and involving high standards	Batchwise manufacture using machine moulding	
Material	Copper/tin/zinc alloy, copper/zinc alloy, aluminium alloys, cast iron and steel	Same as quality category M 1, but also including hard lead and pattern metal (83 % Sn, 17 % Sb)	
Surface quality	Machined all over, apart from difficult transitions	Only parting and guiding surfaces machined, surface of pattern smoothed and scraped by hand	
Fillets	Worked on	As for quality category M 1	
Loose pieces	Dovetail guides	As for quality category M 1	
Wearing edges	With light metal construction, e.g. sheet steel, not under 3 mm	No special instructions	
Core print construction	With sand bars and fillets	As for quality category M 1	
Nominal dimension range 2) over up to		Permissible dimensional deviations	
30	30	± 0,10	± 0,15
50	50	± 0,15	± 0,20
80	80	± 0,15	± 0,25
120	120	± 0,20	± 0,30
180	180	± 0,20	± 0,30
250	250	± 0,25	± 0,35
315	315	± 0,25	± 0,40
400	400	± 0,30	± 0,45
500	500	± 0,30	± 0,50
630	630	± 0,4	± 0,6
800	800	± 0,4	± 0,6
1000	1000	± 0,5	± 0,7
1250	1250	± 0,5	± 0,8
1600	1600	± 0,6	± 1,0
2000	2000	± 0,7	± 1,1
2500	2500	± 0,8	± 1,4
3150	3150	± 1,0	± 1,6
4000	4000	± 1,3	± 2,0
Over 30 mm rounded values to ± 1/2 IT 12		Over 30 mm rounded values to ± 1/2 IT 13	

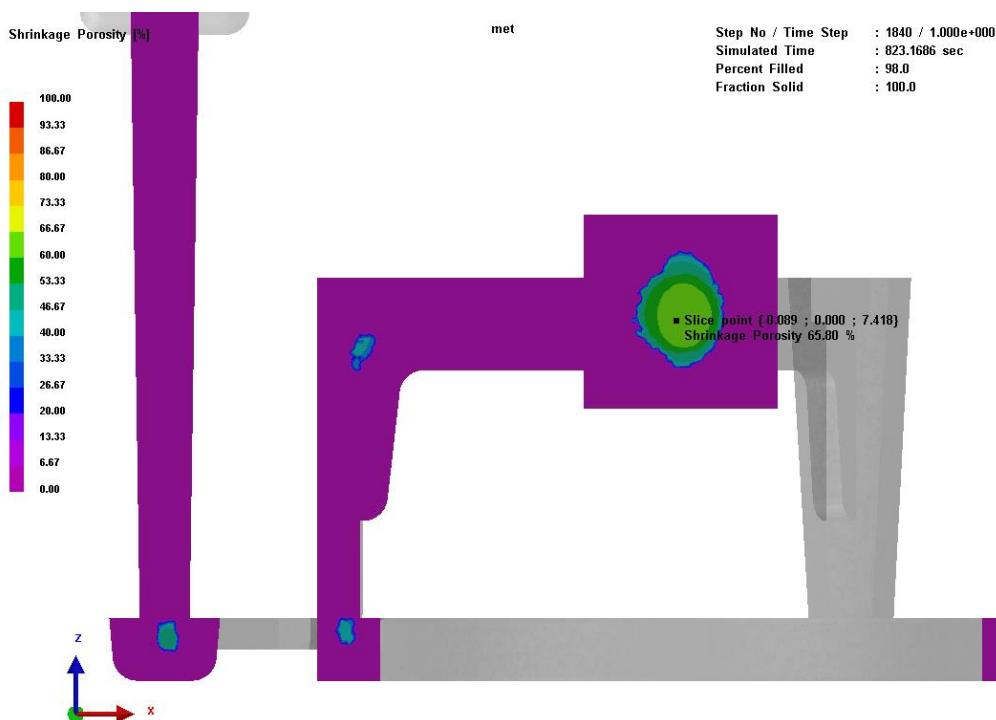
2) See page 4

جدول ۴-۵. فلاکس‌های پوششی مورد استفاده در آلیاژهای آلومینیوم [۱۲ و ۲۲]

Table 4.1 COVERAL fluxes for melting aluminium alloys

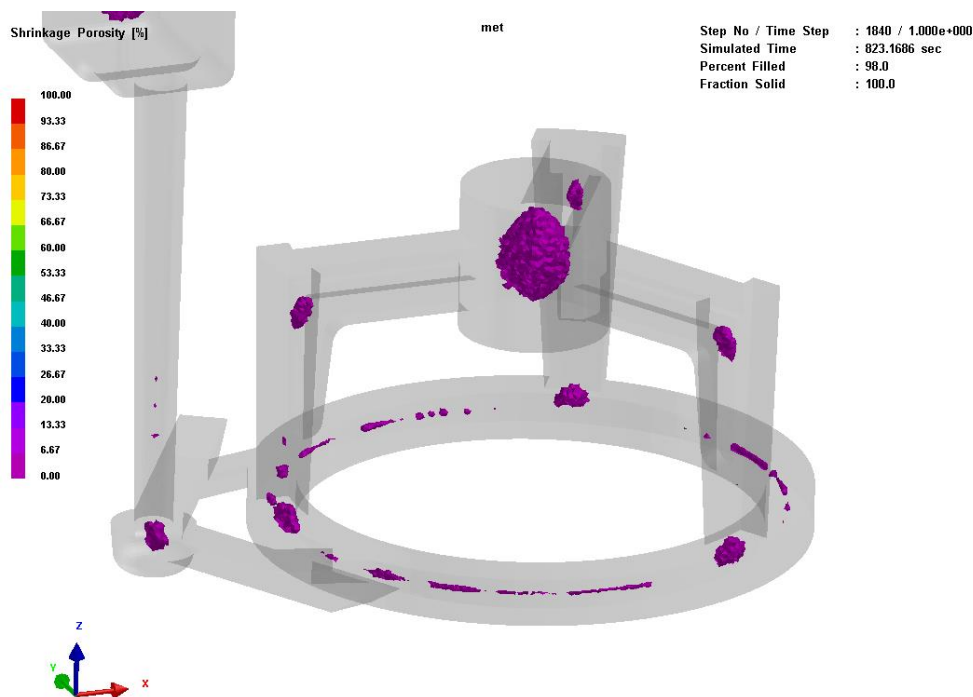
Grade	Flux type	Melt pt °C	Dross type	Melting unit	Alloy type	Remarks	Method of application
5F	Covering Drossing	620	Dry	Large, rev., shaft rot, tilter etc.	All low Mg alloys	Also prevents furnace wall build-up, usually used in smelters	Add half early, rest at final melt-down. Form a complete cover. Use about 0.5–1% of metal weight or 1 kg/m ² of melt area
11	Covering Drossing	–	Dry	Crucible, electric	ditto	Used for ingot and clean scrap melted for sand and diecastings	Add 0.5–1% early and maintain cover. Remove after grain refining/degassing
29A	Modifying	780	Liquid	Crucible, bale-out	9–13% Si	Used at 760–800°C	Melt under COVERAL 11, heat to 800°C, grain refine/degas skim, add 1% COVERAL 29A, work in, leave 5 min., dross off with COVERAL 11
36A	Modifying	670	Liquid	Crucible, bale-out	7–13% Si	Low temp. version of 29A	Melt under COVERAL 11, degas and skim, add 2% COVERAL 36A at around 750°C and stir in, leave 5–10 min. and dross-off with COVERAL 11
48	Refining	590	Liquid	All	Low-Mg alloy scrap	Reclamation of turnings etc.	Melt heel of solid metal, add 1–5% COVERAL 48 to cover, add further flux with swarf additions
65	Covering	500	Pasty	Crucible	3–10% Mg alloys	Sodium free	Add 0.5% with the charge, add a further 2% when molten, stir in at 750°C. Dross-off after grain refinement and degassing
66	Covering	–	Dry	Crucible, bale-out	1–10% Mg alloys	Sodium free	Add about 0.5% at early stage of melting, a further 0.5% when melting is complete. Dross-off after degassing and grain-refinement
75	Covering Drossing	–	Dry	Holding	Low-Mg alloys	Wide temp. range flux for pressure diecasters	Can be used at 600–800°C, scatter 0.25–0.5% on metal surface and rabble gently until exotherm develops. Push aside remove before taking ladles
88	Furnace cleaning	–	–	Reverb., rotary, transfer ladle	–	To remove oxide build-up formed on furnace walls	Preheat empty furnace to 800–850°C, spray walls using Foseco flux gun, reheat for 15 min, then scrape clean. Use once per week
2011	Covering Drossing	–	Liquid	Crucible, electric resist. and induct.	Low-Mg	Low fume covering and drossing flux	Use 0.5–1%, form cover as early as possible and maintain intact. After grain refining and degassing, add further flux, rabble into surface until exotherm, leave 2–3 min., skim

شبه سازی طرح اول



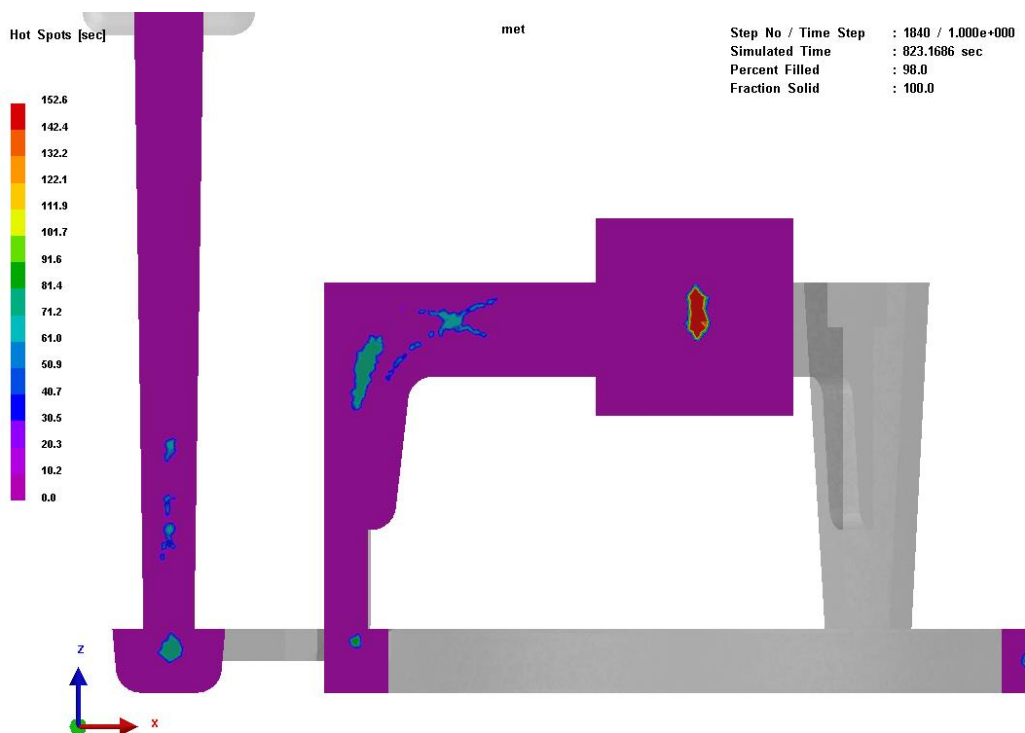
ProCAST

شکل ۲-۲. درصد مک انقباضی قطعه در نمای برشی از طرح اول.



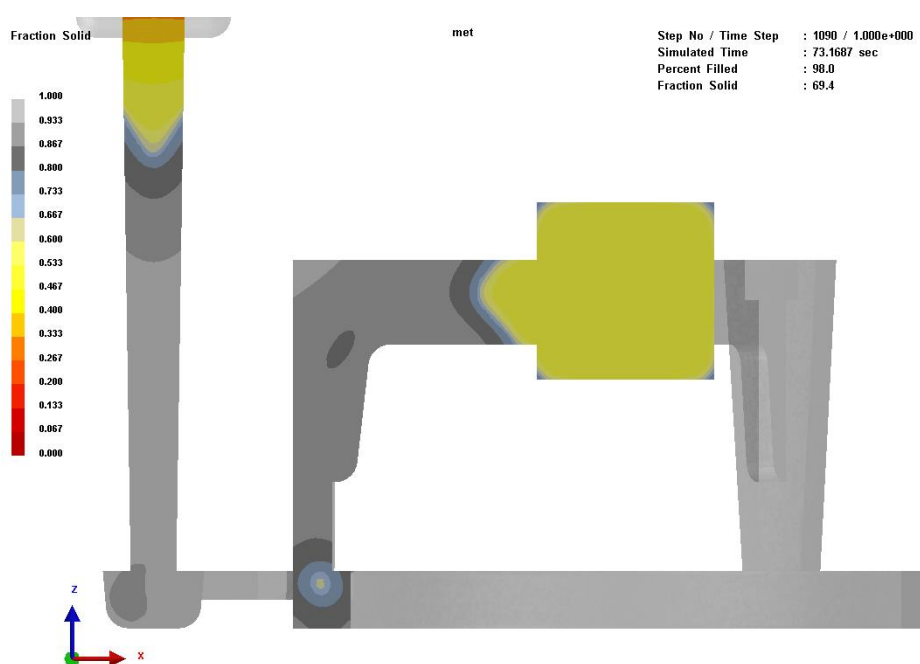
ProCAST

شکل ۲-۳. تشکیل مک‌های انقباضی در محل‌های مختلف قطعه در طرح اول.



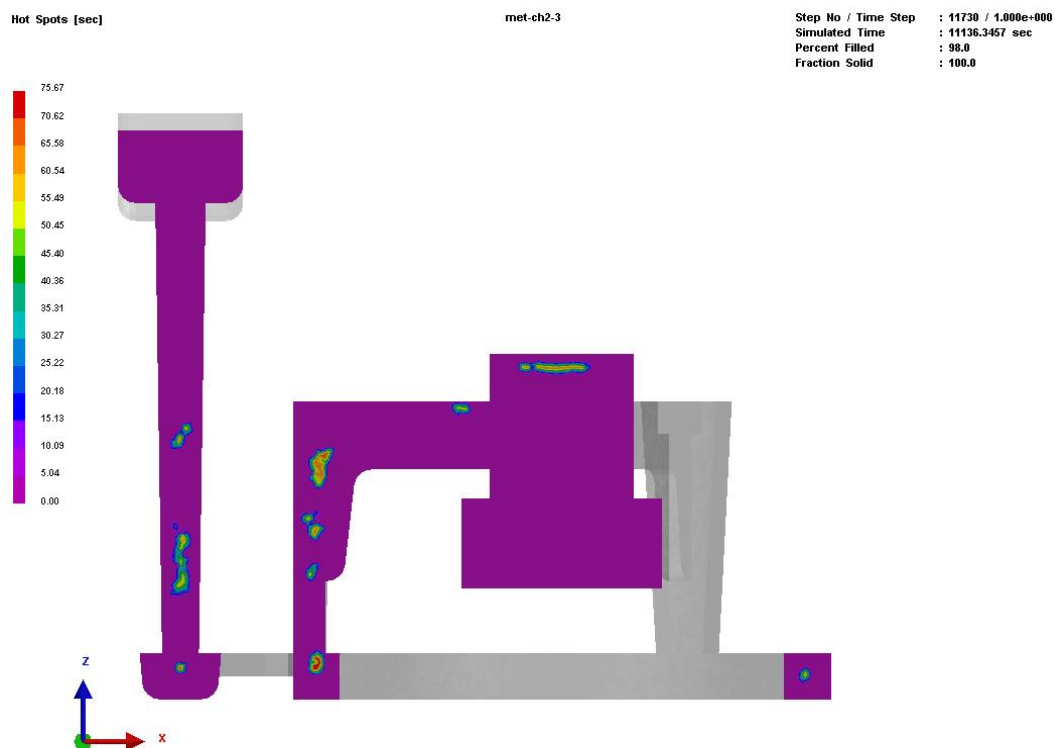
ProCAST

شکل ۲-۴. مناطق گرم احتمالی قطعه در طرح اول.



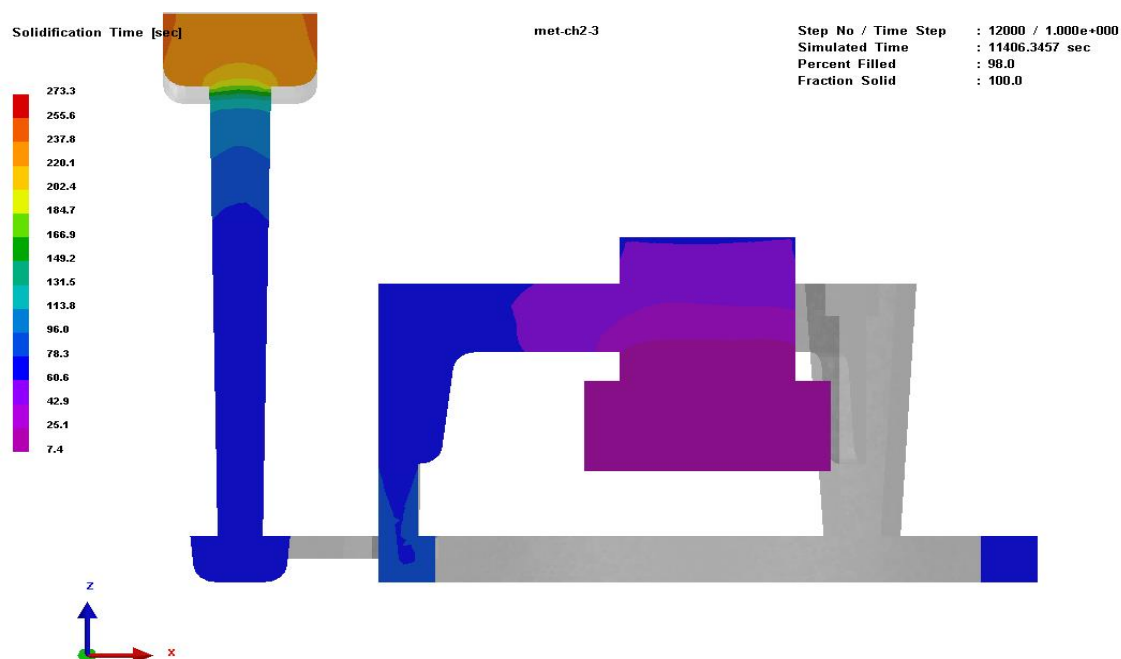
ProCAST

شکل ۲-۵. مقایسه کسر انجماد برای قطعه در طرح اول.



ProCAST

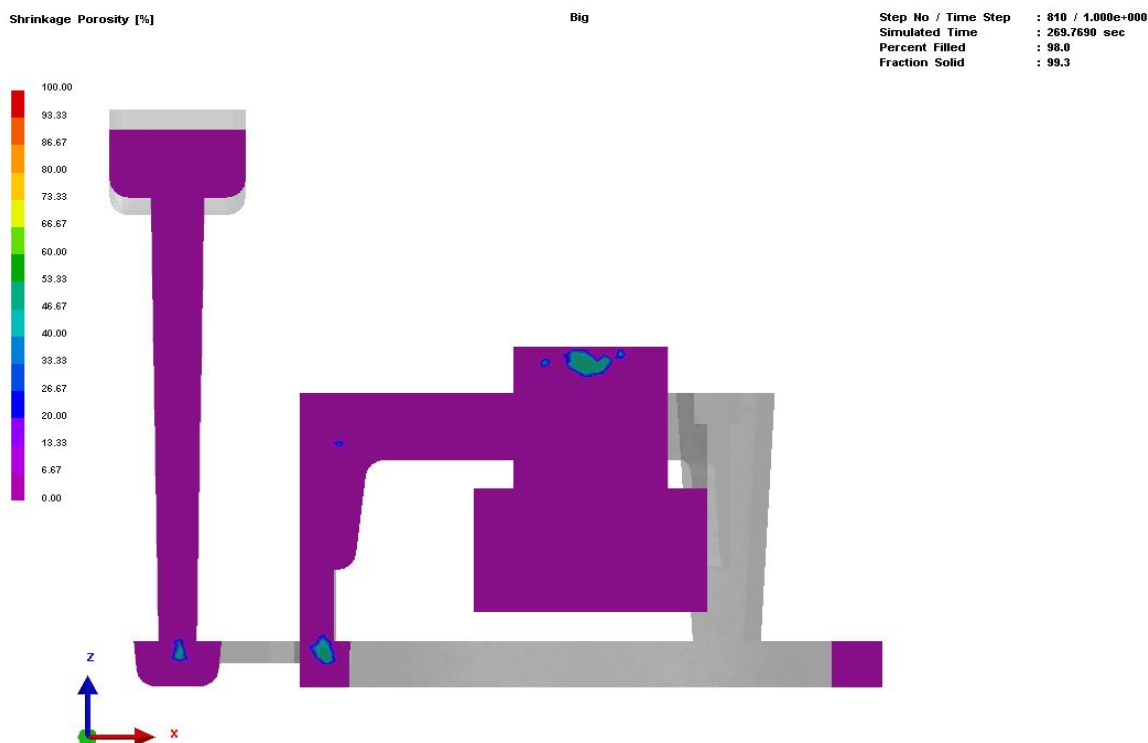
شکل ۲-۸. مناطق گرم احتمالی در قطعه در طرح دوم.



ProCAST

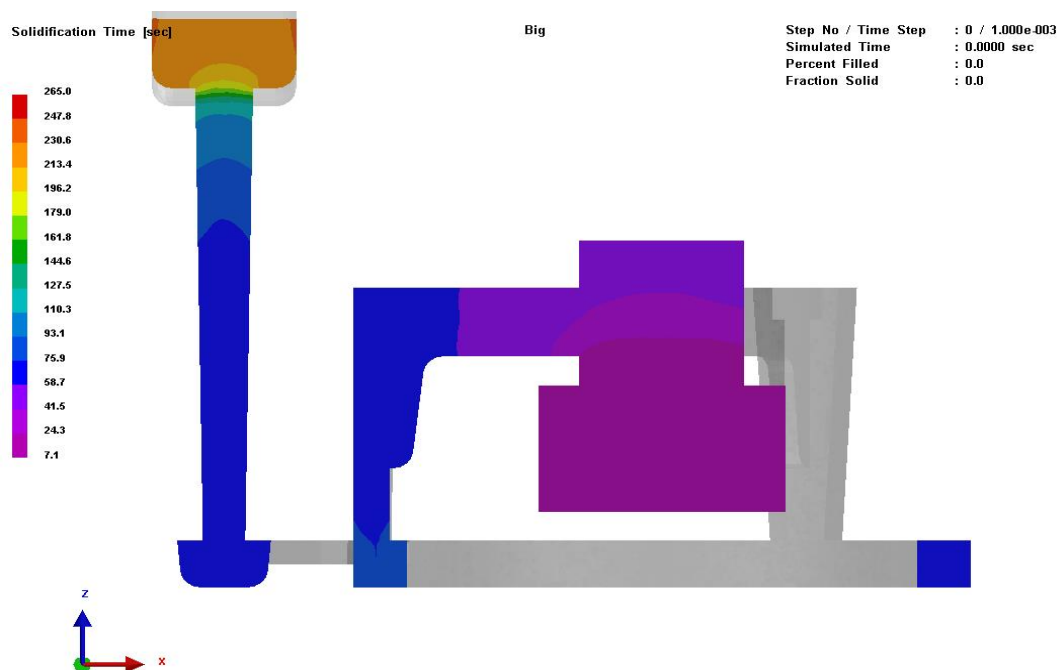
شکل ۲-۹. مقایسه زمان انجماد برای قسمت برش خورده قطعه در طرح دوم.

(استفاده از مبرد بزرگتر)



ProCAST

شکل ۲-۱۰. درصد مک انقباضی قطعه در نمای برشی از قطعه با مبرد بزرگتر.



ProCAST

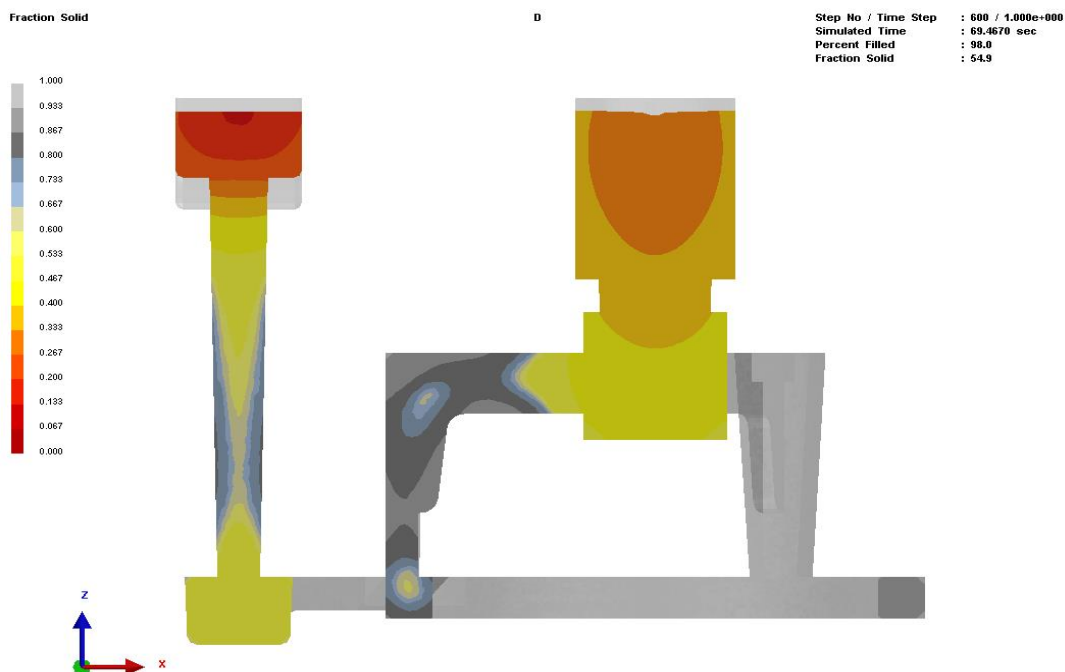
شکل ۲-۱۱. مقایسه زمان انجماد برای قسمت برش خورده قطعه با مبرد بزرگتر.

شبیه سازی طرح سوم (استفاده از تغذیه روباز)



ProCAST

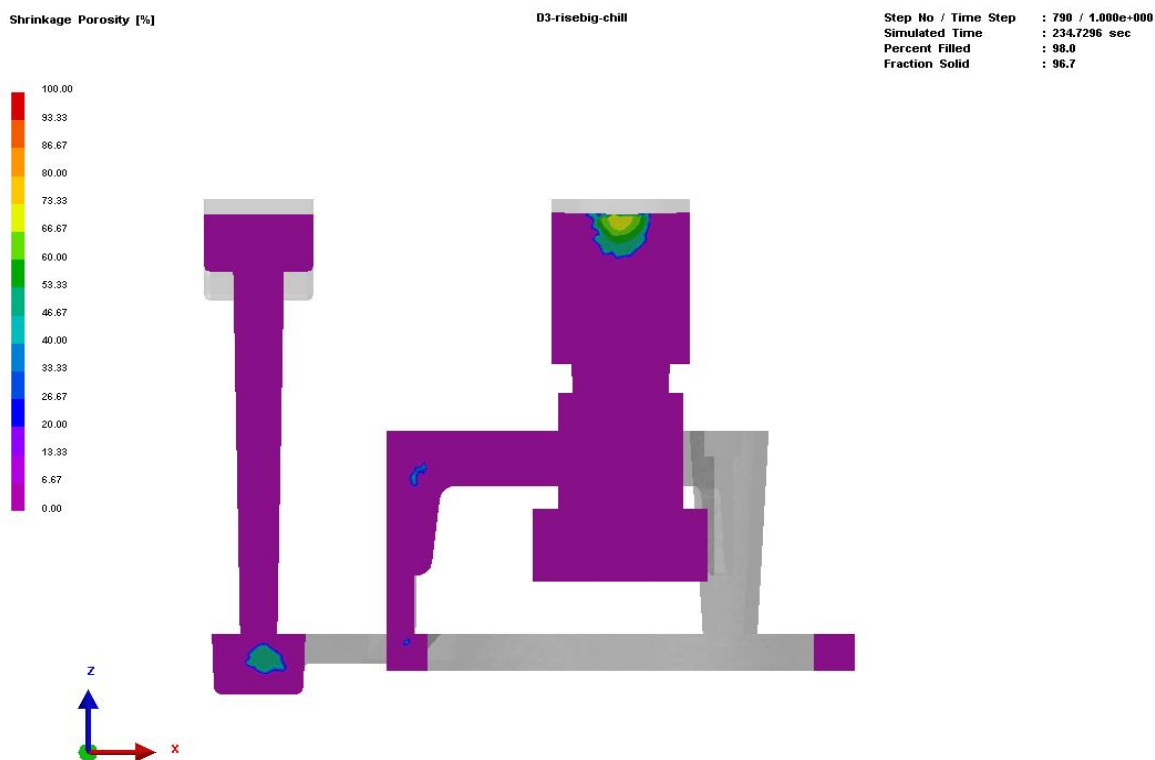
شکل ۲-۱۲. درصد مک انقباضی قطعه در نمای برشی از قطعه با تغذیه بزرگ در طرح سوم.



ProCAST

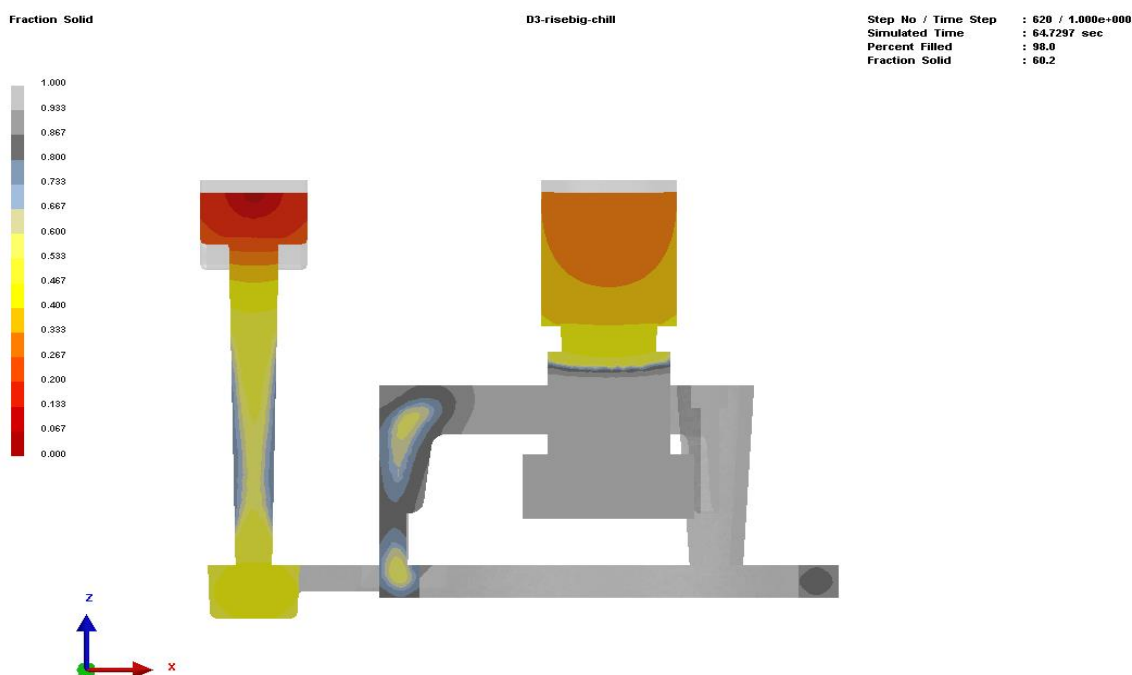
شکل ۲-۱۳. مقایسه کسر انجماد برای قطعه با تغذیه بزرگتر در طرح سوم.

(استفاده از یک تغذیه و مبرد)



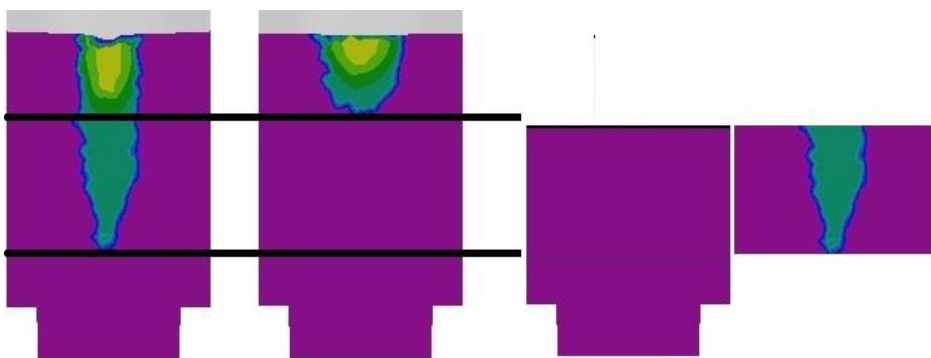
ProCAST

شکل ۲-۱۴. درصد مک انقباضی قطعه در نمای برشی از قطعه با یک تغذیه و مبرد.

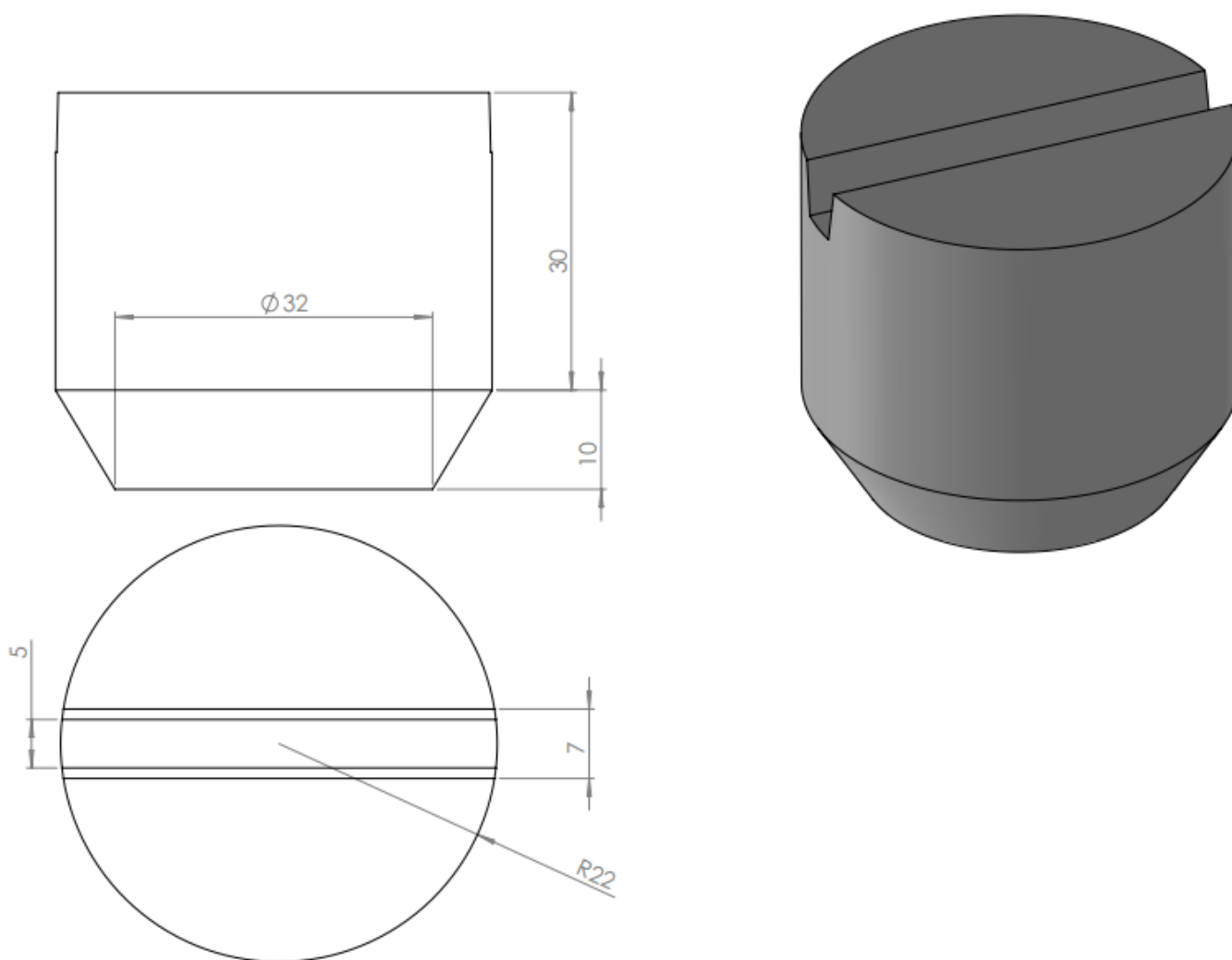


ProCAST

شکل ۲-۱۵. مقایسه کسر انجماد برای قطعه با تغذیه و یک مبرد.

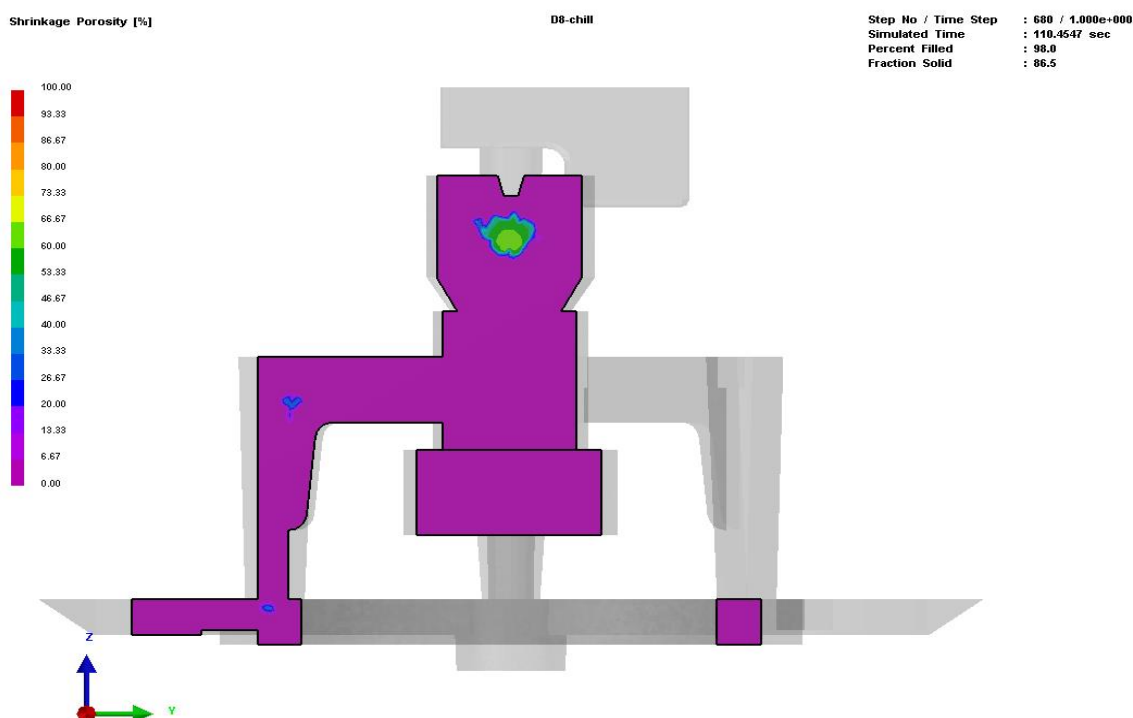


شکل ۲-۱۶. بدست آوردن اندازه بهینه تغذیه.



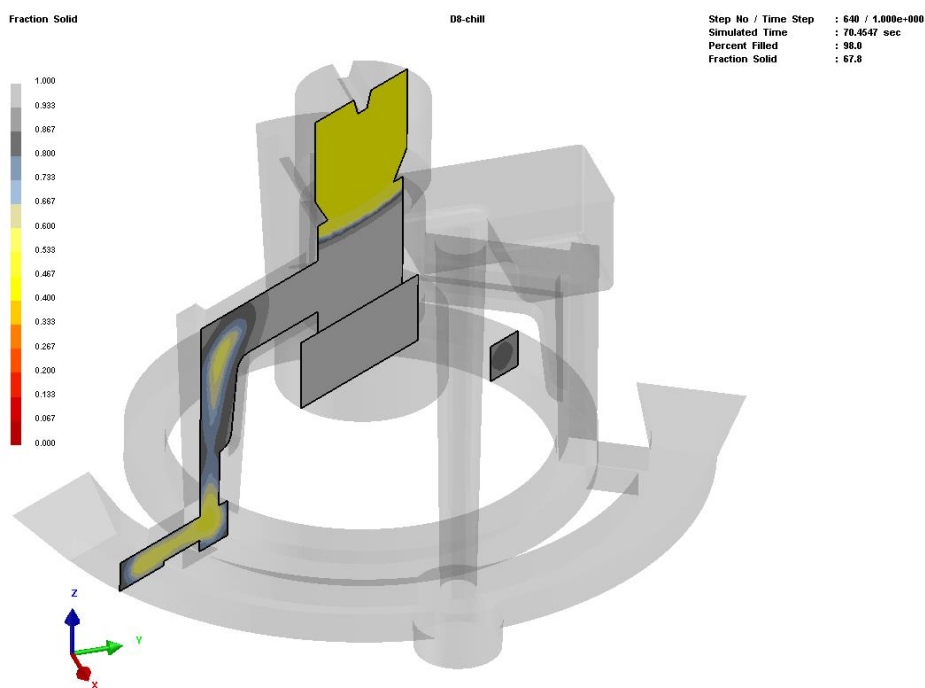
شکل ۲-۱۷. نماهای مختلف تغذیه بهینه شده.

شبیه سازی طرح چهارم (اعمال سیستم راهگاهی چرخشی به بازوها)



ProCAST

شکل ۲-۱۸. درصد مک انقباضی قطعه در نمای برشی از قطعه در طرح چهارم.



ProCAST

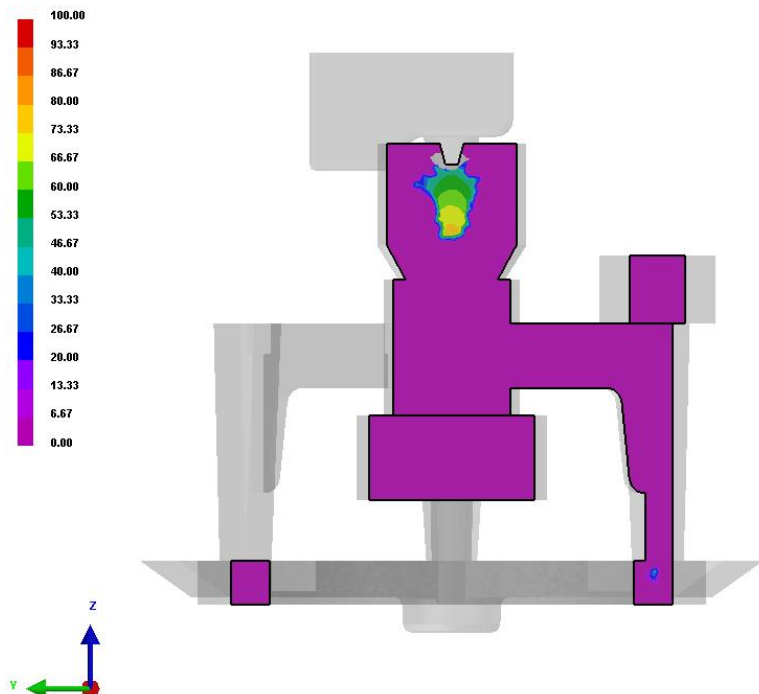
شکل ۲-۱۹. مقایسه کسر انجماد برای قطعه در طرح چهارم.

شبیه سازی طرح پنجم (استفاده مبرد روی بازوها)

Shrinkage Porosity [%]

1

Step No / Time Step : 2330 / 1.000e+000
Simulated Time : 1767.8672 sec
Percent Filled : 98.0
Fraction Solid : 100.0



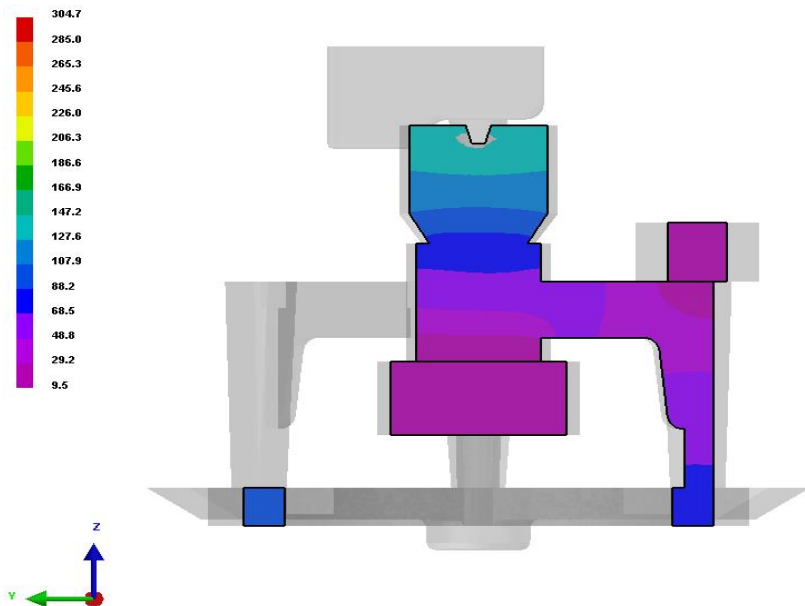
ProCAST

شکل ۲-۲۰. درصد مک انقباضی قطعه در نمای برشی از قطعه در طرح پنجم.

Time to Solidus [sec]

1

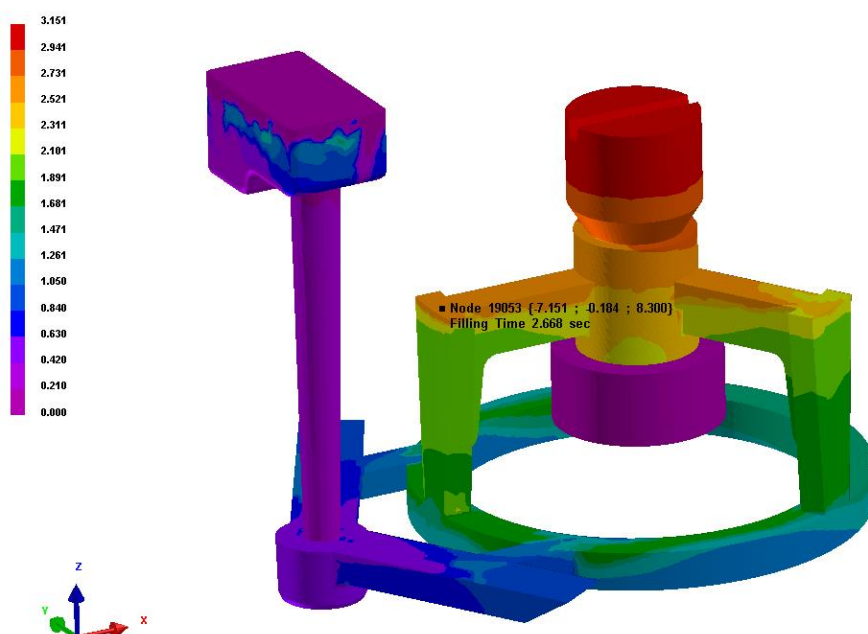
Step No / Time Step : 630 / 1.000e+000
Simulated Time : 67.8672 sec
Percent Filled : 98.0
Fraction Solid : 69.7



ProCAST

شکل ۲-۲۱. مقایسه زمان انجماد برای قسمت برش خورده قطعه در طرح پنجم.

1 : Filling Time [sec]



ProCAST

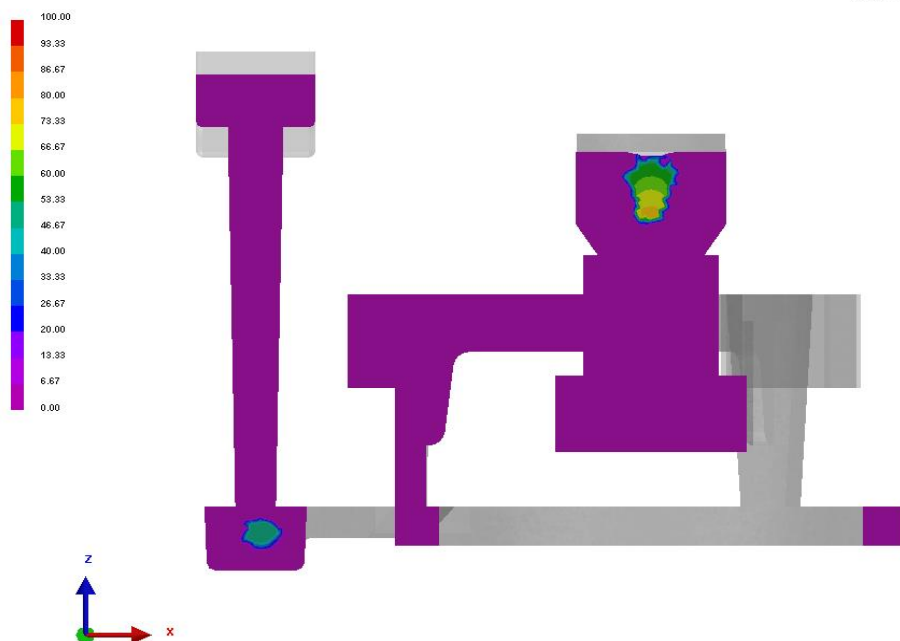
شکل ۲-۲۲. مقایسه زمان پر شدن قالب در قسمت‌های مختلف قالب برای قطعه در طرح پنجم.

شبیه سازی طرح نهایی (استفاده مبرد در کف استوانه‌ای و در طول کنار بازوها)

Shrinkage Porosity [%]

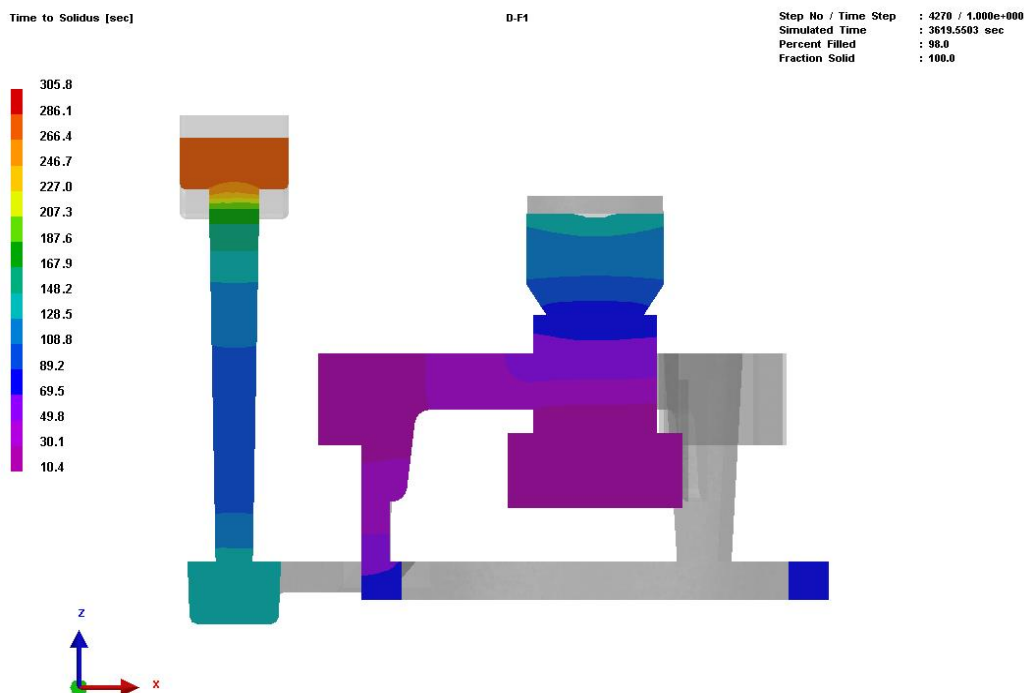
D-F1

Step No / Time Step : 4270 / 1.000e+000
Simulated Time : 3619.5503 sec
Percent Filled : 98.0
Fraction Solid : 100.0



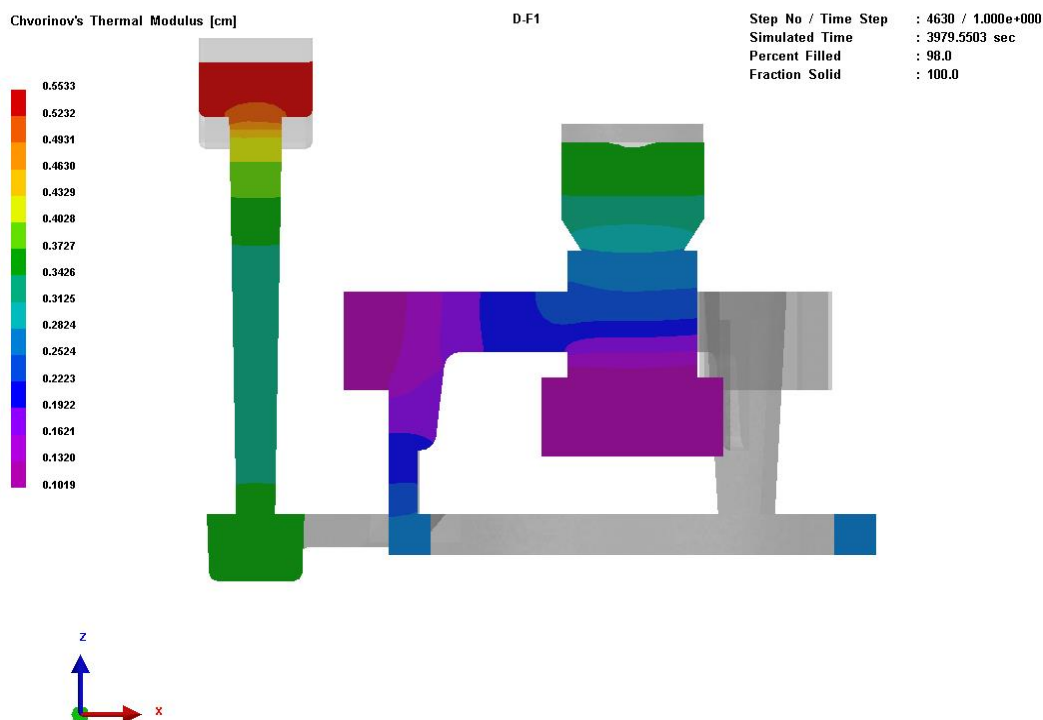
ProCAST

شکل ۲-۲۳. درصد مک انقباضی قطعه در نمای برشی از قطعه در طرح نهایی.



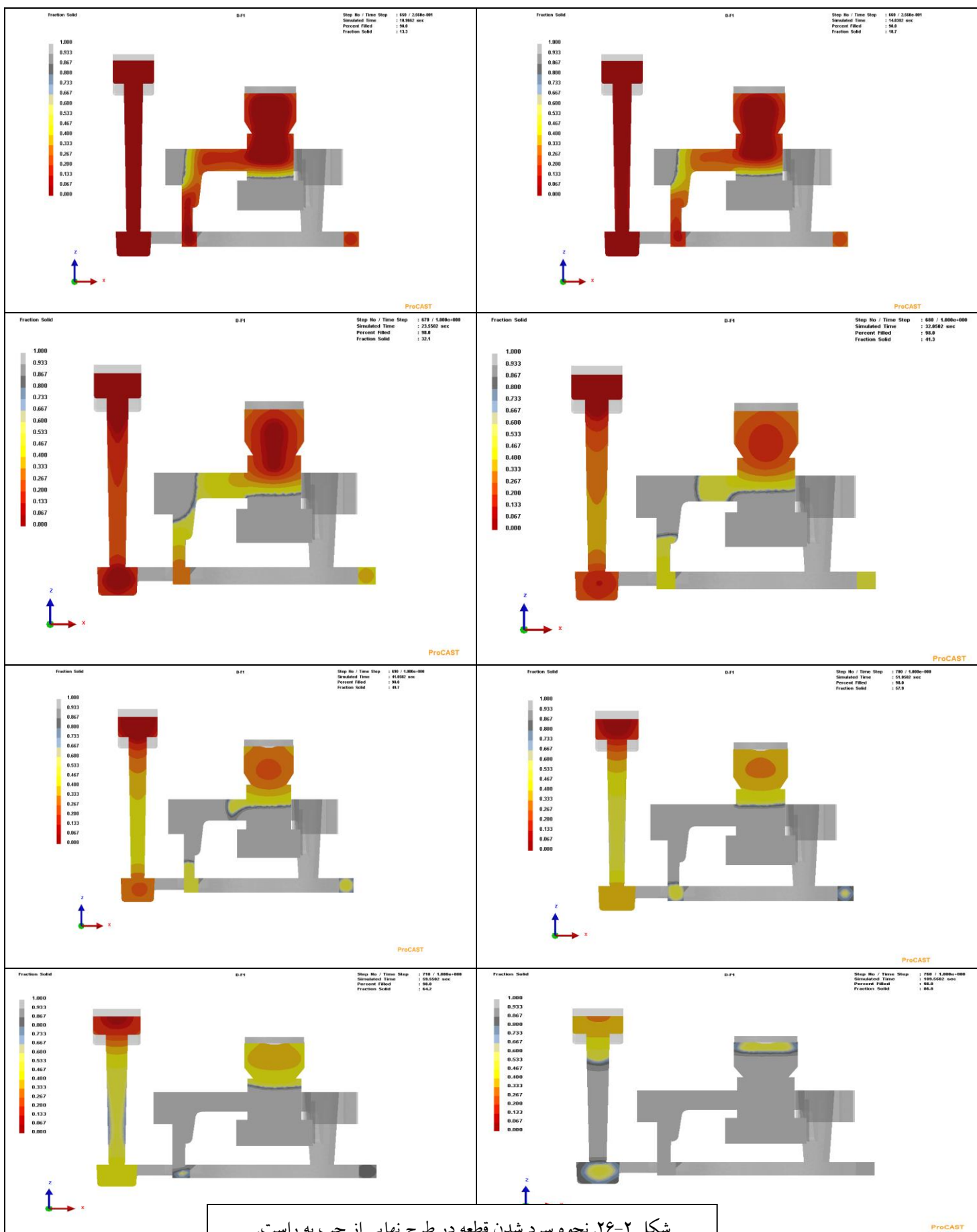
ProCAST

شکل ۲-۲۴. مقایسه زمان انجماد برای قسمت برش خورده قطعه در طرح نهایی.

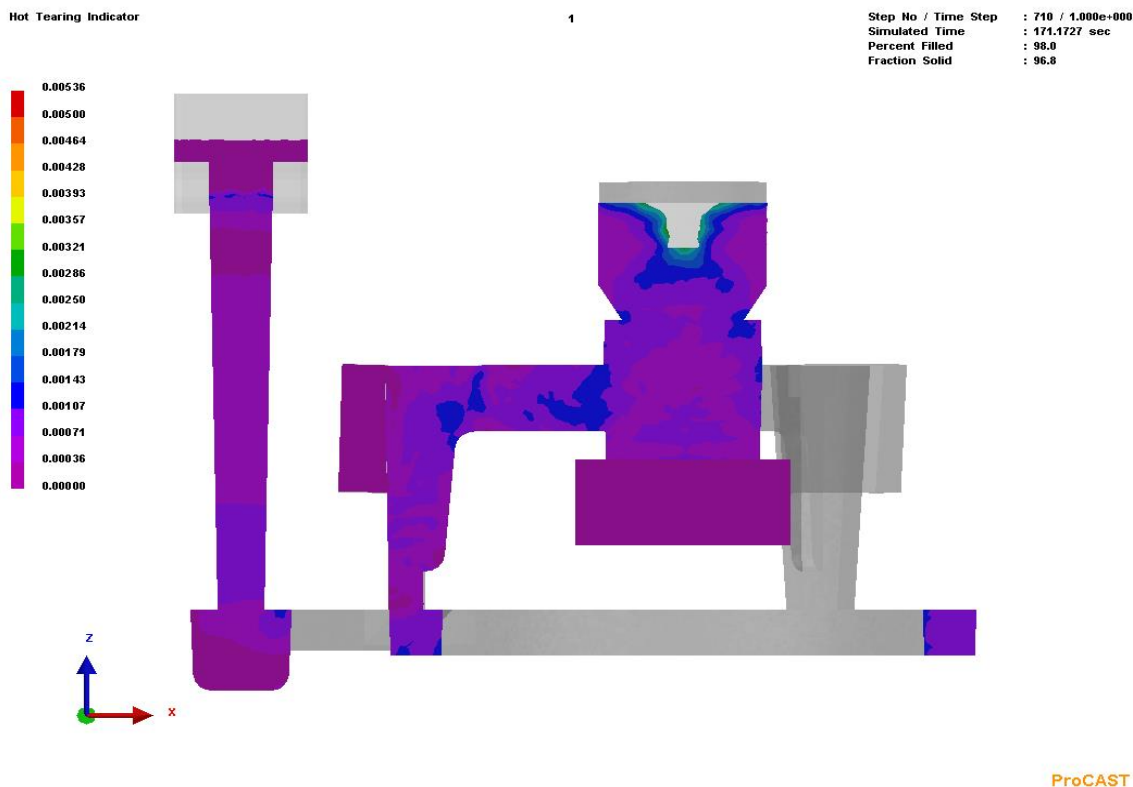


ProCAST

شکل ۲-۲۵. مقایسه مدول چرنیف برای قسمت برش خورده قطعه در طرح نهایی.



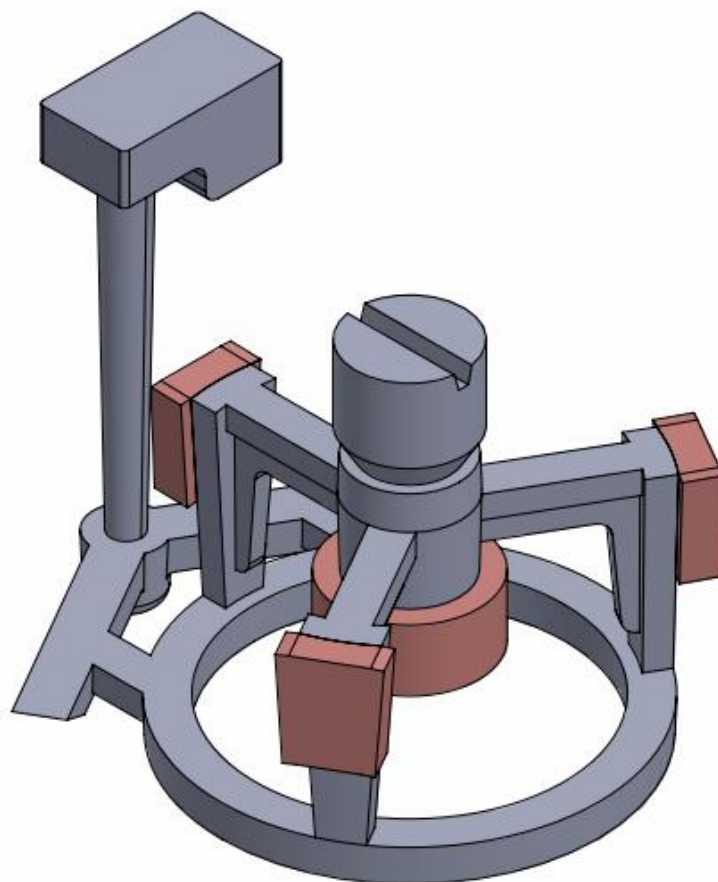
شکل ۲-۲۶. نحوه سرد شدن قطعه در طرح نهایی از چپ به راست.



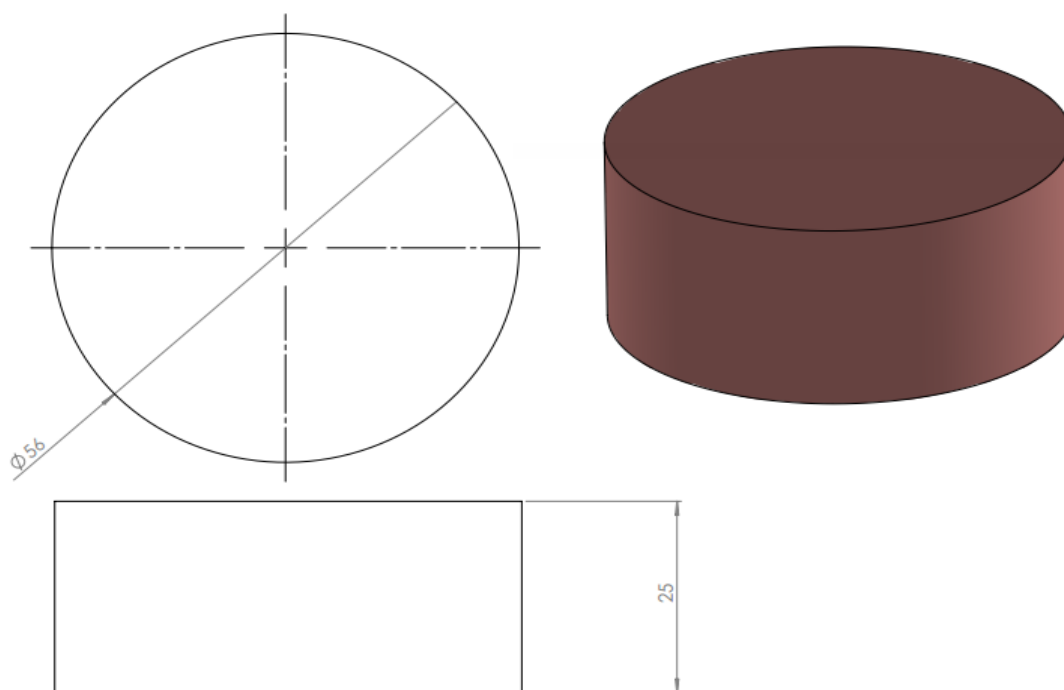
شکل ۲-۲۷. مقایسه شدت پارگی گرم برای قسمت برش خورده قطعه در طرح نهایی.



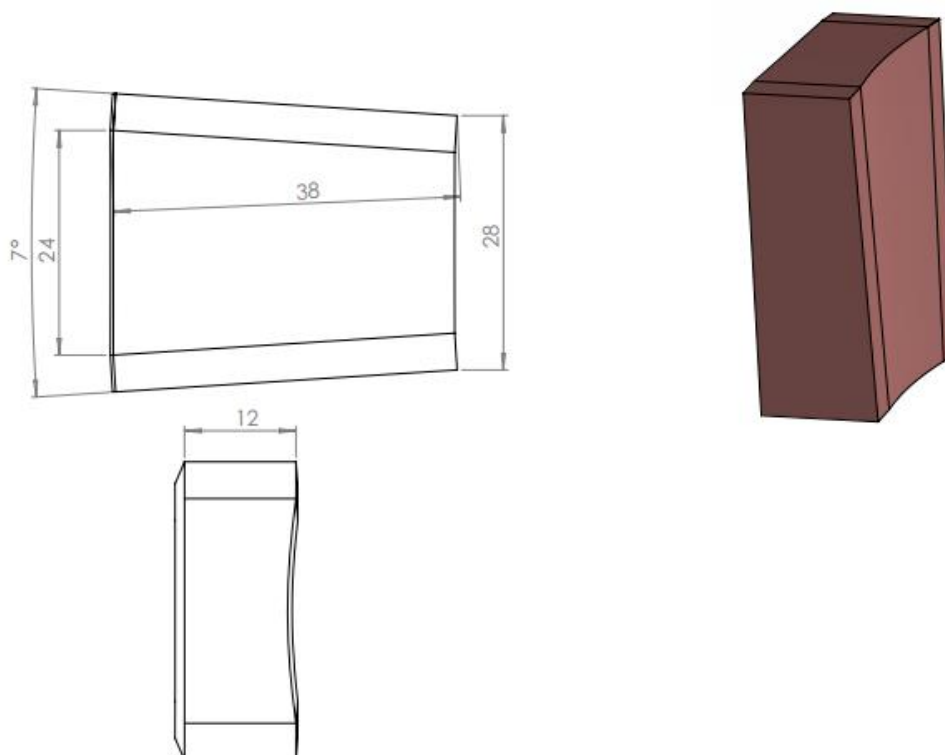
شکل ۲-۲۸. شیب دمایی در سه منطقه قطعه، گلولی و تغذیه.



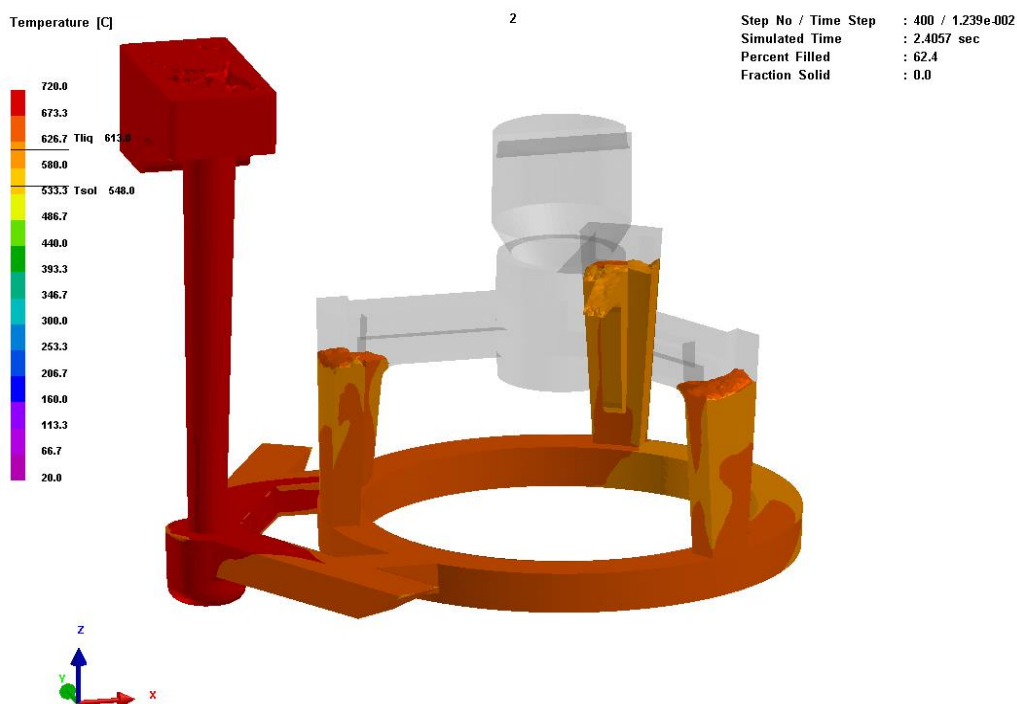
شکل ۲-۲۹. استفاده از میرد در قسمت‌های لامی قطعه نهایی.



شکل ۲-۳۰. میرد انتخاب شده در کف استوانه.

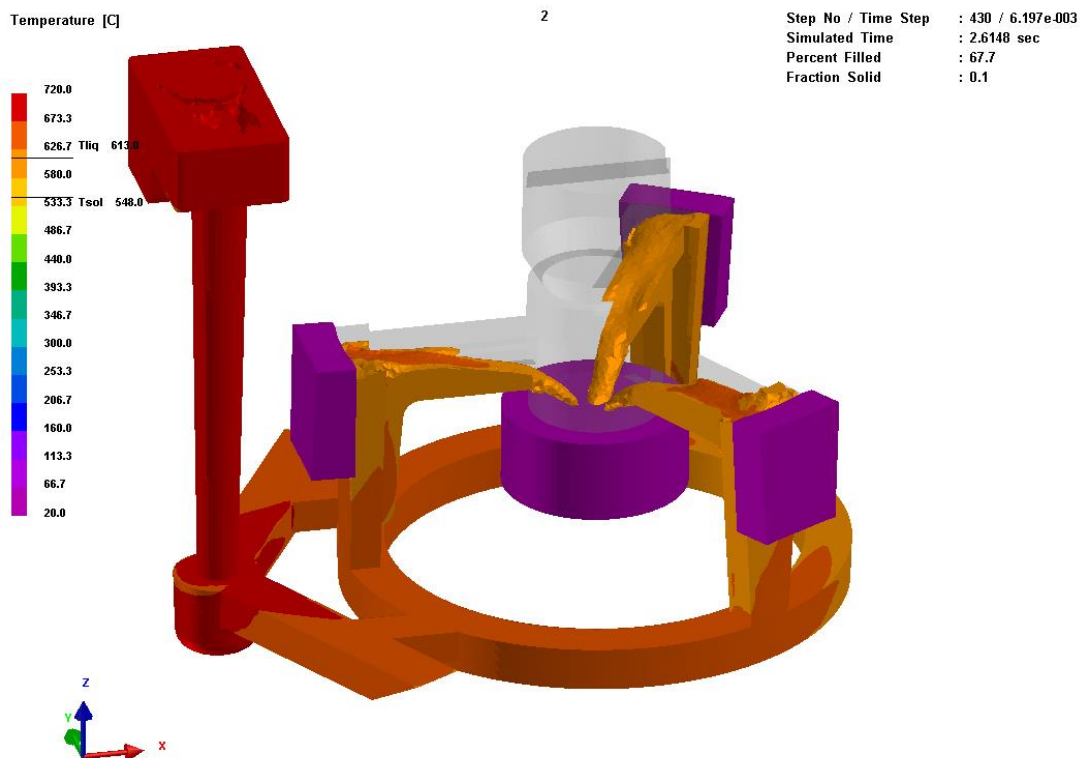


شکل ۲-۳۱. مبرد انتخاب شده در کنار طولی بازوها.



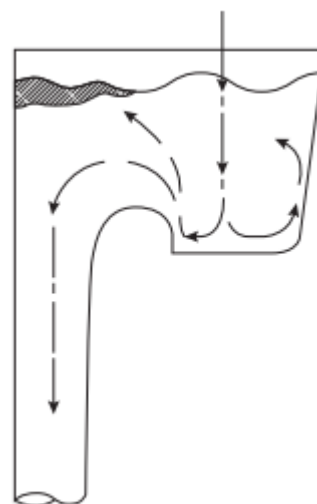
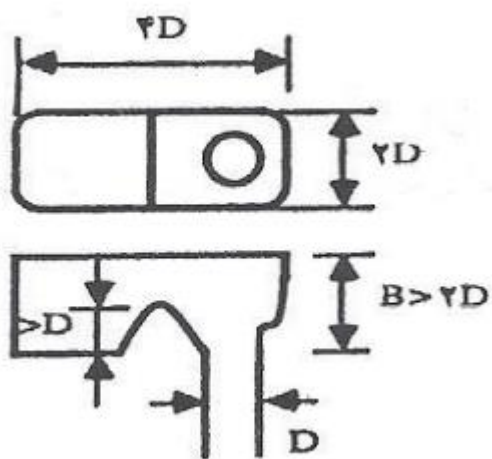
ProCAST

شکل ۲-۳۲. رسیدن مذاب به طور یکنواخت از سه بازویی.

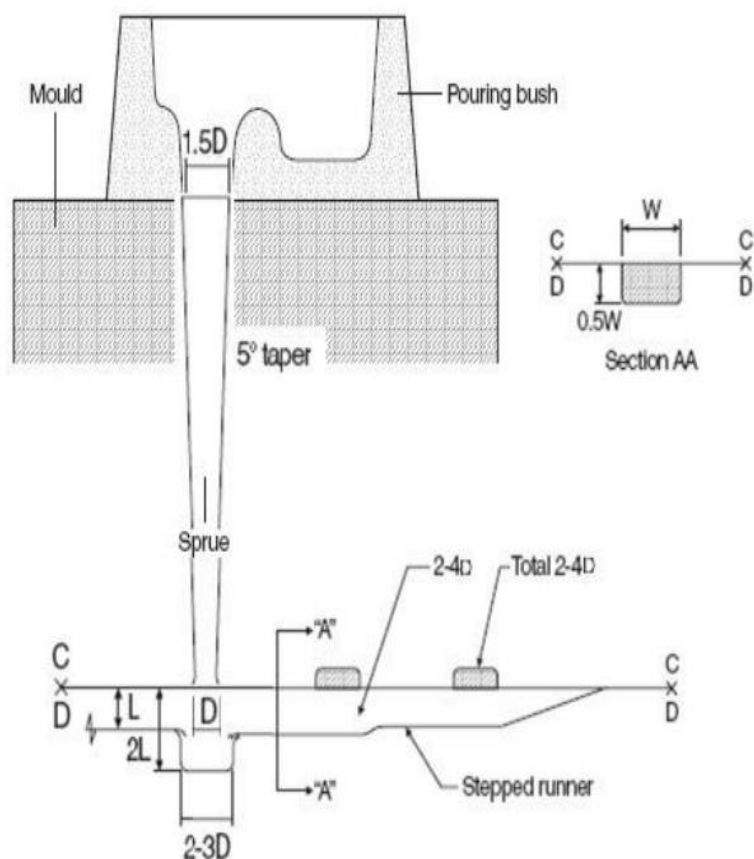


ProCAST

شکل ۲-۳۳. رسیدن مذاب به طور یکنواخت به قسمت استوانه‌ای.

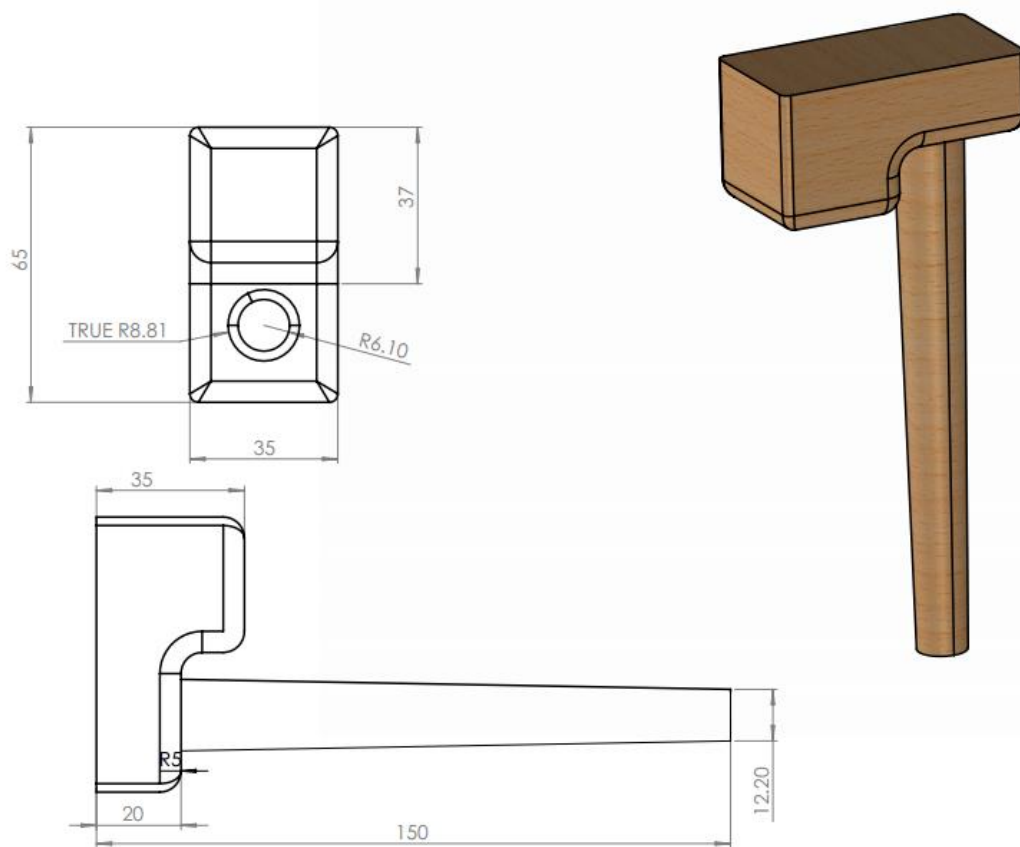


شکل ۲-۳۳. طرح انتخابی از حوضچه بالای راهگاه بارریز [۲ و ۱۰].

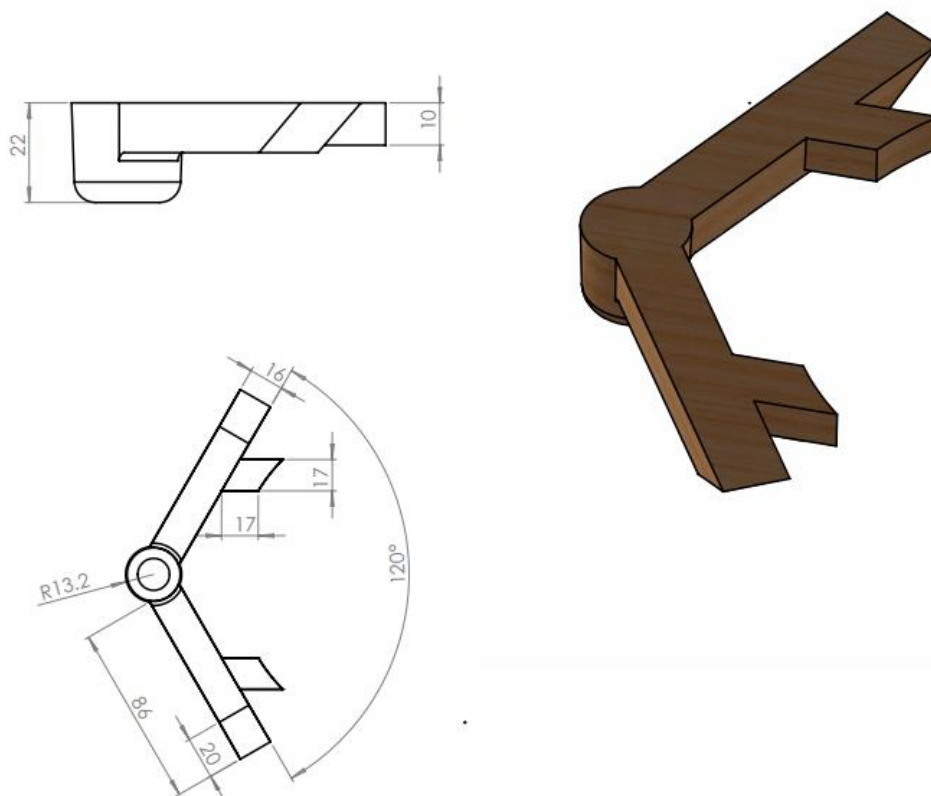


مشخصات	پارامترهای سیستم راهگاهی
3.2	زمان پر شدن (s)
0.25	نرخ پر شدن میانگین (kg/s)
9.6	ارتفاع موثر (cm)
1:3:3	سیستم غیر فشاری
1.178	سطح تنگه (cm ²)
1.22	قطر خروجی راهگاه (cm)
1.762	قطر بالایی راهگاه (cm)
2.6	قطر حوضچه پای راهگاه (cm)
2.2	ارتفاع حوضچه پای راهگاه (cm)
2	تعداد راهبار
1.762	سطح هر راهبار (cm ²)
1.1×1.6	ابعاد هر راهبار (cm) × (cm)
2	تعداد راهباره
1.762	سطح هر راهباره (cm ²)
1×1.76	ابعاد هر راهباره (cm) × (cm)
6.5	طول حوضچه بالای راهگاه (cm)
3.5	عرض حوضچه بالای راهگاه بارریز (cm)
3.5	عمق حوضچه بالای راهگاه بارریز (cm)

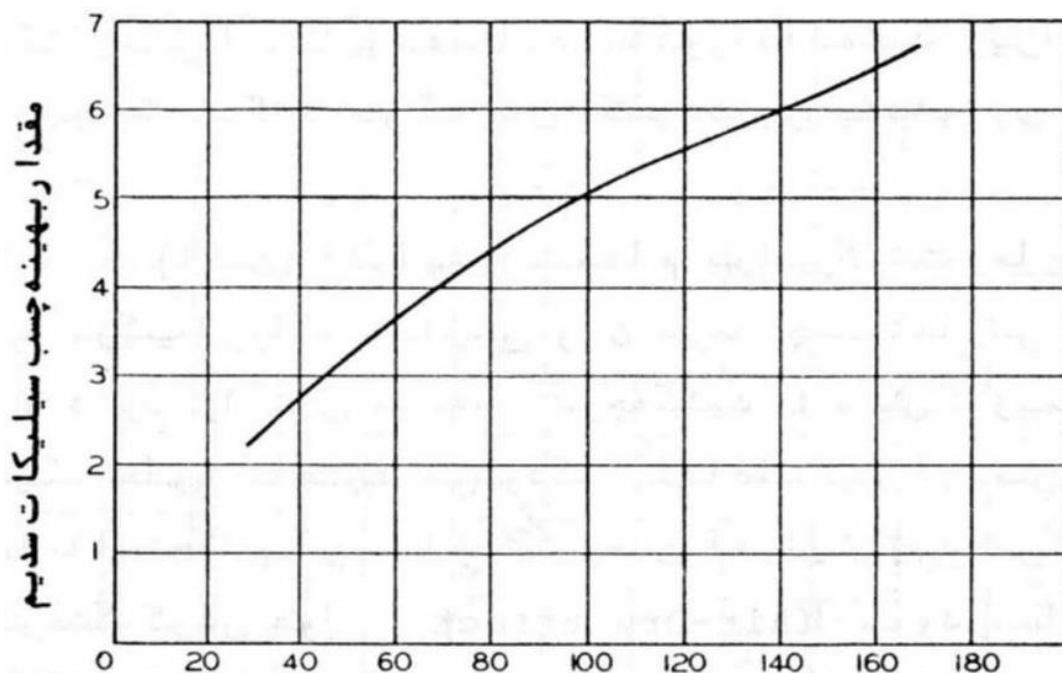
شکل ۲-۳۴. ابعاد اجزای سیستم راهگاهی و نسبت‌هایشان [۱۱ و ۱۲].



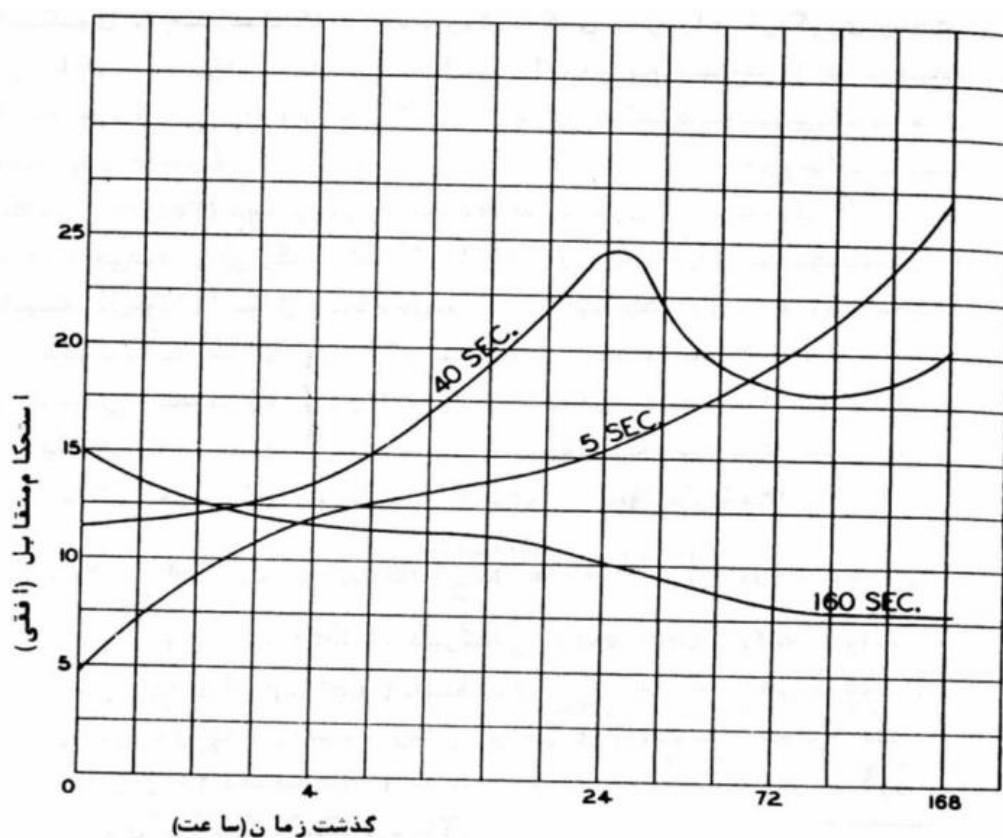
شکل ۳۵-۲. نماهای مختلف از راهگاه بارریز و حوضچه بالای راهگاه.



شکل ۳۶-۲. نماهای مختلف از سیستم حوضچه پای راهگاه، راهبار و راهبار.



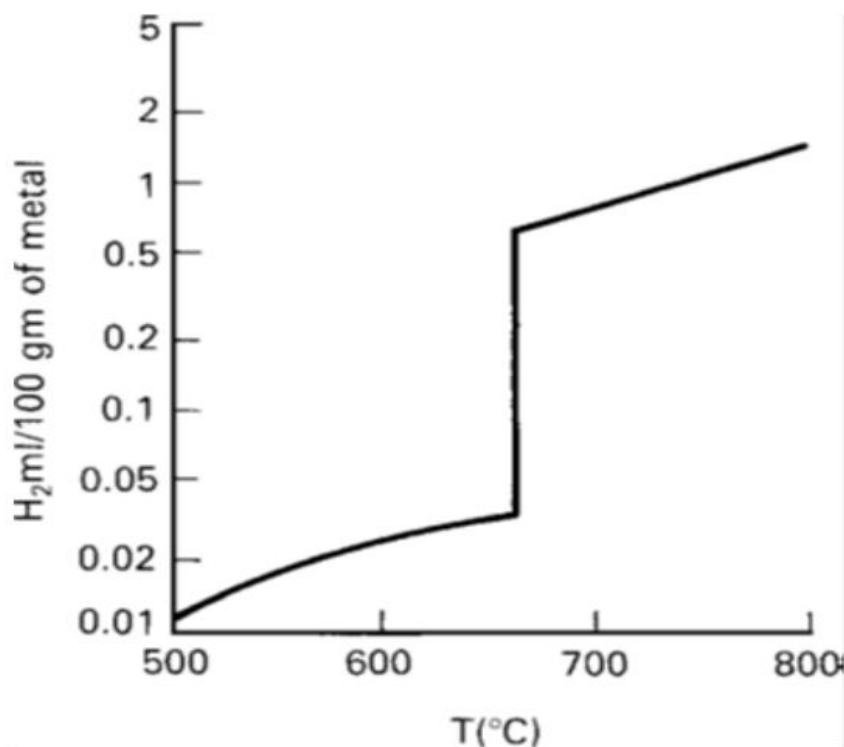
شکل ۳-۳. ارتباط عدد ریزی و مقدار ربهینه چسب سیلیکات سدیم [۱۶].



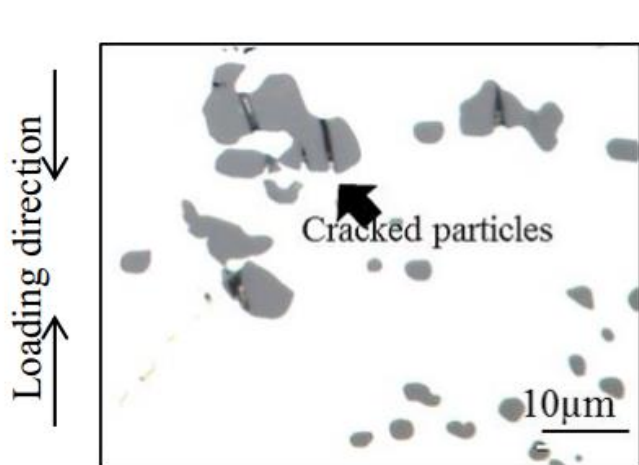
شکل ۳-۴. اثر تلفیقی زمان دمش گاز و گذشت زمان بر استحکام یک مخلوط ماسه قالبگیری با چسب سیلیکات سدیم [۱۶].

نام گروه	شماره نمونه	فوق‌گذاز (درجه سانتی‌گراد)	طول سیالیت (سانتیمتر)	رابطه
بدون پوشش	۱	۱۷ ۴۳ ۸۳ ۱۳۳	۲ ۱۳ ۲۴ ۳۶	$L = 0.24 \Delta T + 2.6$
پوشش آلومینا	۲	۸ ۱۰۶ ۱۳۳	۲/۳ ۲۷ ۳۳	$L = 0.24 \Delta T + 1$
پوشش کرومیت	۳	۸ ۴۳ ۵۴	۴/۵ ۱۶ ۲۰	$L = 0.33 \Delta T + 1.8$
پوشش گرافیت	۴	۸ ۶۲ ۸۳	۳/۵ ۲۶/۵ ۳۳/۵	$L = 0.38 \Delta T + 1.5$
پوشش دوده	۵	۸ ۲۳ ۸۳	۴/۲ ۱۲ ۴۳/۵	$L = 0.52 \Delta T + 0.1$
ماسه با چسب سیلیکات سدیم	۶	۲۳ ۱۱۳	۱۷/۳ ۴۰/۵	$L = 0.25 \Delta T + 11$

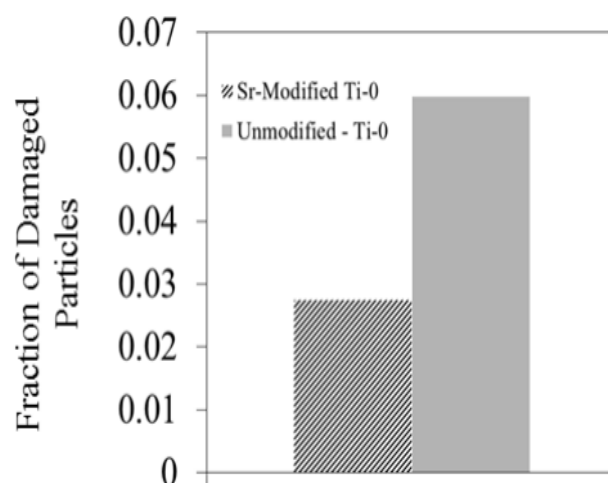
شکل ۳-۵. بررسی نوع پوشش بر روی نمونه‌های آلیاژ Al-Si یونکتیک و اندازه‌گیری سیالیت آن‌ها [۱۸].



شکل ۴-۱. تغییرات حلالیت هیدروژن در مذاب آلومینیوم بر حسب دما [۹ و ۱۲].

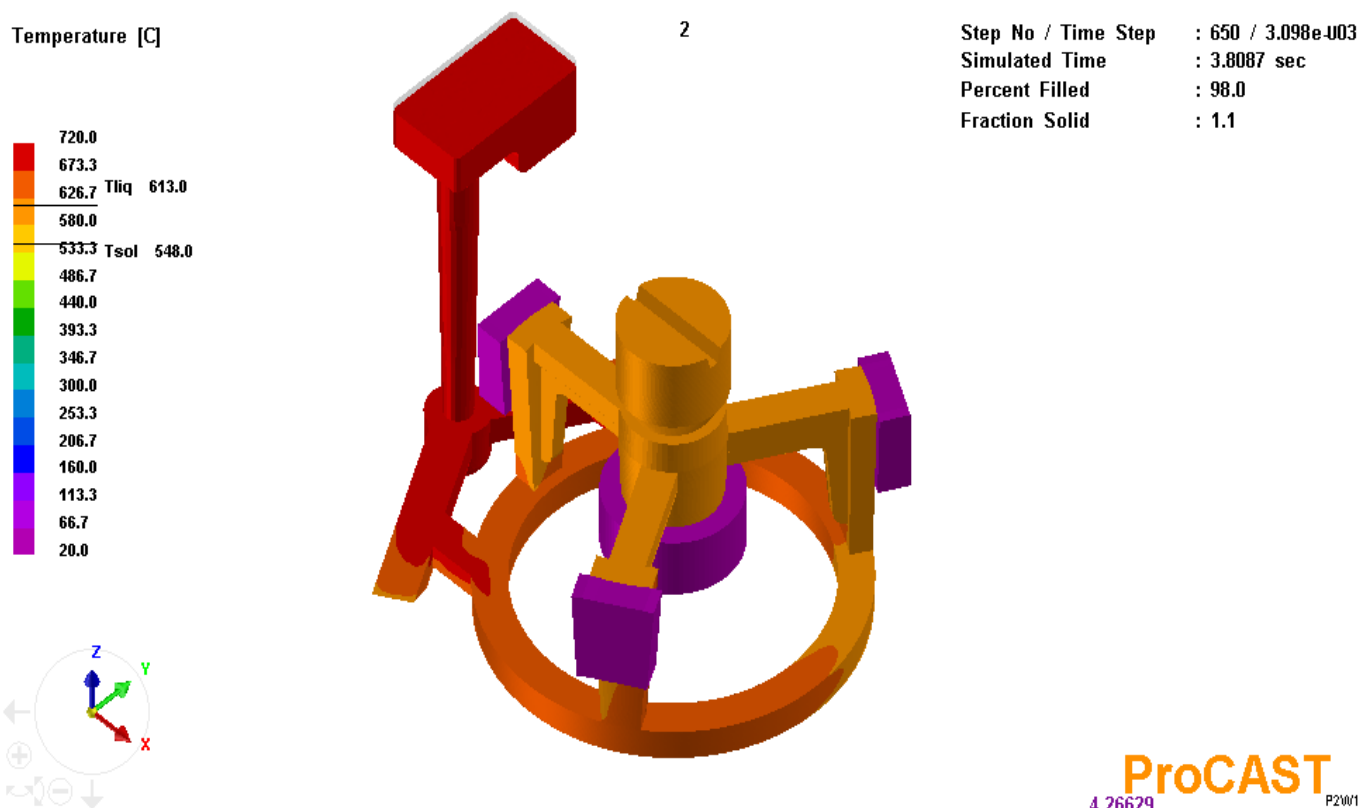


(الف)



(ب)

شکل ۴-۲. (الف) بررسی تشکیل ترک در اثر تست فشار در تکه سیلیسم‌های اصلاح نشده و (ب) مقایسه کسر ذرات عیوب ترک در آلیاژ A356 اصلاح شده و اصلاح نشده [۲۴].



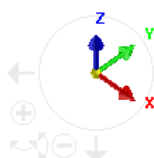
شکل ۴-۳. لحظه پر شدن کامل قالب در دمای بارریزی 720°C با پوشش گرافیت.

Voids

2

Step No / Time Step : 650 / 3.098e-003
Simulated Time : 3.8087 sec
Percent Filled : 98.0
Fraction Solid : 1.1

0.5000
0.4667
0.4333
0.4000
0.3667
0.3333
0.3000
0.2667
0.2333
0.2000
0.1667
0.1333
0.1000
0.0667
0.0333
0.0000



ProCAST
4.26629 P2W1

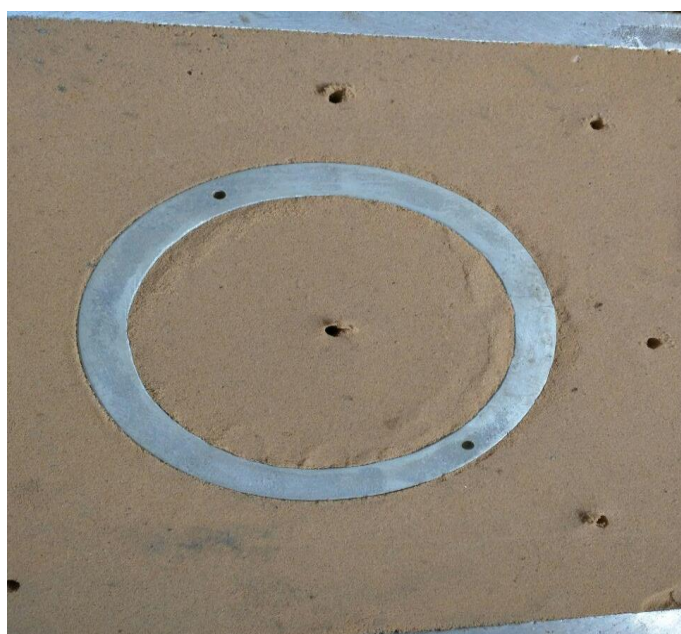
شکل ۴-۴. عدم تشکیل جای خالی ناشی از عیب نیامد در هر لحظه پر شدن کامل قطعه با دمای بارریزی 720°C با پوشش گرافیت.



شکل ۵-۱. مدل چوبی ساخته شده.



شکل ۵-۲. مدل آلومینیومی ساخته شده.



شکل ۵-۳. تعدادی از مراحل انجام قالبگیری.



(حفره انقباضی درون وسط قطعه در طرح اول)