AI-0307

خلاصه طرح

آلیاژ A356 آلیاژی است که از فلزات: آلومینیوم(۹۲/۴٪)، سیلیسیم(۷٪)، منیزیم (۰/۳٪)، آهن (حداکثر۰/۲٪) و روی (حداکثر۰/۱٪) تشکیل شده است. این آلیاژ در محدوده آلیاژهای هیپویوتکتیک قرار دارد (ریز ساختار این آلیاژ شامل زمینه Al و تیغه های یوتکتیک Al-Si می باشد). دمای لیکوئیدوس این آلیاژ حدود ۶۱۱°C و دمای سالیدوس آن حدود ۵۷۷°C می باشد. دمای مناسب برای بارریزی آلیاژ Al-Si بین ۷۱۰°C و ۷۵۰°C می باشد.**[1]** آلیاژ دارای سیلان مذاب بالا (به دلیل وجود سیلسیم) و انقباض کم می باشد. با بررسی قطعه فوق، به نظر می‌رسد در شرایطی کار می کند که از داخل آن سیالاتی مانند آب، دود و... عبور می کند در نتیجه نشتی ناپذیری در این قطعه بسیار حائز اهمیت است.

با توجه به هندسه قطعه فوق که دارای جداره های نازک و مجراهای داخلی می باشد می توان گفت مهمترین پارامترها در طراحی تکنولوژی ریخته گری قطعه عبارت است از :

۱) قالبگیری بایستی بصورتی انجام گیرد که ماهیچه ها بتوانند کاملا در قالب ثابت شوند و امکان جابجا شدن در هنگام بستن قالب و ریخته گری را نداشته باشند.

۲) با توجه به روش قالبگیری ذکر شده، و اینکه قطعه بصورت مدور است احتمال برخورد جبهه های مذاب به یکدیگر وجود دارد (چون جداره ها نازک بوده و دمای مذاب زودتر افت می کند) که ممکن است سبب سردجوشی شود.

۳) با توجه به اینکه، مقدار ماهیچه های داخلی زیاد می باشد. تولید گاز ماهیچه بالا بوده، که این امر می تواند قطعه را معیوب کرده و حتی موجب عدم پرشدن کامل قالب شود. به همین دلیل بایستی رطوبت ماهیچه را کم کرده و مکانهای خروج گاز ماهیچه را طراحی کرد.

۴) ماسه های ماهیچه نباید صلبیت زیادی داشته باشند. چون ممکن است در هنگام انقباض سبب ترک خوردن قطعه شوند.

۵) با توجه به اینکه قطعه فوق کاملا در داخل قالب قرار می گیرد (بررسی ها نشان داد تغذیه مورد نیاز نمی باشد) به همین دلیل حتما بایستی سوراخهای هواکش برای قطعه لحاظ شود.

۶) برای قطعات آلومینیمی پارامتر سرعت بحرانی مذاب بسیار حائز اهمیت است که اگر سرعت ورود مذاب از راهباره به قطعه زیاد شود اغتشاش افزایش یافته و تشکیل اکسیدهای دوتایی (مطابق نظریه پرفسور کمپل) تشدید می گردد. البته در این قطعه بایستی سرعت مذاب طوری باشد که از سرد شدن ان نیز جلوگیری شود. طراحی بهینه به کمک نرم افزار Pro CAST بدست آمد.

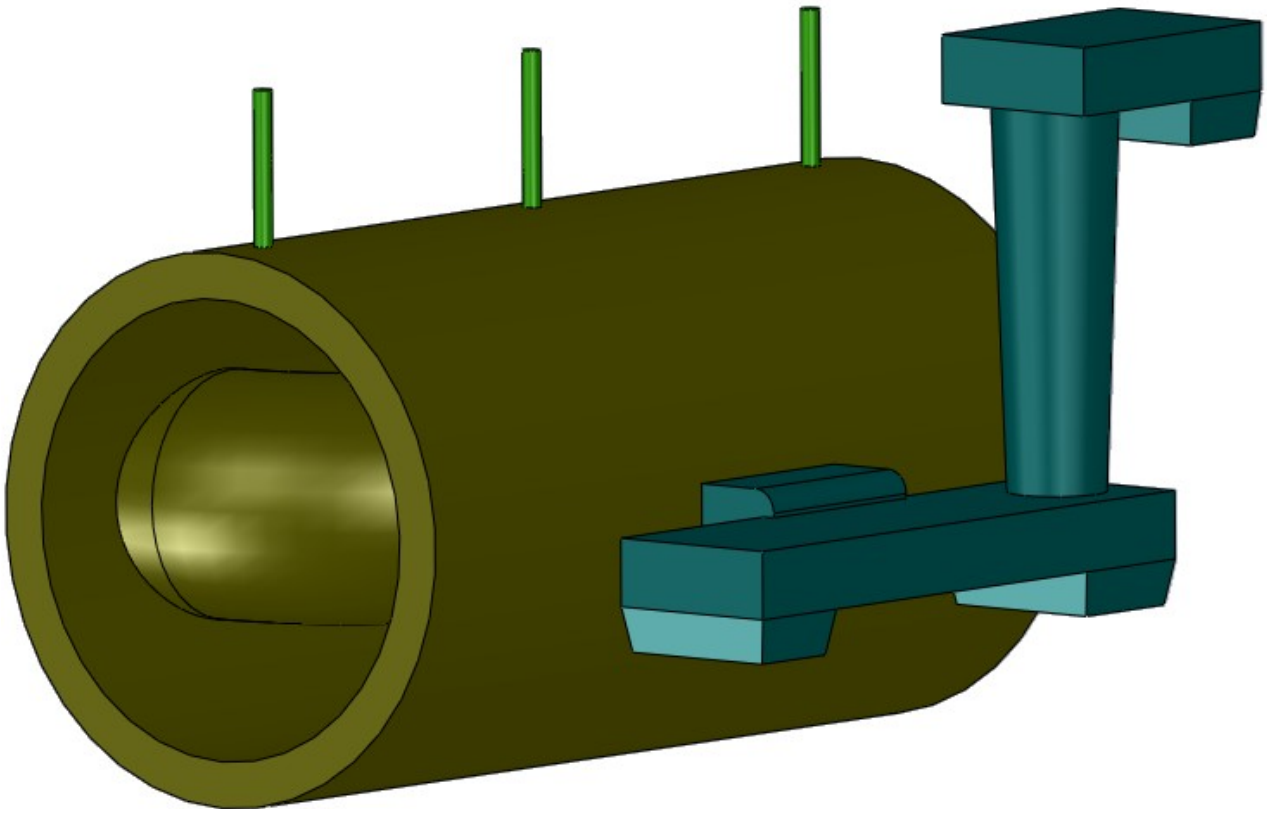
۷) با توجه به انحنای ماهیچه داخلی، خارج کردن ماسه بعد از انجماد قطعه، دشوار خواهد بود بایستی ترکیباتی به ماسه اضافه شود تا متلاشی پذیری ماسه ماهیچه را آسان کند.

بهترین و مناسب ترین شیوه قالبگیری این قطعه به صورت افقی بوده و نوع مدل و جعبه ماهیچه به صورت دو تکه با سطح جدایش یکنواخت پیشنهاد می گردد. جنس مدل در این قطعه فلزی و از جنس آلومینیوم پیشنهاد می شود و جنس جعبه ماهیچه چوبی در نظر گرفته می شود. (شکل ۱ تا ۴) نوع ماسه مصرفی برای قالبگیری و ماهیچه سازی این قطعه، ماسه سیلیس مصنوعی پیشنهاد می شود که مناسب ترین آن ماسه ای است که اندازه مش آن T90 باشد. مناسب این ماسه با چسب سیلیکات سدیم (آب شیشه) و دمش گاز CO_2 سخت می شود. از سیستم راهگاهی غیرفشاری برای طراحی استفاده شد. ماهیچه ها بایستی قبل از ریخته گری کاملا خشک شده تا رطوبت موجود در آنها از بین برود. برای شارژ کردن کوره، یا بایستی از شمش و یا قراضه A356 استفاده کرد یا اینکه در صورت نیاز به آماده سازی باید سیلسیم بصورت آمیژان به ذوب افزود(البته می توان قطعات با سیلسیم بالا را نیز رقیق کرد). برای افزودن منیزیم از آمیژان Al-Mg استفاده می شود. (به دلیل فشار بخار بالای منیزیم).

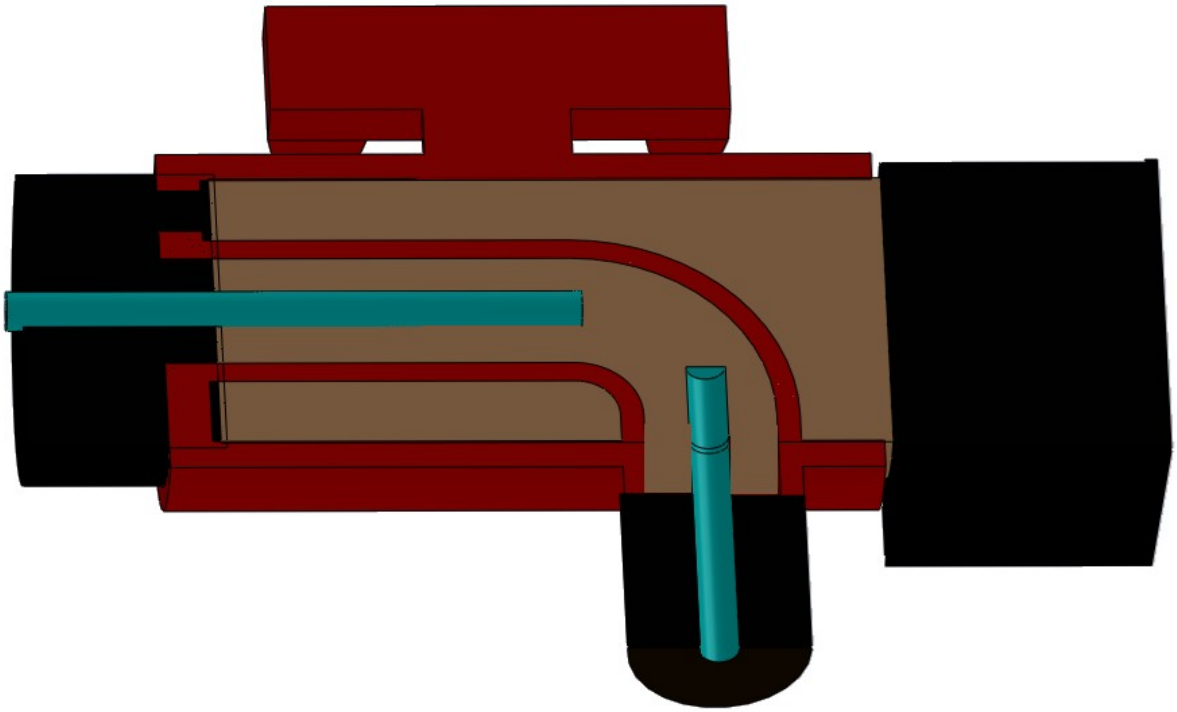
از کاورال شماره 5 و 11S برای سرباره گیری استفاده شد (نیمی در ابتدا و نیمی در مرحله قبل از بارریزی)، برای جوانه زایی آلیاژ از نئوکلانت2 که ترکیبی از تیتانیم و بر با نسبت ۵ به ۱ می باشد، استفاده شد. و به منظور خارج ساختن گازها (هیدروژن) از قرص دگازور با ترکیبات کلردار(هگزا کلر متان) استفاده شد.

برای بررسی عیوب احتمالی، شبیه سازی انجماد قطعه در دو حالت افقی و عمودی در مدل خام (بدون سیستم راهگاهی) انجام شد (البته قالبگیری به صورت عمودی دشوار بوده و دقت کافی برای ثابت کردن ماهیچه ها وجود ندارد) (شکل ۵ تا ۸). دمای بارریزی 740°Cانتخاب شد تا از احتمال سرد جوشی و نیامد در قطعه جلوگیری شود (چون قطعه دارای جداره های نازک می باشد و با توجه به نتایج شبیه سازی احتمال برخورد جبهه های مذاب به یکدیگر وجود دارد). شکل ۹ این مطلب را نشان می دهد. سرعت بارریزی 0.5 Kg/s می باشد. زمان انجماد قطعه در حدود 410 ثانیه طول می کشد. زمان پر شدن قالب در حدود 5.5 ثانیه می باشد. سرعت بحرانی مذاب (سرعت ورود مذاب به داخل قطعه) به کمک نرم افزار Pro CAST بررسی شد و نتایج ان با نظریات پرفسور کمپل مقایسه گردید. (شکل ۱۰). شکل ۱۱تا ۱۳عیوب انقباضی و مسیر انجماد قطعه را در طرح نهایی به کمک نرم افزار شبیه سازی نشان می دهد. هیچگونه عیب انقباضی در قطعه مشاهده نشده و انجماد به سمت راهگاه جهت دار می باشد.

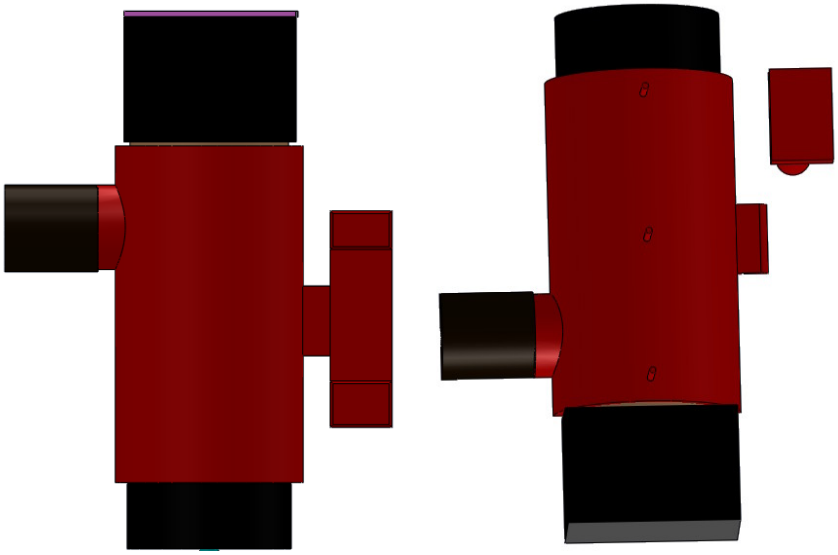
نکته ۱ – در این بخش مطالب به طور کامل ذکر نشده اند و توضیحات بیشتر در ادامه گزارش ذکر می شود.



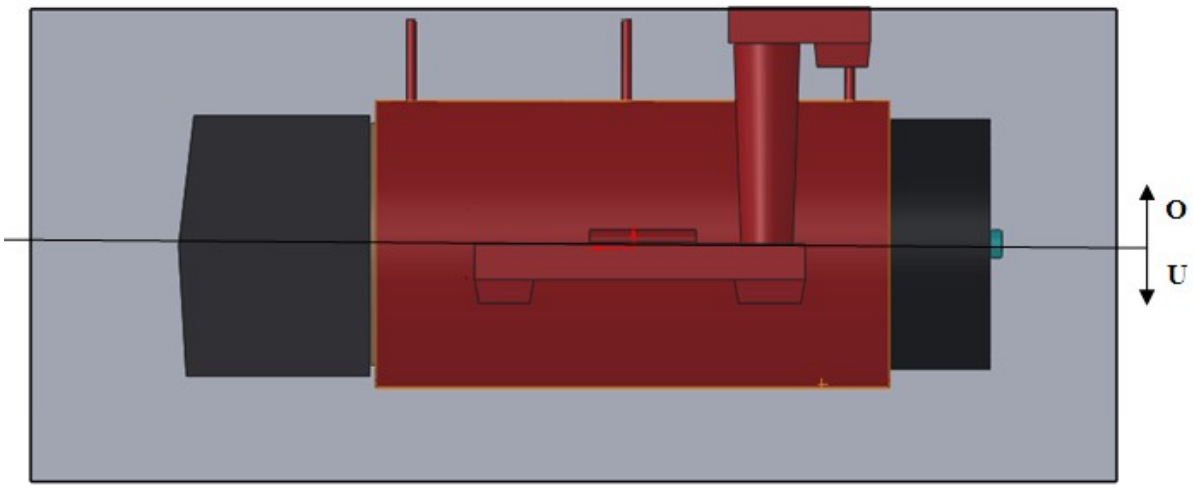
شکل ۱ – نمای مدل نهایی و سیستم راهگاهی طراحی شده



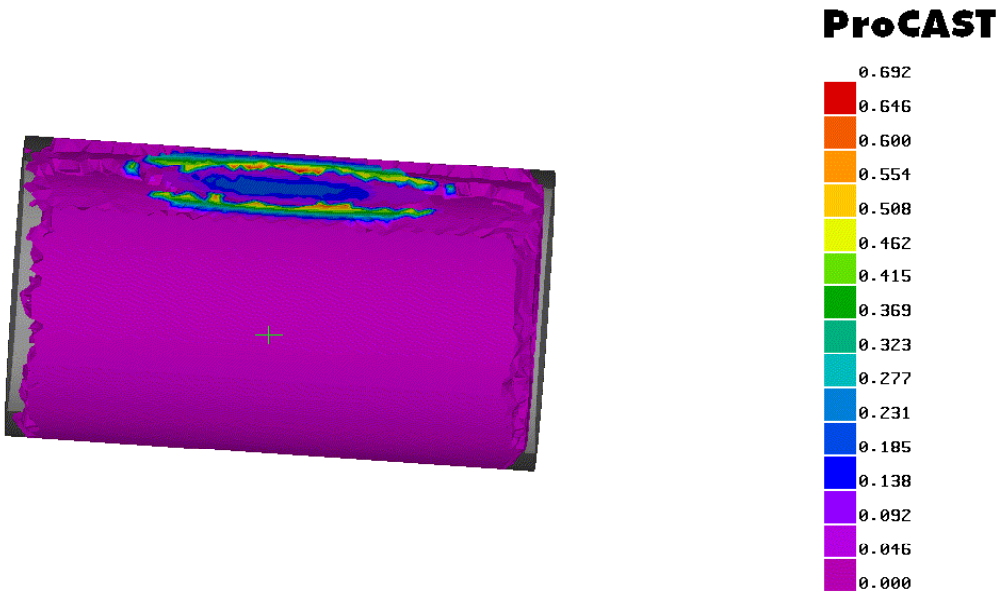
شکل۲- : نمای برش خورده ، در ماهیچه داخلی در طرف نزدیک به سوراخهای لوبیایی از لوله مشیک استفاده شده است این لوله به منظور خروج گازهای ماهیچه طراحی شده است علاوه بر این بعنوان قانجاق نیز عمل می کند و در طرف دیگر (ریشه ماهیچه کوچکتر آن) از فضای توخالی که به وسیله یک لوله ایجاد شده است به منظور خروج گاز استفاده شده است. برای ماهیچه بزرگ این قطعه سه عدد پین تعبیه شده که به راحتی فیکس شوند.



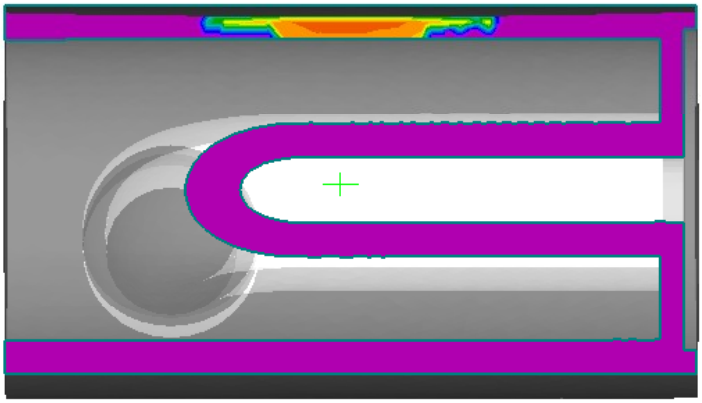
شکل ۳ – نمای از بالا و پایین جعبه ماهیچه



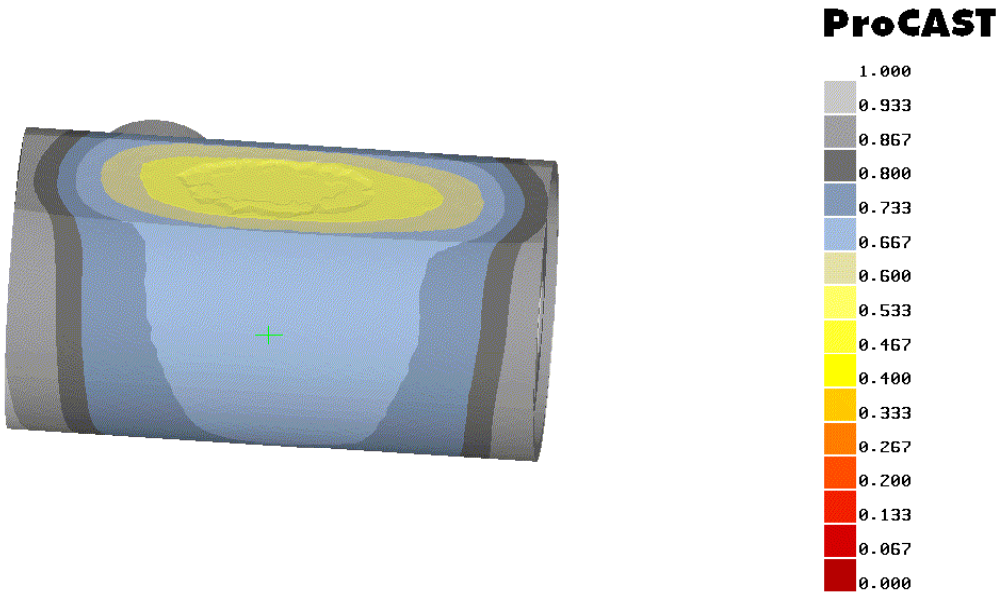
شکل ۴ – مشخص سطح جدایش قطعه، خط جدایش در قالب، ریشه ماهیچه بزرگ بصورت تعادلی و مکعبی طراحی شده است تا از هرگونه جابجایی آن جلوگیری شود. انتهای ریشه ماهیچه بصورت شیبدار طراحی شده است تا گازهای احتمالی بتواند خارج شود.



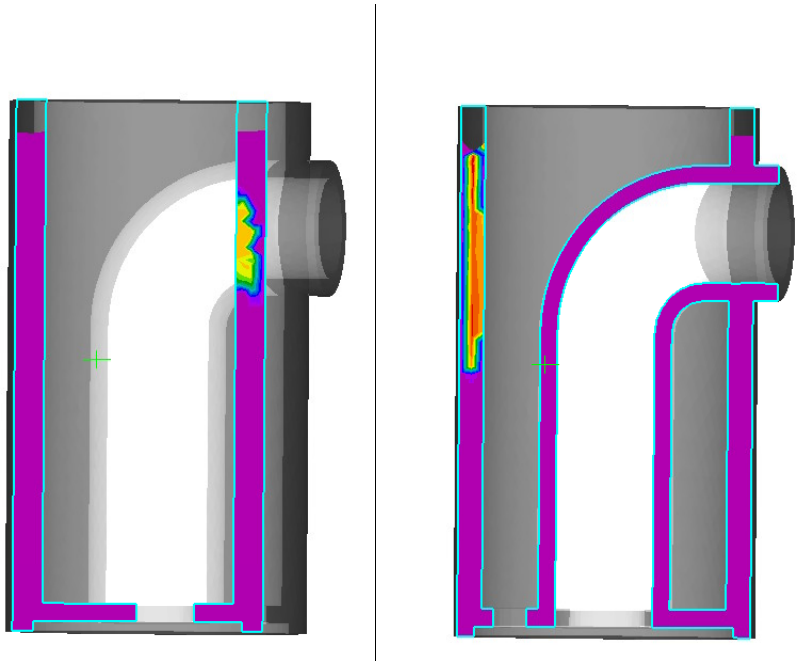
شکل ۵ – شبیه سازی قطعه بدون سیستم راهگاهی برای مشخص شدن مکان عیوب احتمالی، مشاهده می شود در بالای قطعه کشیدگی وجود دارد.



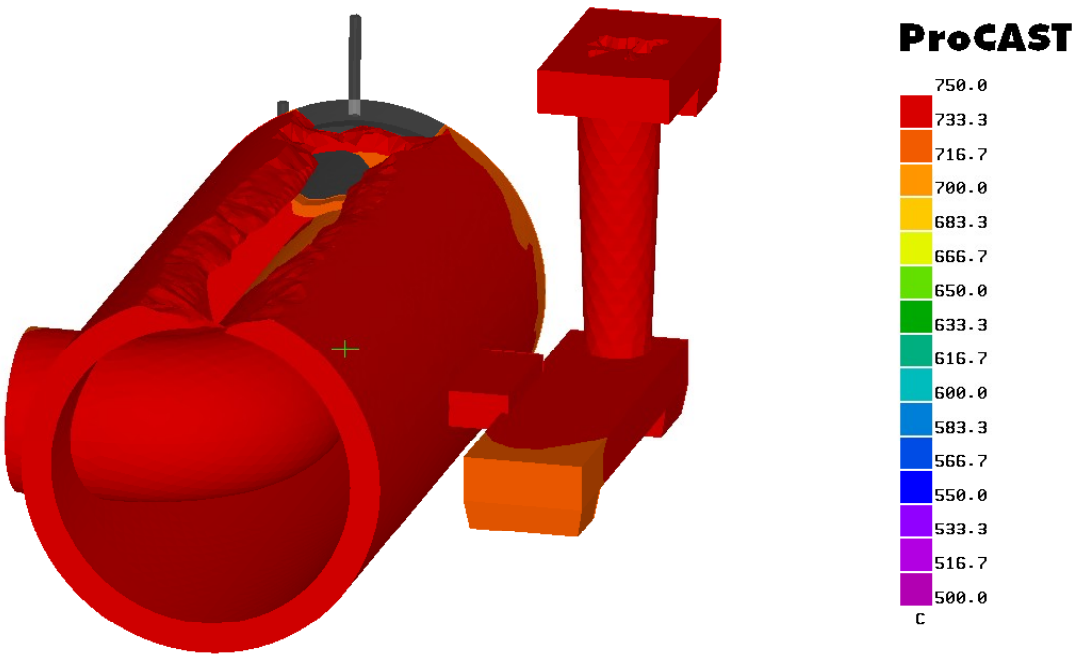
شکل ۶ – نمای برش خورده از شبیه سازی قطعه بدون سیستم راهگاهی، عیوب در جداره بالایی دیده می شوند



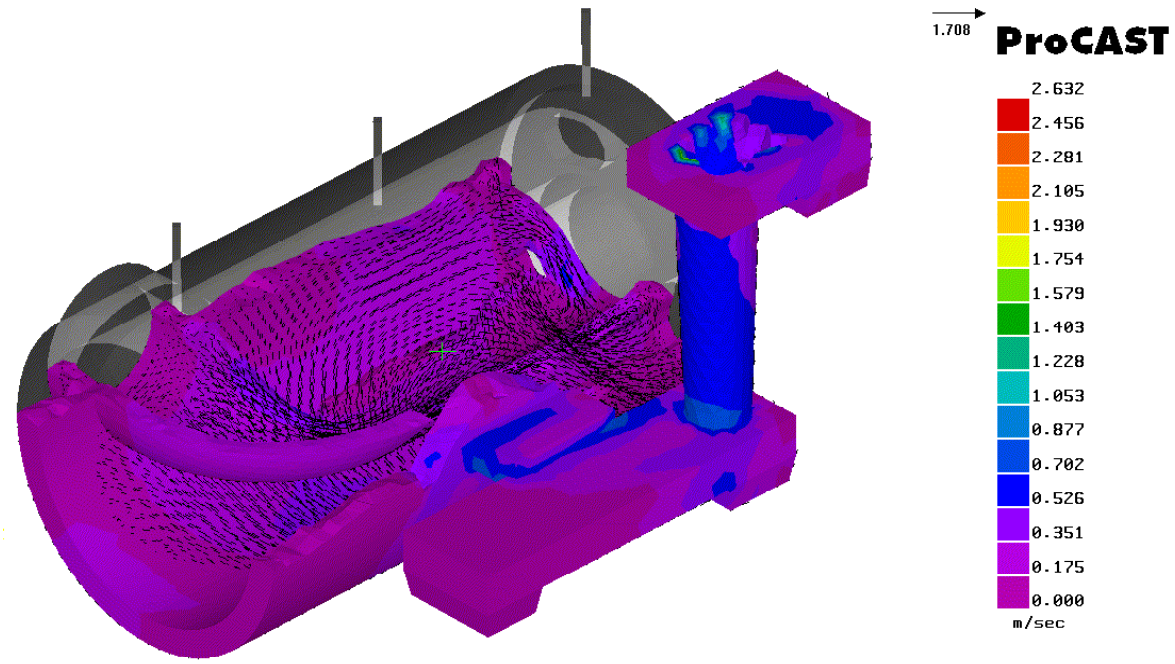
شکل ۷ – مشاهده می شود انجماد از دو طرف شروع شده و به سمت وسط پیش می رود



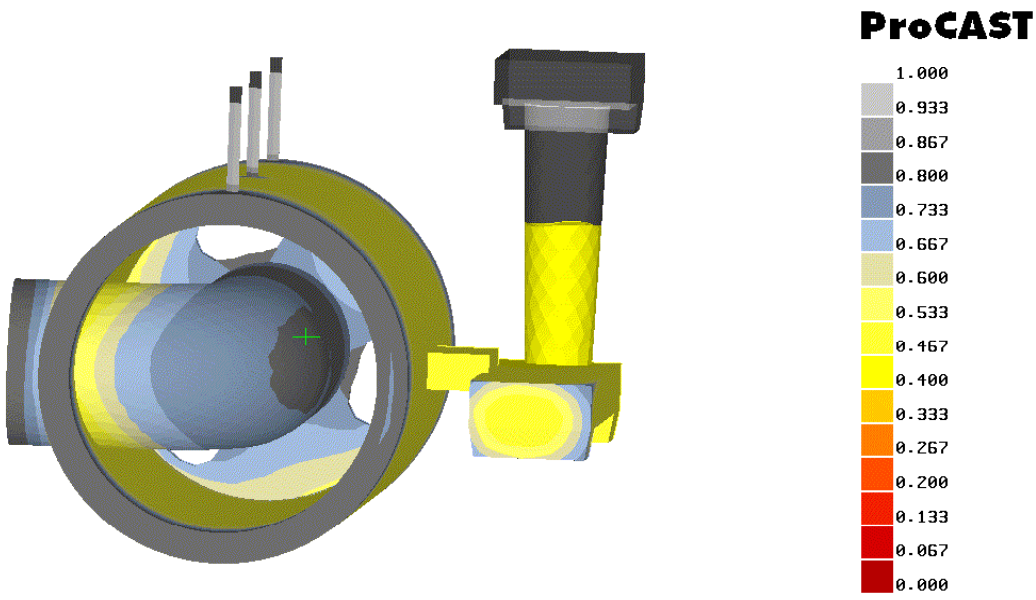
شکل ۸ – نمای برش خورده از شبیه سازی قطعه در حالت عمودی ، عیوب فراوانی در جداره دیده می شود.



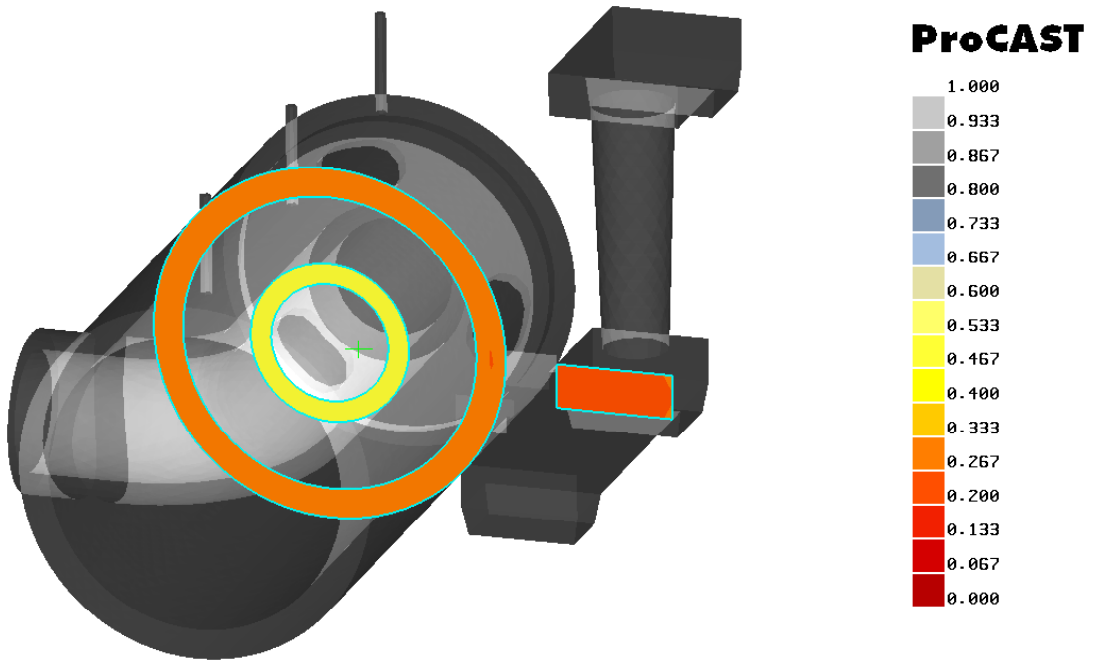
شکل ۹ – پرشدن قالب، انتخاب دمای مناسب بارریزی و طراحی بهینه سیتم راهگاهی سبب پرسدن یکنواخت قطعه و دمای یکسان دو جبهه مذاب می شود.



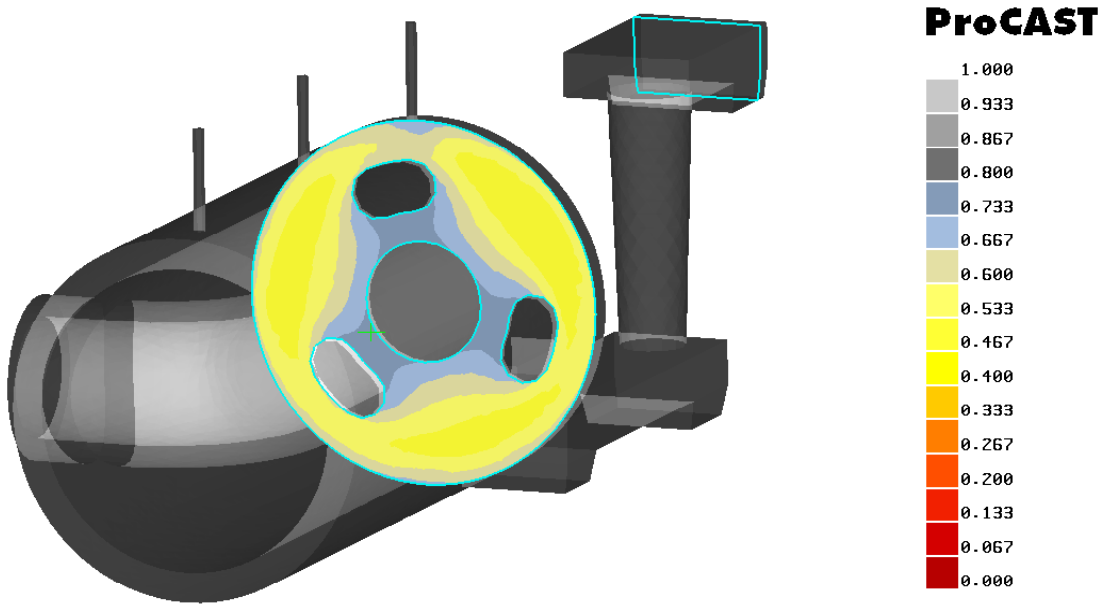
شکل ۱۰ – بررسی کانتورهای سرعت مذاب در هنگام پرکردن قالب، سزعت مذاب در قطعه در حد قابل قبولی است(تلاطم مذاب کم بوده و احتمال تشکیل اکسیدهای دوتایی ناچیز می باشد)



شکل ۱۱ – کانتور کسر جامدشدن نواحی مختلف را نشان می دهد ماهیچه داخلی با سرعت بیشتری منجمد شده است .



شکل ۱۲ – مقایسه جامد شدن مذاب در پوسته داخلی و خارجی



شکل ۱۳ – انجماد از سوراخهای لوبیایی شروع می شود (به دلیل نماس بیشتر با ماسه)

جزئیات طراحی اجزاء مدل و قالب

الف)رسم مدلسازی: این رسم در واحد تکنولوژی کارگاه مدلسازی و ریخته گری، با در نظر گرفتن امکانات ساخت مدل، ساخت ماهیچه، قالبگیری، ریخته گری و بر اساس استاندارد ایزودین ۱۵۱۱ آلمان به مقیاس ۱:۱ طراحی می شود.**[3]**

قبل از ترسیم این نقشه، محاسباتی انجام میگیرد که اضافات مدلسازی می نامند. این اضافات به ۳ دسته تقسیم می شوند:

۱) اضافات ریخته گری: اضافات ریخته گری به دو عامل بستگی دارد:

۱-۱) انقباض مجاز: فلزات در اثر سردشدن (در طول انجماد) منقبض می شوند. این مقدار منقبض، به عواملی نظیر: درجه حرارت مذاب، محیط و قالب بستگی دارد. به منظور جبران این مسئله، تمامی ابعاد مدل را نسبت به ابعاد قطعه کمی بزرگتر در نظر می گیرند به طوریکه ابعاد مدل این قطعه به صورت زیر محاسبه می شود:**[3]**

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

اندازه مدل = LM اندازه قطعه = LG درصد انقباض = S

درصد انقباض آلیاژهای آلومینیوم درقالبهای موقت حدود ۱/۲٪می باشد.

نکته: از آنجا که مدل فلزی (آلومینیومی) دقت ابعادی و کیفیت بهتری دارد پس برای ساخت آن دوبار انقباض در نظر گرفته می شود که به آن انقباض مضاعف گویند.(در واقع محاسبات مربوط به مدل چوبی اولیه می باشد)

S=1.2+1.2=2.4

$$LM = \frac{LG \times S}{100} \times 100 = \frac{100 \times 2.4}{100} + 100 = 102.4$$

$$LM = \frac{LG \times S}{100} \times 100 = \frac{120 \times 2.4}{100} + 120 = 122.88$$

$$LM = \frac{LG \times S}{100} \times 100 = \frac{40 \times 2.4}{100} + 40 = 40.96$$

$$LM = \frac{LG \times S}{100} \times 100 = \frac{54 \times 2.4}{100} + 54 = 55.29$$

به دلیل کمبود فضا بقیه اندازه ها در نقشه است.

۱-۲) سیستم راهگاهی وتغذیه: وظیفه سیستم راهگاهی پر کردن قالب از مذاب، کم کردن اغتشاش، جبران کمبود مذاب در اثر انقباض (زمانی که اضافه انقباض مجاز کافی نباشد)، جلوگیری از ورود سرباره به قالب و... می باشد. از تغذیه زمانی استفاده می کنیم که انقباض مذاب حین انجماد بیش از حدی باشد که نتوان از اضافه انقباض مجاز و سیستم راهگاهی کمک گرفت و وظیفه آن جبران کمبود مذاب داخل قطعه می باشد.**[3]**

برای آنکه سیستم راهگاهی و تغذیه بتوانند به راحتی وظایف خود را انجام دهند باید محاسبات دقیقی صورت پذیرد.

محاسبات مورد نیاز برای تغذیه

این قطعه یک پوسته نازک آلومینیومی می باشد و مدول آن در حدود 0.45cm می باشد(کمتر از ۱ می باشد) نیازی به استفاده از تغذیه نمی باشد و با نحوه اتصال مناسب راهگاه هرگونه عیب را از بین برد. تنها مشکل این قطعه سردجوشی می باشد که با رعایت دمای بارریزی مناسب برطرف می شود.**[2]**

محاسبات مورد نیاز برای سیستم راهگاهی[4] [5] [7]

محاسبه ارتفاع موثر:

ارتفاع قطعه در درجه بالا = Hu ارتفاع لوله راهگاه = H ارتفاع موثر= He

ارتفاع کل قطعه= Hc

$$He = H - \frac{Hu^2}{2Hc}$$

$$He = 0.1 - \frac{(0.06)^2}{2(0.12)} = 0.085m$$

محاسبه سرعت پر شدن قالب:

ارتفاع موثر= He نیروی جاذبه زمین = g سرعت پر شدن محفظه قالب = V

$$V = \mu\sqrt{2.g.He}$$

$$V = 0.6\sqrt{2 \times 9.8 \times 0.085} = 0.77\ \frac{m}{s}$$

محاسبه زمان پر شدن قالب:

وزن ریختگی(سیستم راهگاهی و قطعه) = W ضریب ریختگی برای این آلیاژ ۱/۶ = K

زمان پر شدت قالب = t

$$t = K.\sqrt{W}$$

نکته: در این فرمول W برحسب POUND می باشد. 1Kg = 2/2POUND

$$t = 1.6\sqrt{7.98} = 4.5212s$$

محاسبه سطح مقطع تنگه، سطح مقطع راهبار، سطح مقطع راهگاه بارریز:

سرعت پر شدن قالب = V چگالی مذاب = ρ زمان پر شدن قالب = t

سطح مقطع تنگه = As وزن ریختگی(سیستم راهگاهی و قطعه)= W

$$As = \frac{w}{\rho.t.v}$$

نکته: در این فرمول W برحسب Kg می باشد.

$$As = \frac{3.2427}{2450 \times 4.5212 \times 0.77} = 3.79cm^2$$

این آلیاژ جزو آلیاژهای غیرآهنی بوده و مناسبترین نوع سیستم راهگاهی غیرفشاری با نسبت ۱:۲:۲ می باشد.

	S	R	G
	۱	۲	۲
مساحت cm^2	۳/۷۹	۷/۵۸	۷/۵۸
قطر cm	۲/۲	مستطیل	مستطیل

از مزایای این روش نبودن اغتشاش و سرباره هنگام پر کردن قالب می باشد.(شکل ۱۴)

حوضچه پای راهگاه با نسبت های اثبات شده **[5]** محاسبه شد. حوضچه پای راهگاه سبب می شود سرعت مذاب که در اثر نیروی ثقل افزایش قابل ملاحظه ای پیدا کرده است کم تر شود.

در هنگام تخلیه مذاب، تشکیل اکسیدهای سطحی آلومینیم تقریبا اجتناب ناپذیر است با طراحی تله سرباره مناسب در امتداد راهبار، فیلم های اکسیدی و سرباره ها به داخل آن کشیده می شود. چون در قطعه تغذیه وجود ندارد بایستی تا حدامکان سرباره های احتمالی و اکسیدها را در داخل تله سرباره به دام انداخت در غیر اینصورت به داخل قطعه رفته و خواص مکانیکی را کاهش می دهند. البته در این طراحی کف راهباره نسبت به کف راهبار بالاتر در نظر گرفته شد تا مذاب اولیه حتما در ابتدا به امتداد راهبار وارد شود. شکل ۱۵ سیستم راهگاهی طراحی شده را نشان می دهد. بهترین مکان برای طراحی راهبار، در خط جدایش(حدفاصل دو درجه بود)

برای اطمینان از نحوه سیلان و انجماد مذاب شبیه سازی در شرایط مختلف انجام گرفت. لازم به ذکر است شبیه سازی بر روی فایل مدل (بعد از اعمال اضافه تراش، اضافه انقباضی و...) انجام شد. شکل های ۱۶ تا ۱۸ نحوه پرشدن قالب را نشان می دهد مذاب به صورت یکنواخت بالا آمده و به دلیل انتخاب دمای بارریزی مناسب دو جبهه مذاب با دمای نزدیک بهم با یکدیگر تلاقی کرده و در نتیجه سردجوشی ایجاد نخواهد شد.

عیوب انقباضی بررسی شدند با توجه به شکلهای ۱۹ و ۲۰ هیچگونه حفره انقباضی در داخل قطعه ایجاد نشده است کشیدگی زیادی در راهگاه مشاهده می شود که گویا این مطلب است که راهگاه نقش تغذیه را نیز ایفا کرده است.

۲) اضافات قالبگیری:به منظور جلوگیری از تخریب قالب و یا به عبارتی به آسانی خارج شدن مدل از قالب ویا بالعکس مدلساز مجبور است به مدل شیب دهد. مقدار شیب به عواملی نظیر: ارتفاع مدل، صافی سطح مدل، جنس مدل، دقت ابعاد قطعه ریختگی، جنس مواد قالبگیری، روش های قالبگیری و جداسازی مدل از قالب و بالعکس و... بستگی دارد.**[3]**

نکته: در این قطعه فقط در قسمت ریشه ماهیچه جداره ها نیاز به شیب می باشد و جداره قطعه نیازی به شیب ندارد.

مقدار شیب جداره ها برای قسمتی که در لنگه بالا قرار دارد ۶ و ۱۰ درجه و برای قسمتی که در درجه پایین قرار دارد ۳ و ۵ درجه لحاظ می شود.

۳) اضافات ماشینکاری:بعد از ریخته شدن قطعه کارهایی نظیر:تمیزکاری، سنگ کاری، تراشکاری، فرزکاری و سوراخ کاری و... روی آن انجام می شود. بنابراین باید با رعایت استاندارد مقدار ابعاد مدل را کمی بیشتر از ابعاد قطعه در نظر گرفت.مقدار تراش مجاز به عواملی نظیر: ابعاد قطعه، جنس قطعه، محل تراش و روش های قالبگیری و ریخته گری بستگی دارد.**[3]**

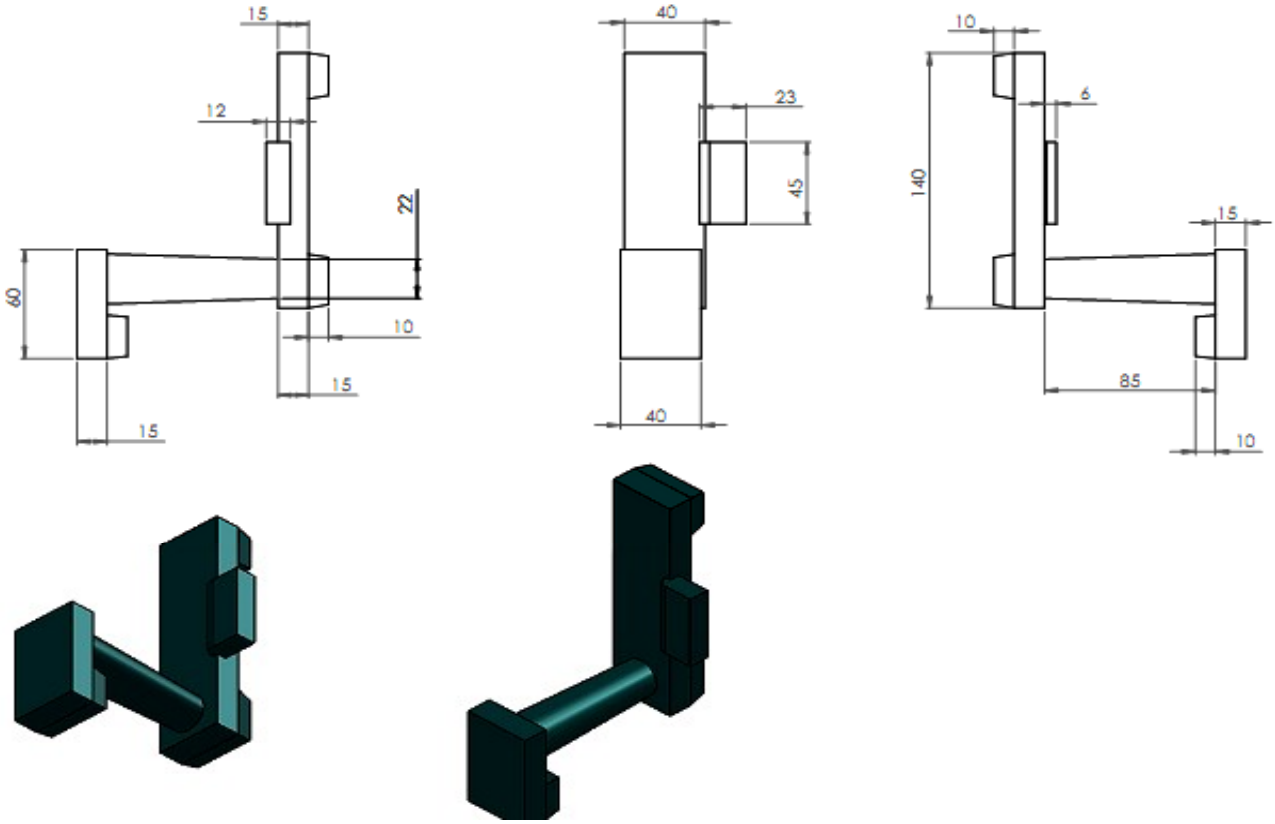
مقدار تراش جداره ها برای این قطعه ۲mm و برای قسمت زائده روی قطعه ۲mm در نظر گرفته می شود.(شکل ۲۱)

ب) رسم ساختمان مدل:با کمک رسم مدلسازی طراحی و ترسیم می شود.**[3]**

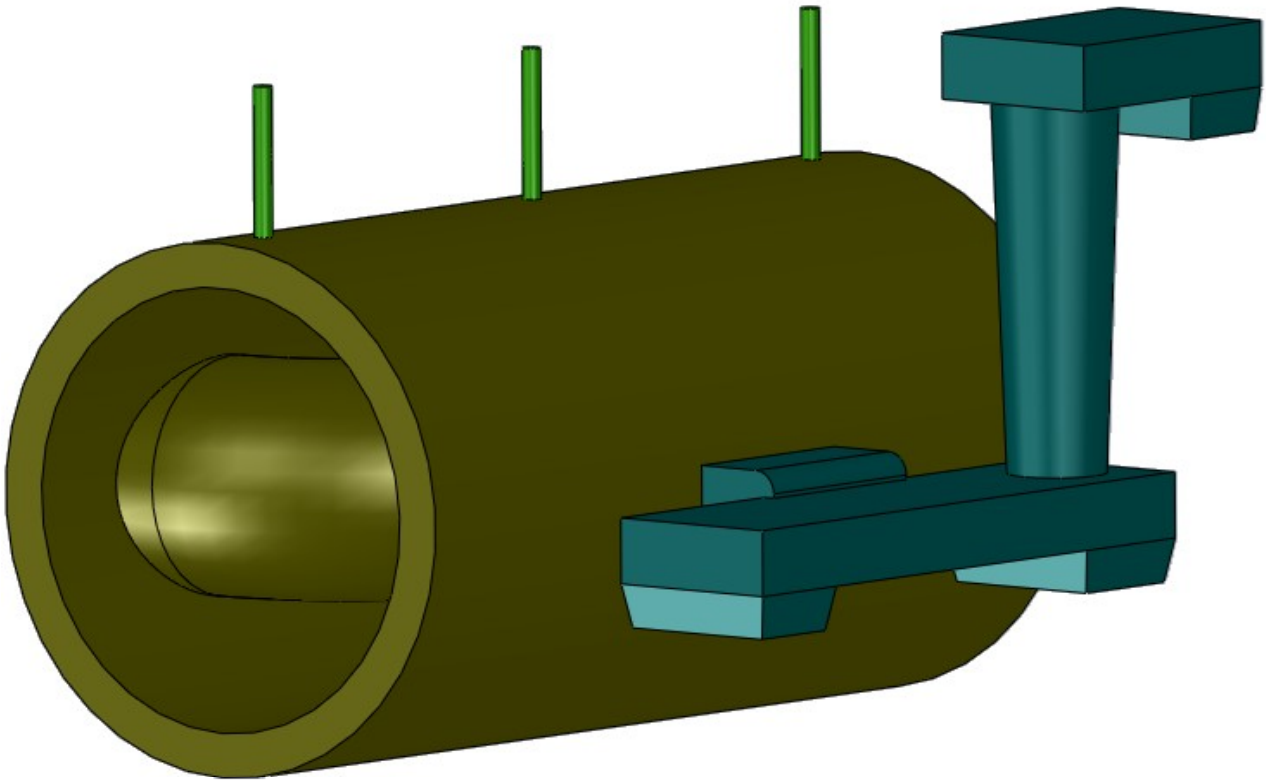
ج) رسم ماهیچه:با کمک رسم مدلسازی ترسیم می شود و شامل جان ماهیچه و ریشه ماهیچه می باشد. که وزن ریشه ماهیچه ۱/۵ برابر وزن جان ماهیچه است.(شکل ۲۲ تا ۲۴) **[3]**

د) رسم قالبگیری: با کمک رسم مدلسازی و رسم ماهیچه طراحی و ترسیم می شود و شامل: درجه، ماسه، سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری، کانال خروج هوا و... می باشد. (شکل ۲۵ و ۲۶)**[3]**

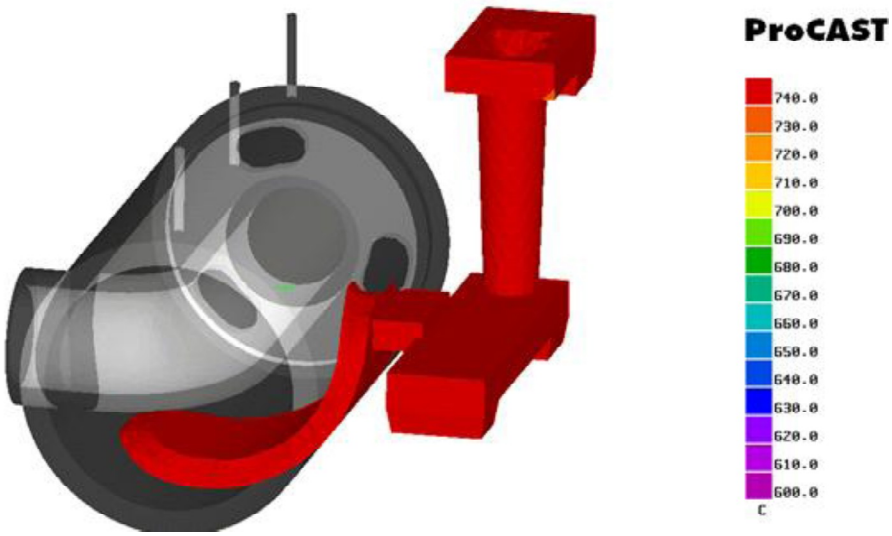
ه) رسم جعبه ماهیچه: با استفاده از رسم ماهیچه، ساختمان جعبه ماهیچه و تعداد پارچه های آن (تکه) را مشخص و رسم می کنیم.**[3]**



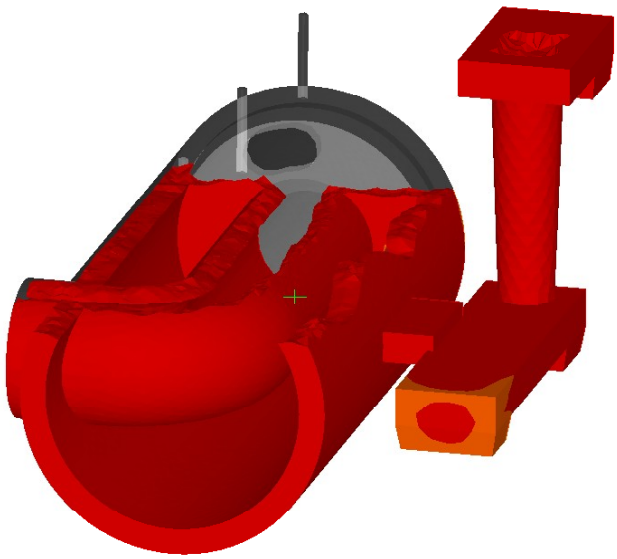
شکل ۱۴ – ابعاد سیستم راهگاهی



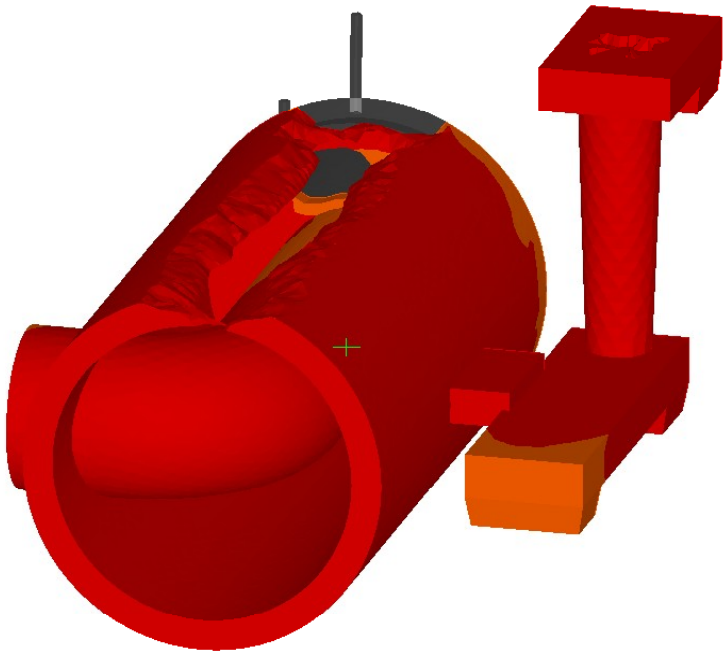
شکل ۱۵– طراحی سیستم راهگاهی با ابعاد محاسبه شده، سیستم راهگاهی بصورت غیر فشاری طراحی شده است. با توجه به اینکه قطعه در داخل قالب قرار می گیرد ایجاد سوراخهای هواکش الزامی است.



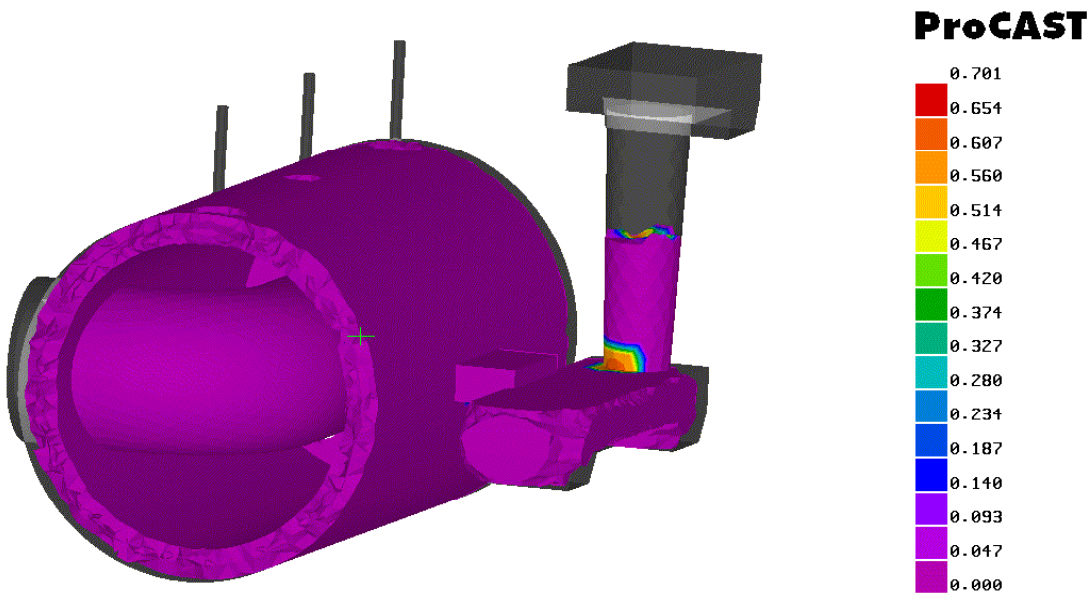
شکل ۱۶- پرشدن قالب



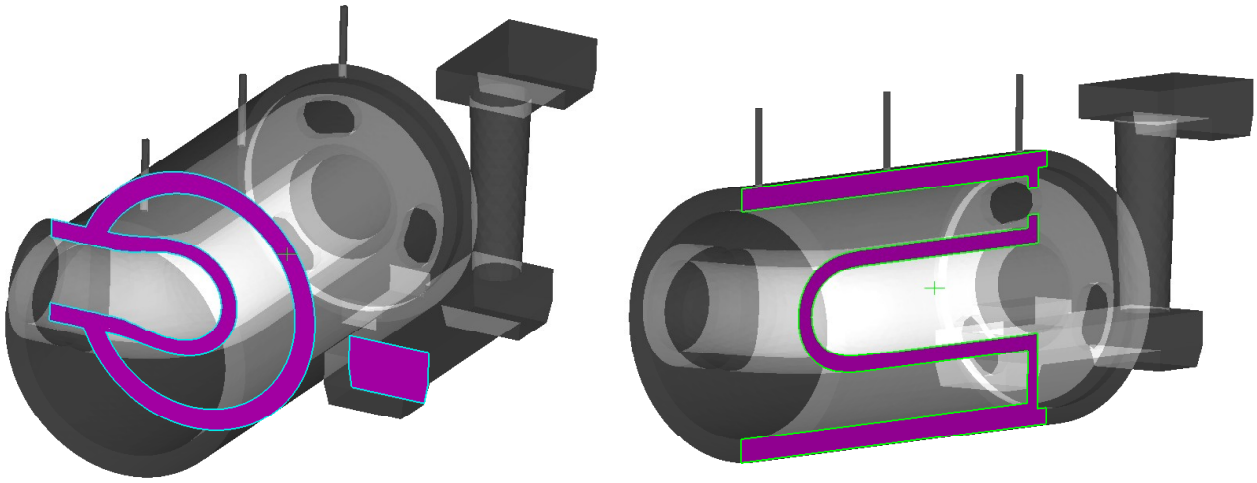
شکل ۱۷- پرشدن لوله داخلی



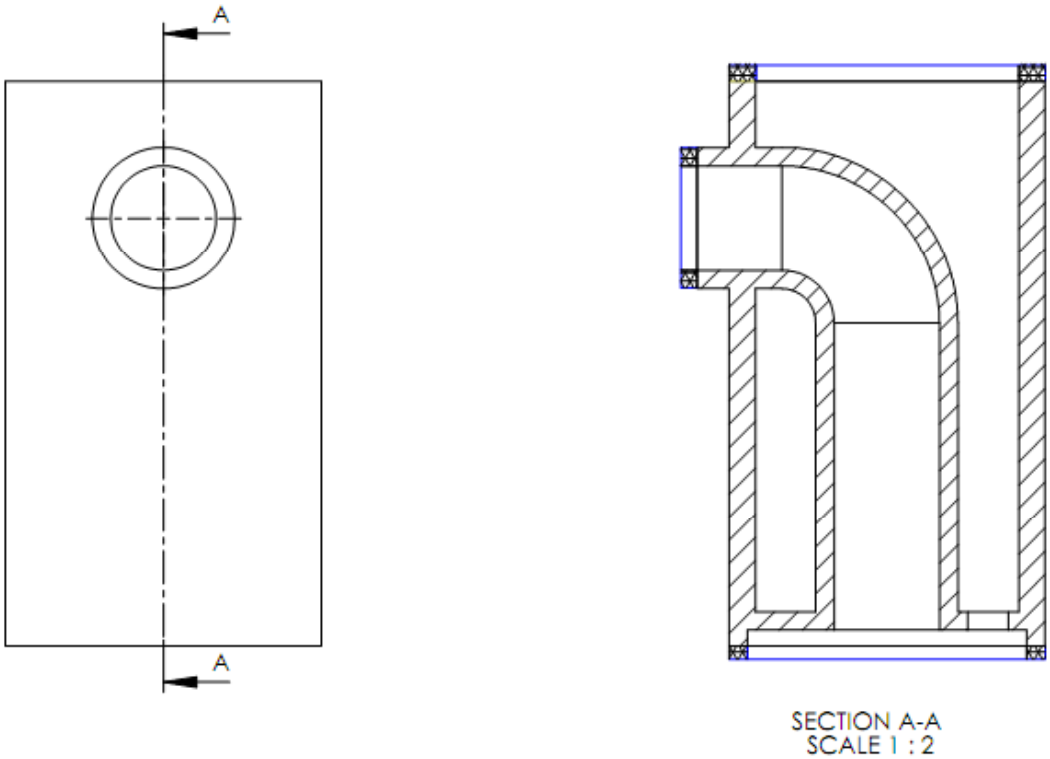
شکل ۱۸- دو جبهه که در آخرین مرحله به یکدیگر می رسند دمای نزدیک بهم داشته و سردجوشی ایجاد نخواهد شد



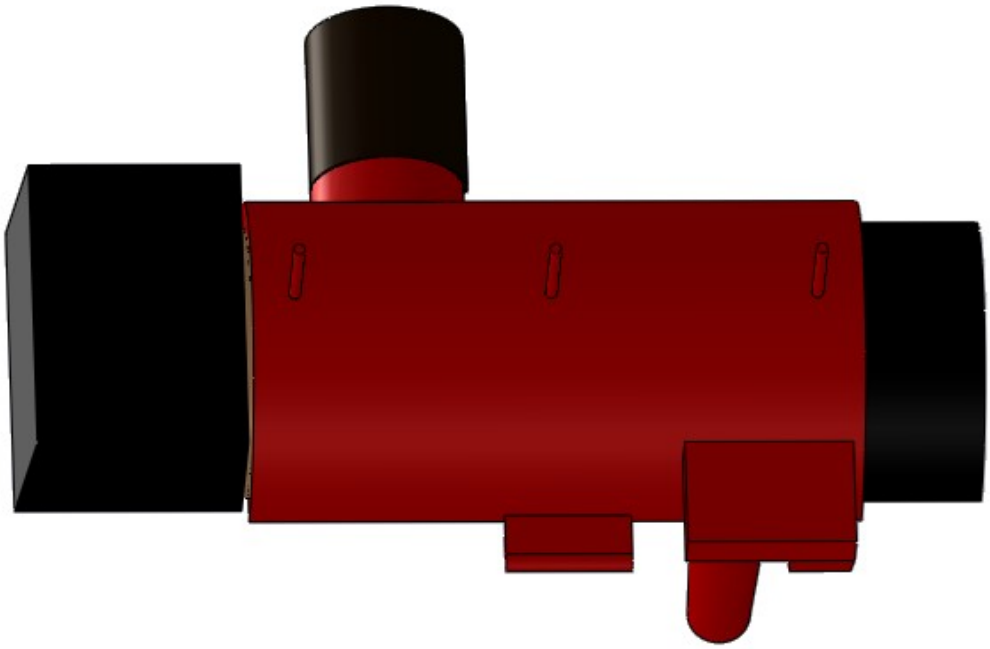
شکل ۱۹- بررسی عیوب انقباضی در قطعه، عیوب فقط در راهگاه مشاهده می شود و کشیدگی زیادی در راهگاه به چشم می خورد



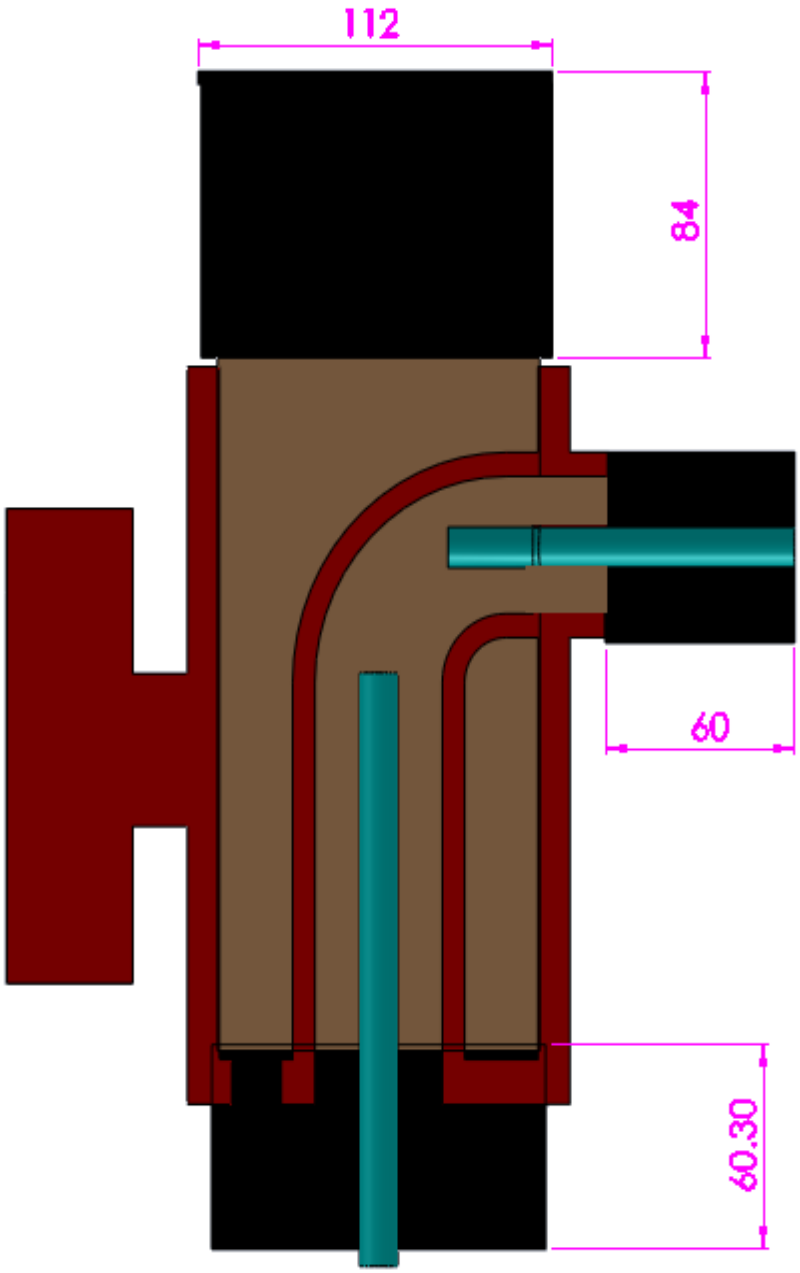
شکل ۲۰- عیب انقباضی در جداره های قطعه مشاهده نمی شود



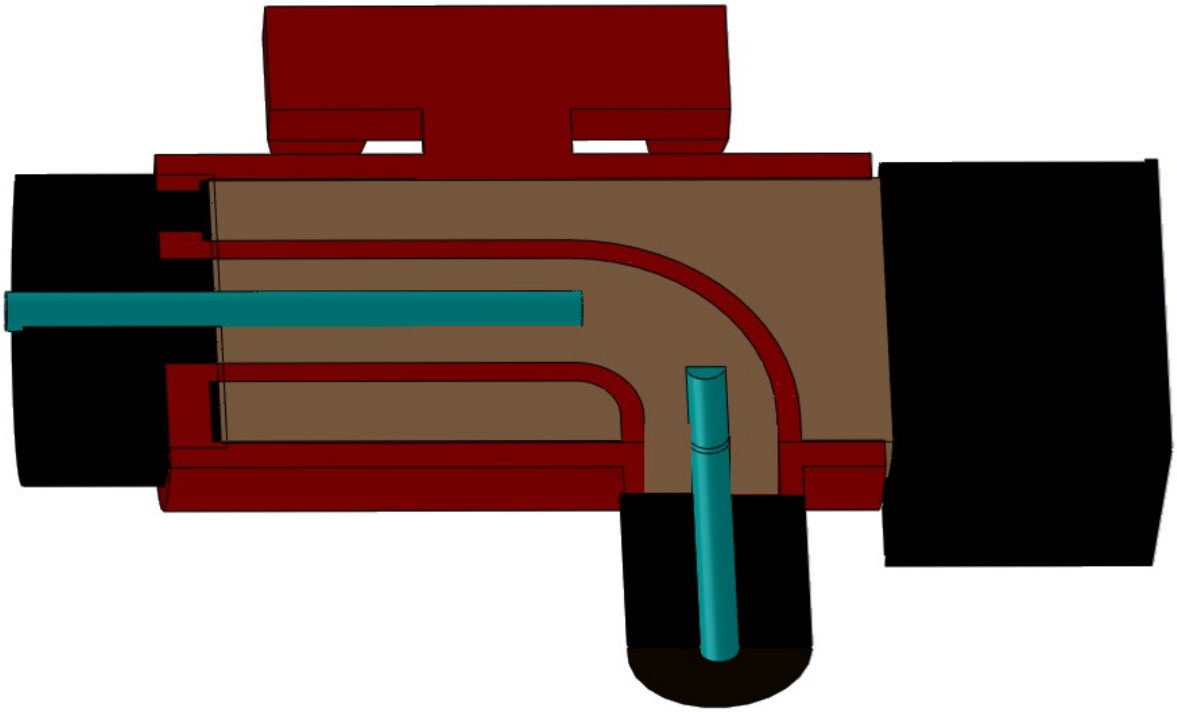
شکل۲۱ - با توجه به بررسی های انجام شده بر روی شرایط کاری قطعه، اضافه تراش در مکانهای مشخص شده در قطعه لحاظ کردید. که در شکل بالا مشاهده می شود. این نواحی(نواحی دارای اضافه تراش) با قطعات دیگر در تماس بوده و بایستی سطحی با ابعاد دقیق و کیفیت سطحی مناسب داشته باشند. مقدار اضافه تراش برای این قطعه در نواحی مشخص شده ۲ میلیمتر می باشد.



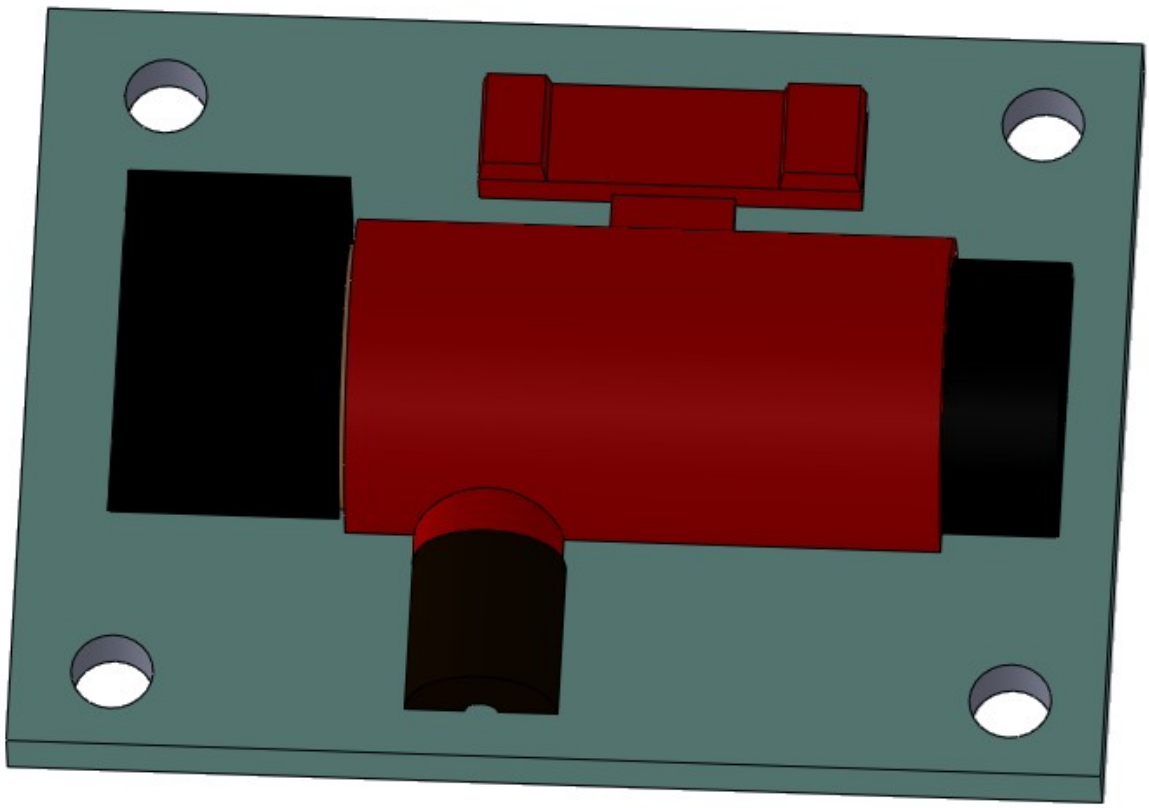
شکل ۲۲ – ریشه ماهیچه در نمای کامل



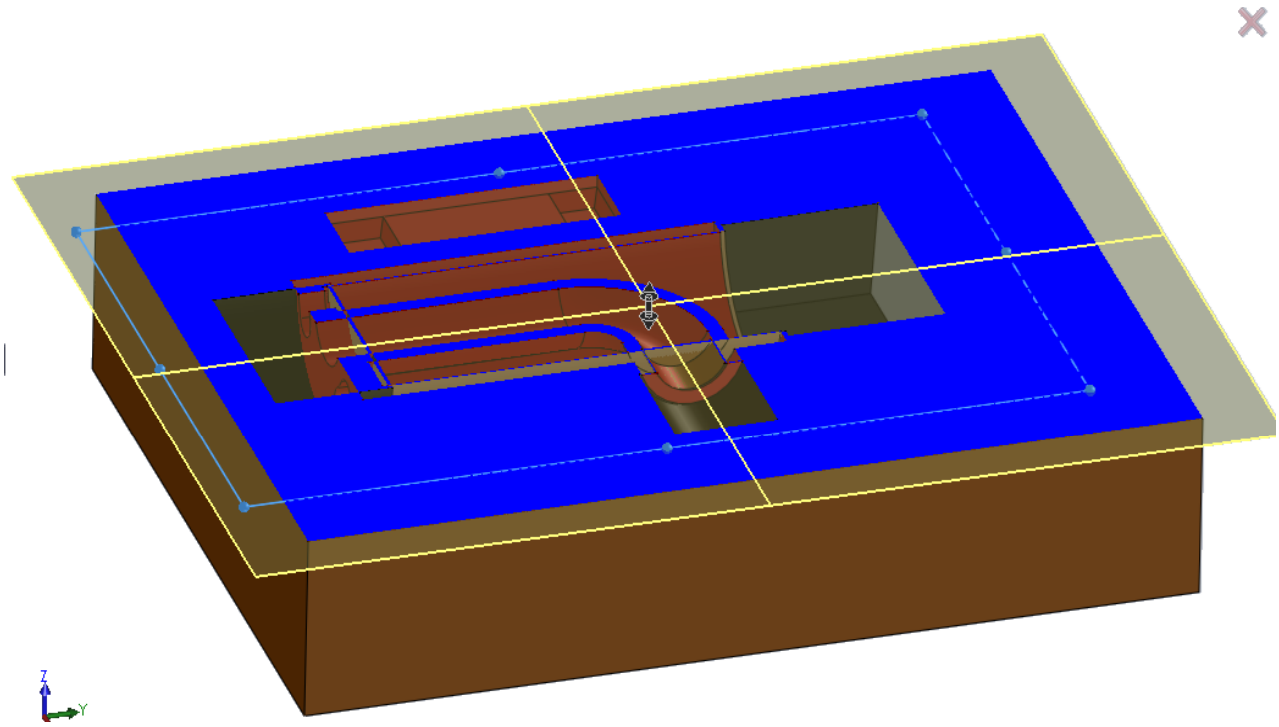
شکل ۲۳ – ابعاد ریشه ماهیچه



شکل ۲۴ – نشان دادن ریشه ماهیچه در نمای برش



شکل ۲۵ - برای قالبگیری مدل قطعه، از مدل صفحه ای استفاده شده است. نواحی سیاه رنگ جعبه ماهیچه را نشان می دهد.



شکل ۲۶ – فضای خالی ایجاد شده بوسیله مدل و ماهیچه ها

عملیات مدلسازی، قالبگیری و ماهیچه سازی

۱) نوع و جنس مدل[6]

نوع مدل این قطعه به صورت دو تکه و طریقه قالبگیری به صورت افقی و با سطح جدایش یکنواخت در نظر گرفته می شود.

برای خروج هر چه بهتر و راحت تر مدل از قالب، مدل را به صورت دو تکه در نظرمی گیریم.به موجب هرچه ساده تر عملیات قالبگیری و افزایش کیفیت سطح قالب، مدل به صورت سطح جدایش یکنواخت در نظر گرفته می شود.به منظور ثابت شدن ریشه ماهیچه ها و جلوگیری از حرکت ماهیچه در هنگام مونتاژ در قالب و همچنین در هنگام ذوب ریزی، طریقه قرار گیری مدل در قالب به صورت افقی پیشنهاد می گردد.

به منظور افزایش کیفیت قالبگیری و مقاوم در برابر عوامل خارجی پیشنهاد می گردد جنس مدل فلزی باشد. به سبب اینکه آلومینیوم در صنعت کاربرد بیشتری دارد و سبک تر است، این جنس به عنوان مدل در نظر گرفته می شود.

۲) نوع و مواد کاربرد در قالب[6]

برای این قطعه یک جفت درجه به ارتفاع ۲۰cm (هر لنگه ۱۰cm) مورد نیاز است. نوع قالب برای این قطعه قالب موقت پیشنهاد می گردد و مناسب ترین ماسه، ماسه سیلیس مصنوعی بوده به دلیل دیرگدازی بالا و قابلیت بازسازی و استفاده مجدد می باشد. برای افزایش کیفیت سطحی قالب به منظور تولید قطعه با کیفیت بالا از اندازه مش T90 استفاده می کنیم. برای شکل گیری ماسه به آنها چسب و مواد افزودنی دیگر استفاده می شود که در ادامه توضیح خواهیم داد.

۳) نوع و جنس جعبه ماهیچه[6]

این قطعه دوعدد ماهیچه دارد. نوع جعبه ماهیچه برای ماهیچه شماره۱، دو تکه با سطح جدایش یکنواخت پیشنهاد می شود و برای جعبه ماهیچه شماره۲، سه تکه با سطح جدایش یکنواخت پیشنهاد می شود.

جنس جعبه ماهیچه این قطعه چوبی پیشنهاد می شود چون سبکتر است و دلیل دیگر آن این است که ماسه ماهیچه مورد استفاده برای این قطعه، ماسه سیلیسی مصنوعی می باشد و نیازی به حرارت دادن برای سخت شدن ندارد.

۴) نوع ماهیچه[6]

نوع ماسه ماهیچه مورد کاربرد برای این فرآیند ماسه ماهیچه سیلیسی مصنوعی می باشد. این ماسه به دلیل قابلیت متلاشی شدن بهتر نسبت به بقیه و نیاز نداشتن به جعبه ماهیچه فلزی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. برای جلوگیری از ترک خوردن جداره های قطعه در هنگام انجماد مقداری خاک اره و آرد حبوبات به ماسه ماهیچه افزوده شد. علاوه بر این با توجه به اینکه ماهیچه داخلی دارای انحنا می باشد خارج کردن ماهیچه از قطعه دشوار خواهد بود اضافه کردن این مواد (خاک اره و آرد حبوبات) این مشکل را حل خواهد کرد البته درصورتیکه مقدار این مواد افزودنی بیش از حد باشد تولید گاز خواهد کرد.

۵) گاز های ماهیچه[6]

با توجه با اینکه مقدار ماهیچه های داخلی زیاد بوده و کاملا بوسیله مذاب احاطه می شوند ایجاد هرگونه گاز ناشی از رطوبت ماهیچه سبب ایجاد عیب در جداره قطعه می شود زیرا جداره ها نازک بوده و فشار گاز ایجاد شده توسط ماهیچه، می تواند موجب حفرات گازی و یا حتی جلوگیری از حرکت مذاب شود و عیوبی مانند پرنشدن یک ناحیه و نیامد را ایجاد کند. برای رفع

این عیوب بایستی ماهیچه ها در گرمخانه به مدت ۳ ساعت در دمای ۲۰۰ درجه حرارت داده شوند علاوه بر این طبق نظریه پرفسور کمپل **[7]** می توان از لوله های سوراخ دار استفاده کرد که این لوله ها در داخل ماهیچه قرار می گیرند و ختی می توانند بعنوان قانجاق عمل کنند. علاوه بر این در طرح فوق ریشه ماهیچه ها بصورت شیبدار طراحی شدند تا فضای خالی اندکی بین ریشه ماهیچه و قالب ایجاد شود که گازهای تولیدی بتوانند از ماهیچه خارج شوند.

۶) نوع و جنس مبرد[6]

این قطعه یک پوسته می باشد و ضخامت زیادی ندارد از این رو عیب انقباضی در این قطعه ایجاد نمی شود به همین منظور نیازی به استفاده از مبرد در قالب نمی باشد.

۷) پوشش قالب و ماهیچه[6]

دمای بارریزی این آلیاژ زیر $800^{\circ}C$ می باشد. و از آنجا که دیرگدازی ماسه و ماسه ماهیچه مناسب است، نیازی به استفاده از پوشش برای قالب و ماهیچه نمی باشد.

۸) نوع چسب و مواد افزودنی[6]

نوع چسب ماسه مصرفی در ساخت ماهیچه و قالبگیری سیلیکات سدیم می باشد. این چسب با گاز CO_2سخت می شود.

علاوه بر چسبندگی، ویژگی یک چسب خوب آن است که عدم تولید گاز و قابلیت استفاده مجدد داشته باشد.

مواد افزودنی کابرد در ماسه سیلیسی مصنوعی به شرح زیر است:

الف) پودر سپاریت (تالک): برای جلوگیری از چسبیدن ماسه و یا مدل به یکدیگر که مناسب ترین نوع سپارت، سپاریت ۵۵ می باشد.

ب) آرد حبوبات و خاک اره: برایبهبود قابلیت از هم پاشیدگی و جلو گیری از عیوب ناشی از انبساط قالب

۹) مقدار چسب مصرفی[6]

مقدار چسب مصرفی (سیلیکات سدیم) برای ماسه ماهیچه (ماسه CO_2) حدود ۴/۵٪می باشد.

۱۰) ارائه محاسبات برای راندمان ریخته گری[7]

این محاسبات برای این دلیل انجام می شود که، قطعاتی که در صنعت تولید می شوند از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند. حداقل راندمان ریخته گری برای آلیاژهای آلومینیوم باید ۷۰٪ باشد. به این دلیل که این قطعه نیازی به تغذیه ندارد با این وجود وزن سیستم راهگاهی به تنهایی محاسبه می شود.

۳/۲۴۲۷ gr	وزن کل (قطعه و سیتم راهگاهی)
۲/۶۵۲۱ gr	وزن قطعه
٪۸۲	**راندمان**

با توجه به محاسبات انجام شده، مقدار راندمان برای ریخته گری قطعات آلومینیم مناسب است.

شرایط عملیات ذوب و ریخته گری

آماده سازی شارژ ذوب بسیار اهمیت دارد می توان از شمش A356 و یا قراضه های این آلیاژ استفاده کرد (البته بهتر است از شمش استفاده شود) در غیر اینصورت برای آلیاژسازی باید از آلومینیم خالص به همراه آمیژان Al-Si (به دلیل نقطه ذوب بالای سیلسیم) و آمیژان Al-Mg استفاده شود. البته به جای آمیژان Al-Si می توان از قطعات آلومینیمی پرسیلس استفاده کرد(رقیق سازی انجام شود) اما با توجه به فشار بخار بالای منیزیم حتما بایستی از آمیژان آن استفاده شود تا بتوان به طور دقیق مقدار آن را کنترل کرد.

برای رسیدن به شرایط وکیفیت مورد نظر مناسب مذاب، باید عملیاتی بر روی آن صورت پذیرد که به این عملیات عملیات کیفی روی مذاب گویند. این عملیات به ترتیب عبارتند از:

۱) افزودن نیمی از فلاکس پوششی (کاورال) همراه مواد شارژ در ابتدا: در این قسمت از عملیات مواد شارژ تمیز(نظیر شمش ها و برگشتی هایی که ترکیب مشخصی دارند) را همراه با نصفی از کاورال ذوب می کنیم. این عمل باعث جلوگیری از اکسیداسیون و ورود گاز و اکسیژن به داخل مذاب می شود. متداولترین کاورال ها برای مذاب Al-Siکاورال شماره 5 که به رنگ سفید بوده و کاورال شماره 11S که به رنگ صورتی است، می باشد. مقدار مصرفی آن حدود ۱٪ می باشد.**[1][6]**

۲) اصلاح ریزساختار:به منظور بدست آوردن خواصی نظیر: افزایش مقاومت به سایش، بهبود قابلیت ماشین کاری، افزایش استحکام و جلوگیری از ترک و نشتی از اصلاح کننده ریز ساختار استفاده می شود. اصلاح کردن ریزساختار سبب می شود تیغه های یوتکتیک آلومینیم-سیلسیم شکسته شده و بصورت کروی در آید. البته برای این قطعات می توان با عملیات حرارتی رسوب سختی نیز به این اهداف نائل شد. برای این آلیاژ مناسب ترین اصلاح کننده ها سدیم و استرانسیم می باشد اما به این دلیل که سدیم به سرعت تبخیر می شود مناسب نبوده و از استرانسیم که به صورت آمیژان وجود دارد استفاده می شود. و مقدار استفاده از آن ۰/۲٪ می باشد.**[1][6]**

۳) جوانه زایی:برای انجام ریز کردن ریز ساختار بایستی مکان های جوانه زنی افزایش یابد. بهترین جوانه زا برای آلیاژهای هیپویوتکتیک آلومینیوم، نئوکلانت 2 که ترکیبی از تیتانیم و بر با نسبت ۵ به ۱ می باشد، است. مقدار افزودن این ماده به مذاب بین ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ درصد می باشد.**[1][6]**

۴) گاز زدایی: مذاب آلومینیوم قابلیت انحلال گاز هیدروژن در خود را می باشد که موجب مک و حفرات گازی در قطعات آلومینیوم می شوند. برای جلوگیری از این عمل از گاززدایی انجام می شود. گاز زدایی به سه روش: ذوب در خلا، استفاده از دگازور و دمش گاز خنثی در پاتیل انجام می شود.بهترین گاززدا دمش گاز خنثی در پاتیل می باشد اما با توجه به شرایط کارگاهی و اقتصادی استفاده از قرص دگازور پیشنهاد می گردد. این مواد شامل ترکیبات کلردار بوده که با هیدروژن داخل مذاب واکنش داده و باعث خارج شدن هیدروژن می شود. بهترین و مناسب ترین دگازور برای این آلیاژ هگزاکلرمتان می باشد. مقدار استفاده این ماده بین ۰/۱ تا ۰/۲ درصد می باشد.**[1][6]**

۵)سرباره گیری: این عمل به منظور جمع آوری سرباره و ناخالصی های فیزیکی موجود در مذاب انجام می شود. در این بخش باقیمانده کاورال را به مذاب افزوده که کاورال به شکل خمیری در آمده و با مذاب واکنش داده و سرباره ها را به سطح مذاب آورده و در پایان جمع آوری می کنیم.**[1][6]**

دمای بارریزی:با توجه به شبیه سازی لنجام شده دمای بارریزی برای این آلیاژ ۷۴۰°C پیشنهاد می شود تا از به وجود آمدن عیب سردجوشی در این قطعه جلوگیری گردد.**[1][6]**

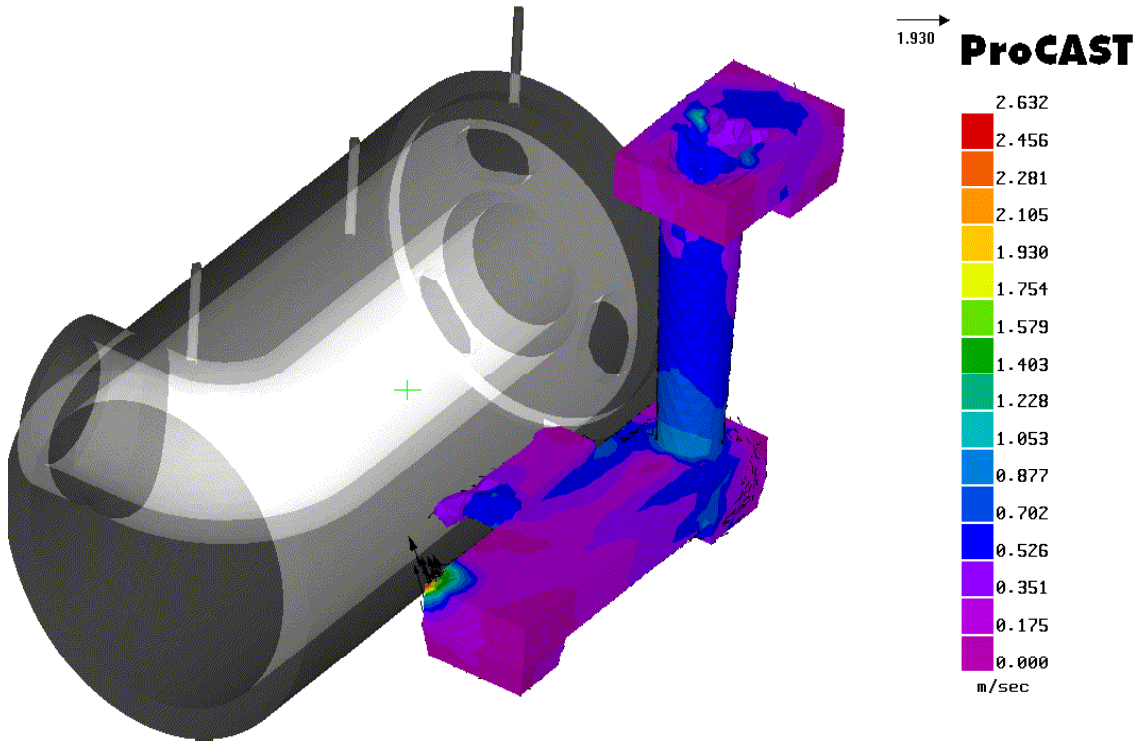
عملیات فوق گداز: باید دقت شود در هنگام ذوب مواد شارژ حداکثر دمای ذوب ۸۰۰°C باشد در غیر اینصورت امکان تبدیل اکسیدآلومینیوم (Al_2O_3) نوع γ به نوع α می باشد. این نوع اکسید چگالی و سختی بسیار بالایی دارد که خواص مکانیکی قطعه نظیر تراشکاری را به شدت کاهش می دهد.**[1][6]** البته بایستی دما مذاب در داخل کوره زیر ۷۵۰ نگه داشته شود در غیر اینصورت به ازای هر ۱۰ درجه افزایش دما، گازهای زیادی در داخل مذاب حل خواهد شد.

محاسبه سرعت بارریزی

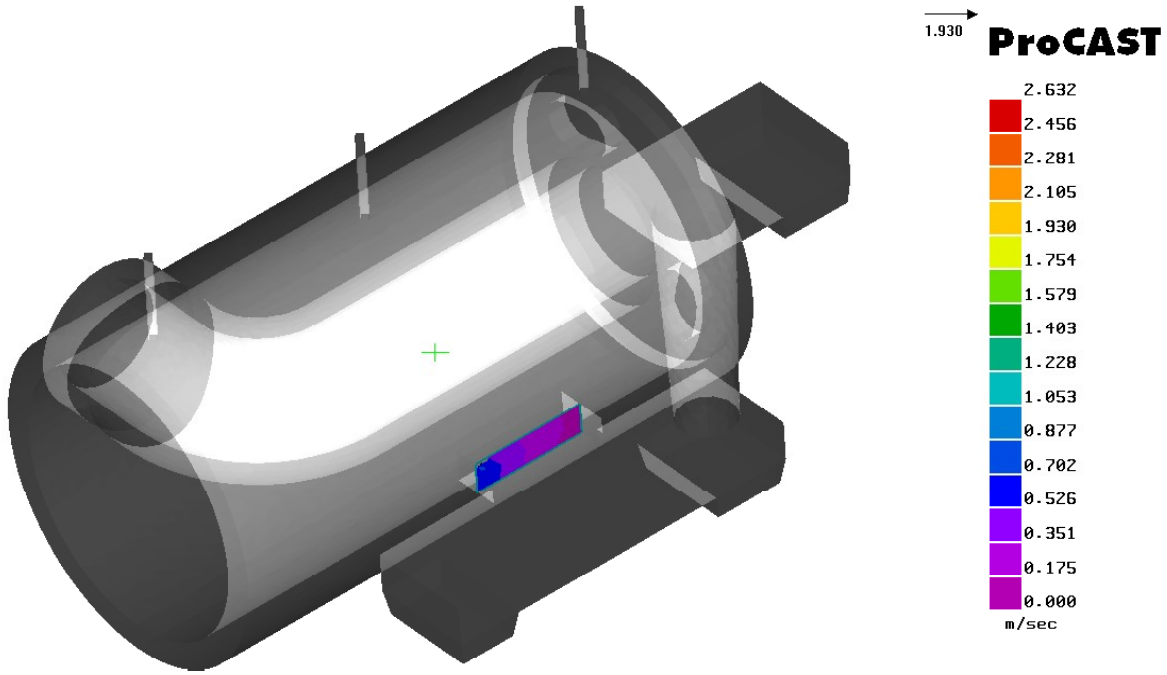
با شبیه سازی طرح های مختلف، نتایج نشان داد در طرح نهایی سرعت مذاب در لحظه ورود به قطعه پایین می باشد (کمتر $0.5m/s$) که مطابق با نظریات پرفسور کمپل و همکارانش است.(شکل ۲۷ تا ۲۹)

زمان انجماد

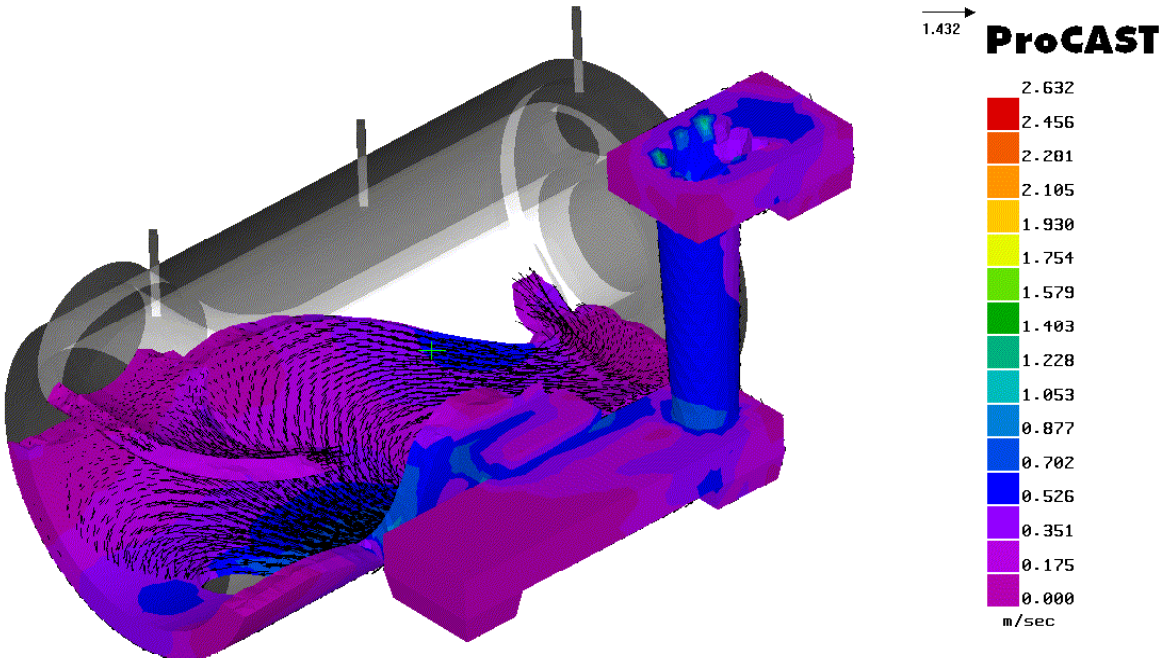
همانطور که در شکل های ۳۰ و ۳۱ مشاهده می شود زمان انجماد کل قطعه در حدود ۷ دقیقه می باشد طولانی ترین زمان مربوط به راهگاه و راهباره و کوتاهترین زمان مربوط به سوراخهای هواکش می باشد. قسمت ماهیچه داخل با سرعت بیشتری نسبت به قسمت خارجی سرد شده است. انجماد از دو طرف قطعه شروع شده و در وسط قطعه(محل اتصال راهباره به قطعه) به اتمام می رسد این سبب خواهد شد راهگاه نقش تغذیه را نیز درصورت نیاز ایفا کند.



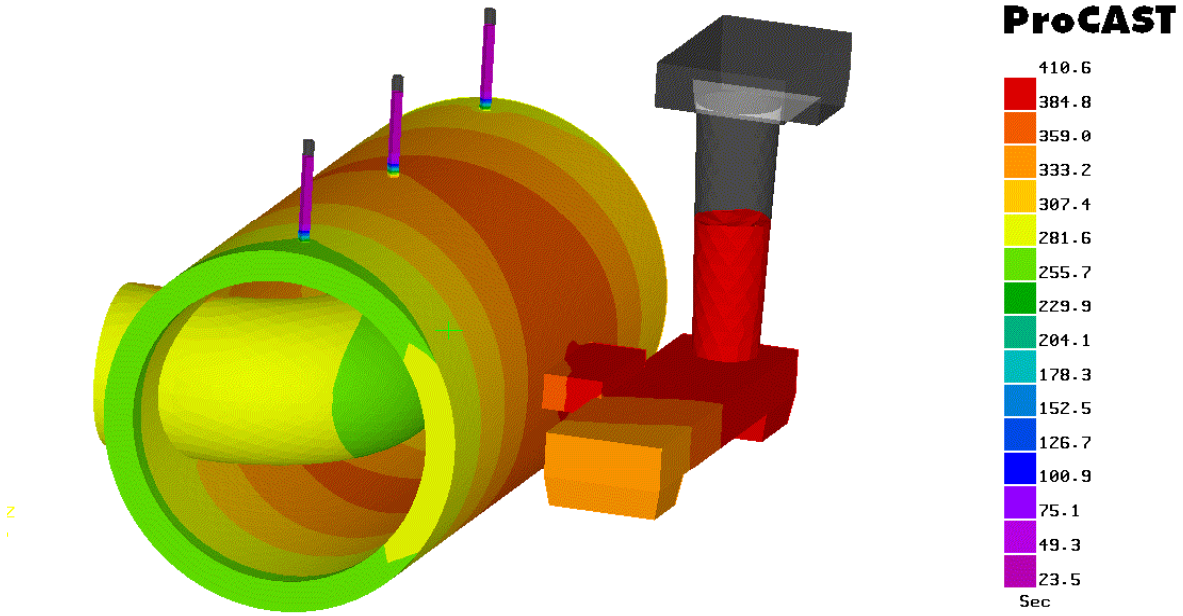
شکل ۲۷ – بردارهای سرعت مذاب در هنگام ورود به قالب



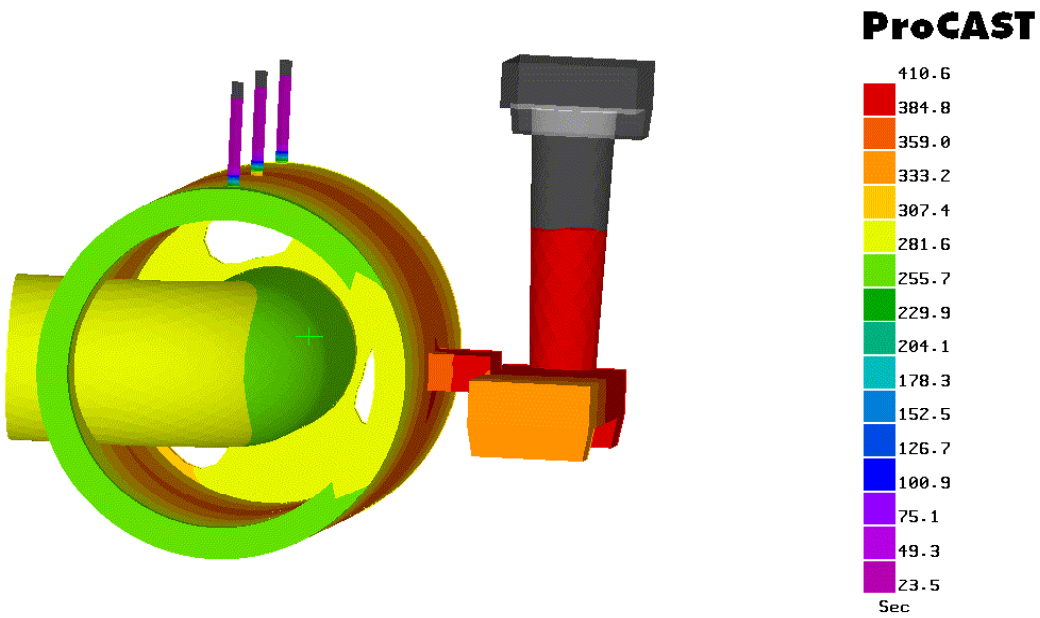
شکل۲۸ – سرعت مذاب در لحظه ورود به قطعه، که در بیشترین حالت خود (سمت چپ راهباره) به **0.52m/s** رسیده است.



شکل ۲۹ – بردارهای سرعت مذاب



شکل ۳۰ – کانتور زمان انجماد طرح فوق، طولانی ترین زمان مربوط به راهگاه و راهباره بوده (۷ دقیقه) و کوتاهترین زمان مربوط به سوراخهای هواکش می باشد. انجماد در دو طرف قطعه شروع شده و در وسط به پایان می رسد در واقع به سمت راهگاه جهت دار است.



شکل ۳۱ – زمان انجماد لوله داخلی در حدود ۲۲۹ ثانیه می باشد که نسبت به پوسته بیرونی با سرعت بیشتری سرد شده است .

سادگی، انجام پذیری، ابتکار، خلاقیت

سادگی

برای جلوگیری از هزینه بی رویه برای تولید و ساخت مدل آلومینیومی ابتدا مدل این قطعه را به صورت چوبی می سازیم سپس با ریخته گری، این مدل را به آلومینیومی تبدیل می کنیم. (اما باید توجه داشت که دو بار انقباض در نظر گرفته شود.) چون کیفیت قالبگیری مدل آلومینیومی نسبت به مدل چوبی بیشتر است.

جعبه ماهیچه ها به صورت چوبی ساخته می شوند چون هم هزینه ها کمتر است و هم ساخت راحت تر است.

انجام پذیری

این مدل باید به دلایل زیر به صورت افقی قالبگیری شود:

۱) به منظور قالبگیری راحت تر به خاطر سطح جداش یکنواخت و خروج مدل از قالب

۲) به منظور خروج راحت تر گاز از قالب به علت ارتفاع کم قالب

۳) امکان سردجوشی در قالب (اگر عمودی قالبگیری شود سرعت پر شدن قالب بیشتر شده و سردجوشی به وجود می آید).

۴) نیازی به تغذیه ندارد (با محاسبات انجام شده، اگر این قطعه به صورت عمودی قالبگیری شود در بالای آن عیب انقباضی به وجود می آید). در نتیجه قالبگیری آسان تر شده و راندمان طرح افزایش خواهد یافت.

ابتکار

در اثر تماس مذاب با ماسه، گاز زیادی تولید می شود که برای خروج این گاز انتهای ماسه که ریشه ماهیچه بر روی آن سوار است را شیبدار می کنیم تا گاز ها در آن قسمت حبس شوند با انجام این کار نیازی به اتصال سوراخ داخل ماهیچه به هوای اتمسفر نمی باشد در اینصورت خروج گاز بهتر بوده و طراحی ساده تر انجام می شود.

برای کاهش هزینه های تراشکاری، افزایش راندمان ریختگی و از طرفی چون امکان تراشکاری سطح مدور خارجی قطعه و داخل قطعه وجود ندارد از ماسه سیلیسی مصنوعی بجای ماسه طبیعی برای قالبگیری استفاده می شود چون سطح کیفی بالاتری خواهد داشت. همچنین با توجه به شرایط کارکرد قطعه در صنعت و اتصال دقیق تر این قطعه به قطعه های جانبی آن، مطابق استاندارد در محل های اتصال اضافه تراش لحاظ گردید.

ریشه ماهیچه ی ماهیچه بزرگ به صورت مکعب طراحی شده تا حجم آن افزایش یابد. تا تعادل را حفظ کند.

خلاقیت

با طراحی پله ای ماهیچه، نیازی به در نظرگرفتن شیب برای قطعه نمی باشد؛ زیرا:

۱) باعث افزایش حجم و وزن ریشه ماهیچه شده که امکان حرکت ماهیچه در قالب خیلی کم می شود.

۲) باعث افزایش راندمان ریختگی می شود چون ضخامت تراشکاری کاهش می یابد.

۳) باعث ایجاد شدن راهنما بر روی ماهیچه می شود که هنگام قرارگیری ماهیچه در قالب کار راحت تر انجام می شود.

برای افزایش راندمان ریختگی و مقرون به صرفه بودن، برای سوراخ هایی که در انتها قرار دارند تراشکاری در نظر گرفته نمی شود. برای ایجا سوراخ ها در این قطعه ماهیچه و جعبه ماهیچه طراحی شده است.

بر روی ماهیچه به قطر بزرگتر پین قرار داده می شود با این کار، عمل قرارگیری ماهیچه به قطر کوچکتر در آن راحت تر انجام می شود.

به منظور افزایش استحکام و جلوگیری از شکستن ماهیچه ها در آنها قانجاق قرار داده می شود.

نکته۲ – تمامی نقشه به صورت سه بعدی در فایل SOLID WORKS قرار دارد.

نکته۳ – تمامی طراحی، محاسبات، ترسیمات و پیشنهادات انجام شده و ذکر شده براساس تولید تیراژ بالای این قطعه صورت گرفته و برای تعداد کم مقرون به صرفه نیست.

منابع

[1] : ریخته گری آلیاژهای غیرآهنی، جلال حجازی

[2]: نرم افزار شبیه سازی ریخته گری

[3]: اصول طراحی مدل ها و قالب های ریخته گری، مراد سلیمی، انتشارات حسینیان،۱۳۸۱

[4]: ریخته گری پیشرفته، پرفسور جان کمبل، ترجمه دکتر م.ع.بوترابی

[5]: نگرشی نوین بر طراحی سیستم راهگاهی، دکتر م.ع.بوترابی

[6] : جزوه ریخته گری، اساتید دانشکده فنی مشهد

[7] : The ten rules of casting, John Campbell, 2004.