AI-0403

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فهرست مطالب ..... ب

۱-۲- خلاصه طرح ۱

۱-۲- جزئیات طراحی اجزاء مدل و قالب ۲

۱-۲-۱- محاسبات سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری ۲

۱-۲-۲- طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری ۳

۱-۲-۳- طراحی و ساخت مدل و قالب ۵

۱-۲-۳-۱- عملیات مدلسازی ۵

۱-۲-۳-۲- عملیات قالب‌گیری و ماهیچه‌سازی ۶

۱-۲-۳-۳- تعیین راندمان ریختگی ۷

۱-۳- شرایط عملیات ذوب و ریخته‌گری ۸

۱-۳-۱- عملیات ذوب و انجماد آلیاژ A۳۵۶ ..... ۸

۱-۳-۲- کوره و بوته ریخته‌گری ۹

۱-۳-۳- عملیات کیفی آلیاژ A۳۵۶ ..... ۱۰

۱-۳-۴- خلاصه عملیات ذوب و ریخته‌گری ۱۳

۱-۴- سادگی، انجام پذیری، ابتکار و خلاقیت ۱۳

۱-۵- منابع مراجعه ۱۶

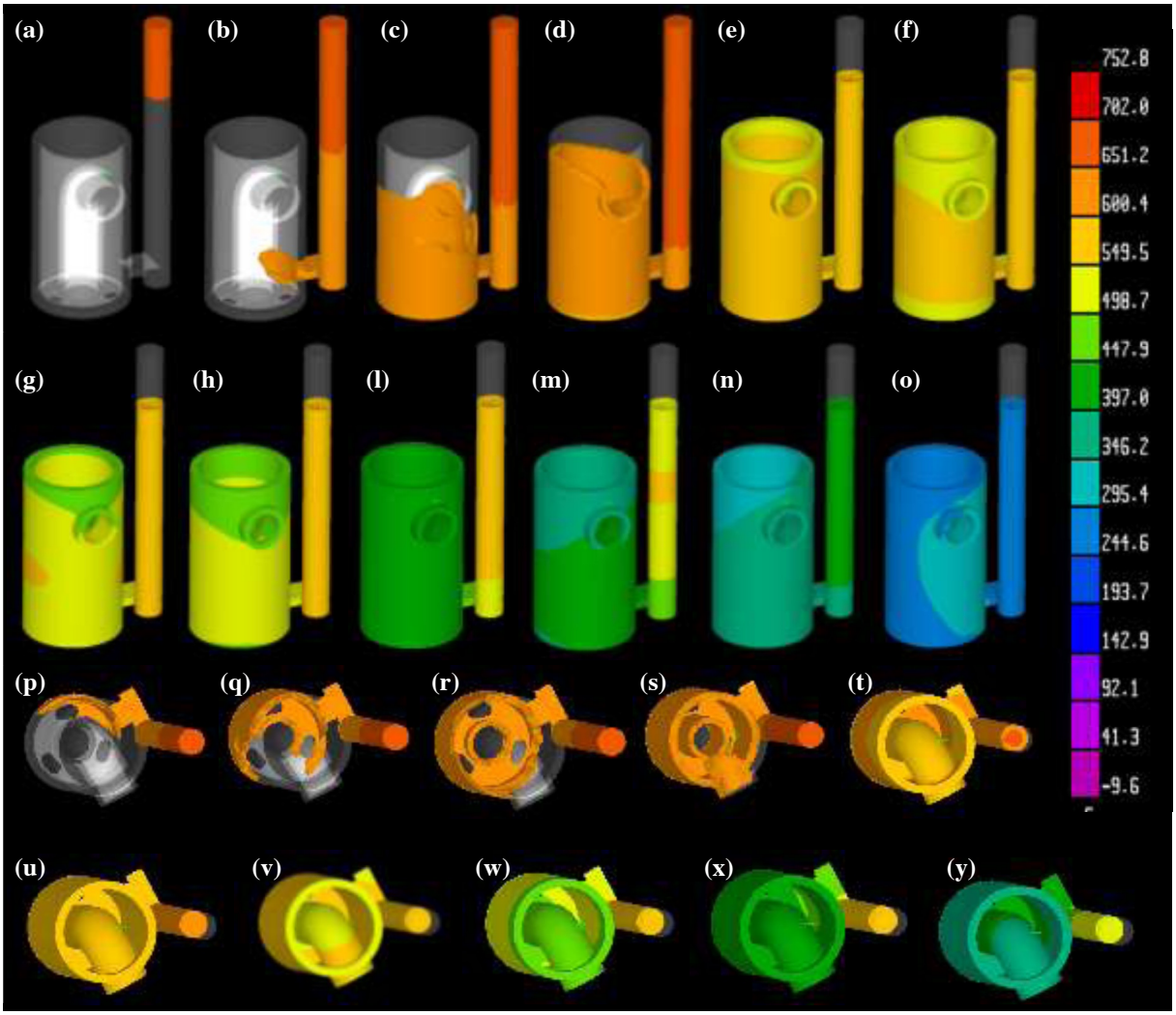
۱-۱- خلاصه طرح

آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ دارای نقطه ذوب ۶۱۰ درجه سانتی‌گراد، هدایت حرارتی ۰/۲۶ کالری بر سانتی‌متر، وزن مخصوص ۲/۶۹ و دانسیته ۲۷۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب، یکی از آلیاژهای پرکاربرد ریختگی از گروه آلیاژی ۳xx است و قابلیت عملیات حرارتی را دارد. ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ در جدول ۱-۱ نشان داده شده است[۱]. از خصوصیات این آلیاژ می‌توان به مقاومت پایین نسبت به ترک گرم، استحکام بالا، سیالیت پایین و مقاومت به خوردگی متوسط اشاره کرد. در این طرح قطعه به صورت عمودی و سه تکه طراحی می‌شود. برای ایجاد اجزای میانی قطعه از دو جعبه ماهیچه و چهار ماهیچه بهره گرفته شده است. شکل مدل به صورتی است که می‌توان آن را توسط چوب تهیه کرد ولی جهت افزایش کیفیت سطح و دقت می‌توان از مدل‌سازی به روش CNC بهره برد. جهت افزایش کیفیت سطحی، روی قطعه مورد نظر از ماسه T۹۰ با ۳/۵ درصد چسب و بعد از آن از ماسه سیلیسی پشت‌بند T۱۲۰ با ۴/۵ درصد چسب سیلیکات سدیم استفاده می‌شود. برای ساخت ماهیچه‌ها نیز باید از دو نوع ماسه سیلیسی و چراغی استفاده کرد. برای استحکام‌دهی به ماسه از گاز دی‌اکسیدکربن استفاده می‌شود. مدل و جعبه ماهیچه همه از جنس Al-Si است که خود دارای مزیت‌های از جمله؛ مقاومت به خوردگی بسیار بالا در برابر مواد قالب‌گیری و ماسه، ریخته‌گری و ماشین‌کاری آسان، انقباض و انبساط بسیار پایین و ایجاد دقت ابعادی بالا هستند.

جدول ۱-۱- محدوده ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ برحسب درصد وزنی[۲].

عنصر	تیتانیم	روی	منیزیم	منگنز	مس	آهن	سیلیسیم	آلومینیم
مقدار	۰/۲	۰/۳۵	۰/۴-۰/۲۵	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۷/۵-۶/۵	باقی‌مانده

برای ذوب کردن آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ از یک کوره زمینی بوته متحرک، با سوخت گازوئیل یا گاز متان، و با محیط اکسیدان مورد نیاز است. برای انجام گاززدایی و عملیات کیفی روی مذاب آلومینیم A۳۵۶، بهترین روش استفاده از گاز بی‌اثر آرگون جهت افزایش فشار داخلی و کاهش فشار خارجی است (در غیر این صورت می‌توان از قرص دگازور استفاده کرد). جهت انجام عملیات اکسیژن‌زدایی می‌توان از فلاکس‌های پوششی ویا پودر کاورال ۱۱ استفاده کرد که به‌ترتیب اکسیژن‌زدایی مکانیکی و شیمیایی نام دارند. پس از ذوب آلیاژ مورد نظر جهت بهبود خواص مکانیکی و همچنین همگن شدن ساختار از جوانه‌زای تیتانیوم ویا قرص جوانه‌زای M۱۱ (Na_3AlF_6) استفاده می‌شود. باید همواره دقت داشته باشیم که جوانه‌زایی باید در مراحل پایانی انجام شود تا از میرایی آن جلوگیری به‌عمل آید. در پایان اصلاح فاز دوم توسط افزودن فلوئور سدیم (NaF) یا کلرید سدیم (NaCl) باید انجام پذیرد. قبل از ریختن مذاب به درون قالب باید دما کنترل شود. دمای ذوب برای آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ برابر ۶۱۰ درجه سانتی‌گراد است. دمای فوق ذوب برای این آلیاژ بین ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود و با توجه به ضخامت کم مدل دمای ریختن آلیاژ باید به ۶۶۰ الی ۶۷۰ درجه سانتی‌گراد برسد. در پایان جهت بهبود خواص مکانیکی، یکنواختی در اندازه ذرات فاز دوم و جلوگیری از ورود آخال به درون قالب از یک فیلتر الیافی یا فومی ۳۰ppi در امتداد سیستم راهگاهی استفاده می‌شود. زمان ریخته‌گری برای این قطعه ۵ ثانیه و سرعت باررریزی ۰/۶۶ کیلوگرم بر ثانیه در نظر گرفته شده است. در طی فرایند ریختن مذاب به درون قالب، همواره باید لوله راهگاه و حوضچه باررریز پر باشند. در طراحی سیستم راهگاهی باید همواره دقت شود تا مذاب با تلاطم کمی وارد قالب شده و همچنین آخال و یا سرباره وارد قالب نشود. سیستم راهگاهی در این آلیاژ از نوع غیرفشاری و با نسبت ۱:۲:۲ انتخاب شد. شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار پروکست برای این آلیاژ انجام شده و نتایج آن از شروع ریخته‌گری تا پایان آن در شکل ۱-۱ آورده شده است.



شکل ۱-۱- فرایند شبیه‌سازی پروکست برای طرح آلومینیم از جنس A۳۵۶ با دمای ریخته‌گری ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد با جهت‌های نمایش متفاوت.

نکته۱:در شبیه‌سازی پروکست به دلیل عدم طراحی حوضچه بارریز و پرکردن ۹۸ درصدی قالب توسط نرم‌افزار لوله راهگاه بلندتر از حد معمول در نظر گرفته می‌شود، تا قالب کاملا توسط مذاب پر گردد.

۱-۲-جزئیات طراحی اجزاء مدل و قالب

۱-۲-۱- محاسبات سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری

برای محاسبات مربوط به سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری اولین گام ایجاد یک تکنولوژی صحیح و بدون عیب است. باتوجه به پارامترهای زیر باید سیستم راهگاهی و تغذیه را محاسبه و طراحی کرد[۳].

- ✓ نوع انجماد (خمیری، پوسته‌ای و میانی بودن انجماد که با سیالیت رابطه دارند).
- ✓ انتخاب سطح جدایش (بسته به قرار گرفتن مدل در درجه بالایی و یا پایینی رابطه سطح تنگه تغییر می‌کند).
- ✓ اندازه، شکل و ضخامت مدل (روی تعداد و شکل کانال‌های اصلی و فرعی تاثیر بسزایی دارد).
- ✓ وزن مخصوص و سایر عوامل دیگر.

برای محاسبه سیستم راهگاهی باید ابتدا مقادیر سطح و حجم قطعه را محاسبه کنیم. نرم افزار کتیا این مقادیر را به صورت دقیق به ما خواهد داد که در زیر آورده شده است.

V=۹۴۸/۰۱ Cm^3= حجم قطعه برحسب سانتی‌متر مکعب

A۲۱۷= Cm^2 = سطح کل قطعه برحسب سانتی‌متر مربع

بنابراین مدول حجمی کل برای این قطعه برابراست با:

$$Mc = \frac{V}{A} = \frac{100}{185} = 0.5\ Cm \qquad (۱-۱)$$

پس با توجه به سطح زیاد قطعه نسبت به حجم آن و با توجه به این که مدول حجمی کمتر از یک شده است، لذا قطعه نیازی به تغذیه‌گذاری ندارد. مدول حجمی برای برای قسمت‌های مختلف قطعه هم به‌صورت جداگانه محاسبه شده و در این صورت هم، مدول حجمی کمتر از یک شده و درنتیجه تغذیه‌گذاری نیاز نیست. پس‌از تغذیه‌گذاری به محاسبات مربوط به سیستم راهگاهی خواهیم پرداخت. رابطه مربوط به سطح تنگه با توجه به این‌که قطعه در قالب رویی قرار می‌گیرد (به دلیل جزیی بودن حجم در درجه زیر و باتوج به این‌که راهگاه در درجه زیری برخورد می‌کند، از این رابطه استفاده خواهد شد) عبارتست از[۴]:

$$Ac = \frac{1}{\mu.t.\sqrt{2g}} * 1.5l\frac{V}{\sqrt{H^3}-\sqrt{(H-l)^3}} \qquad (۲-۱)$$

V: حجم قطعه موردنظر، بعلاوه ۱۰درصد حجم قطعه جهت اضافه شدن سیستم راهگاهی.

t: زمان شروع ریخته‌گری تا پرشدن قالب (برحسب ثانیه)و براساس رابطه ($t = s\sqrt[3]{\sigma.\omega}$) محاسبه می‌شود.

H: ارتفاع موثر (ارتفاع درجه رویی).

l: ارتفاع قطعه.

μ: ضریب ریختگی (بر اساس وزن قطعه و از نمودار تعیین می‌شود و برای این قطعه ۰/۳ در نظر گرفته شده است.

درنتیجه، پس‌از جای‌گذاری پارامترها در رابطه ۱-۲، سطح تنگه برابراست با:

AC=۰/۵ Cm^2

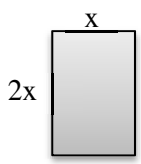
باتوجه به این که سیستم از نوع غیرفشاری و با نسبت‌های ۱:۲:۲ در نظر گرفته شده است، لذا قطر لوله راهگاه عبارتست از:

$$\frac{\pi D^2}{4} = 0.5 * 1 \rightarrow \quad D^2 = 0.6 \rightarrow \quad D = 0.78 \approx 0.8\ Cm$$

بنابراین ابعاد کانال اصلی و فرعی برابر است با:

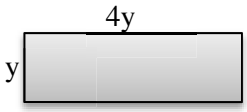
$$2x * x = 2 * 0.5 \rightarrow \quad x^2 = 0.5 \rightarrow \quad x = 0.7 \rightarrow \quad 2x = 1.4Cm$$

سطح کانال اصلی:



$$4y * y = 2 * 0.5 \rightarrow \quad 4y^2 = 1 \rightarrow \quad y^2 = 0.25 \rightarrow \quad y = 0.5 \rightarrow \quad 4y = 2$$

سطح کانال فرعی:



دلیل استفاده از نسبت y به ۴y این است، که از تمرکز حرارتی در ناحیه برخورد کانال فرعی جلوگیری کنیم.

۱-۲-۲- طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری

طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری یک امر مهم و لازم در ریخته‌گری قطعات محسوب می‌شود. طبق اصول طراحی سیستم راهگاهی اجزای اصلی یک سیستم راهگاهی استاندارد شامل؛ حوضچه بارریز، لوله راهگاه، حوضچه پای راهگاه، کانال اصلی و کانال فرعی است. عواملی چون شکل، نوع، تعداد، اندازه و مکان سیستم راهگاهی نیز در

تولید یک قطعه عاری از عیب تاثیر گذارند. پیش‌تر در مورد شکل، اندازه و نوع سیستم راهگاهی بحث و بررسی شد. در این قسمت به بررسی تعداد و مکان سیستم راهگاهی و تغذیه می‌پردازیم. در ابتدا باید گفت که، مکان سیستم راهگاهی به اندازه قابل توجهی به سطح جدایش مدل بستگی دارد که در بخش بعدی در مورد انتخاب سطح جدایش توضیح داده خواهد شد. در ابتدا به طراحی حوضچه بارریز پرداخته می‌شود. حوضچه بارریز در آلومینیم و آلیاژهای آن از نوع گلابی است که در بخش قالب‌گیری در مورد آن توضیح داده شده است. در این طرح نحوه قالب‌گیری به صورت عمودی است[۲و۵]. لذا به دلیل ارتفاع نسبتا زیاد مدل باید چاره‌ای برای سقوط آزاد مذاب به درون قالب پیدا کرد. برای رفع این مشکل، ابتدا حوضچه پای راهگاه را بزرگ‌تر در نظر گرفته و سیستم راهگاهی را غیرفشاری درنظر می‌گیرند. پس برای این طرح باید ذوب از کف قالب وارد شده، تا بدون هیچ تلاطمی قالب را پر کند. از طرفی کانال فرعی باید به قسمتی از قطعه متصل شود، که قابلیت تراش‌کاری داشته باشند. به عبارتی دیگر، جداسازی سیستم راهگاهی از قطعه آسان باشد[۶]. محل سیستم راهگاهی به محل‌کاری قطعه نیز ارتباط دارد؛ زیرا سیستم راهگاهی نباید در محلی طراحی شود که در آن ناحیه در محیط کاری تنش و یا سایش وجود داشته باشد. در شکل ۱-۲ طراحی سیستم راهگاهی برای این طرح آورده شده است. پس بسته به نوع تکنولوژی و طراحی موجود، تعداد هر یک از پارامترهای بالا متغییر است. در شکل مشاهده می‌شود که راهگاه جلوی تیغه پایینی به قطعه متصل شده است. این نقطه به این دلیل انتخاب شد تا ذوب گرم وارد قالب شده و تیغه نازک پایینی را پر کند. در طراحی سیستم راهگاهی غیرفشاری در نظر گرفته شده است. در آلیاژهای آلومینیم، حوضچه بارریز را به شکل گلابی و لوله اصلی راهگاه را به شکل استوانه و با شیب ۱/۵ الی ۲ درجه‌ای، در نظر گرفته می‌شود. حوضچه پای راهگاه جهت کاهش تلاطم مذاب درحال سقوط در پایین لوله راهگاه تعبیه می‌شود. عمق حوضچه پای راهگاه ۲برابر عمق کانال اصلی و قطر آن ۱/۵ برابر قطر لوله راهگاه است. کف حوضچه پای راهگاه کاملا تخت طراحی می‌شود تا از هرگونه تلاطم، ناشی از سقوط مذاب جلوگیری کند. در انتهای کانال اصلی یک چاهک جهت محبوس کردن شلاکه‌ها و آخال تعبیه می‌شود. در انتها کانال فرعی به‌صورت مورب به قطعه متصل می‌شود تا هنگام ریخته‌گری، مذاب در قالب چرخیده و تمامی نقاط را پر کند و یکنواختی در ترکیب‌شیمیایی داشته باشیم. از طرفی با ورود مذاب به درون قالب ذوب با سرعت وارد کانال اصلی شده و سپس به انتهای کانال اصلی برخورد کرده و آرام می‌شود و به کانال فرعی رفته و درنهایت قالب پر می‌شود. به دلیل ضخامت پایین قطعه و همین‌طور کم بودن منافذ خروج گاز در ماسه سیلیسی باید محلی برای خروج گاز در بالای قالب در نظر گرفته شود تا گازهای ایجاد شده در حین ریخته‌گری خارج شود. محفظه خروج گاز نباید مستقیما به قطعه متصل باشند چون زیر آن در قطعه مک‌گازی ایجاد می‌شود.

شکل ۱-۲- محل سیستم راهگاهی و طراحی آن روی قطعه.

۱-۲-۳- طراحی و ساخت مدل و قالب

۱-۲-۳-۱- عملیات مدلسازی

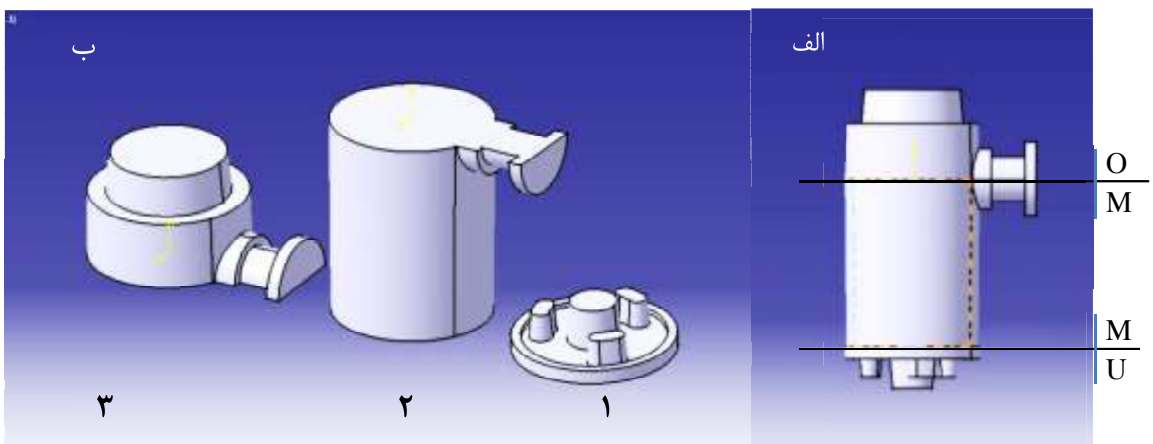
جهت ساخت مدل برای این قطعه روش‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها در زیر آورده شده است:

- ✓ ساخت مدل چوبی یا یونالیتی و سپس قالب‌گیری و ریخته‌گری آن توسط آلومینیم و تهیه مدل آلومینیمی. (مدل آلومینیمی توسط مدل چوبی ساخته شده و باید از محاسبه دوبرابر انقباض در ساخت مدل چوبی استفاده شود تا هنگام تهیه مدل آلومینیمی نیمی از انقباض اعمال شده و پس از ریخته‌گری قطعه، نیمه‌ی دوم انقباض حاصل شود).
- ✓ ساخت مدل آلمینیمی توسط دستگاه CNC، به این صورت که نقشه مدل را به همراه مواد مورد نیاز به دستگاه داده و سپس دستگاه، شکل مدل را ایجاد می‌کند. این روش برای ساخت مدل‌های چوبی نیز کاربرد دارد. (مدل‌سازی به این روش، گران قیمت بوده ولی درعوض ابعاد مدل در این روش بسیار دقیق هستند و از همه مهم‌تر زمان بسیار کمی صرف مدل‌سازی به روش CNC می‌شود).

برای ساخت مدل چوبی باید به ترتیب زیر عمل کنیم:

- ✓ چسباندن سه تکه چوب با ضخامت‌های موردنیاز با کاغذ و چسب، (باتوجه به ضخامت سطح جدایش).
- ✓ خراطی بدنه اصلی به صورت یک استوانه توپر، با در نظر گرفتن شیب، اضافه تراش، انقباض و سایر موارد.
- ✓ خراطی ریشه ماهیچه‌ها و استوانه خارج‌شده از بدنه و چسباندن آن‌ها به بدنه اصلی مدل توسط چسب.
- ✓ جدا کردن قسمت‌های مدل با توجه به سطح جدایش به سه قسمت جداگانه (تصویر نمادینی از قسمت‌های مختلف مدل در شکل ۱-۳ نشان داده شده است).

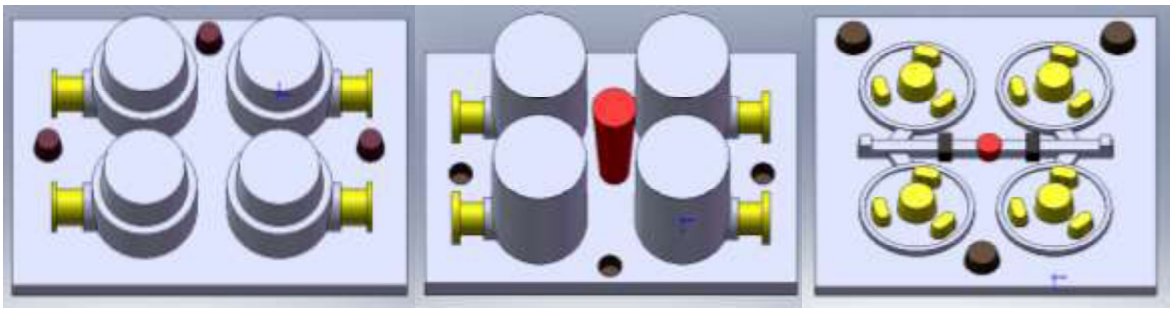
باتوجه به این که، محاسبات مربوط به سیستم راهگاهی و طراحی سیستم راهگاهی انجام شد، نوبت به طراحی مدل و قالب می‌رسد. جهت انجام مدلسازی روی این قطعه ابتدا باید ۱/۲ درصد انقباض به قطعه اضافه شود[۷]. همچنین برای سهولت خروج مدل از قالب ۱/۵ درجه شیب به مدل داده می‌شود. باتوجه به این که قالب‌گیری عمودی است میزان ۳ میلی‌متر از بالا و ۲ میلی‌متر از پایین سطح قطعه اضافه تراش داده می‌شود. در شکل ۱-۳ تصویری نمادین از مدل نشان داده شده است (پس‌از اعمال شیب، درصد انقباض و اضافه تراش مجاز). باتوجه به شکل دیده می‌شود که مدل به سه تکه تقسیم شده است. تکه شماره ۱ در قالب زیری و تکه‌های ۳ و۲ در قالب بالایی قرار می‌گیرند. برای مدل‌های ۳ و ۲ به تنهایی از دو درجه، و برای مدل شماره ۱ از یک درجه استفاده می‌شود. ارتفاع هرسه درجه زمانی که روی هم قرار بگیرند باید ۳۵ سانتی‌متر باشد.



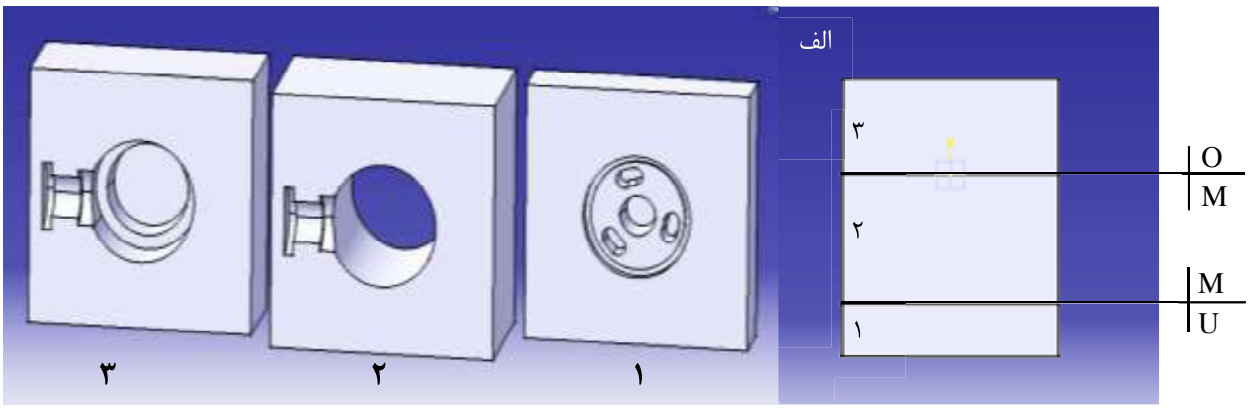
شکل ۱-۳- تصویر نمادین از مدل سه تکه. الف) مونتاژ شده. ب)مونتاژ نشده.

۱-۲-۳-۲- عملیات قالب‌گیری و ماهیچه‌سازی

نحوه قالب‌گیری به این صورت است که، ابتدا تکه ۱ را درون درجه گذاشته و روی آن پودر زده می‌شود. سپس روی آن ماسه ریخته و آن کوبیده می‌شود. پس از پایان کار درجه را برگردانده و روی آن تمیز می‌شود. سطح را پودر زده و تکه‌ی ۲را روی تکه ۱ جفت کرده و لوله راهگاه را در محل مناسب گذاشته فرایند قالبگیری را تکرار می‌کنیم. در مرحله آخر تکه ۳ روی تکه ۲ جفت شده، پودر تالک می‌زنیم و روی مدل ماسه ریخته و می‌کوبیم. جهت سهولت در قالب‌گیری و افزای راندمان و کاهش هزینه‌های مربوط به قالب‌گیری چهار عدد از این مدل روی یک صفحه بسته می‌شود. در شکل ۱-۴ صفحه مدل به همراه مدل‌ها نشان داده شده است. ماسه قالب‌گیری از جنس سیلیسی است که با ۳/۵ درصد چسب سیلیکات سدیم در مخلوط‌کن به طور کامل و یکنواخت مخلوط شده است. جهت فروپاشی بهتر قالب پس از ریخته‌گری میزان ۰/۵درصد دکسیل۶۰[1] به ماسه افزوده می‌شود. پس از فشردن ماسه‌ها مدل را با ضربه زدن کمی لق کرده و سپس برای استحکام‌دهی، گاز دی‌اکسید کربن را با زمان ۱۰۰ ثانیه و دبی ۲/۵ لیتر بر دقیقه به ماسه دمیده می‌شود. در قالب‌گیری قطر لوله راهگاهی و شکل آن بسیار حائز اهمیت است. در صورتی که شکل و قطر لوله راهگاهی مناسب نباشد، اکسیداسیون و جذب گاز در آلیاژ افزایش می‌یابد. جهت جلوگیری از اکسیداسیون و جذب گاز لوله راهگاه به شکل استوانه‌ای درنظر گرفته شده و به آن شیبی برابر ۱/۵ درجه اعمال می‌شود. حوضچه بارریز برای آلومینیم و آلیاژهای آن باید از نوع گلابی شکل باشد. از خصوصیات این نوع حوضچه بارریز می‌توان به؛ آرام کردن مذاب حین ریخته‌گری و جلوگیری از سقوط ناگهانی مذاب به درون قالب اشاره کرد. در شکل ۱-۵ قالب، پس از خارج کردن مدل‌ها از آن نشان داده شده است. این مدل نیاز به دو جعبه ماهیچه دارد که در شکل ۱-۶ تصویر نمادین آن نشان داده شده است.

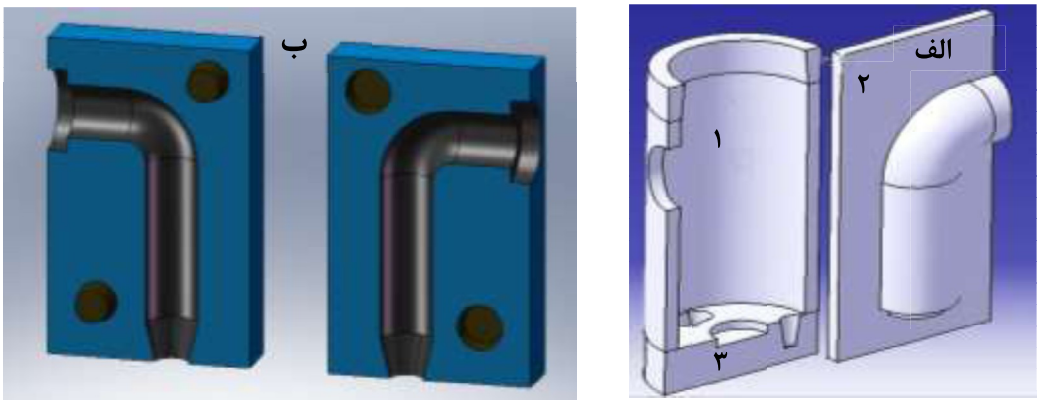


شکل ۱-۴- تصویر نمادین از صفحه مدل برای مدل آلومینیمی.



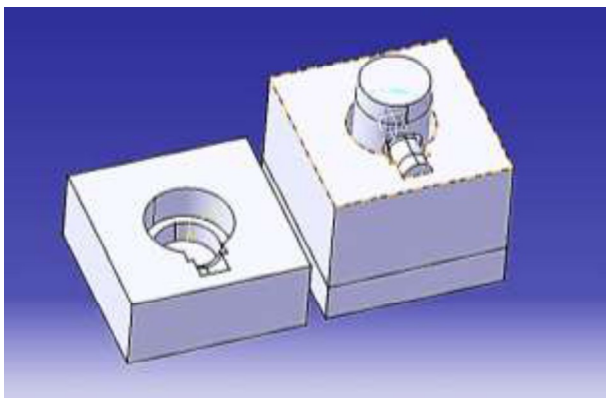
شکل ۱-۵- تصویر نمادین از قالب سه تکه پس‌از خارج شدن مدل. الف) مونتاژ شده. ب)مونتاژ نشده.

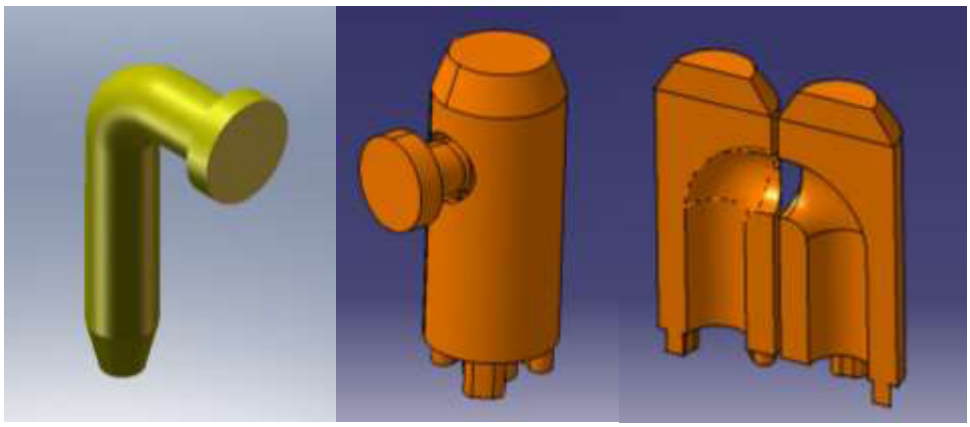
1- dexil60



شکل ۱-۶- نمای سه‌بعدی از الف) نیمی از جعبه ماهیچه سه تکه و ب) جعبه ماهیچه لوله و زانوی مرکزی.

در مرحله آخر ماهیچه‌ها را توسط جعبه ماهیچه‌های نشان داده شده در شکل ۱-۵ تهیه کرده و درون قالب مونتاژ می‌کنیم. ماهیچه‌های مورد استفاده در این طرح دونوع هستند. نوع اول ماهیچه یکپارچه، میانی که جعبه ماهیچه آن در شکل ۱-۶ (ب) نشان داده شده است. ماهیچ نوع اول از جنس ماسه چراغی و به شکل پوسته‌ای تهیه می‌شود. اما ماهیچه نوع دوم، شامل دوتکه بیرونی است، که ماهیچه نوع اول در میان آن قرار دارد. با توجه به شکل ۱-۶ (الف) جعبه ماهیچه برای ماهیچه نوع دوم خود به سه قسمت تقسیم می‌شود. برای خارج کردن ماهیچه ابتدا قسمت ۱ و ۲ به شکل افقی از ماسه جدا شده و سپس قسمت ۳ به صورت عمودی از ماسه جدا می‌شود. تکه دوم را هم به همین صورت ساخته و سپس با هم جفت کرده و دورن قالب گذاشته می‌شود، که در شکل ۱-۷ تصویر نمادین آن نشان داده شده است. ماهیچه‌های دوتکه از جنس ماسه سیلیسی هستند که با چسب سیلیکات سدیم آغشته و با گاز دی اکسید کربن استحکام‌دهی می‌شوند. در شکل ۱-۸ تصویر ماهیچه‌ها نشان داده شده است.


شکل ۱-۷- تصویر نمادین از قالب طرح آلومینیم، و ماهیچه‌های مونتاژ شده درون آن.


شکل ۱-۸- تصویر نمادین از ماهیچه‌های مورد استفاده قبل و بعد از مونتاژ.

نکته۲: قالب به این دلیل عمودی قالب‌گیری شد که سه ریشه ماهیچه‌ی قسمت ۳ بدلیل غیر متقارن بودنشان در حین مونتاژ کردن شکسته می‌شوند. از طرفی به دلیل کم بودن ضخامت آن‌ها شکسته شدن ریشه ماهیچه‌ها در هنگام مونتاژ کردن ماهیچه به درون قالب، پیش‌بینی می‌شود.

نکته۳: به‌دلیل این‌که مذاب باید با کم‌ترین تلاطم به درون قالب وارد شود لذا، طراحی سیستم راهگاهی باید به گونه‌ای باشد که قالب از پایین پر شده و به سمت بالا حرکت کند. از این رو قالب سه تکه در نظر گرفته شد تا بتوان سیستم راهگاهی را به قسمت پایینی قالب متصل کرد تا از ایجاد تلاطم در اثر سقوط مذاب جلوگیری شود.

۱-۲-۳-۳- تعیین راندمان ریختگی

از آنجا که تولید قطعات بدون عیب باید با حداقل قیمت ممکن انجام گیرد و از نظر اقتصادی نیز مطلوب باشد، لذا باید مهم‌ترین عامل هزینه‌های ریخته‌گری را مورد بررسی قرار داد. از عواملی که باعث افزایش هزینه در ریخته‌گری می‌شوند می‌توان به عوامل زیر اشاره کرد[۸]:

- ✓ اضافات ذوب و سرریزها.
- ✓ ضایعات ذوب (به‌صورت اکسیدها، ترکیبات و سایر موارد).
- ✓ قطعات معیوب.
- ✓ راهگاه‌ها (راهگاه حدود ۷ تا ۱۰ درصد وزن را تشکیل می‌دهد).
- ✓ ضایعات تراش (براده و پلیسه).
- ✓ قطعات برگشتی در آخرین مراحل کنترل.

رابطه راندمان ریختگی عبارتست از[۸]:

$$Ri = \frac{s}{p} * 100 \rightarrow \quad Ri = 83\% \qquad (۳-۱)$$

S: وزن قطعات بدون تراش (۳/۱ کیلوگرم).

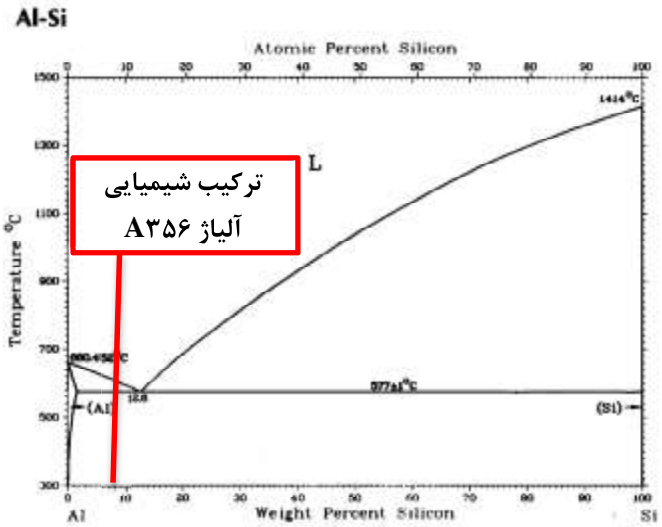
P: وزن قطعه سالم (۲/۵۷۱ کیلوگرم).

۱-۳- شرایط عملیات ذوب و ریخته‌گری

۱-۳-۱- عملیات ذوب و انجماد آلیاژ A۳۵۶

آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ یکی از پرکاربردترین آلیاژها از گروه آلیاژی ۳XX است. عنصر غالب در این آلیاژ سیلیسیم بوده و محدوده ترکیب شیمیایی آن روی نمودار دوتایی آلومینیم – سیلیسیم مشخص شده است (شکل ۱-۹). در دیاگرام فازی آلومینیم- سیلیسیم یک تحول یوتکتیک در ترکیب‌شیمیایی حاوی ۱۲/۷درصد سیلیسیم دیده می‌شود. با کاهش میزان سیلیسیم از ۱۲/۷درصد، دامنه انجماد افزایش یافته و جبهه انجماد به صورت دندریتی رشد می‌کند پس می‌توان نتیجه گرفت که انجماد آلیاژ A۳۵۶ به‌صورت دندریتی بوده و تنها در قسمت‌هایی محدود ساختار یوتکتیکی مشاهده می‌شود است. پس می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش میزان سیلیسیم تا ۱۲/۷ درصد خواص مکانیکی افزایش یافته و در ادامه به دلیل ایجاد فاز دوم بلوکه‌ای شکل و درشت به عنوان فاز دوم، خواص مکانیکی کاهش می‌یابد. شکل ۱-۱۰ نمودهای خواص مکانیکی را برحسب درصد وزنی سیلیسیم در آلیاژ آلومینیم- سیلیسیم آورده شده است[۳]. باتوجه به نمودار دوتایی آلومینیم- سیلیسیم با افزایش دمای آلیاژ از دمای محیط، تا دمای ۵۷۷ درجه سانتی‌گراد، حلالیت سیلیسیم در آلومینیم از ۰/۰۵ به ۱/۶۷ درصد وزنی افزایش می‌یابد. با افزایش گرم کردن، اولین جوانه‌های مذاب در دمای ۵۶۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد شده و در دمای ۶۱۵ درجه سانتی‌گراد ساختار کاملا به مذاب تبدیل می‌شود. پس

از تهیه مذاب و ریختن آن درون قالب، فرایند انجماد در قالب شروع می‌شود. با توجه به شکل ۱-۱۱ با کاهش دما و عبور از خط لیکوئیدوس، اولین جوانه‌های جامد α در فاز مذاب ایجاد شده و با کاهش بیشتر دما ساختار کاملا به جامد تبدیل شده و تحول یوتکتیک ایجاد می‌شود. در تحول یوتکتیک یک جامد به دو جامد دیگر تبدیل می‌شود($\alpha \rightarrow \beta + \gamma$). در این آلیاژ (A۳۵۶) با انجام تحول یوتکتیک، محلول مذاب سیلیسیم در آلومینیم به دو فاز جامد آلومینیم (زمینه) و سیلیسیم (ذرات سوزنی) تبدیل می‌شود.



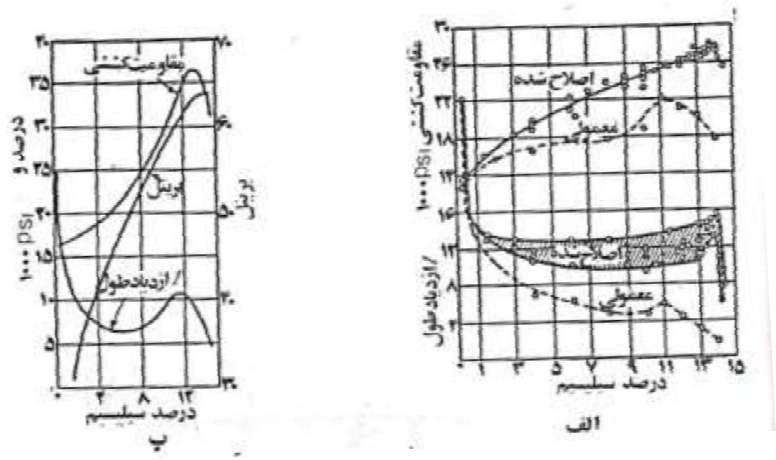
شکل ۱-۹- محدوده ترکیب شیمیایی آلیاژ A۳۵۶ روی نمودار دوتایی آلومینیم- سیلیسیم بر حسب درصد وزنی[۱۳].

با انجام تحول یوتکتیک، با توجه به قوانین هیوم روتاری[1]، سیلیسیم از انحلال خارج شده و تشکیل یکسری ذرات ریز سوزنی با توزیع یکنواخت را می‌دهد[۹]. باتوجه به قوانین ترمودینامیکی و خواص فیزیکی دو عنصر آلومینیم و سیلیسیم باید گفت که نفوذ سیلیسیم در آلومینیم در دامنه کوتاه رخ می‌دهد[۱۰و۱۱]. لذا سیلیسیم‌ها از انحلال خارج شده و در فواصل کوتاهی به‌هم رسیده و تشکیل تیغه‌های ریز، پراکنده و سوزنی شکل را می‌دهند که به ساختار یوتکتیک سوزنی معروف است[۱۲]. برای تعیین نوع انجماد برای آلیاژ A۳۵۶ (خمیری، پوسته‌ای و انجماد میانی) باید به فاصله دمایی بین خط سالیدوس و لیکوئیدوس توجه کرد که در زیر به اختصار آمده است.

- ✓ اگر تفاوت دمایی بین خط سالیدوس و لیکوئیدوس کمتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد باشد، انجماد پوسته‌ای است.
- ✓ اگر تفاوت دمایی بین خط سالیدوس و لیکوئیدوس بیشتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد و کمتر از ۱۲۰ درجه سانتی گراد باشد انجماد میانی است (خمیری- پوسته‌ای).
- ✓ اگر تفاوت دمایی بین خط سالیدوس و لیکوئیدوس بیش‌تر از ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد انجماد آلیاژ مورد نظر کاملا خمیری است.

در آلیاژ A۳۵۶ بعلاوه‌ی پارامترهای بالا عوامل دیگری نیز در تعیین نوع انجماد تاثیرگذار هستند. یکی از عوامل حضور عناصر آلیاژی در زمینه آلومینیمی است که باعث ایجاد جوانه‌های جامد در نقاط مختلف شده و به پراکنده شدن انجماد در آلیاژ منتهی می‌شود. به این صورت که، وجود عناصر مختلف در آلیاژ آلومینیم باعث ایجاد ترکیباتی بسیار سخت و با نقطه ذوب بسیار بالاتر از نقطه ذوب آلیاژ پایه می‌شود. این ترکیبات در آلیاژ به‌صورت معلق هستند و درنتیجه هسته‌های اولیه روی این ترکیبات جوانه زده و باعث پراکنده شدن جبهه انجماد می‌شوند[۱۲]. با استناد به این پارامترها و همین‌طور سایر پارامترهای دیگر می‌توان گفت که آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ دارای انجماد میانی و متمایل به خمیری است. پس با توجه به نوع انجماد در این آلیاژ محیط کوره به صورت اکسیدی انتخاب می‌شود.

1- hium and rotary



شکل ۱-۱۰- تاثیر سیلیسیم در خواص آلومینیم، الف) ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای. ب) ریخته‌گری در قالب فلزی[۳].

۱-۳-۲- کوره و بوته ریخته‌گری

چون در این طرح نیاز به استاندارد آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ داریم لذا باید از شمش استاندارد A۳۵۶ برای ذوب کردن استفاده شود. همه کوره‌ها توانایی ذوب آلومینیم را در خود دارند، لذا باید برای ذوب آلومینیم از کوره‌ای استفاده شود تا بیش‌ترین راندمان را داشته باشد. برای ذوب کردن آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ از کوره زمینی متحرک، بدون تماس شعله با محیط ذوب استفاده می‌شود[۳]. محیط کوره نیز باید اکسیدان(نسبت اکسیژن به سوخت بیش‌تر باشد) باشد. پس‌از ذوب شدن، دمای آلیاژ را به حدود ۷۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسانیم. حدود ۷۰ درجه سانتی گراد فوق ذوب بیشتر به آلیاژ اعمال می‌کنیم؛ چون با انجام عملیات کیفی روی آلیاژ یک افت دمایی حدودا ۵۰-۶۰ درجه سانتی‌گرادی خواهیم داشت. از طرفی باید توجه داشت، که با افزایش دمای ذوب میل ترکیبی آلومینیم با اکسیژن افزایش می‌یابد و باید حدالامکان عملیات کیفی را سریع‌تر انجام دهیم و دمای فوق ذوب را کاهش دهیم. بوته مورد استفاده نیز اگر از جنس چدن باشد، باید زمینه بوته کاملا پرلیتی باشد، تا از خوردگی بوته جلوگیری شود. نوع رایج بوته مورد استفاده برای آلومینیم از جنس گرافیت است. چون آلیاژ مورد نظر به صورت استاندارد تهیه شده است دیگر آلیاژسازی نخواهیم داشت. به‌طور کلی آلومینیم فلزی فعال بوده و با محیط اطراف خود (اکسیژن، هیدروژن و سایر عناصر دیگر) واکنش می‌دهد. پس از ذوب کردن آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ نوبت به انجام عملیات کیفی روی آلیاژ می‌رسد.

نکته۴: اگر کوره مورد استفاده برای ذوب آلومینیم القایی باشد باید جنس نسوز دیواره خنثی یا آلومینا استفاده شود.

۱-۳-۳- عملیات کیفی آلیاژ A۳۵۶

در آلیاژهای با قابلیت ریخته‌گری عملیات کیفی جهت تصفیه مذاب، کاهش گاز حل شده، کاهش آخال‌ها، کاهش اکسیدها و کنترل دمایی انجام می‌شود. انجام عملیات کیفی بستگی به ذوب و خواص خواسته شده توسط سفارش‌دهنده دارد. در آلیاژهایی که به تغییر فشار حساس هستند، امکان انجام عملیات گاززدایی، اکسیژن‌زدایی و هیدروژن‌زدایی نیست، از این‌رو عملیات کیفی ضروری در آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ به اختصار توضیح داده شده است[۳].

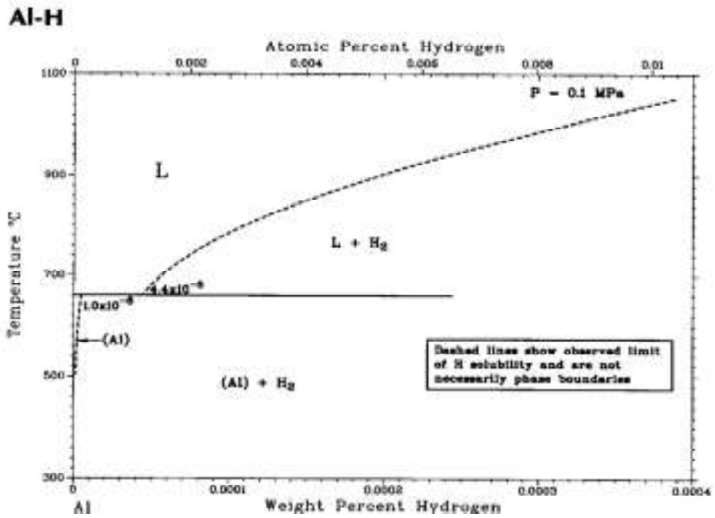
عملیات گاز زدایی(آخال‌زدایی): برای انجام این عملیات دو روش وجود دارد. روش اول، شامل گاز زدایی مکانیکی (استفاده از گاز بی‌اثر) و روش دوم گاز زدایی به صورت شیمیایی (استفاده از ترکیباتی که با ایجاد واکنش باعث خروج گاز از مذاب می‌شوند) است. البته روش سومی هم تحت عنوان ذوب در خلا وجود دارد (به‌دلیل گران‌قیمت بودن تجهیزات مقرون به صرفه نیست). مفیدترین ومناسب‌ترین نوع عملیات گاز زدایی روی آلیاژ آلومینیم A۳۵۶، گاززدایی

به روش مکانیکی است. در این روش گازی بی‌اثر نسبت به آلومینیم (گاز آرگون) با فشار ۳ اتمسفر به مدت ۳ الی ۴ دقیقه به داخل مذاب دمیده می‌شود. با انجام این کار فشار داخلی مذاب افزایش یافته و به کاهش فشار خارجی منتج می‌شود. در نهایت گاز موجود در مذاب خارج شده و میزان آن از ۰/۳۴ سانتی‌متر مکعب در ۱۰۰ گرم به ۰/۰۳۴ سانتی‌متر مکعب می‌رسد. در شکل ۱-۱۱ نمودار فازی دوتایی آلومینیم- هیدروژن آورده شده است. با توجه به شکل با افزایش دمای آلومینیم از دمای محیط تا دمای ۶۶۰ درجه سانتی‌گراد (درحالت جامد) حلالیت ناچیزی دارد اما با تبدیل آلیاژ آلومینیم از حالت جامد به حالت مایع حلالیت هیدروژن در آلومینیم به‌مقدار زیادی افزایش می‌یابد و گاز زدایی یک امر مهم و الزامی در ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیم محسوب می‌شود[۱۳]. در صورت عدم وجود تجهیزات جهت گاززدایی مکانیکی از گاززدایی به روش شیمیایی استفاده می‌شود. در گاززدایی به روش شیمیایی از قرص دگازور استفاده می‌شود (برای هر ۱۰۰ کیلوگرم ذوب آلومینیم یک قرص ۲۵۰گرمی استفاده می‌شود و قابلیت استفاده قرص دگازور در آلیاژهای حاوی منیزیم وجود ندارد). در کل روش گاززدایی مکانیکی نسبت به شیمیایی تاثیر بهتری دارد. در عملیات هیدروژن‌زدایی و گاززدایی از ترکیبات کلردار و بخصوص C_2Cl_6 استفاده بسیاری دارد که هنگام تبخیر و خروج آن از مذاب بسیاری از مواد غیرفلزی به سرباره می‌آید. با انجام این فرایند واکنش‌های زیر حاصل می‌شود[۳].

$$C_2Cl_6 \rightarrow C_2Cl_4 + Cl_2 \qquad (۱-۱)$$

$$C_2Cl_4 \rightarrow 2C + 2Cl_2 \qquad (۱-۲)$$

با انجام واکنش‌های ۱-۱ و ۱-۲، مقداری کربن در مذاب باقی می‌ماند که این مقدار باقی‌مانده با تیتانیم واکنش داده و نقش جوانه‌زایی دارد.



شکل ۱-۱۱- نمودار فازی دوتایی آلومینیم- هیدروژن برحسب درصد وزنی[۱۳].

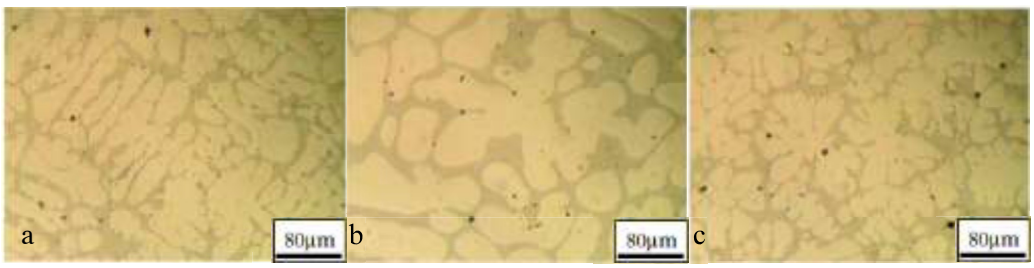
نکته۵: طبق قانون استوک باید بین عمل گاززدایی و ریختن مذاب ۵ دقیقه اختلاف زمانی وجود داشته باشد، تا آخال‌ها و گازها اجازه خروج کامل را داشته باشند.

عملیات اکسیژن‌زدایی: عملیات اکسیژن‌زدایی جهت جلوگیری از ایجاد اکسید در مذاب آلومینیم و آلیاژهای آن انجام می‌شود. برای انجام عملیات اکسیژن‌زدایی باید یک عنصر و یا ماده احیا کننده به آلیاژ اضافه شود. در این عملیات از فلاکس‌های پوششی و تمیز کننده استفاده می‌شود. در این طرح از فلاکس پوششی پودر کاورال استفاده می‌شود. به این صورت که ابتدا ۵۰ درصد فلاکس قبل از ذوب شدن به بوته شارژ می‌شود. ۵۰ درصد باقی مانده پس از ذوب شدن به آلیاژ موجود در بوته افزوده می‌شود. فلاکس‌ها بین ترکیبات غیرفلزی و مذاب قرار گرفته و باعث جداکردن آن‌ها از هم می‌شود. فلاکس‌ها همچنین باعث تشکیل یک فیلم ضخیم روی مذاب آلومینیم شده و از برخورد اکسیژن با مذاب

جلوگیری می‌کند. فلاکس‌ها با ترکیبات مختلف ClNa، ClK، Fna و $CaCl_2$ در بازار موجود هستند که در صنعت از نسبت ۵۰-۵۰ از ترکیبات نمکی NaCl برای عملیات اکسیژن‌زدایی استفاده می‌شود و از ترکیب NaKCl، نیز به میزان ۰/۱ درصد استفاده می‌شود[۳].

عملیات سرباره‌گیری: سرباره‌گیری ساده‌ترین عملیاتی است که روی مذاب انجام می‌شود. در این عملیات اکسیدهای روی سطح توسط سرباره‌گیر گرفته می‌شوند تا هنگام ذوب‌ریزی سرباره‌ها داخل قالب نشوند. عملیات سرباره‌گیری را می‌توان پس از عملیات کیفی و در آخرین مرحله نیز انجام داد.

عملیات جوانه‌زایی: هدف از جوانه‌زایی بهبود خواص مکانیکی، بهینه‌سازی و اصلاح ساختار است. با افزودن مواد جوانه‌زا در آلیاژ دانه‌ها ریزتر شده و درنتیجه مرزدانه که یکی از عوامل کند کننده در حرکت نابجایی است افزایش می‌یابد. افزایش مرزدانه باعث قفل شدن نابجایی‌ها و درنتیجه افزایش سختی و استحکام در آلیاژ مورد نظر می‌شود[۱۴و۱۵]. جوانه‌زایی در آلومینیم و آلیاژهای آن توسط تیتانیم صورت می‌گیرد. تیتانیم در آلومینیم با کربن واکنش داده و کاربید تیتانیم ایجاد کرده که عامل اصلی جوانه‌زایی است. به‌طور کلی مقدار ۰/۱ درصد تیتانیم و ۰/۰۱ بر، برای ریزکردن و اصلاح دانه‌ها لازم است. لی و همکارانش[1] در سال ۲۰۱۳ در رابطه با عملیات جوانه‌زایی در آلیاژ A۳۵۶ تحقیقاتی انجام داده و نتایج را طی مقاله‌ای منتشر کردند. در این پژوهش عملیات جوانه‌زایی توسط هاردنر Al-3Ti-1B-0.2C انجام می‌شود. در شکل ۱-۱۲ تصویر میکروسکپی نوری از آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ با افزودن جوانه‌زا و بدون افزودن جوانه‌زا آورده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، با افزودن عناصر جوانه‌زا دانه‌ها زیرتر هستند[۱۶].

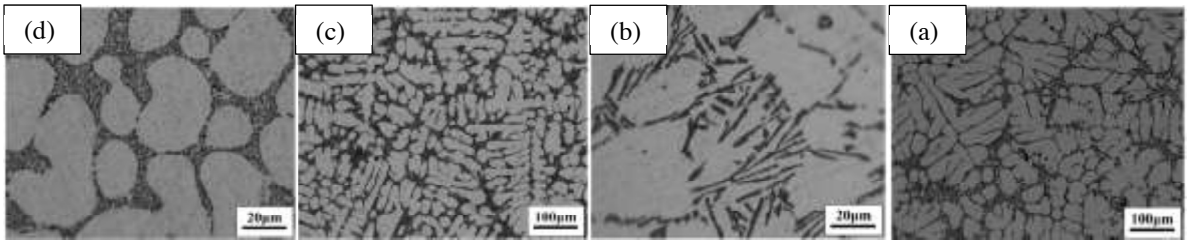


شکل ۱-۱۲- تصویر میکروسکپی نوری از آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ در شرایط a)ریخته‌شده b) افزودن عناصر بر و تیتانیوم بدون کربن و c) افزودن عناصر بر و تیتانیوم همراه با ۰/۲ درصد کربن[۱۶].

عملیات ظریف و اصلاح کننده فاز دوم: سدیم در آلیاژ آلومینیم سیلیسیم به‌عنوان ظریف کننده فاز دوم به کار می‌رود. سدیم اغلب به‌صورت فلاکس‌های کلروره (NaCl) و فلاکس‌های فلوئوره (NaF) بکار می‌رود. این مواد عموما ساختار سوزنی شکل و پراکنده فاز دوم سیلیسیم را متمرکز کرده و آن را کروی می‌کند. این امر بدیهی است که فاز دوم به شکل کروی به فازی به شکل سوزنی ارجحیت دارد (چون سر تیغه‌های سوزنی تمرکز تنش ایجاد شده استحکام کششی کاهش می‌یابد). لذا با افزودن فلوئور سدیم به آلیاژ آلومینیم سیلیسیم، سدیم با آلومینیم و سیلیسیم واکنش داده و شبکه سیلومین را ظریف می‌کند. از طرفی فلوئور ایجاد یکسری حباب می‌کند که تیغه‌های سیلیسیم در این حباب‌ها ایجاد می‌شوند. در کل سدیم نمودار آلومینیم سیلیسیم را به سمت راست شیفت داده و همچنین منطقه

1- p. li, s. liu, l. zhang and x. liu

تکفازی α را تا ۳ الی ۴ درصد افزایش می‌دهد. ژئو و همکارانش[1] در سال ۲۰۰۹ توانستند توسط هاردنر Al-5Ti-0.25C-8Sr عملیات ظریف کننده و اصلاح فاز دوم را روی آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ انجام دهند. در این پژوهش با انجام عملیات اصلاح فاز دوم، ساختار یوتکتیکی (Al-12.7Si) در ترکیب آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ با حدود ۸درصد سیلیسیم حاصل می‌شود[۱۷]. درشکل ۱-۱۳ تصویر میکروسکپی نوری برای آلیاژ A۳۵۶، قبل و بعد از افزودن اصلاح کننده نشان داده شده است[۱۷].



شکل ۱-۱۳- تصویر میکروسکپی نوری برای آلیاژ A۳۵۶، a وb) قبل از افزودن اصلاح کننده و c وd) بعد از افزودن اصلاح کننده[۱۷].

نکته۶: کلیه عملیات جوانه‌زایی و اصلاح فاز دوم توسط قرص نیوکلانت[2] در پاتیل انجام می‌شود.

عملیات فیلتر کردن: با انجام عملیات گاززدایی، اکسیژن‌زدایی و هیدروژن‌زدایی باز هم شاهد حضور آخال‌ها و مواد ناخواسته در قالب هستیم. آخرین راه برای به‌دام انداختن آخال‌ها استفاده از فیلتر است. به‌طور کلی فیلتر کردن توسط دونوع فیلتر سرامیکی و الیافی انجام می‌شود. برای آلومینیم و آلیاژهای آن از فیلتر الیافی با مش ۲۰ یا ۴۰ استفاده می‌شود. به‌طور کلی استفاده از فیلتر در آلومینیم و آلیاژهای آن باعث افزایش ۳۰درصدی استحکام کششی و مقاومت به ضربه، و کاهش ۱۰ درصدی سختی می‌شود[۱۸]. بهترین مکان استفاده از فیلتر در آلیاژهای آلومینیم بعداز لوله راهگاه و بین کانال اصلی و فرعی است.

۱-۳-۴- خلاصه عملیات ذوب و ریخته‌گری

در زیر خلاصه‌ای از عملیات ذوب، ریخته‌گری و عملیات کیفی به‌صورت موردی آورده شده است:

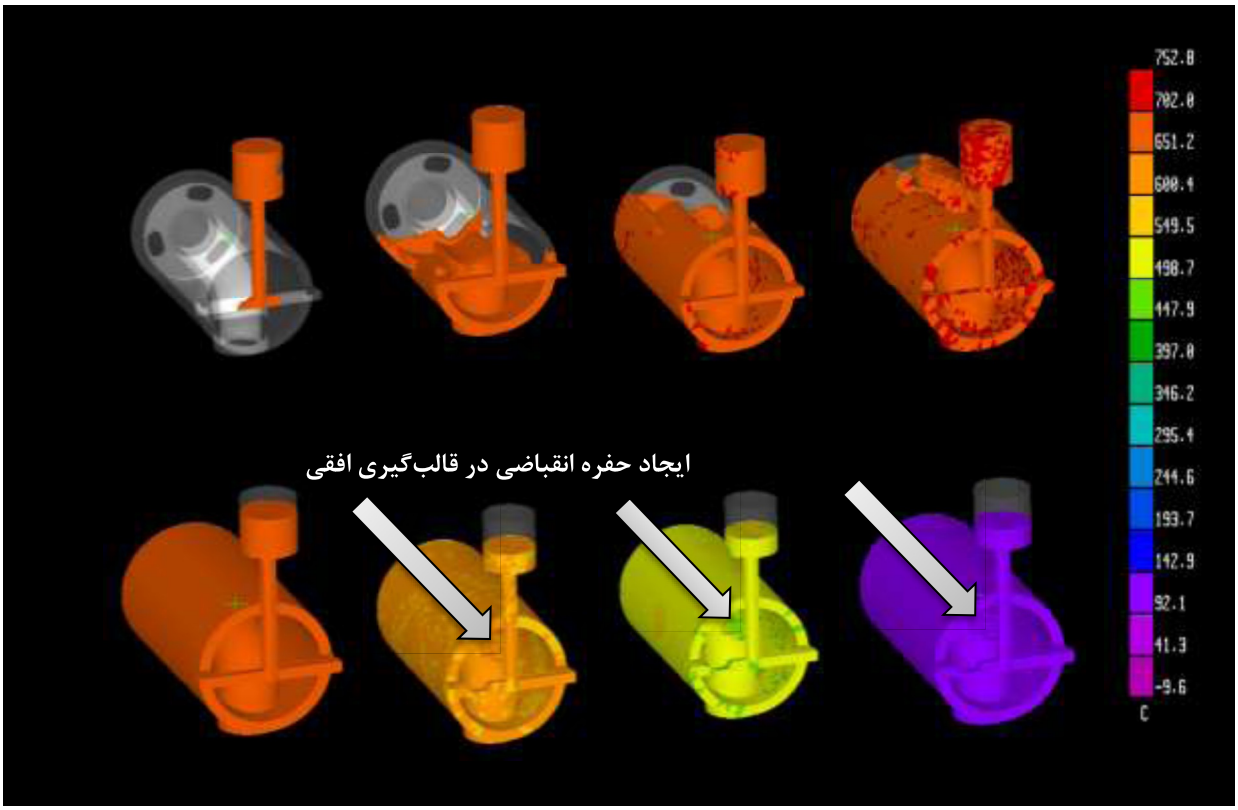
- ✓ شارژ شمش آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ ، همراه با مقدار نصف فلاکس پوششی در بوته گرافیتی.
- ✓ ذوب آلیاژ مورد نظر و اعمال فوق ذوب ۵۰ الی ۶۰ درجه سانتی‌گراد.
- ✓ اعمال عملیات گاز زدایی، توسط گاز خنثی آرگون به مدت ۳ الی ۴ دقیقه.
- ✓ پس از عملیات گاز زدایی (آخال زدایی) افزودن نصف دیگر فلاکس پوششی روی ذوب.
- ✓ انجام عملیات سرباره‌گیری توسط سرباره‌گیر.
- ✓ انجام عملیات بهسازی و جوانه‌زایی توسط قرص نیوکلانت درون پاتیل و قبل از ذوب‌ریزی.
- ✓ کنترل دما و ریخته‌گری.

۱-۴- سادگی، انجام پذیری، ابتکار و خلاقیت

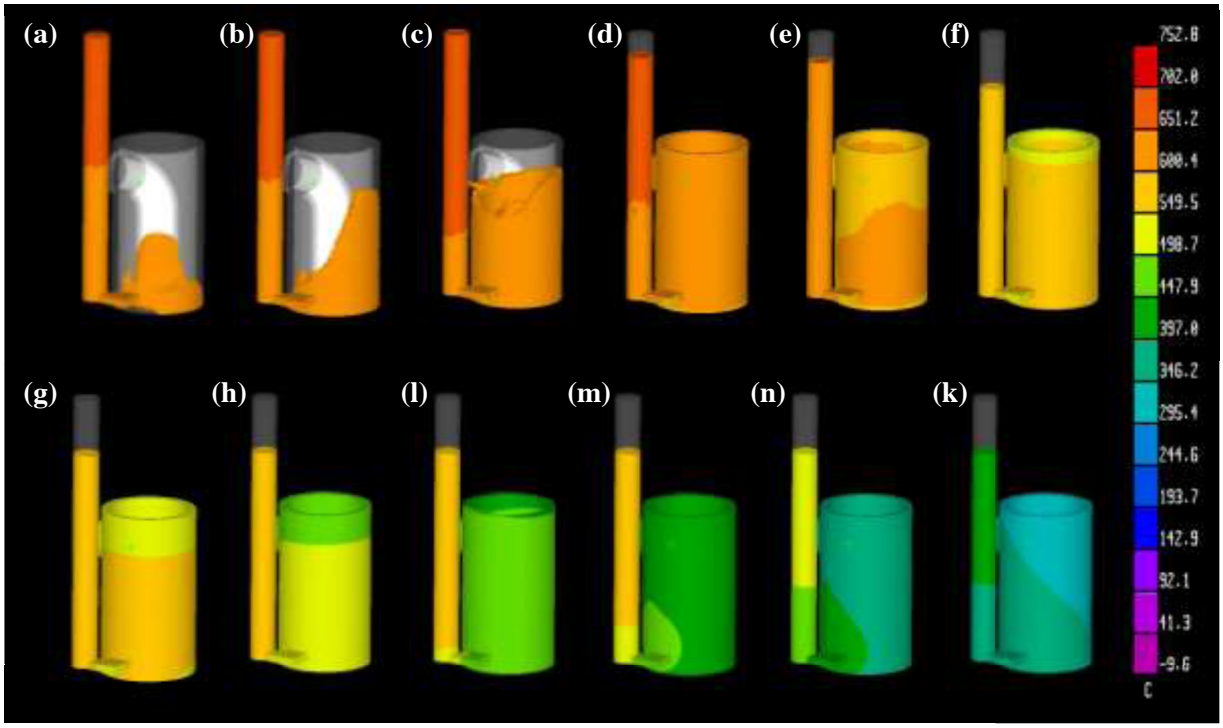
در این بخش عواملی چون سادگی، انجام‌پذیری، ابتکار و خلاقیت بصورت موردی آورده شده است:

1- h. zhao, h. bai, j. wang and sh. guan
2- nucleate

- ✓ دراین طرح، طراحی سیستم راهگاهی و مدل و قالب به گونه‌ای بوده است که قالب به راحتی و بدون نیاز به تغذیه‌گذاری پر شده و منجمد می‌شود. در این قطعه از یک لوله راهگاه و یک کانال اصلی و فرعی بهره گرفته شد تا راندمان ریخته‌گری بیش‌ترین مقدار باشد. پس در این طرح قالب‌گیری عمودی به قالب‌گیری افقی ترجیح داده شد.
- ✓ در قالب عمودی عملیات ریخته‌گری در دمای ۶۵۰ درجه‌سانتی‌گراد انجام شده و طبق مستندات مربوط به شبیه‌سازی ریخته‌گری در قالب‌گیری افقی در در دمای ۶۸۰ درجه سانتی‌گراد امکان‌پذیر است. پس با کاهش ۳۰ درجه‌ای دما از عواملی مضر، چون سوخت و سوز عناصر، جذب گاز، نیاز به تغذیه‌گذاری و سایر موارد دیگر جلوگیری شد. با توجه به شبیه‌سازی‌های موجود در شکل ۱-۱۴ درصورتی که قالب‌گیری افقی انتخاب شود با دمای ۶۵۰ درجه‌سانتی‌گراد پرنشده و با حداقل دمای ۶۸۰ درجه سانتی‌گراد پر می‌شود و این در حالتی است که با افزایش ۳۰ درجه‌ای دمای مذاب نیاز به دو تغذیه روی قطعه است و در زانوی مرکزی نیز حفره‌ی انقباضی به‌وجود می‌آید. از سوی دیگر با افقی فرض کردن قالب در طراحی سیستم راهگاهی تغییر حاصل شده و نیاز به دو کانال اصلی و دوکانال فرعی است پس در این حالت راندمان ریخته‌گری از ۸۱ درصد به ۷۰ درصد کاهش می‌یابد. از طرفی با توجه به شکل ۱-۱۵ جهت‌دار بودن انجماد در نرم‌افزار شبیه‌سازی پروکست نشان داده شده است. در ریخته‌گری قطعه به شکل عمودی ذوب از پایین پر شده و به سمت بالا حرکت می‌کند. در اصل ذوب سرد به سمت بالا حرکت کرده و ذوب گرم در پایین قالب وجود دارد. با توجه به تصاویر جبهه‌ی انجماد از دورترین نقطه به سیستم راهگاهی شروع شده و به داخل سیستم راهگاهی کشیده می‌شود. با این وجود کمبود مذاب ناشی از انقباض قطعه از درون سیستم راهگاهی جبران می‌شود و دیگر نیازی به تغذیه نیست.



شکل ۱-۱۴- تصویر مربوط به شبیه‌سازی باطراحی قالب به صورت افقی.



شکل۱-۱۵- نمایش جهت انجماد و جهت انتقال‌حرارت با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز پروکست.

- ✓ طراحی سیستم راهگاهی به گونه‌ای بوده است که کانال فرعی به‌صورت مورب و با جهت عکس حرکت مذاب به قطعه برخورد کرده است. این نوع طراحی شامل دو مزیت است. مزیت اول به این است که با انجام فرایند ریخته‌گری مذاب در قالب درجهت عقربه‌های ساعت در قالب پیچیده و قالب را به‌طور یکنواخت پر می‌کند (یکنواختی در ترکیب شیمیایی). مزیت دوم این است که، مذاب با سرعت زیاد به درون سیستم راهگاهی وارد شده و درنهایت وارد کانال اصلی شده و به انتهای کانال اصلی برخورد کرده و از سرعت آن کاسته شده و سپس وارد کانالی می‌شود که در راستای حرکت مذاب است (در این حالت از تلاطم مذاب کاسته می‌شود).
- ✓ با طراحی عمودی مدل و قالب و ۳تکه در نظر گرفتن آن مزیت‌هایی حاصل خواهد شد. این مزیت‌ها عبارتند از حذف یک جعبه ماهیچه در قسمت پایینی مدل، کوتاه‌تر بودن طول مدل و خارج شدن راحت‌تر آن از قالب و اتصال سیستم راهگاهی در پایین‌ترین قسمت قطعه که باعث کاهش تلاطم در مذاب می‌شود. لازم به ذکر است که با حذف یک جعبه ماهیچه یک کارگر کمتر در قالب‌گیری این قطعه نیاز است و صرفه اقتصادی دارد. با پایین قرار گرفتن سیستم راهگاهی و تعبیه آن در جلوی تیغه، ذوب گرم وارد تیغه شده و به‌طور کامل پر خواهد شد. این در حالی است که در عمل پرشدن این تیغه مشکل‌ساز خواهد بود.
- ✓ در ساخت ماهیچه‌ی میانی که به شکل زانو است از ماسه چراغی استفاده شد. ماهیچه میانی به شکل پوسته‌ای تهیه شده است. پوسته‌ای گرفته شدن ماهیچه چند مزیت دارد. مزیت اول جلوگیری یا کاهش، ایجاد گاز مربوط به فعل و انفعالات ماهیچه است. مزیت دوم تخلیه راحت و سریع ماسه چراغی نسبت به سایر ماسه‌ها است. مزیت سوم این است که پوسته‌ای گرفته شدن ماهیچه، از ایجاد ترک گرم در قطعه (حین انقباض دمایی) جلوگیری می‌شود، چون ماهیچه در مقابل انقباض قطعه مقاومت نمی‌کند.

۱-۵- منابع مراجعه

1. D.M. Stefan, **Casting**, ASM handbook, the ASM 19 international handbook committee, ASM international, Volume 15, 9th edition, 719-730, 2010.

2. J.R. Davis**, Nonferrous Alloys and special-purpose materials**, ASM handbook, the ASM international handbook committee, ASM 19 international , 9th edition, 90-115, 1991.

۳. جلال حجازی، **ریخته‌گری فلزات غیر آهنی**، انتشارات آزاده با همکاری انجمن علمی ریخته‌گری ایران، تهران، ۱۳۸۸.

۴. جلال حجازی، **اصول ریخته‌گری متالورژی- تکنولوژی**، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۱۳۸۶.

۵. حسن ثقفیان و منصور امامی، **اصول متالورژی ریخته‌گری**، ویرایش دوم، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۸۵.

۶. پرویز دوامی، **مبانی سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری**، چاپ اول، انتشارات جامعه ریخته‌گران ایران،۱۳۶۱.

۷. مراد سلیمی، **رسم مدل و قالب**، ویرایش دوم، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۸۴.

۸. سیاوش نظم‌دار شهری، **محاسبات فنی تخصصی متالورژی**، ویرایش دوم، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۸۴.

۹. دیوید-آ-پورتر و کنث-ای-ایسترلینگ، **دگرگونی فازها در فلزات و آلیاژها**، ترجمه ابوالقاسم دهقان، عباسعلی نظربلند و بابک هاشمی، انتشارات دانشگاه شیراز، شیراز، ۱۳۸۵.

10. H. Mehrer, **Diffusion in Solid**, Springer Series in solid-state science, (2007).

11. B. Rundman, **Metal Casting**, materials science and engineering michigan tech. university, (2001).

12. W. Kurz and D.J. Fisher. **Fundamental of solidification**, (1984).

13. H. Baker**, Alloy phase diagrams**, ASM handbook, the ASM internationAl handbook committee, ASM internationAl, 9th edition, 90-115, 1991.

14. D. Hull and D. J. Bacon, **Introduction to Dislocation**, fourth edition (2001).

۱۵. چارلز بروکس، **آلیاژهای غیر آهنی**، ترجمه کریم زنگنه مدار، ویرایش اول، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران،۱۳۸۴.

16. H. Zhao, H. Bai, J. Wang and Sh. Guan, **Preparation of Al–Ti–C–Sr master alloys and their refining efficiency on A356 alloy**, Materials Characterization60 (2009) 377–383.

17. P. Li, S. Liu, L. Zhang and X. Liu, **Grain refinement of A356 alloy by Al–Ti–B–C master alloy and its effect on mechanical properties**, Materials and Design47, (2013) 522–528.

18. L. Zhang, **AlF3 reactive Al2O3 foam filter for the removal of dissolved impurities from molten Aluminum**, Acta Materialia 59 (2011) 896–913.