St-0403

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فهرست مطالب ..... ب

۱-۱- 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 ۵

۱-۲-۳- طراحی و ساخت مدل و قالب ۶

۱-۲-۴- عملیات قالب‌گیری و ماهیچه‌سازی ۸

۱-۲-۵- تعیین راندمان ریختگی ۹

۱-۳- شرایط عملیات ذوب و ریخته‌گری ۹

۱-۳-۱- مقدمه‌ای بر ذوب و ریخته‌گری آلیاژ CK۴۵ ..... ۹

۱-۳-۲- بررسی نمودار فازی برای آلیاژ CK۴۵ ..... ۱۰

۱-۳-۳- بررسی شرایط ذوب و تهیه آلیاژ CK۴۵ ..... ۱۰

۱-۳-۴- بررسی شرایط انجمادی آلیاژ CK۴۵ ..... ۱۱

۱-۳-۵- کوره و بوته ریخته‌گری ۱۲

۱-۳-۶- عملیات کیفی آلیاژ CK۴۵ ..... ۱۲

۱-۳-۷- خلاصه عملیات ذوب و ریخته‌گری ۱۳

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

۱-۵- منابع مراجعه ۱۵

۱-۱- خلاصه طرح

آلیاژ CK۴۵ دارای نقطه ذوب ۱۴۹۳ درجه سانتی‌گراد، هدایت حرارتی ۰/۲۶ کالری بر سانتی‌متر و دانسیته ۷۸۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب، یکی از آلیاژهای پرکاربرد ریختگی از بین آلیاژهای میان کربن فولادی محسوب می‌شود. ترکیب شیمیایی آلیاژ CK۴۵ در جدول ۱-۱ نشان داده شده است[۱]. نحوه ساخت مدل و جعبه ماهیچه به‌گونه‌ای است که نقشه مدل را به دستگاه CNC داده و توسط ماشین‌کاری کلیه اجزاء مدل و جعبه ماهیچه آماده می‌شود. جهت افزایش کیفیت سطحی، روی قطعه مورد نظر از ماسه T۶۰ با ۳/۵ درصد چسب و بعد از آن از ماسه سیلیسی پشت‌بند با ۴/۵ درصد چسب سیلیکات سدیم استفاده می‌شود. برای ساخت ماهیچه‌ها نیز باید از ماسه سیلیسی استفاده کرد. برای استحکام‌دهی به ماسه از گاز دی‌اکسید کربن استفاده می‌شود. برای ایجاد پره‌ها از یک جعبه ماهیچه بهره گرفته شده است. 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.

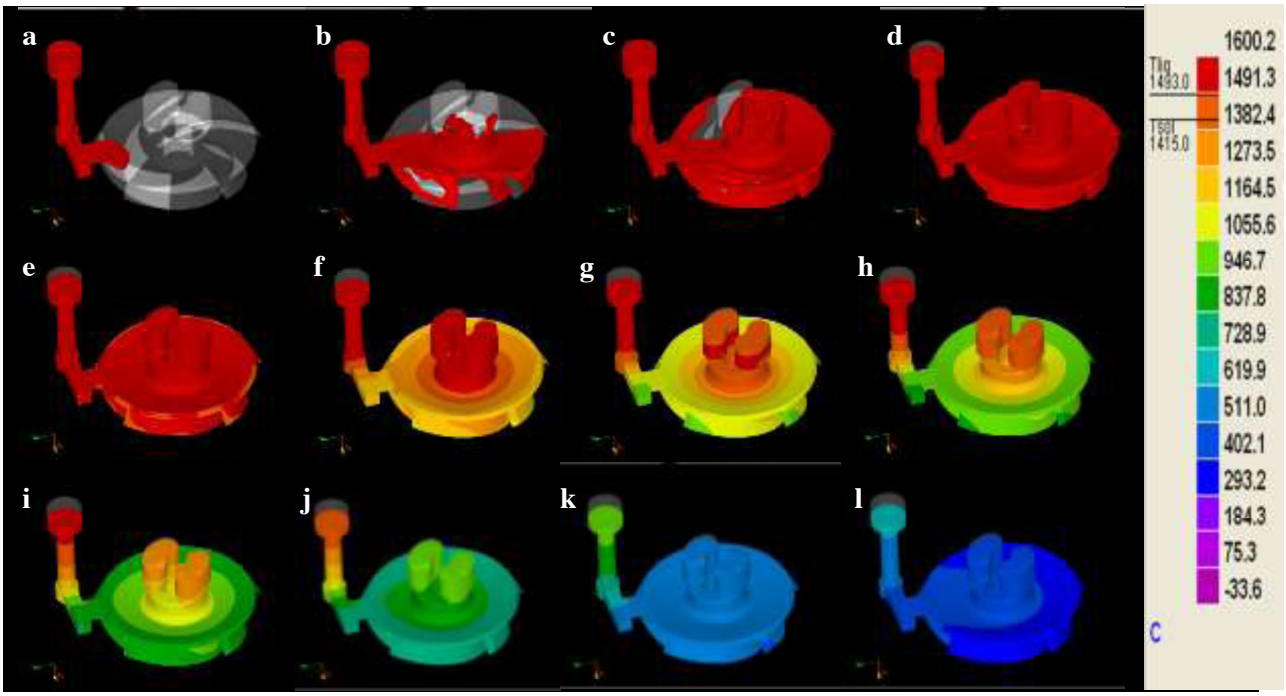
جدول ۱-۱- محدوده ترکیب شیمیایی آلیاژ CK۴۵ برحسب درصد وزنی[۱].

عنصر	سیلیسیم	منگنز	فسفر	گوگرد	آهن
مقدار	۰/۳۵	۰/۵ – ۰/۸	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	باقی‌مانده

برای ذوب کردن آلیاژ CK۴۵ یک کوره القایی با فرکانس بالا مورد نیاز است. قبل از ریختن مذاب به درون قالب باید دما کنترل شود. دمای ذوب برای آلیاژ CK۴۵ برابر ۱۴۹۳ درجه سانتی‌گراد است. دمای فوق ذوب برای این آلیاژ ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود و با توجه به ضخامت کم مدل دمای ریختن آلیاژ باید به ۱۵۹۰ الی ۱۶۰۰ درجه سانتی‌گراد برسد. در پایان جهت جلوگیری از ورود آخال به درون قالب از یک فیلتر سرامیکی در امتداد سیستم راهگاهی استفاده می‌شود. زمان ریخته‌گری برای این قطعه ۵ ثانیه و سرعت بارریزی ۲/۵ کیلوگرم بر ثانیه در نظر گرفته شده است. در طی فرایند ریختن مذاب به درون قالب، همواره باید لوله راهگاه و حوضچه بارریز 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. سایر مشخصات سیستم راهگاهی در این آلیاژ از نوع غیر فشاری و با نسبت ۱:۴:۴ یا 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. سایر پارامترهای دیگر که در این طرح استفاده شده است و در خلاصه طرح گفته نشده است در جدول ۱-۲ به‌صورت موردی آورده شده است.

جدول ۱-۲- معرفی سایر عوامل مورد نیاز در طرح فولاد به‌صورت خلاصه.

ردیف	عامل مورد نیاز	توضیحات	ردیف	عامل مورد نیاز	توضیحات
۱	نوع مدل	عمودی دو تکه	۷	عامل گاززدا	میزان ۰/۲۵ درصد آلومینیم
۲	نوع قالبگیری	صفحه‌ای با سطح جدایش یکنواخت	۸	سرباره‌گیر	سلاکس
۳	نوع عملیات حرارتی	آنیل در دمای ۹۳۰ درجه سانتی‌گراد	۹	زمان بارریزی	۵ ثانیه
۴	ماسه ماهیچه	ماسه مصنوعی، سیلیسی	۱۰	تعداد تغذیه	۲ عدد لوبیایی شکل
۵	تعداد ماهیچه	شش عدد	۱۱	پوشش ماهیچه	سرامول، زیرکنی با پایه الکل
۶	پوشش قالب	سرامول، زیرکنی با پایه الکل	۱۲	گرمازا	محل جانبی و رویی تغذیه



شکل ۱-۱- بررسی ریخته‌گری و انجماد آلیاژ CK۴۵ توسط شبیه‌سازی پروکست.

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[۲].

- ✓ 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).
- ✓ محل دقیق ماهیچه‌ها و ریشه ماهیچه‌ها.
- ✓ 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.

حجم قطعه برحسب سانتی‌متر مکعب =V=۱۱۹۸.۷۷ $Cm^3$۲

سطح کل قطعه برحسب سانتی‌متر مربع = A=۲۲۶۷ Cm^2

بنابراین مدول حجمی کل برای این قطعه برابراست با[۳]:

$$Mc = \frac{V}{A} = \frac{100}{185} = 0.53\ Cm \qquad (۱-۱)$$

در محاسبه مدول تغذیه روش‌های زیادی وجود دارد که یکی از آن‌ها اندازه‌گیری نسبت حجم به سطح است. در قطعات با ضخامت یکنواخت، برای بدست آوردن مدول حجمی سطح کل قطعه را بر حجم آن تقسیم می‌کنند. اما در قطعات غیر یکنواخت، مانند قطعه فولادی مدنظر در این طرح مدول حجمی برای قسمت‌های ضخیم‌تر محاسبه می‌شود. پس برای این قطعه فقط مدول حجمی برای استوانه مرکزی محاسبه می‌شود که مقدار آن عبارتست از[۴]:

$$Mc = \frac{V}{A} = \frac{406}{430} = 0.95\ Cm$$

در فولادها و در مدول‌های حجمی کمتر از یک نیز تغذیه‌گذاری یک امر لازم محسوب می‌شود. لذا برای مدول‌های بزرگتر از ۰/۸۵ سانتی‌متر نیز از تغذیه استفاده می‌شود. درنتیجه باید مدول تغذیه ۱/۲ برابر مدول قطعه باشد تا انقباض قطعه را جبران کند[۴]:

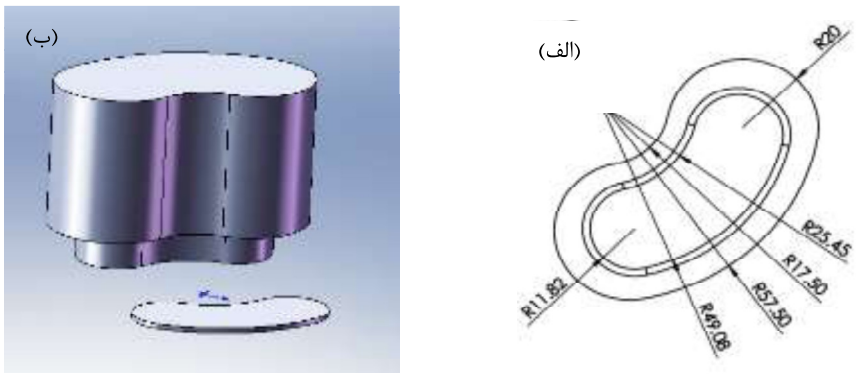
$$Mr = 1.2MC \qquad (۱-۲)$$

$$\rightarrow Mr = 1.14$$

اندازه قطر تغذیه نیز از رابطه ۳-۱ بدست می‌آید. برای آلیاژهای مختلف با توجه به خمیری، میانی و پوسته‌ای بودن آلیاژ رابطه مدول تغذیه مقداری متفاوت است. چون آلیاژ CK۴۵ یک آلیاژ خمیری بوده و تغذیه‌ها روی قطعه قرار می‌گیرند، ارتفاع تغذیه ۱/۵ برابر قطر تغذیه در نظر گرفته می‌شود. رابطه مدول تغذیه عبارتست از:

$$Mr = \frac{D}{5} \rightarrow \quad D(\text{قطرتغذیه}) = 5.7 \approx 6Cm \rightarrow \quad H = 1.5D = 9Cm \qquad (۱-۳)$$

با توجه به محاسبه برد تغذیه یک تغذیه ۶ سانتی‌متری روی قطعه جواب‌گو نیست. از طرفی بدلیل کم بودن ضخامت استوانه مرکزی در قطعه، باید از دو تغذیه لوبیایی شکل استفاده شود. بعلت طولانی بودن محاسبات تنها اندازه تغذیه مورد استفاده در شکل ۱-۲ آورده شده است[۴].



شکل ۱-۲- الف) اندازه و ب) شکل تغذیه مورد استفاده برای قطعه فولادی.

برای محاسبه اندازه سیستم راهگاهی نیز از رابطه ۴-۱ استفاده می‌شود. 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 باتوجه به این‌که راهگاه در درجه زیری برخورد می‌کند، از این رابطه استفاده خواهد شد) عبارتست از[۴]:

$$Ac = \frac{1}{\mu.t.\sqrt{2g}} * 1.5\mathrm{L}\frac{V}{\sqrt{H^3}-\sqrt{(H-l)^3}} \qquad (۴-۱)$$

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).

زمان بارریزی : زمان بارریزی یا زمان پرشدن قالب یکی از عوامل مهم جهت طراحی سیستم راهگاهی و محاسبه سطح مقطع تنگه است که مستقیماً سلامت قطعه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نکته مهم در تعیین زمان پرکردن قالب این است که هرچه زمان بارریزی کمتر باشد، از عیوبی مثل سرد جوشی ، لب‌گردی و نیامد در قطعه جلوگیری می‌شود. اهمیت این امر به ویژه در مورد قطعاتی است که دارای ضخامت‌های نازک و گوشه های تیز هستند. از طرف

دیگر زمان بارریزی باید به اندازه کافی زیاد باشد تا باعث تلاطم زیاد مذاب نشود، در غیر این‌صورت مذاب باسرعت زیاد قالب را پر می‌کند و باعث جلوگیری خروج گاز از محفظه قالب شده و درنتیجه عیوبی چون مک و تخلخل در قطعه مورد نظر و همچنین در قالب سایش پدید می‌آید. آهنگ باریزی در تعیین شیب دمایی از تغذیه به قطعه نقش موثری دارد. از آنجایی که همواره باید گرم‌ترین مذاب در تغذیه باشد[۵]. باید در صورت استفاده از تغذیه گرم ، آهنگ باریزی کم باشد تا شیب دمایی و در نتیجه راندمان تغذیه افزایش یابد. برای تغذیه سرد باید آهنگ بارریزی زیاد باشد. تا کاهش شیب دمایی، راندمان تغذیه را افزایش دهد. زمان بارریزی توسط رابطه بالا محاسبه می‌شود.

سرعت بارریزی : زمان بارریزی نیز همانند زمان بارریزی از عوامل مهم و کاربردی، جهت طراحی سیستم راهگاهی و محاسبه سطح مقطع تنگه است که مستقیماً سلامت قطعه را تحت تاثیر قرار می‌دهد عواملی که در زمان بارریزی موثر هستند عبارتنداز؛ اندازه کوچک‌ترین ضخامت و پیچیدگی قطعه، خواص‌حرارتی قالب بارریزی و ترکیب شیمیایی مذاب که طبق این شرایط زمان بارریزی باید کوتاه‌ترین زمان ممکن را داشته باشد تا از عیوبی مثل سردجوشی، لب‌گردی و نیامد قطعه جلوگیری شود. به هر حال سرعت بارریزی توسط نرم‌افزار پروکست محاسبه می‌شود. با جای‌گذاری پارامترها در رابطه ۱-۴، سطح تنگه برابراست با:

$AC=5.7\ Cm^2$

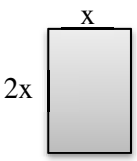
باتوجه به این که سیستم از نوع غیرفشاری و با نسبت‌های ۱:۲:۲ در نظر گرفته شده است، لذا قطر لوله راهگاه عبارتست از:

$$\frac{\pi D^2}{4} = 5.7 * 1 \rightarrow \quad D^2 = 7.6 \rightarrow \quad D = 2.69 \approx 2.7\ Cm$$

بنابراین ابعاد کانال اصلی و فرعی برابر است با:

$$2x * x = 2 * 5.7 \rightarrow \quad x^2 = 5.7 \rightarrow \quad x = 2.3 \rightarrow \quad 2x = 4.5Cm$$

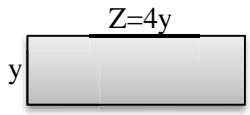
سطح کانال اصلی:



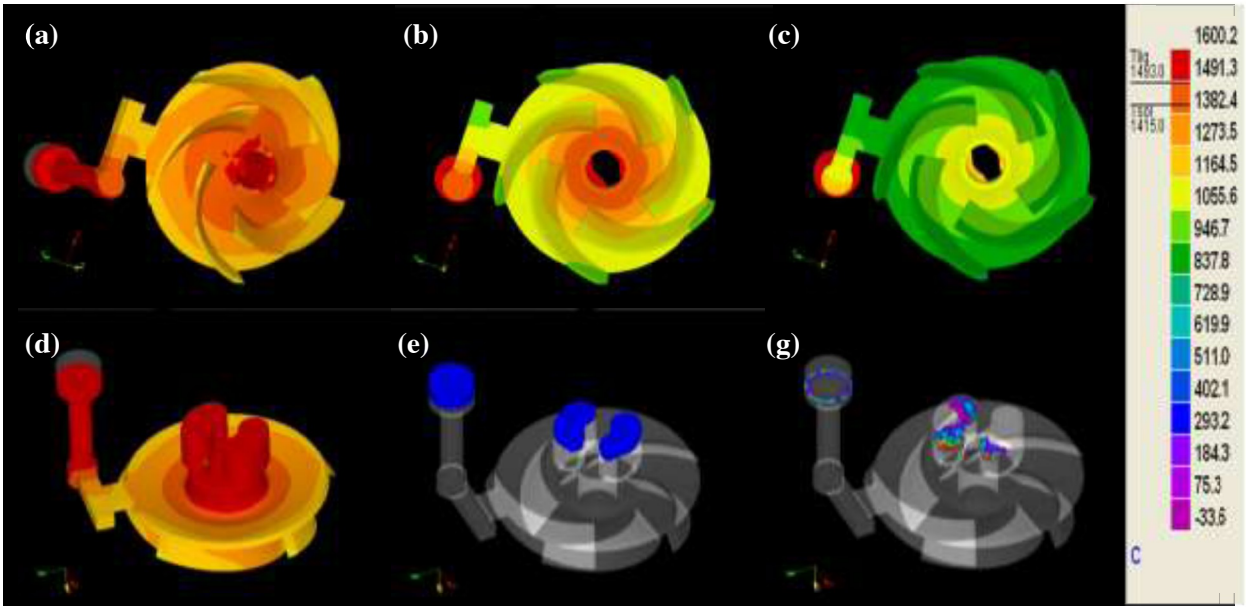
$$4y * y = 2 * 5.7 \rightarrow \ 4y^2 = 11.4 \rightarrow \quad y^2 = 2.85$$

$$\rightarrow \quad y = 0.9 \rightarrow \quad Z = 6$$

سطح کانال فرعی:



با توجه به محاسبات بالا ابعاد کانال اصلی و فرعی در قالب تعبیه می‌شوند. جهت جلوگیری از ورود شلاکه‌ها و آخال‌ها به درون قالب، باید میزان ۷۰ درصد ازکانال اصلی در قالب زیری و ۳۰ درصد آن در درجه رویی باشد. با اعمال محاسبات انجام شده در این طرح روی قطعه مورد نظر و انجام شبیه‌سازی پروکست روی آن نشان داده شد که تغذیه‌ها به درستی عمل کرده و قطعه بدون هیچ‌گونه عیبی تولید خواهد شد. ازطرفی به دلیل نازک بودن پره‌ها و تعداد زیاد آن‌ها و با توجه به این که پره‌ها در دورترین مکان نسبت به تغذیه قرار دارند، انجماد از پره‌ها آغاز شده و در تغذیه‌ها پایان می‌یابد. پس قطعه بدون نیاز به مبرد ویا ماسه کرومیتی دارای انجماد جهت‌دار بوده و قابل ریخته‌گری است. در شکل ۱-۳ با استفاده از شبیه‌ساز پروکست، چگونگی انجماد و عملکرد تغذیه برای قطعه مورد نظر آورده شده است. لازم به ذکر است که جهت افزایش راندمان تغذیه و همچنین افزایش راندمان ریخته‌گری اطراف تغذیه از مواد گرمازا استفاده می‌شود. به هرحال می‌توان با استفاده از ماسه کرومیتی در قالب‌گیری حجم تغذیه را کاهش داد.



شکل ۱-۳- نتایج شبیه‌سازی پروکست جهت نمایش a,b,c,d) انتقال حرارتی و جهت انجماد. e,d) حفره‌ی انقباضی ایجاد شده در تغذیه.

نکته۱: دلیل استفاده از نسبت y به ۴y این است، که از تمرکز حرارتی در ناحیه برخورد کانال فرعی جلوگیری کنیم.

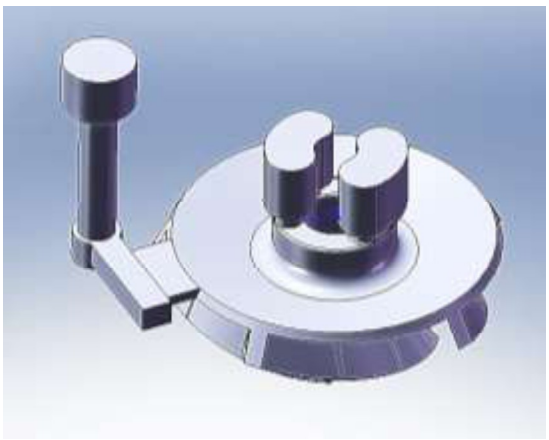
نکته۲: بدلیل محدودیت در محل اتصال راهباره به قطعه و ضخامت کم آن، از عرض راهباره کاسته شده و به طول آن می‌افزاییم.

نکته۳: با توجه به اینکه از تغذیه سرد در این قطعه استفاده می‌شود و مذاب پس از قطعه وارد تغذیه می‌شود، درنتیجه آهنگ باریزی باید سریع باشد تا با کاهش شیب دمایی، راندمان تغذیه افزایش یابد.

۱-۲-۲- طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری

طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری یک امر مهم و لازم در ریخته‌گری قطعات محسوب می‌شود[۶و۷]. 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 قابل‌توجهی به سطح جدایش مدل بستگی دارد. در ابتدا به طراحی حوضچه بارریز پرداخته می‌شود. حوضچه بارریز در فولادها و آلیاژهای آهنی آن از نوع قیفی است. لذا به دلیل ارتفاع نسبتا زیاد لوله راهگاه 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 قسمتی وارد قالب شود 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. در شکل ۱-۴ 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 کانال فرعی به تیغه میانی قطعه متصل شده است. این نقطه به این دلیل انتخاب شد تا ذوب گرم وارد قالب شده و پره‌های نازک پایینی را پر کند. در طراحی سیستم راهگاهی غیرفشاری در نظر گرفته شده است و لوله اصلی راهگاه 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

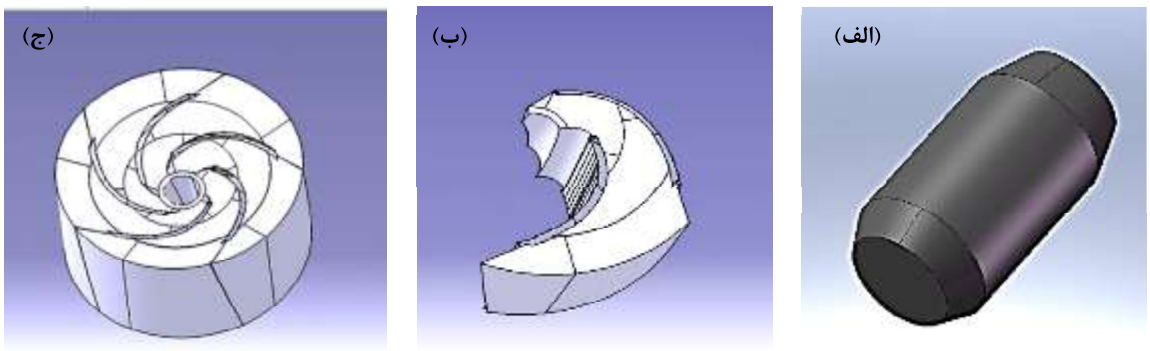
کانال اصلی یک چاهک جهت محبوس کردن شلاکه‌ها و آخال تعبیه می‌شود. در انتها کانال فرعی به‌صورت مورب به قطعه متصل می‌شود تا هنگام ریخته‌گری مذاب در قالب چرخیده و تمامی نقاط را پر کند و یکنواختی در ترکیب‌شیمیایی و دما داشته باشیم. از طرفی با ورود مذاب به درون قالب ذوب با سرعت وارد کانال اصلی شده و سپس به 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 دور تا دور تیغه دایره‌ای شکل در نظر گرفته شود تا گازهای ایجاد شده در حین ریخته‌گری خارج شود.



شکل ۱-۴- تصویر نمادین از طراحی سیستم راهگاهی روی قطعه فولادی.

۱-۲-۳- طراحی و ساخت مدل و قالب

با توجه به جنس و شکل قطعه فولادی و جهت سهولت در قالب‌گیری و کنترل کلیه شرایط برای تولید قطعاتی سالم وعاری از عیب قالب‌گیری به‌صورت عمودی انتخاب شد. سطح جدایش برای این قطعه از نوع یکنواخت است. به‌این صورت که پرها در درجه زیری و استوانه مرکزی و صفحه بین پره‌ها و استوانه، به‌همراه تغذیه‌ها در درجه بالایی قرار می‌گیرند. مهم‌ترین و مشکل‌ترین عمل در طراحی و ساخت مدل ایجاد فضای بین پره‌ها است. جهت ایجاد فضای بین پره‌ها باید از ۵عدد ماهیچه در کنار هم استفاده شود. این ۵ ماهیچه کاملا یک شکل هستند و برای تهیه‌ی آن‌ها می‌توان از یک جعبه ماهیچه بهره برد. جهت جلوگیری از جابجایی ماهیچه‌ها باید ۱/۵ الی ۲سانتی‌متر ریشه ماهیچه به پشت ماهیچه‌ها اضافه شود. و همچنین در مدل نیز ریشه ماهیچه اعمال گردد. در شکل ۱-۵ تصویری از ماهیچه‌های مورد نیاز قبل و بعد از مونتاژ نشان داده شده است. ماهیچه سوراخ وسط به دلیل جهت دار بودن طبیعی انجماد، از ماسه سیلیسی در نظر گرفته می‌شود ولی می‌توان آن را از جنس ماسه کرومیتی در نظر گرفته و در عوض از حجم تغذیه کسر شود.

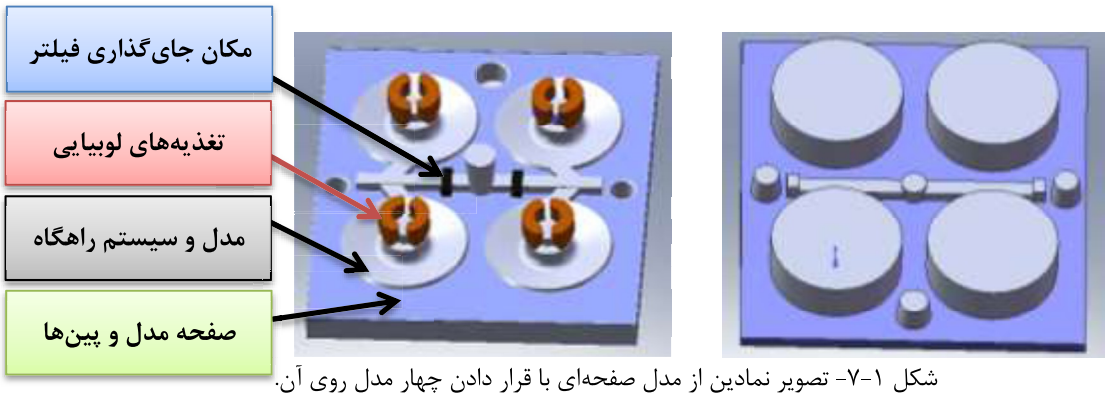


شکل ۱-۵- تصویر نمادین از ماهیچه‌های مورد استفاده در طرح فولاد قبل از مونتاژ.

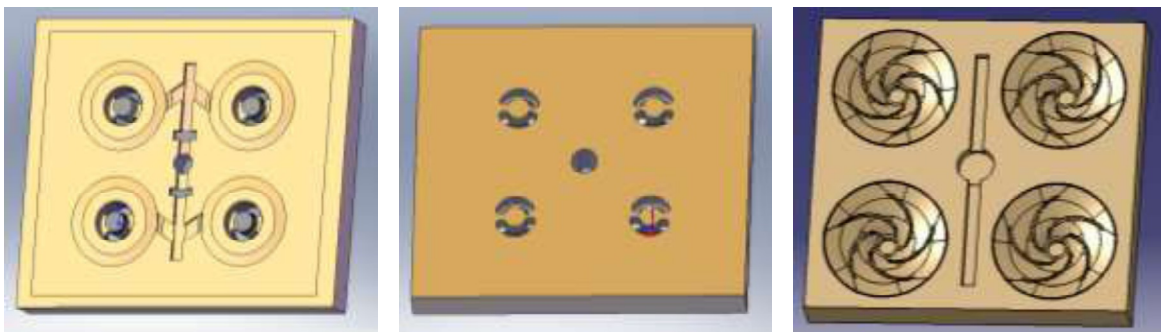
همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد مدل به صورت دو تکه ساخته می‌شود. تکه اول شامل استوانه و صفحه میانی که در درجه بالایی قرار می‌گیرد. تکه دوم به شکل یک استوانه بزرگ بوده و در اصل نقش ریشه ماهیچه را دارد. جهت قرارگیری ماهیچه‌ای که شامل فضای بین پره‌ها است لازم است روی مدل و به ریشه ماهیچه‌ی آن ۵ درجه شیب داده شود. در شکل ۱-۶ تصویری نمادین از مدل نمایش داده می‌شود. با توجه به حساس بودن قطعه مخصوصا پره‌های سانتریفیوژ که در محیط کاری دائما در حال دوران است، باید در تمامی نقاط قطعه توازن جرم وجود داشته باشد. از این‌رو جهت بهبود کیفیت سطحی لازم است که میزان ۳ میلی‌متر اضافه‌تراش روی سطح استوانه (محل برخورد تغذیه‌ها) و ۲میلی‌متر اضافه‌تراش داخل و زیر استوانه اعمال شود. همچنین میزان ۲میلی‌متر اضافه‌تراش روی پره‌ها و دور تا دور مدل اعمال می‌شود.

شکل ۱-۶- تصویری نمادین از مدل دوتکه به صورت جدا از هم.

برای سهولت در قالب‌گیری و افزایش سرعت فرایند تولید تعداد ۴عدد از این مدل‌ها روی یک صفحه بسته می‌شود. در شکل ۱-۷ تصویری نمادین از مدل صفحه‌ای نشان داده شده است. قسمت‌های سیاه رنگ روی صفحه مدل مربوط به مکان فیلترها بوده و قسمت‌های مربوط به تغذیه نیز اغلب از جنس چوب بوده و پس از قالب‌گیری از بالای درجه خارج می‌شوند. پس‌از قالب‌گیری مدل صفحه‌ای نوبت به قرار دادن ماهیچه‌ها به درون قالب می‌رسد. در شکل ۱-۸ قالب آماده‌ی ریخته‌گری نمایش داده شده است، که ماهیچه‌ها در آن مونتاژ شده‌اند.



شکل ۱-۷- تصویر نمادین از مدل صفحه‌ای با قرار دادن چهار مدل روی آن.



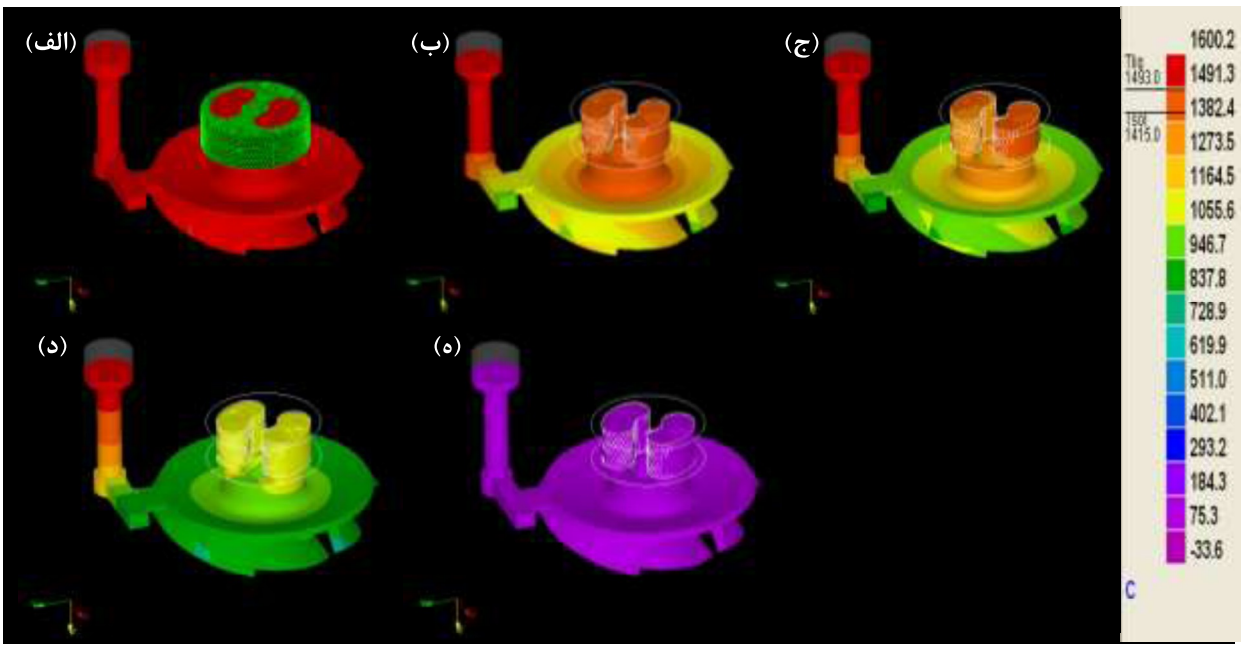
شکل ۱-۸- قالب آماده‌ی ریخته‌گری، که ماهیچه‌ها در آن مونتاژ شده‌اند.

۱-۲-۴- عملیات قالب‌گیری و ماهیچه‌سازی

ماسه قالبگیری و ماهیچه: ماسه مورد استفاده جهت قالب‌گیری از نوع ماسه سیلیسی T۶۰ با ۳/۵ درصد چسب سیلیکات سدیم است[۸]. جهت بهبود در فروپاشی ماسه پس از قالب‌گیری، از ۰/۵ درصد دکسیل۶۰ استفاده می‌شود. در قالب‌گیری حدود ۱ الی ۲ سانتی‌متر از سطح مدل را ماسه نو و بقیه فضای قالب از ماسه پشت‌بند پر می‌شود. میزان چسب مورد استفاده در ماسه پشت‌بند ۴درصد است. با استفاده از ماسه پشت‌بند در کنار ماسه نو، از هزینه‌های مربوط به قالب‌گیری کاسته می‌شود. از طرفی به علت وزن مخصوص بالای فولاد و همچنین نقطه ذوب بالای آن، باید استحکام و تراکم ماسه قالب‌گیری افزایش یابد، تا از نفوذ مذاب به دورن ماسه جلوگیری شود. ماسه ماهیچه نیز از نوع سیلیسی است. در ماهیچه مرکزی می‌توان برای جهت‌دار کردن انجماد از ماسه کرومیتی استفاده کرد.

مواد گرمازا: جهت کاهش انتقال حرارت در تغذیه و همین‌طور، گرم ماندن مذاب درون تغذیه تا آخرین مراحل انجماد، از مواد گرمازا استفاده می‌شود. مواد گرمازا به دو روش در قالب استفاده می‌شود. در روش اول گرمازا در جداره اطراف تغذیه استفاده می‌شود. در روش دوم که در تغذیه‌های باز کاربرد دارد، مواد گرمازا به شکل پودر، پس از ریخته‌گری مذاب روی تغذیه ریخته می‌شوند. در شکل ۱-۹ مواد گرمازای استفاده شده در جداره‌های تغذیه نشان داده شده است که در شبیه‌سازی پروکست گرم نگه داشته شدن مذاب در تغذیه توسط گرمازا اثبات شده است.

نکته۴: با استفاده از مواد گرمازا در اطراف تغذیه، ۲۰درصد حجم تغذیه کاسته شده و راندمان ریخته‌گری افزایش می‌یابد.



شکل ۱-۹- نمایش گرمازای استفاده شده در جداره تغذیه و بررسی عملکرد آن در شبیه‌سازی پروکست.

۱-۲-۵- 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[۹]:

- 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[۵]:

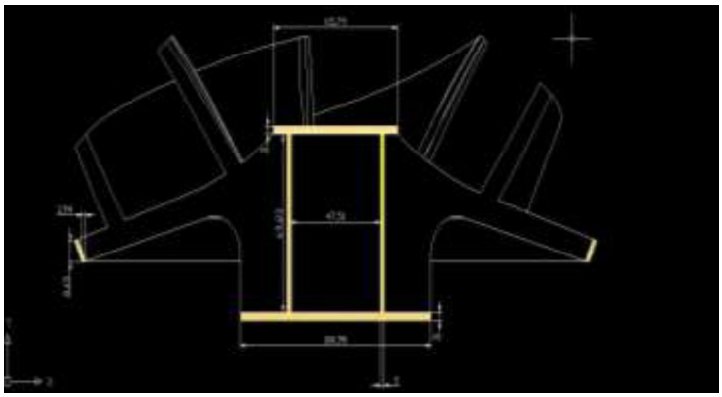
$$Ri = \frac{s}{p} * 100 \rightarrow \quad Ri = 70.3\% \qquad (۳-۱)$$

P: وزن قطعات بدون تراش (۱۳/۳۹۰ کیلوگرم).

S: وزن قطعه سالم (۹/۳۵۱کیلوگرم).

میزان راندمان ریختگی برای قطعه فولادی با مشخصات این طرح ۷۰ درصد است.

نکته۵: میزان اضافه تراش در راندمان ریخته‌گری منظور شده است. مکان‌های اضافه‌تراش در شکل ۱-۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱۰- تصویر مکانیکی از قطعه فولادی همراه با اضافه تراش.

۱-۳- شرایط عملیات ذوب و ریخته‌گری

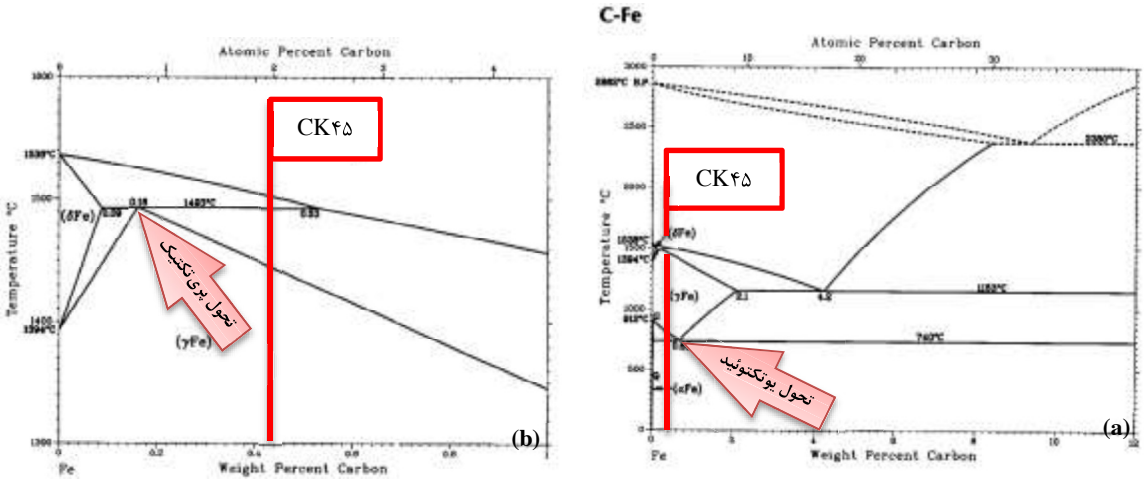
۱-۳-۱- مقدمه‌ای بر ذوب و ریخته‌گری آلیاژ CK۴۵

آلیاژ CK۴۵ یکی از آلیاژهایی است که قابلیت ریخته‌گری داشته و در صنعت کاربرد بسیاری دارد. این آلیاژ در صنایع مختلفی همچون صنایع دریایی، صنایع دفاعی، ساختمانی و سایر موارد دیگر کاربرد داشته و نقش مهمی را نسبت به سایر آلیاژهای فولادی ایفاء می‌کند. عناصر تشکیل دهنده این فولاد شامل آهن، کربن و منگنز بوده و کربن نقش اصلی جهت تغییر خواص مکانیکی را بازی می‌کند. کربن یک عنصر بین‌نشین است، که بین اتم‌های آهن به صورت بین‌نشین قرار گرفته (فضای هشت‌وجهی) و با جلوگیری از حرکت اتم‌ها و نابجایی‌ها استحکام آهن را به‌مقدار قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. درشکل ۱-۱۰ نمودار فازی آهن- کربن آورده شده و محدوده آلیاژ CK۴۵ روی شکل نشان داده شده است. همان‌طور که می‌دانید آهن یک فلز آلوتروپیک بوده و با تغییر دما شبکه کریستالی آن تغییر می‌کند. این در حالی است که با گرم شدن آهن از دمای محیط تا ۹۱۲ درجه‌سانتی‌گراد شبکه آهن BCC است. با افزایش دما از ۹۱۲ درجه سانتی‌گراد تا ۱۳۹۴ درجه‌سانتی‌گراد شبکه FCC پایدارمی‌شود. از دمای ۱۳۹۴ درجه‌سانتی‌گراد تا دمای ۱۵۳۸ درجه سانتی‌گراد (درحالت جامد) شبکه BCC پایدار است. با کمی افزایش دما و عبور از دمای ۱۵۳۸ درجه سانتی‌گراد شبکه کریستالی به هم ریخته‌شده و فاز مذاب پایدار خواهد شد. در ادامه به بحث و بررسی در مورد آلیاژ CK۴۵ پرداخته خواهد شد که آیا این آلیاژ، با ذوب شدن و انجماد چه تغییراتی را پذیرا خواهد بود.

۱-۳-۲- بررسی نمودار فازی برای آلیاژ CK۴۵

لازمه داشتن پیش‌زمینه از عملیات ذوب و انجماد آلیاژ CK۴۵ شناخت و تحلیل دقیق نمودار فازی آهن- کربن است. با توجه به شکل ۱-۱۱ نمودار فازی آهن- کربن شامل سه تحول بسیار مهم است. از این سه تحول یکی درحالت جامد بوده (تحول یوتکتوئید) و دو تحول درحالت مایع رخ می‌دهد (تحول یوتکتیک و پریتکتیک). در فولاد CK۴۵ ازبین سه تحول موجود، دوتای آن‌ها یعنی تحول یوتکتوئید و پریتکتیک در عملیات ذوب و انجماد تاثیرگذار هستند[۱۰]. در شکل ۱-۱۱ (b) تحول پریتکتیک مربوط به نمودار آهن- کربن با بزرگ‌نمایی بیش‌تر نشان داده شده است. تحول پریتکتیک در دمای ۱۴۹۳ درجه‌سانتی‌گراد و با ترکیبی شامل ۰/۱۸ درصد کربن ایجاد می‌شود. در این تحول یک مذاب (L) و یک جامد(δ) به یک جامد دیگر(γ) تبدیل می‌شوند. با انجام این تحول دو اتفاق حاصل می‌شود: اتفاق اول این که ماده کاملا به جامد تبدیل و هیچ فاز مذابی باقی نمی‌ماندو اتفاق دوم این که آهن یک استحاله آلوتروپیکی داده و ساختار فریت BCC به آستنیت FCC تبدیل می‌شود. محل تحول یوتکتوئید در شکل ۱-۱۱ (a) نشان داده شده است. تحول یوتکتوئید در دمای ۷۳۸ درجه سانتی‌گراد و در ترکیب شیمیایی ۰/۸ درصد کربن حاصل می‌شود. با انجام این تحول یک جامد (آستنیت FCC) به دو جامد دیگر (فریت و سمانتیت) تبدیل می‌شود. تحول یوتکتوئید کاملا در حالت جامد انجام شده و یک فرایند نفوذی محسوب می‌شود[۱۱].

نکته۶: بررسی خطوط موجود در نمودار آهن- کربن در بخش بررسی انجمادی آلیاژ CK۴۵ آورده شده است.



شکل ۱-۱۱- نمودار فازی دوتایی آهن- کربن، برحسب درصد وزنی[۱۲].

۱-۳-۳- بررسی شرایط ذوب و تهیه آلیاژ CK۴۵

برای ذوب کردن آلیاژ CK۴۵ از کوره القایی بدون هسته و با فرکانس متوسط استفاده می‌شود. در مرحله شارژ کوره برای تهیه مذابی از آلیاژ CK۴۵، عوامل و شرایط بسیاری تاثیرگذار هستند. از این عوامل می‌توان به شکل، اندازه و ترکیب شیمیایی مواد اولیه اشاره کرد. بسته به در نظر گرفتن این سه عامل، ماده اولیه جهت شارژکوره انتخاب می‌شود. در شارژ اولیه کوره القایی مواد شارژ باید کاملا ریز و با تراکم بالا مانند پولک‌ها و ضایعات واشرها استفاده می‌شود. هرچه شارژ اولیه تراکم بیشتری داشته باشد زودتر ذوب خواهد شد. پس از شارژ، توان کوره القایی را بسته و ابتدا سیستم آب‌رسانی کوره روشن می‌شود و بعد از آن سیستم الکترونیکی کوره را فعال کرده و در نهایت کوره را روشن می‌کنیم. با گذشت زمان، توان کوره را افزایش می‌دهیم تا مواد شارژ ذوب شوند. در ادامه جهت تکمیل ظرفیت کوره با انجام محاسبات شارژ از ضایعات درشت‌تر و یا برگشتی‌ها استفاده می‌شود. یک امر لازم در طی فرایند ذوب کردن آلیاژ CK۴۵ وجود دارد و آن اکسیژن‌زدایی آلیاژ است که توسط فروسیلیسیم صورت می‌گیرد. پس از ذوب شدن کامل مواد شارژ در کوره سرباره‌گیری توسط سلاکس انجام می‌شود. در مرحله بعد کنترل دمایی توسط ترموکوپل ویا پیرومتر انجام شده و از مذاب جهت انجام آزمون کنترل ترکیب شیمیایی نمونه‌برداری می‌شود. برای انتقال مذاب از

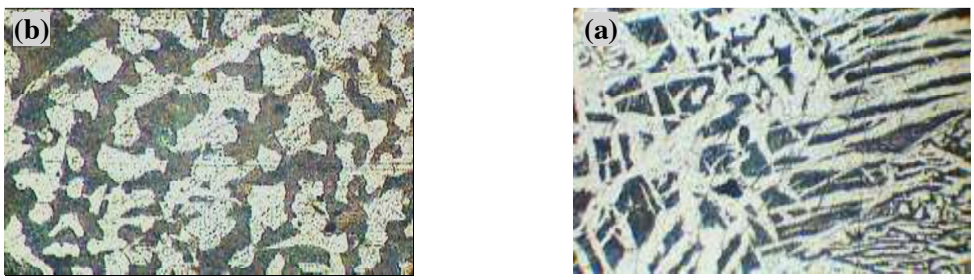
کوره به دورن قالب از یک پاتیل با دیرگداز سیلیسی استفاده می‌شود و برای تخلیه مذاب به دورن پاتیل مقدار ۰/۱ درصد آلومینیم برای هر ۱۰۰ کیلوگرم ذوب، جهت گاززدایی اضافه می‌شود. دمای ریختن مذاب به درون قالب ۷۰ تا ۱۰۰ درجه بالای خط لیکوئیدوس انتخاب می‌شود. دمای ریختن برای آلیاژ CK۴۵ برابر ۱۶۰۰ درجه‌سانتی‌گراد است. به دلیل زیاد بودن فوق ذوب و دامنه انجماد، در آلیاژ CK۴۵، جذب گاز بسیار بالایی داریم که با افزودن ۰/۱ درصد آلومینیم برای هر ۱۰۰ کیلوگرم ذوب، گاززدایی انجام می‌شود. دامنه انجماد نیز در فولاد CK۴۵ زیاد بوده و در نهایت این آلیاژ رفتار خمیری دارد.

۱-۳-۴- بررسی شرایط انجمادی آلیاژ CK۴۵

انجماد آلیاژ CK۴۵ پس از ریختن آن به درون قالب صورت می‌گیرد. با توجه به شکل ۱-۱۱ با سرد شدن مذاب آلیاژ CK۴۵ از دمای ۱۶۰۰ درجه تا ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد ، ابتدا فاز مذاب پایدار است. با کاهش دما از ۱۵۰۰ درجه‌سانتی‌گراد اولین جوانه‌های جامد (جوانه‌های فریت δ با شبکه BCC) ایجاد شده و رشد می‌کنند. در دمای ۱۴۹۳ درجه سانتی‌گراد تحول پریتکتیک رخ داده و فاز فریت δ به‌همراه مقداری از فاز مذاب به آستنیت تبدیل می‌شود. با ایجاد استحاله پری‌تکتیک، تحول آلوتروپیک هم رخ داده و آهن BCC به آهن FCC تبدیل می‌شود. سپس در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتی‌گراد کل ساختار به محلول جامد کربن در آهن FCC تبدیل می‌شود. از دمای ۱۴۵۰ درجه تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد فاز آستنیت پایدار است. با افزایش دما از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد تا ۷۳۴ درجه سانتی‌گراد اولین جوانه‌های فریت α با شبکه BCC ایجاد شده و رشد می‌کند تا در نهایت در دمای ۷۳۴ درجه سانتی‌گراد تحول یوتکتوئید انجام می‌شود. در تحول یوتکتوئید فاز آستنیت به دوفاز فریت و سمانتیت تبدیل می‌شود. محصول تحول یوتکتوئید به‌صورت لایه‌ای بوده (اثر انگشتی) که به آن پرلیت گفته می‌شود. در این دما نیز یک تحول آلوتروپیک حاصل می‌شود که طی این تحول ساختار FCC به ساختار BCC تبدیل می‌شود.

نکته۷: ساختار نهایی در این آلیاژ شامل پرلیت و فریت است که در شکل ۱-۱۲ (*a*) تصویر میکروسکپی از آلیاژ CK۴۵ نشان داده شده است.

نکته۸: در صنعت، فولادها پس از ریخته‌گری مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و باید پس از ریخته‌گری، جهت بهبود قابلیت ماشین‌کاری روی آن‌ها عملیات حرارتی انجام شود. تصویر میکروسکپی آلیاژ CK۴۵ درشکل ۱-۱۲(b) نشان داده شده است. در این تصویر نمایان است که پس از عملیات‌حرارتی، دانه‌ها از حالت ستونی و کشیده به شکل هم‌محور تغییر شکل داده‌اند.



شکل ۱-۱۲- تصویر میکروسکپی از فولاد CK۴۵ (a) پس از ریخته‌گری، (b) پس از عملیات‌حرارتی با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر.

۱-۳-۵- کوره و پاتیل ریخته‌گری

کوره مورد استفاده برای تهیه ذوب آلیاژ CK۴۵ از نوع القایی و با فرکانس متوسط است زیرا مذاب فولاد تمایل شدید به اکسیداسیون و واکنش با هوای محیط دارد. دلیل اکسیداسیون و واکنش‌های کم این است که کوره محصولات احتراقی نداشته و در نتیجه ذوب تهیه شده دارای کمترین جذب گاز و در کل مذاب با بهترین کیفیت و سرعت

تولید بالا تهیه می‌شود. حجم کوره نیز بر اساس وزن و تعداد قطعات انتخاب می‌شود. خاک نسوز جداره کوره القایی نیز بر اساس نوع عناصر آلیاژی موجود انتخاب می‌شود که در آلیاژ CK۴۵ به دلیل زیاد بودن منگنز نسبت به سیلیسیم بهتر است از جداره بازی استفاده شود. در غیر این‌صورت می‌توان از خاک اسیدی نیز استفاده کرد ولی طبیعتا خوردگی جداره اسیدی بیشتر خواهد بود. برای انتقال مذاب از کوره و ریختن آن در قالب نیز از پاتیل استفاده می‌شود. جنس پاتیل از ورق فولادی تهیه می‌شود که درون آن توسط ماسه سیلیسی پوشش داده می‌شود. پاتیل مورد نیاز باید قبل از ریخته‌گری پیش‌گرم شده و یا مذاب توسط آن پاتیل برگردان شود، تا از هرگونه اتلاف حرارتی جلوگیری به‌عمل آید[۱۳و۱۴].

نکته۹: مذاب فولاد شدیدا به تلاطم حساس است و در اثر ایجاد هرگونه تلاطم در مذاب جذب گاز ایجاد می‌شود. پس باید همواره در انتخاب نوع کوره، پاتیل و سایر موارد مربوط به کوره و پاتیل دقت شود، تا ذوبی عاری از هرگونه عیب تهیه شود.

۱-۳-۶- عملیات کیفی آلیاژ CK۴۵

عملیات ذوب یکی از مهم‌ترین اصول ریخته‌گری فولاد است که اثر مهمی روی مکانیزم انجماد و در نتیجه خواص مکانیکی خواهد داشت. دو مسئله مهم در هنگام ذوب فولاد وجود دارد که در عملیات کیفی باید در نظر داشت؛ مساله اول، تمایل به حل شدن و جذب گازها توسط آلیاژ بوده و مساله دوم اکسیداسیون و سوخت و سوز در درجه حرارت بالا است که در ادامه هرکدام به‌طور جداگانه توضیح داده می‌شوند.

عملیات گاززدایی: به علت بالا بودن درجه‌حرارت ذوب، تمایل فولاد به واکنش با گازهای محیط اطراف خود زیاد می‌شود. در صورت عدم توجه مقدار زیادی از گازهای موجود مانند O_2,H_2,N_2 در ذوب حل شده و درنتیجه باعث ایجاد تخلخل و مک‌های ریز و درشت در قطعه می‌شود که منجر به افت شدید خواص مکانیکی می‌گردد. در مورد گازها با توجه به روابط موجود بین فشار و درجه حرارت می‌توان به اصل مهمی دست یافت، که مقدار گازهایی که در مذاب حل می شود متناسب با جذر فشار جزئی آن می‌باشد یعنی اگر ما فشار جزئی گازی را چهار برابر کنیم حلالیت آن در درون مذاب دو برابر می شود پس حلالیت گاز با جذر فشار نسبت عکس دارد. یعنی با اعمال فشار بسیار کمی، ازت و هیدروژن به‌طور کامل از فولاد به بیرون رانده می‌شوند[۱۵].

عملیات اکسیژن‌زدایی: جهت انجام عملیات اکسیژن‌زدایی در فولادها از سیلیسیم و آلومینیم استفاده می‌شود. ولی آلومینیم اثر بیش‌تری نسبت به سیلیسیم دارد. مقدار مصرفی آلومینیوم برای اکسیژن زدایی در فولاد برابر ۰/۲۵ درصد است. اگر آلومینیم مصرفی جهت اکسیژن‌زدایی بیشتر از ۰/۲۵ درصد استفاده شود نیتروژن تولید نیترید آلومینیوم کرده و درنهایت در مرزدانه‌ها رسوب می‌کند. نیترید آلومینیم بسیار ترد بوده و وجود آن در فولاد، موجب ترک میان‌دانه‌ای می‌شود. نحوه تلقیح آلومینیم و سیلیسیم به مذاب جهت اکسیژن‌زدایی بسیار با هم متفاوت است. افزودن آلومینیم به صورت تکه‌های کوچک در پاتیل در هنگام تخلیه ذوب از کوره انجام می‌شود ولی سیلیسیم در هنگام ذوب کردن آلیاژ و در کوره به ذوب افزوده می‌شود.

عملیات پوشش‌دهی: برای جلوگیری از ماسه سوزی و شسته شدن ماسه و تماس ذوب با قالب از پوشش سرامل (زیرکنی با پایه الکلی) استفاده می‌شود. نسبت مجاز مخلوط کردن زیرکن و الکل برای رسیدن به غلظت مناسب عبارت است از ۱/۵ کیلوگرم پودر زیرکن با یک لیتر الکل که این مخلوط را توسط پیستوله به سطح قالب پاشیده و آن را آتش می‌زنند.

عملیات فیلتر کردن: با انجام عملیات گاززدایی و اکسیژن‌زدایی 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 فولادها و چدن‌ها از فیلترهای سرامیکی با مش۲۰ یا ۴۰ استفاده می‌شود. به‌طور کلی استفاده از فیلتر در فولادها و آلیاژهای آن باعث افزایش ۳۰درصدی استحکام کششی و مقاومت

به ضربه، و کاهش ۱۰ درصدی سختی می‌شود[۱۵]. بهترین مکان استفاده از فیلتر در آلیاژ CK۴۵ بعداز لوله راهگاه و بین کانال اصلی و فرعی است که دارای مزیت‌های زیر است:

- مقاومت صافی در برابر عبور مذاب که ناشی از عمل کشش سطحی است باعث می‌شود که خروج مذاب از صافی تا زمان پرشدن کامل راهگاه بارریز به تاخیر بیافتد. این مقاومت اصطکاکی صافی به برگشت مذاب درون راهگاه بارریز نیز کمک می‌کند.
- تجمع فیلم‌های تشکیل شده قبل و هنگام باریزی و در نهایت جدا شدن آن‌ها از مذاب.

۱-۳-۷- خلاصه عملیات ذوب و ریخته‌گری

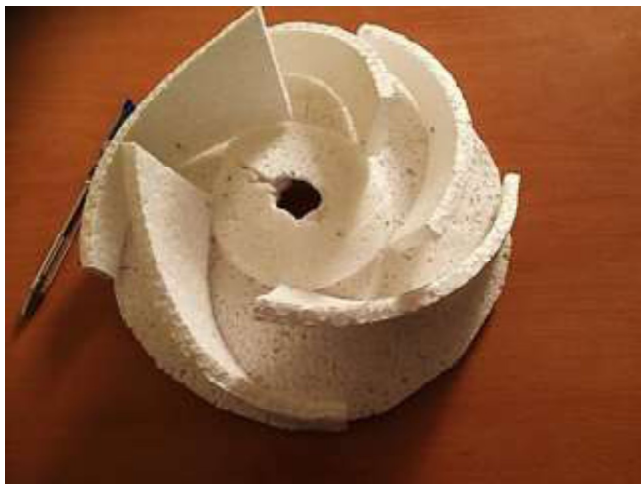
- ✓ تهیه مذاب آلیاژ CK۴۵ با استفاده از شارژ کردن کوره القایی.
- ✓ ایجاد فوق ذوب لازم ۶۲ +۱۵۳۸ درجه سانتی‌گراد.
- ✓ تخلیه ذوب در پاتیل و انجام گاززدایی توسط آلومینیم.
- ✓ استفاده از سلاکس جهت سرد کردن و تسهیل در خروج آخال و سرباره‌گیری.
- ✓ ریختن مذاب با استفاده از فیلتر در راهگاه.

نکته۱۰: در اثر اعمال فوق ذوب حدود ۰/۱۵ درصد از Mn داخل ذوب می‌سوزد و باید این میزان را جبران کرد. برای جبران منگنز از فروآلیاژ Fe-70Mn-4C به‌میزان ۷۸۰ گرم در هر ۱۰۰ گیلوگرم استفاده می‌شود.

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

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

- ✓ با توجه به شکل پیچیده این قطعه یک روش ساده‌تری برای قالب‌گیری آن وجود دارد. در این روش دو عمل را می‌توان انجام داد. روش اول ایجاد فضای پره‌ها در بین ماسه به‌توسط موم و در نهایت خارج کردن موم‌ها و ریخته‌گری مذاب. روش دوم تهیه مدل یونالیتی و قالب‌گیری آن و درنهایت ریخته‌گری مذاب درون قالب. در عمل این دو روش دارای کیفیت سطحی پایین هستند و بعلاوه‌ی کیفیت سطحی پایین ممکن است محصولات سوخت و سوز یونالیت یا موم به‌صورت گاز وارد قطعه شده و در قطعه مک و حفره ایجاد کند. به این دلایل از جعبه ماهیچه ۵ تکه به‌جای مدل مومی برای ایجاد فضای بین پره‌ها استفاده می‌شود. در شکل ۱-۱۳ مدل یونالیتی جهت تجسم و درک بهتر شکل سه بعدی مدل توسط دست ساخته شده و نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱۳- مدل یونالیتی مربوط به طرح فولاد.

- ✓ جهت قالب‌گیری ساده‌تر و همچنین تسریع در زمان قالب‌گیری تعداد ۴عدد از این مدل روی یک صفحه بسته شده است. با انجام این عمل علاوه بر قالب‌گیری ساده‌تر، راندمان ریختگی نیز به اندازه قابل‌توجهی افزایش می‌یابد.

- ✓ با استفاده از دو تغذیه لوبیایی شکل برای جبران انقباض بجای تغذیه استوانه‌ای راندمان ریختگی افزایش یافته است. تغذیه لوبیایی شکل این قابلیت را دارد تا علاوه‌بر حجم کمتر نسبت به تغذیه استوانه‌ای شکل، سطح بیش‌تری از قطعه را جهت جبران انقباض پوشش دهد.

- ✓ با کوبیدن گرمازای جانبی در دیواره‌های تغذیه ۲۰درصد از حجم تغذیه را کاهش داده و درنتیجه راندمان ریختگی افزایش می‌یابد.

- ✓ طراحی سیستم راهگاهی به‌گونه‌ای 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 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). این در حالتی است که پره‌ها نیز در جهت حرکت مذاب هستند و با سهولت بیش‌تری پر می‌شوند. 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).
- ✓ از نظر طراحی این امکان بود تا سیستم راهگاهی به استوانه مرکزی متصل شود. با اجرای این طراحی روی قطعه مورد نظر یک مزیت بسیار ویژه حاصل می‌شود. این مزیت این است که در قطعه نیازی به یک تغذیه است و حتی با کمی افزایش در اندازه سیستم راهگاهی مشکل انقباض در قطعه بدون استفاده از تغذیه رفع خواهد شد. در این حالت راندمان ریختگی به ۷۹درصد خواهد رسید. در کنار این مزیت چند عیب در ریخته‌گری ایجاد می‌شود که به این مزیت ارجحیت دارند. در این طراحی عواملی چون؛ سقوط آزاد مذاب، تلاطم بالا، گازگرفتگی، ماسه‌شور شدن و کاهش کیفیت سطحی ایجاد شده و به دلایل بالا این طراحی را کنار گذاشته و طرح موجود در پروپزال ارائه شد.

۱-۵- منابع مراجعه

1. D.M. Stefan, **Casting**, ASM handbook, the ASM 18 international handbook committee, ASM international, Volume 15, 9th edition, 719-730, 2010.

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

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

۴. رئوف پرورش، **تغذیه‌گذاری در قطعات ریخته‌گری فولادی**، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۶۹.

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

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

۷. رولف دالر، ترجمه عبداله ولی‌نژاد، **اصول طراحی مدل و قالب‌های ریخته‌گری**، انتشارات موسسه نشر علوم نوین، چاپ اول، ۱۳۷۵.

۸. محمد حسین فتحی، **مواد قالب‌گیری برای ریخته‌گری فلزات**، چاپ ششم، انتشارات اردکان اصفهان، ۱۳۸۶.

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

۱۰.محمدعلی گلعذار، **اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها**، ویرایش دوم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۸.

۱۱.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.

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

۱۳. جان کمبل، ترجمه سید محمدعلی بوترابی و صابر بالی، **ریخته‌گری پیشرفته**، جلد اول، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۹.

۱۴. جان کمبل، ترجمه سید محمدعلی بوترابی و صابر بالی، **ریخته‌گری پیشرفته**، جلد دوم، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۹.

۱۵. احمدرضا بیرژندی، **جزوه ریخته‌گری آلیاژهای آهنی**، انتشارات دانشگاه فنی شهید محسن مهاجر، ۱۳۸۰.