

Rikhtegari.net

ریخته‌گری فلزات

ریخته‌گری فرایندی است که طی آن ماده مذاب به داخل قالب بارریزی می‌شود (شکل ۱) تا به شکل داخلی قالب، منجمد و سپس از داخل آن خارج شده تا قطعه مورد نظر، تولید شود. سپس بر روی آن دیگر عملیات لازم انجام می‌شود (شکل ۲). ریخته‌گری ارزان‌ترین روش برای تولید محصولات فلزی شکل داده شده است. شکل قطعه توسط شکل حفره تعیین می‌شود. محصولات فلزی چکش‌کاری شده با محصولات فلزی ریخته‌گری تفاوت دارند. بر روی این محصولات پس از ریخته‌گری کار مکانیکی مانند آهن‌گری (forging)، نورد (rolling)، و یا روزن‌رانی (extruding) انجام می‌شود.



شکل ۱: بارریزی فلز در قالب



شکل ۲: اشیای فلزی ساخته شده به روش ریخته‌گری

عمل ریخته‌گری و ریخته‌گرخانه یا ریخته‌گری

فرایند شکل‌دهی اشیای فلزی که از ذوب فلز و ریختن (بارریزی) آن به داخل قالب به دست می‌آید. عمل ریخته‌گری^۱ نامیده می‌شود. ریخته‌گرخانه یا ریخته‌گری نیز تاسیسات تجاری برای ریخته‌گری یا تولید قطعات ریخته‌گری است. لازم به ذکر است که فلزات مذاب برای بدست آوردن شکل شیء به طور مستقیم

مزایای فرایند ریخته‌گری

۱. ریخته‌گری قطعاتی با شکل پیچیده درونی و بیرونی با هزینه نسبتاً پائین. در نتیجه بسیاری از عملیات مانند ماشینکاری، آهن‌گری و جوشکاری حذف و یا به حداقل می‌رسد.

^۱ Founding, Casting

۲. تنها روش شکل‌دهی برای فلزاتی است که امکان استفاده از روشهای دیگر، مانند گرمکاری، برای تولید میله (bar)، ورق (plate)، یا دیگر شکلها وجود ندارد (این روش اقتصادی است).
۳. امکان ساده شدن ساختمان (construction)، در غیر اینصورت ساختمان قطعه ممکن است از چندین جزء تشکیل شود.
۴. روشی بسیار مناسب و سازگار با تولید انبوه و سریع است (در صنعت خودرو بسیار سریع و پرکاربرد است).
۵. تولید قطعات فلزی فوق‌العاده بزرگ، سنگین که با دیگر روشها، تولید آن مشکل است (مانند بدنه پمپها، شیرآلات، قطعات واحد هیدروالکتریک، که گاهی تا ۲۰۰ تن و بیشتر نیز می‌رسد).
۶. بدست آوردن خواص مهندسی به طور دلخواه‌تر در فلزات ریخته‌گی، مانند
 - a. قابلیت ماشین‌کاری و ظرفیت جذب ارتعاش در چدن‌ها
 - b. خواص یکنواخت‌تر در جهات مختلف، قطعاتی که به روش مناسب ریخته‌گری شده باشند، در جهات مختلف خواص یکسانی دارند ولی در مورد قطعات چکشی چنین نیست.
 - c. استحکام و سبکی، در برخی آلیاژهای فلزات سبک که فقط می‌توان به روش ریخته‌گری تولید کرد.
 - d. کیفیت باربری خوب در قطعات ریخته‌گری شده باربر، به طور کلی می‌توان محدوده وسیعی از ترکیبات آلیاژی و خواص مختلف را در شکل ریخته‌گی تولید کرد.
۷. مزیت اقتصادی آشکاری در رابطه با موارد ۱ تا ۶ به تنهایی و یا با هم وجود دارد. قیمت و عامل فروش فاکتور مسلطی در قطعات ریخته‌گی است.
۸. مزایای بسیار دیگر

معایب فرایند ریخته‌گری

۱. استحکام مکانیکی محصولات ریخته‌گی برابر با استحکام مکانیکی قطعات آهن‌گری شده نیست.
۲. ناخالصی‌ها ممکن است به سهولت محبوس شده و باعث تغییر شکل شوند.
۳. نمی‌توان محصولاتی با سطوح فوق‌العاده صاف و یا با رواداری بالا تولید کرد.
۴. انقباض فلز می‌تواند باعث مشکلاتی در قطعه نهائی شود.

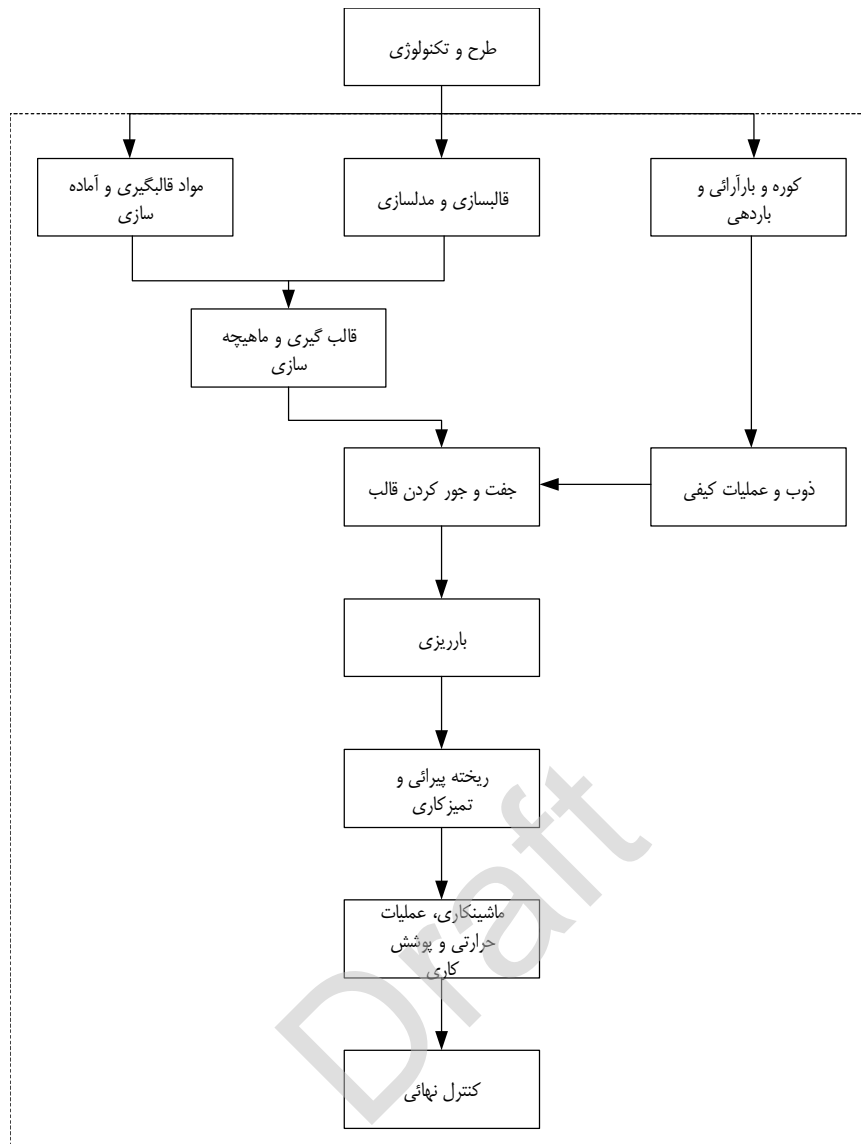
انواع ریخته‌گری‌ها

ریخته‌گریها را می‌توان به دو دسته آهنی و غیرآهنی تقسیم کرد که هر کدام خود تقسیمات دیگری دارند. این تقسیم بندی از دیدگاه نوع فلز به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شود.

۱. ریخته‌گری چدن خاکستری
۲. ریخته‌گری فولاد
۳. ریخته‌گری چدن مالیل
۴. ریخته‌گری برنج و برنز
۵. ریخته‌گری فلزات سبک مانند (Al, Mg)

شمای عمومی بخش‌های مختلف یک واحد ریخته‌گری

شمای عمومی بخش‌های مختلف یک واحد ریخته‌گری در نمودار زیر نشان داده شده است.



شکل : نمودار عمومی بخش‌های مختلف یک واحد ریخته‌گری

گامهای اساسی در تولید قطعه ریختگی

همانگونه که نمودار فوق نشان می‌دهد، گامهای اساسی در تولید قطعه ریختگی پنج تاست که عبارتند از

۱. ساخت مدل یا قالب اصلی (منجمله جعبه ماهیچه CORE)

۲. ساخت ماهیچه

۳. قالبسازی (قالب‌گیری)

۴. ذوب و بارریزی

۵. تمیزکاری

مدلسازی (ساخت مدل)

مدلها یا الگوها در ریخته‌گری از اهمیت زیادی برخوردار است. برای ساخت قالب ماسه به مدل (الگو) نیاز است. قالب با فشردن مواد خمیری (ماسه خمیری) در اطراف مدل (الگو) ساخته می‌شود. وقتی مدل از داخل ماسه خارج شود جای آن خالی می‌ماند. این فضای خالی بعداً با فلز مذاب پر می‌شود. تا قطعه ریختگی تولید شود. بنابراین قالب‌گیری نیاز دارد تا

۱. ابتدا مدل ساخته شود (نسخه‌ای از سطح بیرونی قطعه)

۲. سپس با استفاده از مدل قالب‌گیری انجام شود.

۳. در مورد قطعات مجوف (توخالی) مانند اتصالات لوله، بایستی مدل‌های (الگوهای) اضافی دیگری بنام جعبه ماهیچه (core boxes) ساخته شود تا بتوان با آن ماهیچه را شکل داد.

برای ساخت مدل در ریخته‌گری از مواد متعددی مانند چوب، فلز، گچ و پلاستیک استفاده می‌شود

ساخت ماهیچه (core making)

ماهیچه معمولاً از ماسه ساخته می‌شود تا فضای داخل قطعه را شکل دهد. نتیجتاً فضای بین ماهیچه و سطح حفره قالب، آن چیزی است که نهایتاً قطعه ریخته‌گری را تشکیل می‌دهد.

قالب‌گیری (molding)

به کلیه عملیات لازم برای تولید قالب برای بارریزی در داخل آن قالب‌گیری اطلاق می‌شود. فرایند قالب‌گیری عبارتست از:

۱. قرار دادن مدل در داخل قالب نگهدارنده
۲. قرار دادن ماده قالب در اطراف مدل و کوبیدن آن (فشردن آن)
۳. خارج کردن مدل از ماسه تا جای خالی آن ایجاد شود.
۴. قرار دادن ماهیچه در حفره قالب
۵. انجام عملیات پایانی و بستن قالب
۶. بارریزی در قالب (فلز مذاب آماده)

ذوب و بارریزی (melting and pouring)

آماده‌سازی فلز مذاب برای ریخته‌گری ذوب نامیده می‌شود. عمل ذوب در کوره و در بخش جداگانه‌ای در کارخانه صورت گرفته و سپس مذاب برای ریخته‌گری با پاتیل حمل می‌شود.

تمیزکاری (cleaning)

به کلیه عملیات لازم برای جداکردن ماسه، سربار، پوسته‌ها و فلز اضافی از قطعه ریخته‌گری، تمیزکاری گفته می‌شود.

ماسه‌های ریخته‌گری

ماسه از مواد اصلی در ریخته‌گری (ساخت قالب) است که معمولاً از ماسه‌های طبیعی تامین می‌شود. ماسه طبیعی معمولاً با ماده چسبناکی که عمدتاً خاک رس است مخلوط می‌شود تا بتوان قالب را با استحکام لازم و کافی تولید کرد. از ماسه‌های مصنوعی نیز در ریخته‌گری استفاده می‌شود.

اغلب قطعات ریخته‌گری را با استفاده از قالب‌های ماسه‌ای تولید می‌کنند. ماسه لازم برای هر تن ریخته‌گری حدود چهار تا پنج تن می‌باشد. نسبت مصرف ماسه به فلز ریخته‌گری بسته به نوع و اندازه قطعه ریخته‌گری و روش قالب‌گیری ممکن است از ۱:۱ تا ۰٫۲۵:۱ متغیر باشد.

قسمت عمده‌ای (حدود ۹۰٪) از ماسه ریخته‌گری را سیلیس (SiO_2) تشکیل می‌دهد، مابقی آن نیز چسب و ۲ درصد رطوبت است. گاهی مواد دیگری نیز برای ایجاد خاصیت معینی به ماسه اضافه می‌شود. برای مثال غالباً تا ۲ درصد مواد سلولزی برای جلوگیری از پارگی گرم^۱ به ماسه اضافه می‌شود. برای کاربرد بخصوص، مثلاً در تولید قطعات ریخته‌گری بسیار بزرگ فولادی از ماسه‌های غیرسیلیسی مانند ماسه زیرکونی (Zircon = ZrSiO_4) یا اولیون^۲ $[(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \text{SiO}_4]$ استفاده می‌شود. اکثر ماسه‌های ریخته‌گری، ماسه سیلیسی شسته شده‌ای است که از خلوص بالایی برخوردار است. این ماسه دیرگداز و از نظر زمین‌شناسی فراوان است. این ماسه‌ها در دماهای مختلف تبدیل حالت می‌دهند و نتیجتاً افزایش حجم می‌یابند. برای اینکه دیرگدازی آنها کاهش نیابد کانیه‌های فلدسپار، میکا و گداز‌آورهای قلیائی آن بایستی کم باشد در جدول زیر تجزیه شیمیایی ماسه طبیعی ریخته‌گری به طور تقریب داده شده است.

^۱ Hot tear

^۲ Olivine (Name from Olive Green), $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ or $\text{MgO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$

جدول ۱- آنالیز شیمیایی ماسه ریخته‌گری

درصد	ترکیب شیمیایی
۷۸-۹۸	سیلیس SiO_2
۱,۲-۱۰,۲	آلومینا Al_2O_3
۰,۵-۱۰,۲	اکسید آهن Fe_2O_3
۰,۰۴-۰,۰۵	اکسید تیتانیوم TiO_2
۰,۱۱-۲,۴	آهک CaO
۰,۰۲-۱,۸	اکسید منیزیم MgO
۰,۷-۳,۳	اکسیدهای قلیائی $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$
۰,۲-۴,۱	افت حرارتی LOI

ماسه‌های ریخته‌گری بر اساس مقدار خاک، به ماسه طبیعی و ماسه مصنوعی تقسیم می‌شوند. ماسه طبیعی ماسه‌ای است که از معدن استخراج و دارای خاک (AFS) کافی است، بطوریکه آن را می‌توان مستقیماً به کار برد. اما ماسه مصنوعی ماسه‌ای است که از مخلوط کردن ماسه بدون خاک با مقداری از خاک مورد نظر تهیه می‌شود. ماسه ساحل نیز ماسه‌ای است که معمولاً خاک آن، از پنج درصد کمتر است و در تهیه ماسه مصنوعی و ماسه ماهیچه به کار می‌رود. از نظر قالب‌گیری چند نوع ماسه متفاوت وجود دارد که عبارتند از:

۱. ماسه خام green sand
 ۲. ماسه خشک dry sand
 ۳. ماسه ماهیچه‌ای core sand
 ۴. ماسه فرآیند سیلیکات سدیم
 ۵. ماسه قالب‌گیری پوسته‌ای shell molding sand
 ۶. ماسه با پیوند سیمانی cement bonded sand، که مخلوطی از ماسه، ۸ تا ۱۲ درصد سیمان زودگیر و ۵ تا ۶ درصد آب است.
 ۷. غیره
- اکنون به معرفی برخی از این ماسه‌ها می‌پردازیم.

ماسه خشک

ماسه سیلیسی مرطوبی است که با پخت قالب در $316-204^\circ\text{C}$ ($600-400^\circ\text{F}$) بهبود یافته است. در نتیجه آب مکانیکی از ماسه خارج و فقط آب پیوندی سیستم خاک-آب-سیلیس باقی می‌ماند. مقاومت فشاری خشک، عمدتاً تحت تاثیر مقدار خاک و نیز مقدار آبی که قبل از خشک کردن قالب به کار می‌رود قرار دارد.

ماسه ماهیچه

ماسه‌ی ماهیچه^۱ همان ماسه قالب‌گیری است اما به آن روغن و مواد سلولزی (آرد ذرت)^۲ برای ایجاد پیوندهای قوی‌تر اضافه می‌شود. ماسه‌ی ماهیچه، معمولاً دارای ۱٪ روغن بزرگ ۲٪ نشاسته است و مقدار خاک رس آن باید در حداقل ممکن قرار گیرد. ماهیچه‌ها پس از قالب‌گیری در دمای حدوداً 200°C برای تشکیل پیوند پخته می‌شوند به این ماسه‌ها، ماسه‌ی چراغی نیز می‌گویند.

^۱ Core sand

^۲ Cereal

اختلاف ماسه ماهیچه و ماسه خشک در آن است که در ماسه ماهیچه بایستی قبل از پخت چسب غیر آلی به مقدار کافی مصرف شود تا مقاومت کافی قبل از پخت ایجاد شود. عامل اصلی مقاومت پیوند آلی ایجاد شده بعد از پخت می‌باشد. چسبهای آلی که مصرف می‌شوند شامل روغن ذرت، پلاستیکها، رزینها و کازئین می‌باشد. علاوه بر این آرد برای افزایش مقاومت و نیز بهبود خاصیت تمیزکاری مصرف می‌شود. چسبهای اصلی در عمل پلیمریزه و زنجیره‌ای می‌شوند. در مورد روغن بزرک اکسیژن عامل زنجیره‌ای شدن می‌باشد که در نتیجه به داخل کوره پخت ماهیچه بایستی هوای کافی جریان داشته باشد. از آنجائیکه پس از بارریزی کلیه اطراف ماهیچه‌ها با مذاب پوشانده می‌شوند بایستی برای خروج گازها به بیرون نفوذ پذیری کافی داشته باشد. به همین دلیل، ماسه ماهیچه معمولاً از ماسه قالب درشت‌تر بوده و لذا بایستی توزیع آن بر روی الکهای کمتری باشد.

خواص ماسه‌های ریخته‌گری

ماسه‌ها باید به راحتی قابل قالب‌گیری بوده و قطعات بی‌عیبی را ایجاد نمایند. خواص مورد نیاز عبارتست از:

- ۱- **استحکام خام (مرطوب):** ماسه مرطوب پس از مخلوط شدن با آب، بایستی مقاومت کافی و پلاستیسیته کافی، برای ساخت و حمل و نقل قالب را دارا باشد.
- ۲- **استحکام خشک:** به محض بارریزی، ماسه مجاور فلز داغ، به سرعت آب خود را بصورت بخار از دست داده و خشک می‌شود. ماسه خشک بایستی در برابر فرسایش و فشار متالوستاتیکی فلز مذاب، دارای مقاومت کافی باشد در غیر این صورت پس از بارریزی قالب بزرگ می‌شود.
- ۳- **استحکام داغ:** پس از تبخیر رطوبت، ممکن است به مقاومت زیاد ماسه در دمای بالا (بالتر از 100°C) نیاز باشد. فشار استاتیکی فلز مذاب که بر دیواره‌ی قالب وارد می‌شود ممکن است باعث بزرگ شدن قالب شود و یا اگر هنوز مذاب در حال حرکت است، در قالب، سایش، ترک، یا شکست اتفاق افتد.
- ۴- **نفوذپذیری:** حرارت قطعه ریخته‌گری در ماسه مرطوب، باعث ایجاد بخار و دیگر گازها می‌شود که در نتیجه قالب بایستی نفوذپذیر باشد یا به عبارت دیگر متخلخل باشد تا گازها از آن عبور کند. در غیر این صورت در قطعه حفره‌های گاز ایجاد خواهد شد. این خاصیت را که با استفاده از سرعت عبور هوا از داخل نمونه‌ی فشرده اندازه‌گیری می‌کنند تابع فضاهای خالی است و اندازه آن برای ماسه‌ای که روی تعداد زیادی الک توزیع می‌شود پائین است اما برای ماسه‌ای که روی سه یا چهار الک توزیع شود بالاست.
- ۵- **پایداری حرارتی:** حرارت قطعه ریخته‌گری در سطح مشترک ماسه و فلز ایجاد انبساط سریع می‌کند در نتیجه ممکن است سطح ماسه ترک بخورد و یا پوسته نماید مگر اینکه ماسه قالب به طور نسبی از نظر ابعاد در برابر سرعت گرم شدن پایدار باشد.
- ۶- **دیر گدازی:** دمای بارریزی بالا، مثلاً دمای آلیاژهای آهنی $1760-1315^{\circ}\text{C}$ نیاز به دیرگدازی بیشتر ماسه دارد، فلزات با دمای بارریزی پائین مثلاً آلومینیم در دمای 705°C نیاز به ماسه دیرگداز ندارد. در رابطه با دیرگدازی ماسه، مسئله‌ی دوام مطرح است. خواص ماسه‌ای که در معرض دمای بالا قرار می‌گیرد به علت تغییر پیوندهای شمیائی و فیزیکی، به تدریج تغییر کرده که بایستی با ماسه جدید جایگزین شود. متأسفانه آزمایشی برای تعیین این تغییر تدریجی وجود ندارد.
- ۷- **قابلیت قالب‌گیری (سیلان):** خاصیتی است که هم تعریف و هم اندازه‌گیری آن مشکل است. ماسه بایستی برای فرآیندهای قالب‌گیری مناسب باشد. این خاصیت ماسه مانند رفتار یک مایع است به عبارت دیگر وقتی کوبیده شود به کلیه قسمت‌های قالب جریان یافته و فشار کوبش را به طور یکنواخت توزیع نماید.
- ۸- **سطح تمام شده:** برای قطعه ریختگی، سطح تمام شده خوبی ایجاد کند.

۹- **خاصیت تمیزکاری (ریزش):** ماسه حرارت دیده که سخت و شبیه سنگ می‌شود به سختی از قطعه جدا می‌شود و ممکن است باعث ایجاد پارگی یا ترک در فلز در حال انقباض شود. لذا جدا شدن ماسه ریخته‌گری از قطعه بایستی مناسب باشد.

۱۰- مجدداً قابل استفاده باشد.

۱۱- به سهولت تهیه و کنترل شود.

۱۲- حرارت را از قطعه ریخته‌گری در حال سرد شدن انتقال دهد.

اجزای ماسه قالب‌گیری

ماسه‌های قالب‌گیری مخلوطی از سه یا چند جزء، از جمله خاک، آب و سیلیس می‌باشد.

ذرات ماسه (سیلیسی)

ذرات کرومی هر ماسه، اصولاً SiO_2 حدود ۹۵-۵۰ درصد کل ماسه قالب‌گیری را تشکیل می‌دهد. در ماسه‌های قالب‌گیری مختلف، این ذرات ماسه ممکن است به طرق مختلف با هم تفاوت داشته باشد.

۱. اندازه متوسط دانه، توزیع دانه‌بندی و شکل دانه‌ها

۲. ترکیب شیمیایی (خالص‌ترین ماسه دارای SiO_2 ۹۹٫۸⁺ است که بهترین ماسه به شمار می‌رود)

۳. دیرگدازی و ثبات حرارتی

هر چقدر مقدار سیلیس (SiO_2) ماسه بیشتر باشد دیرگدازی و ثبات حرارتی بیشتری دارد. اکسید آهن، اکسیدهای قلیائی و آهک بیش از حد، نقطه ذوب ماسه را کاهش می‌دهند.

خاک: ماسه‌های ریخته‌گری ممکن است از ۲ تا ۵۰ درصد خاک رس داشته باشد. خاک با مقدار آب مناسب، باعث مقاومت و پلاستیسیته ماسه می‌شود که در نتیجه خاک، برای ماسه چسب محسوب می‌شود. کانسارهای خاک که به عنوان چسب ماسه استفاده می‌شوند، عبارتند از:

۱. بنتونیت (مونتموریلونیت)

۲. گل آتشیخوار (کائولینیت)

۳. خاکهای مخصوص (هالوسیت، ایلیت و...)

که دو نوع اول بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آب: مقدار آب موجود در ماسه‌ها حدود ۸-۱/۵ درصد است که در ماسه پلاستیسیته و استحکام ایجاد می‌کند اما مصرف بیش از حد آن مقاومت را کاهش می‌دهد لذا بایستی شدیداً کنترل شود. در شکل ۱ اثر تغییرات مقدار آب و خاک بر مقاومت مخلوطهای ماسه نشان داده شده است. در هر مورد، برای حداکثر مقاومت مقدار آب بحرانی خاص وجود دارد.

افزودنی‌های ویژه

علاوه بر سه جزء اصلی فوق، مواد دیگری نیز ممکن است در ماسه‌های قالب‌گیری وجود داشته باشند که برای ایجاد خواص معین به ماسه اضافه می‌شوند. در زیر به بحث آنها پرداخته می‌شود.

آرد ذرت: مقدار مصرف آن در ماسه ۲ درصد است و هدف از مصرف آن افزایش استحکام خشک و یا خام است. دلیل افزایش استحکام تشکیل نشاسته است که علاوه بر آن، قابلیت تمیزکاری ماسه از قطعه را نیز افزایش می‌دهد.

پودر قطران: قطران محصول جنبی کک سازی به شمار می‌رود و تا حدود ۳ درصد برای بهبود خواص قالب در دمای بالا و سطح تمام شده قطعه ریخته‌گری آهنی به کار می‌رود.

آسفالت: محصول جنبی حاصل از تقطیر نفت است و بجای قطران استفاده می‌شود.

ذغال دریایی: ذغال نرم پودر شده‌ای است که در ماسه‌های قالب‌گیری استفاده می‌شود و محیط احیائی ایجاد می‌کنند. سطح تمام شده قطعه را بهبود می‌بخشد و باعث سهولت تمیزکاری می‌شود. مقدار مصرف آن ۲ تا ۸ درصد است.

گرافیت: گرافیت طبیعی یا مصنوعی که از ۰٫۲ تا ۲ درصد استفاده می‌شود قابلیت قالب‌گیری ماسه و سطح تمام شده قطعه ریخته‌گری را بهبود می‌بخشد.

گیلسونیت: ماده جامد آسفالتی است و مشابه ذغال دریایی عمل می‌کند.

گازوئیل: به مقدار بسیار کم (۰٫۱ تا ۰٫۱ درصد) برای بهبود قابلیت قالب‌گیری به ماسه افزوده می‌شود.

خاک اره: خاک اره یا دیگر مواد سلولزی ممکن است به مقدار ۰٫۵ تا ۲ درصد به ماسه قالب‌گیری افزوده شود. این مواد در دماهای بالا سوخته و انبساط قالب را کنترل می‌کنند و نیز قابلیت قالب‌گیری و تمیزکاری ماسه را بهبود می‌بخشد. بر استحکام موثر نمی‌باشد.

پودر (خاکه) سیلیس: پودر سیلیسی را که از ۲۰۰ مش نرم‌تر باشد خاکه سیلیس می‌نامند و ممکن است تا ۳۵ درصد به منظور افزایش مقاومت ماسه مصرف شود. دانسیته ماسه را افزایش داده و در نتیجه از نفوذ فلز جلوگیری می‌کند.

اکسید آهن: پودر اکسید آهن بمقدار بسیار کم برای افزایش مقاومت داغ برخی ماسه‌ها استفاده می‌شود.

پرلیت: کانسار منبسط شده سیلیکات آلومینیم است، ۰٫۵ تا ۱٫۵ درصد آن، برای ایجاد پایداری حرارتی مصرف می‌شود و نیز به منظور عایق در منبع تغذیه مصرف می‌شود.

ملاس، دکسترین: از ملاس چغندر و دکسترین، برای افزایش مقاومت خام ماسه و افزایش سختی لبه‌های قالب استفاده می‌شود.

آزمایش‌های کنترل ماسه قالب‌گیری

ماسه‌های قالب‌گیری بایستی تحت آزمون‌های زیر قرار گیرند. دانه‌بندی ماسه، شکل ماسه، اندازه دانه‌ها، و ترکیب شیمیایی ماسه، از عوامل تعیین کننده در کیفیت ماسه می‌باشند، لذا در این رابطه به تست‌های مختلفی بر روی ماسه قالب‌گیری نیاز است.

۱- تعیین رطوبت ماسه

مقدار رطوبت در ماسه ریخته‌گری بر کلیه خواص آن تاثیر دارد، لذا این آزمایش بایستی در اغلب موارد انجام شود.

روش آزمایش

پنجاه (۵۰) گرم از ماسه ریخته‌گری، به عنوان نمونه آزمایشی، وزن و به مدت ۲ ساعت در دمای 220°F (105°C) خشک شود تا به وزن ثابتی برسد. سپس این نمونه مجدداً وزن و نتیجه (m) ثبت شود. دو برابر افت وزنی، درصد رطوبت ماسه را نشان می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{درصد رطوبت} = 2(m - 50)$$

۲- تعیین استحکام مکانیکی

کرش

ماسه قالب‌گیری مرطوب، تحت بار مکانیکی، قادر به تغییر شکل است. این آزمایش بوسیله دستگاه استاندارد صورت می‌گیرد

مقاومت کششی خام: توسط دستگاه مخصوصی اندازه‌گیری می‌شود و مقدار آن بسته به نوع ماسه از ۱ Psi تا ۶ Psi متغیر است.

مقاومت داغ و انبساط: این آزمایش بر روی نمونه استوانه‌ای مخصوص به قطر $1\frac{1}{8}$ in و طول ۲ in که از دو طرف

کوبیده شده است با سه بار سقوط وزنه ۷ پوندی از ارتفاع ۲ اینچ در دستگاه دیلاتومتر صورت می‌گیرد و در آن نیروی فشاری اندازه‌گیری می‌شود. همچنین با دیلاتومتر و لوازم الحاقی مناسب، انبساط ماسه در حال گرم شدن را اندازه‌گیری

می‌کنند و نتیجه برحسب انبساط کلی در هر اینچ بیان می‌شود. معمولاً این انبساط تا 2000°F برابر $0.020 - 0.016$ in/in می‌باشد.

شکل و اندازه ماسه: با استفاده از میکروسکپ نوری بررسی می‌شود. این شکلها ممکن است گرد، زاویه دار، و یا شکل مرکب داشته باشند. اندازه دانه ماسه نیز با انجام تست استاندارد (AFS = American Foundry Society) تعیین می‌شود.

ترکیب شیمیائی ماسه: از عوامل تعیین کننده در کیفیت ماسه به شمار می‌رود. ماسه‌ها بر اساس این تست ممکن است در یکی از سه دسته زیر قرار گیرد.

۱. ماسه‌های طبیعی، ماسه‌هایی که با خاک رس قابل ملاحظه‌ای همراه است.
۲. ماسه‌های سیلیسی ناپرونده (خام)، ماسه‌هایی با ۲ تا ۳ درصد خاک رس
۳. ماسه‌های شسته، ماسه‌های بدون خاک

۳- نفوذپذیری

۴- سختی قالب ماسه

سختی قالب را از روی مقدار فرورفتگی گلوله‌ای که توسط یک فنر بارگذاری می‌شود، اندازه می‌گیرند. بدین منظور گلوله‌ای به قطر $1/2$ اینچ به صفحه مدرجی که از ۱۰۰ (برای عدم فرورفتگی) تا 0 (اینچ فرو رفتگی) مدرج شده است، وصل می‌شود (هر درجه برابر 0.001) سختی قالب ماسه‌ای که کاملاً کوبیده شده باشد ۹۰ و سختی قالب ماسه‌ای که کمتر کوبیده شده باشد ۵۰ تا ۶۰ را نشان می‌دهد. اگر سختی قالب کمتر از ۵۰ باشد فلز مذاب شدیداً در آن نفوذ می‌کند.

دیگر آزمایشهای ماسه

تعیین دوام

از مقدار خاک لازم برای ایجاد پیوند در ماسه، پس از استفاده‌های متناوب، تا ماسه مقاومت معینی را به دست آورد، عمر یا دوام ماسه تعیین می‌شود.

تعیین انبساط ماسه

تعیین نقطه ذوب

مقدار گاز متصاعده از قالب

تمایل ماسه به ایجاد گاز را می‌توان به روشهای مخصوصی اندازه‌گیری کرد.

تعیین مقدار خاک ماسه (AFS)

خاک AFS در ماسه قالب‌گیری ذراتی را گویند که سرعت ته نشینی آنها که به حالت تعلیق در آب می‌باشند کمتر از ۱ اینچ در دقیقه باشد. قطر این ذرات معمولاً کمتر از ۲۰ میکرون (0.0008 in) است. تعریف فوق شامل کلیه ذرات ریز از جمله خاکه سیلیس، گل و لای^۱ و همچنین کانسارهای خاک است. درصد کل این ذرات را، مقدار خاک AFS ماسه می‌نامند.

روش آزمایش

برای تعیین مقدار خاک AFS ماسه به روش زیر عمل می‌شود.

۱. پنجاه (۵۰) گرم ماسه خشک وزن شود و در ظرف شستشو (استوانه مدرج) مطابق روش زیر، شستشو داده شود.
۲. 470 ml آب مقطر و 20 ml محلول سود سوز آور (۲۵ گرم در لیتر) به آن اضافه شود.
۳. نمونه، به مدت پنج دقیقه تکان داده شود و سپس تا ارتفاع شش اینچ با آب رقیق و ۱۰ دقیقه بحال خود رها تا ته خاک آن ته نشین شود.

^۱ گل و لای (silt) ذرات رسوبی که قطرشان بین 0.0031 تا 0.0625 میلیمتر است.

۴. پنج اینچ از آب استوانه با سیفون دور ریخته شود و مجدداً تا ارتفاع ۶ اینچ رقیق شود و سپس به حال خود رها تا به مدت ۱۰ دقیقه ته نشین شود.
۵. مجدداً آب استوانه با سیفون دور ریخته شود و تا ارتفاع ۶ اینچ رقیق شود و بمدت پنج دقیقه به حال خود رها شود.
۶. مرحله ۵، به دفعات کافی تکرار شود بطوریکه پس از گذشت ۵ دقیقه آب زلال باشد.
۷. دانه‌های باقیمانده ماسه، از ظرف خارج و خشک شود و پس از خشک شدن وزن شود. دو برابر افت وزنی نمونه‌ی ۵۰ گرمی اولیه، درصد خاک AFS ماسه می‌باشد. کلیه ماسه‌هایی که مقدار خاک AFS آنها از یک درصد بیشتر باشد، در صورتیکه به آزمایش دانه‌بندی نیاز داشته باشند، باید خاک آنها جدا شود.

کیفیت قطعات ریخته‌گی

کیفیت قطعات ریخته‌گی در پنج مشخصه زیر خلاصه می‌شود.

۱. اندازه (size)
 ۲. سطح قطعه (surface)
 ۳. ساختار (structure)
 ۴. سلامتی (soundness)
 ۵. استحکام مکانیکی (strength)
- کارآئی واحد ریخته‌گری معمولاً بر اساس تن بر نفر-سال سنجیده می‌شود.

انواع ریخته‌گری از دیدگاه علمی و مهندسی

انواع ریخته‌گری از دیدگاه علمی و مهندسی عبارتند از:

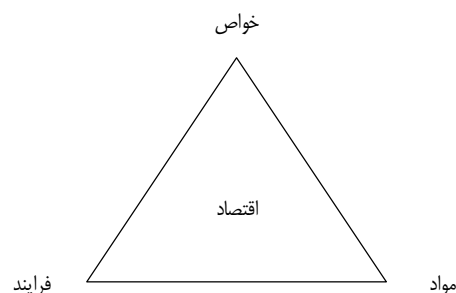
۱. ریخته‌گری تجربی: واحدی است که تولید بر اساس مهارت‌های فردی صورت می‌گیرد و مشخصات علوم و فناوری نوین بر آنها حاکم نیست. رابطه منطقی مواد، فرایند و خواص چندان مورد نظر نیست.
۲. ریخته‌گری فنی: در اینگونه واحدها، نتایج علمی و مهندسی محصول معیاری تجربی است. استفاده از روشهای نو، ماشین آلات مدرن و نیمه مدرن در خط تولید از مشخصات این واحدهاست.
۳. ریخته‌گری مهندسی: واحدی است که علوم مهندسی و فناوری در سه زمینه مواد-فرایند و خواص به کار گرفته می‌شود.

طرح و تکنولوژی در ریخته‌گری

در ریخته‌گری به کلیه اعمالی محاسباتی، طراحی، اجرائی و آزمایشگاهی اطلاق می‌شود که به شناسائی ترکیب شیمیائی، ساختار و خواص منجر می‌شود. همچنین به طراحی و محاسبات مدل و قالب، سیستم راهگاهی، تغذیه‌گذاری و تدوین فناوری تولید منجر می‌شود.

ارتباط خواص، مواد و فرایند

ارتباط خواص، مواد و فرایند در نمودار زیر نشان داده شده است.



کنترل فنی

کنترل فنی در ریخته‌گری در دو زمینه زیر انجام می‌شود.

۱. کنترل کیفی تولید (کنترل مرغوبیت) برای تثبیت خواص و اندازه قطعات
۲. کنترل کمی تولید (بازرسی) برای تفکیک و شمارش از نظر سالم بودن (بر روی برگشتی، تعمیرات صورت می‌گیرد).

نیازمندی‌ها و وسائل و تجهیزات ریخته‌گری

سایر وسائل و تجهیزات ریخته‌گری عبارتند از

۱. کوره‌های ذوب و نگهدارنده‌های مذاب: انواع کوره‌های ذوب در ریخته‌گری عبارتند از:

- a. کوره‌های بوته‌ای (ابتدائی‌ترین نوع کوره)
- b. کوره‌های دوار (این کوره‌ها ۱۰۰٪ داخلی طراحی و ساخته می‌شوند).
- c. کوره کوپل

i. کک سوز

ii. گاز سوز

d. کوره شعله‌ای ثابت، برای ذوب آلومینیم

e. کوره‌های الکتریکی

i. القائی

ii. قوسی

iii. مقاومتی

۲. سیستم‌های خط قالبگیری

۳. ماشین‌های ریخته‌گری

۴. مخلوط‌کن‌ها

۵. ویرها

۶. دیگر تجهیزات جنبی

نوع قطعات ریختگی در کشور بر حسب ترکیب شیمیائی

نوع قطعات ریختگی در کشور بر حسب ترکیب شیمیائی و درصد تقریبی هر کدام عبارتند از

۱. روی % ۱/۵
۲. آلومینیم % ۶/۲
۳. مس % ۶/۵
۴. فولاد % ۲/۳

۱- فولاد پرآلیاژ % ۵۰

۲- فولاد کربنی % ۳۵

۳- فولاد کم آلیاژ % ۱۵

۵. چدن (بزرگترین و با اهمیت‌ترین بخش) % ۸۳/۵

۱- چدن خاکستری % ۸۲/۵

۲- چدن آلیاژی % ۲/۴

۳- چدن مالیبیل % ۲/۲

۱۲/۹ %

۴- چدن نشکن

نیازمندیهای صنایع ریخته‌گری

نیازمندیهای صنایع ریخته‌گری عبارتند از:

۱. مواد اولیه: مواد اولیه صنایع ریخته‌گری عبارتند از

a. فلز و آمیزان

i. شمش فلز (چدن، آلومینیم، مس، روی و سایر)

ii. قراضه (چدن، آلومینیم، مس، روی، فولاد و سایر)

iii. آمیزانها (فروآلیاژها) شامل: فروسیلیسیم، فرومنگنز، فروتنگستن، ...

b. آجر، خاک نسوز، بوته و الکتروود: شامل آجر و مواد ویژه (خاک نسوز، ملات و...)، محل مصرف جدار

کوره‌های ذوب، نگهدارنده‌ها و پاتیلها، در انواع زیر

i. شاموتی

ii. آلومینائی

iii. قلیائی

c. چسب

i. چسب‌های نوع اول: بنتونیت، کائولین، دکسترین، ملاس، روغن و غیره

ii. چسب‌های نوع دوم: چسب‌های فنلی (بوسته‌ای)، اوره-فنلی (گرم)، فوران (سرد) و سیلیکات

سدیم

d. فلاکس، گاززدا، جوانه‌زا، مواد افزودنی، چسب‌ها و پوشانها

e. ماسه استاندارد مصرف ماسه قالبگیری بر حسب وزن ماسه تازه مورد نیاز بر وزن قطعه تولید شده

عبارتست از

i. چدن ۰/۶۵

ii. فولاد ۱/۰

iii. آلومینیم ۰/۲۵

iv. مس ۰/۵

۲. ماشین‌آلات و تجهیزات

a. کوره و گرمخانه

b. ماشین‌آلات قالبگیری

c. ماشین‌های ریخته‌گری

d. وسایل اندازه‌گیری

۳. نیروی انسانی

۴. سوخت و انرژی

a. کک و گرافیت

b. سوخت مایع

c. گاز

d. الکتریسیته

مدل، قالب و ماده ریخته‌گری

مدل شیئی سه بعدی است که به عنوان الگو استفاده می‌شود بطوریکه چیزی در دست داشته باشیم تا با استفاده از آن قالب را بسازیم (قالب را می‌توان از یک ایده یا یک نقشه تهیه کرد، ابتدا باید ایده یا نقشه، با پیکرتراشی، کنده‌کاری و امثال آن، به یک شیئی سه بعدی تبدیل شود). قالب چیزی است که به ماده ریخته‌گری شکل خاصی می‌دهد. ماده ریخته‌گری، ماده‌ای است که شکلی را که قالب به آن می‌دهد به خود می‌گیرد. شما می‌توانید در چند ثانیه، یک قالب بسیار دقیق بسازید. برای اینکار، سکه‌ای (مدل) را در آب فرو برده، یک طرف آن را در تکه‌ای گل پلاستیکی (ماده‌ای گل مانند از سیلیکون و الکل متیلک) فرو برید و سپس آن را بردارید. شما اکنون درست یک قالب ساخته‌اید! مشاهده می‌کنید که کلیه خصیصه‌های سکه، بر روی گل پلاستیکی (قالب) به صورت معکوس حک شده است. اکنون اگر مقداری گچ (نوعی از ماده ریخته‌گری) داشته باشید، می‌توانید آن را بداخل قالب بریزید، اجازه دهید تا بگیرد، و سپس وجه ایجاد شده سکه (قطعه ریخته‌گری) را از قالب خارج سازید. کلیه این گامها را انجام می‌دهید، بطوریکه به یک کپی از مدل اولیه برسید. لازم به ذکر است که گل پلاستیکی ممکن است هنگام برداشتن سکه کج شود. برای جلوگیری از این مشکل، از مواد مناسبی برای ساخت قالبهای دائمی استفاده می‌شود.

اگر از مواد لاستیکی جدید استفاده شود، قالب‌سازی معمولاً آسان است. آسان‌ترین نوع قالب برای ساخت، شیئی شبیه لوح و پلاک است. پلاک را در جعبه‌ای قرار دهید، ماده لاستیکی قالب‌سازی را بر روی آن بریزید، صبر کنید تا لاستیک سفت شود، اکنون کار تمام است. با استفاده از مواد لاستیکی شفاف، می‌توان از اشیای بسیار پیچیده به روش فوق قالب ساخت. برای این کار، شیئی را در جعبه‌ای قرار دهید، و لاستیک شفاف را به طور کامل دور آن بریزید. با سفت شدن لاستیک، می‌توانید لاستیک را به دو یا چند قسمت مناسب بریده و الگو (مدل) را خارج سازید. اگر از روشهای قدیمی برای ساخت قالب استفاده کنید، می‌تواند مشکل و زمان‌بر باشد. اگر از اشیای سفت، قالبهای گچی می‌سازید، ممکن است نیاز باشد تا قالب به چندین قطعه مختلف ساخته شود، بطوریکه بتوان قطعه را به سهولت از قالب جدا ساخت.

عامل رها ساز

عامل رها ساز ماده‌ای است که از چسبیدن یک ماده به ماده‌ی دیگر پیش‌گیری می‌کند. وقتی قالب یا قطعه ریخته‌گری تولید می‌شود، ممکن است به عوامل رها ساز نیازی نباشد و یا ممکن است به آن بسیار نیاز باشد. عامل رها ساز زمانی کاملاً نیاز است که قالب گچی ساخته می‌شود. برای پیش‌گیری از چسبیدن گچ تازه به گچی که قبلاً خود را گرفته است، به عامل رها ساز نیاز است.

آزمایشگاه ریخته‌گری

آزمایشگاه مهمترین بخش در هر واحد ریخته‌گری محسوب می‌شود که وظایف زیر را بعهده دارد.

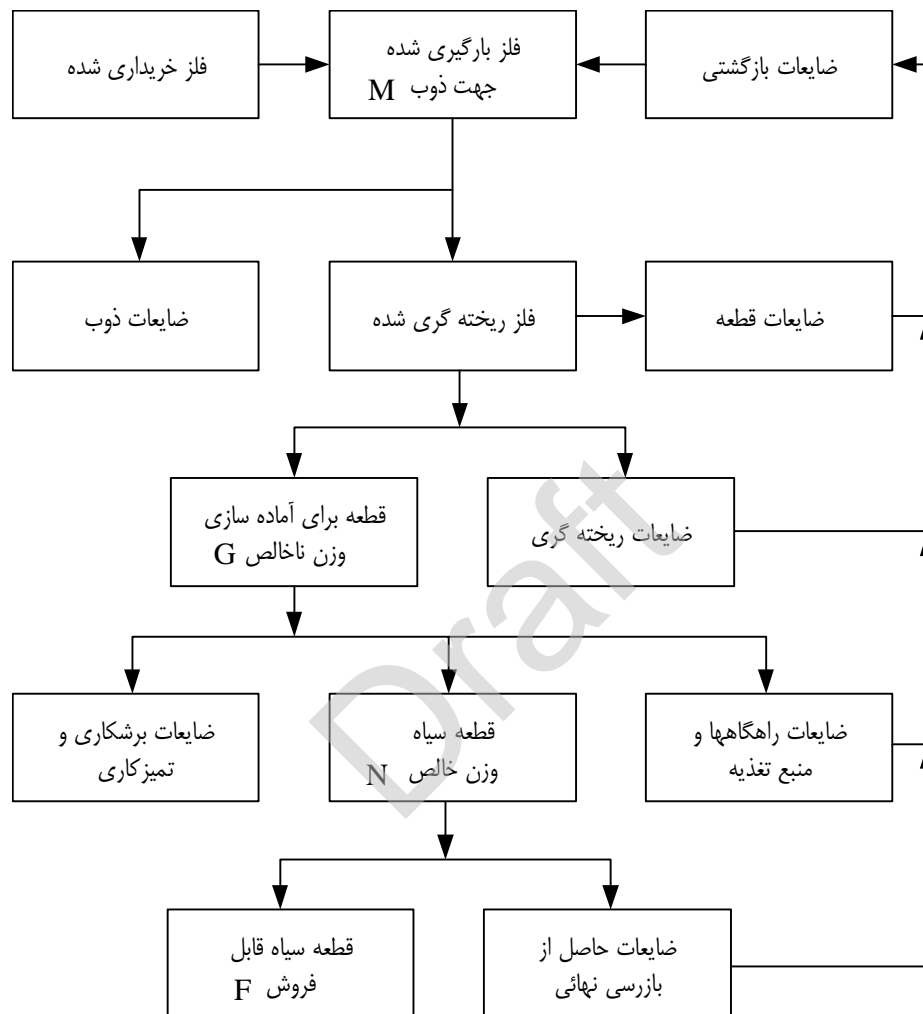
۱. هدایت فنی و کنترل خط تولید
۲. هدایت تولید در جهت کاهش ضایعات
۳. تحقیق در جهت تولیدات جدید و بی‌عیب
۴. تحقیق در مورد مواد مختلف و چگونگی جایگزین کردن آنها
۵. انجام تست‌های زیر
 - ۱-۵ تعیین مشخصات ماسه
 - ۲-۵ متالوگرافی
 - ۳-۵ آنالیزهای شیمیائی
 - ۴-۵ آزمایشات غیرمخرب
 - ۵-۵ الکتروآنالیز

۵-۶. آزمایشات مکانیکی

۵-۷. غیره

هزینه و مفهوم بهره‌دهی (cost and concept of yield)

عبارت مهمی است که در هزینه ریخته‌گری از مصرف فلز علاوه بر وزن قطعه فروخته شده ناشی می‌شود. منبع این هزینه‌ها را از مطالعه مصرف فلز در یک سیکل تولید واقعی (نمودار) می‌توان دریافت.



اکنون به توضیح در مورد عبارات فوق می‌پردازیم.

بهره (yield) را ممکن است برای نشان دادن مقدار قطعات ریخته‌گری تمام شده نهائی بر حسب درصد وزن کل فلز بارگیری شده در بخش ذوب استفاده کرد، که بهره‌دهی کل (overall yield) نامیده می‌شود. عبارت دیگر، وزن قطعات فرستاده شده برای اتمام کاری است که بر حسب وزن ناخالص (منجمله راهگاهها و منبع تغذیه را شامل می‌شود). این ضریب، بهره‌دهی ریخته‌گری (راندمان ریخته‌گری) بیانگر موفقیت نسبی روشهای ریخته‌گری مختلف است. در نتیجه

$$\text{راندمان کلی} = (F / M) \times 100$$

$$\text{راندمان ریخته‌گری} = (N / G) \times 100$$

انجماد فلزات و آلیاژهای تک فاز

متغیرهای مختلف انجماد و اثر آن بر ساختار و ترکیب جامد در حال رشد عبارتند از:

۱- سرعت رشد

۲- شیب دما در مذاب

الف) سرعت رشد، R

عبارت از سرعت پیشرفت فصل مشترک بین مذاب و جامد است. سرعت رشد گاهی میانگین سرعت چندین نقطه در فصل مشترک مذاب با جامد در نظر گرفته می‌شود. و گاهی مرتبط به سرعت نقطه مشخصی است و معمولاً بر حسب cm/sec و یا cm/hr بیان می‌شود. برخی سرعت‌های رشد به طور نمونه در جدول زیر داده شده است.

۱- سرعت رشد تک بلورهای فلزی 10^{-3} cm/sec

۲- سرعت رشد جهت‌دار (directional) 10^{-2} cm/sec

۳- سرعت رشد انجماد شمش‌ها 10^{-2} cm/sec

۴- سرعت رشد آغازین دندریتی ($\Delta T \sim 0.02 T_m$) ۵ cm/sec

۵- سرعت رشد آغازین دندریتی ($\Delta T \sim 0.2 T_m$) ۵۰۰۰ cm/sec

ب) شیب دما، G

عبارتست از شیب دما در مذاب از فصل مشترک به سمت و جهت رشد، اگر از فصل مشترک به داخل مذاب، دما افزایش یابد شیب دما مثبت در نظر گرفته می‌شود و بر عکس

ج) ضریب نفوذ، D

ضریب نفوذ تعیین کننده سرعتی است که در آن اتمها می‌توانند در مذاب حرکت کنند. برای کلیه مذابهای فلزی D در حدود 10^{-5} cm²/sec است. سرعت نفوذ در جامد از این مقدار بسیار پائین تر است برای مثال، در فلزات جامد دقیقاً پائین تر از دمای ذوب آنها، این مقدار در حدود 10^{-8} cm²/sec است. بنابراین، در مقایسه با توزیع مجدد ماده حل شده در مذاب، از توزیع مجدد ماده حل شده در جامد صرف نظر می‌شود.

د) ضریب توزیع تعادلی، k₀

این مقدار با استفاده از نمودار تعادلی فاز تعریف می‌شود. با فرض اینکه خط جامد (liquidus) و خط مایع (liquidus) خطی مستقیم باشند، شکل فوق دو شکل متفاوت از آرایش خط جامد و مذاب را در انتهای ماده خالص نمودار فاز نشان می‌دهد. ضریب توزیع تعادلی عبارتست از:

$$k_0 = \frac{C_s}{C_0}$$

اگر اثر ماده حل شده بر ماده حلال، کاهش دمای خط مذاب باشد، آنگاه $k_0 < 1$ و بر عکس

گاهی مناسب آن است که توزیع موثر k_E را به صورت زیر تعریف کنیم.

$$k_E = \frac{\text{ترکیب لحظه ای جامد تشکیل شده}}{\text{میانگین ترکیب مذاب در آن لحظه}}$$

ه) شیب خط مذاب، (Liquidus)

این شیب با علامت m نشان داده می‌شود.

فلزات خالص، اشکال مختلف فصل مشترک

رشد فلزات خالص در ناحیه‌ای با شیب دمایی مثبت توسط انتقال حرارت از فصل مشترک به داخل جامد کنترل می‌شود.

کنترل ترکیب شیمیائی

کنترل ترکیب شیمیائی مذاب برای تولید قطعات کیفی، بسیار حیاتی است، زیرا عمده مواد مصرفی از نوع قراضه است که هم ترکیب شیمیائی آن از نظر درصد عناصر مطلوب و هم از نظر عناصر مضر مشخص نیست. لذا علاوه بر دقت لازم در ذوب، تنظیم ترکیب شیمیائی ضروری است. کنترل ترکیب می‌تواند به دو بخش تقسیم شود.

۱. کنترل ترکیب آلیاژ (Alloy composition)، مبنای علمی این بخش در مورد کلیه مواد یکسان است لذا به

صورت عمومی مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲. تصفیه مذاب (Melt purification)، برای هر مورد خاص بایستی مورد بحث واقع شود.

سینتیک افزودنیهای آلیاژی

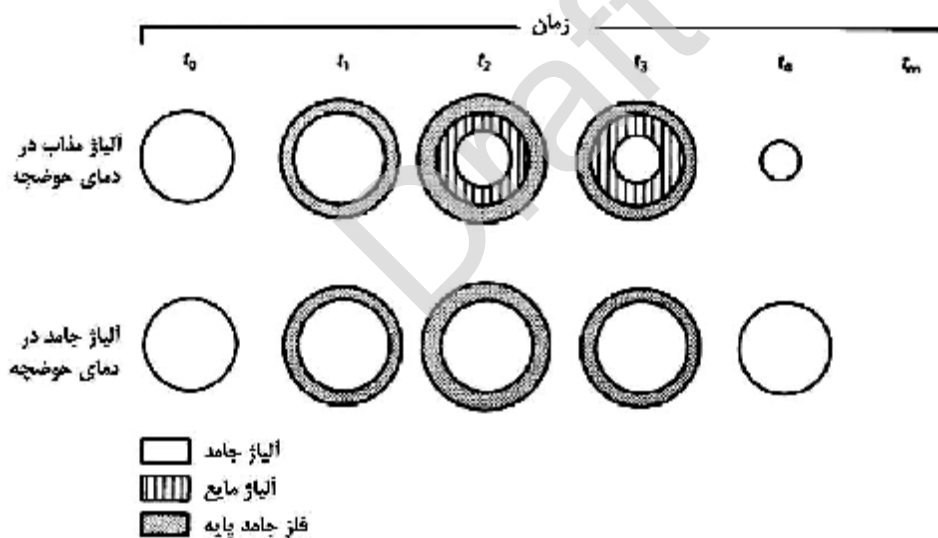
در این رابطه بسته به اینکه آلیاژ در دمای حوضچه فلز مذاب، مذاب یا جامد باشد، دو مکانیسم اساسی بر سینتیک افزودنیهای آلیاژی حاکم است (شکل زیر) که عبارتند از:

۱. حل شدن آلیاژ با دمای ذوب پائین تر از دمای ذوب مذاب

۲. حل شدن آلیاژ که در دمای حوضچه مذاب جامد است.

مکانیسم اول: حل شدن آلیاژی با دمای ذوب پائین تر از دمای حوضچه مذاب: اگر افزودنی آلیاژ در دمای

حوضچه مذاب، مذاب باشد. مطابق شکل زیر، افزودن آلیاژ جامد به مذاب در زمان t_0 باعث می‌شود تا سریعا لایه‌ای از فلز مذاب بر سطح آن منجمد شود که دلیل آن جذب گرما توسط آلیاژ مذاب مجاور جامد است.



شکل: دو مسیر سینتیکی برای ذوب و یا انحلال افزودنی آلیاژی به حوضچه مذاب

با گذشت زمان (t_2) ضخامت لایه بیشتر می‌شود در حالیکه در سطح آلیاژ، ذوب صورت می‌گیرد. با گرم شدن داخل آلیاژ، نیاز به گرما کم می‌شود، نتیجتاً لایه منجمد شده شروع به ذوب می‌کند و ضخامت آن به تدریج کاهش می‌یابد (t_3). در مرحله نهائی که از زمان t_4 شروع می‌شود، حل شدن فلز پایه خاتمه می‌یابد و در نتیجه مذاب داخل حلقه در داخل مذاب اصلی پراکنده می‌شود. اکنون هر چقدر آلیاژ جامد باقی مانده باشد، به طور مستقیم در معرض فلز مذاب حوضچه قرار گیرد تا به تدریج ذوب شود. در زمان t_m انحلال کامل می‌شود. به طور کلی مراحل فوق خود به دو قسمت تقسیم می‌شود، که عبارتند از:

۱. مرحله کمون یا تکوین (Incubation period) که مدت زمان آن $(t_0 - t_4)$ است.

۲. مرحله انحلال آلیاژ (Alloy dissolution) که مدت زمان آن $(t_4 - t_m)$ است.

عوامل موثر بر انحلال سریع آلیاژ عبارتند از:

۱. دمای فوق گرما (superheat temperature)
 ۲. اندازه ذرات و قطعات آلیاژ افزودنی (مقدار سطح انتقال حرارت)
 ۳. ضریب هدایت حرارتی آلیاژ
- شار حرارت به ذرات آلیاژ از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = h(T_L^B - T_L^*)$$

که در این رابطه

Q شار حرارت ($J/m^2 \cdot sec$)

h ضریب انتقال حرارت همرفت ($J/m^2 \cdot sec \cdot ^\circ K$)

T_L^B دمای کل مذاب ($^\circ K$)

T_L^* دمای ذوب آلیاژ در فصل مشترک جامد/مایع ($^\circ K$)

که در رابطه فوق $(T_L^B - T_L^*)$ نیز مقدار فوق گرما برحسب ($^\circ K$) است. مدت زمان ذوب t_m را می‌توان با فرض اینکه t_m برابر با کل حرارت لازم برای ذوب تقسیم بر سرعت تامین حرارت از حوضچه مذاب به قطعه است، تخمین زد. این رابطه عبارتست از

$$t_m = \frac{\Delta H r_0 V_0}{Q A_0}$$

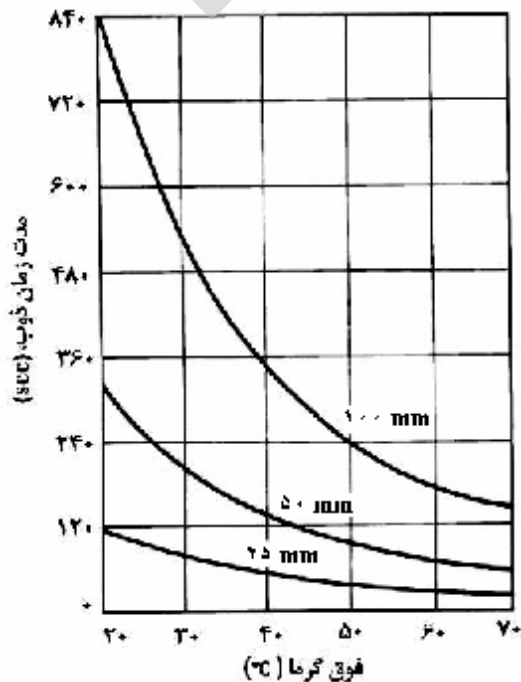
که در این رابطه

ΔH گرمای منقل شده از مذاب به یک (۱) گرم آلیاژ در زمانی که آن را حل می‌کند.

A_0 ، V_0 ، r_0 به ترتیب چگالی، حجم و مساحت سطح ذرات آلیاژ است.

Q طبق رابطه فوق، شار حرارت

در شکل زیر تاثیر فوق گرما و اندازه قطعات داده شده است.



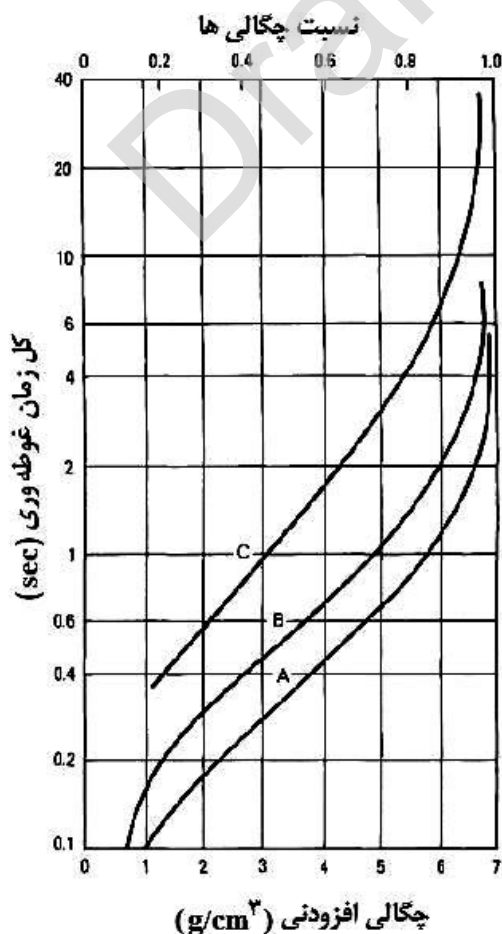
شکل: زمان پیش‌بینی شده ذوب/انحلال برای قطعات کروی سیلیکومنگنز در مذاب فولاد برحسب دمای فوق گرمای فولاد

در جدول زیر اطلاعات به دست آمده در مورد زمان انحلال آلومینیوم خالص (اندازه ۱۰ mm) در مذاب‌های فولاد، چدن، مس و آلومینیوم داده شده است.

جدول:

t_m (sec)	$(T_L^B - T_L^*)(^{\circ}K)$	$T_L^*(^{\circ}K)$	$h(J/g \cdot ^{\circ}K)$	$\frac{V_0}{A_0}$ (cm)	$\rho_0(g/cm^3)$	ΔH (J/g)	فلز اصلی
۱,۹	۸۹۰	۱۸۲۳	۰,۱۵	۰,۱۶۷	۲,۷	۵۷۶	فولاد
۲,۲	۷۹۰	۱۷۲۳	۰,۱۵	۰,۱۶۷	۲,۷	۵۷۶	چدن
۶,۰	۲۹۰	۱۳۲۳	۰,۱۵	۰,۱۶۷	۲,۷	۵۷۶	مس
۱۹,۲	۹۰	۱۰۲۳	۰,۱۵	۰,۱۶۷	۲,۷	۵۷۶	آلومینیوم

در همه موارد فوق، T_L^* یکسان و برابر با $(۹۳۳^{\circ}K)$ ولی T_L^B متغیر است. همانگونه که جدول فوق نشان می‌دهد، مدت زمان ذوب آلیاژ با کاهش دمای ذوب فلز پایه، مشکل جدی ایجاد می‌کند. زمان بسیار کوتاه که برای مذاب‌های فولاد و چدن محاسبه شده است موضوع مهم دیگری، یعنی زمان غوطه‌وری بر اثر شناوری آلیاژ را نشان می‌دهد. از آنجائیکه آهن از افزودنی‌های آلیاژی معمول مانند کربن، سیلیسیم و آلومینیوم چگال‌تر است نیروهای شناوری از غوطه‌ور شدن این افزودنی‌ها پیش‌گیری می‌کند. در شکل زیر زمان‌های غوطه‌وری برحسب نسبت چگالی $\frac{r_{Alloy}}{r_{Base\ metal}}$ رسم شده است.



شکل: کل زمان‌های غوطه‌وری برحسب نسبت چگالی‌ها برای آلیاژهایی که با $۷/۶۷\ m/s$ وارد مذاب ساکن می‌شوند.

ارتفاع سقوط ۳ متر برای هر سه اندازه

همانگونه که منحنی نشان می‌دهد برای قطعات آلومینیم با اندازه ۱۰ mm که نسبت چگالیها برابر ۰/۳۹ است و از ارتفاع ۳ متری به سطح مذاب آهن سقوط می‌کند، زمان غوطه‌وری از ۱ sec کمتر است. در حالیکه زمان ذوب از جدول فوق برابر با ۱/۹ sec است.

مکانیسم دوم: حل شدن آلیاژی که در دمای حوضچه مذاب جامد است.

فرایندهای این مکانیسم در شکل فوق قسمت ۲ نشان داده شده است. در اینمورد نیز انتقال حرارت مدت زمان کمون یا دوره نهفتگی ($t_0 - t_r$) را کنترل می‌کند. اما در دوره انحلال آلیاژ، انتقال جرم عامل کنترل کننده است. به طور کلی، آلیاژسازی یا انحلالی که با انتقال جرم کنترل می‌شود از انحلالی که با انتقال حرارت کنترل می‌شود آهسته‌تر است و تعداد عوامل کنترل کننده نیز بیشتر است. عوامل موثر در این مورد عبارتند از

۱. دمای مذاب

۲. دینامیک سیالات

۳. ترکیب شیمیایی مذاب

۴. متغیرهای نفوذ

شار عناصر آلیاژی از جامد به مذاب از رابطه زیر داده می‌شود.

$$J = k_m (C_L^* - C_L^B)$$

که در این رابطه

J شار جرم عناصر آلیاژی ($\text{gr/cm}^2 \cdot \text{sec}$)

k_m ضریب انتقال جرم (cm/sec)

C_L^* غلظت عناصر آلیاژی در داخل مذاب (gr/cm^3)

C_L^B غلظت عناصر آلیاژی در مذاب و در فصل مشترک مذاب/جامد (gr/cm^3)

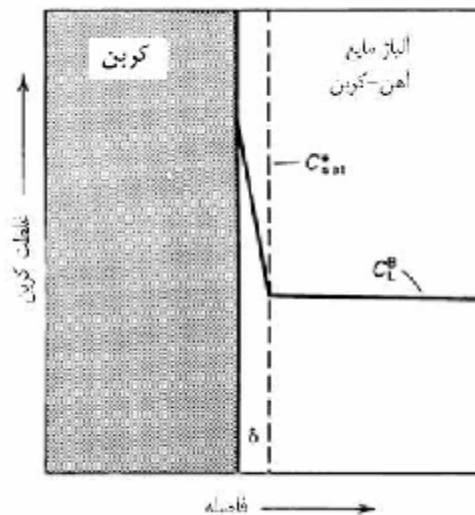
اکنون به مثال زیر توجه کنید.

الف) حل شدن کربن در چدن: کربن مهمترین عنصر آلیاژی چدن است. لذا افزودن کربن به مذاب آهن-کربن در ریخته‌گری روش معمولی به شمار می‌رود تا ترکیب چدن تنظیم شود. سرعت حل شدن کربن در مذاب طبق رابطه‌ی زیر است که توسط نفوذ کربن کنترل می‌شود.

$$J = k_m (C_{sat}^* - C_L^B)$$

که در این رابطه

C_{sat}^* شرایط اشباع کربن در فصل مشترک کربن/مذاب است. شرایط مذاب بطور کیفی طی شکل زیر نشان داده شده است. با مراجعه به معادله فوق و شکل زیر، شار کربن و نتیجتاً سرعت انحلال آن با کاهش غلظت کربن در مذاب، C_L^B ، افزایش غلظت کربن در حالت اشباع، C_{sat}^* ، (افزایش دمای حوضچه مذاب) و کاهش ضخامت لایه مرزی، δ ، افزایش می‌یابد. ضخامت لایه مرزی تابعی از سرعت مذاب است که به مقدار k_m ، اثر می‌کند.

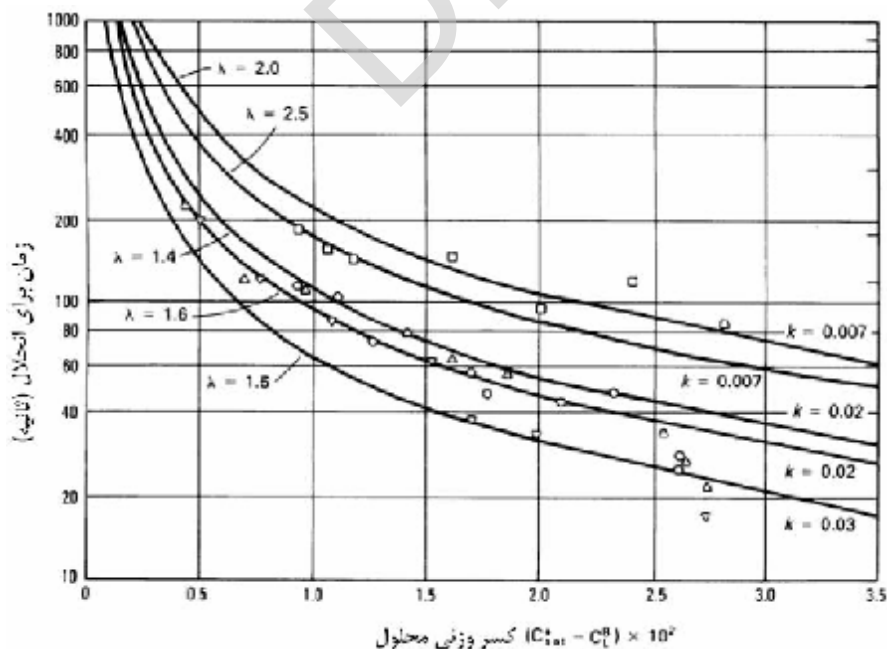


شکل: نیمرخ غلظت کربن برای میله‌ای کربنی در حال انحلال در مذاب آهن-کربن

در شکل فوق δ لایه مرزی است که تابع سرعت جریان مذاب است. اثر تفاوت $(C_{sat}^* - C_L^B)$ بر سرعت انحلال کربن در شکل زیر برای انحلال گرانولهای گرافیت در مذاب چدنی که به روش القائی همزده می‌شود، نشان داده شده است. منحنیهای متفاوت برای ثابتهای سرعت متفاوت و ضریب شکل، λ متفاوت رسم شده است که ضریب شکل نیز مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$I = \frac{S_{Particle}}{S_{Sphere}}$$

که $S_{Particle}$ نسبت سطح به حجم ذره است و S_{Sphere} نیز نسبت سطح به حجم ذره اگر به شکل کروی بود، می‌باشد.



تصفیه یا خالص سازی آلیاژ

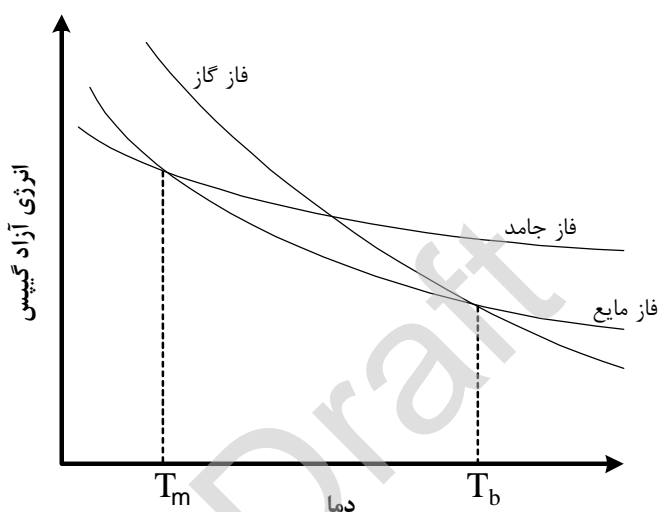
ساختار و خواص فلزات ریختگی، شدیداً تحت تاثیر ناخالصیهای مختلف است. تصفیه باعث افزایش هزینه قطعات ریختگی می‌شود، لذا همیشه سعی می‌شود تا به جای تصفیه مذاب از بهترین روش، یعنی انتخاب دقیق مواد قراضه

بهره‌گیری شود. بنابراین، تصفیه برای عناصری که پیش‌گیری آنها از ورود به مذاب مشکل و غیرقابل اجتناب است، انجام می‌شود. این موارد عمدتاً تصفیه گوگرد و اکسیژن به ترتیب از چدن و فولاد و نیز تصفیه عناصر قلیائی و قلیائی خاکی از آلومینیم است.

مکانیسم و سرعت انجماد فلزات و آلیاژها

انجماد فلزات خالص

دلیل انجماد فلزات مذاب، کاهش انرژی آزاد^۱ است زیرا، اساساً در دمای پائین‌تر از دمای انجماد، نظم اتمها در بلور جامد نسبت به مذاب، دارای انرژی آزاد پایین‌تری است. اگر دمای مذاب، از دمای انجماد بالاتر باشد، حالت مذاب از حالت جامد پایدارتر است و در دمای انجماد نیروی محرکه^۲ به هیچ طرف وجود ندارد لذا سیستم به حالت تعادل خواهد بود (شکل زیر). دلیل اینکه چرا انجماد بعد از کمی فوق تبرید^۳ اتفاق نمی‌افتد، آن است که برای ایجاد سطح جدید جوانه جامد، انرژی لازم است. انجماد همیشه با جوانه‌زنی^۴ دانه‌های ریز بلور شروع شده و با رشد^۵ آنها ادامه می‌یابد.



شکل: منحنی انرژی آزاد گیبس حالت‌های ماده بر حسب دما

اکنون به بررسی عواملی که بر جوانه‌زنی بلور موثر است، می‌پردازیم. جوانه‌زنی بر دو نوع همگن و غیرهمگن است. در جوانه‌زنی همگن فاز جدید بدون کمک محل‌های جوانه‌زنی مخصوص تشکیل می‌شود ولی در جوانه‌زنی غیرهمگن فاز جدید بر روی جوانه‌های خارجی تشکیل می‌شوند.

تغییر دیگری که در حین فرایند انجماد صورت می‌گیرد از دست دادن حرارت فلز مذاب از دمای بارریزی تا دمای انجماد و سپس گرمای نهان انجماد^۶ و نهایتاً حرارت جامد، از دمای انجماد تا دمای اتاق می‌باشد. در حین این سه مرحله سرد شدن، در قطعه انقباض صورت می‌گیرد.

الف- جوانه‌زنی همگن

دمایی که در آن جوانه‌زنی همگن اتفاق می‌افتد همیشه از دمای انجماد تعادلی، پایین‌تر است، زیرا باید بر نیروهای کشش سطحی که مانع رشد هسته است فائق آئیم. عامل ایجاد جوانه، اختلاف انرژی فازهای مذاب و جامد است که این مقدار را، تغییر انرژی آزاد حجمی می‌نامند و با ΔG_v نشان می‌دهند که واحد آن کالری بر سانتیمتر مکعب (cal/cm^3) است. در کلیه دماهای پایین‌تر از نقطه‌ی انجماد مقدار ΔG_v منفی است و یا به عبارت دیگر، انرژی آزاد

^۱ Free Energy

^۲ Driving Force

^۳ Super-cool

^۴ Nucleation

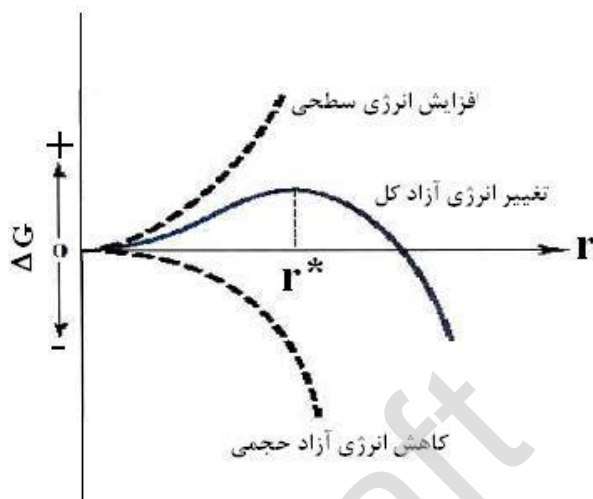
^۵ Growth

^۶ Latent heat of solidification

فاز جامد، از انرژی آزاد فاز مذاب پایین تر است. تغییر انرژی آزاد حجمی برای تشکیل جوانه‌ای کروی به شعاع r برابر با $\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v$ است. انرژی لازم برای ایجاد سطح جدید، تابعی از کشش سطحی^۱ (واحد آن ارگ بر سانتیمتر مربع ergs/cm^2) برابر با $4\pi r^2 g$ است. نتیجتاً، تغییر انرژی آزاد کل واکنش انجماد برابر است با:

$$\Delta G_{Total} = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 g \quad (1)$$

همانگونه که در فوق بدان اشاره شد، انرژی آزاد سطح تشکیل شده، مثبت است، نتیجتاً تاثیر انرژی آزاد سطحی نسبت به انرژی آزاد حجمی بر جوانه زنی منفی است. در شکل زیر منحنی ΔG_{Total} برحسب اندازه شعاع جوانه رسم شده است.



شکل: منحنی تغییرات انرژی آزاد بر حسب تابعی از شعاع جوانه

از آنجاییکه ΔG_{Total} شامل توانهای مختلف r می‌باشد در نتیجه r^* به حداکثر خود می‌رسد. اگر شعاع هسته از r^* تجاوز کند، انرژی آزاد کاهش می‌یابد ولی اگر شعاع از r^* کوچکتر باشد جوانه مجدداً در مذاب حل خواهد شد. برای بدست آوردن r^* از معادله ۱ نسبت به شعاع، مشتق می‌گیریم و آن را مساوی صفر قرار می‌دهیم.

$$\frac{\partial \Delta G_{Total}}{\partial r} = -4\pi r^2 \Delta G_v + 8\pi r g = 0$$

$$-4\pi r^2 \Delta G_v + 8\pi r g = 0$$

یا

$$r^* = \frac{2g}{\Delta G_v} \quad (2)$$

انرژی آزاد بحرانی را نیز از قرار دادن r^* در معادله ۱ بدست می‌آوریم.

$$\Delta G^* = -\frac{4}{3}\pi p \left(\frac{2g}{\Delta G_v}\right)^3 \Delta G_v + 4\pi p \left(\frac{2g}{\Delta G_v}\right)^2 g$$

که پس از ساده کردن این رابطه خواهیم داشت.

$$\Delta G^* = -\frac{4}{3}\pi p \left(\frac{2g}{\Delta G_v}\right)^3 \Delta G_v + 4\pi p \left(\frac{2g}{\Delta G_v}\right)^2 g$$

یا

^۱ Surface tension

$$\Delta G^* = \frac{1}{3} p \left(\frac{g^2}{\Delta G_v} \right) \quad (3)$$

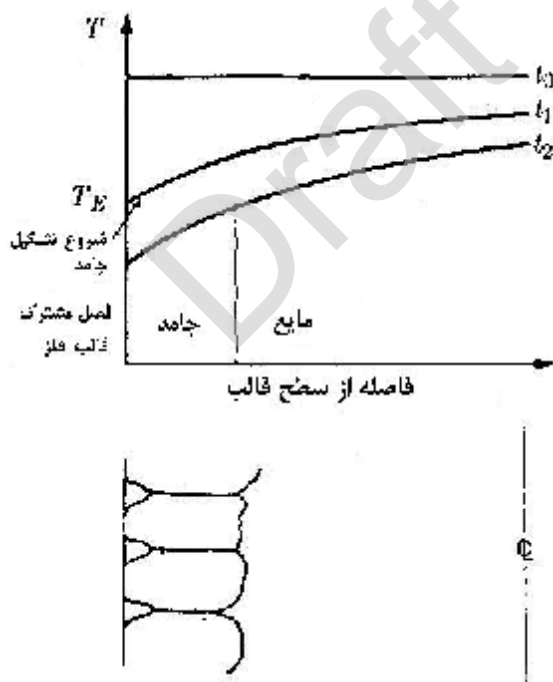
رابطه ۲ نشان می‌دهد برای اینکه شعاع بحرانی^۱ کاهش یابد بایستی ΔG_v (در جهت منفی) افزایش یابد. به عبارت دیگر برای جوانه‌زنی بایستی فوق تبرید شدیدی ایجاد شود.

ب- جوانه‌زنی غیرهمگن

اغلب ریختگی‌ها به روش غیرهمگن منجمد می‌شوند. در این روش ذرات خارجی به عنوان هسته جوانه‌زنی عمل می‌کنند که در نتیجه انجماد نیازی به فوق تبرید ندارد. شرط این عمل آن است که فاز جدید، سطح ذره خارجی را تر^۲ کند. جداره قالب نیز می‌تواند به عنوان جوانه عمل کند.

انجماد فلز خالص

اگر فلزی با نقطه انجماد T_E به سرعت به داخل قالب تخلیه تا منجمد شود در لحظه اولیه (t_0) هیچگونه شیب حرارتی در آن وجود نخواهد داشت، سپس به علت انتقال حرارت در سطح مشترک و عمل تبریدی دیواره قالب، در آن شیب حرارتی ایجاد می‌شود و نتیجتاً دمای سطح مشترک تقریباً به پایین‌تر از T_E کاهش می‌یابد و در زمان t_1 تشکیل بلورها در سطح مشترک به روش جوانه‌زنی غیرهمگن شروع و منتج به ایجاد پوسته نازکی در اطراف مذاب می‌شود. باید یادآوری شود که رشد دانه‌ها ترجیحاً در جهت خاصی صورت می‌گیرد (در جهت عکس انتقال حرارت یا در جهت عکس شیب حرارتی) و دانه‌های ستونی را ایجاد می‌کند (شکل زیر).



شکل: منحنی‌های سرد شدن فلز خالص در داخل قالب

در لحظه شروع انجماد افت عمومی دما قطع می‌شود زیرا فلز جامد اولیه، گرمای نهان انجماد خود را آزاد می‌کند. ساختار نهایی شامل لایه‌های نازکی از دانه‌هایی که به طور اتفاقی^۳ در سطح قالب تشکیل شده و دانه‌های ستونی که به سمت مرکز کشیده می‌شوند، می‌باشد.

جوانه‌زنی و رشد آلیاژها

انجماد آلیاژها نسبت به انجماد فلز خالص، سه اختلاف اساسی دارد که عبارتند از:

^۱ Critical Radius

^۲ Wet

^۳ Randomly

- ۱- انجماد آلیاژها معمولاً در یک محدوده زمانی صورت می‌گیرد.
- ۲- ترکیب شیمیائی جامدی که در ابتدا تشکیل می‌شود با ترکیب شیمیائی مذاب تفاوت دارد.
- ۳- ممکن است از مذاب، بیش از یک فاز جامد تشکیل شود.

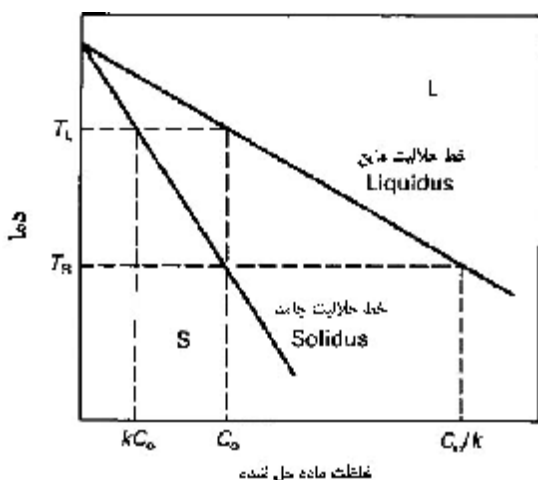
انجماد آلیاژها، به دسته‌های زیر تقسیم می‌شوند.

- ۱- انجماد با رسوب یک جزء اصولاً خالص در یک محدوده‌ی دما (آلیاژ B در شکل زیر) شروع و ختم می‌شود.
- ۲- انجماد با رسوب محلول‌ها (آلیاژ C در شکل زیر) شروع و ختم می‌شود.
- ۳- انجماد در دمای ثابت با رسوب همزمان دو فاز (سیستمهای دوتائی) یا سه فاز (سیستمهای سه‌تائی) انجام می‌شود. این آلیاژها به عنوان آلیاژهای یوتکتیک شناخته می‌شوند (آلیاژ A در شکل زیر).
- ۴- انجماد اصولاً با رسوب یک جزء خالص شروع و با آلیاژ نوع یوتکتیک ختم می‌شود (آلیاژ D در شکل زیر).
- ۵- انجماد به صورت محلولهای جامد شروع و با آلیاژ نوع یوتکتیک ختم می‌شود (آلیاژ E در شکل زیر).

الف- آلیاژهای محلول جامد

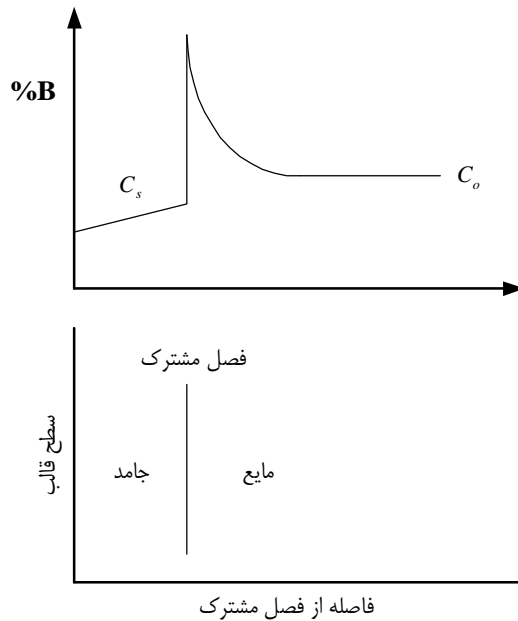
اگر برای تشکیل آلیاژ، فلز B را در فلز مذاب A حل کنیم، تشکیل کریستال را می‌توانیم، در این سیستم با نمودار تعادلی فازها توضیح دهیم. (شکل ۳) نقطه انجماد فلز A، با افزودن B غالباً کاهش می‌یابد که با خط مذاب نشان داده می‌شود. به علاوه آلیاژ با ترکیب C_0 در دمای معینی منجمد نشده بلکه در یک محدوده دمایی منجمد می‌شود. (دمایی را که در آن انجماد شروع می‌شود، خط مذاب Liquidus و دمایی را که در آن انجماد کامل می‌شود خط جامد Solidus می‌نامند). در سیستم آهن-کربن، محدوده دمایی انجماد برای مقادیر کم کربن بسیار محدود و در ۲٪ کربن به حداکثر رسیده و مجدداً کاهش می‌یابد.

واقعیت مهم دیگر آن است که با انجماد آلیاژ، ترکیب شیمیائی جامد تشکیل شده با ترکیب شیمیائی فلز مذاب مادر متفاوت و از نظر عنصر A غنی‌تر است و اتمهای B در ساختار کریستالی A به صورت محلول می‌باشد این اثرات باعث تفاوت الگوی انجماد آلیاژ و فلز خالص می‌شود. اگر با مذاب همگنی با ترکیب شیمیائی C_0 شروع کنیم خواهیم دید کریستالهای تشکیل شده دارای ترکیب شیمیائی C_s است. اگر انجماد به اندازه کافی سریع باشد به طوری که هیچگونه نفوذ اتمی صورت نگیرد، مذابی که در سطح مشترک است، نسبت به مذاب دورتر از سطح مشترک، از نظر اتم B غنی‌تر خواهد بود. تغییرات درصد عنصر B با فاصله در بین دمای خط حلالیت مذاب و خط حلالیت جامد، در شکل ۴ نشان داده شده است.



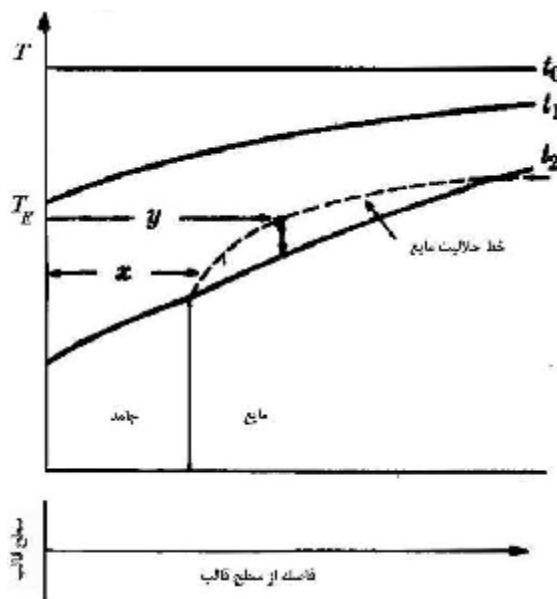
شکل: نمودار تعادلی فازهای آلیاژ A-B

فرض کنید که قالب به سرعت پر شود به طوری که در زمان $t = 0$ هیچگونه شیب حرارتی نداشته باشیم. دمای خط مذاب، برای ترکیب C_0 برابر T_E یا T_c باشد. در لحظه t_1 مقداری شیب حرارتی ایجاد می‌شود و قبل از تشکیل بلور جامد مقداری دمای فوق تبرید خواهیم داشت.



شکل: تغییرات درصد عنصر B با فاصله از سطح مشترک جامد-مایع، بین دمای خط حلالیت مذاب و خط حلالیت جامد

اکنون وضعیت را در زمان t_2 که مقداری از مذاب، جامد شده است، بررسی می‌کنیم. شیب حرارتی ایجاد شده، شبیه شیب حرارتی فلز خالص است. تفاوت بین این حالت و فلز خالص در آن است که در این مورد، دمای خط مذاب، برای مذاب باقیمانده با فاصله از سطح مشترک تغییر می‌کند، که در شکل ۵ با خط چین نشان داده شده است. در نزدیکی سطح مشترک به علت تجمع B در مذاب، دمای تعادلی انجماد به مقدار قابل ملاحظه‌ای از T_E پایین‌تر است و در فواصل کاملاً دورتر از سطح مشترک دمای انجماد تعادلی هنوز T_E است. (هیچگونه نفوذ اتمی صورت نمی‌گیرد).

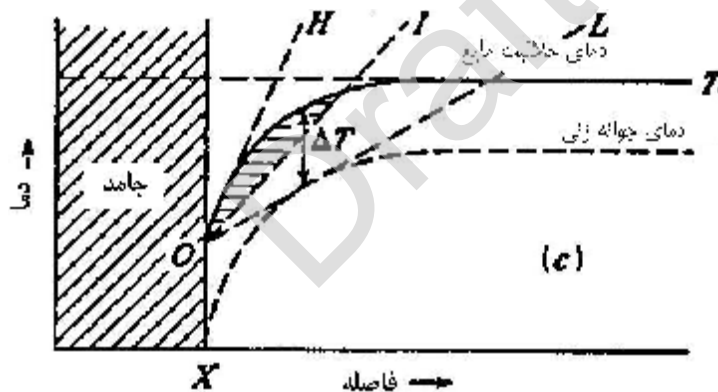


شکل: تغییرات دما و دمای خط مذاب با فاصله از فصل مشترک

اکنون مذابی که در فاصله x قرار دارد دارای نقطه انجماد بالاتری (خط نقطه چین) نسبت به نقطه انجماد سطح مشترک است. در حالی که دمای واقعی در مذاب x نیز بالاتر از دمای سطح مشترک است.

اما اختلاف بین دمای واقعی مذاب و خط مذاب در x بیشتر از اختلاف دمای واقعی خط مذاب در سطح مشترک می‌باشد. در نتیجه گفته می‌شود مذاب نقطه x از نظر ساختمانی فوق تبرید شده است و یا اینکه فوق تبرید ساختمانی^۱ صورت گرفته است. برای تأکید این نکته دو بوته مجزا و پر از فلز را در نظر می‌گیریم که یکی از آنها دارای مذابی با ترکیب سطح مشترک مثلاً دارای ۱۰ درصد B و دیگری دارای ترکیب شیمیایی در x مثلاً ۵ درصد B است. فرض کنید خط مذاب سطح مشترک برابر با $538^{\circ}C$ و دیگری $566^{\circ}C$ باشد و نیز فرض کنید که شیب حرارتی واقعی در فلز طوری باشد که دمای سطح مشترک برابر $532^{\circ}C$ و در نقطه x برابر $538^{\circ}C$ باشد. واضح است که مذاب سطح مشترک فقط $6^{\circ}C$ از خط مذاب پایین‌تر است. در حالیکه در نقطه x $28^{\circ}C$ پایین‌تر است در نتیجه انرژی حجمی آزاد نقطه اخیر برای تبلور بیشتر خواهد بود. اثر فوق تبرید بر تبلور و رشد می‌تواند سه حالت داشته باشد:

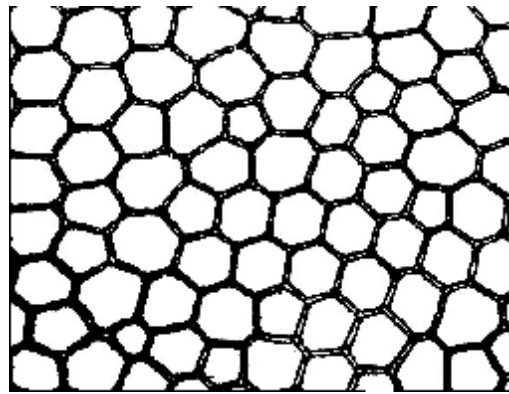
۱- اگر هیچگونه فوق تبریدی ایجاد نشده باشد، سطح مشترک به طور یکنواخت به جلو پیشرفت می‌کند. (شکل ۶) و اگر فوق تبرید کمی ایجاد شده باشد، برخی نواحی به صورت مشترک به صورت میخ^۲ به داخل ناحیه فوق تبرید پیشرفت می‌کند و به محض شروع رشد نسبت به نواحی مجاور، به سرعت رشد می‌کند (رشد ستونی) (شکل ۷). برای این فرایند دو دلیل وجود دارد: یکی اینکه نیروی محرکه انجماد در نواحی فوق تبرید بیشتر بوده و دیگر اینکه این برآمدگیها عناصر حل شونده را به داخل مذاب اطراف خود می‌رانند و باعث تأخیر انجماد در نواحی مجاور خود می‌شوند. ساختار حاصله شبیه لانه زنبور خواهد بود (شکل ۸).



شکل ۶: تاثیر شیب حرارتی بر دمای خط مذاب در مجاورت فصل مشترک منطقه فوق تبرید

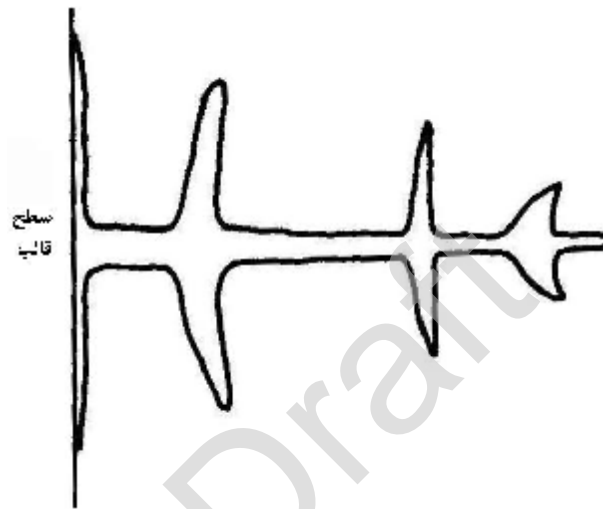


شکل ۷: پیشرفت نواحی فوق تبرید



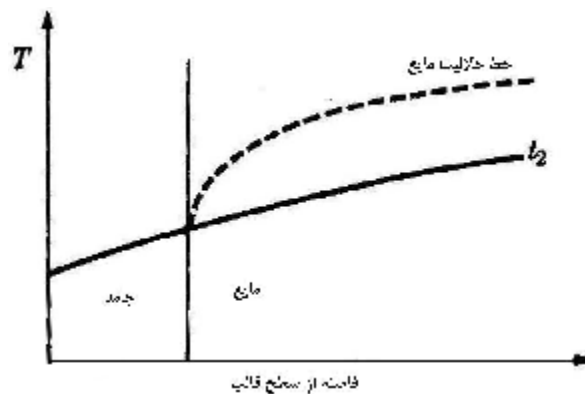
شکل : ساختار لانه زنبوری

۲- اگر فوق تبرید ساختمانی بیشتر باشد، از برآمدگیها، بازوهای جانبی نیز رشد کرده و ساختار شاخه‌ای^۱ ایجاد می‌کند، که پدیده‌ای معمول در اغلب آلیاژهاست (شکل ۹).



شکل : ساختار دندریتی (شاخه‌ای)

۳- نهایتاً در حالت حداکثر فوق تبرید، اختلاف $T_{\text{liquidus}} - T_{\text{actual}}$ که در فاصله‌ای به اندازه Y به حداکثر خود می‌رسد (شکل ۵)، ممکن است آنقدر زیاد شود که منجر به تشکیل جوانه‌های مستقل شود. در این حالت در مرکز قالب دانه‌های متساوی‌المحور^۲ تشکیل می‌شود. (شکل ۱۰).



شکل : حداکثر فوق تبرید

لازم به ذکر است که حلالیت نسبی عنصر حل شونده با ضریب K نشان داده می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$K = \frac{C_s}{C_0}$$

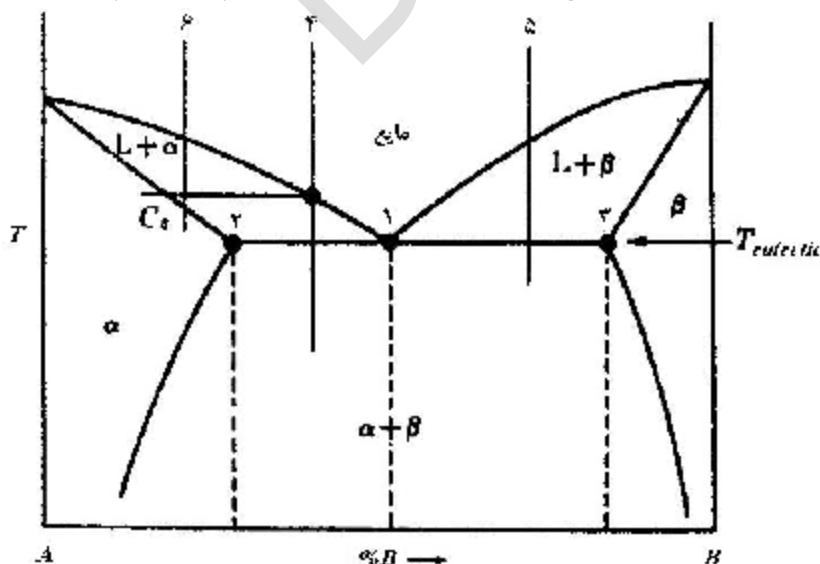
مقادیر K حدوداً بین $0.1/0$ و $0.5/0$ قرار دارد. اگر K کوچک و شیب حرارتی کم باشد، حتی در مذاب مرکز قالب، فوق تبرید ساختمانی ایجاد می‌شود. از طرفی، هر چقدر شیب حرارتی زیاد باشد، امکان بیشتری برای رشد ستونی وجود دارد و از رشد شاخه‌ای و تبلور اتفاقی در جلوی سطح در حال انجماد جلوگیری شده و حرکت فلز برای تغذیه انقباض حاصل از انجماد ممکن می‌شود. به عبارت دیگر، هر چقدر شیب حرارتی مشابه با ریخته‌گریهای تبریدی بیشتر باشد، تغذیه با سهولت بیشتری صورت می‌گیرد.

اثر دیگری بنام تغذیه جرمی وجود دارد که برای کامل شدن مطلب به آن اشاره می‌شود. وقتی جوانه‌های هم‌محور تشکیل می‌شوند به دلیل دانسیته بالا، در مذاب فرو رفته و ته‌نشین می‌شوند. این اثر باعث تخلخل کمتر در قسمت کف قالب، نسبت به قسمت بالایی آن می‌شود و گاهی نیز منجر به لایه لایه شدن حفره‌های انقباض می‌شود. آلیاژهای ریخته‌گری که بطریق عادی سرد می‌شوند در مجاورت سطح، دارای دانه‌های دندریتی ستونی و در مرکز دارای دانه‌های متساوی‌المحور می‌باشند. نسبت دانه‌های متساوی‌المحور به دانه‌های ستونی به عوامل زیر بستگی دارد.

۱. به طور معکوس با دمای فوق تبرید موثر متناسب است.
۲. با مقدار فوق تبرید بحرانی که برای جوانه‌زنی با سرعت تقریباً بالا لازم است، نسبت عکس دارد.
۳. با محدوده انجماد متناسب است.
۴. با ضریب هدایت حرارتی نسبت عکس دارد.
۵. با شیب خط جامد و خط مذاب نسبت عکس دارد.

ب: آلیاژهای یوتکتیک

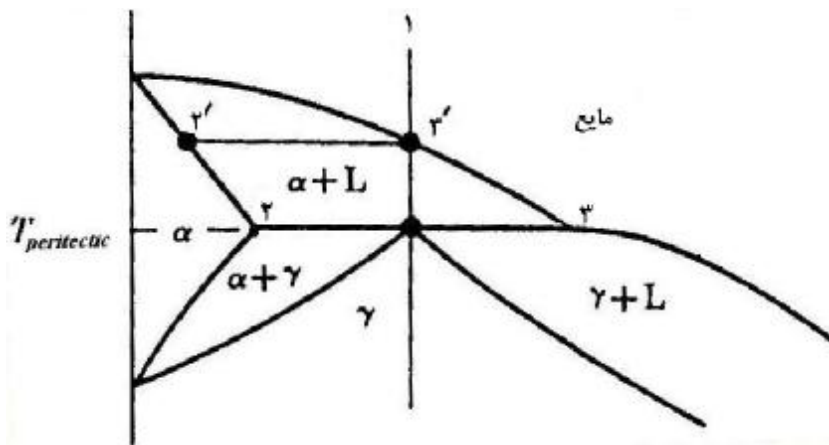
در این حالت، تحت شرایط تعادل، دو جامد متفاوت همزمان از مذاب تشکیل و واکنش در دمای ثابت کامل می‌شود. در شکل ۱۱ مذاب یوتکتیک (ترکیب شیمیایی ۱) در دمای یوتکتیک، تولید آلیاژهایی با ترکیبهای ۲ و ۳ می‌کند. اگر ترکیب آلیاژ هیپویوتکتیک (کمتر از یوتکتیک) باشد ولی مقدار B آن کمتر از نقطه ۲ باشد انجماد کریستالی، ابتدا مانند حالت الف با رسوب یک جامد اتفاق می‌افتد. همین حالت برای ترکیبهای هیپریوتکتیک اتفاق می‌افتد برای ترکیبهای کمتر از ۲ یا بیشتر از ۳ اگر سرعت سرد شدن زیاد باشد احتمال ایجاد ترکیب یوتکتیک خواهیم داشت.



شکل ۱۱- نمودار تعادلی (یوتکتیک) فلزات A و B

ج: واکنش پری تکتیک

در این واکنش یک فاز با افزایش دما به دو فاز جدید تجزیه می‌شود (شکل ۱۲)، یا به عبارت دیگر، این واکنش، ارتباط بین سه فاز در دمای ثابت می‌باشد.

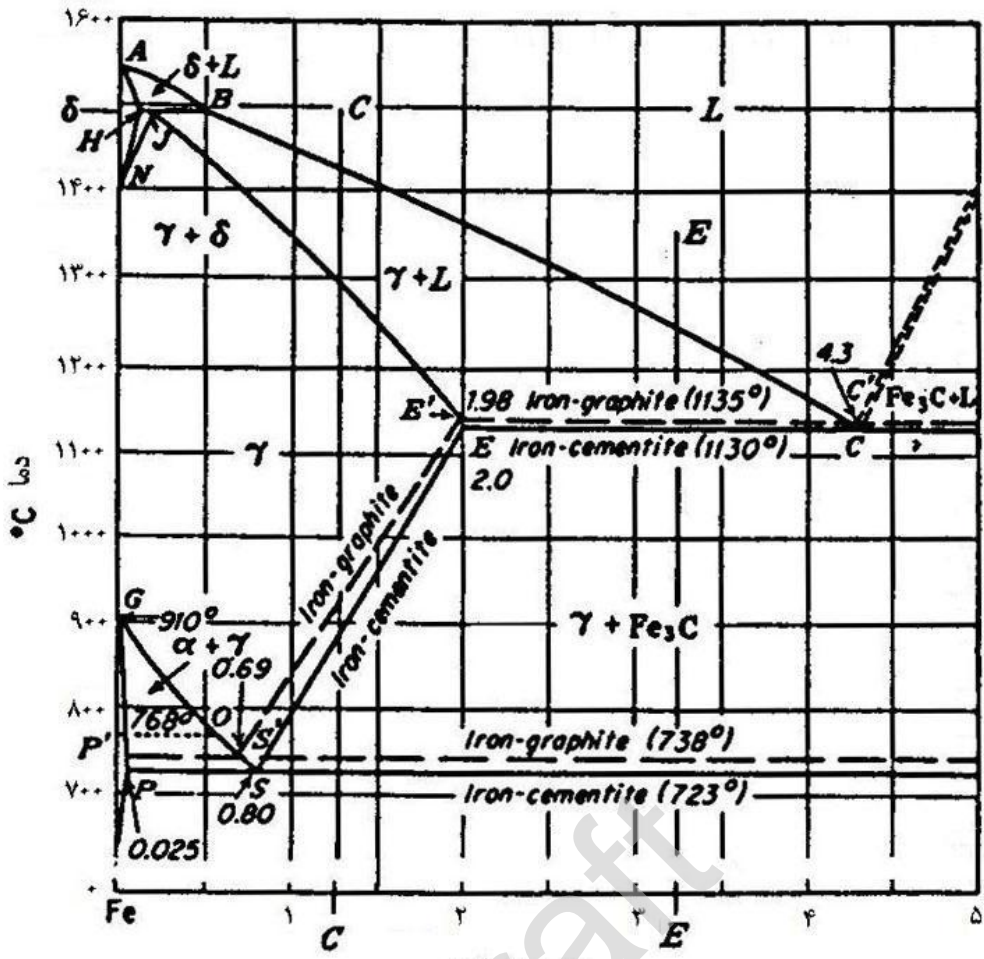


شکل ۱۲- نمودار تعادلی واکنش پری تکتیک

واکنش پری تکتیک بسیار کند صورت می گیرد. دلیل آن، واکنش فاز جامد g با مذاب برای تشکیل فاز جامد g است. فاز جامد g باقیمانده را پوشش می دهد. برای ادامه واکنش، باید نفوذ اتمی به داخل فاز جامد g صورت گیرد که فرآیند نسبتاً کند و آهسته‌ای است.

با توجه به دیگرام آهن-کربن که تشکیل دهنده آلیاژهای مهم مانند فولادها و چدن‌ها می باشد به بحث انجماد قطعات ریخته‌گری می پردازیم.

اولین سوال در رابطه با انجماد قطعات ریخته‌گری آن است که از کجا می دانیم که چه موقعی در داخل قالب تبلور و انجماد صورت می گیرد؟ برای حصول به پاسخ این سؤال راههای مختلفی وجود دارد که معمول ترین آن آنالیز حرارتی است. در این روش ترموکوپلی را در داخل لوله سیلیسی ذوبی قرار می دهند و منحنی دما بر حسب زمان را رسم می کنند (منحنی سرد شدن). سپس از این منحنی اطلاعات لازم را در مورد تغییرات فاز که در فلز اتفاق می افتد بدست می آورند. اکنون منحنی سرد شدن سه نوع آلیاژ آهن-کربن را که در این سیستم اتفاق می افتد مورد بررسی قرار می دهیم. (شکل ۱۳)

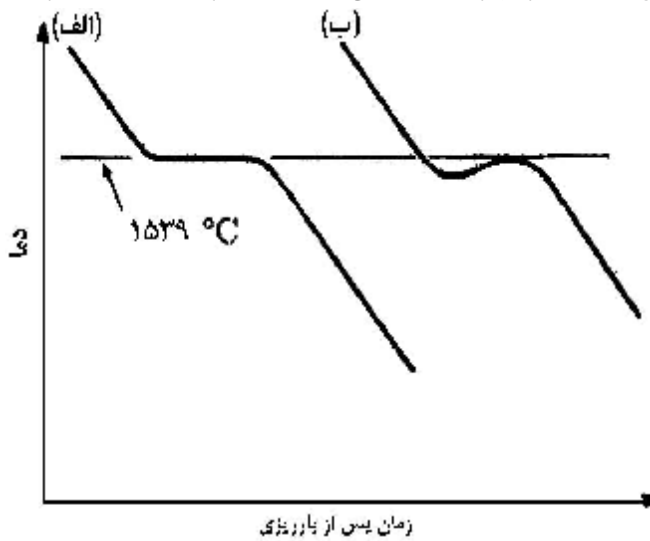


درصد وزنی کربن

شکل ۱۳- دیاگرام تعادلی آهن-کربن

- ۱- آهن خالص (۰٪ C)
- ۲- محلول جامد (۰٫۶٪ C)
- ۳- یوتکتیک (۴٫۳٪ C)

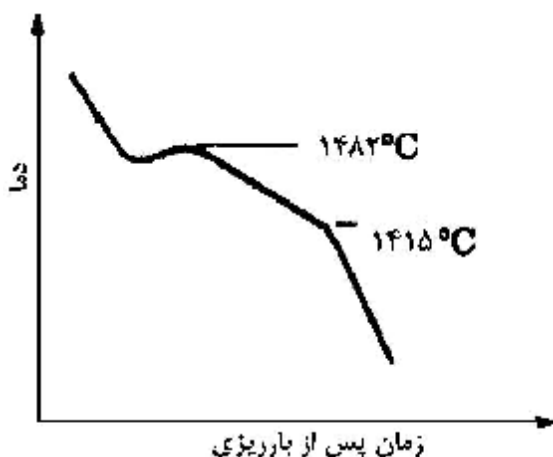
۱- در مورد مذاب آهن خالص، دما به طور پیوسته افت می کند تا در حدود 1536°C تبلور شروع شود. (شکل ۱۴- الف)



شکل ۱۴- منحنی سرد شدن آهن خالص

در این دما، گرمای نهان ذوب آزاد می شود و دما تا کامل شدن انجماد، ثابت باقی می ماند. بسته به شرایط جوانه زنی، ممکن است منحنی، اثر فوق تبرید حرارتی از خود نشان دهد. (شکل ۱۴- ب)

۲- در مورد محلول جامد، اولین بلور (آستنایت) در دمای تقریباً 1482°C شروع به رشد کرده و تا 1415°C ادامه می‌یابد. در این دما، قطعه ریخته‌گری کاملاً جامد می‌شود. در طی این مدت، گرمای نهان ذوب به طور پیوسته آزاد می‌شود و در نتیجه سرعت سرد شدن را تا کامل شدن انجماد کند می‌کند. معمولاً قبل از انجماد اولیه، مقداری فوق تبرید ایجاد می‌شود و باعث قسمت افقی منحنی و یا حتی افزایش آن می‌شود. (شکل ۱۵)



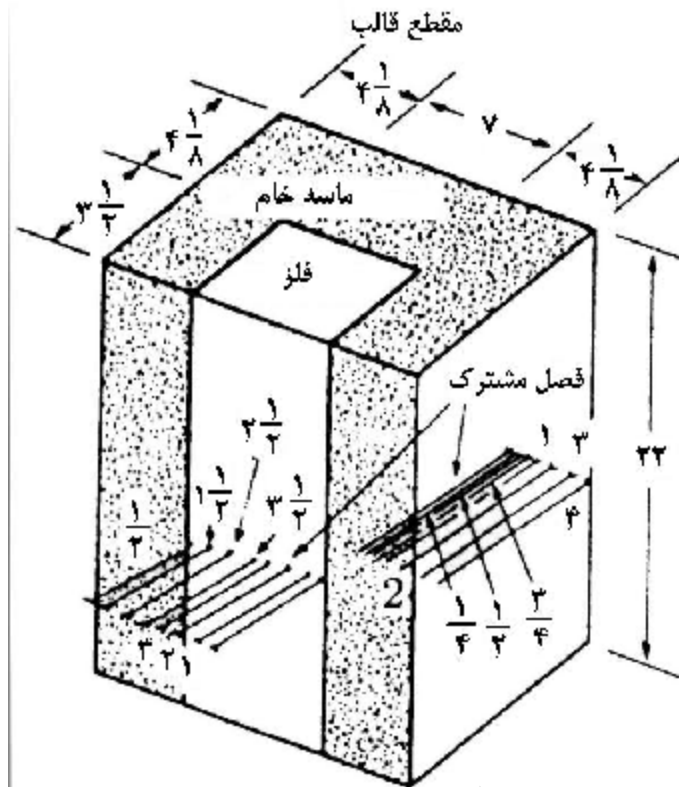
شکل ۱۵- منحنی سرد شدن محلول جامد آهن-کربن (۰,۶% C)

افت ایجاد شده در منحنی سرد شدن، بعلاوه آن است که در شروع انجماد دمای مذاب بمقدار قابل ملاحظه‌ای از خط مذاب، پایین‌تر است و به محض تولید جوانه‌های جامد، مقدار قابل ملاحظه‌ای از مذاب منجمد می‌شود.

۳- مذاب شامل $4/3$ درصد کربن: این مذاب قبل از شروع انجماد تا حدود 1129°C سرد می‌شود و در این دما، با سرد شدن آهسته، آستنایت (۲% C) و گرافیت تا جامد شدن کامل ریخته‌گری با هم منجمد می‌شوند. منحنی انجماد این واکنش شبیه منحنی فلز خالص است.

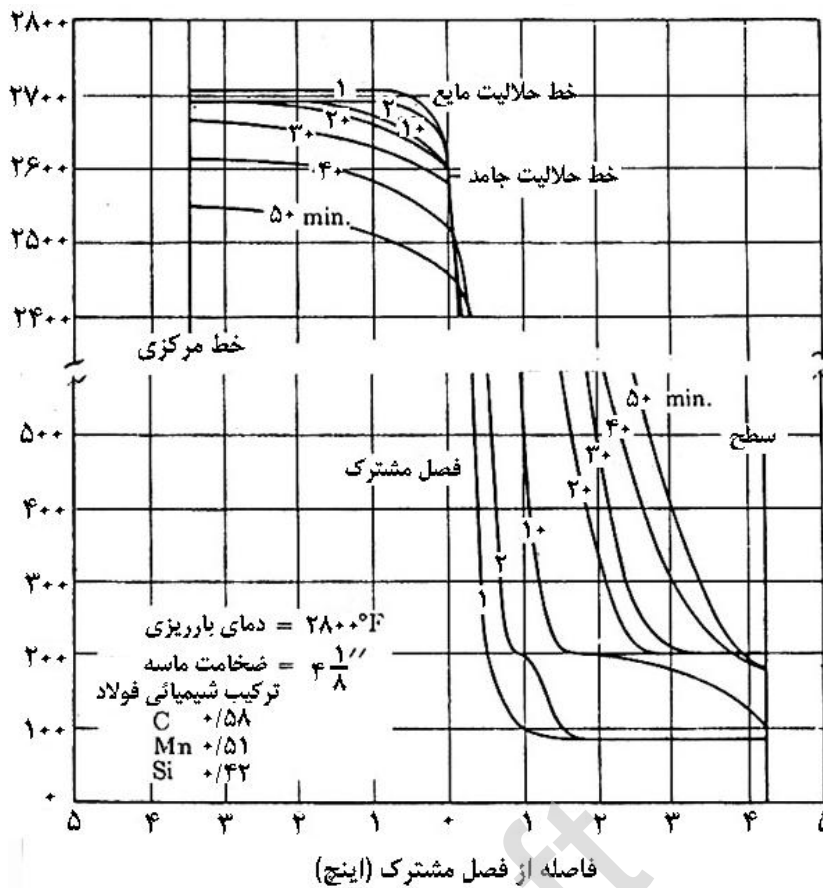
اکنون به موضوع ریخته‌گری واقعی می‌پردازیم. در این رابطه طرح ساده‌ای با سطح مقطع مربعی به ابعاد $7 \times 7 \times 21 \text{ in}^3$ را در نظر می‌گیریم. منبع تغذیه بزرگی در بالای قطعه ریخته‌گری که در شکل نشان داده نشده است برای تغذیه انقباض حاصل از انجماد قرار دارد.

ترموکوپلهائی با فواصل معین در داخل قطعه ریخته‌گری و ماسه مرطوب در وسط برای از بین بردن تأثیرات انتهائی قرار داده می‌شوند (شکل ۱۶) سپس منحنیهای سرد شدن هر ترموکوپل رسم می‌شود.



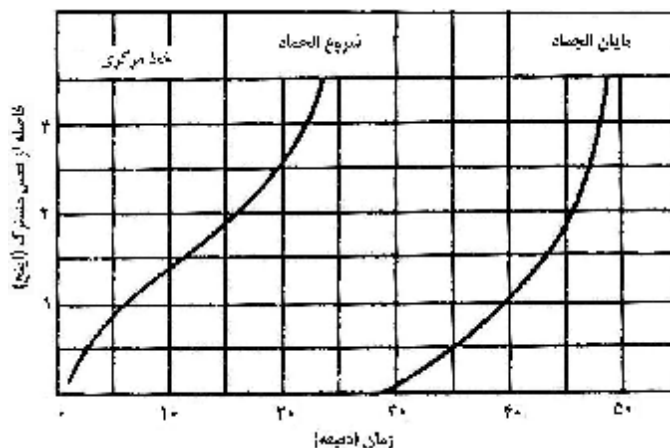
شکل ۱۶- قطعه ریخته‌گری برای تعیین منحنیهای سرد شدن

از این منحنیها، توزیع دما در داخل قالب، در هر زمانی تعیین می‌شود (شکل ۱۷). لازم به ذکر است که این منحنیها، منحنیهای سرد شدن نیستند بلکه از آنها نتیجه شده‌اند. یک دقیقه پس از بارریزی، شیب حرارتی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. مشاهده می‌شود دمای ترموکوپلی که به فاصله $1/2$ اینچ از سطح ماسه قرار دارد از دمای خط مذاب، پایین‌تر است در حالیکه دمای ترموکوپلهائی که در عمق بیشتری قرار گرفته‌اند از دمای خط مذاب بالاتر است. این موضوع بیانگر آن است که جبهه انجماد در سطح قالب شروع شده و به سمت داخل حرکت می‌کند. ضمناً حرارت از طریق سطح مشترک عبور کرده و دمای قالب ماسه‌ای را افزایش می‌دهد. پس از گذشت ۲ دقیقه از زمان بارریزی، مرکز قالب به دمای خط مذاب می‌رسد و به مدت ۲۲ دقیقه، این دما ثابت می‌ماند، بر عکس، در زمانهای بعدی، دما تا حدودی به طور یکنواخت افت می‌کند. این موضوع بعلت تولید گرمای نهان ذوب در قسمتهای خارجی قطعه ریختگی است که برای انتقال حرارت از قسمت مرکزی مانع حرارتی ایجاد می‌کند. با انتقال حرارت نهان ذوب از قسمتهای خارجی قطعه به داخل دیواره قالب، زانوی منحنی حرارتی به داخل حرکت می‌کند. در قالب ماسه‌ای نیز مدتی به علت تبخیر رطوبت، دما ثابت می‌ماند.



شکل ۱۷- منحنیهای توزیع حرارت برای فولاد ۰/۶٪ کربن

اکنون به بررسی پایان انجماد می‌پردازیم. فلز در حال انجماد در دیواره قالب حدود ۳۰ دقیقه پس از بارریزی به دمایی حدوداً پایین‌تر از خط جامد می‌رسد در هر حال، دمای مرکز پس از ۲۴ دقیقه از زمان بارریزی به دمایی پایین‌تر از دمای خط مذاب می‌رسد. این موضوع نشان دهنده آن است که مقداری انجماد در مرکز قطعه ریخته‌گری قبل از اینکه در سطح، انجماد کامل شود صورت گرفته است. عبارت دیگر به مدت شش دقیقه مخلوطی از جامد و مذاب از سطح قالب به مرکز قطعه ادامه داشته است. این موضوع در شکل ۱۸ به طور خلاصه نشان داده شده است.



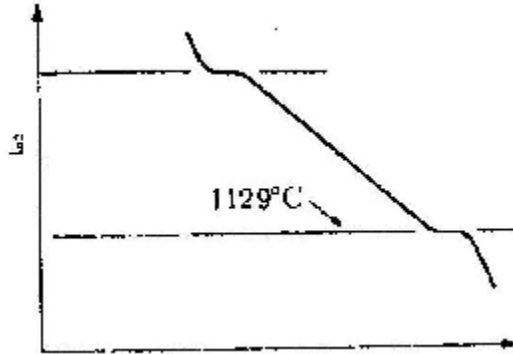
شکل ۱۸- پیشرفت انجماد در قطعه ریخته‌گری فولاد مربوط به شکل ۱۷

مهمترین نکته‌ای که باید توجه داشت آن است که فولاد با جبهه پیشرونده صاف و تختی منجمد نمی‌شود بلکه موجی از شروع انجماد و بدنبال آن (۲۰ دقیقه) موجی از خاتمه انجماد از سطح به داخل حرکت می‌کند. در فاصله این دو موج، قطعه شامل مخلوطی از مذاب و کریستالهای جامد (معمولاً شاخه‌ای) است. وجود این منطقه مانعی برای انتقال فلز

مذاب از منبع تغذیه به شمار می‌رود و اگر این موضوع بر طرف نشود، حفره‌های حاصل از انقباض در قطعه ریخته‌گری ایجاد می‌شود.

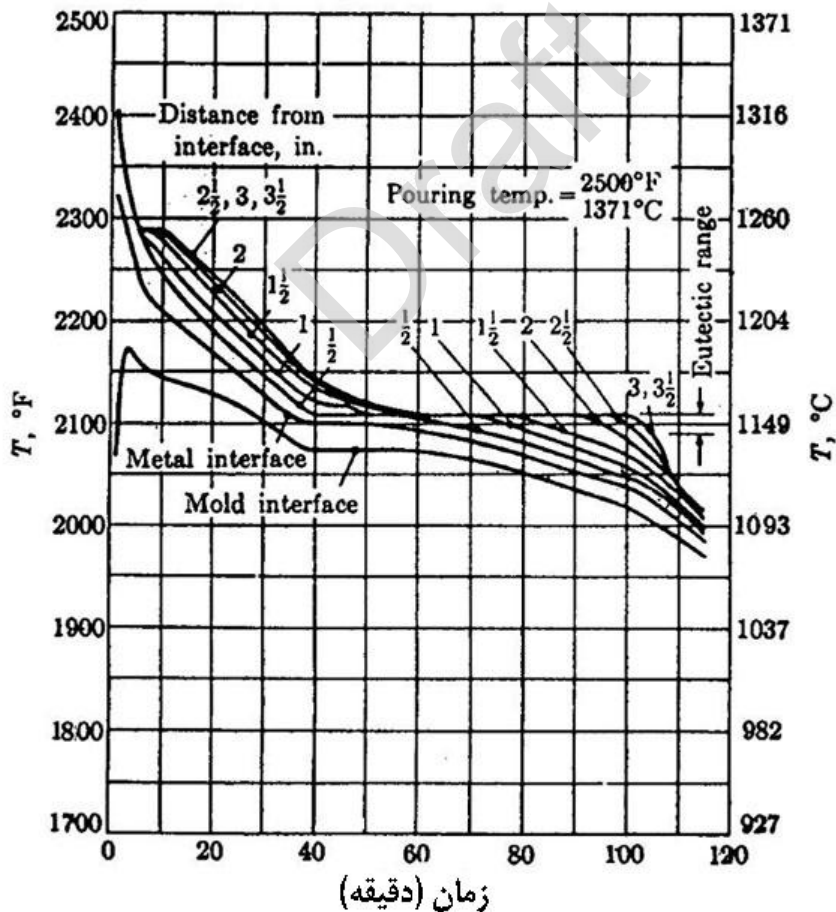
سرد شدن آلیاژهای شامل یوتکتیک

چدنی را در نظر بگیرید که مقدار کربن آن کمتر از $\frac{4}{3}$ درصد (هیپویوتکتیک) است. منحنی سرد شدن آن در شکل ۱۹ نشان داده شده است.



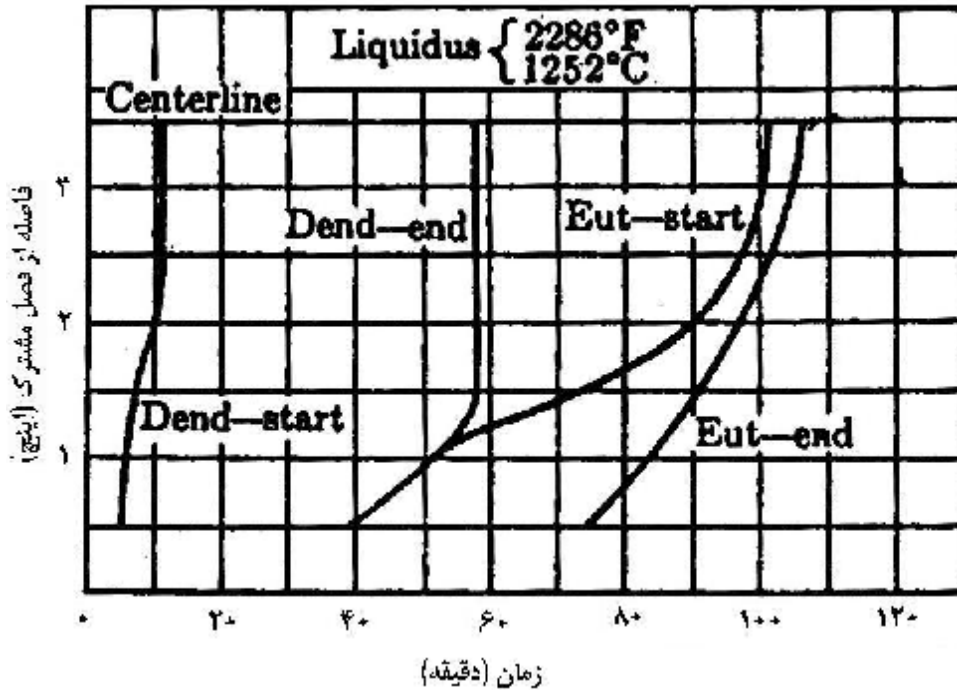
شکل ۱۹- منحنی سرد شدن چدن هیپویوتکتیک

در چدنهای تجارتي، یوتکتیک بعلت وجود ديگر عناصر، مخصوصاً سيليسيم در دمای ثابتی منجمد نمی‌شود. منحنی‌های سرد شدن واقعی آن در شکل ۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲۰- منحنی‌های سرد شدن واقعی چدن

در این چدن دو توقف حرارتی وجود دارد که اولی فقط بعلت گرمای نهان ذوب آستنیت و دومی بعلت گرمای نهان ذوب یوتکتیک در محدوده دمایی بسیار کم است (آستنیت + گرافیت) از این تأثیرات شروع و خاتمه هر واکنش رسم می‌شود.



شکل ۲۱- منحنی‌های سرد شدن چدن خاکستری

جدا شدن منحنی پایان دندریت از منحنی شروع یوتکتیک، که ممکن است مورد انتقاد قرار گیرد بعلت انتخاب دلخواه دما می‌باشد زیرا پایان تشکیل دندریتهای آستنایت را ۲ درجه بالاتر از دمای یوتکتیک و شروع تشکیل یوتکتیک را ۲ درجه پایین‌تر از دمای یوتکتیک در نظر گرفته‌ایم. هر چند این اختلاف برابر چهار درجه است، اما نسبتاً زمانی طولانی لازم است که قسمتهای داخلی قطعه ریخته‌گری از این محدوده دمایی عبور کنند. تأخیر بعلت توقف حرارتی حاصله از تولید گرمای نهان ذوب یوتکتیک در سطح خارجی قطعه ریخته‌گری است. در عمل، تشکیل بلورهای آستنایت یوتکتیک بر آستنایتهای دندریتی موجود قبلی صورت می‌گیرد و فرآیند پیوسته‌ای می‌باشند. انتخاب دلخواه دما برای پایان دندریتهای آستنایتی و شروع تشکیل یوتکتیک برای تأکید اثرات دو نوع واکنش بر پدیده انجماد می‌باشد.

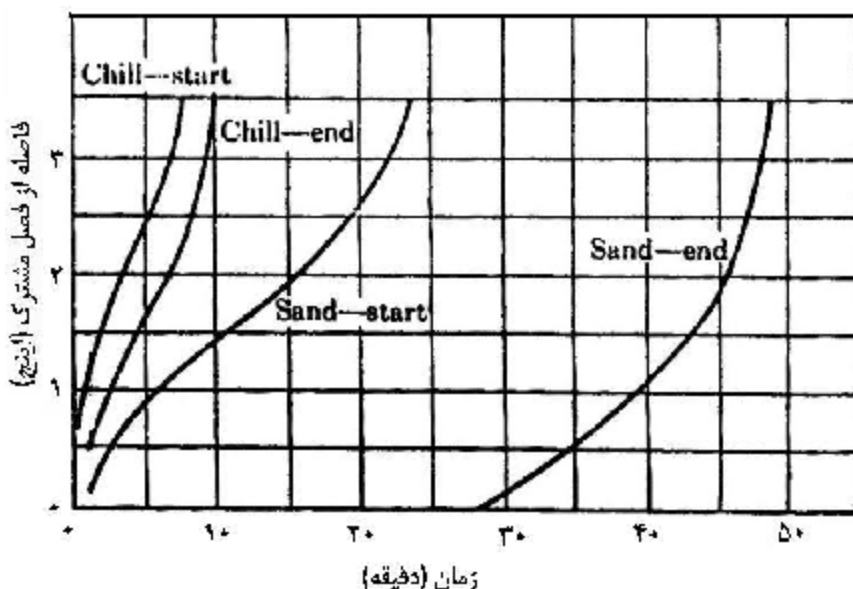
تأثیر مواد قالب و ترکیب آلیاژ بر الگوی انجماد

در نمونه قبلی با ابعاد $7 \times 7 \times 21$ in^۳ مشاهده نمودیم که قبل از انجماد نهائی به مدت قابل ملاحظه‌ای، مقداری بلورهای جامد در مرکز قطعه وجود دارد که اگر انجماد کامل بصورت یک موج صورت نگیرد مشکلاتی از قبیل عدم تغذیه و غیره را بدنبال دارد که در نتیجه بایستی تأثیر مواد قالب و ترکیب آلیاژ را در این زمینه مورد بررسی قرار دهیم. برای بررسی این اثر دو معیار، یکی محل نسبی شروع و پایان منحنی انجماد و دیگری عاملی بنام مقاومت تغذیه مرکزی^۱ (CFR) وجود دارد.

تأثیر مواد قالب

اگر به جای قالب ماسه‌ای قبلی، از قالب چدنی با هدایت حرارتی بالا استفاده شود سرعت انجماد افزایش می‌یابد منحنیهای شکل ۲۲ این اثر را نشان می‌دهند. همانطوری که مشاهده می‌شود الگوی انجماد تغییر کرده است.

^۱ Center Feeding Resistance



شکل ۲۲- مقایسه سرعت انجماد در قالب ماسه‌ای و قالب تبریدی برای فولاد ۶٪ کربن

در ریخته‌گری ماسه، شرایط خمیری یعنی مذاب + جامد به مدت شش دقیقه از دقایق ۲۴ تا ۳۰ بعد از بارریزی در کل قطعه وجود دارد. اما این شرایط در ریخته‌گری تبریدی اتفاق نمی‌افتد فقط نوار نازکی از مذاب + جامد به داخل مذاب در پیشاپیش قسمت کاملاً منجمد شده است این بدین معنی است که پس از شروع انجماد در مرکز فلز تغذیه بایستی فقط $1\frac{1}{2}$ in از مرکز به جبهه انجماد، به جای کل فاصله تا سطح مشترک در مورد ریخته‌گری ماسه حرکت نماید. برای بیان کمی این اختلاف عبارت دیگری بنام CFR را که مستقل از زمان مطلق انجماد است تعریف می‌کنیم تا بتوان آن را برای مقایسه مواد مختلف قالب یا اندازه‌های مختلف سطح مقطع بکار برد. در هر صورت تغذیه قطعه ریخته‌گری تا زمانی که بلورهای جامد در مرکز وجود داشته باشند مشکل است و هر چقدر مدتی که در طول آن این بلورهای مرکزی، نسبت به کل زمان انجماد، در قطعه ریخته‌گری وجود دارد بیشتر باشد تغذیه مشکلتر می‌شود. بر طبق تعریف CFR عبارتست از:

$$CFR = \frac{\text{زمانی که در طول آن بلورها در مرکز تشکیل میشوند}}{\text{کل زمان انجماد قطعه ریخته‌گری}} \times 100$$

این فاکتور را می‌توان به سهولت از منحنی شروع و پایان انجماد بصورت زیر محاسبه نمود.

$$CFR = \frac{(\text{شروع انجماد در مرکز}) - (\text{پایان انجماد در مرکز})}{(\text{شروع انجماد در فصل مشترک}) - (\text{پایان انجماد در مرکز})} \times 100$$

برای مثال، در مورد حالت قبلی، فولادی که در ماسه و قالب تبریدی بارریزی شود، دارای ضرائب زیر خواهد بود.

$$CFR)_{\text{ماسه}} = \frac{48 - 24}{48} \times 100 = 50\% \quad \text{از کل انجماد}$$

$$CFR)_{\text{تبریدی}} = \frac{10 - 8}{10} \times 100 = 20\% \quad \text{از کل انجماد}$$

از این ارقام چنین استنباط می‌شود که تغذیه ریخته‌گری تبریدی ذاتاً از ریخته‌گری ماسه آسانتر است و عملاً نیز چنین است.

تأثیر ترکیب شیمیایی

تجربه نشان داده است که تغذیه برخی آلیاژها نسبت به دیگر آلیاژها به سهولت صورت می‌گیرد. به طور کلی، تغذیه آلیاژهایی که فاصله خط جامد تا خط مذاب آنها کم است به سهولت صورت می‌گیرد در حالی که آلیاژهایی که فاصله

خط جامد و خط مذاب آنها زیاد است مشکل تغذیه می‌شوند. ضمناً تغذیه آلیاژهایی که CFR آنها بیش از ۷۰٪ باشد مشکل است.

تأثیر سرعت انجماد

طراحی صحیح منبع تغذیه به الگوی انجماد آلیاژ (CFR) و زمان انجماد منبع تغذیه نسبت به قطعه ریخته‌گری بستگی دارد. اکنون به بررسی، تأثیر شکل هندسی منبع تغذیه و قطعه ریخته‌گری پرداخته می‌شود بطوری که بتوان با استفاده از آن زمان انجماد را تعیین کرد و حداقل اندازه منبع تغذیه را که باعث سرعت انجماد کمتری شود، بدست آورد. موضوع را با معادله ابتدایی انتقال حرارت در حالت یکنواخت^۱ شروع می‌کنیم. شار حرارت J ، که در واحد زمان از یک دیوار عبور می‌کند مستقیماً به اختلاف دما، هدایت حرارتی^۲ سطح مقطع دیوار بستگی دارد و نیز با فاصله سطح گرم و سرد نسبت عکس دارد. اگر فرض کنیم که هدایت حرارتی K مستقل از دما باشد در نتیجه خواهیم داشت.

$$J = K \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (۴)$$

که در این فرمول

J شار حرارت $BTU / hr.ft^2$

ΔX ضخامت دیوار (ft)

ΔT اختلاف دما ($^{\circ}F$)

K ضریب هدایت حرارتی $BTU/ft^{\circ}F.hr.ft^2$

برای مثال اگر برای سیلیس، K برابر $۱/۰۶$ باشد در نتیجه برای دیواری با ضخامت $۹/۱۲$ فوت

$$J = 1.06 \times \frac{(2400 - 650)}{9/12} = 2480 \text{ BTU} / \text{hr.ft}^2$$

در معادله فوق $\Delta T / \Delta X$ شیب حرارتی نامیده می‌شود. اگر فلز مذاب به داخل قالب بارریزی شود. مقدار زیادی حرارت بوسیله خود قالب جذب می‌شود در حالی که در مورد حالت ثابت تمام حرارت از سطح داخلی به سطح بیرونی منتقل می‌شود. به این دلیل گرمای ویژه مواد تشکیل دهنده قالب (C_{mold})، وزن مخصوص و کندانکتیویته حرارتی (K_{mold}) آن وارد معادله انتقال حرارت می‌شود. برای سهولت امر، این عوامل می‌توانند در فرمول زیر با هم ادغام شوند.

$$a_{mold} = \text{نفوذپذیری حرارتی} = \frac{K_{mold}}{C_{mold} \times r_{mold}} \quad (۵)$$

عامل متغیر دیگر، تغییرات دما T_x در هر نقطه از قالب بر حسب زمان است. با توجه به این نکات از معادله پیشنهادی کارسلاو (Carslaw)، ژایگر (Jaeger) و رودل (Ruddle) استفاده می‌کنیم. فرض کنید که دمای سطح قالب (فصل مشترک قالب-مذاب) به طور ناگهانی در زمان $t=0$ از دمای اولیه T_0 به T_1 افزایش یابد و در مدت انجماد در T_1 باقی بماند. این وضعیت در قالبهای ماسه‌ای زیاد اتفاق می‌افتد. پس از گذشت زمان t ، دمای T در فاصله x از سطح قالب، از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$T = T_0 + (T_1 - T_0) \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \quad (۶)$$

برای تعیین سرعت انتقال حرارت از قطعه ریخته‌گری در سطح مشترک ($x=0$) بایستی شیب حرارتی را تعیین نماییم. برای این منظور از معادله ۶ مشتق می‌گیریم که در نتیجه خواهیم داشت.

$$\frac{dT}{dX} = -(T_1 - T_0) \frac{d}{dX} \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \quad (۷)$$

^۱ Steady-state

^۲ thermal-conductivity

^۳ thermal-diffusivity

این رابطه در $x = 0$ برابر است با

$$\frac{d}{dX} \left(\operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{at}} \right) = \frac{1}{\sqrt{pat}} \quad (8)$$

در نتیجه

$$\frac{dT}{dX} = - \frac{(T_1 - T_0)}{\sqrt{pat}} \quad (9)$$

که نهایتاً (علامت منفی را حذف می‌کنیم زیرا انتقال حرارت در جهت افت شیب صورت می‌گیرد).

$$J = \frac{K(T_1 - T_0)}{\sqrt{pat}} \quad (10)$$

زمان لازم برای انجماد یک قطعه ریخته‌گری بستگی به انتقال مقدار معینی حرارت (Q) از سطح مشترک ($x=0$) دارد در نتیجه:

$$Q = A \int_{t=0}^{t=t_s} J dt = A \frac{2K(T_1 - T_0)\sqrt{t}}{\sqrt{pa}} \quad (11)$$

برای تعیین زمان انجماد (t_s)، ورق بزرگی با سطوح اصلی A باید حرارتی را که قطعه (از دمای بارریزی) از دست می‌دهد، تا منجمد شود، محاسبه کنیم. این حرارت برابر گرمای مافوق ذوب و گرمای نهان ذوب است. فرض کنید بارریزی T_f و دمای انجماد T_1 (دمای سطح مشترک) باشد در نتیجه مقدار حرارتی که باید از دست داده شود برابر است با:

$$Q = \int_{metal} V [L_{metal} + C_{metal} (T_p - T_1)] \quad (12)$$

که در این رابطه

C_{metal} گرمای ویژه فلز مذاب (Btu/°F.lb)

L_{metal} گرمای نهان ذوب (Btu/lb)

V حجم ورق (ft^3)

r_{metal} دانسیته فلز (lb/ft^3)

با مساوی قرار دادن معادله ۱۲ با معادله ۱۱ می‌توانیم $t = t_s$ را بدست آوریم.

$$\int_{metal} V [L_{metal} + C_{metal} (T_p - T_1)] = \frac{2AK(T_1 - T_0)}{\sqrt{pa}} \quad (13)$$

یا

$$\frac{V}{A} = \frac{2K_{mold} (T_1 - T_0)\sqrt{ts}}{\int_{metal} \sqrt{pa_{mold}} [L_{metal} + C_{metal} (T_p - T_1)]} \quad (14)$$

برای قالب و فلز به خصوص معادله فوق را برای t_s حل کرده و کلیه اعداد ثابت را در یک عدد ثابت ادغام کرده و آن را ثابت قالب B^1 می‌نامیم، در نتیجه خواهیم داشت:

$$t_s = B \left(\frac{V}{A} \right)^2 \quad (15)$$

این رابطه که مدت زمان انجماد را نشان می‌دهد، قاعده چورینوف (Chworinov Rule) می‌نامند.

ضروریات (نیازهای) منبع تغذیه

ضروریات فنی

۱. انجماد منبع تغذیه پس از انجماد قطعه

¹ mold constant

۲. شامل مقدار کافی فلز مذاب برای تغذیه

۳. منبع تغذیه کافی باید تا حد امکان باز باشد و در محلی قرار داده شود تا به کلیه قسمت‌های قطعه فشار مثبت ایجاد کند.

ضروریات اقتصادی

۱. به گونه‌ای طراحی و عمل شود تا نقش خود را به خوبی و با کمترین ضایعات ایفا کند.

۲. در محلی قرار داده شود تا حداکثر ممکنه راندمان لازم را داشته باشد

اندازه منبع تغذیه

بهره منبع تغذیه که مطابق با رابطه زیر

$$\text{بهره منبع تغذیه} = \frac{\text{وزن فلز قطعه} \times 100}{\text{وزن قطعه} + \text{وزن فلز منبع تغذیه و راهگاهها}}$$

محاسبه می‌شود، حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد است. لذا از هر یکصد (۱۰۰) کیلوگرم فلز بارریزی شده حدود ۳۵ تا ۴۰ کیلوگرم آن به قطعه نهائی که قابل فروش است تبدیل می‌شود.

اگر سرعت انتقال حرارت از قطعه نسبت به سرعت حرارت از منبع تغذیه افزایش یابد، انجماد جهت دار است لذا حجم منبع تغذیه می‌تواند کاهش یابد.

فشار اتمسفر و تغذیه‌گذاری

اگر به قطعه در حال انجماد، فشار اتمسفر نامناسبی اعمال شود، ممکن است باعث پارگی قطعه شود. اعمال مناسب فشار باعث بهبود خواص قطعه و افزایش کارایی منبع تغذیه می‌شود. یک قاعده اساسی در تغذیه‌گذاری آن است که منبع تغذیه بایستی در طی انجماد به محیط جو باز باشد.

قسمت ۱۱ ص ۱۳۹ تیلور - فلمینگ و ولف

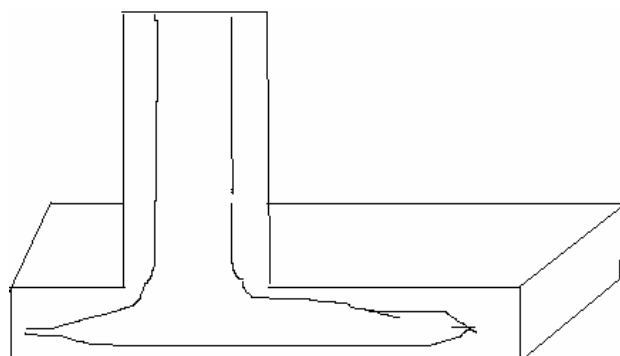
روشهای عملی کنترل انجماد

عایق‌بندی

عایق‌بندی منبع‌های تغذیه می‌تواند با موادی که نسبت به مواد قالب، خواص عایق حرارتی بالاتری دارند انجام شود. گچ برای ریخته‌گری در گچ، یک عایق عالی برای فلزات غیرآهنی به شمار می‌رود.

انجماد تدریجی و جهت‌دار

در شکل زیر انجماد تدریجی و جهت‌دار نشان داده شده است. پس از بارریزی، انجماد از سطوح شروع شده و پوسته‌ای جامد تشکیل می‌شود. با افت دما، ضخامت پوسته افزایش می‌یابد.



شکل: شکل تکمیل شود

دو وضعیت سرعت رشد انجماد را تغییر می‌دهد. در لبه قطعه مساحت سطح بیشتر است لذا انتقال حرارت از مذاب به قالب بالاتر است نتیجتاً سرعت انجماد بالاتر است که به آن اثر لبه (Edge effect) می‌گویند. در محل منبع تغذیه که به دلیل جرم بیشتر فلز مذاب، مقدار حرارت بیشتر بوده و محلی است که انتقال حرارت به قالب در زاویه کاهش می‌یابد لذا سرعت تشکیل پوسته جامد کاهش می‌یابد. این اثر را اثر منبع تغذیه (Riser effect) می‌نامند. این دو اثر باعث انجماد جهت‌دار می‌شود.

شیوه انجماد

آلیاژها بر اساس محدوده انجماد به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱. کونا: فاصله خط جامد (Solidus) تا خط مذاب (Liquidus) از 50°C کمتر است.
۲. متوسط: فاصله خط جامد (Solidus) تا خط مذاب (Liquidus) بین 50°C تا 110°C است.
۳. بلند: فاصله خط جامد (Solidus) تا خط مذاب (Liquidus) از 110°C بیشتر است.

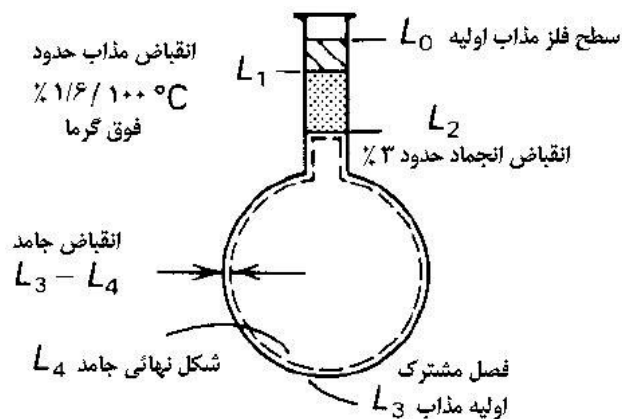
شیوه انجماد هر کدام از این حالات در شکل‌های زیر نشان داده شده است.

انجماد فلز خالص: انجماد از سطح شروع شده و به داخل قطعه ریختگی پیشرفت می‌کند. جبهه انجماد به صورت تخت پیشرفت می‌کند.

شکل:

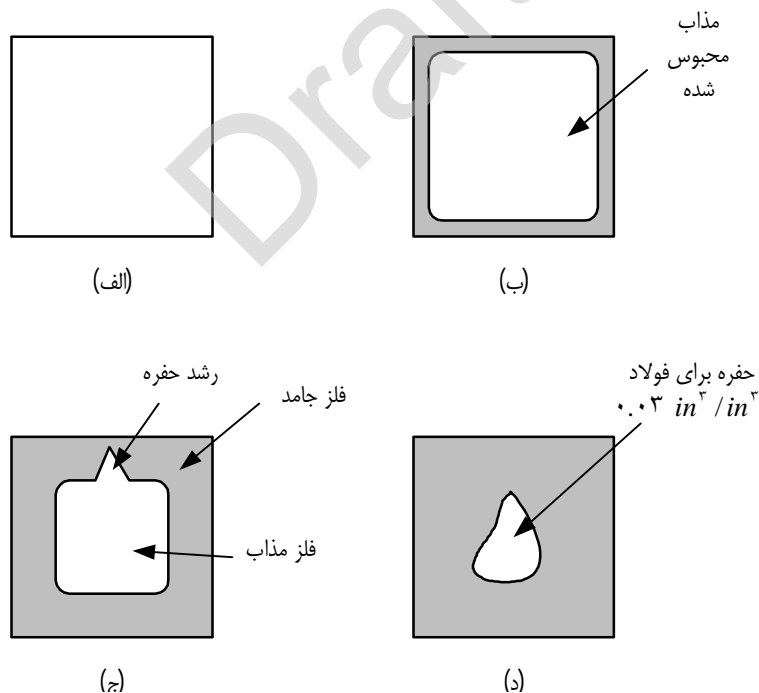
طراحی منبع تغذیه و تعیین محل آن

وقتی فلزات مذاب منجمد شده و برای تشکیل قطعه ریختگی سرد می‌شوند، معمولاً تحت سه مرحله انقباض حجمی مجزا قرار می‌گیرند (شکل زیر).



شکل: شماتیک انقباض فولاد کم کربن و تاثیر هر مرحله

برای پیش گیری از این انقباض، نیاز به تامین مذاب اضافی است (رفتار انقباضی برخی چدنهای گرافیتی از این قاعده مستثنی است). لذا تغذیه گذاری فرایندی است که برای جلوگیری از تشکیل حفره های انقباض حاصل از انجماد قطعه ریختگی طراحی می شود و به نوع فلزی که ریخته گری می شود بستگی دارد. مکعبی از فولاد مذاب با ابعاد یک اینچ را در دمای انجماد در نظر بگیرید. در این دمای ثابت، پوسته جامد نازکی در قسمت خارجی آن تشکیل می شود که نتیجتاً، مذاب باقیمانده در داخل این پوسته نازک و ثابت محبوس می شود. با تبدیل این مذاب به جامد، انقباض نوع ب ایجاد می شود در ریخته گریهایی که مقطع نامنظم دارند اگر راهگاہها باریک باشد و قبل از رسیدن مذاب به دمای انجماد، قطعه منجمد شود، امکان انقباض نوع الف نیز وجود دارد. لازم به ذکر است که انقباض نوع ج، که در جامد صورت می گیرد ایجاد حفره نمی کند بلکه این نوع انقباضها به تنشهای زیاد، پارگی و ترک منجر می شوند (شکل زیر).



شکل: ایجاد حفره انقباض در قطعه ریختگی مکعبی

الف) مذاب ب) مذاب+جامد ج) مذاب+جامد د) جامد

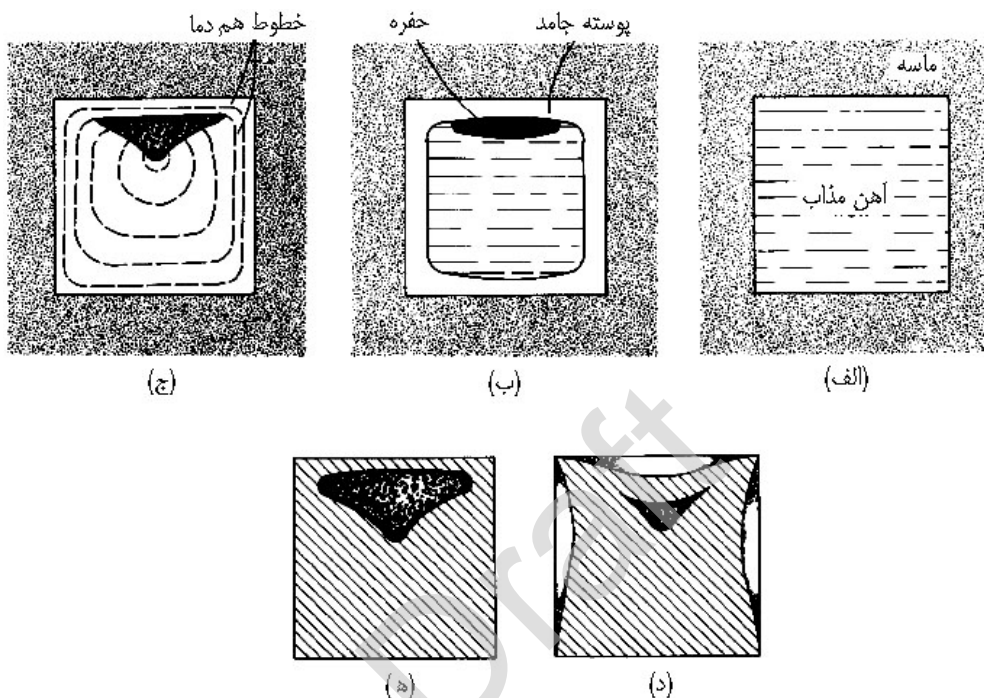
برای نشان دادن مقدار انقباض حاصل از انجماد (برحسب درصد) در قطعه ریختگی، مقادیر مربوط به فولاد کربنی ساده را در طی سه مرحله انقباض بررسی می کنیم.

الف) در مرحله اول یعنی حالت مذاب، انقباض فلز مذاب تقریباً برابر $1/6$ تا $1/8$ درصد حجمی به ازای هر 100°C ($1/9$) تا $1/10$ درصد به ازای هر 100°F است. این انقباض مشکل خاصی ایجاد نمی کند.

ب) در مرحله دوم، یعنی تبدیل مذاب به جامد، حدود ۳ درصد حجمی انقباض صورت می‌گیرد. این انقباض، برای فلزات خالص در دمای ثابت و برای آلیاژها در محدوده حرارتی معینی صورت می‌گیرد.

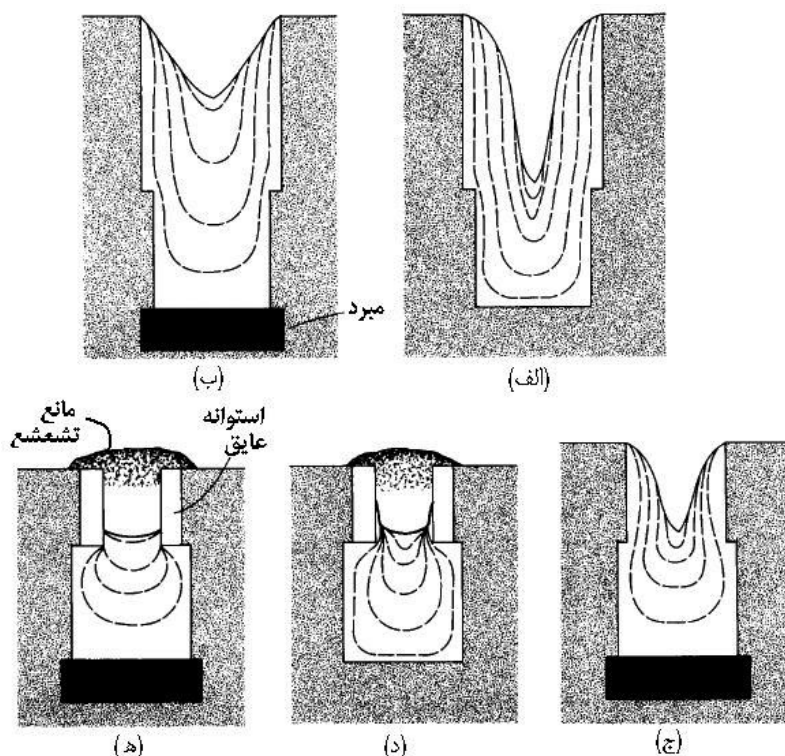
ج) در مرحله سوم، یعنی انقباض قطعه جامد از دمای انجماد تا دمای اتاق یعنی 70°F (21°C) حدود ۷/۲ درصد حجمی است. این انقباض را، که انقباض مدل‌ساز (Patternmaker's shrinkage) نیز می‌نامند، با ساخت مدل (نتیجتاً حفره قالب) کمی بزرگتر از ابعاد مطلوب قطعه ریختگی نهائی، برطرف می‌کنند.

نکته‌ای که بایستی موردتوجه قرارگیرد انقباض مرحله الف و ب است که به تغذیه نیاز دارد. ضمناً بر اثر تبدیل مذاب به جامد، دانسیته تغییر می‌کند. در صورت عدم تغذیه قطعه ریختگی مطابق شکل زیر منجمد و سرد می‌شود.



شکل: شماتیکی از ترتیب انقباض حاصل از انجماد در یک مکعب آهنی

(الف) مذاب اولیه (ب) تشکیل پوسته جامد و حفره انقباض (ج) انقباض داخلی (د) انقباض داخلی به علاوه کاسه‌ای شدن (ه) پکیدن سطح علائم قابل مشاهده از عیوب ایجاد شده‌ی حاصل از انقباض عبارتند از: حفره‌های حاصل از انقباض داخلی، تغییر شکل سطحی یا کاسه‌ای شدن، و پارگی پوسته سطحی. این عیوب برای آلیاژهای مختلف متفاوت است: برای مثال، ممکن است حفره حاصل از انقباض، به صورت حفره‌های ریز در قطعه پخش شده باشد و برای آلیاژهایی با استحکام بالا، تغییر شکل سطحی ایجاد نشود. همانگونه که اشاره شد، برای حذف این عیوب نامطلوب، بایستی از منبع تغذیه مناسبی استفاده شود تا اثر انقباض مذاب از دمای بارریزی تا دمای انجماد و انقباض حاصل از انجماد جبران شود (شکل زیر).



شکل: روشهای کنترل انقباض در یک مکعب آهنی برای کاهش اندازه منبع تغذیه

(الف) منبع روباز (ب) منبع روباز با مبرد (ج) منبع کوچک روباز با مبرد (د) منبع تغذیه عایق‌بندی شده (ه) منبع تغذیه عایق‌بندی شده با مبرد همانگونه که شکل فوق نشان می‌دهد، منبع تغذیه در اغلب موارد بایستی از قطعه‌ای که آن را تغذیه می‌کند بزرگتر باشد، زیرا باید در زمان انجماد قطعه، فلز کافی برای تغذیه آن را تامین کند. برای کاهش اندازه منبع تغذیه از روشهای مختلفی، از جمله مبردگذاری (chill)، یا عایق‌بندی منبع تغذیه، استفاده می‌شود. جدول ۱، انقباض حاصل از انجماد فلزات مختلف را که ریخته‌گری می‌شوند، نشان می‌دهد. این مقادیر حداقل نیاز به تغذیه را نشان می‌دهد. هرگونه تورم و بزرگ شدن قالب بعلت نرمی مواد و/یا فشار فلز باعث می‌شود نیاز به تغذیه افزایش یابد که بایستی توسط منبع تغذیه تأمین شود.

جدول ۱- انقباض انجماد فلزات مختلف

درصد حجمی انقباض حاصل از انجماد	فلز یا آلیاژ
۲/۵-۳	فولاد کربنی
۴	فولاد ۱٪ کربن
۴-۵/۵	چدن سفید
انبساط تا ۲/۵	چدن خاکستری
۴/۹۲	مس
۴/۵	۷۰٪ مس + ۳۰٪ روی (برنج)
۴	۹۰٪ مس + ۱۰٪ آلومینیم
۶/۶۰	آلومینیم
۶/۳۰	آلومینیم + ۴/۵٪ مس
۳/۸	آلومینیم + ۱۲٪ سیلیسیم
۴/۲	منیزیم
۶/۵	روی

تخلخل حاصل از انقباض را می‌توان با کنترل الگوی انجماد و شیب حرارتی بر طرف ساخت، بطوریکه حفره‌ها در خارج از قطعه ریختگی ایجاد شود. بدین منظور بایستی از منبع تغذیه استفاده شود. منبع تغذیه و قطعه ریختگی با هم یک سیستم کامل را تشکیل می‌دهند. یک قطعه ریختگی سالم را فقط با تغذیه کافی می‌توان تولید کرد. بدیهی است ایجاد خواص مهندسی مطلوب مستلزم حذف حفره‌ها از قطعه می‌باشد.

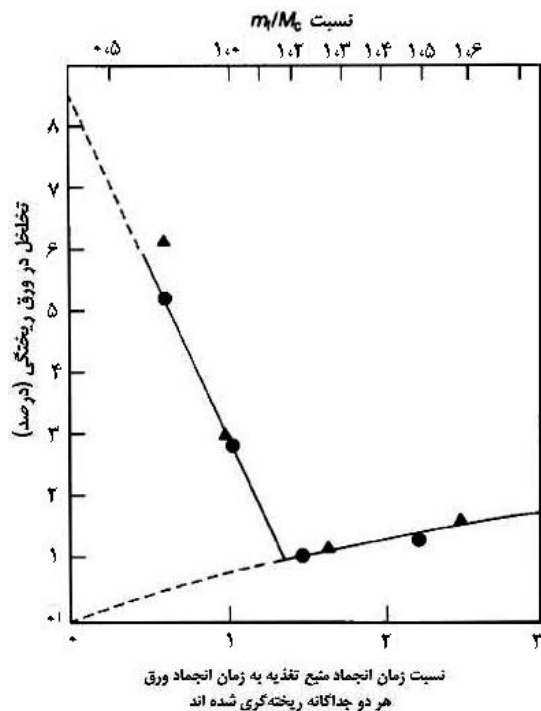
معیارها و قواعد منبع تغذیه

با توجه به این حقیقت که فلز اضافی لازم برای تغذیه به قطعه ریختگی در حال انجماد برای جبران انقباض حاصل از انجماد، معمول آن است که مخزنی جدا از فلز تامین شود. این مخزن را تغذیه کننده می‌نامند زیرا عمل آن تغذیه قطعه ریختگی است. عبارت آمریکائی Riser توصیه نمی‌شود، زیرا ممکن است با دیگر عبارات مشابه اشتباه شود. تامین منبع تغذیه می‌تواند پیچیده باشد. برای حل این معضل، با رویکردی منظم محققین از هفت قاعده برای تعیین منبع تغذیه استفاده کرده‌اند.

قاعده ۱: سؤال اصلی مربوط به تامین تغذیه برای قطعه ریختگری عبارتست از: آیا اصلا به منبع تغذیه نیاز است؟ این پرسشی است که بسیار با ارزش است و قاعده ۱ را تشکیل می‌دهد. تغذیه گذاری انجام ندهید (جز در موردی که به طور مطلق به آن نیاز باشد). جلوگیری از تغذیه گذاری شدیداً توصیه می‌شود. برای پیش‌گیری از قراردادن تغذیه در قطعه چندین دلیل وجود دارد. که عبارتند از:

۱. بدیهی‌ترین این دلایل هزینه است. قراردادن منبع تغذیه هزینه است و جدا کردن آن از قطعه هزینه بیشتری است.
۲. کیفیت بسیاری از قطعات بدلیل نامناسب قرار گرفتن منبع تغذیه کاهش می‌یابد این موضوع در مورد قطعاتی که دیواره نازکی دارند، که پرشدن منبع تغذیه فلز را از پرکردن قطعه منحرف می‌سازد و باعث نرسیدن فلز (misrun) می‌شود، بسیار صادق است. امروزه احتمالاً نیمی از قطعات ریختگی کوچک و متوسط به منبع تغذیه نیازی ندارند.
۳. گاهی قطعه ریختگی از تاخیر در سردشدن و کاهش خواص و حتی مشکل تجمع عناصر در نتیجه وجود منبع تغذیه صدمه می‌بیند.
۴. نهایتاً در تخمین منبع تغذیه با اندازه مناسب خطا وجود دارد به طوری که قطعه ریختگی از حالتی که تغذیه نداشته باشد معیوب‌تر می‌شود.

اکنون فرض می‌کنیم که به منبع تغذیه نیاز است. پرسش بعدی عبارتست از: اندازه منبع تغذیه چقدر باشد؟ بدیهی است که برای منبع تغذیه اندازه بهینه‌ای وجود دارد. در شکل زیر اثر افزایش اندازه منبع تغذیه ورق ریختگی با آلیاژی از جنس $Al-12Si$ نشان داده شده است. اگر منحنی تا منبع تغذیه صفر برون‌یابی شوند تخلخل تقریباً به ۸٪ می‌رسد که با مقدار نظری ۷,۱۴٪ برای آلومینیم خالص نزدیک است. در مادل منبع تغذیه در حدود ۱,۲ برابر مادل قطعه ریختگی، قطعه در سالم‌ترین حالت خود قرار دارد. ۱٪ تخلخل باقیمانده احتمالاً تخلخلهای پراکنده مربوط به گاز است. با افزایش بیشتر اندازه منبع تغذیه انجماد قطعه ریختگی به تدریج در مجاورت جرم فلز منبع تغذیه به تاخیر می‌افتد بنابراین این، در حالیکه این منبع تغذیه اضافی به خودی خود نامطلوب نیست، تاخیر در انجماد کل قطعه زمان موجود برای رسوب بیشتر هیدروژن به عنوان گاز تخلخل را افزایش می‌دهد. با وجود این، از این تحقیق بدیهی است که یک منبع تغذیه کوچک منجر به تخلخلهای جدی می‌شود.



شکل: اثر افزایش زمان منبع تغذیه بر سلامتی ورق ریختگی با آلیاژ Al-۱۲Si

قاعده ۲: منبع تغذیه بایستی همزمان یا دیرتر از قطعه ریختگی منجمد شود. این قاعده معیار انتقال حرارت است که به چورینف ربط داده می شود.

قاعده ۳: منبع تغذیه بایستی دارای فلز کافی برای تامین فلز لازم برای انقباض را داشته باشد. این قاعده معمولاً بنام "معیار حجم" شناخته می شود. در هر حال، قاعده های دیگری نیز که معیارهای حرارتی، هندسی، و فشاری را که شرایط کاملاً لازمی برای انجماد سالم قطعه ریختگی می باشند نیز وجود دارند.

قاعده ۴: اتصال بین قطعه ریختگی و منبع تغذیه نباید نقطه داغ (hot spot) ایجاد کند، یعنی دارای زمان انجماد بیشتری نسبت به هر کدام از قطعه و منبع تغذیه داشته باشد. این مورد اگر پیش گیری نشود، مشکل ایجاد می کند و به تخلخل انقباضی در زیر منبع تغذیه منجر می شود. استفاده از معادله چورینف منجر به پاسخ غلط می شود که رابطه چورینف را زیر سؤال می برد.

قاعده ۵: برای تغذیه محللهایی که در قطعه لازم است تا تغذیه شود بایستی مسیر وجود داشته باشد.

قاعده ۶: برای ایجاد جریان فلز و حرکت فلز در جهت صحیح بایستی اختلاف فشار کافی وجود داشته باشد.

قاعده ۷: در کلیه نقاط قطعه فشار کافی برای پیش گیری از تشکیل و رشد تخلخل وجود داشته باشد. عمل فشار همچنین باعث بهبود خواص مکانیکی قطعه ریختگی می شود. برای تولید قطعه ای سالم لازم است تا کلیه قواعد فوق به خوبی رعایت شوند.

طراحی منبع تغذیه بهینه

جدول ۱ نشان می دهد که مقدار مذاب نسبتاً کمی برای تغذیه نیاز می باشد و ممکن است چنین استنباط شود که تغذیه گذاری ساده بوده و منبع تغذیه کوچکی نیاز است اما باید متذکر شویم که فلز داخل منبع تغذیه نیز تحت همان قوانین انجماد که بر قطعه ریختگی حاکم است منجمد می شود در نتیجه برای اینکه یک منبع تغذیه، موثر واقع شود باید در حین انجماد قطعه ریختگی، مذاب باقی بماند و از نظر کمی قادر به تغذیه قطعه ریختگی باشد. به عبارت دیگر منبع تغذیه (جز در مورد چدن های خاکستری) باید از قطعه ریختگی دیرتر منجمد شود. نقش مهندسی روشها، در طراحی منبع های تغذیه را می توان به طور ساده در تامین فلز تغذیه

- به مقدار صحیح

- در محل صحیح
- در زمان صحیح

خلاصه کرد. علاوه بر عوامل فوق، تامین مذاب تغذیه به عوامل دیگری نیز بستگی دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

۱. تعداد، اندازه و شکل منبع تغذیه، باید بگونه‌ای طراحی و کمینه شود تا بهره قالب ریخته‌گری افزایش و هزینه تولید کاهش یابد.

۲. محل قرار گرفتن منبع تغذیه، بایستی بگونه‌ای انتخاب شود تا مشکلات و مسائل بالقوه‌ی ریخته‌گری (مانند تمایل به پارگی داغ، یا خم شدن قطعه) بزرگ‌نمائی نشود.

۳. برای استفاده از یک منبع تغذیه قطعات ریخته‌گری مجتمع شوند.

۴. اتصال منبع تغذیه به قطعه ریخته‌گری، باید بگونه‌ای طراحی شود تا هزینه جداسازی منبع تغذیه از قطعه ریخته‌گری، به حداقل برسد.

۵. برای کاهش حجم منبع تغذیه، بسته به مورد، از میرد^۱، عایق‌بندی، و یا مواد گرمازا استفاده شود.

۶. شرایط خاص ناشی از اتصال قطعات مختلف به هم در نظر گرفته شود.

لازم به ذکر است که بسیاری از این عوامل با هم تناقض دارند، لذا بایستی در نهایت بین این عوامل، مصالحه ایجاد شود.

شکل و خصوصیات ابعادی منبع تغذیه

قطعه ریخته‌گری، انرژی حرارتی خود را با تشعشع، هدایت و همرفت به محیط اطراف منتقل می‌کند. بدیهی است که نسبت سطح به حجم قطعه در تعیین سرعت این انتقال حرارت مهم است این مفهوم را چورینف با عبارت ریاضی زیر بیان کرده است.

$$t \propto \left(\frac{V^2}{A^2} \right) \propto \left(\frac{V}{A} \right)^2$$

هرچند، این معادله بسیار ساده شده است اما نشان می‌دهد برای اینکه زمان انجماد منبع تغذیه برابر یا بیشتر از زمان انجماد قطعه ریخته‌گری باشد باید سعی شود که شکل آن کروی باشد. معمولاً ریخته‌گری قالبهای کروی بسیار مشکل است اما به جای آن می‌توان از استوانه استفاده کرد. بعد از این هر جا بحثی از منبع تغذیه شود منظور تغذیه استوانه‌ای شکل است، انتهای تغذیه‌های جانبی ممکن است به شکل نیمکره باشد و تغذیه‌های بسته^۲ یعنی تغذیه‌هایی که بوسیله ماسه پوشیده شده‌اند ممکن است داری انتهای نیم‌کروی باشند. دلیل آن کاهش نسبت سطح به حجم است. منبع تغذیه باید دارای دو خصوصیت مستقل باشد.

(۱) منبع تغذیه (جز در مورد چدنهای خاکستری) بایستی از قطعه ریخته‌گری دیرتر منجمد شود. اگر مواد قالب اطراف منبع تغذیه و قطعه ریخته‌گری یکسان باشد، باید نسبت^۲ (حجم/سطح) برای منبع تغذیه بزرگتر از نسبت^۲ (حجم/سطح) قطعه ریخته‌گری باشد. در هر قطعه ریخته‌گری نسبت حجم به سطح (V/A) را مادل سردشدن^۳ می‌نامند.

(۲) منبع تغذیه باید در زمان انجماد ریخته‌گری مذاب باقی بماند. معادله چورینف راهنمای خوبی برای تعیین اندازه منبع است. قطعاتی که نسبت حجم به سطح آنها بالا باشد (کره یا مکعب) نسبتاً به آهستگی سرد می‌شوند و در نتیجه نسبت به اندازه خود به منبع تغذیه بزرگتر نیاز دارند. قطعاتی که همان حجم کره یا مکعب قبلی را دارا باشند اما نسبت حجم به سطح آنها پایین باشد (ورق‌ها، میله‌ها) به سرعت منجمد می‌شوند که در نتیجه به منبع تغذیه کوچکتری نیاز دارند. برای

^۱ cill

^۲ blind riser

^۳ Cooling Modulus

مثال، قطعه مکعبی شکلی به وزن ۱۰۰ lb به منبع تغذیه‌ای به وزن ۱۰۰lb نیاز دارد، اما برای ورقی به ضخامت یک اینچ و وزن ۱۰۰ lb فقط منبع تغذیه‌ای به وزن ۱۵ lb کفایت می‌کند.

روشهای محاسبه حجم (اندازه‌ی) منبع تغذیه

برای محاسبه‌ی اندازه‌ی منبع تغذیه و امکان تامین مذاب در مدت زمان انجماد قطعه، روش‌های متعددی ابداع شده است که برخی از آنها عبارتند از

۱. روش فاکتور شکل (Shape factor method):

۲. روش هندسی (Geometrical Method)

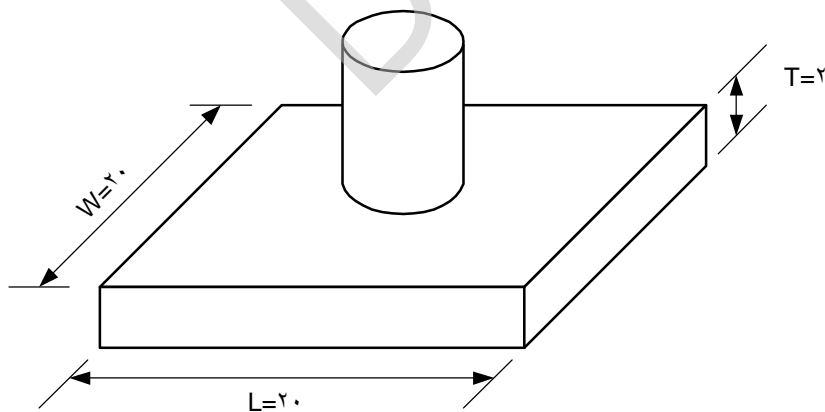
۳. روش مادول (Modulus Method)

۴. روش کامپیوتری (Computerized Method)

۱. روش فاکتور شکل یا روش آزمایشگاه تحقیقاتی نیروی دریایی

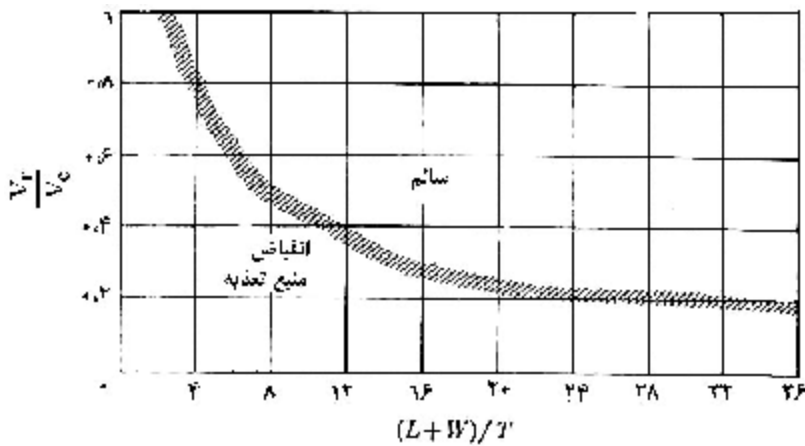
بر اساس نظریه آقای کاین (Caine) و تحقیقات آزمایشگاه تحقیقاتی نیروی دریایی (NRL) آمریکا، روش ساده‌ی جدیدی برای تعیین حجم منبع تغذیه معرفی شده است. در این روش اندازه‌ی منبع تغذیه، بر اساس محاسبه‌ی فاکتور شکل (Shape factor)، مجموع طول و عرض قطعه ریختگی تقسیم بر ضخامت آن، تعیین می‌شود. مزیت عمده‌ی این روش حذف محاسبات سعی و خطاست. این روش بر مبنای محاسباتی استوار است که نشان می‌دهد نسبت (حجم منبع تغذیه به حجم قطعه) برای قطعات بزرگ بایستی بالا باشد زیرا نسبت (سطح به حجم) آنها نسبتاً پائین است. سهولت این روش در معرفی ضریب شکل $(L+W)/T$ به جای محاسبات پر زحمت برای تعیین نسبت سطح به حجم در ریخته‌گریهای پیچیده است، که L طول، W عرض و T ضخامت (حداکثر ابعاد قطعه اصلی) است. برای مثال اگر یک قطعه ریخته‌گری دارای تعدادی ضمام کوچک باشد در محاسبات ضریب شکل وارد نمی‌شود اما در محاسبات حجم وارد می‌شود. برای روشن شدن مطلب به مثال‌های زیر توجه شود.

برای محاسبه منبع تغذیه ورقی به ابعاد مشخص شده در شکل زیر به روش زیر عمل می‌شود.



$$\frac{L+W}{T} = \frac{20+20}{2} = 20$$

با استفاده از منحنی زیر و استفاده از این فاکتور شکل فوق



شکل: نمودار تغذیه گذاری فولاد (تقریباً ۲٪ تا ۵٪ درصد کربن)

خواهیم داشت.

$$\frac{V_r}{V_c} = 0.25$$

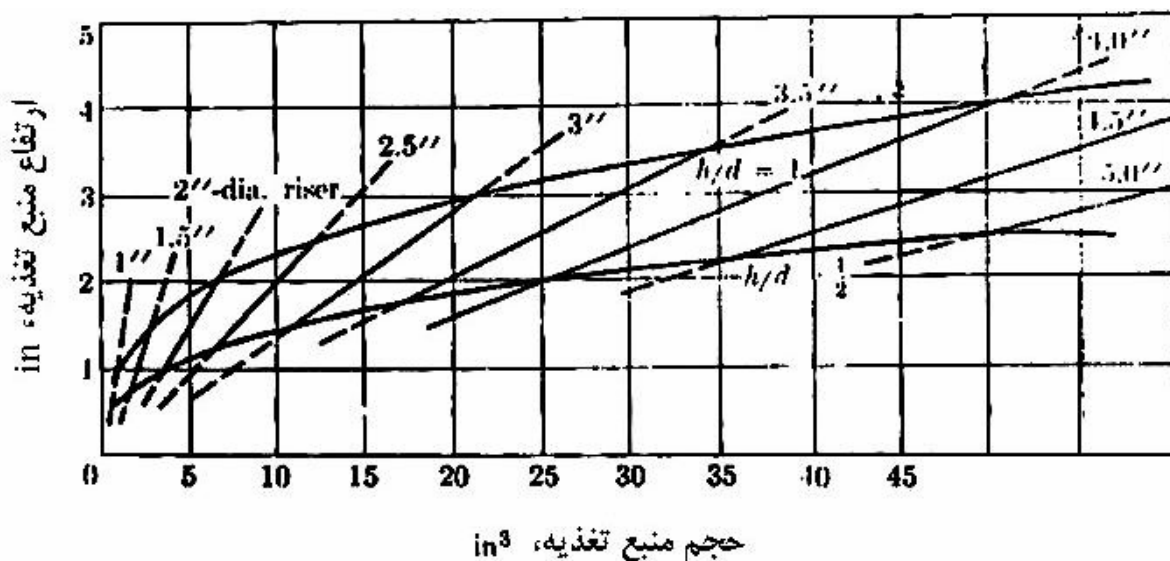
یا

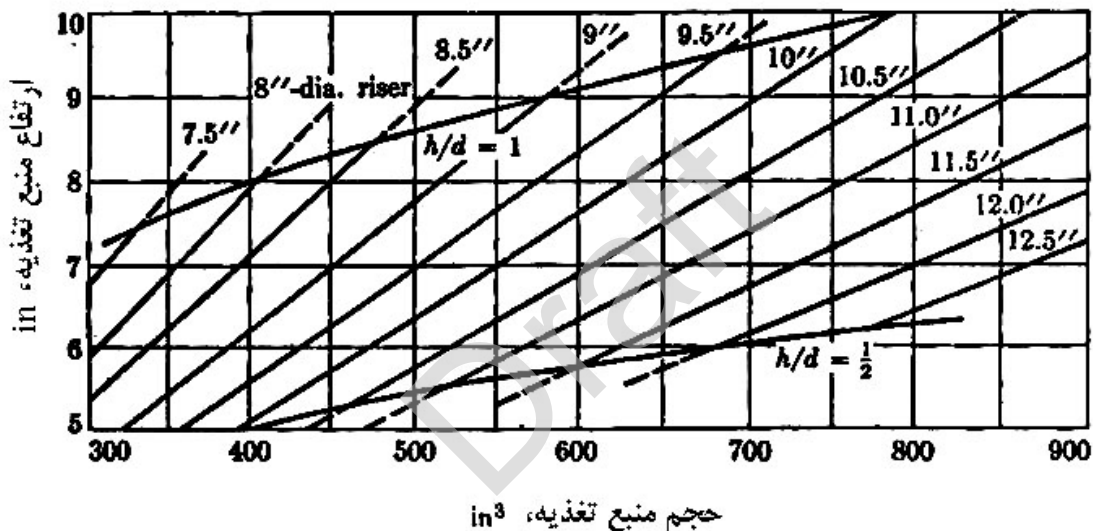
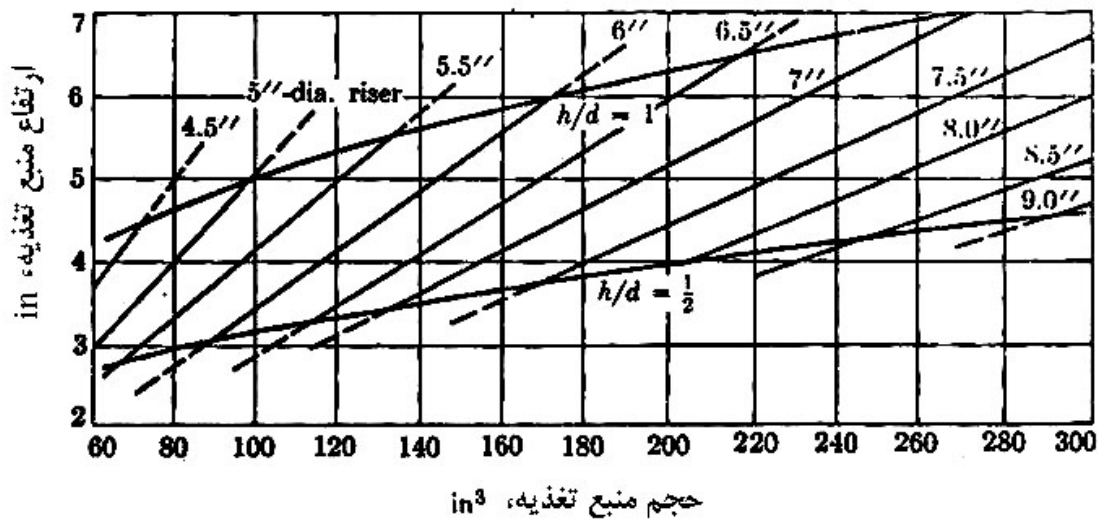
$$V_c = 20 \times 20 \times 2 = 800 \text{ in}^3$$

که در نتیجه

$$V_r = 800 \times 0.25 = 200 \text{ in}^3$$

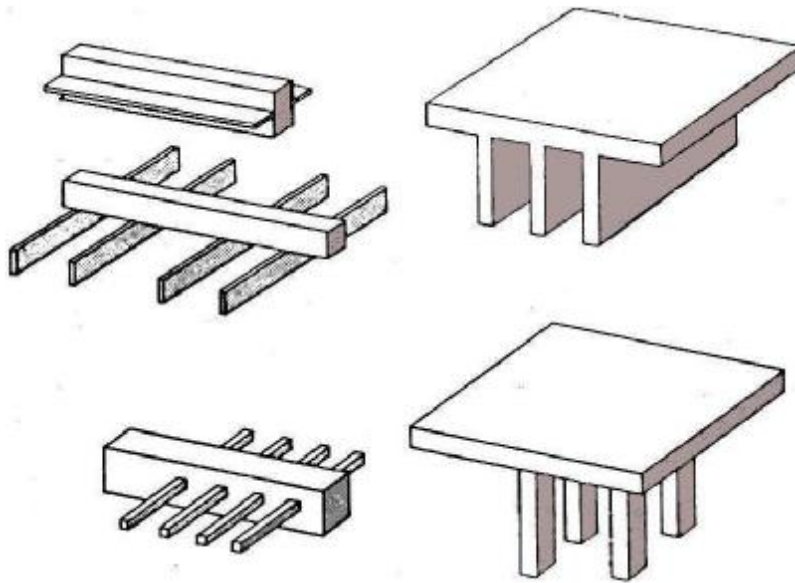
مثال عملی دیگر محاسبه‌ی اقتصادی‌ترین اندازه‌ی منبع تغذیه برای ریخته‌گری قطعه فولادی به ابعاد $5 \times 10 \times 2 \text{ in}$ است. در این مورد نیز، ابتدا با محاسبه ضریب شکل $(L+W)/T$ که در این مورد برابر $7.5 (= (10+5)/2)$ است، محاسبه را شروع می‌کنیم. سپس با استفاده از شکل فوق نسبت V_r/V_c یا (حجم تغذیه به حجم قطعه ریخته‌گری) را بدست می‌آوریم که برابر 0.55 می‌باشد. از آنجاییکه حجم این قطعه ریخته‌گری برابر 100 in^3 است حجم منبع تغذیه لازم برابر $55 \text{ in}^3 = 0.55 \times 100$ می‌باشد. با استفاده از شکل زیر می‌بینیم که این حجم به منبع تغذیه‌ای به قطر $4/5$ اینچ و ارتفاع $3/5$ اینچ نیاز دارد.





شکل ۱۱_ نمودار برای تبدیل حجم تغذیه به ابعاد

به طور تجربی می‌توان نشان داد که برای منابع تغذیه جانبی، اقتصادی‌ترین نسبت h/d برابر یک و برای منابع تغذیه فوقانی برابر $\frac{1}{2}$ است. بنابراین، اگر این قطعه با منبع تغذیه جانبی تغذیه شود، با استفاده از منحنی‌های شکل ۱۱ بهترین ابعاد $H = 4.25$ in و $D = 4.25$ in است، اما برای منبع تغذیه فوقانی $H = 2.63$ in و $D = 5.25$ in بهترین ابعاد به شمار می‌رود. برای ورق دایره‌ای شکل به قطر ۱۰ اینچ و ضخامت ۲ اینچ ضریب شکل برابر $\frac{L+W}{T} = \frac{10+10}{2} = 10$ است، برای محاسبه اندازه منبع تغذیه از حجم واقعی ورق یعنی 157 in^3 استفاده می‌کنیم. همچنین برای استوانه‌ای به قطر ۴ اینچ و ارتفاع ۱۰ اینچ ضریب شکل برابر $\frac{L+W}{T} = \frac{10+4}{4} = 3.5$ است که در این مورد نیز از حجم واقعی استوانه برای محاسبه اندازه منبع تغذیه استفاده می‌شود. در عمل نتایج روش کاین و روش NRL برای قطعات ساده با هم برابر است اما برای قطعات پیچیده‌ای که دارای ضمام زیاد است، مانند شکل ۱۲ که دارای ضمام پشت‌بند (rib) نازک دیگری هستند روش NRL اعمال می‌شود. اگر پشت بندها یا دیگر ضمام نازک باشند بر زمان انجماد قطعه اصلی تاثیری ندارند. فقط افزایش جزئی در فلز مذاب منبع تغذیه ضروری است تا ضمام را تغذیه کند.



شکل ۱۲- مثال هایی از قطعات ریخته گری به شکل های مختلف

محاسبه حجم اضافی منبع تغذیه بر حسب درصد فلز مذابی که بایستی به آن اضافه شود در شکل زیر داده شده است.



شکل ۱۳- درصد حجم ضمیمه که باید برای محاسبه اندازه منبع به حجم قطعه اصلی اضافه شود.

کلیه ضمامم را می توان به صورت میله یا ورق در نظر گرفت (وقتی عرض سطح مقطع بیش از ۳ برابر ارتفاع آن باشد ورق و اگر کمتر باشد آن را میله در نظر می گیریم). به علت اینکه نسبت سطح به حجم میله بیشتر از یک ورق است سرعت سرد شدن یک میله با ضخامت مساوی با ورق، از ورق بیشتر است. این موضوع در مورد ورقی که میله را تغذیه می کند واضح است. ورقی به ضخامت یک اینچ، مساوی میله ای به ضخامت ۱٫۶ اینچ است

در این اندازه سرعت سرد شدن هر دو با هم برابر است و میله باید به عنوان $V_{parent} = 1.6 \rightarrow \frac{t_p}{t_c} = 1.6$

قسمتی از قطعه ریخته گری اصلی در نظر گرفته شود. با وجود این وقتی ورقی توسط یک میله تغذیه شود به ۶۰٪ ضخامت میله برسد دیگر نباید آن را به عنوان ضمیمه و طفیلی در نظر گرفت. برای روشن شدن مطلب فرض کنید یک برآمدگی با سطح مقطع 1 in^2 و طول 4 in به ورقی با ابعاد $2 \text{ in} \times 5 \text{ in} \times 10$ اضافه شده باشد این برآمدگی در محاسبات ضریب شکل وارد نمی شود و در نتیجه ضریب شکل برابر با $\frac{7}{5}$ است و حجم میله ضمیمه (برآمدگی)

شکل $\frac{L+W}{T} = \frac{1+5}{2} = 7/5$

برابر با $4 \text{ in}^3 (= 1^3 \times 4)$ می‌باشد با توجه به شکل ۱۳ واضح است که ۳۰ درصد حجم میله ضمیمه یا $1.2 \text{ in}^3 (= 0.3^3 \times 4)$ باید به حجم قطعه اصلی اضافه شود و از روی آن حجم منبع تغذیه تعیین شود یعنی:

$$1.0 \times 5 \times 2 + 1.2 = 10.2 \text{ in}^3$$

نتیجتاً حجم منبع تغذیه برابر خواهد بود با

$$10.2 \times 0.55 = 5.61 \text{ in}^3$$

ریخته‌گری استوانه‌های توخالی نیز حالت خاصی می‌باشد زیرا انتقال حرارت از جوانه مرکزی محدود می‌شود و سرعت سرد شدن قطعه به عنوان یک کل از ورقی با همان ضخامت کمتر است ساده‌ترین روش در نظر گرفتن آن به صورت یک ورق است اما باید آن را تصحیح کرده و ورق معادل با ضخامت موثر را به روش زیر تعیین نماییم. اگر T ضخامت واقعی دیواره استوانه و T_e ضخامت موثر ورق باشد، می‌توانیم از تقریب‌های زیر استفاده نماییم.

قطر جوانه نسبت به ضخامت	$\frac{1}{2}T$	$1T$	$2T$	$4T$	ورق مسطح
ضریب تصحیح (K)	۱,۱۷	۱,۱۴	۱,۰۲	۱,۰	(۱,۰)

$$T_e = kT$$

به عنوان مثال استوانه‌ای به قطر خارجی 12 in و قطر داخلی 4 in و ارتفاع 12 in را در نظر بگیرید. از جدول فوق ضخامت ورق معادل آن را محاسبه می‌کنیم.

$$\frac{12 - 4}{2} = 4 \text{ in} \quad \text{ضخامت دیواره}$$

قطر داخلی برابر با ضخامت است ($1T$) که در نتیجه K برابر با 1.14 می‌باشد در نتیجه:

$$T_e = 1.14 \times 4 = 4.56 \text{ in}$$

$$SF = \frac{1p + 12}{4.56} = 8.14 \quad \text{ضریب شکل}$$

با استفاده از شکل خواهیم داشت.

$$\frac{V_r}{V_c} = 0.47 \quad \rightarrow \quad V_r = 0.47 V_c$$

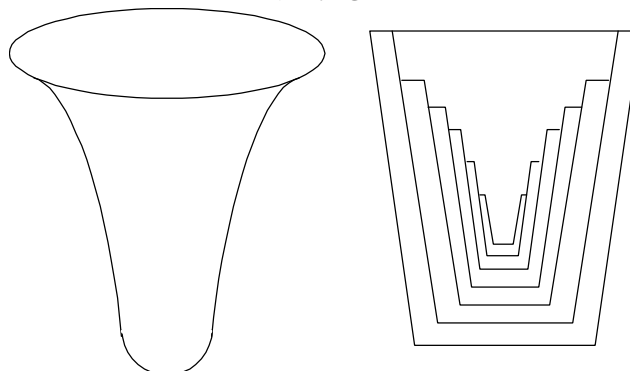
$$V_r = 0.47(6^2 - 2^2)p \times 12 = 567 \text{ in}^3$$

که با توجه به شکل

$$D = 11.5 \text{ in} \quad \text{و} \quad H = 5.5 \text{ in}$$

۲. روش هندسی (Geometrical Method)

در این روش ابداعی از شکل مخروطی حفره‌ی انقباض که در منبع تغذیه تشکیل شده و به طور هم‌زمان فلز را به داخل قطعه، تغذیه کرده و از دیواره‌ها به سمت داخل منجمد می‌شود، بهره گرفته شده است.



سپس شکل مخروطی حفره‌ی انقباض به لوله‌ای استوانه‌ای ساده می‌شود. اندازه‌ی این لوله به وزن قطعه ریختگی و درصد انقباض (هم انقباض سرد شدن مذاب و هم انقباض حاصل از انجماد مذاب) بستگی دارد. برای این کار از منحنی‌ها (نوموگراف) و جداول مناسبی استفاده می‌شود. برای تعیین اندازه لوله برای آلیاژ معین و اندازه قطعه و برای نسبت‌های متعددی از ارتفاع لوله H_p تقسیم بر قطر لوله D_p مطابق شکل زیر، اندازه‌ی واقعی منبع تغذیه با احاطه کردن لوله با منبع تغذیه‌ای به ضخامت دیواره W که در آن

الف) برای قطعات ورق مانند، ضخامت قطعه ریختگی $W =$

ب) برای قطعات مکعبی شکل، طول ضلع مکعب $W = 0.35$

ج) برای میله‌های مدور W دو (۲) برابر با قطر میله

قطر نهائی منبع تغذیه D_r برابر خواهد بود با

$$D_r = D_p + 2W$$

ارتفاع کل منبع تغذیه H_r نیز برابر است با

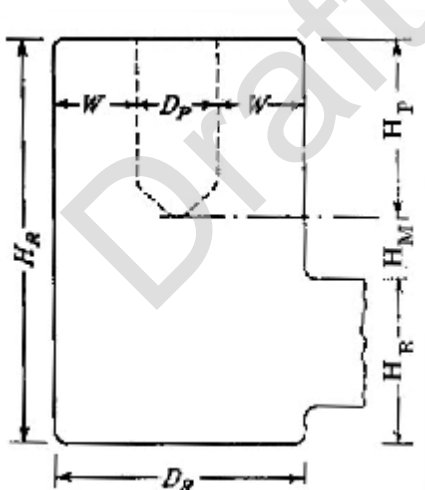
$$H_r = H_p + H_m + H_b$$

که در این رابطه

H_p ارتفاع لوله

H_m ارتفاع مقطع میانی

H_b ارتفاع پایه (بالا تر از محل اتصال منبع تغذیه به قطعه)



شکل ۱۴ سطح مقطع حفره استوانه‌ای در منبع تغذیه جانبی

محاسبه منبع تغذیه آهن چکش‌خوار به روش فوق بسیار موفقیت‌آمیز است. همانگونه که در فوق اشاره شد، این روش براساس اندازه‌گیری واقعی حفره استوانه‌ای ایجاد شده به علت انقباض در قطعه ریخته‌گری و سیستم تغذیه که برای تولید قطعه سالم لازم است استوار است. این اندازه‌گیری را با پر کردن حفره استوانه‌ای از آب و سپس اندازه‌گیری حجم آب داخل استوانه، انجام می‌دهند. اگر چنین اندازه‌گیری امکان‌پذیر نباشد، درصد انقباض را می‌توان بر اساس مشخصات قبلی قطعه تخمین زد. با استفاده از شکل ۱۴ به شرح زیر است.

الف: ابتدا وزن قطعه ریخته‌گری تعیین می‌شود.

ب: سپس با استفاده از فرمول زیر، حجم مذاب مورد نیاز برای تغذیه قطعه تعیین می‌شود.

$$V_f = \frac{m \times R_p}{r}$$

که در این رابطه

V_f	حجم فلز تغذیه مورد نیاز (برای چدن سفید حدود ۶ درصد و وزن هر اینچ مکعب مذاب حدود ۰,۲۷ پوند است).
m	وزن قطعه ریختگی
R_f	درصد فلز تغذیه (درصد انقباض)
r	وزن یک اینچ مکعب مذاب

ج: آنگاه D_p و H_p یعنی قطر و ارتفاع حفره استوانه‌ای محاسبه می‌شود.

$$V_f = p \left(\frac{D_p}{2} \right)^2 \times H_p$$

واضح است که ادغام‌های مختلفی از مقادیر D_p و H_p می‌تواند V_f را ایجاد کند، اما اندازه‌گیری‌های D_p و H_p از حفره‌های استوانه‌ای ایجاد شده در منبع‌های تغذیه تعدادی قطعه ریخته‌گری نشان می‌دهد که H_p حدوداً ۱,۵ تا ۳ برابر D_p است. نسبت بهینه $H_p:D_p$ حدود ۱ : ۲,۵ است. این مقادیر را می‌توان در معادله قرار داد و V_f را بدست آورد. آسان‌ترین روش استفاده از نمودار شماره ۱۵ می‌باشد.

برای منبع تغذیه‌ای به حجم 6 ft^3 که نسبت $H_p:D_p$ برابر ۱:۲,۵ باشد، با توجه به نمودار شماره ۱۵، اگر فقط از یک منبع استفاده شود مذاب تغذیه را می‌توان با استوانه‌ای با $H_p = 3,6 \text{ in}$ و $D_p = 1,45 \text{ in}$ تامین نمود و نیز اگر قرار باشد از چند منبع استفاده شود روش عمل برای هر منبع شبیه روش فوق است. د: آنگاه D_r تعیین می‌شود، D_r قطر منبع است که در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

$$D_r = 2W + D_p$$

که در این رابطه W عبارت از ضخامت قطعه ریختگی است و برابر با ضخامت موثر ورق یا نصف قطر میله‌ای است که باید تغذیه شود و یا در مکعب‌ها برابر با $0,35E$ است که E طول ضلع مکعب است. **مثال:** قطعه‌ای دایره‌ای شکل به وزن 27 lb با سطح مقطع یکنواخت به ضخامت $0,75 \text{ in}$ را در نظر بگیرید. حجم منبع تغذیه آن برابر است با

$$V_f = \frac{27 \times 0,06}{0,27} = 6 \text{ in}^3$$

D_p و H_p در مراحل ب و ج تعیین شدند. اگر از یک منبع استفاده شود، آنگاه

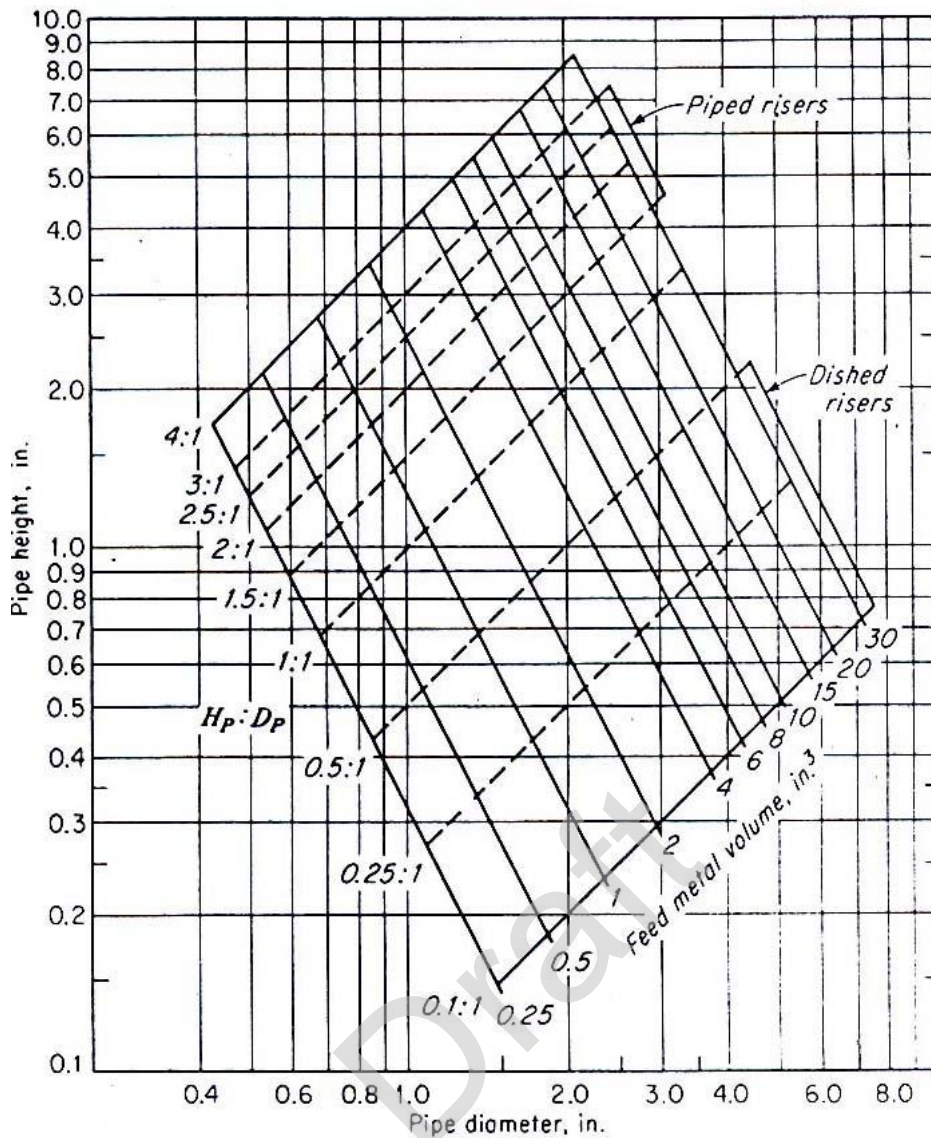
$$D_r = 2 \times 0,75 + 1,45 = 2,95 \text{ in}$$

است. اما اگر از دو منبع استفاده شود که هر کدام 3 in^3 تغذیه انجام دهند، آنگاه برای هر منبع

$$D_p = 1,125 \text{ in}$$

$$H_p = 2,8 \text{ in}$$

$$D_r = 2 \times 0,75 + 1,125 = 2,625 \text{ in}$$



شکل ۱۵- نمودار رابطه بین HP، DP و حجم فلز تغذیه

تمرین ۱: زائده‌ی کوچکی به ابعاد $1 \times 3,5 \times 20$ in^۳ به صورت طولی به میله‌ای به ابعاد $3 \times 5 \times 20$ in^۳ متصل است. منبع تغذیه اقتصادی را برای ریخته‌گری بی‌عیب این مجموعه محاسبه کنید.

تمرین ۲: زائده‌ی کوچکی به ابعاد $3 \times 3 \times 30$ in^۳ به صورت طولی به قطعه‌ای به ابعاد $10 \times 20 \times 30$ in^۳ متصل است. منبع تغذیه اقتصادی را برای ریخته‌گری بی‌عیب این مجموع محاسبه کنید و تعیین کنید که آیا یک منبع تغذیه برای تغذیه این قطعه کفایت می‌کند یا خیر؟

۳. روش مادول

روش مادول (Modulus Method) بر این ایده بنا شده است که زمان انجماد قطعه یا قسمتی از قطعه ریخته‌گری را می‌توان با رابطه چورینف به طور تقریبی تخمین زد.

$$t = B \left(\frac{V_c}{A_c} \right)^y = k^y M_c^y$$

که در این رابطه

B یا k^y ثابتی است که بر خواص فلز و قالب حاکم است.

برای محاسبه عملی منبع تغذیه، به محاسبه زمان واقعی انجماد نیازی نیست. فقط تعیین زمان انجماد نسبی کفایت می‌کند، لذا

$$t \propto \frac{V_c}{A_c}$$

که $\frac{V_c}{A_c}$ را مادول سردشدن یا مادول ریختگی می‌نامند که معمولاً برای فولادها

$$M_r = 1.2 M_c$$

است.

روش تغذیه‌گذاری چورینف

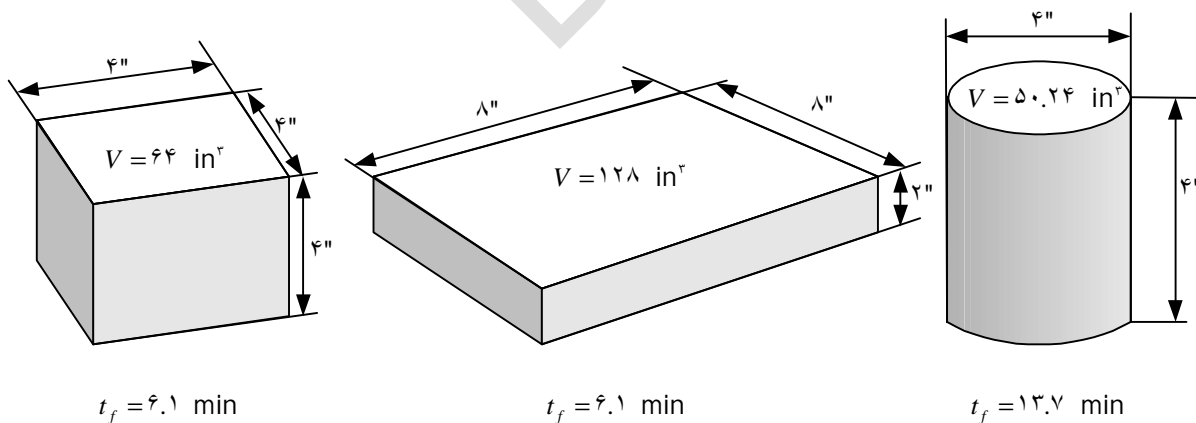
اولین و مشهورترین روش کمی در تغذیه‌گذاری مربوط به چورینف است. او نشان داد که زمان لازم برای انجماد کامل یک قطعه ریختگی از فرمول زیر تبعیت می‌کند.

$$t_f = B \left(\frac{V}{A} \right)^2$$

که برای افزایش زمان انجماد، باید حجم، V ، افزایش و یا سطح، A ، کاهش یابد. لذا کوششهایی برای محاسبه اندازه منبع تغذیه با استفاده از فرمول چورینف صورت گرفته است در این روش قطعه و منبع، به صورت دو قطعه ریخته‌گری مجزا از هم در نظر گرفته می‌شود و با فرض یکسان بودن مواد قالب اطراف قطعه و منبع تغذیه، اندازه منبع طوری تعیین می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$\left(\frac{V}{A} \right)_{Riser} > \left(\frac{V}{A} \right)_{Casting}$$

این کوششها چندان موفق نبوده است زیرا معادله چورینف، انقباض حاصل از انجماد را در نظر نمی‌گیرد. برای مثال، سه شکل زیر را در نظر بگیرید



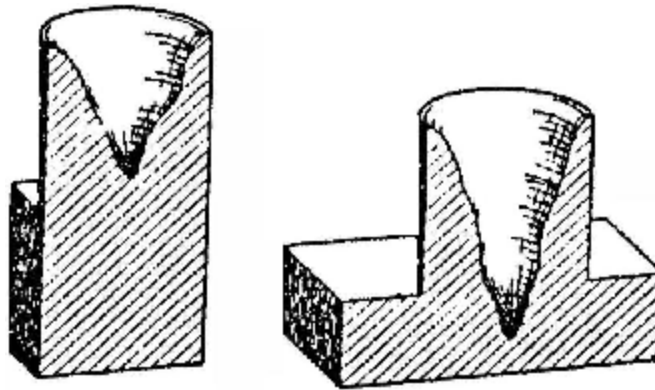
شکل ۲: زمان‌های انجماد برخی قطعات ساده ریخته‌گری (فولاد در ماسه)

استوانه‌ای بقطر ۴ اینچ و ارتفاع ۴ اینچ، بطوری عایق‌بندی شده است که حرارت فقط می‌تواند از طریق سطوح جانبی آن انتقال یابد

B که ثابت قالب^۱ ماسه‌ای برای ریخته‌گری فولاد است، برابر 13.7 min/in^2 است. با استفاده از فرمول چورینف، زمان انجماد استوانه برابر 13.7 دقیقه و زمان انجماد هر کدام از دو قطعه دیگر یعنی مکعب و ورق، برابر 6.1 دقیقه است. از

^۱ Mold constant

آنجائیکه زمان انجماد استوانه تقریباً دو برابر زمان انجماد ورق و مکعب است انتظار می‌رود که بتوان استوانه را به عنوان منبع تغذیه به مکعب یا ورق متصل کرد (شکل زیر)



شکل: تغذیه‌گذاری مکعب و ورق

همانطوری که از نتایج مشاهده می‌شود منبع، مکعب را تغذیه می‌کند اما ورق دارای حفره انقباضی بزرگی است. این حفره از آن جهت ایجاد می‌شود که حجم ورق، از حجم مکعب بسیار بزرگتر است و به عنوان تغذیه به مذاب بیشتری نیاز دارد، هر چند این دو، زمان انجماد مساوی دارند. در نتیجه برای تغذیه کامل، به طور همزمان، برآورده شدن دو شرط زیر ضروری است.

الف: زمان انجماد منبع تغذیه از زمان انجماد قطعه ریخته‌گری بیشتر باشد.

ب: منبع تغذیه، مذاب کافی برای جبران انقباض را تامین کند.

۴. روش کامپیوتری (Computerized Method)

در طی دهسال اخیر، برنامه‌های کامپیوتری متعددی برای طراحی منبع تغذیه ارائه شده است که بر مبنای طراحی، به دو دسته تقسیم می‌شوند.

الف) دسته اول: نرم‌افزارهای تعیین اندازه منبع تغذیه که بر مبنای یکی از سه روش فوق بنا شده‌اند.

ب) دسته دوم: نرم‌افزارهای مشابه‌سازی انجماد که بر مبنای محاسبات انتقال حرارت، برای پیش‌بینی عملکرد منبع تغذیه (بیشرفت انجماد در قطعه ریخته‌گری و منبع تغذیه) طراحی شده‌اند.

روش کاین

حجم منبع تغذیه بایستی برای تامین فلز مذاب مورد نیاز، انقباض ایجاد شده بر اثر سرد شدن مذاب و انقباض حاصل از انجماد کافی باشد. علاوه بر این، منبع تغذیه خود منجمد خواهد شد بنابراین نیاز به کل انقباض مجموع قطعه و منبع تغذیه، بایستی برآورده شود. کاین (Caine) برای محاسبه اندازه منبع تغذیه، فرمول زیر را پیشنهاد کرده است.

$$x = \frac{a}{y-b} + c$$

در این فرمول $x = \frac{(A_c/V_c)}{(A_r/V_r)}$ نسبت انجماد است، که بایستی از ۱:۱ بیشتر باشد. همچنین در رابطه فوق

A_c مساحت سطح قطعه ریخته‌گری

V_c حجم قطعه ریخته‌گری

A_r مساحت سطح منبع تغذیه

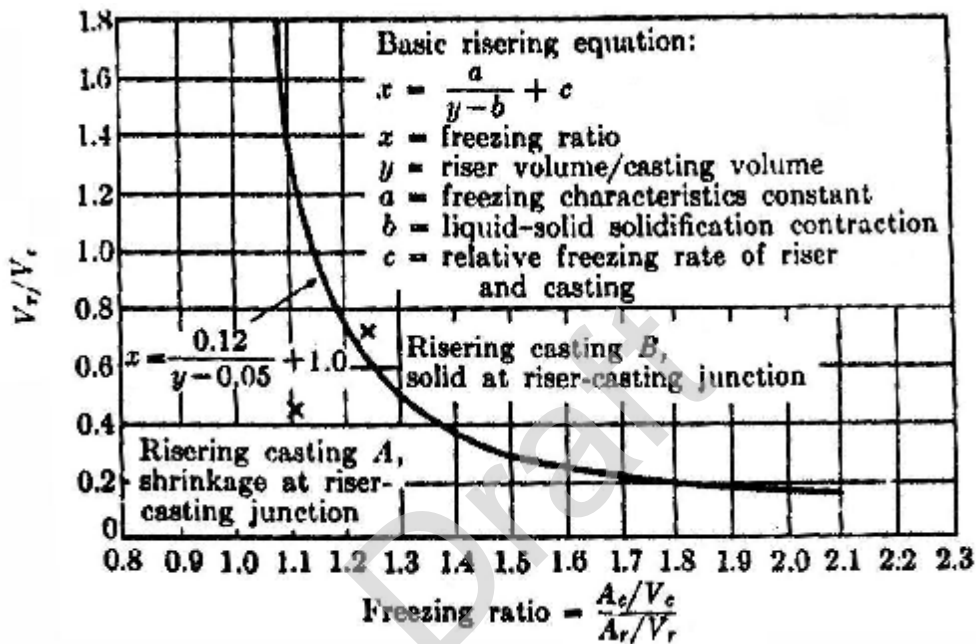
V_r حجم منبع تغذیه

$$y = \frac{V_r}{V_c} \text{ است و}$$

اعداد ثابت می‌باشند که از طریق آزمایش تعیین می‌شوند. این فرمول برای انجماد فولاد عبارتست از:

$$x = \frac{0.12}{y - 0.05} + 1$$

رابطه فوق در منحنی تغذیه‌گذاری هایپربولیک (شکل ۴) نشان داده شده است. کاین نسبت (سطح به حجم) را به عنوان ضریبی که نماینده زمان انجماد است و با نسبت x^2 (سطح/حجم) در فرمول چورینف نسبت عکس دارد استفاده می‌کند. دلیل کاین برای این موضوع آن است که انتقال حرارت تابعی از سطح قطعه ریخته‌گری است درحالی‌که مقدار حرارت تابعی از حجم است در نتیجه رابطه خطی (A/V) سرعت سرد شدن را تعیین می‌کند و در نتیجه با زمان انجماد نسبت عکس دارد.



شکل ۴-- منحنی تغذیه‌گذاری برای فولاد ۰٫۳ درصد کربن

بدیهی است که منبع تغذیه باید مذاب لازم را برای جبران حداقل انقباض تامین نماید که در مورد فولاد ۳٪ حجمی است. بنابراین، اندازه منبع تغذیه باید از ۳٪ حجم قطعه ریخته‌گری بیشتر باشد. این حالت حدی با بازده بالا، یعنی نسبت حجم قطعه ریخته‌گری به حجم منبع تغذیه بالا، فقط وقتی قابل حصول است که ورقهای فوق‌العاده نازک که دارای نسبت سطح به حجم بالائی هستند، ریخته‌گری می‌شوند. برای مثال، نسبت A/V برای ورقی با ابعاد $۱۰^*۱۰^*۰٫۱$ اینچ برابر است با:

$$\frac{A}{V} = \frac{۱۰۰ + ۱۰۰ + ۴ \times (۱۰ \times ۰/۱)}{۱۰ \times ۱۰ \times ۰/۱} = ۲۰/۴$$

ورقی با این حجم به ۰٫۳ in فلز تغذیه نیاز دارد.

$$(۱۰ \times ۱۰ \times ۰/۱ \times ۳/۰) / ۱۰۰ = ۰/۳ \text{ in}^2$$

نسبت A/V برای منبع تغذیه‌ای بشکل مکعب و با ابعاد ۰٫۵ in برابر است با

$$\frac{A}{V} = \frac{۰/۵ \times ۰/۵ \times ۶}{۰/۵ \times ۰/۵ \times ۰/۵} = ۱۲$$

این نتیجه نشان می‌دهد سرعت سرد شدن منبع تغذیه نسبت به ورق به مراتب آهسته‌تر است. اما مقدار فلز تغذیه برابر با $۰/۱۲۵ \text{ in}^3 (= ۰/۵ \times ۰/۵ \times ۰/۵)$ است که اگر کل آن نیز استفاده شود برای تغذیه کافی نیست به این دلیل منبع

تغذیه قطعات ریخته‌گری دارای نسبت سطح به حجم بالا، از منبع تغذیه‌ای که فقط با توجه به سرعت سرد شدن، محاسبه می‌شوند، بزرگتر می‌باشد. از طرفی، با جمع و جور شدن قطعه ریخته‌گری بطوریکه سرعت سرد شدن آن کاهش یابد همیشه مذاب کافی برای تغذیه در منبع تغذیه وجود خواهد داشت، زیرا برای سرد شدن با سرعت کم، منبع تغذیه نیز باید جمع و جور و در تمام ابعاد بزرگتر از قطعه ریخته‌گری باشد. برای مثال تغذیه مکعبی با ضلع ۴-in را در نظر می‌گیریم.

$$\frac{A}{V} = \frac{6 \times 4 \times 4}{4 \times 4 \times 4} = 1.5$$

منبع تغذیه‌ای به شکل استوانه با ارتفاع ۴٫۵ اینچ و قطر ۴٫۵ اینچ، برای ایجاد قطعه سالم ضروری است (جمع و جورترین استوانه آن است که قطر برابر ارتفاع باشد).

$$\frac{A}{V} = \frac{pdh + 2p(d^2/4)}{p(d^2/4)h} = \frac{6}{d} = \frac{6}{4.5} = 1.33$$

اکنون محاسبه زیر را انجام می‌دهیم.

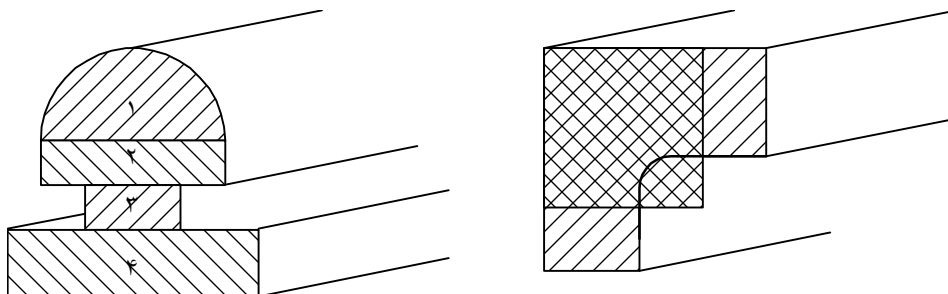
$$\frac{\left(\frac{A}{V}\right)_{\text{Casting}}}{\left(\frac{A}{V}\right)_{\text{riser}}} = \frac{1.5}{1.33} = 1.13$$

ونسبت حجمی برابر است با

$$\frac{V_{\text{riser}}}{V_{\text{casting}}} = \frac{71.5}{64.0} = 1.11$$


این مختصات در نمودار فوق صدق می‌کند. برای افزایش بازده از مبرد استفاده می‌شود.

در مواقعی که قطعه پیچیده باشد آن را به قطعاتی که شکل هندسی ساده دارند، تقسیم‌بندی می‌کنیم و سپس مادول سرد شدن (V/A) را برای هر قطعه به راحتی تعیین می‌کنیم. فقط سطوحی که در سرد شدن قطعه موثرند، در محاسبات منظور می‌شوند. سطوح فرضی (سطوح تماس) را در محاسبات حذف می‌کنیم. سپس حجم منبع تغذیه را با این اصل که باید مادول سرد شدن آن ۱/۲ برابر قطعه باشد تعیین می‌کنیم. منبع تغذیه ورقهای نازک نه فقط به مادول سرد شدن آنها بلکه به حجم مذاب تغذیه نیز بستگی دارد (شکل زیر).



شکل ۵- قطعات پیچیده و تقسیم آنها به قطعات ساده

مادول سرد شدن منبع تغذیه را با استفاده از مادول سرد شدن قطعه ریخته‌گری تعیین می‌کنند. اما به دلیل انقباض حاصل از انجماد تغییرات نامطلوبی در مادول منبع تغذیه صورت می‌گیرد، که برای از بین بردن آن از ضریب ۱/۲ استفاده می‌شود. شکل حفره انقباض نیز بیانگر حداکثر حجم مذاب قابل استفاده منبع تغذیه نسبت به حجم اولیه آن می‌باشد. منبع تغذیه استوانه‌ای شکلی را در نظر بگیرید که تحت شرایط سرد شدن عادی حفره انقباض آن به شکل زیر است.

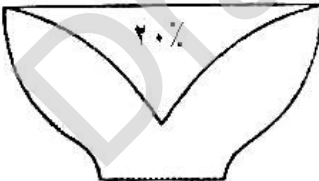
	طراحی راس Head Design
$V_S = 0,14 V_F$	رابطه انقباض V_S به حجم اولیه V_F
۷	فاکتور (تقریبی)

شکل ۶- ظرفیت بهره‌دهی منبع تغذیه استوانه‌ای نسبت به حجم اولیه آن

می‌توان نشان داد که سطح اضافه شده مادول سردشدن نهایی را تقریباً به ۷۵ درصد مادول قبل از انقباض، کاهش می‌دهد که در نتیجه ضریب ۱/۲ برای جبران کاهش زمان انجماد منظور می‌شود. حجم حفره انقباض که بیانگر حداکثر حجم مذاب قابل دسترسی برای تغذیه است به طور تقریب شامل ۱۴ درصد حجم اولیه است. بنابراین حداکثر حجم قطعه ریخته‌گری که می‌تواند با منبعی استوانه‌ای تغذیه شود از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$V_{\max} \text{ casting} = V_{\text{riser}} \times \frac{14 - S}{S}$$

در عبارت فوق، S ، انقباض ویژه آلیاژ بر حسب درصد است که انقباض منبع تغذیه نیز در آن منظور شده است. بهره‌دهی فلز در منبع‌های نیمه کروی بسیار موثرتر است.

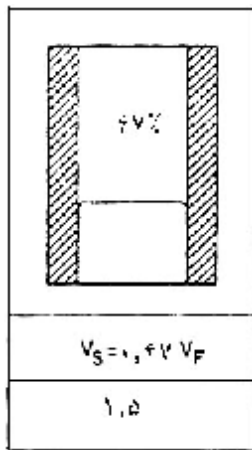

$V_S = 0,20 V_F$
۵

شکل ۷- ظرفیت بهره‌دهی منبع تغذیه نیم کره نسبت به حجم اولیه آن

در این منبع حفره انقباض عادی، ۲۰٪ حجم اولیه را نشان می‌دهد در این حالت

$$V_{\max} \text{ casting} = V_{\text{riser}} \times \frac{20 - S}{S}$$

موثرترین روش استفاده مذاب، در حالت استفاده از مواد گرمازا می‌باشد. زیرا لوله‌ای شدن از بین رفته و سطح مذاب به طور یکنواخت افت می‌کند.



شکل ۸- ظرفیت بهره‌دهی منبع تغذیه استوانه‌ای با پوشش مواد گرمازا

در این حالت ۶۷ درصد مذاب مصرف می‌شود.

$$V_{\max}(\text{casting}) = V_{\text{riser}} \times \frac{67 - S}{S}$$

ظرفیت تغذیه منبع، تعیین کننده‌ی حداکثر بهره‌دهی^۱ ریخته‌گری برای آلیاژ بخصوص است. بر مبنای مقادیر فوق آلیاژی با ۴٪ انقباض به ترتیب دارای حداکثر بهره‌دهی ۷۱، ۸۰، و ۹۴ درصد برای منبع‌های تغذیه استوانه‌ای نیم‌کروی و حالت گرمازاست.

روش آدامس و تیلور

برخورد اساسی‌تر با مسئله تغذیه که برخوردی نظری است توسط آدامس و تیلور صورت گرفته است تا بتوان رفتار منبع تغذیه را از ثابتهای گرمائی و انجماد پیش‌بینی کرد. برای محاسبه اندازه‌ی منبع تغذیه‌ی یک قطعه ریختگی مکعبی شکل، فرض بر آن است که فلز خالص دقیقاً در دمای انجماد به داخل قالب ماسه‌ای بارریزی می‌شود و انجماد با شیب حرارتی ناچیزی ادامه می‌یابد. قطعه ریختگی و منبع را به عنوان دو واحد مجزا در نظر می‌گیریم که با سطح غیر قابل نفوذ حرارت، از هم جدا شده‌اند که مذاب می‌تواند از این سطح عبور کند اما حرارت نمی‌تواند با هدایت یا همرفت از آن عبور کند. زیرا دمای مذاب دو طرف این سطح مساوی و برابر دمای انجماد است.

زمان انجماد قطعه مکعبی، t_f با استفاده از معادله چورینف برابر است با

$$t_f = B \left(\frac{V_c}{A_c} \right)^2$$

رابطه مشابه برای زمان انجماد منبع تغذیه نیز برابر است با

$$t_f = B \left(\frac{V_{rf}}{A_r} \right)^2$$

که A_r مساحت منبع تغذیه است و شامل سطح فوقانی منبع نیز می‌باشد زیرا حرارت از این سطح نیز منتقل می‌شود. اما سطح اتصال منبع به قطعه در محاسبه منظور نمی‌شود.

و V_{rf} نیز حجم فلز نهائی منجمد شده در منبع تغذیه است که از حجم حفره منبع تغذیه به مقدار انقباض حاصل از انجماد قطعه و منبع تغذیه کمتر است. این مقدار به عبارت ریاضی برابر است با

$$V_{rf} = V_r - b(V_r - V_c)$$

که V_r حجم حفره منبع تغذیه و β درصد انقباض حاصل از انجماد (برای فولاد برابر ۳ درصد) بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

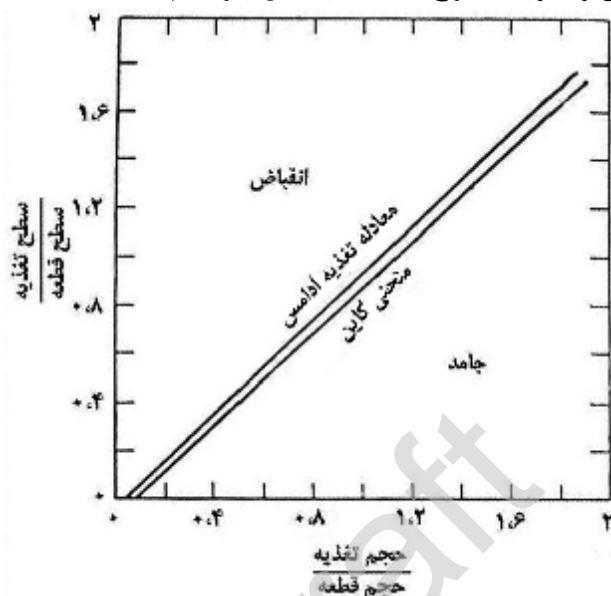
$$b = \frac{V_l - V_s}{V_l} = \frac{r_s - r_l}{r_l}$$

که V_l و V_s به ترتیب حجم مخصوص مذاب و جامد و ρ_l و ρ_s وزن مخصوص مذاب و جامد است.

منبع تغذیه‌ای که دارای اندازه بهینه باشد بایستی دقیقاً همزمان با قطعه منجمد شود در نتیجه از تساوی معادله ۱ و ۲ که به جای V_{rf} از معادله ۳ مساوی آن قرار داده شود، خواهیم داشت.

$$(1-b) \frac{V_r}{V_c} = \frac{A_r}{A_c} + b$$

معادله ۵- در آغاز توسط آدامس و تیلور استخراج شد که در شکل زیر رسم شده است.



شکل: نیاز به تغذیه‌گذاری در قطعات ریخته‌گری فولاد

(منحنی کاین حاصل نتایج تجربی است و منحنی آدامس با استفاده از معادله ۵ رسم شده است).

با عایق‌بندی منبع تغذیه، می‌توان راندمان آن را به مقدار زیادی افزایش داد. برای مثال فرض کنید منبع تغذیه کاملاً با لایه ضخیمی از عایق حرارتی مانند گچ محصور شده باشد، در حالی که قطعه در داخل ماسه، ریخته‌گری شود. در این مورد نیز روش تجزیه و تحلیل قبلی اعمال می‌شود، با این تفاوت که ثابتهای قالب، مساوی نبوده و در محاسبات منظور می‌شود، در نتیجه معادله تغذیه‌گذاری نهائی به صورت زیر خواهد بود.

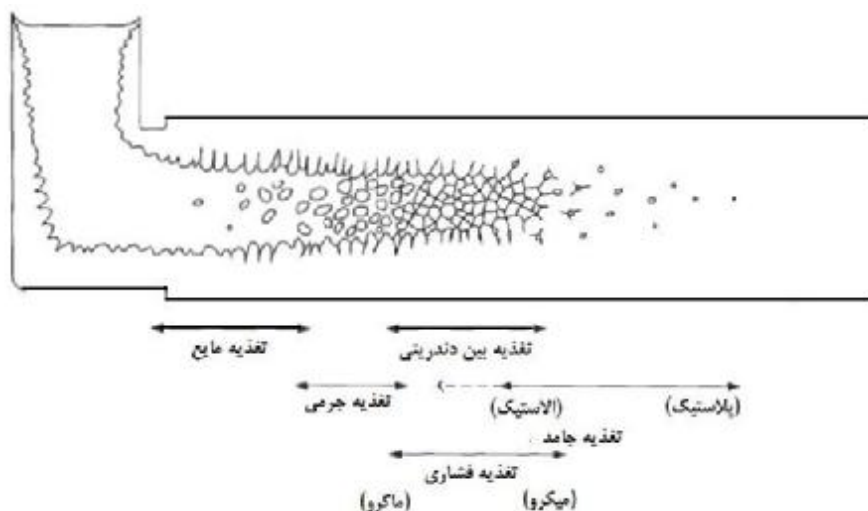
$$(1-b) \frac{V_r}{V_c} = \left(\frac{B_c}{B_r} \right)^{1/2} \frac{A_r}{A_c} + b$$

که B_c و B_r ثابتهای قالب در معادله چورینف می‌باشد.

پنج مکانیسم تغذیه

در طی انجماد قطعه ریختگی، پخش تدریجی و رشد جامد، اغلب به شکل توده‌ای از دندریته‌های درهم پیچیده باعث مشکل شدن عبور فلز تغذیه می‌شود. در حقیقت، با منقبض شدن فلز در حال انجماد و تشکیل جامد، فشار در مذاب افت می‌کند، باعث اختلاف فشار بیشتر بین داخل و خارج قطعه ریختگی می‌شود. در واقع فشار داخلی ممکن است بیشتر کاهش یابد و منفی شود و به عنوان کشش هیدروستاتیکی عمل کند. ایجاد چنین اختلاف فشارهای منفی و حتی کشش هیدروستاتیکی واقعی، در ریختگری نامطلوب است. چنین پدیده‌هایی نیروی محرکه شروع و رشد عیوب حجمی مانند تخلخل و فرورفتگی‌های سطحی و کاهش خواص است.

حداقل پنج مکانیسم تغذیه برای کاهش کشش هیدرواستاتیکی در ماده در حال انجماد وجود دارد. احتمالاً البته همه پنج مکانیسم نمی‌توانند در یک مورد واحد عمل کنند. تغذیه کافی با یک یا چند تا از این مکانیسم‌ها تنش در مذاب در حال انجماد را ازاد می‌کند و نتیجتاً احتمال تشکیل عیوب را کاهش می‌دهد. شش مکانیسم تغذیه در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل: ارائه شماتیک پنج مکانیسم تغذیه در قطعه در حال انجماد (کمپ بل ۱۹۶۹)

۱- تغذیه مایع:

انواع منبع‌های تغذیه

منبع‌های تغذیه انواع مختلفی دارد که عبارتند از:

۱- منبع بسته (پوشیده)

منبع تغذیه مرسوم، منبع تغذیه‌ای است که به اتمسفر باز است. منبع تغذیه بسته، منبع تغذیه‌ای است که با ماسه قالب پوشیده شده و معمولاً به گونه‌ای طراحی می‌شود که سطح بر واحد حجم آن حداقل باشد (شکل زیر).

شکل: سطح مقطع قطعه‌ی ریخته‌گری تغذیه شده با منبع بسته با هواکش اتمسفری ایجاد شده با ماهیچه مدادی

در مورد فولاد، که در حین انجماد پوسته‌ی جامدی تشکیل می‌دهد، کانال زودتر منجمد می‌شود، و قطعه و منبع تغذیه بسته، پوسته بسته‌ای از فلز تشکیل می‌دهند که به علت انقباضی که در حین انجماد اتفاق می‌افتد، ایجاد خلاء جزئی می‌کنند. با ایجاد انقباض در قطعه ریختگی، فلز از منبع تغذیه به داخل قطعه کشیده می‌شود تا آن را جبران کند. این موضوع حتی اگر منبع تغذیه، از قطعه ریختگی بالاتر نباشد، اتفاق می‌افتد، ولی شیب حرارتی باید طوری باشد که ابتدا قطعه منجمد شود. البته اگر ارتفاع منبع تغذیه از ارتفاع قطعه بیشتر باشد، مزیت اضافی نیز حاصل می‌شود. علاوه بر این، اگر پوسته‌ی قطعه به اندازه کافی قوی باشد و پوسته منبع تغذیه بسته، سوراخ شود، تا فشار اتمسفر اعمال و اثر کند، در آن صورت منبع می‌تواند قطعه‌ای با ارتفاع بیشتر از خود را تغذیه کند، فشار اتمسفر، فلز مذاب را با فشار به داخل فضاهای انقباض می‌راند. پوسته‌ی منبع را می‌توان با لائی گذاشتن ماهیچه‌ی ماسه‌ای یا گرافیتی به اتمسفر باز نگاهداشت (شکل). وقتی منبع تغذیه بسته‌ای به این طریق، استفاده شود بنام منبع تغذیه‌ی اتمسفری یا فشاری نامیده می‌شود. منبع تغذیه بسته مزایایی دارد که از آنجمله:

۱. گرمترین فلز در منبع و سردترین آن در قطعه است که در نتیجه انجماد جهت‌دار می‌شود.
۲. گستره قابل ملاحظه‌ای در قرار دادن منبع تغذیه بسته ایجاد می‌شود.
۳. منبع تغذیه بسته می‌تواند از منبع‌های تغذیه باز کوچک‌تر باشد.

۴. منبع تغذیه بسته می‌تواند به سهولت از قطعه جدا شود.

از معایب منبع تغذیه بسته، بویژه اگر مقطعی را که ارتفاع بالاتری دارد تغذیه کند، آن است که شکست در پوسته قطعه فشار را متعادل می‌کند و تاثیر منبع را کاهش می‌دهد.

۲- منبع تغذیه داخلی

منبع تغذیه‌ای که به طور کامل یا تا حدودی با قطعه ریخته‌گری محصور شده باشد، بنام منبع تغذیه داخلی نامیده می‌شود. این نوع منبع‌ها را می‌توان در داخل قطعات ریخته‌گری دوار یا استوانه‌ای بکار برد. از آنجائیکه این منبع‌ها با قطعه محبوس شده‌اند، سرعت سرد شدن آنها از سرعت شدن منبع‌های تغذیه‌ای که در قسمت فوقانی یا جانبی قطعه قرار گرفته‌اند، کمتر است. این بدین معنی است که می‌توان آنها را کوچک‌تر در نظر گرفت و در نتیجه بهره‌دهی قطعه را افزایش داد. دو نوع از این منبع‌ها در شکل‌های زیر نشان داده شده‌اند.

شکل: مثالهایی از الف) منبع تغذیه روباز ب) منبع تغذیه بسته داخلی ۹,۲۰ رزنتال

تجمع قطعات ریخته‌گری

در رابطه با استفاده از منبع تغذیه‌های داخلی افزایش راندمان می‌باشد اگر چندین قطعه ریخته‌گری را بتوان با هم در اطراف یک منبع تغذیه مجتمع نمائیم. یک منبع نه فقط چندین قطعه را تغذیه می‌کند بلکه تجمع قطعات نزدیک منبع باعث کاهش سرعت سرد شدن آن می‌شود. بطوریکه می‌توان از منبع کوچکتری استفاده کرد (شکل ۹,۲۱ رزنتال)

انبساط و اتساع قالب

پس از پر شدن حفره قالب با فلز مذاب، حرکت دیواره‌های قالب می‌تواند قطعه ریخته‌گری را بزرگتر کند و نتیجتاً فلز مذاب مورد نیاز برای تغذیه را افزایش دهد. چنین انبساطی، تابع ماده قالب، دمای بارریزی، و نوع آلیاژ است. در مورد چدن خاکستری و داکتایل، اتساع ممکن است از ناحیه فشارهای انبساطی داخلی قطعه در حال انجماد، که از رسوب گرافیت ناشی می‌شود، ایجاد شود. در قالب‌های ماسه‌ای نرم، چنین اتساعی ممکن است نیاز به فلز تغذیه را از مقدار محاسبه شده، تا ۱۵٪ افزایش دهد. در مورد آلیاژهای پایه مسی که در قالب‌های ماسه‌ای ریخته‌گری می‌شوند، حدود ۱٪ حجمی اتساع ایجاد می‌شود.

ه: طراحی بخش ایجاد فشار

اعمال فشار بر فلز مذاب، در مراحل نهائی تغذیه قطعه، تابعی از H_m است. قطر قسمت اعمال فشار همان قطر مقطع منبع تغذیه D_r می‌باشد. ارتفاع بخش ایجاد فشار H_m به محل بالاترین نقطه‌ای که باید تغذیه شود، بستگی دارد. برای آلیاژهای هیپو یونکتیک، مانند چدن سفید، H_m بایستی حداقل ۱ اینچ بالاتر از بالاترین نقطه‌ای باشد که باید در تغذیه نهائی فشار مثبت داشته باشد. هنگامی که بالاترین نقطه‌ای که باید تغذیه شود بالاتر از خط جدایش^۱ باشد H_m می‌تواند به اندازه اتصال منبع به قطعه در درجه پائینی کاهش یابد. اگر بالاترین نقطه قطعه ریخته‌گری پایین‌تر از راهگاه ورودی منبع تغذیه جانبی باشد، آنگاه:

$$H_R = H_P + H_B + 1.0$$

و: طراحی بخش تحتانی منبع تغذیه

بخش تحتانی منبع تغذیه آن قسمت از ارتفاع تغذیه است که پایین‌تر از نقطه بالایی اتصال قرار دارد و به عنوان کانالی برای رسیدن فلز تغذیه به قطعه عمل کرده و قطر آن برابر با D_r است. ارتفاع H_B حداقل برابر $2W$ بوده و لازم نیست از D_r یا $2W + D_p$ تجاوز کند و مطمئن‌ترین ارتفاع برابر $H_B = 3W$ است.

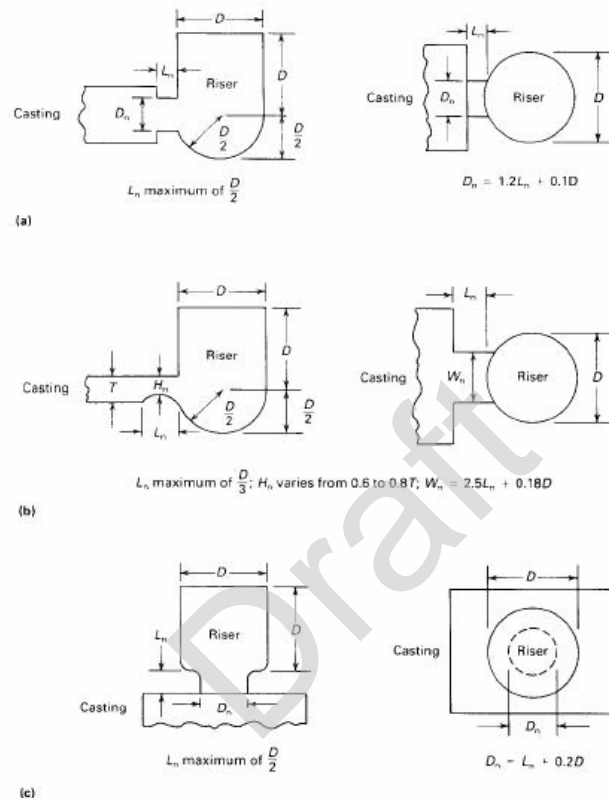
ز: طراحی اتصال منبع تغذیه به قطعه ریخته‌گری

^۱ Parting line

چگونگی اتصال منبع تغذیه به قطعه ریختگی از اهمیت خاصی برخوردار است. زیرا در وهله اول بیانگر تغذیه مناسب و در وهله ثانی بیانگر سهولت جدا شدن منبع از قطعه است. از طرفی تا حدودی نیز عمق حفره انقباض را کنترل کرده و از ادامه آن به داخل قطعه جلوگیری می‌کند.

اتصال منبع به قطعه بایستی دارای ابعاد صحیح باشد تا به عنوان کانال عمل کند. ابعاد اتصال، ابعاد باریکترین مقطع اتصال می‌باشد. ارتفاع اتصال C_h بایستی از $2w$ بیشتر و از D_r یا $2w + D_p$ کمتر باشد و بهترین ابعاد ۲ تا $5/2$ برابر w است. عرض اتصال نیز برابر $2w$ تا $0.8 D_r$ در نظر گرفته می‌شود.

ابعاد گلوگاه سه نوع منبع تغذیه در جدول زیر داده شده است که بایستی در رابطه با شکل‌های شماره استفاده شود.



شکل:

از این ابعاد وقتی استفاده می‌شود که مواد اطراف گلوگاه همان خواص مواد قالب را دارا باشد. اگر در اطراف گلوگاه از مواد عایق حرارتی استفاده شود و یا گلوگاه از ماسه ماهیچه ساخته شود، ابعاد ممکن است کوچکتر باشند.

جدول: ابعاد گلوگاه اتصال منبع به قطعه

نوع منبع	طول L_N	سطح مقطع L_N
جانبی عمومی	تا حد امکان کوتاه و نباید از $D/2$ بیشتر باشد	مدور، $D = 1.2L_N + 0.1D$
جانبی - ورق	تا حد امکان کوتاه و نباید از $D/3$ بیشتر باشد.	مربعی، $H_N = 0.6$ to $0.8D$ با افزایش طول گلوگاه $W_N = 2.5L_N + 0.18D$
فوقانی	تا حد امکان کوتاه و نباید از $D/2$ بیشتر باشد	مدور، $D_N = L_N + 0.2D$

ح: تعیین ارتفاع منبع تغذیه

ارتفاع کل منبعی که در آن حفره استوانه‌ای ایجاد می‌شود برابر با $H_P + H_M + H_B$ است. حداقل آن برابر با

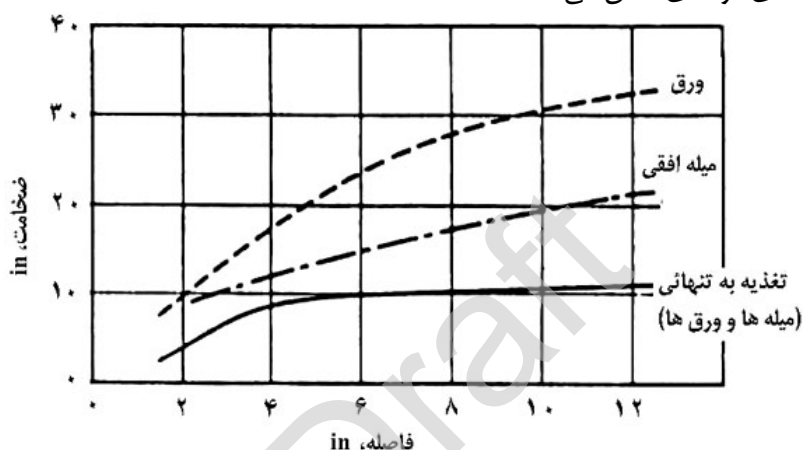
$$H_R = H_p + 1,0 + 3w$$

است که w ضخامت مقطع است اگر لازم باشد که H_M بیشتر از ۱ اینچ باشد می‌توان ارتفاع را از حداقل افزایش داد. اگر منبع بجای تشکیل حفره استوانه‌ای، تشکیل حفره بشقابی دهد ابعاد منبع نیز تغییر می‌کند که از نمودار ۱۵ می‌توان استفاده نمود.

ادامه صفحه ۲۳۸

محل قرار گرفتن منبع تغذیه

اگر میله بلند یا ورق، بدون منبع تغذیه ریخته‌گری شود طول معینی از هر انتهای میله یا ورق سالم خواهد بود. دلیل آن انجماد جهت دار ایجاد شده در دو انتها بعلاوه انتقال حرارت بیشتر از این نقاط به نقاط دیگر است. همچنین اگر میله‌ای بلند یا ورق با منبع تغذیه کافی در وسط، به طور افقی ریخته‌گری شود مشاهده می‌شود که بعلاوه تغذیه، تا فاصله معینی از منبع، قطعه ریخته‌گری سالم است. این دو اثر، به ترتیب اثر انتهایی^۱ و اثر تغذیه^۲ نامیده می‌شود. شکل ۱۶ این دو اثر را در تغذیه ورقها و میله‌های فولادی نشان می‌دهد.



شکل ۱۶- حداکثر فاصله تغذیه منبع‌ها و اثر انتهایی

برای آلیاژی که دارای CFR بالایی است قطعه ریخته‌گری نیاز به منابع تغذیه بیشتر با فواصل کمتر دارد. به عبارت دیگر فاصله موثر تغذیه در آلیاژهایی که محدوده انجماد وسیعی دارند نسبت به بقیه آلیاژها کمتر است.

فاصله تغذیه

کلیه محاسبات قبلی، برای تعیین اندازه منبع تغذیه بر این فرض استوار بود که منابع تغذیه در محل مناسب قرار گرفته تا تغذیه به طور موثری صورت گیرد. برای تعیین فاصله تغذیه، فرض می‌شود که هر قطعه ریخته‌گری را بخاطر سهولت می‌توان به ورق، میله و مقاطع مکعبی (یا کروی) تقسیم کرد. مقاطع مکعبی و کروی از نظر فاصله تغذیه مشکلی ایجاد نمی‌کند زیرا منبع تغذیه نزدیک محلی که باید تغذیه شود قرار می‌گیرد. در نتیجه اگر بتوانیم فاصله تغذیه را برای مقاطع ورق و میله تعیین کنیم، قادر به تعیین محل منبع تغذیه هر قطعه ریخته‌گری خواهیم بود.

ورق و میله باید مطابق زیر، جداگانه مورد بررسی قرار گیرند زیرا در ورق با رشد شاخه‌ای که از دو دیواره اصلی پیشرفت می‌کند مواجهیم در صورتیکه در مورد میله چهار دیواره وجود دارد.

الف: فاصله تغذیه مقاطع میله‌ای

^۱ End Effect
^۲ Riser Effect

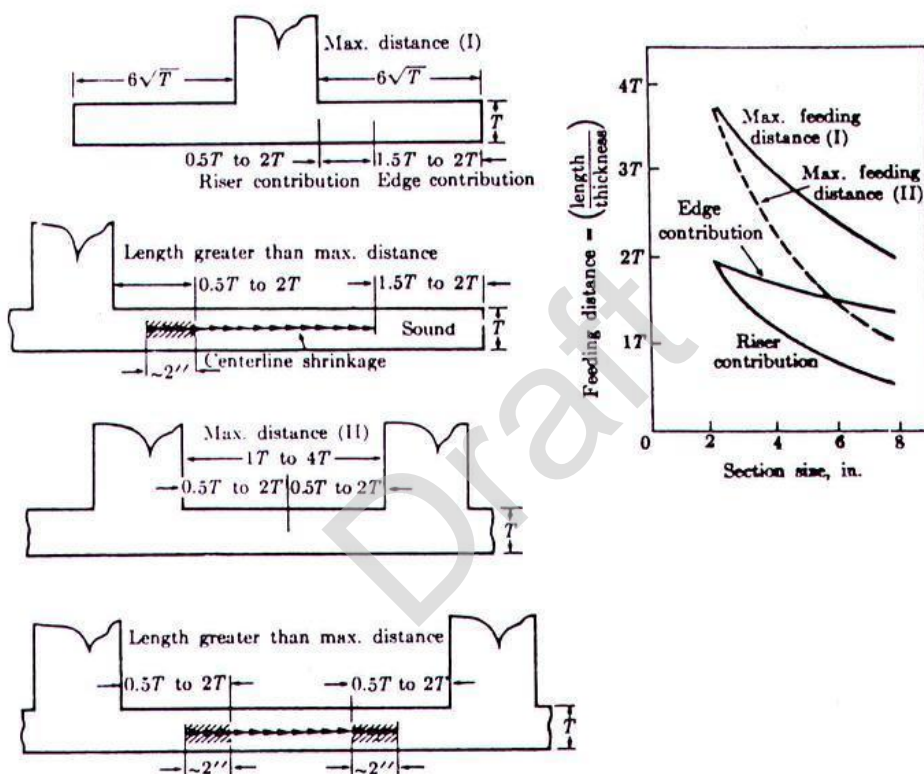
آزمایشاتی که توسط NRL برای تعیین فاصله تغذیه میله از مقاطع ۲ تا ۸ اینچ صورت گرفته است نشان می‌دهد که برای تعیین فاصله تغذیه موثر، رابطه عمومی زیر برقرار است.

$$D_{\max} = 6\sqrt{T}$$

که در این رابطه T ضخامت و D از لبه منبع تغذیه محاسبه می‌شود. و این فاصله در کلیه جوانب منبع اعمال می‌شود. هنگامیکه طول میله از فاصله منبع تغذیه بیشتر باشد لازم است از منبع‌های تغذیه اضافی استفاده شود. مثلاً اگر منبع تغذیه‌ای به قطر ۸ اینچ در مرکز میله‌ای با سطح مقطع 4×4 in بکار رود. طول میله سالم برابر ۳۲ اینچ خواهد بود.

$$6\sqrt{T} + D + 6\sqrt{T} = 6\sqrt{4} + 8 + 6\sqrt{4} = 12 + 8 + 12 = 32 \text{ in}$$

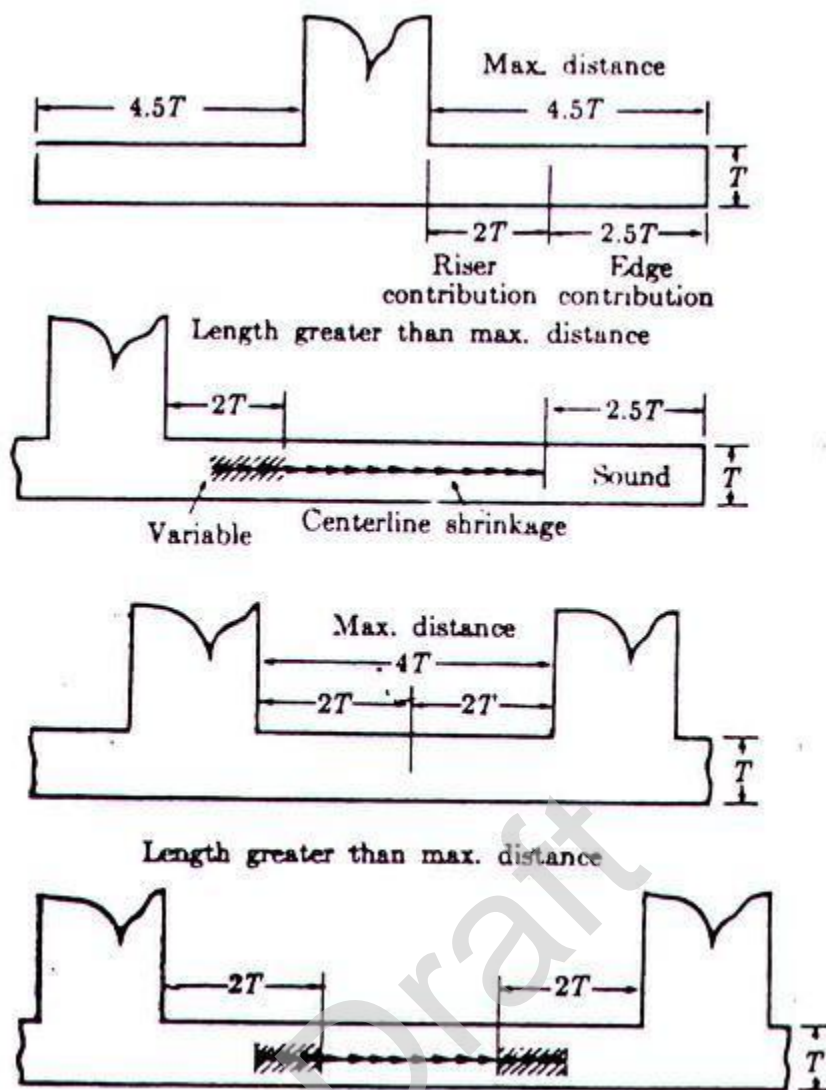
اگر میله بلندتری نیاز باشد، بایستی از دو منبع تغذیه استفاده شود. در این حالت فاصله تغذیه بین دو منبع تغذیه برای هر منبع برابر $6\sqrt{T}$ نخواهد بود بلکه برابر $1/2T$ می‌باشد زیرا در بین دو منبع سردی وجود ندارد.



شکل ۱۷ - روابط تغذیه در میله‌ها

ب: فاصله تغذیه ورقها

نتایج آزمایشات NRL بر روی ورقهائی به ضخامت $1/5$ تا $4/5$ اینچ نشان می‌دهد که فاصله تغذیه برای اثر انتهائی و اثر منبع تغذیه برای ورقهائی به ضخامت ۱ تا ۴ اینچ برابر $4/5T$ می‌باشد. که اثر منبع تغذیه $2T$ و اثر انتهائی $2/5T$ می‌باشد. در نتیجه وقتیکه فاصله تغذیه بین منبع تغذیه را محاسبه کنیم فاصله تغذیه هر منبع $4/5T$ نخواهد بود بلکه $2T$ می‌باشد. (شکل ۱۸)



شکل ۱۸- اثر انتهائی و اثر تغذیه در ورقها

فاصله تغذیه مقاطع پیچیده

اگر ورق نازکی در کل طول خود، به ورق ضخیمی متصل باشد، ورق ضخیم برای ورق نازک به عنوان یک منبع تغذیه موثرتر عمل می‌کند. مطابق تجربه فاصله تغذیه در ورق نازک برابر $\frac{3}{5}T_H$ است که T_H ضخامت ورق ضخیم‌تر است در نتیجه عرض ورقی به ضخامت یک اینچ را که می‌توان با ورقی چسبیده به آن و با ضخامت ۴ اینچ تغذیه کرد برابر $D_H = 3(T_H - T_L) + \frac{4}{5}$ است. اما فاصله تغذیه‌ی منبع تغذیه، بر روی ورق ضخیم از $\frac{4}{5}T$ به $\frac{4}{5}$ تقلیل می‌یابد که $D_H = 3,5 \times 4 = 14$ in می‌باشد. تغییرات دقیق‌تر برای مقاطع متوسط تعیین شده است. که برای آن رابطه $D_M = 3,5 T_H - T_L$ را بدست آورده‌اند که D_M فاصله تغذیه در مقطع متوسط می‌باشد. اگر مقطع بسیار نازکی، برای مثال ورق $0,125$ اینچ به مقطع ضخیمی (۳ اینچ) متصل شود، فاصله تغذیه در مقطع ضخیم کاهش نمی‌یابد، زیرا مقطع نازک باعث شتاب گرفتن سرعت سرد شدن صفحه انتهائی می‌شود.

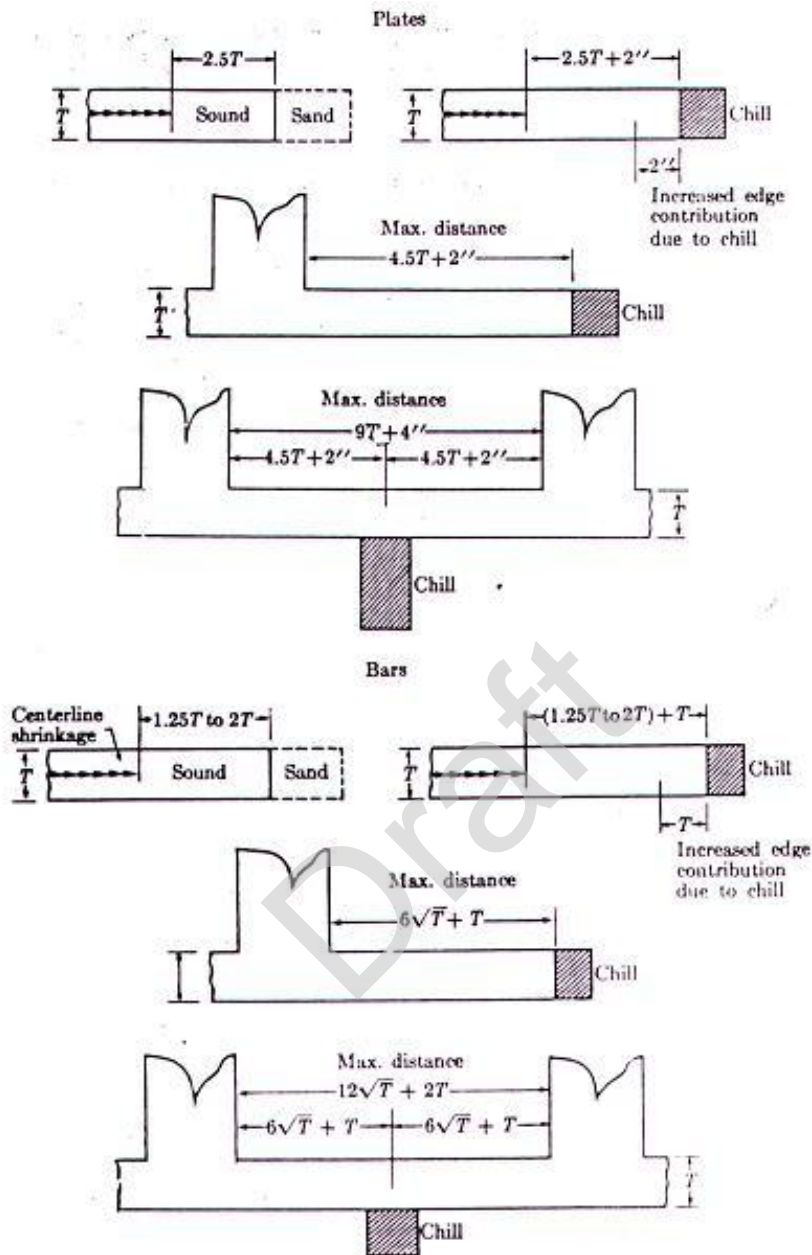
تأثیر مبرد

مبردها دو اثر قابل توجه بر قطعه ریخته‌گری دارند.

الف: سرعت سرد شدن را افزایش می‌دهند.

ب: موج شروع و پایان انجماد را بهم نزدیک می‌کنند (CFR را کاهش می‌دهند).

لازم به ذکر است که هنوز اطلاعات کافی برای تعیین این اثر وجود ندارد. ضمناً هنگامیکه هدایت حرارتی فلز از هدایت حرارتی مبرد، بسیار بیشتر باشد، مثلاً برای مس، این روش تبریدی کمتر موثر است.



شکل ۱۹- اثر مبرد و تغذیه

کاربرد اصول تغذیه‌گذاری در ریخته‌گریهای پیچیده

اکنون کاربرد اصول تغذیه‌گذاری را در ریخته‌گری قطعات پیچیده (شکل زیر) بررسی می‌کنیم. همانگونه که این شکل نشان می‌دهد، این قطعه اصولاً از دو ورق قسمت پایه و استوانه تشکیل شده است. ضمناً با یک منبع نمی‌توان این قطعه را تغذیه کرد لذا بایستی از دو منبع تغذیه استفاده شود. پایه و نصف استوانه را می‌توان بصورت ورق در نظر گرفت که ابعاد آن $11 \times 5.5 \times 1$ in است. ضمیمه آن نیز برابر با $8 \times 5.5 \times 1$ in است. ضریب شکل آن عبارت است از:

$$S.F. = (11 + 5.5) / 1 = 16.5$$

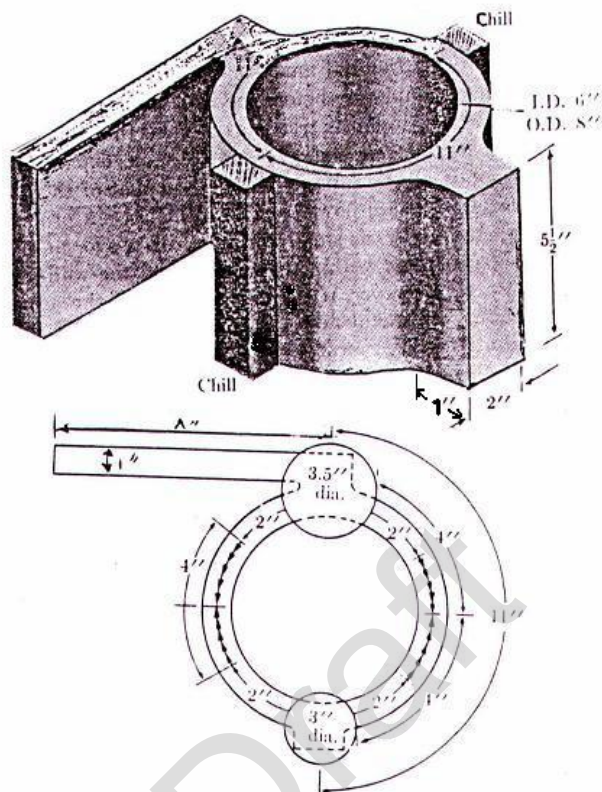
نتیجتاً ضریب حجم تغذیه‌گذاری 0.25 است. ضمناً حجم قطعه ضمیمه با توجه به شکل ۲۰ باید کامل در نظر گرفته شود، که در نتیجه:

$$V_r = 0,25 \times [11 \times 5,5 \times 1 + 1 \times 8 \times 5,5]$$

یا

$$V_r = 0,25 \times 104,5 = 26,125 \text{ in}^3$$

که در نتیجه به منبعی به ارتفاع ۲/۷ و قطر ۳/۵ اینچ نیاز است.



شکل ۲۰- ریخته‌گری قطعه استوانه‌ای

برای قسمت دوم نیز ضریب شکل همان ۱۶/۵ است. در نتیجه حجم ورق و حجم ضمیمه آن ۷۱/۵ اینچ است که حجم منبع برابر خواهد بود با:

$$V_r = 0,25 \times 71,5 = 17,875 \text{ in}^3$$

و منبع مورد نیاز عبارتست از:

$$d = 3 \text{ in}$$

$$h = 2,6 \text{ in}$$

اکنون به محاسبه فاصله تغذیه منبعها می‌پردازیم:

فاصله تغذیه منابع تغذیه برابر ۲T است. که در نتیجه این فاصله برابر با $2 \text{ in} = 2 \times 1$ خواهد بود.

شعاع دو منبع برابر است با:

$$(3 + 3/5) / 2 = 3/25 \text{ in}$$

و کل فاصله تغذیه دو منبع برابر است با:

$$2 \times 2 = 4 \text{ in}$$

کل فاصله‌ای که تغذیه خواهد شد:

$$4 + 3/25 = 7/25 \text{ in}$$

در نتیجه طولی برابر با $3/75 = 7/25 - 11$ تغذیه نخواهد شد لذا بایستی از مبرد استفاده شود که نتیجتاً فاصله تغذیه برابر خواهد شد با:

$$9T + 4 = 9 + 4 = 13 \text{ in}$$

که با این عمل، مشکل مرتفع می‌شود و مطابق شکل ۲۰ تغذیه‌گذاری انجام می‌شود. اولین قطعه، به طور آزمایشی ریخته‌گری می‌شود تا مشخص شود که آیا به مبرد بیشتری نیاز هست یا خیر؟

تغذیه‌گذاری چدن خاکستری

تغذیه‌گذاری چدن خاکستری تا حدودی پیچیده است. انجماد چدن خاکستری با ۳٪ کربن با مکانیسم متفاوت صورت می‌گیرد. این انجماد عبارتست از:

۱- از خط مذاب تا یوتکتیک: دندریته‌های آستنیتی جدا می‌شود.

۲- یوتکتیک: در دمای یوتکتیک، گرافیت و آستنیت به طور همزمان رسوب می‌کند.

واکنش ۱ مشابه واکنشی است که در فولاد صورت می‌گیرد. بدین معنی که رسوب آستنیت جامد، مستلزم تشکیل فاز چگال تری نسبت به مذاب است و نتیجتاً برای تغذیه مذاب، به منبع تغذیه نیاز است. این واکنش قبل از شروع واکنش ۲ خاتمه می‌یابد. در حین واکنش ۱، مذاب از منبع تغذیه به داخل قطعه جریان دارد. از طرفی واکنش ۲ با انبساط حجم همراه است زیرا چگالی مخلوط یوتکتیک جامد کمتر از مذاب تشکیل دهنده آن است. در حین این واکنش، مذاب از قطعه به داخل منبع تغذیه جریان می‌یابد فرآیندی که (Purging) نامیده می‌شود. اگر منبع تغذیه کوچک باشد و قسمت فوقانی آن منجمد شده باشد فشار زیادی در داخل قطعه ریخته‌گری ایجاد می‌شود و عملاً دیواره‌های آن به بیرون کمانه می‌کند. اما اگر منبع به فضای بیرون راه داشته باشد فشار بوسیله حرکت و جابجائی مذاب آزاد می‌شود. این موضوع در تعیین دقت ابعاد از اهمیت عمده‌ای برخوردار است.

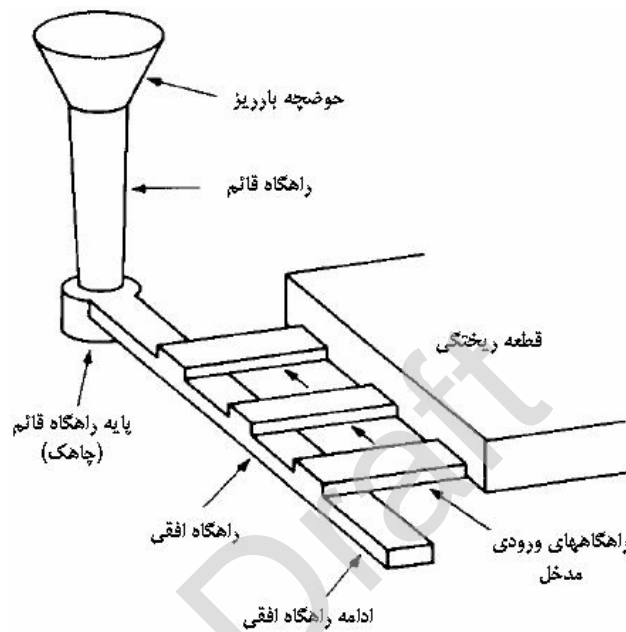
اگر حدود ۱/۵ درصد کربن گرافیتی در یوتکتیک رسوب کند، انقباض نسبی واکنش ۱ و انبساط نسبی واکنش ۲ یکدیگر را خنثی می‌کنند. این مقدار کربن به حلالیت کربن در آستنیت، که آن نیز به نوبه خود به مقدار سیلیسیم بستگی دارد. درصد گرافیت یوتکتیک را می‌توان بصورت زیر بیان داشت.

$$(\% \text{ Si}) = 0.1 + 2 - \text{کل کربن} = \text{گرافیت یوتکتیک}$$

اگر این مقدار، برابر ۱/۵٪ کربن یا بیشتر باشد، به هیچگونه تغذیه‌گذاری نیازی نیست. اما اگر از این مقدار کمتر باشد، متناسب با کاهش درصد گرافیت در یوتکتیک، به منبع تغذیه نیاز است. بنابراین چدن خاکستری، معمول‌ترین استثنا به قاعده‌ای می‌باشد که باید منبع تغذیه پس از قطعه‌ی ریختگی منجمد شود. منبع فقط بایستی تا مرحله‌ای که قطعه نیاز به تغذیه دارد، یعنی مذاب + آستنیت، مذاب باقی بماند. در پایان این واکنش، واکنش یوتکتیک ایجاد انبساط کرده و قسمتی از این تغذیه را مجدداً به داخل منبع تخلیه می‌کند.

طراحی سیستم‌های راهگاهی

سیستم راهگاهی عبارت از شبکه‌ای کانالی است که از داخل آن فلز مذاب جاری، و به داخل قالب وارد می‌شود. هدف از طراحی و ایجاد سیستم راهگاه^۱، بوجود آوردن کانال جهت توزیع فلز مذاب از پاتیل به داخل محفظه قالب با سرعت مناسب، بدون افت زیاد دما و ایجاد آشفستگی^۲ در مذاب یا مجبوس شدن سرباره، گاز یا تفاله در داخل مذاب است. نوع فلزی که باید ریخته‌گری شود بر جزئیات راهگاه تاثیر زیادی دارد، زیرا فلزات سبک بیشتر در معرض اکسیدشدن قرار دارند و از طرفی نمی‌توانند مانند فلزات آهنی، فشار لازم را ایجاد کنند. در بین فلزات ریخته‌گری، آلیاژهای غیرآهنی مسائل راهگاهی مشکل‌تری را از خود نشان می‌دهند. در شکل زیر اجزای اصلی یک سیستم راهگاهی نشان داده شده است.



شکل: اجزای اصلی یک سیستم راهگاهی ساده

متغیرهای طراحی راهگاه

روشهایی که برای بهبود هر کدام از ملاحظات مطلوب طراحی که در زیر بحث می‌شود با اثر مطلوب دیگری در تناقض است. برای مثال، تسریع در پرکردن قالب ممکن است منجر به سرعتی شود که باعث سایش قالب شود. نتیجتاً هر سیستم راهگاهی معمولاً مصالحه‌ای بین ملاحظات متناقض طراحی است.

۱. پرکردن سریع قالب

تسریع در بارریزی و پرکردن قالب (Rapid Mold Filling)، به چند دلیل، به ویژه در مورد قطعات نازک، بسیار مهم است که عبارتند از:

- § افت حرارت از فلز مذاب در طی پرشدن قالب ممکن است به انجماد نابهنگام منجر شود که خود عیوب سطحی را به دنبال دارد.
- § فوق گرما (Superheat)، فلز مذاب باعث افزایش سیالیت مذاب می‌شود و نتیجتاً انجماد را به تاخیر می‌اندازد، اما فوق گرمای بیش از حد باعث جذب گازها در فلز می‌شود.
- § لازم است تا زمان پرشدن قالب از زمان تولید قالب کوتاه‌تر باشد تا بهره‌وری افزایش یابد.

۲. کمینه‌کردن اغتشاش و تلاطم مذاب

^۱ gating system
^۲ turbulence

پرکردن قالب به شیوه ناآرام (Turbulent)، باعث آسیب مکانیکی و حرارتی به قالب می‌شود، لذا به منظور پیش‌گیری از سایش قالب اغتشاش و ناآرامی مذاب باید کاهش یابد. از طرفی به دلیل محبوس شدن گازها باعث ایجاد عیب در قطعه می‌شود. ناآرامی مذاب باعث افزایش سطح مذاب شده و نتیجتاً واکنش مذاب با هوا و اکسایش آن را به همراه دارد.

۳. پیش‌گیری از فرسایش قالب و ماهیچه

سرعت بالا باعث از بین رفتن و سایش سطح قالب می‌شود، لذا باید سرعت تا حد امکان پائین باشد.

۴. حذف سرباره، تفاله و آخالها

با اعمال روشهای مناسب می‌توان این مواد را در داخل راهگاه محبوس کرد.

۵. ایجاد شیب حرارتی مطلوب

با توجه به اینکه آخرین مذابی که وارد حفره قالب می‌شود، داغ‌ترین مذاب است لذا مذاب باید به گونه‌ای و از محلی به قالب وارد شود که انجماد آن آخرین لحظه صورت می‌گیرد. روشی بدیهی برای حصول به این موضوع آن است که فلز ابتدا به منبع تغذیه هدایت شود و سپس از داخل آن به داخل قطعه وارد شود.

۶. پیشینه‌گردن بهره

هزینه‌های متعدد غیرباز یافتی زیادی صرف می‌شود تا فلز مذاب، سیستم راهگاه و منبع تغذیه را پر کند و سپس این دو از قطعه جدا شده و مجدداً ذوب شوند که ارزش آنها در حد ضایعات است. لذا هزینه تولید را می‌توان با به حداقل رساندن فلز راهگاه و منبع تغذیه کاهش داد، که از طرفی ظرفیت تولید قطعات قابل فروش نیز بالا می‌رود

۷. جداسازی اقتصادی سیستم راهگاهی از قطعه

اگر تعداد و اندازه اتصالات راهگاه و منبع تغذیه به قطعه کمینه شود آنگاه هزینه تمیزکاری و عملیات پایانی بر روی قطعه کاهش می‌یابد. همچنین اگر ورود فلز مذاب ابتدا به منبع تغذیه و سپس از منبع تغذیه به حفره قالب صورت گیرد، یک مزیت به شمار می‌رود زیرا گلولی منبع تغذیه می‌تواند به عنوان یک راهگاه عمل کند.

۸. پیش‌گیری از اعوجاج قطعه

پیش‌گیری از اعوجاج قطعه به ویژه در مورد قطعات نازک و لاغر اهمیت دارد. در این موارد توزیع غیریکنواخت گرما در حین پرشدن قالب ممکن است الگوهای نامطلوب انجمادی را ایجاد کند که باعث پیچیدگی قطعه شود. از طرفی انقباض سیستم راهگاهی در حین انجماد می‌تواند قسمتهای در حال انجماد قطعه را کشیده و منجر به پارگی گرم یا اعوجاج آن شود.

۹. سازگاری با روشهای قالب‌گیری و بارریزی موجود

ماشین‌های جدید قالب‌گیری با تولید بالا و سیستمهای بارریزی خودکار، اغلب انعطاف در تعیین محل و شکل حوضچه بارریزی و راهگاه قائم را بطور شدیدی محدود می‌سازد. همچنین در سرعت بارریزی فلز نیز محدودیت ایجاد می‌کنند.

۱۰. شرایط جریان کنترل شده

باید هرچه سریع‌تر در طی پرشدن قالب، جریان فلز مذاب در سیستم راهگاهی یکنواخت شود، و شرایط جریان سیال به گونه‌ای باشد که برای هر قالب مشابه دیگر قابلها باشد.

اصول جریان سیالات

طراحی صحیح سیستم راهگاهی، مستلزم اعمال چندین اصل مربوط به جریان سیالات در مسیرهای افقی و قائم است. این محاسبات برای تعیین زمان بارریزی و مکش^۱ گازهای قالب، بسیار مناسب است. از مهمترین این اصول، قانون پیوستگی^۲، قانون برنولی، و اصل یا اثر ممتهم را می‌توان نام برد.

ا. قانون پیوستگی

طبق این قانون، در سیستم غیرقابل نفوذی^۳ (شکل ۱) که با مایع غیرقابل تراکمی پر شده است، رابطه زیر برقرار است.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

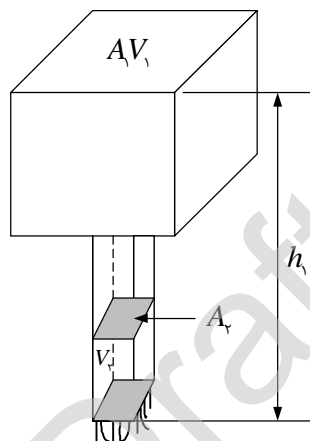
که در این رابطه

Q سرعت جریان (حجمی)

A سطح مقطع

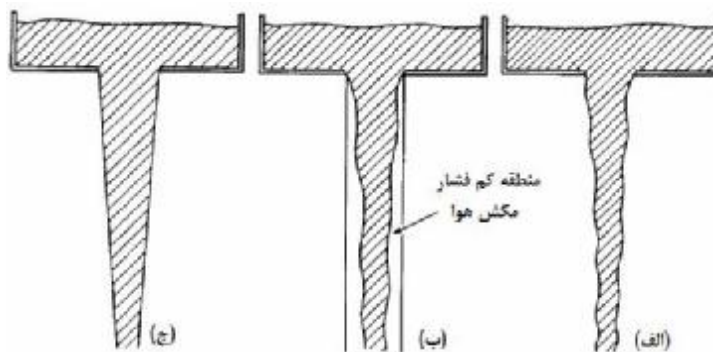
V سرعت

اندیس ۱ و ۲ نیز دو محل متفاوت سیستم را نشان می‌دهند.



شکل ۱- روابط سرعت-مساحت در قالب ساده غیر قابل نفوذ

شکل زیر، یکی از کاربردهای عملی قانون پیوستگی در جریان فلز مذاب از حوضچه بارریزی را نشان می‌دهد.



شکل: شماتیک مزیت راهگاه قائم مخروطی به راهگاه استوانه‌ای

(الف) جریان طبیعی سقوط آزاد مذاب (ب) مکش هوا بر اثر جریان مذاب در لوله استوانه‌ای (ج) جریان در مسیر مخروطی

همانگونه که معادله فوق نشان می‌دهد با خروج مذاب از حوضچه بارریزی، انرژی پتانسیل بالا ولی سرعت پائین است. با سقوط مذاب، سرعت افزایش می‌یابد بنابراین سطح مقطع جریان مذاب بایستی متناسب با آن کاهش یابد تا سرعت

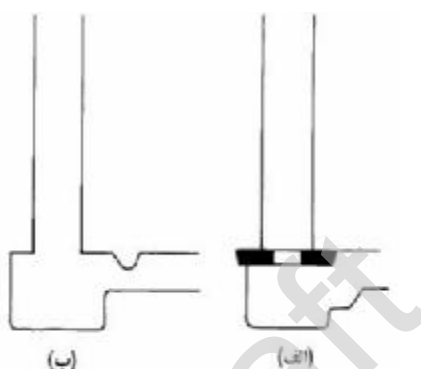
^۱ aspiration

^۲ continuity principle

^۳ impermeable

جریان را متوازن نگه‌دارد، در نتیجه شکل راهگاه قائم، مخروطی بوده و سطح مقطع به طور تدریجی کاهش می‌یابد (شکل فوق الف).

اگر همان جریان از یک راهگاه قائم استوانه‌ای سقوط کند (شکل فوق ب)، جریان در حال سقوط منطقه کم فشار ایجاد می‌کند و در نتیجه از دیواره جدا شده و هوا را به داخل می‌مکد. از طرفی جریان غیریکنواخت بوده و متلاطم خواهد شد به ویژه در هنگام برخورد با کف راهگاه به حداکثر تلاطم خواهد رسید. راهگاه مورب (مخروط معکوس) با شیبی همسان با شکل طبیعی سیال در حال سقوط آزاد، تلاطم و احتمال مکش هوا را کاهش می‌دهد. ضمناً به سرعت راهگاه را پر کرده و فشار لازم برای ایجاد شرایط جریان مناسب مطابق با معادله فوق را فراهم می‌کند. در بسیاری از واحدهای قالب‌گیری که تولید انبوه دارند، استفاده از راهگاه مخروطی به سهولت میسر نیست. لذا طراح سیستم راهگاهی ساده استوانه‌ای را، با قراردادن یک مانع یا مسدودکننده در انتهای راهگاه یا مجاورت آن با اثر سیستم راهگاهی مخروطی تقریب می‌کند (شکل زیر).



شکل: مکانیسم مسدودکننده نصب شده در داخل راهگاه قائم استوانه‌ای الف) ماهیچه مسدودکننده ب) مسدودکننده راهگاه

ب. قانون برنولی

این قانون فشار، سرعت و ارتفاع مایع را در نقاط مختلف نسبت به یک خط جریان به هم^۱ مربوط می‌کند. این قانون را می‌توان به راحتی و با استفاده از اصل بقای انرژی بدست آورد. مطابق این قانون، در هر نقطه از سیستم، مجموع انرژی پتانسیل، انرژی جنبشی، انرژی فشار و انرژی اصطکاک، مقداری ثابت است. مطابق این اصل و در دو حالت ۱ و ۲ می‌توان نوشت:

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

معادله فوق مشروط بر آن است که افت اصطکاک وجود نداشته باشد. نتیجتاً معادله برنولی را می‌توان بصورت زیر ریاضی زیر نوشت.

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{w} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w}$$

که در این رابطه

h ارتفاع نسبت به یک مبدا (انرژی پتانسیل بر حسب فوت یا اینچ)

$\frac{v}{2g}$ انرژی جنبشی بر حسب ft یا اینچ

v سرعت مایع بر حسب ft/sec یا in/sec

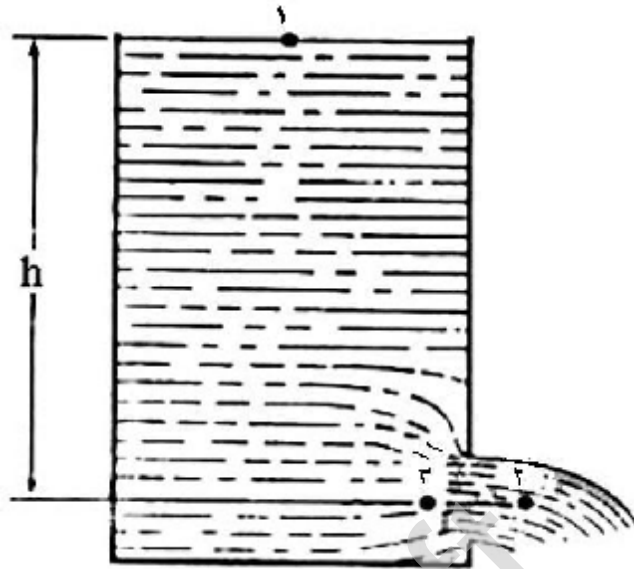
g شتاب ثقل (جاذبه) برابر با $32/2 \text{ ft/sec}^2$ یا 386 in/sec^2

^۱ - streamline

انرژی فشار بر حسب فوت یا اینچ $\frac{P}{w}$

فشار اتمسفر برابر ۱۴/۷ psi و دانسیته آهن مذاب $۰/۲۶ \text{ lb/in}^3$ است.

مثال: در شکل زیر با استفاده از معادله برنولی می‌توان سرعت مایع در نقطه ۲ را محاسبه کرد (از افت انرژی به علت اصطکاک صرف‌نظر می‌شود).



شکل ۲- روابط فی مابین انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی

بدین منظور معادله برنولی را برای دو نقطه ۱ و ۲ می‌نویسیم، که در نتیجه خواهیم داشت.

$$h_1 + \frac{V_1^2}{g} + \frac{P_1}{w_1} = h_2 + \frac{U_2^2}{g} + \frac{P_2}{w_2}$$

با توجه به اینکه $p_1 = p_2$ و برابر فشار اتمسفر است و نیز بعلت غیر قابل تراکم بودن مایع $w_1 = w_2$ است و h_2 برابر صفر است (زیرا مبنا انتخاب شده است) در نتیجه:

$$h_1 + \frac{P_1}{w} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w},$$

که پس از ساده کردن خواهیم داشت.

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

برای مثال اگر در مورد راهگاہ قائم h و v به ترتیب بر حسب اینچ و اینچ بر ثانیه باشند. سرعت جریان فلز در سیستم راهگاہی تحت فشار برابر است با:

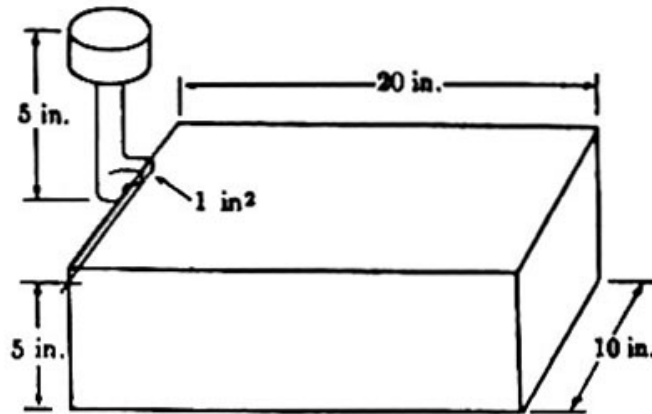
$$v = 27.7 \sqrt{h} \text{ in/sec}$$

اگر قطعه‌ای به ابعاد $۵ \times ۱۰ \times ۲۰ \text{ in}$ دارای راهگاہی به ابعاد ۱ in^2 و ارتفاع ۵ in باشد زمان بار ریزی برابر خواهد بود با (ارتفاع ثابت)

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{V}{Av}$$

(V = حجم و v = سرعت)

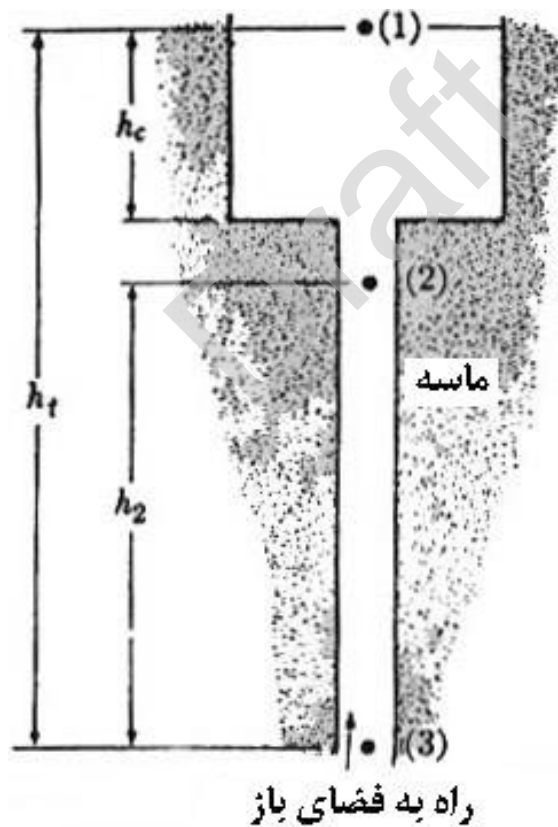
$$\text{زمان کل} = \frac{۵ \times ۱۰ \times ۲۰}{۱ \text{ in}^2 \times ۲۷.۷ \sqrt{۵} \text{ in/sec}} = ۱۶.۱$$



شکل ۳- محاسبه راهگاه ساده

ایجاد مکش

راهگاه قائم و مستقیمی را در نظر بگیرید که غیر قابل نفوذ باشد و فرض کنید که ارتفاع فلز h_c در حوضچه بارریز ثابت بماند (شکل ۴)



شکل ۴- سیستم راهگاهی قائم در ماسه نفوذ پذیر

با اعمال معادله برنولی در نقاط ۱ و ۳ ($w = 0.26 \text{ ib/in}^3$ برای چدن) و صرف نظر کردن از اصطکاک خواهیم داشت.

$$h_t + 0 + \frac{14.7}{0.26} = 0 + \frac{v_r^2}{2g} + \frac{14.7}{0.26}$$

$$v_r = 27.7 \sqrt{h_t} \text{ in/sec}$$

یا

در نتیجه سرعت خروج مذاب از نقطه ۳ و در فشار اتمسفر برابر $27/\sqrt{h_t}$ اینچ بر ثانیه است. اکنون معادله برنولی را برای نقاط ۲ و ۳ می‌نویسیم.

$$h_t + \frac{v_t^2}{2g} + \frac{P_t}{w} = 0 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{14.7}{w}$$

از آنجائی که مطابق اصل پیوستگی $v_t = v_2$ است، بنابراین:

$$h_t = 14.7 - h_2 w$$

در نتیجه فشار داخل مذاب در نقطه ۲ از فشار اتمسفر بمقدار $h_2 w$ کمتر است. لازم به یادآوری است که این محاسبات در مورد قالب غیر قابل نفوذ است ولی هوا و یا گازهای قالب در سطح مشترک ماسه - فلز در قالب قابل نفوذ حداقل در فشار اتمسفر است، در نتیجه گاز، به داخل جریان مذاب در نقطه ۲ مکیده می‌شود. مقدار گاز به $h_2 w$ ، نفوذپذیری قالب، و فشار گازهای قالب بستگی دارد. گازهای مکیده شده ممکن است با فلز واکنش داده و اکسید یا سرباره تشکیل شده، در فلز حل شود و در هنگام انجماد رسوب کند و یا بصورت حبابهائی در فلز باقی بماند که کلیه این احتمالات، نامطلوب است. در چدن، قسمتی از اکسیژن موجود حبابهای هوا، با فلز ترکیب شده و سیلیکاتهای بی‌ضرر تشکیل می‌دهد و نیتروژن آن نیز اگر مذاب به آهستگی منجمد شود بصورت حباب از فلز خارج می‌شود.

روش جلوگیری از مکش

برای جلوگیری از مکش گازها به داخل مذاب، به یکی از دو روش زیر عمل می‌کنیم. الف - تعیین راهگاه قائم در قالب نفوذپذیر بطوریکه از مکش جلوگیری شود. مجدداً موضوع را با معادله برنولی شروع می‌کنیم.

$$h_t + \frac{v_t^2}{2g} + \frac{P_t}{w} = 0 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w}$$

در معادله فوق، اگر p_2 برابر p_3 و برابر یک اتمسفر باشد تا از مکش جلوگیری شود، خواهیم داشت.

$$\frac{v_2^2}{2g} = h_t + \frac{v_t^2}{2g}$$

از طرفی با توجه به قانون پیوستگی داریم.

$$A_t v_t = A_2 v_2 \rightarrow v_2 = \frac{A_t}{A_2} v_t$$

اگر A_2/A_t را با R نشان دهیم، خواهیم داشت $v_2 = R v_t$ که در نتیجه

$$R^2 = 1 - \frac{2gh_t}{v_t^2}$$

از آنجائیکه $h_t = h_t - h_c$ و $v_t = \sqrt{2gh_t}$ در نتیجه

$$R = \sqrt{h_c / h_t}$$

برای مثال اگر $h_t = 6$ in و $h_c = 8$ in باشد، اکنون نسبت مساحت راهگاه در نقطه ۲ و ۳ را برای جلوگیری از مکش در نقطه ۲ محاسبه می‌کنیم.

$$\frac{A_2}{A_t} = R = \sqrt{\frac{2}{8}} = \frac{1}{2}$$

که در نتیجه بایستی A_2 دو برابر A_t باشد.

ب: این محاسبه (نسبت مساحت‌ها) را می‌توانیم به طریق دیگر نیز انجام دهیم که مفهوم فیزیکی بهتری دارد. فرض کنید که مذاب به طور آزاد سقوط می‌کند در نتیجه سرعت آن را در هر نقطه می‌توانیم محاسبه کنیم. سرعت در نقطه ۲ برابر است با:

$$V_2 = \sqrt{2gh_c}$$

که h_c ارتفاع مذاب در حوضچه بارریزی است. سرعت نیز در نقطه ۳ برابر است با:

$$V_3 = \sqrt{2gh_t}$$

اما از طرفی

$$Q_2 = Q_3$$

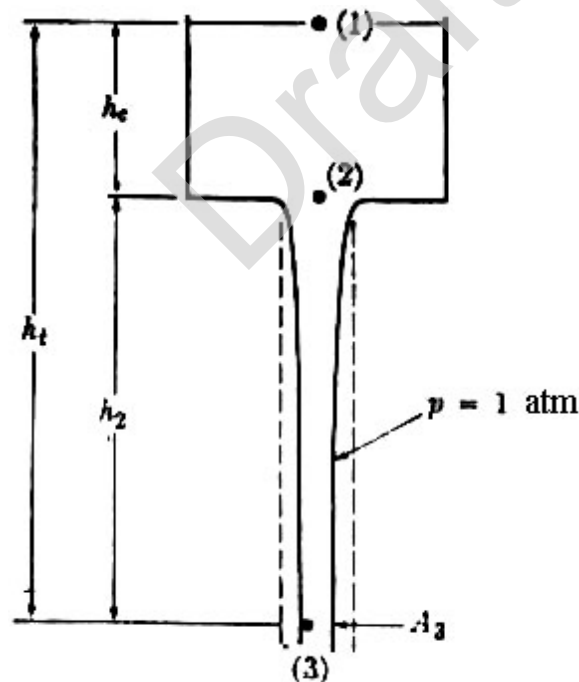
که در نتیجه

$$A_2 V_2 = A_3 V_3$$

A سطح مقطع جریان مذاب است. با استفاده از دو رابطه فوق خواهیم داشت.

$$\frac{A_2}{A_3} = \frac{V_3}{V_2} = \sqrt{\frac{h_c}{h_t}}$$

اگر رابطه مساحت نقاط بین ۲ و ۳ نیز تعیین شوند. مقطعی از یک هیپربولیک می‌باشد. اما در عمل A_2 و A_3 را با خط مستقیمی بهم وصل می‌کنند. زیرا با این عمل سطح مقطع نقاط بالاتر بیشتر از محاسبه در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه، سرعت کاهش و فشار افزایش می‌یابد (شکل ۵)، و از طرفی باعث سهولت ساخت مدل نیز می‌شود.



شکل ۵ - شکل جریان مذاب در قالب باز

ج. تاثیرات ممتنم

طبق قانون اول نیوتن، جسم در حال حرکت، مادامیکه تحت نیرویی که جهت آن را تغییر دهد قرار نگیرد، در جهت معینی به حرکت خود ادامه خواهد داد.

عدد رینولد و نوع جریان

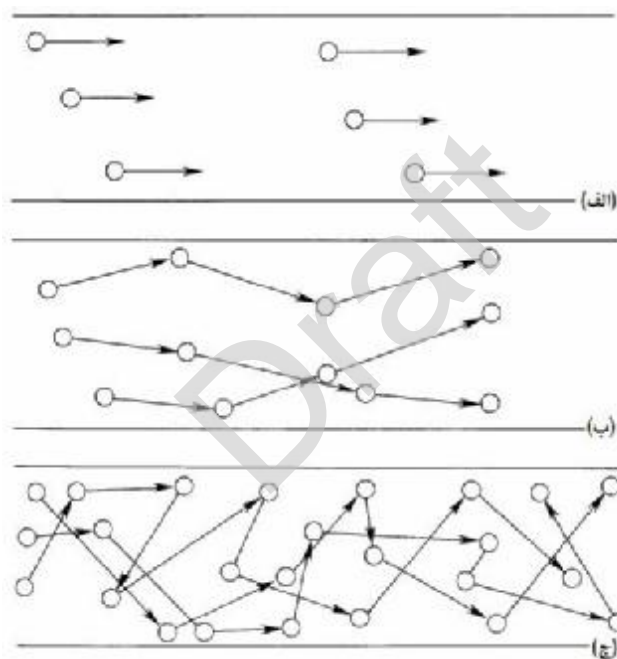
جریان مایعات را می‌توان با معیار خاصی بنام عدد رینولد تعیین مشخصه کرد. این عدد مطابق با رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$N_R = \frac{vd\rho}{\mu}$$

که در این رابطه

N_R	عدد رینولد
v	سرعت مایع
d	قطر کانال عبور مایع
ρ	چگالی مایع
μ	ویسکوزیته مایع

همان گونه که در شکل زیر الف نشان داده شده است، اگر عدد رینولد از ۲۰۰۰ کمتر باشد، سیال را آرام می‌نامند و مولکولهای مایع در خط مستقیمی حرکت می‌کنند.



شکل: عدد رینولد N_R ، و رابطه آن با مشخصه جریان سیال

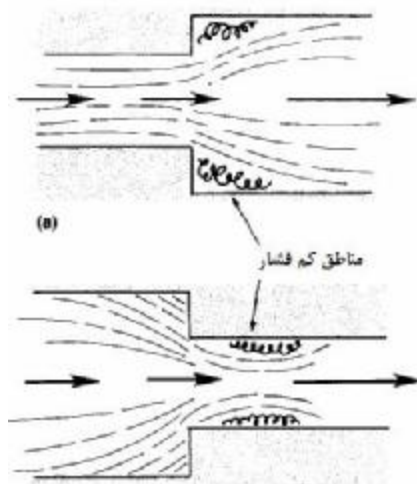
(الف) جریان آرام، ($N_R < 2000$) (ب) جریان متلاطم ($2000 \leq N_R < 20000$) (ج) جریان بسیار متلاطم ($N_R > 20000$)

اگر جریان سیال بین ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ قرار گیرد، تا حدودی اختلاط و تلاطم اتفاق می‌افتد (شکل فوق ب). ولی در سطح بیرونی جریان یک لایه مرزی آشفته نشده وجود دارد. این نوع جریان متلاطم که در بسیاری از واحدهای ریخته‌گری معمول است، تا زمانیکه سطح یکپارچگی خود را از دست نداده تا هوا را محبوس سازد، مضر نیست. برای عدد رینولد در حدود ۲۰۰۰۰، جریان شدیداً متلاطم است (شکل فوق ج). این موضوع باعث پارگی سطح جریان شده و به ظن قوی هوا را در خود محبوس ساخته و از واکنش گازها با مذاب، در اس تشکیل می‌شود.

تغییر نگرهانی سطح مقطع راهگاه

همانگونه که در شکل نشان داده شده است، با تغییر نگرهانی سطح مقطع راهگاه، مناطق کم فشار ایجاد می‌شود، و با جداشدن جریان مذاب از دیواره قالب، هوا در مذاب محبوس شود. با افزایش نگرهانی کانال (شکل فوق) و بر اثر تاثیرات ممتنم، جریان به جلو کشیده می‌شود که در نتیجه مناطق کم فشار ایجاد می‌شود. با کاهش نگرهانی کانال قانون

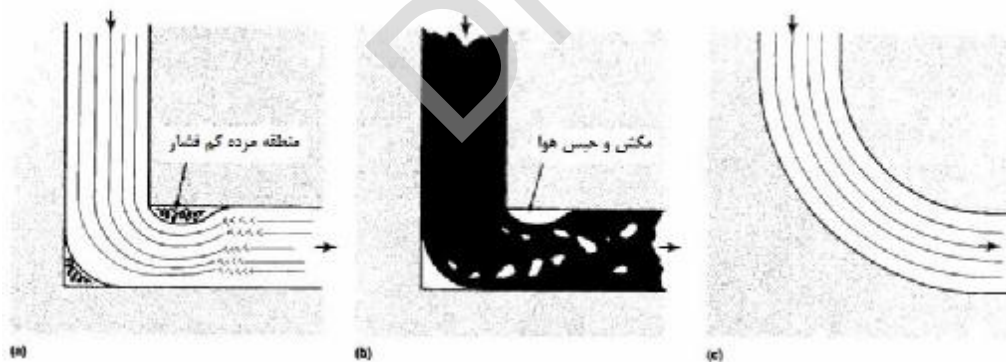
پیوستگی نشان می‌دهد که سرعت جریان باید سریعاً افزایش یابد. این وضعیت منطقه کم فشار ایجاد می‌کند. این مشکل می‌تواند با کاهش تدریجی سطح مقطع، و پرهیز از تغییر ناگهانی کمینه شود.



شکل: شماتیکی از تشکیل مناطق کم فشار به علت تغییر ناگهانی سطح مقطع مسیر جریان
الف) افزایش ناگهانی کانال ب) کاهش ناگهانی کانال

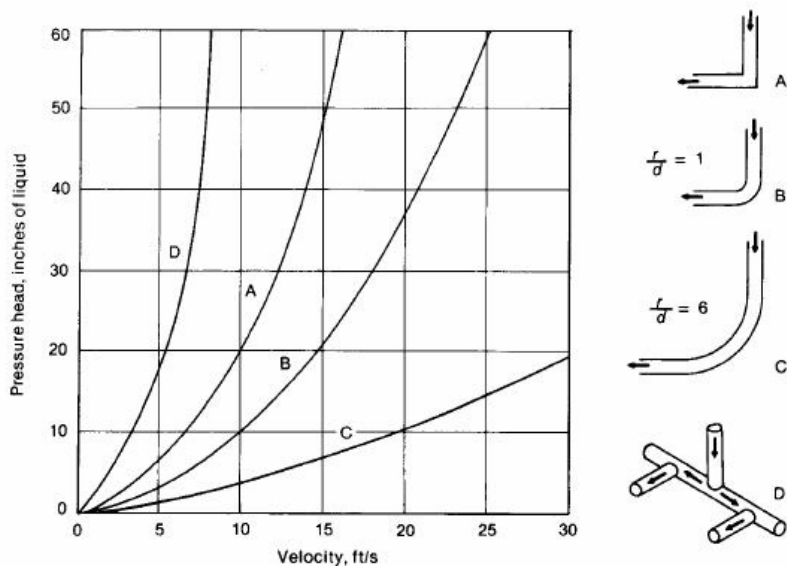
تغییر ناگهانی جهت جریان

همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده است، تغییر ناگهانی جهت جریان می‌تواند همانگونه که در فوق بدان اشاره شد، مناطق کم فشار ایجاد کند. این مشکل را می‌توان با تغییر تدریجی جهت جریان کاهش داد.



شکل: شماتیک ارائه جریان در خمهای ۹۰ درجه و منحنی در سیستم راهگامی
الف) تلاطم حاصل از گوشه تیز ب) آسیب به مذاب از گوشه تیز ج) انحنای تدریجی با کاهش تلاطم و آسیب به فلز

تغییرات ناگهانی جهت جریان، علاوه بر افزایش احتمال آسیب به فلز مذاب، باعث ایجاد اصطکاک و اتلاف انرژی نیز می‌شود. همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده است، سیستمی با تلفات اصطکاکی بالا برای حفظ سرعت، به فشار بیشتری نیاز دارد.



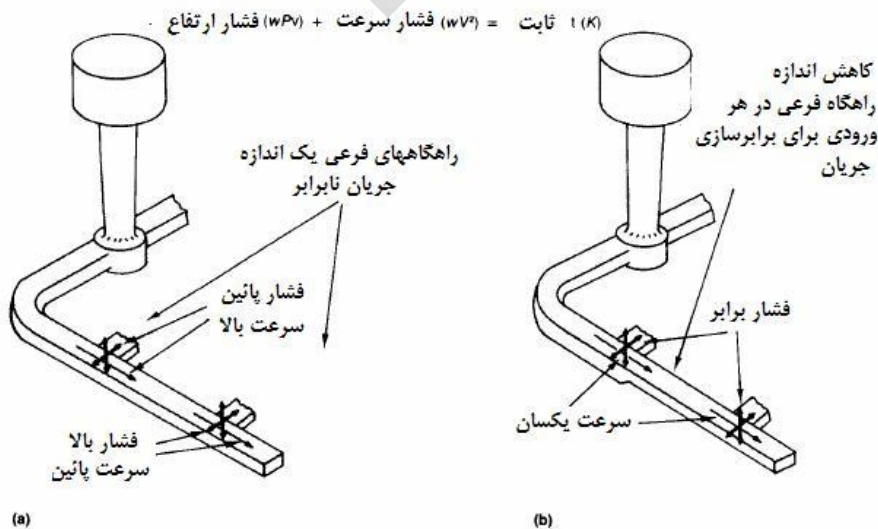
شکل: اثر فشار ارتفاع و تغییر در طراحی راهگاه بر سرعت جریان فلز

ادامه راهگاه افقی

ادامه راهگاه افقی در شکل ۱ همین بخش نشان داده شده است. اولین مذابی که وارد سیستم راهگاهی می‌شود معمولاً ضمن جریان، به دلیل تماس با محیط قالب و هوای آن، آسیب‌دیده‌ترین مذاب است. برای پیش‌گیری از ورود این مذاب به داخل قالب از ادامه راهگاه استفاده می‌شود. زیرا اثر ممتد آن را از کنار ورودیها عبور داده و در انتهای راهگاه افقی محبوس سازد و از ورود آن به قالب جلوگیری کند.

یکسان سازی جریان داخل راهگاههای فرعی

با کاهش سطح مقطع راهگاههای افقی، پس از هر دروازه ورودی، در سیستمهای چند مدخلی می‌توان جریان را یکسان سازی کرد.

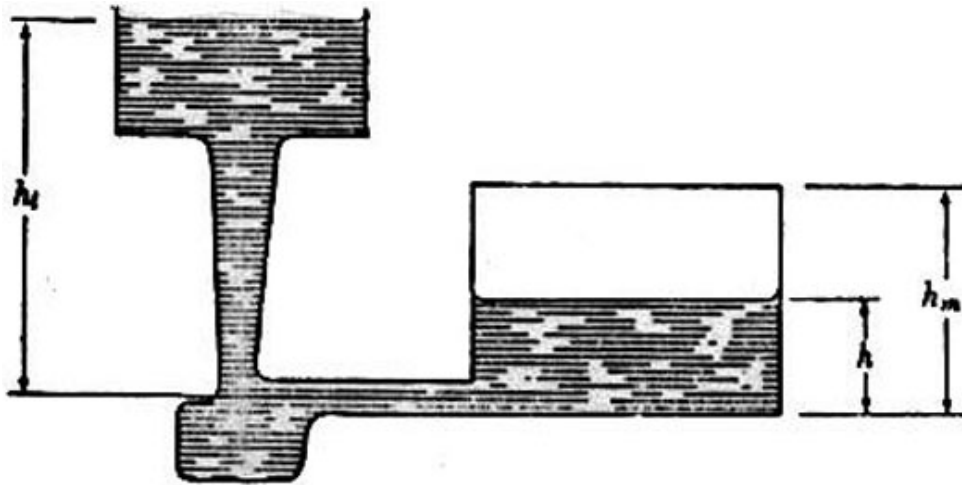


شکل: اعمال قانون برنولی به جریان از راهگاه با دو ورودی

سیستمهای راهگاهی تحتانی

تاکنون به بررسی سیستمهای راهگاهی قائم پرداخته شد، که فشار در بخش تحتانی آنها برابر با یک اتمسفر بود. در اغلب قطعات ریختهگری به راهگاه ورودی در کف قالب نیاز است تا از پاشیدگی و اکسیداسیون مربوط به سیستم

راهگاهی فوقانی جلوگیری شود. لذا محاسبه زمان بارریزی بایستی تعدیل شود. سیستم راهگاهی تحتانی با ارتفاع h_t در شکل ۶ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است، با پرشدن قالب از ارتفاع مؤثر راهگاه کاسته می‌شود.



شکل ۶ - راهگاه افقی بدون مکش برای قالب نفوذپذیر

فرض کنید مطابق شکل فوق:

t	زمان از شروع بارریزی
h_t	ارتفاع کل
h	ارتفاع مذاب در قالب
A_m	سطح مقطع قالب (افقی)
A_g	سطح مقطع راهگاه

باشد. پس از گذشت زمان کوتاه dt ارتفاع به اندازه dh افزایش می‌یابد و حجم فلز به مقدار $A_m dh$ افزایش می‌یابد. همچنین مقدار مذاب انتقال داده شده توسط راهگاه در زمان dt برابر $A_g v dt$ خواهد بود. که V سرعت لحظه‌ای مذاب در راهگاه است.

سرعت مذاب در راهگاه را از رابطه $\sqrt{2g(h_t - h)}$ تعیین می‌کنیم. افزایش حجم قطعه ریخته‌گری در زمان dt برابر با جریان مذاب از راهگاه در زمان مساوی است. در نتیجه:

$$A_m dh = A_g \sqrt{2g(h_t - h)} dt$$

که پس از ساده کردن

$$\frac{dh}{\sqrt{2g(h_t - h)}} = \frac{A_g}{A_m} dt$$

اگر t_f زمان لازم برای پرشدن قالب و h_m نیز ارتفاع کل قالب باشد از معادله فوق بین $t = t_f$ و $t = 0$ و همچنین بین دو ارتفاع $h = h_m$ و $h = 0$ انتگرال می‌گیریم.

$$\frac{1}{\sqrt{2g}} \int_0^{h_m} \frac{dt}{\sqrt{h_t - h}} = \frac{A_g}{A_m} \int_0^{t_f} dt$$

$$t_f = \frac{2A_m}{A_g \sqrt{2g}} (\sqrt{h_t} - \sqrt{h_t - h_m})$$

همانطوریکه مشاهده می‌شود زمان بارریزی در راهگاه تحتانی چشمگیر است.

مثال: در شکل ۳ زمان بارریزی را محاسبه می‌کنیم.

$$h_t = h_m = 5 \text{ in} \quad , \quad A_m = 200 \text{ in}^2$$

با استفاده از فرمول فوق زمان بارریزی را محاسبه کرده که برابر خواهد با:

$$t_f = \frac{2 \times 200}{\sqrt{2g \times 12}} (\sqrt{5} - 0) = 32.2 \text{ sec}$$

چنانکه ملاحظه می‌شود، زمان بارریزی در این حالت تقریباً دو برابر زمان بارریزی در راهگاه‌های فوقانی است. در مورد ریخته‌گریهائی که منبع تغذیه دارند ابتدا زمان پرشدن قالب و سپس زمان پرشدن منبع را محاسبه کرده و با هم جمع می‌کنیم.

با افزایش h_t نسبت به h_m عبارت $(\sqrt{h_t} - \sqrt{h_t - h_m})$ کاهش می‌یابد و باعث کاهش زمان بارریزی می‌شود. پس از اینکه زمان بارریزی به $\frac{1}{4} h_{\max}$ برسد (که $t = t_m \rightarrow h_t = h_m$) افزایش h_t ، تاثیر چندانی بر زمان بارریزی ندارد.

راهگاههای افقی

هدف از قسمت افقی سیستم راهگاهی آن است که:

۱- فلز مذاب را به حفره قالب رسانده و توزیع آن را به بهترین وجه انجام دهد بطوری که آشفستگی و کاهش دما به حداقل برسد.

۲- ناخالصیها را در مذاب به حداقل رسانده و آنها را محبوس کند.

اثر مکش در نقاط تغییر جهت جریان مذاب

در نقاطی که جریان مذاب تغییر جهت می‌دهد عامل ممتهم باعث انقباض آن می‌شود.

شکل ۷- راهگاههای افقی و روش جلوگیری از مکش

معادله برنولی را برای نقاط ۲ و ۳ می‌نویسیم.

$$\begin{array}{c} 64748 \quad 64748 \\ \cdot + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{w} = \cdot + \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{w} \end{array}$$

از آنجایی که $p_3 = 1 \text{ atm}$ است و بعلت پیوستگی، سرعت ۲ باید بیشتر از سرعت ۳ باشد معادله فوق را می‌توان بصورت زیر نوشت.

$$\frac{p_2 - p_3}{w} = \frac{u_3^2 - u_2^2}{2g}$$

یا

$$p_2 = p_3 + w \left(\frac{u_3^2 - u_2^2}{2g} \right)$$

از طرفی $v_3 > v_2$ است لذا خواهیم داشت $(1 \text{ atm}) p_3 < p_2$ یا به عبارت دیگر p_2 به فشاری پایین‌تر از فشار اتمسفر کاهش می‌یابد که تابعی از سرعت جریان مذاب و درجه انقباض جریان می‌باشد. این حالت با حالت راهگاه قائم کاملاً تفاوت دارد. دلیل انقباض جریان، شتاب حاصل از ثقل نیست بلکه بخاطر تغییر جهت جریان است. در نتیجه راه حل آن نیز مختلف است. به جای اینکه راهگاه دارای لبه‌های تیز باشد، بایستی به صورت منحنی، ایجاد شود تا خطوط جریان مذاب نیز منحنی شود و جهت جریان به تدریج تغییر کند. ضمناً اگر یکبار این تغییر تدریجی صورت گیرد، دیگر به بزرگ کردن راهگاه نیازی نیست. طرح پیشنهادی (شکل ۷) به دلیل تجربی زیر صورت گرفته است. فرض کنید که برای ایجاد سرعت جریان مطلوب، قطر راهگاه برابر d باشد، برای جلوگیری از کاهش فشار، شعاع در مدخل راهگاه

بایستی برابر r باشد. برای محاسبه r از مشاهدات تجربی استفاده می‌کنیم. بر طبق تجربه بزرگترین نسبت d'/d در حدود $\frac{1}{3}$ است، لذا $d' = 1/3 \cdot d$ و $r = 0.15d$ که در نتیجه برای راهگاهی با قطر ۲ اینچ مقدار r برابر است با

$$r = 0.3 \text{ in}$$

تغییر جهت جریان در دو مورد، یکی در محل اتصال راهگاههای افقی و قائم، و دیگری در محل ارتباط راهگاه ورودی و حفره قالب اتفاق می‌افتد.

انواع سیستمهای راهگاهی

هر چند به نظر می‌رسد انواع سیستمهای راهگاهی بینهایت باشند اما چهار نوع اصلی را می‌توان نام برد.

- ۱- راهگاه قطعات ریخته‌گری ورق مانند و تخت (که بزرگترین ابعاد آنها در صفحه افقی می‌باشد) در خط جدایش^۱ ایجاد می‌شود، بنام راهگاه سطح جدایش^۲ معروف است.
- ۲- راهگاه قطعات ریخته‌گری پیچیده بزرگ که غالباً دارای ماهیچه‌های زیادی هستند در قسمت فوقانی^۳، تحتانی^۴ و جانبی^۵ ایجاد می‌شود.
- ۳- راهگاههای قالبهای انبوه که ترکیبی از حالت ۲ و ۱ است.
- ۴- راهگاههای محبوس کننده سرباره^۶ و تفاله^۷

راهگاه در سطح جدایش

این راهگاهها در سطح جدایش وارد قالب می‌شود و برای قطعات ریخته‌گری ورق مانند استفاده می‌شود. در شکل ۸ راهگاهی در سطح جدایش نشان داده شده است.

شکل ۸- سیستم راهگاهی مطلوب برای قطعات ریختگی ورق مانند

گودالی در کف راهگاه قائم این سیستم وجود دارد که در شکل ۹ نشان داده شده است.

شکل ۹- طرح گودال در کف راهگاه قائم

عمق این گودال بایستی از سطح کانال پایین تر باشد و سطح مقطع افقی آن بیشتر از پنج برابر سطح مقطع انتهای کانال قائم باشد. مطمئن‌ترین نسبت سطح کانال راهگاه قائم، به سطح راهگاه افقی به سطح راهگاه ورودی برابر ۴ : ۴ : ۱ است (سطح کانال قائم در پایین‌ترین قسمت آن اندازه‌گیری می‌شود). این راهگاه ممکن است شامل حفره آشغالگیر یا راهگاه برای اطمینان از جمع‌آوری آشغال و سرباره باشد.

راهگاه فوقانی

هنگامیکه فلز مذاب بداخل راهگاه فوقانی یا مستقیماً بداخل تغذیه باز^۸ بارریزی می‌شود، به کف حفره قالب برخورد کرده و حوضچه‌ای تشکیل می‌دهد این حوضچه تا پر شدن قالب در حالت بهم خوردگی^۹ باقی می‌ماند. اثرات سایش^{۱۰} جریان

^۱ Parting line

^۲ Parting gate

^۳ Top gate

^۴ Bottom gate

^۵ Side gate

^۶ slag

^۷ cross

^۸ Open riser

^۹ agitation

^{۱۰} Erosive effect

کنترل نشده، می‌تواند شدید باشد. از طرفی بهم خوردگی و پاشیدگی مذاب، احتمال اکسیداسیون را افزایش می‌دهد برای جلوگیری از سایش، کف قالب در نقطه تماس می‌تواند با کاشیهای نسوز پیش ساخته^۱ پوشیده شود. اگر سیالیت مذاب اجازه دهد شدت سایش را می‌توان با راهگاه مدادی^۲ کاهش داد. این روش و روشهای دیگری که جریان مذاب را شعبه شعبه می‌کند برای آلیاژهایی که به سرعت اکسیده می‌شوند مناسب نیست ولی برای چدن‌ها مناسب است. برخی تغییرات در راهگاه فوقانی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

شکل ۱۰- تغییرات راهگاه فوقانی (a) بارریزی باز (b) راهگاه لبه‌ای (c) راهگاه مدادی

مزایای عمده راهگاههای فوقانی، سهولت قالب‌گیری کاهش مصرف فلز اضافی و از همه مهمتر ایجاد شیب حرارتی مناسب برای تغذیه از منبع‌های تغذیه فوقانی است. این راهگاه معمولاً محدود به قالبهای کوچک و ساده است.

راهگاه تحتانی

ورود آرام فلز مذاب بداخل حفره قالب وقتی به بهترین وجه صورت می‌گیرد که از پایین‌ترین سطح قالب انجام شود (از درجه پایین). اگر از این سیستم راهگاهی در ریخته‌گری استفاده شود فلز مذاب به طور یکواخت در داخل قالب بالا می‌آید و از پاشیدگی^۳ جلوگیری می‌شود. اگر راهگاه تحتانی با منبع تغذیه فوقانی بکار رود شیب حرارتی ایجاد شده در مقابل تغذیه قطعه مخالفت می‌کند. علیرغم پیچیدگی بیشتر قالب‌گیری، از این روش برای قطعات حجیم استفاده می‌شود.

راهگاه جانبی

قالب‌گیری را می‌توان با تخلیه فلز مذاب بداخل قالب از طریق بخش جانبی قالب در طول صفحه جدایش ساده کرد. انواع مختلف راهگاههای جانبی و تحتانی کاربردهای علمی زیادی دارند راهگاههای بوقی^۴ یکی از راهگاههای تحتانی است که به طور وسیع بکار می‌رود. راهگاههای بوقی معمولی و معکوس در شکل ۱۱- نشان داده شده است.

شکل ۱۱- الف: راهگاه بوقی معمولی ب: راهگاه بوقی معکوس

این نوع راهگاه، با انحنای صاف و تغییر تدریجی ابعاد خود را برای کاهش سایش و اکسایش^۵ طراحی می‌شود. از آنجایی که راهگاه بوقی معمولی مستعد ایجاد حالت فواره^۶ می‌باشد. برای برخی آلیاژها مانند برنز آلومینیم که تشکیل پوسته^۷ می‌دهد از راهگاه بوقی معکوس استفاده می‌شود.

سیستمهای چند راهگاهی

در مورد قطعات حجیم از سیستمهای چند راهگاهی استفاده می‌شود زیرا اگر از یک راهگاه استفاده شود خطر افزایش حرارت در نقطه ورودی قالب افزایش می‌یابد. از سیستمهای چند راهگاهی می‌توان برای وارد کردن فلز مذاب در یک صفحه افقی و در نقاط دور از هم بداخل قالب استفاده کرد و باید بتدریج با پر شدن قالب، در سطوح بالاتر وارد قالب نمود (راهگاه پلکانی^۸). انتخاب یا تلفیق این روشها بستگی به شکل و جهت قطعه ریخته‌گری دارد. در سیستم چند

^۱ Preformed refractory tiles

^۲ Pencil gate

^۳ splashing

^۴ Horn gate

^۵ oxidation

^۶ Jet effect

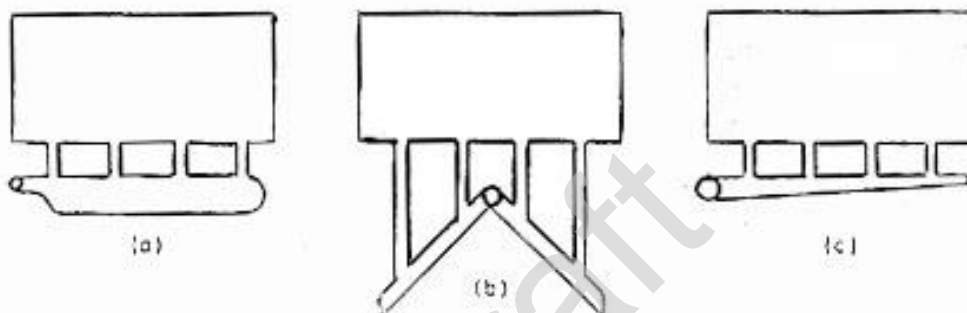
^۷ Skin formatting

^۸ Step gating

راهگاهی کنترل توزیع فلز مذاب بین قسمت‌های مجزای سیستم ضروری است. چنین سیستمی تمایل به ایجاد جریان بیشتر در راهگاههای ورودی با فاصله بیشتر از راهگاه قائم دارد. فلز مذاب جریان خود را در طول خط مستقیم ادامه می‌دهد مگر اینکه مانعی، فشار پس زنی ایجاد نماید و جریان را در کانالهای دیگر آغاز نماید. در نمودار شماره ۱۲- الگوی اصلی رفتار جریان نشان داده شده است.

شکل ۱۲- رفتار جریان در سیستمهای راهگاهی افقی
(a) راهگاه قائم مرکزی (b) راهگاه قائم انتهائی

در چنین سیستمهایی می‌توان با اعمال فشار پس زنی در راهگاههای افقی جریان یکنواختی ایجاد نمود. و در سیستمهای مسدود نشده با ایجاد حوضچه در داخل سیستم می‌توان ممتن مذاب را قبل از ورود آن به محفظ قالب از بین برد. (شکل ۱۳)



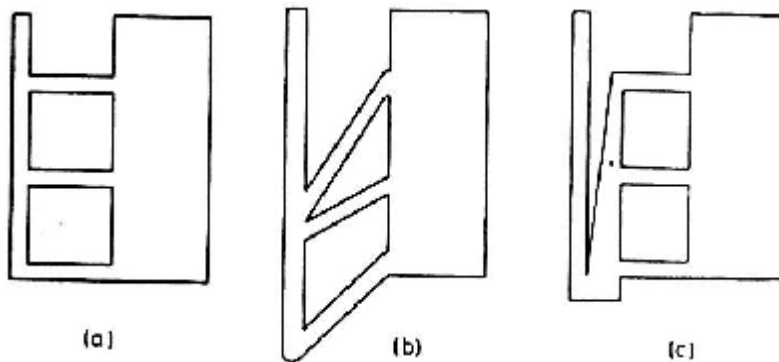
شکل ۱۳- سیستمهای چندراهگاهی انگشتی طراحی شده برای جریان یکنواخت

انستیتوی ریخته‌گری بریتانیا (IBF) نشان داده است که اگر از راهگاه افقی موازی (موازی با قطعه) با راهگاههای ورودی زاویه‌دار استفاده شود، سرعت جریان یکنواخت دقیقاً در سیستمهای چند راهگاه ایجاد می‌شود. بترتیب زوایا طوری محاسبه شده‌اند که سرعت تخلیه مساوی داشته باشند (شکل ۱۴).

نسبت جریان حجمی %	زاویه راهگاه به لایک (راهگاه)
33.6	72°
33.5	56°
32.8	45°

شکل ۱۴- سیستم راهگاههای افقی موازی با راهگاههای ورودی زاویه‌دار

نوع اساسی دیگر از سیستم چندراهگاهی متضمن راهگاه پلکانی است. در این سیستم مذاب بتدریج در سطوح بالاتری وارد قالب می‌شود (شکل ۱۵).

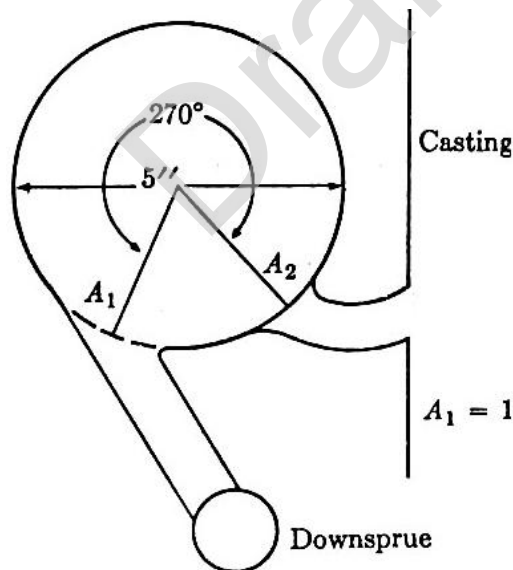


شکل ۱۵- سیستم‌های راهگاهی پلکانی

(a) سیستم ساده (b) پله‌های مورب با اتصال مشترک (c) راهگاه قائم معکوس

سیستم راهگاهی گردابی (آشغالگیر)

سیستم راهگاهی گردابی یکی از سیستم‌های راهگاهی آشغالگیر است و راهگاه گردابی 270° در حذف سرباره از فولاد کاملاً موفق بوده است. شکل ۱۶- راهگاه گردابی 270° است که از عمل گریز از مرکز برای چرخاندن و جمع‌آوری مواد کم‌چگال‌تر در مرکز استوانه بهره می‌گیرد. برای دست‌یابی به این اثر جزئیات زیر اهمیت زیادی دارند. مساحت راهگاه ورودی به گرداب A_1 بایستی حداقل $1/5$ برابر راهگاه خروجی از گرداب A_2 باشد بطوریکه مواد در گرداب مجتمع گردد. ضمناً مذاب ورودی قبل از رسیدن به راهگاه خروجی 270° چرخیده باشد. تا برای جمع‌آوری ناخالصیها زمان کافی ایجاد شود.



شکل ۱۶- راهگاه گردابی برای محبوس ساختن سرباره و آشغال (جزئیات طراحی)

نسبت راهگاهی

منظور از نسبت راهگاهی^۱، مساحت سطح مقطع نسبی قسمتهای مختلف سیستم راهگاهی است و معمولاً با فرمول زیر بیان می‌شود.

$$a:b:c$$

که

a مساحت سطح مقطع راهگاه قائم

^۱ gating ratio

b مساحت کل سطح مقطع راهگاههای افقی

c مساحت کل سطح مقطع راهگاههای ورودی

برای مثال، در یک سیستم راهگاهی که مساحت سطح راهگاه قائم برابر in^2 ۱ و مجموع سطح مقطع‌های راهگاه افقی برابر in^2 ۲ و مساحت سطح دو راهگاه ورودی نیز هر کدام in^2 ۱ باشد نسبت راهگاهی عبارتست از:

$$۱:۲:۲$$

نسبت راهگاهی معمولاً به دو گروه عمده کلی دسته‌بندی می‌شود.

۵- نسبت راهگاهی سیستمهای تحت فشار

۶- نسبت راهگاهی سیستمهای بی‌فشار

در سیستمهای تحت فشار، با محدودیتی که در برابر جریان مذاب ایجاد می‌شود. در راهگاه فشار پس‌زنی^۱ ایجاد می‌شود و نسبت راهگاهی برابر با:

$$۱:۰,۷۵:۰,۵۰$$

یا

$$۱:۲:۱$$

است. در سیستمهای بی‌فشار، اولین محدودیت به جریان مذاب در نزدیکی راهگاه قائم می‌باشد نسبت راهگاهی مانند

$$۱:۳:۳$$

برای این سیستم بکار می‌رود.

از سیستم تحت فشار با نسبت راهگاهی $۱:۰,۷۵:۰,۵۰$ برای ریخته‌گری چند خاکستری استفاده می‌شود. مزایای سیستم طراحی شده تحت فشار عبارتست از:

۱. سیستم راهگاهی پر از مذاب نگهداشته شده و از مکش جلوگیری می‌شود.

۲. اگر از سیستم چندراهگاهی استفاده شود، جریان از راهگاههای ورودی که مساحت یکسانی دارند مساوی است. ولی در سیستمهای بی‌فشار انرژی جنبشی جریان مذاب سعی دارد که آن را به کف راهگاه هدایت کرده و ترجیحاً از دورترین راهگاه ورودی خارج سازد.

۳. برای سرعت جریان معین، سیستمهای تحت فشار، از نظر حجمی کوچکتر از سیستمهای بی‌فشارند. در نتیجه فلز کمتری در بین راهگاهها باقی می‌ماند و بهره‌دهی^۲ (راندمان) ریخته‌گری افزایش می‌یابد.

سیستمهای تحت فشار معایبی نیز دارند که از سرعت زیاد فلز مذاب ناشی می‌شود. زیرا ممکن است در گوشه‌ها و محل اتصالات آشفتنگی شدیدی ایجاد شود. البته با طراحی صحیح و دقیق قابل پیشگیری است.

سیستمهای بی‌فشار نیز معایبی دارند که عبارتست از

۱. به طراحی دقیق نیازمند است

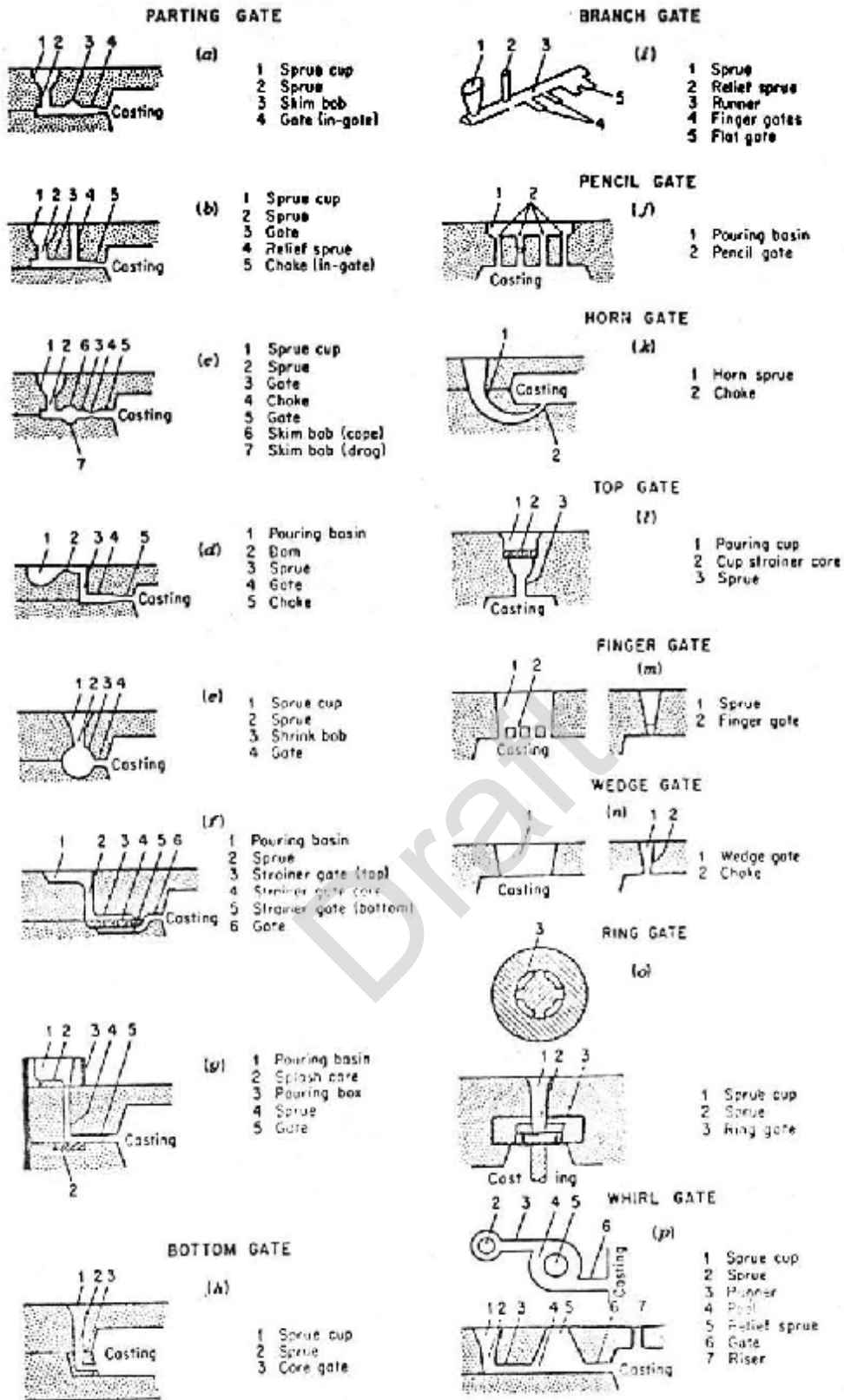
۲. ایجاد جریان مساوی از راهگاهها مشکل است

۳. به راهگاههای افقی و ورودی بزرگی نیاز دارد که در نتیجه بهره‌دهی (راندمان) ریخته‌گری را کاهش می‌دهد.

بر اساس تجربیات صنعتی، استفاده از سیستمهای تحت فشار ملایم برای فلزات آهنی (مخصوصاً چدن) و سیستمهای بی‌فشار برای آلیاژهای آلومینیم و منیزیم و برای برنجه‌ها و برنزه‌ها استفاده از هر دو نوع سیستم مناسب است. در شکل ۱۷ مثالی از سیستمهای راهگاهی داده شده است.

^۱ back pressure

^۲ yield



شکل ۱۷: برخی سیستمهای راهگاهی

در خاتمه به معرفی برخی راهگاهها می پردازیم.
 راهگاه انگشتی^۱ (راهگاه شعبه^۲)

^۱ - finger gate
^۲ - Branch gate

سیستم راهگاهی با دو راهگاه ورودی یا بیشتر که از یک راهگاه افقی منشعب می‌شود. این راهگاه فلز را به چندین قسمت از حفره قالب توزیع می‌کند.

راهگاه پلکانی^۱

سیستم راهگاهی با دو راهگاه ورودی یا بیشتر در سطوح مختلف از یک راهگاه مختلف از یک راهگاه قائم

راهگاه تیغه‌ای^۲

شکافی به ضخامت $\frac{3}{16}$ تا $\frac{1}{4}$ اینچ و با هر طول که مذاب از داخل آن به حفره قالب وارد می‌شود. از این راهگاه معمولاً در حالت مورب ریخته‌گری می‌شود و باعث پرشدن تدریجی قالب می‌شود. جدا کردن آن از قطعه ساده است.

راهگاه لبه رو لبه^۳

شکافی است به ضخامت $\frac{1}{16}$ تا $\frac{3}{16}$ اینچ و معمولاً با طول کمتر از ۳ in که با رویهم قرار گرفتن راهگاه افقی با یکی از لبه‌های قالب ایجاد شده است و جدا کردن آن از قالب بسیار ساده است.

راهگاه نعل اسبی^۴

سیستم راهگاهی که در آن یک راهگاه افقی و دو راهگاه ورودی که به شکل نعل اسب قرار گرفته‌اند. این سیستم به راحتی با دست قطع و از قالب جدا می‌شود.

راهگاه دوشی^۵ (راهگاه مدادی^۶)

سیستم راهگاهی که از داخل آن مذاب به صورت باران، از تعدادی راهگاههای فوقانی کوچک بداخل قالب فرو می‌ریزد.

راهگاه تحتانی

هرگونه سیستم راهگاهی که از داخل آن مذاب از کف قالب وارد می‌شود.

راهگاه بوقی

سیستم راهگاهی تحتانی انحنادار که از داخل آن مذاب به زیر قالب رفته و سپس به بالا و داخل قالب وارد می‌شود و برای جلوگیری از اغتشاش، از راهگاه بوقی معکوس استفاده می‌شود.

راهگاه گردابی

سیستم راهگاهی که در آن مذاب به طور مماس وارد مخزن مدور می‌شود و گردابی را به وجود می‌آورد و قبل از ورود به قالب، سرباره و آشغال را بجا می‌گذارد.

راهگاههای تنظیم و سوار شده

سیستم‌های راهگاهی که با مدل ساخته می‌شود، در برابر سیستم‌های راهگاهی که در ماسه با دست ساخته می‌شود.

ذوب

تغییرات وسیع در نیاز اساسی ذوب فلز در جدول زیر داده شده است. این جدول خواص گرمایی فلزاتی را که عمده آلیاژها و فلزات ریختگی را تشکیل می‌دهند مورد مقایسه قرار می‌دهد. غیر از نوع آلیاژی که باید تولید شود انتخاب لوازم ذوب و ریختگی بایستی به عوامل اقتصادی وابسته باشد. این عوامل شامل توازن بین هزینه و کیفیت لازم است.

^۱ - step gate
^۲ - knife gate
^۳ - Lap gate
^۴ - Horseshoe gate
^۵ - Shower gate
^۶ - pencil gate

جدول ۱: دمای ذوب و گرمای مورد نیاز برای ذوب فلزات

کل گرمای مورد نیاز برای ذوب $L+s(T_m-20)$		گرمای نهان ذوب (L) cal/g	میانگین گرمای ویژه (s) در گستره $20-T_m$ (°C) cal/g.°C	دمای ذوب (°C)	فلز
kcal/lit	kcal/kg				
۲۲۰۴	۲۷۹	۶۵,۰	۰,۱۴۱	۱۵۳۷	آهن (Fe)
۲۳۰۵	۲۵۹	۷۲,۱	۰,۱۳۱	۱۴۵۳	نیکل (Ni)
۱۴۴۹	۱۶۱	۴۸,۹	۰,۱۰۵	۱۰۸۳	مس (Cu)
۶۵۹	۲۴۴	۹۲,۷	۰,۲۳۲	۶۶۰	آلومینیم (Al)
۴۵۶	۲۶۸	۸۵,۶	۰,۲۸۹	۶۵۰	منیزیم (Mg)
۴۸۲	۶۸	۲۶,۲	۰,۱۰۱	۴۲۰	روی (Zn)
۱۸۷	۱۶	۵,۷	۰,۰۳۴	۳۲۷	سرب (Pb)
۱۹۷	۲۷	۱۴,۲	۰,۰۵۸	۲۳۲	قلع (Sn)

$$1 \text{ kcal} = 4,1868 \text{ kJ}$$

کوره‌های ذوب

ذوب فلزات در ریخته‌گریها اغلب به روش ناپیوسته (Batch) صورت می‌گیرد. مورد استثنای قابل ذکر، ذوب پیوسته در کوره کوپل است. که اکثراً برای تولید چدن استفاده می‌شود. هر چند کوره‌های ذوب بایستی به طریقی طراحی شوند که انتقال گرما به بار کوره به نحو احسن صورت گیرد اما راندمان گرمایی معیار اصلی برای انتخاب لوازم ذوب نیست. اقتصاد کلی در عملیات ذوب به عوامل متعددی بستگی دارد که عبارتند از:

استهلاک سرمایه (capital depreciation)

درجه استفاده (degree of utilization)

هزینه اجرائی به تنهایی شامل نگهداری، نیروی انسانی، سوخت و ارزش الکتریسیته است. عوامل متالورژیکی برای انتخاب امکانات ذوب به تمایل بار کوره برای واکنش با محیط بستگی دارد، که بر کنترل شیمیائی ناخالصی و بهره‌دهی فلز موثر است. اثرات ترکیب شیمیائی بایستی در رابطه با کیفیت قطعه ریختگی مورد بحث قرار گیرد، در حالیکه اهمیت اقتصادی کاهش ضایعات ذوب، به ارزش ذاتی فلز بستگی دارد. به طور کلی ضایعات در مورد آلیاژهای بسیار گران‌غیرآهنی بسیار مهم است.

به طور خلاصه، انتخاب کوره با توجه به هزینه، کیفیت فلز، نیازهای تولیدی و نوع آلیاژ تعیین می‌شود. اگر کوره برای شرایط مختلف، انعطاف‌پذیری لازم را داشته باشد برای انواع تولید محسوب مزیت می‌شود. کوره‌ها به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند.

۱. کوره‌های احتراق سوخت

۲. کوره‌های با گرمایش الکتریکی

در هر گروه اختلاف عمده بین نوع اجاق یا بوت‌های بودن است.

طراحی

به طور کلی کنترل دقیق ترکیب شیمیائی حداقل تلفات و حداکثر تمیزی در کوره‌هایی حاصل می‌شود که بار کوره از فرایند احتراق جدا باشد و خطر آلودگی با عناصر گازی و گوگرد در این رابطه کوره‌های بوت‌های بر کوره‌های وانی و اجاق‌دار مزیت دارند.

چه از نوع ایستا باشد یا دوار، مخصوصاً از آنجائیکه بوت‌های جدید در برابر آلودگی بسیار غیرقابل نفوذند. این مقایسه حتی در مورد ذوب الکتریکی تا حدودی صادق است. زیرا فلزی که با قوس الکتریکی ذوب شود در معرض آلودگی با گازهای اتمسفر است که تحت اثر قوس جذب می‌شود. ذوب القائی شبیه... ادامه داده شود.

از طرف دیگر در مواقعی که به واکنش بین سرباره-فلز نیاز باشد، شرایط گرمایی کوره‌های وانی ترجیح داده می‌شود زیرا اثر گرما دهی از بالای و قسمت فوقانی، فرایند خالص سازی را تسریع می‌کند. در حالت خاص چدن خاکستری، تماس مستقیم بین سوخت و بار کوره یک مزیت مثبت است. زیرا کک دو نقش به عنوان سوخت و نیز عامل کربورایزینگ بازی می‌کند. در این صورت کوره کوپل منحصر به فرد است. غیر از این موضوع شرایط ذوب، در کوره‌های بوت‌های محدودیت اندازه نیز وجود دارد. برای ذوب در حدود یک تن و بالاتر، از کوره وانی که ضخامت نسوز آن قابل ملاحظه بوده و پوسته‌ای فلزی دارد استفاده می‌شود. بر عکس بوت‌ها برای ریخته‌گریهای کم بسیار مناسب و قابل انعطاف می‌باشند. در جدول زیر کوره‌های ذوب ریخته‌گری داده شده است.

انرژی	شکل اصلی	کوره	روش گرم کردن	زمینه‌های اصلی کاربرد	
I- احتراقی	وانی	کوره کوپل	کک (بار با سوخت مستقیماً در تماس است)-ذوب پیوسته	چدن، فولاد	
		تابشی Reverberatory	سوخت گاز، مایع و جامد	آلیاژهای غیر آهنی، چدن (مالیل)	
		کوره اجاق باز	سوخت گاز، مایع	فولاد	
		کوره دوار	سوخت گاز، مایع و جامدپودری	آلیاژهای غیر آهنی، چدن (مالیل)	
	بوت‌های	بوت‌های نوع زمینی	سوخت گاز، مایع و جامدپودری	اغلب آلیاژ غیر از فولاد	
		بوت‌های نوع زمینی	سوخت گاز، مایع و جامدپودری	اغلب آلیاژ غیر از فولاد	
		بوت‌های نوع زمینی	سوخت گاز، مایع	ریخته‌گریهای کوچک مخصوصاً ریخته‌گریهای تحت فشار	
II- الکتریکی	وانی	قوسی	قوس به بار کوره	فولاد، چدن	
		غیرمستقیم	تشعشع قوس	آلیاژهای غیر آهنی، فولادهای آلیاژی	
	بوت‌های	مقاومتی	تشعشع میله مقاومتی	فولاد، چدن، آلیاژهای مس	
		مقاومتی	المانهای گرمایی	آلیاژهای غیر آهنی	
	کانالی	القائی	القای بی‌هسته	القای فرکانس بالا	فولاد، مخصوصاً فولادهای آلیاژی
			القای باهسته	القای فرکانس پائین	چدن
				القای فرکانس پائین	آلیاژهای غیر آهنی، برای ریخته‌گری تحت فشار

کوره‌های ذوب

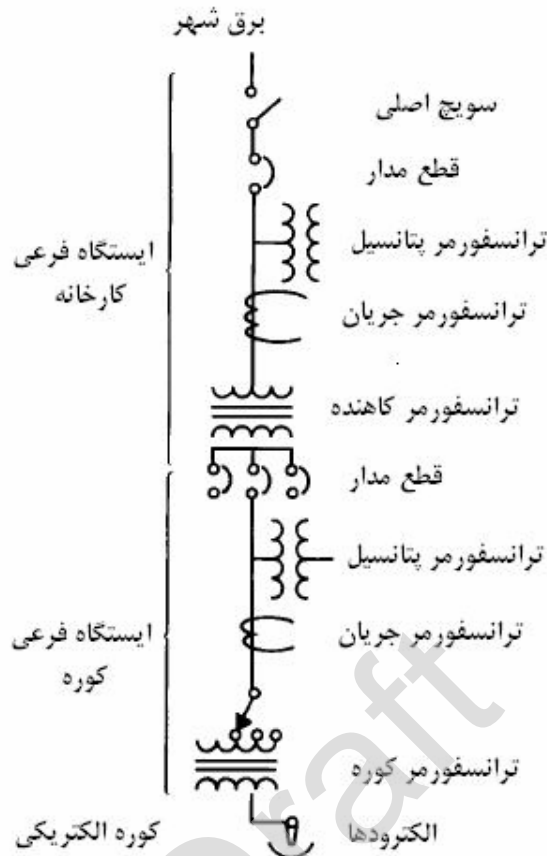
کوره‌های قوس الکتریکی

کوره‌های قوس الکتریکی در آغاز قرن بیستم ظهور کردند و ظرفیت این کوره‌ها در ابتدا از یک (۱) تا پانزده (۱۵) تن بود.

کوره‌های قوس الکتریکی هم به عنوان ذوب و هم به عنوان کوره نگهدارنده استفاده می‌شوند.

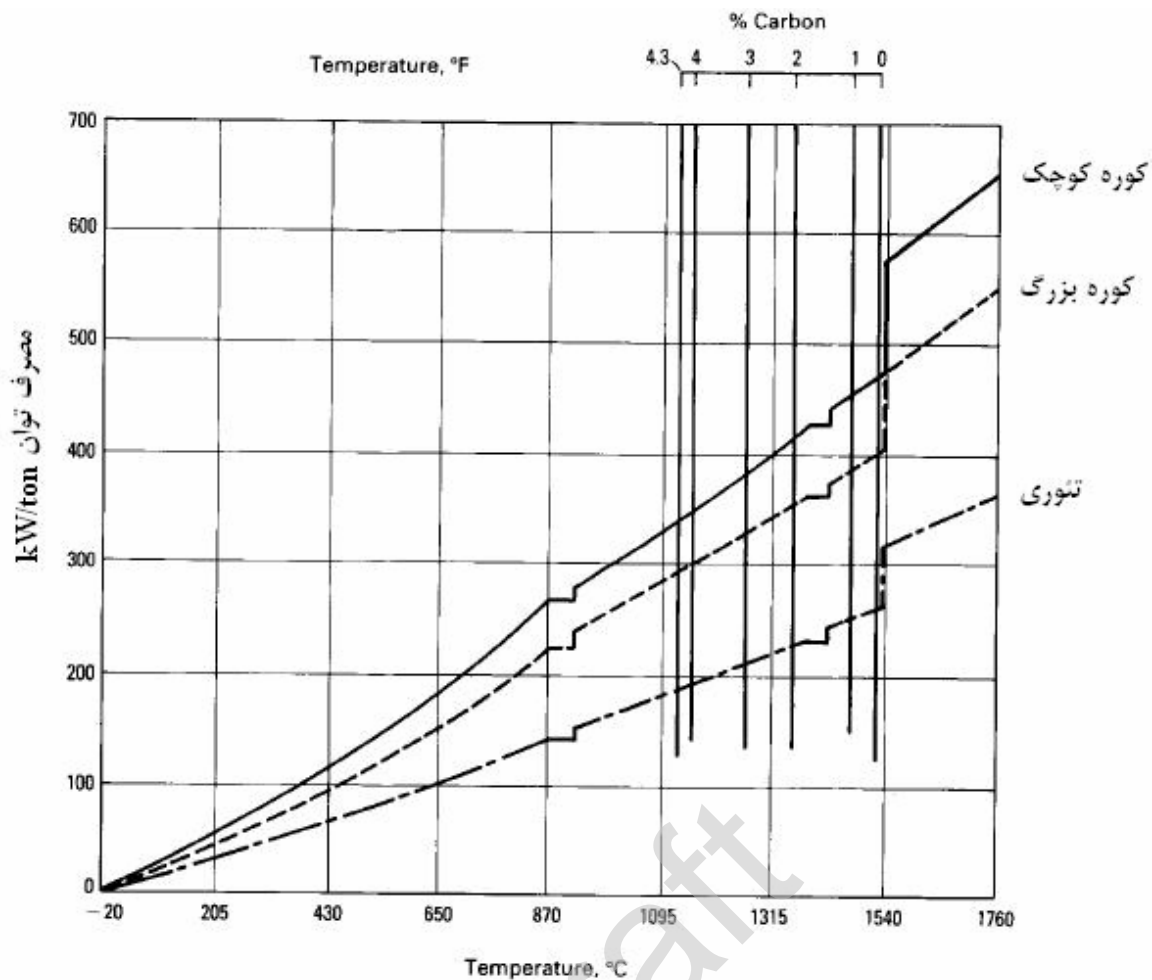
تامین توان الکتریکی

جریان اعمال شده به کوره قوس الکتریکی از برق شهر تامین می‌شود. شماتیک این شبکه در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل: شماتیک شبکه برق کوره قوس الکتریکی

توان داده شده به کوره در طی ذوب توسط قوس الکتریکی ایجاد شده از سه الکتروود کربنی یا گرافیتی تامین می‌شود. در طی ذوب هر سه قوس یا هر سه فاز به صورت یک فاز عمل می‌کنند. در طی ذوب جریان نوساناتی دارد در طی تصفیه مذاب (پس از ذوب) قوسها مقداری بدلیل پوشش سرباره مذاب و مقداری بدلیل مسطح شدن سطح مذاب پایدار می‌شوند. مقدار زیادی از گرمای تولیدی در مدت ذوب و تصفیه ایجاد می‌شود. برای مهار و جهت دهی انرژی قوسها کنترل مناسبی لازم است تا بدون از بین رفتن نسوزهای کوره فقط مذاب تولید شود. انرژی لازم برای ذوب فولادهائی با کربن متفاوت در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل: توان مصرف شده در ذوب آهن و فولاد در کوره قوس الکتریکی
 نقطه ذوب آهن خالص (۰,۰٪ C) برابر با ۱۵۳۵ °C و آهن با ۴,۳٪ C برابر با ۱۱۳۰ °C

ضریب توان (Power Factor)

راندمانی که طی آن، توان الکتریکی به مذاب منتقل می‌شود را فاکتور یا ضریب توان می‌نامند. فاکتور توان، PF، عبارت از نسبت وات مصرفی W تقسیم بر ولت-آمپر VA است.

$$PF = \left(\frac{W}{VA} \right) \times 100$$

روشهای اندازه گیری PF

یک روش اندازه گیری برای تعیین میانگین فاکتور توان در یک دوره زمانی استفاده از دو دستگاه اندازه گیری است.

۱. دستگاه اندازه گیری توان-ساعت برای تعیین توان مفید watt-hour

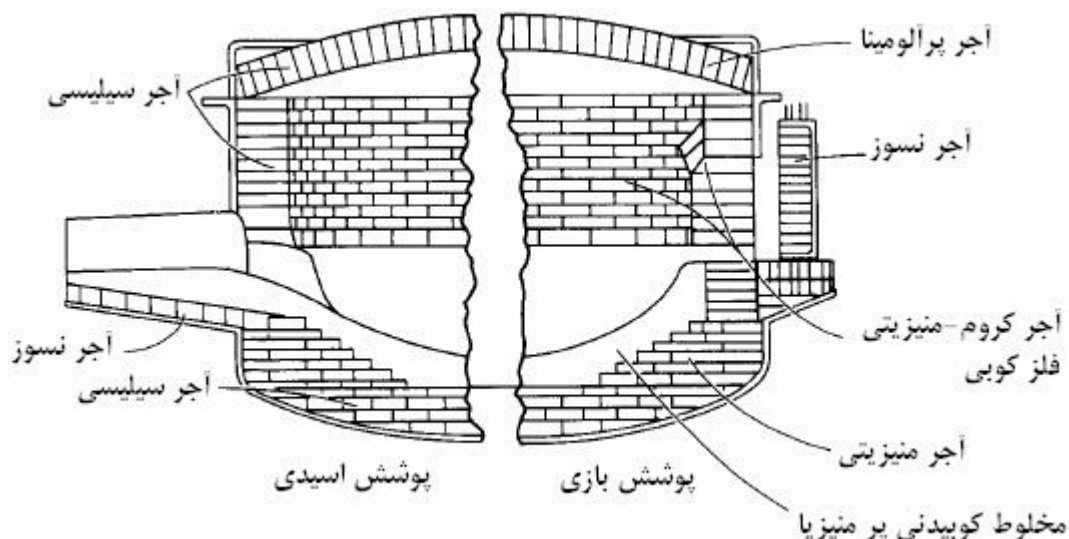
۲. دستگاه اندازه گیری توان راکتیو var-hour

از تقسیم var-hour (در مدت زمان معین) به watt-hour (در همان مدت) تانژانت زاویه فاکتور توان را مشخص می‌کند. کسینوس این زاویه برابر فاکتور توان است.

اجزای کوره قوس الکتریکی

کوره قوس الکتریکی اجزای متعددی دارد این کوره‌ها با نسوزهایی که نوع ذوب (اسیدی یا قلیائی) را تعیین می‌کنند.

شکل زیر



شکل: مقطعی از کوره قوس الکتریکی به همراه نسوزهای بکار رفته

در جدول زیر نسوزهای مختلف را که در ذوبهای اسیدی یا قلیائی بکار می‌روند را نشان داده است. بسته به اینکه فرایند اسیدی یا قلیائی باشد رنگ سرباره ممکن است برای تعیین مقدار اکسید آهن سرباره مطابق زیر کافی باشد

CaO/SiO ₂	درصد FeO	رنگ
		سرباره اسیدی
...	۳۰-۴۰	سیاه - خاکستری
...	۲۰-۳۰	سبز تیره
...	۱۵-۲۰	سبز تیره رگه رگه
...	< ۱۵	سبز آبی (سبز یشمی)
		سرباره قلیائی
۳,۳۳	۱۴,۸۵	سیاه
۲,۱۹	۱۱,۵	قهوه ای خاکستری تیره
۱,۹۱	۱,۰۵	خاکستری
۱,۸۸	۱,۰۵	قهوه ای روشن
۲,۰۱	۰,۵۶	خاکستری
۲,۵۳	۰,۵۱	سفید
		سفید

اثر مقدار سیلیس بر سرباره

- طبیعت سیلیس (SiO₂)، فسفر (P) و گوگرد (S) اسیدی است.
 - سیلیس از فسفر (P) و یا گوگرد (S) اسیدی تر است.
 - طبیعت اکسید کلسیم (CaO) و اکسید منیزیم (MgO) قلیائی است.
 - واکنشهای سرباره قلیائی وقتی سیلیس بیش از حد باشد عبارتند از
- $$2CaO + SiO_2 \rightarrow 2CaO.SiO_2 \text{ یا } (Ca_2SiO_4)$$
- $$2MgO + SiO_2 \rightarrow 2MgO.SiO_2 \text{ یا } (Mg_2SiO_4)$$
- $$2CaO.SiO_2 + 2MgO.SiO_2 \rightarrow 2(CaO.MgO.SiO_2)$$
- امروزه ظرفیت کوره‌های قوس الکتریکی از ۰,۵ تا ۱۰۰ تن است به جدول زیر مراجعه شود.

جدول : نمونه ابعاد و ظرفیت کوره‌های قوس الکتریکی

الکترودها می‌توانند گرافیتی و یا کربنی باشند.

ظرفیت جریان الکتریکی الکتروود گرافیتی نسبت به الکتروود کربنی با همان اندازه بالاتر است (جدول زیر مربوط به مشخصات الکترودها)

جدول : اندازه‌ها، وزن‌ها و ظرفیت جریان الکتریکی الکترودها

Diameter × length mm	Approximate current capacity, A	Approximate weight of electrode and nipple kg
Graphite electrodes		
102 × 1015	1 800–3 300	13.6
152 × 1220	3 500–5 800	37.6
152 × 1520	3 500–5 800	47.1
178 × 1220	4 400–7 500	46.3
178 × 1520	4 400–7 500	59.9
203 × 1220	5 500–9 300	62.1
203 × 1520	5 500–9 300	77.1
229 × 1520	6 700–11 300	96.6
254 × 1220	8 000–13 300	97.1
254 × 1520	8 000–13 300	118
305 × 1520	11 300–17 000	171
305 × 1830	11 300–17 000	201
356 × 1520	18 000–25 000	228
356 × 1830	18 000–25 000	273
Carbon electrodes		
203 × 1520	2 500–4 500	79.8
254 × 1520	3 100–6 300	125
305 × 1520	4 500–7 900	178
356 × 1520	5 400–10 000	240
356 × 1830	5 400–10 000	293

الکترودها با سه بازوی جداگانه هر کدام با یک کلمپ فنری و یا در برخی کوره‌ها با کلمپ مکانیکی، که توسط باد آزاد می‌شوند نگهداری می‌شوند.

منبع گرمایی

تامین گرمای ذوب و فوق ذوب به افزایش هزینه با تغییر از جامد به

فرآیندها و روشهای ریخته‌گری

اساس کلیه فرآیندهای ریخته‌گری تغذیه فلز مذاب به حفره قالب و سپس انجماد مذاب و ایجاد جسم جامد است. تفاوت فرآیندهای مختلف، اصولاً در چگونگی تهیه قالب است. گامهای اساسی و ویژه‌شناسی را با ریخته‌گری جسم ساده‌ای در قالب ماسه‌ای روشن می‌کنیم. ابتدا بایستی الگو یا مدل^۱ جسم مورد نظر را از چوب، فلز یا مواد دیگر بسازیم. آنگاه قالب را با تراکم^۲ ماسه در اطراف مدل آماده سازیم. همه این موارد در داخل جعبه قالب‌گیری^۱ (درجه) قرار می‌گیرد. معمولاً قالب دو قسمتی است که قسمت بالایی را درجه بالایی^۲ و قسمت پائینی را درجه پایینی^۳ می‌نامند.

^۱ Pattern
^۲ packing

اگر قطعه دارای حفره باشد قالبهای مجزایی بنام ماهیچه^۴ ساخته می‌شود و در داخل فضای باقیمانده مدل قرار می‌گیرد که در این صورت فضای بین حفره قالب و ماهیچه ریخته‌گری می‌شود. برای بارریزی^۵ قطعه ریخته‌گری بایستی سیستم راهگاهی^۶ ایجاد شود که در ابتدای آن حفره باز و گشادای بنام حوضچه بارریز^۷ تعبیه می‌شود تا بارریزی را ساده کند. فلز داخل حوضچه بارریز از طریق کانال قائم^۸ به ته راهگاه و سپس بداخل راهگاههای افقی^۹ جریان می‌یابد. آنگاه از طریق راهگاههای ورودی^{۱۰} به داخل قالب وارد می‌شود. پس از کامل شدن انجماد، قطعه ریخته‌گری را از قالب خارج ساخته، ماهیچه‌ها را با ضربه از قطعه جدا می‌کنند و منبع‌های تغذیه را بریده و قطعات ریخته‌گری اولیه را برای ماشین‌کاری^{۱۱} آماده می‌کنند.

در حین فرآیند انجماد، رشد دانه‌ها با کنترل جهت انتقال حرارت در قالب کنترل می‌شود. انجماد می‌تواند با استفاده از میرد شروع شود. میردها قطعاتی فلزی هستند که حرارت را بسرعت انتقال می‌دهند. از طرف دیگر با استفاده از مواد عایق یا ترکیبات گرمازا شرایط جریان گرما را می‌توان کنترل کرد و در قسمت معینی از قالب انجماد را به تاخیر انداخت.

فرآیندهای ریخته‌گری

۱. ریخته‌گری ماسه

اغلب تولید قطعات ریختگی در ماسه انجام می‌شود. ریخته‌گری ماسه، فرآیندی است که در آن از ماسه برای قالب‌گیری استفاده می‌شود. ماسه لازم برای یک تن ریخته‌گری حدود ۴ تا ۵ تن است. نسبت مصرف ماسه به فلز، بسته به نوع، اندازه قطعه ریختگی، و روش قالب‌گیری، ممکن است از ۱:۱۰ تا ۱:۲۵ تغییر کند. ماسه ریخته‌گری انواع مختلفی دارد که به ذکر برخی از آنها پرداخته می‌شود.

قالب‌گیری با ماسه مرطوب

قالب ماسه مرطوب^{۱۲}، نوعی قالب ماسه‌ای است که مذاب در هنگامیکه قالب هنوز مرطوب است، بارریزی می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱. ارزان‌ترین روش است.
۲. نیازی به خشک کردن ندارد لذا هزینه و وقت صرفه‌جویی می‌شود.
۳. از فضای محدود، می‌توان تولید بالائی بدست آورد.
۴. قالب‌های ماسه‌ی مرطوب از قالب‌های ماسه خشک نرم‌ترند، در نتیجه هنگام انقباض، قطعه آزادی بیشتری خواهد داشت.

از معایب آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

سطح قطعه حاصل صاف نیست.

نفوذپذیری و مقاومت این قالبها پائین است، در نتیجه معایب خاصی در آنها ایجاد می‌شود.

مقاومت مکانیکی آنها تا حدودی پائین است لذا در هنگام حمل و نقل، احتمال آسیب دیدن داشته و ممکن است، تخریب شوند.

^۱ moulding box

^۲ cope

^۳ drag

^۴ core

^۵ pouring

^۶ Gating system

^۷ pouring cup

^۸ sprue

^۹ down gate

^{۱۰} ingate

^{۱۱} fettling

^{۱۲} Green means wet or moist

قالب‌ها را نمی‌توان برای مدت زیادی انبار و نگهداری کرد.

۲: مزایا و معایب فرایند ریخته‌گری ماسه

فرایند ریخته‌گری ماسه دارای مزایای بسیار بوده و یک فرایند انعطاف پذیر، ساده و اقتصادی است. و از معایب آن عدم امکان ریخته‌گری قطعات نازک بوده و دقت اندازه‌ها پائین است.

پیشرفتهای ایجاد شده در ریخته‌گری ماسه

الف: قالب‌گیری با ماسه سیمان

در این روش سیمان پرتلند (حدود ۱۰ درصد) با ماسه و ۵ درصد آب مخلوط می‌شود. از این مخلوط برای ایجاد سطوح تماس با مدل استفاده می‌شود و پشت آن نیز از ماسه قبلی پر می‌شود. پس از قالب‌گیری درجه‌ها را بمدت یک تا دو روز به حال خود گذاشته تا سخت شود. در این روش قالبی با سطح بسیار سخت ایجاد می‌شود.

ب: فرایند سیلیکات سدیم / گاز کربنیک

به جای استفاده از روغن یا رزین که برای ایجاد پیوند یا پخت به گرما نیاز دارند، این فرایند از ماسه‌ای استفاده می‌کند که با سیلیکات سدیم (Na_2SiO_3) و معمولاً افزودنی آلی دیگری برای بهبود ریزش بر اثر لرزش مخلوط شده باشد. در این روش ماسه سیلیسی بدون خاک با پنج درصد سیلیکات سدیم مخلوط می‌شود از این مخلوط برای قالب‌گیری و ماهیچه سازی استفاده می‌شود که با گاز کربنیک سخت می‌شود. درصد سیلیکات سدیم بسته به نوع سیلیکات، نرمی ماسه و نوع آلیاژ ریخته‌گری، دما ممکن است از ۲ تا ۶ درصد متغیر باشد. استحکام خام قالب را می‌توان با افزودن ۲٪ خاک رس کنترل کرد. گاز کربنیک اسیدضعیفی تشکیل می‌دهد که سیلیکات سدیم را هیدرولیز می‌کند و سیلیس آمورف تشکیل می‌شود که به نوبه خود بین ذرات ماسه پیوند ایجاد می‌کند. سیلیکات سدیم خود نیز پیوند ایجاد می‌کند. فرایند ایجاد پیوند یک واکنش ساده شیمیایی نیست و نیاز به تشکیل کربنات سدیم و ژل سیلیس دارد که ترکیبی از سه فرایند زیر است.

۱. رسوب ژل سیلیس^۱

۲. تغییر نسبت Na_2O به SiO_2 در سیلیکات، باعث سخت شدن می‌شود.

۳. خشک کردن سیلیکات تغییر نکرده. از دست دادن آب، تغییر زیادی در ویسکوزیته^۲ ایجاد می‌کند و باعث سختی می‌گردد واکنش شیمیایی انجام شده عبارت است از:



ج: فرایند خودگیر

در فرایند خودگیر^۳ یک چسب فعال^۴ و نوعی کاتالیست قبل از قالب‌گیری با ماسه مخلوط می‌شود. واکنش سخت شدن بدون هیچگونه اعمال دیگری صورت می‌گیرد. موضوع مهمی که باید در نظر گرفته شود آن است که مخلوط سازی و قالب‌گیری بایستی در مدت معینی صورت گیرد. دیگر فرایند عبارتند از:

۱. فرایند سیلیکات خودگیر یا فرایند نی‌شی‌یاما

فرایند نی‌شی‌یاما (Nishiyama)، روش بهبود یافته‌ی فرایند سیلیکات سدیم/گاز کربنیک است که به آن فرایند سیلیکات خودگیر^۵ نیز گفته می‌شود. فرایند سیلیکات خودگیر، سخت‌کننده‌ای مانند پودر فروسیلیسیم یا

^۱ Silica gel

^۲ Viscosity

^۳ Self-Setting sand process

^۴ reactive binder

^۵ Viscosity

سیلیکات‌دی‌کلسیم^۱ به مخلوط ماسه-سیلیکات افزوده می‌شود. در این فرایند بایستی، احتیاطات فوق‌العاده‌ای مبذول شود زیرا در واکنش سخت‌شدن، گاز هیدروژن به عنوان محصول جانبی متصاعد می‌شود.

۲. فرآیند رزین-فوران

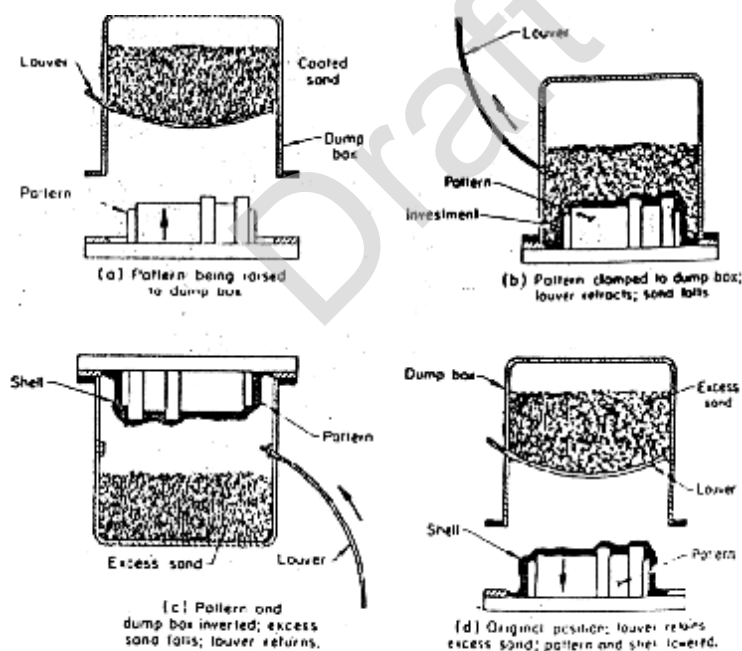
در فرآیند رزین-فوران^۲ برای ایجاد پیوند، از پلیمریزه شدن رزین با کاتالیزوری مانند اسید فسفریک یا اسید تولوئن سولفونیک استفاده می‌شود.

۳. سیستم سردگیر روغنی

در سیستم سردگیر روغنی، چسب مصرفی نوعی روغن بزرگ اصلاح شده با عامل خشک‌کننده فلزی است (معمولاً نفتانات کبالت) که به این مخلوط ماده سخت‌کننده ایزوسیانات افزوده می‌شود سخت‌کننده زمان گیرش را کنترل می‌کند.

قالب‌گیری پوسته‌ای

در این روش، ماسه قالب‌گیری با چسب زرینی سنتزی (فنل فرمالدئید، اوره فرمالدئید، آلکید یا رزین پلی‌استر) ضمن مخلوط شدن پوشش داده می‌شود. و سپس با بدنه مدل داغ تماس داده می‌شود. آنگاه رزین گرماگیر پوسته صلب و سختی را ایجاد و از مدل جدا می‌شود. معمولاً دو پوسته با هم یک قالب را تشکیل می‌دهند. پوسته‌ها ممکن است آنقدر صلب ساخته شوند که نیازی به پشت بند به عنوان نگهدارنده نداشته باشند و یا ممکن است با نوعی پشت بند نگهداری شوند. مراحل تولید این قالبها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مراحل تولید قالبهای پوسته‌ای

در این روش پس از یک دوره اولیه گرم‌گیری در حالیکه هنوز قالب با بدنه در تماس است ماسه اضافی طبق شکل ۱ از آن جدا می‌شود. و عملیات حرارتی جهت بهبود آن صورت می‌گیرد. این عمل برای آن است که از درجه گیرش یکسان در تمام پوسته اطمینان داشته باشیم. و نتیجتاً پیچیدگی به حداقل برسد. این موضوع در مورد قالبهای خود نگهدار^۳ بسیار مهم است.

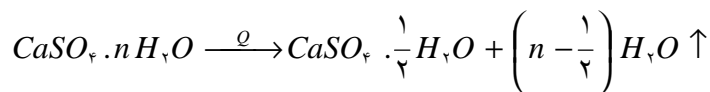
^۱ dicalcium silicate

^۲ Furan-resin process

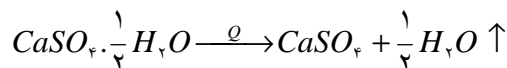
^۳ Self - Support

ریخته‌گری در قالب گچی

در ریخته‌گری گچ، برای ساخت قالب از جیپس (یا سولفات کلسیم آبدار) با فرمول شیمیایی $CaSO_4 \cdot nH_2O$ استفاده می‌شود. برای اینکار ابتدا ژپیس را تکلیس کرده و گچ بدست می‌آورند، فرمول تکلیس عبارتست از:



اگر دما باز هم افزایش یابد گچ حاصل، آب باقیمانده خود را مطابق واکنش زیر از دست می‌دهد.



برای ساخت قالب، ۱۰۰ قسمت گچ تکلیس شده را با ۱۶۰ قسمت آب مخلوط کرده و بر روی بدنه مدل می‌ریزند تا سفت شود. سپس آن را در خشک‌کن و در دمای $(200-425^\circ C)$ خشک می‌کنند تا گچ آب آزاد و آب ترکیبی خود را از دست دهد. در این روش قالبهائی با دقت زیاد و سطح بسیار صاف ایجاد می‌شود. قالبها دارای ظرفیت حرارتی کم بوده در نتیجه سرعت انجماد بسیار آهسته است. و تغذیه به سهولت صورت می‌گیرد. ولی زمان تولید افزایش می‌یابد. برای جلوگیری از ترک خوردن قالب، ۲۰ تا ۳۰ درصد تالک به گچ اضافه می‌شود. در این روش، فلزاتی مانند نقره، طلا، آلومینیم، منیزیم، مس و آلیاژهای این فلزات مخصوصاً برنج و برنز ریخته‌گری می‌شوند.

روش دیگری از ریخته‌گری در قالب گچ که به فرآیند Antioch معروف است برای ریخته‌گری قطعات مهندسی پیچیده استفاده می‌شود. مزیت عمده این روش در آن است که قالب گچی نفوذپذیری بالائی دارد. در این روش، برای تولید قالب آب را به مخلوط خشکی از جیپس، ماسه، پنبه نسوز، تالک و سیلیکات سدیم اضافه می‌کنند تا دوغاب تهیه شود سپس آن را با شیلنگ به داخل قالب تخلیه می‌کنند. مخلوط در ابتدا گیرش اولیه‌ای دارد پس از شش ساعت در دمای اتاق در اتوکلاوی با ۲ اتمسفر فشار قرار می‌دهند. پس از آن قالب را ۱۲ ساعت در هوا قرار می‌دهند تا بهبود یابد و نهایتاً در خشک‌کن و دمای $230^\circ C$ خشک می‌کنند.

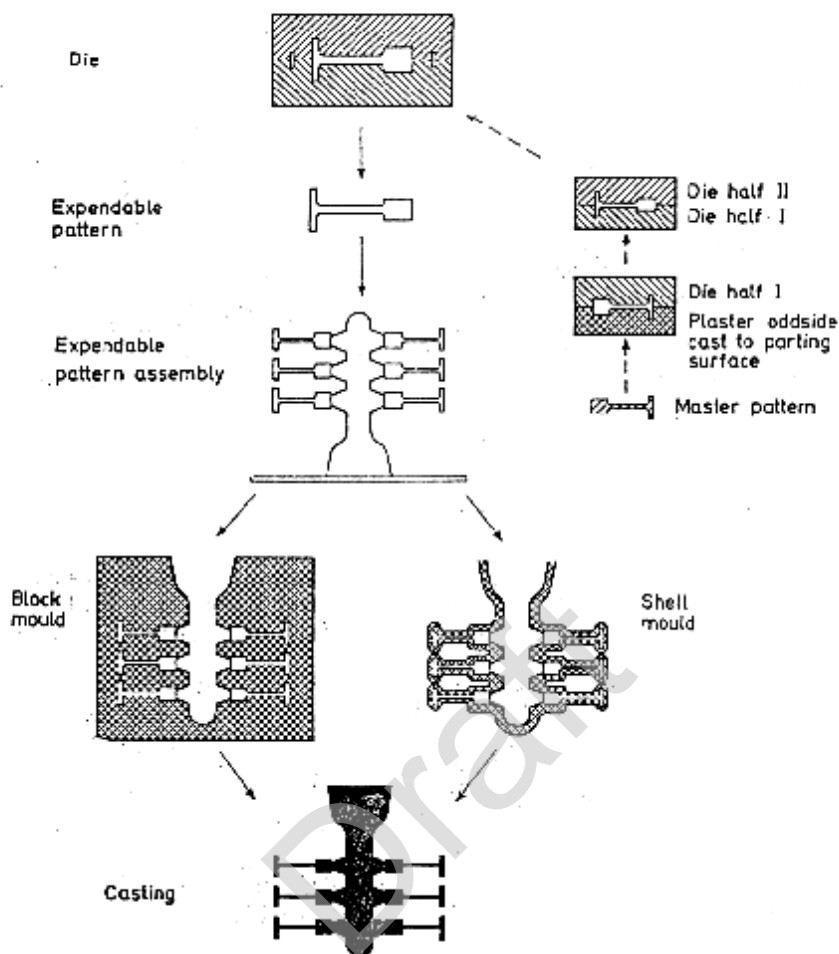
ریخته‌گری دقیق یا ریخته‌گری با موم دور ریز

این فرآیند که در آن از موم استفاده می‌شود روشی بسیار قدیمی است که امروزه نیز از آن استفاده می‌شود و از زمانی که نیاز به دقت بیشتر با ابعاد دقیقتر احساس شده است اهمیت آن افزایش پیدا کرده است. این فرآیند از یک ریخته‌گری تا ریخته‌گری دیگر متفاوت است اما در اولین مرحله، تولید مدل مصرف شو با موم یا پلاستیک صورت می‌گیرد. پس از تهیه قالب، آن را با نسوز مناسبی پوشش می‌دهند سپس خشک کرده و پخت می‌دهند در حین فرآیند پخت در نسوز پیوندهای قوی ایجاد می‌شود و موم داخل آن ذوب شده و خارج می‌شود. اگر از پلاستیک که معمولاً پلی‌استیرن است استفاده شود، پس از حرارت دادن، پلی‌استیرن بدون ایجاد خاکستر و بر جا گذاشتن باقیمانده، سوخته و از بین می‌رود. پس از تهیه قالب به روش فوق، در آن با مذاب ریخته‌گری می‌کنند.

روش تولید مدل نیز بسیار ساده است. برای این کار موم را بداخل قالب فلزی تزریق می‌کنند و گاهی نیز مدل ساده‌ای را یکباره با سیستم راهگاهی مجزا تولید می‌کنند، در حالیکه اکثراً یک مدل شامل چند قطعه است.

در فرآیند پوسته‌ای سرامیکی (زیرکون، سیلیمانیت، سیلیکات آلومینیم) نیز بعد از اینکه مدل مومی تهیه شد آن را به داخل دوغاب آبی که دارای ذرات بسیار ریز است فرو می‌برند تا با مواد معلق پوشش داده شود تا سطح صافی ایجاد گردد آنگاه آن را با ذرات درشت نسوزاند و دکرده و خشک می‌کنند. این عملیات را آنقدر تکرار می‌کنند تا ضخامت مورد نظر ایجاد شود.

پوشش اولیه‌ای که از فرورودن موم بداخل دوغاب ایجاد می‌شود دارای چسبی مانند سیلیکات اتیل^۱ است. فرآیند اندودکاری^۲ نیز با پاشیدن یا فرورودن قطعه بداخل بستری سیال^۳ صورت می‌گیرد که ذرات خشک به سطح مرطوب قالب می‌چسبد (شکل ۲).



شکل ۲: ترتیب تولید در ریخته‌گری دقیق

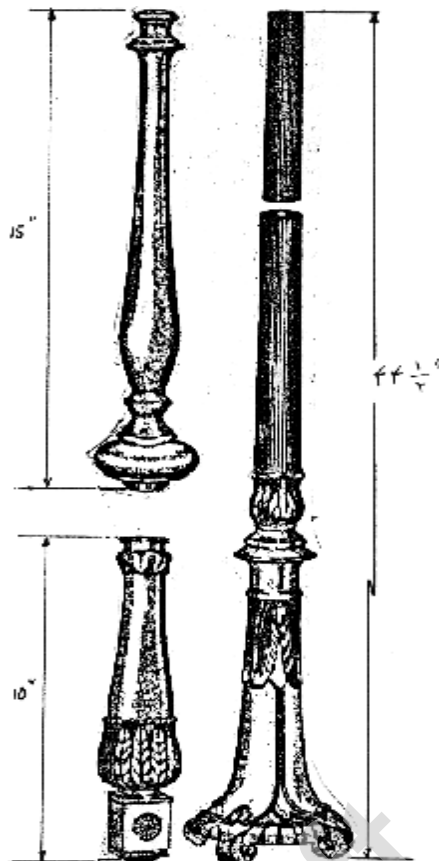
ریخته‌گری در قالب دائمی (تحت نیروی ثقل)

در این روش که از قالبی فلزی استفاده می‌شود، مذاب بدون فشار، تحت نیروی ثقل قالب را پر می‌کند. این روش برای تولید انبوه قطعات کوچک و ساده مناسب است و سطح تمام شده خوبی حاصل می‌شود.

ریخته‌گری مجوف

در روش دیگری از ریخته‌گری که بنام ریخته‌گری مجوف^۴ شناخته می‌شود، برای تولید اجسام توخالی و بدون استفاده از ماهیچه، از قالب دائمی استفاده می‌شود. برای این کار بارریزی در قالب انجام می‌شود سپس آن را به مدت معینی به حال خود گذاشته تا پوسته جامدی تشکیل شود، آنگاه قالب را واژگون کرده تا مذاب منجمد نشده تخلیه شود. سطح خارجی این قطعات بسیار صاف است اما سطح داخلی ناصاف می‌باشد. این روش شبیه ریخته‌گری دوغاب سرامیکی است.

^۱ Ethyl Silicate
^۲ Stuccoing
^۳ Fluidized bed
^۴ Slush casting



شکل ۳- پایه لامپ، ریخته‌گری مجوف (حداکثر طول قطعه تجاری قابل ریخته‌گری ۴۴ اینچ)

ریخته‌گری تحت فشار

تفاوت ریخته‌گری تحت فشار^۱ با ریخته‌گری در قالب دائم، فشار مثبت اعمال شده در این روش است که این فشار مثبت در طول انجماد اعمال می‌شود. برای ریخته‌گری با فشار زیاد (از فشارهایی در حدود چند هزار PSI استفاده می‌شود) معمولاً از دو فرآیند استفاده می‌شود.

ریخته‌گری تحت فشار با محفظه داغ

در ریخته‌گری تحت فشار با محفظه داغ^۲ مخزنی از فلز مذاب در کوره مربوط به دستگاه نگهداری می‌شود. سپس پمپ دستگاه بداخل فلز مذاب فروبرده می‌شود و پمپ مذاب را بداخل قالب می‌راند شکل ۴- الف استفاده از فرآیند محفظه داغ به فلزات زودگداز عمدتاً آلیاژهای روی که در دمای ۴۰۰ تزریق صورت می‌گیرد منحصر می‌شود. فشار اعمال شده در حدود PSI ۳۰۰ - ۴۰۰۰ می‌باشد.

ریخته‌گری تحت فشار با محفظه سرد

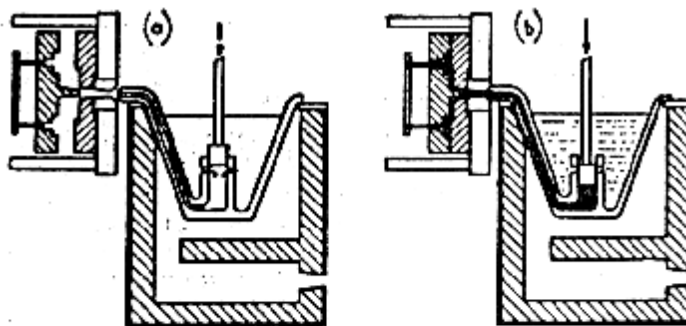
روش ریخته‌گری تحت فشار با محفظه سرد^۳ برای آلیاژهایی که دمای ذوب بالایی دارند مانند آلیاژهای آلومینیم که تزریق در بالاتر از ۵۰۰ صورت می‌گیرد. از این روش استفاده می‌شود. در این روش محفظه در مجاورت قالب با فلز مذاب بارگیری می‌شود و سپس مذاب با فشار به داخل قالب رانده می‌شود. شکل ۴- ب فشار اعمال شده در حدود PSI ۴۰۰۰ - ۱۵۰۰۰ می‌باشد.

^۱ Pressure die casting

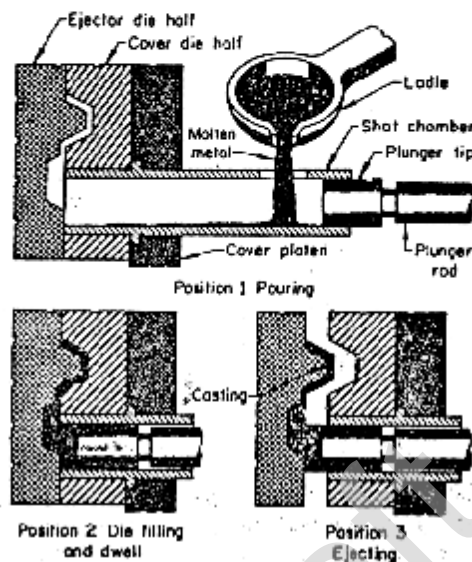
^۲ hot-chamber die casting

^۳ cold-hamber die casting

الف



ب



شکل ۴: ریخته‌گری تحت فشار الف: داغ ب: سرد

ریخته‌گری گریز از مرکز

ریخته‌گری گریز از مرکز^۱ این روش مستلزم انجماد فلز در قالب در حال دوران است. فلز مذاب از طریق ناودانی به داخل قالب وارد شده و سطح داخلی آن را می‌پوشاند اکثر ریخته‌گری‌ها در قالب‌های افقی که حول محور افقی خود می‌چرخند صورت می‌گیرد (شکل ۵).

شکل ۵: ریخته‌گری گریز از مرکز

ریخته‌گری قالب کامل

ریخته‌گری قالب کامل^۲ یا قالب بدون حفره روشی است که اخیراً ابداع شده است و مفهوم اصلی آن بسیار ساده است. مدل را از ماده‌ی مناسبی (معمولاً پلی‌استیرن) که قابل احتراق یا قابل تبخیر شدن است، می‌سازند. سپس قالب در اطراف آن تشکیل می‌شود. مدل را از قالب جدا نمی‌سازند بلکه فلز مذاب را به داخل قالب کامل بارریزی می‌کنند. با جلو رفتن مذاب مدل سوخته و از بین می‌رود تا قالب کلا پر شود. از این روش برای ریخته‌گری قطعات پیچیده استفاده می‌کنند.

ریخته‌گری مداوم (پیوسته)

از ریخته‌گری مداوم (پیوسته)^۳ برای تولید شمش‌های فلزی استفاده می‌کنند در این روش مذاب از داخل پاتیل مخصوص به داخل قالب گرافیتی یا فلزی که با آب سرد می‌شود و ته آن باز است بارریزی می‌شود. پوسته‌ای از فلز جامد به سرعت در سطح مشترک قالب و مذاب تشکیل می‌شود و به علت انقباض از دیواره قالب جدا می‌شود. برای جلوگیری از

^۱ centrifugal casting

^۲ full-mould casting

^۳ Continuous casting

خارج شدن مذاب از قالب در شروع بارریزی شمش فلزی در ته قالب قرار داده می‌شود و سپس با ادامه بارریزی به بیرون کشیده می‌شود.

ارزیابی روش‌های ریخته‌گری مختلف

مقایسه و ارزیابی روش‌های ریخته‌گری برای انتخاب اقتصادی‌ترین روش بسیار مهم است اما به علت این که عوامل مختلفی بر ریخته‌گری اثر می‌گذارند این ارزیابی مشکل است. انتخاب اقتصادی‌ترین فرآیند برای تولید یک قطعه ریختگی، به نوع آلیاژ، پیچیدگی، اندازه‌ی قطعه، تعداد تولید، دقت ابعادی، و سطح تمام شده آن بستگی دارد. همه این عوامل، اهمیت اقتصادی یکسانی ندارند بلکه ممکن است یکی از این عوامل در شرایط به خصوصی تعیین کننده باشد. مهم‌ترین عامل ناشی از مواد که بر انتخاب روش ریخته‌گری موثر است دمای ذوب است. در فرآیندهایی که برای قالب از مواد نسوز و دیرگداز استفاده می‌شود (ریخته‌گری ماسه یا ریخته‌گری دقیق) می‌توان برای ریخته‌گری اغلب آلیاژها استفاده کرد. از طرف دیگر، فرآیندهایی که نیاز به قالب‌های فلزی دایمی دارند، بایستی برای آلیاژهای زودگداز مانند آلیاژهای آلومینیم، منیزیم، روی، و مس استفاده شوند.

فرآیندهای ریخته‌گری نسبت به اندازه و وزن قطعه فوق‌العاده انعطاف پذیرند مثلاً برای تولید قطعات بزرگ از روش ساده ریخته‌گری ماسه و برای تولید قطعات کوچک از ریخته‌گری دقیق استفاده می‌شود. قابلیت هر فرآیند ریخته‌گری برای دوباره سازی قطعات پیچیده بروش ساده از اهمیت زیادی برخوردار است. تولید پیچیده‌ترین اشکال به مدل‌های مصرف شونده نیاز دارد. هزینه زیاد ساخت قالب‌های فلزی و ضرورت سهولت جدا شدن قطعه از قالب، باعث محدودیت پیچیدگی قطعه شده و استفاده از قالب‌های دایمی را مشکل می‌کند. یکی از عوامل مهم حداقل ضخامت قطعه است که می‌تواند در یک فرآیند تولید شود. این عامل تابع سطح تمام شده‌ی قالب و روش ورود آلیاژ مذاب به قالب و نیز وابسته به محفظه قالب است. دقت ریخته‌گری (ابعاد، سطح تمام شده) فرآیندهای مختلف با هم متفاوت است. دقت زیاد ابعاد و سطح تمام شده‌ی خوب در فرآیندهایی که از قالب فلزی دایمی استفاده می‌شود حاصل می‌شود. در جدول ۱ قابلیت ریخته‌گری فرآیندهای مختلف داده شده است.

جدول ۱: قابلیت ریخته‌گری فرآیندهای مختلف

فلزات ریخته‌گری

فلزات ریخته‌گری، غالباً به صورت آهنی و غیرآهنی دسته‌بندی می‌شوند. گروه‌های عمده عبارتند از:

I. آهنی

a. فولاد

i. فولاد کربنی ساده^۱

ii. فولاد کم آلیاژ^۲

iii. فولاد پر آلیاژ^۳

b. چدن

i. چدن خاکستری

ii. چدن داکتیل (چکش خوار) یا گره دار^۴

iii. چدن سفید

iv. چدن مالیبیل / چدن مالیبیل پرلیتی

^۱ Plain carbon steel

^۲ Low alloy steel

^۳ High-alloy steel

^۴ Ductile cast iron, nodular

II. غیرآهنی

- a. آلومینیم
- b. مس
- c. سرب
- d. منیزیم
- e. نیکل
- f. قلع
- g. روی
- h. غیره

ریخته‌گری آلیاژهای غیرآهنی را می‌توان به دو دسته‌ی زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱. ریخته‌گری فلزات سنگین (مس، روی، سرب، نیکل و آلیاژهای آنها)
۲. ریخته‌گری فلزات سبک (آلومینیم، منیزیم و آلیاژهای آنها)

تهیه لیست کاملی از آلیاژهایی که ریخته‌گری می‌شوند و در گروه‌های فوق قرار نمی‌گیرند غیر ممکن است. با وجود این اشاره به برخی از آنها مفید است.

۱- آلیاژها و فلزات دیرگداز

هر چند این آلیاژها را به روش‌های دیگری نیز می‌توان شکل داد، اما یکی از روش‌های تجارتمی مفید، ریخته‌گری دقیق است. از عناصری که به این روش ریخته‌گری می‌شوند کبالت، کروم، کلمبیم (نیوبیم)، تانتالیم، تنگستن، نیکل، و تیتانیم را می‌توان نام برد.

۲- ریخته‌گری قطعات مصرفی در انرژی اتمی

قطعات متعددی از آلیاژهای مخصوص که برای کاربردهای انرژی اتمی مفیدند به روش ریخته‌گری تولید می‌شوند.

۳- آلیاژهای دندانپزشکی

قطعات این آلیاژها به روش ریخته‌گری دقیق تولید می‌شوند و از نظر قیمت عناصر تشکیل دهنده و پیچیدگی ترکیب در ردیف آلیاژهای دیرگداز قرار می‌گیرند.

۴- ریخته‌گری فلزات گران بها

نقره، طلا، و پلاتین را می‌توان به روش ریخته‌گری شکل داد.

انتخاب هر گروه از آلیاژهای فوق برای کاربرد خاصی، به عوامل متعددی بستگی دارد که این عوامل عبارتند از:

۱. قیمت
۲. مقاومت در برابر خوردگی
۳. مقاومت مکانیکی
۴. چقرمگی
۵. وزن
۶. مسایل سنتی
۷. ظاهر و نمای قطعه
۸. خواص قطعه ریخته‌گری
۹. خواص قطعه در دمای بالا یا پایین
۱۰. خواص الکتریکی
۱۱. حساسیت به اعمال حرارتی

۱۲. پسند شخصی

۱۳. بازار فروش (برخی آلیاژها)

۱۴. خواص مورد نیاز / مقاومت در برابر سایش و قابلیت ماشین کاری و غیره

خواص فلزات و آلیاژها

برخی از خواص عناصر پایه که در ریخته‌گری استفاده می‌شوند در جدول شماره ۱ داده شده است. ارقام جدول اختلاف زیادی را در خواص این عناصر نشان می‌دهد. بطوری که آلومینیم و مس از نظر هدایت الکتریکی از آهن عالی‌ترند (هدایت الکتریکی عکس ضریب مقاومت ρ می‌باشد).

جدول شماره ۱: برخی خواص فیزیکی عناصر

ضریب مقاومت الکتریکی آلومینیم که در جدول آمده است تقریباً از مقاومت مس بیشتر است. این مقایسه بر مبنای حجم صورت گرفته است ولی اگر بر اساس وزن صورت گیرد آلومینیم نسبت به مس هدایت عالی‌تری خواهد داشت. اختلاف دمایی ذوب برای تعیین روش ریخته‌گری از اهمیت خاصی برخوردار است و هنگام استفاده از فلزات دیرگداز بسیار مهم است.

در هنگام انتخاب فلز برای کاربرد بخصوص، فقط تعداد محدودی از عوامل بایستی مورد ملاحظه قرار گیرد. برخی از این عوامل در جدول شماره ۲ داده شده است.

جدول شماره ۲: خواص ریخته‌گری قطعات ریختگی

ریخته‌گری آلیاژهای مس

تاریخچه ذوب و ریخته‌گری مس از ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد شروع می‌شود. امروزه نیز آلیاژهای مس دارای مزایایی هستند که عبارتند از:

۱. هدایت حرارتی و الکتریکی بالا
۲. مقاومت در برابر خوردگی عالی
۳. ظاهر مناسب
۴. غیرسمی بودن
۵. کیفیت باربری

استفاده از مس محدودیتهایی نیز دارد که از آنجمله قیمت یکی از عوامل بسیار مهم است که عامل تعیین کننده نیز به شمار می‌رود. آلیاژهای مس را با کلیه روشها مانند ریخته‌گری در قالب ماسه، ریخته‌گری در قالب دائمی، ریخته‌گری تحت فشار، و ریخته‌گری دقیق و غیره می‌توان ریخته‌گری کرد. برای تولید قطعات بزرگ از جمله ریخته‌گری پروانه کشتیها از قالبهای ماسه با پیوند شیمیایی در حد وسیعی استفاده می‌شود. به این روش پروانه‌هایی به وزن ۳۵۰۰۰ پوند (۱۵۹۰۴ kg) و با دقت $\frac{1}{33}$ اینچ در تمام قطعه، تولید شده‌اند. برای قطعات کوچکتر مانند اتصالات و مجسمه‌ها و غیره از قالبهای گچی استفاده می‌شود. تقریباً کلیه آلیاژهای مس (با وزنهایی در حد چند گرم تا بالاتر از ۲۲۶۷۰ کیلوگرم)، را می‌توان به روش گریز از مرکز ریخته‌گری کرد. قطعاتی با وزنهای بیشتر در سیلندرهایی مشبک در صنعت کاغذسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ماسه‌های قالبگیری

اکثر قطعات ریخته‌گری آلیاژهای مس به سطح تمام شده عالی نیاز دارد. برای رسیدن به این هدف از ماسه‌هایی با نفوذپذیری کم استفاده می‌شود. (ماسه ۲۷۰ تا ۱۲۰ AFS) هر چند نرمیت (Finess) تنها عامل به شمار نمی‌رود قابلیت قالبگیری (flowability) بالا نیز نیاز است. لذا از ماسه‌های طبیعی نرم استفاده می‌شود. اگر قطعه ریخته‌گری بزرگ باشد به نفوذپذیری بالا نیاز است، زیرا در قطعات بزرگ گاز بیشتری تشکیل می‌شود و اگر نفوذپذیری بالا باشد از معایبی مانند حفره‌های سوزنی، حبابهای محبوس شده و غیره جلوگیری می‌شود.

ماسه‌های ماهیچه

ماهیچه‌های لازم برای ریخته‌گری قطعات از آلیاژهای مس به روش سنتی صورت می‌گیرد. اگر ماهیچه بیش از حد سخت باشد پارگی گرم (hot tear) اتفاق می‌افتد.

سیستم راهگاهی

کلیه اصول سیستمهای راهگاهی در مورد آلیاژهای مس نیز بکار می‌رود. از آنجائیکه سیستم راهگاهی آخرین قسمتی است که منجمد می‌شود، می‌توان از آن به عنوان منبع تغذیه نیز استفاده کرد. البته این مطلب به قطعات کوچک که در حدود چند کیلوگرم وزن دارند اعمال می‌شود. قطعات بزرگتر به تغذیه از منبع تغذیه نیاز دارند زیرا دارای انقباض حاصل از انجماد بالائی (۴٫۵ تا ۹٪) هستند. آلیاژهای مس شامل عناصری مانند روی، قلع و آلومینیم می‌باشند که به راحتی اکسید تشکیل می‌دهند برای تفاله‌های تشکیل شده بایستی در سیستم راهگاهی سرباره‌گیر تعبیه شود.

طراحی سیستم راهگاهی

سیستم راهگاهی آلیاژهای مس شبیه سیستم راهگاهی چدن خاکستری است. برای شناور ساختن تفاله در راهگاه قائم نسبت راهگاهی (a:b:c) حدود ۲:۸:۱ یا ۳:۹:۱ مطلوب می‌باشد.

منبع تغذیه

محدوده انجماد اکثر آلیاژهای مس بالاست و با مکانیسم دندریتی منجمد می‌شوند بطوریکه رسیدن مذاب از منبع تغذیه به قطعه را مشکل می‌کند. این مکانیسم باعث پخش شدن حفره‌های انقباض شده و تولید قطعه سالم را مشکل می‌کند. تغذیه صحیح و نتیجتاً حذف حفره‌ها یا حفره‌های بزرگ و جلوگیری از حفره‌های میکروسکوپی را می‌توان با استفاده از تعداد منبع کافی، اندازه مناسب منبع و محل و استفاده مناسب و اصول انجماد جهت‌دار بدست آورد. حتی اگر یک منبع تغذیه تا مدتی بعد از انجماد قطعه مذاب باقی بماند بدین معنی نیست که قطعه در رابطه با انقباض میکروسکوپی با موفقیت تغذیه شده است. در این رابطه استفاده از مبرد در دورترین نقطه قطعه بسیار مناسب است.

ذوب مس و آلیاژهای آن

روش ذوب و بارریزی شدیداً بر کیفیت قطعات ریختگی آلیاژهای مس تاثیر دارد. نقطه ذوب مس از آلومینیم بالاتر است. با وجود این، ذوب آلومینیم نسبت به ذوب مس به ۶۰٪ انرژی حرارتی بیشتر نیاز دارد. دلیل آن بالا بودن ظرفیت حرارتی و گرمای نهان ذوب آلومینیم نسبت به فلز مس است. بنابراین ظرفیت حرارتی عامل اساسی در ذوب کلیه فلزات بوده و حرارت لازم برای ذوب را تعیین می‌کند.

لوازم و وسائل ذوب مس

مس در کوره‌های بوت‌های، قوس الکتریکی و القائی ذوب می‌شود.

روش ذوب مس

اغلب آلیاژهای مس دارای عناصری مانند روی، قلع، آلومینیم، منیزیم و منگنز است که به سادگی اکسید می‌شوند. اکسیدها کم و بیش از مذاب جدا شده و به صورت سرباره تفاله تشکیل می‌دهند. اکسیدها غالباً، دارای دانسیته پائینی بوده و انتظار می‌رود از مذاب خارج شده و سطح آن شناور شوند. با وجود این، کشش سطحی و دیگر عوامل این جدایش را در برخی از آلیاژها، مانند برنجهای پرروی و برنزه‌های آلومینیم مشکل می‌سازد و تفاله ممکن است قسمت اعظم فلز را محبوس سازد و تلفات ذوب را افزایش دهد. گاهی از فلاکس یا ذغال به عنوان پوشش برای به حداقل رساندن تشکیل تفاله استفاده می‌شود. ذغال به عنوان پوشش محافظ اکسایش را به حداقل می‌رساند. بدون شک هر چقدر بهم‌زدن کاهش یابد و ذوب تحت احتراق ایده‌آل صورت گیرد، تشکیل تفاله به حداقل می‌رسد.

اکسیژن در ذوب مس

مس عنصری است که در حالت مذاب به سهولت اکسید می‌شود (شکل زیر).

شکل ۱۳/۷: رزنتال

همانگونه که نمودارهای فوق نشان می‌دهد حلالیت اکسیژن در مذاب مس، به سرعت با دما افزایش می‌یابد. در حالت جامد حداکثر اکسیژنی را که مس می‌تواند در خود حل کند حدود ۰٫۰۰۳۵ درصد اکسیژن است. بیشتر این مقدار به صورت Cu_2O تبدیل می‌شود. بنابراین واضح است که ذوب مس در مجاورت اکسیژن آزاد (یا گاز اکسیدکننده‌ای مانند CO_2) اکسایش را تسریع کرده و درصد اکسیژن حل شده در مس مذاب را افزایش می‌کند. اگر مس خالص تحت شرایط اکسیدی ذوب شود، درصد واقعی اکسیژن حل شده به ۰٫۰۴ تا ۰٫۰۵ درصد وزنی می‌رسد. روش دیگری که مقدار اکسیژن فلز را بالا می‌برد پوشاندن مذاب با فلاکس اکسیدکننده‌ای مثلاً مخلوطی از ۲۰٪ اکسیدمس، ۳۴ قسمت فلاکس و ۵۴ قسمت ماسه است. آلیاژهای مس که تحت همان شرایط ذوب شوند دارای اکسیژن کمتری نسبت به مس خالص هستند. اکثر عناصر آلیاژی مثلاً روی، قلع، یا آلومینیم مواد دی‌اکسیدکننده به شمار می‌روند زیرا ممکن است آنها نسبت به مس، اکسیدهای قوی‌تری تشکیل دهند و از رسیدن به حداکثر اکسیژن جلوگیری کنند.

هیدروژن در ذوب مس

حلالیت هیدروژن به مقدار قابل ملاحظه‌ای در مذاب مس و آلیاژهای آن افزایش می‌یابد. در دمای ذوب مس افزایش حلالیت قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود. شکل --- نشان می‌دهد که حلالیت هیدروژن در آلیاژهای مس-قلع (برنزها) پائین‌تر از مس خالص است.

شکل ۱۳/۸: رزنتال

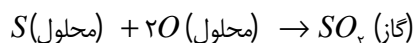
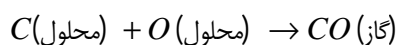
جذب هیدروژن که از محیط کوره، از رطوبت یا از روغن‌های موجود در بار کوره، و نیز ماسه‌های قالب و ماهیچه به مذاب صورت می‌گیرد، به علت تشکیل حفره‌های گاز و تخلخل بسیار ریز مضر است.

واکنش اکسیژن، هیدروژن و ناخالصیها

به علت وجود هیدروژن و اکسیژن در مذاب آلیاژهای مس، واکنش این دو نیز محتمل بوده که نتیجتاً بخار آب ایجاد می‌کند. در حقیقت هر دو بر حلالیت یکدیگر گاز اثر تنظیم کننده‌ای دارند. اگر مقدار اکسیژن تولیدی در هنگام ذوب و تحت شرایط اکسیدی یا افزودن CuO جامد به مذاب زیاد باشد، مقدار هیدروژن فلز مذاب به دلیل واکنش بخار آب در حداقل نگه‌داشته می‌شود. بدین منظور اکثر ریخته‌گران ترجیح می‌دهند مس را در شرایط اکسیدی ذوب کنند تا آلوده شدن مذاب با هیدروژن در حداقل نگهداشته شود. روش دیگری برای کاهش مقدار هیدروژن آلیاژهای مس، استفاده از روش تخلیه و خروج هیدروژن با گاز نیتروژن شبیه روشی که در مورد آلومینیم استفاده می‌شود می‌باشد. اشتعال نورانی فلز روی روش دیگری برای کاهش هیدروژن در برنج آبی، برنز منگنز، یا دیگر آلیاژهای پر روی مس است. اشتعال بدلیل روابط دما-فشار بخار روی در این آلیاژهاست. بخار روی با افزایش حرارت تا دمائی که فشار بخار روی برابر فشار هوا شود از برنج تقطیر می‌شود. بخار روی که با اکسیژن ترکیب شود شعله‌ای روشن و سفید بنام flare ایجاد می‌کند. اشتعال نورانی، با افزایش دما تا نقطه جوش اهمیت پیدا می‌کند. جدول زیر نشان می‌دهد که این موضوع در محدوده‌ی محدودی از دما ایجاد می‌شود بطوریکه اشتعال نورانی به عنوان نشانه‌ای بر دمای صحیح مذاب جهت بارریزی به شمار می‌رود.

جدول ۱۳/۵: رزنتال

تشکیل بخار روی، هیدروژن را به بیرون رانده و آن را تا حد غیرمضر تقلیل می‌دهد. برای جبران روی از دست داده شده به علت اشتعال نورانی یک تا یک و نیم کیلوگرم روی به هر ۱۰۰ کیلوگرم مذاب اضافه می‌شود. علاوه بر هیدروژن، کربن و گوگرد که در آلیاژهای مس وجود دارند ناخالصیهای گازسازند. واکنش آنها به صورت زیر است.



محصولات گازی واکنشهای فوق ممکن است عیب حفره‌ای گازی ایجاد نمایند، مخصوصاً اینکه این واکنشها با افت دما در حین انجماد قطعه آسان‌تر صورت می‌گیرد. حلالیت کربن در مس بسیار کم است (کمتر از ۰.۰۰۴٪) بطوریکه غالباً به نظر نمی‌رسد CO منبع گاز باشد. مخصوصاً اگر اکسیژن را نیز توسط مواد دی‌اکسیدکننده از محیط خارج نموده باشیم. در آلیاژهای مس، گوگرد قابل ملاحظه‌ای می‌تواند وجود داشته باشد که به عنوان یک ناخالصی به شمار می‌رود و بایستی در حداقل معینی معمولاً کمتر از ۰.۰۵ تا ۰.۰۸٪ نگهداشته شود. معمولترین روش پیش‌گیری از واکنشهای فوق کاهش مقدار اکسیژن با مواد دی‌اکسیدکننده است که واکنشهای فوق را به سمت راست می‌برد.

دی‌اکسیداسیون

عناصری که نسبت به مس به طور موثری با اکسیژن ترکیب می‌شوند را می‌توان برای از بین بردن مقدار اکسیژن مذاب آلیاژ مس که تحت شرایط اکسیدی ذوب شده‌اند استفاده کرد. فسفر، لیتیوم، بر، کلسیم، منیزیم، آلومینیم، سیلیسیم و بریلیم از جمله این عناصرند. از جمله آلیاژهایی که بدین منظور استفاده می‌شوند آلیاژ زودگداز فسفر و مس با ۱۵٪ فسفر

و ۸۵٪ مس است. حدود ۰٫۰۲٪ فسفر و یا کمتر به منظور دی‌اکسیداسیون به مذاب افزوده می‌شود که این مقدار حدود ۶۰ تا ۱۲۰ گرم از آلیاژ ۱۵P-Cu٪ به ۱۰۰ کیلوگرم مذاب می‌باشد. عمل فسفر باقیمانده در احیای مقدار اکسیژن برنز Sn-۱۰٪ Cu در شکل زیر نشان داده شده است.

شکل : ۱۳۳/۱۱ رزنتال

همانگونه که مشاهده می‌شود مقدار ۰٫۰۲ درصد فسفر در احیای اکسیژن کاملاً موثر است.

خلاصه ذوب فلز برای کنترل گازها

یکی از روشهای ذوب برای پیش‌گیری از معایب حاصل از جذب گازها که در بخش قبلی توضیح داده شد عبارتست از

۱. مرحله اکسیدکننده در حین ذوب و حرارت دادن برای کنترل هیدروژن
۲. مرحله دی‌اکسیداسیون برای کنترل اثرات اکسیژن، تزریق گاز (Flushing)، و اشتعال نورانی روشهای دیگری برای کنترل هیدروژن می‌باشند.

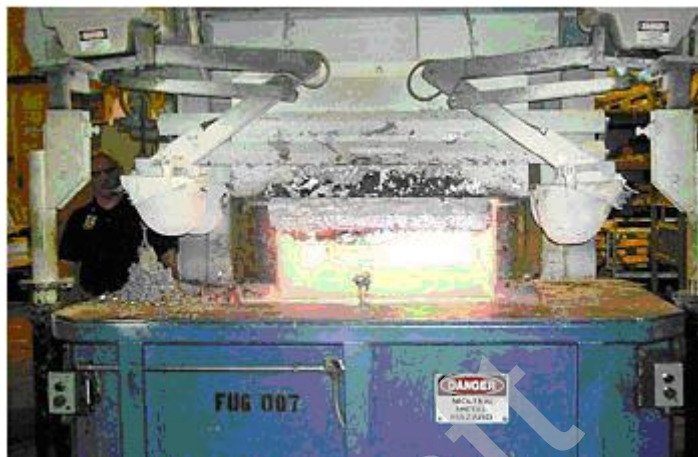
کیفیت مذاب

در هر کدام از روشهای ذوب میله‌های آزمایشی متعددی را به عنوان راهنمای کیفیت مذاب بارریزی می‌کنند. استوانه‌های مدور با قطرهای مختلف دو و نیم سانتیمتر تا ۵ سانتیمتر را قبل از ریخته‌گری برای مطالعه انقباض بارریزی می‌کنند. اگر در میله‌ها حفره لوله‌ای شکل ایجاد شود بیانگر آن است که مقدار گاز مذاب بسیار کم است.

آلومینیم و آلیاژهای آن

عمر کوره‌های ذوب آلومینیم

استفاده از نسوزهای مناسب باعث افزایش عمر کوره‌های ذوب آلومینیم می‌شود. یکی از مواردی که باعث افزایش هزینه‌های تولید می‌شود تمیزکاری مداوم کوره و نیز نگهداری از آن است. با استفاده از نسوزهای مناسب این هزینه‌ها کاهش می‌یابند.



شکل: کوره ذوب آلومینیم کارگاه ریخته‌گری با قالب دائمی

از کوره‌های ذوب آلومینیم با پوشش الومینیا و با ظرفیت‌های ذوبی در حدود ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم در ساعت در ریخته‌گری قطعات خودرو بسیار استفاده می‌شود. در این کوره‌ها از بوتله دائمی یا نیمه دائمی استفاده می‌شود. یکی از مشکلات اساسی در این کوره‌ها خوردگی شدید نسوز بر اثر تجمع دراس (اکسید آلومینیم) بر سطح نسوز و نیز نفوذ مذاب به داخل نسوز است بطوریکه به تمیزکاری روزانه نیاز داشته و غالباً به تعمیرات عمده یا تعویض و پوشش دهی کامل بوتله مذاب کوره نیاز است. با تغییر و بکارگیری نسوز مناسب و در نتیجه افزایش عمر کوره، و به تبع آن کاهش توقف‌ها و کاهش هزینه‌های نگهداری صرفه‌جویی زیادی در اتلاف سرمایه و نیز کاهش قیمت تمام شده تولید دارد. دیواره‌های کوره، کف‌ها و نیز درب کوره بایستی به طور روزانه بدلیل تجمع دراس (اکسید آلومینیم) که بلبل تماس هوا با مذاب غیرقابل اجتناب است، با ابزارآلات فلزی تمیزکاری شود. سفتی دراس بر سطح نسوز به فرایند تمیزکاری شدیدی نیاز دارد که در اغلب موارد قسمتی از نسوز را نیز از سطح جدا می‌کند. رشد اکسید آلومینیم به اندازه یک توپ فوتبال در محل خط مذاب و قسمتهای مختلف مانند اطراف درب کوره بسیار اتفاق می‌افتد. با نفوذ و تجمع اکسید آلومینیم بر سطح نسوز به تدریج از ظرفیت کوره کاسته می‌شود و گاهی حتی دیواره‌ها را بگونه‌ای تغییر شکل می‌دهد که تعمیر کوره اجتناب ناپذیر می‌شود. در مناطقی که تجمع اکسید آلومینیم و نامناسب باشد، خواص عایقی نسوز کاهش می‌یابد و در نتیجه باعث باقی ماندن گرما در حوضچه مذاب شده و نگهداشتن مذاب در دمای معین را مشکل می‌کند. این موارد باعث نیاز به تعمیرات اساسی شده و برای تعمیر کوره حتی باعث تعطیلی آن تا هفته‌ها می‌شود.

حل مشکل



شکل : کوره ذوب آلومینیم با پوشش داخلی نسوزهای آلومینائی
(تجمع دراس و نیز خوردگی نسوز)

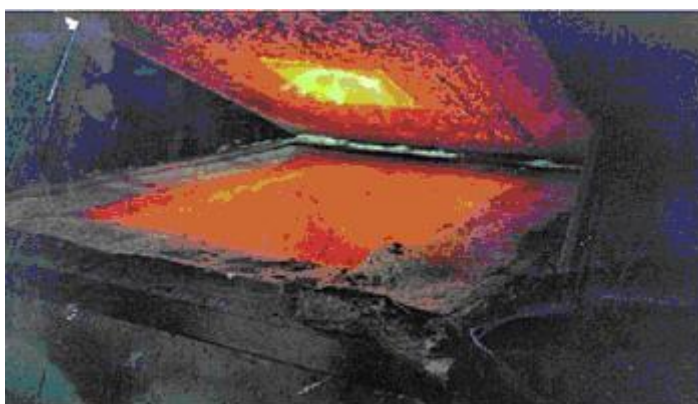
به طور کلی نتایج تحقیقاتی که بر روی نسوز کوره‌ها انجام شده است نشان می‌دهد که استفاده از انواع آلومینا، تاثیر چندانی بر بهبود کاری و عملکردی کوره‌ها ندارد. لذا بایستی در مورد استفاده از نسوزهای مختلف از رویکرد متفاوتی بهره جست.

در این رابطه استفاده از نسوزهای گرماگیر (thermbond) ماده نسوز با پیوند فسفاتی بسیار مناسب است. این نسوزها دسته‌ای از مواد مهندسی می‌باشند که شامل سیستم دو قسمتی منجمله فرمول خشک و فعال‌کننده (activator) مایع است. این ماده معمولاً به صورت اجزای پیش وزن شده است که در هنگام مصرف با هم مخلوط شده تا نسوزی با پیوند منحصر به فرد تشکیل دهد. مزیت اصلی این نسوزها در کاربردهائی مانند ذوب آلومینیم مشخصه غیرترشوندگی آنها با آلومینیم بدون استفاده از افزودنی است. در مقایسه، دیگر نسوزها معمولاً افزودنی استفاده میکنند تا مشخصه غیرترشوندگی در آنها ایجاد شود که سرانجام اکسید شده و از قطعات خارج میشود و منجر به افت تاثیرشان می‌شود. مشخصات غیرترشوندگی ذاتی پیوندهای گرمائی آن است که اکسیدها بدون خسارت دیدن نسوز بدنه، به سهولت از آن جدا می‌شوند. نتیجتاً عمر پوشش نسوز وان مذاب کوره ذوب آلومینیم افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که تعمیرات برخی قطعات معلق در مذاب آلومینیم و در کوره‌های آلومینائی هر دو ماه یکبار بایستی انجام شود ولی در کوره‌هایی با پیوند فسفاتی این عمل هر ۶ تا ۱۲ ماه یکبار انجام میشود. از دیگر مزایای موارد گرما-گیر به موارد زیر اشاره میشود.

۱. بدلیل استحکام اولیه بالا زمان نصب و راه اندازی کاهش می‌یابد. استحکام فشاری بالا در حدود یکساعت ایجاد میشود.
۲. گیرش و پخت (cure) نسوز معمولاً بدون استفاده از گرمای خارجی و در چند ساعت پس از استفاده انجام میشود.
۳. نسوز بلافاصله پس از پخت قابل استفاده است.

نتیج تحقیقات نشان داده است که کوره‌های با پیوند فسفاتی حداق ۴ سال تا زمان آخرین گزارش بدون هیچ مشکلی کار کرده‌اند و کار آنها ادامه داشته است.

با استفاده از نسوزهای پیوند فسفاتی (phosphate-bonded refractory) هزینه‌های روزمره تمیزکاری و نگهداری از کوره‌ها کاهش یافته و نیاز به تعمیرات نیز کاهش می‌یابد. کاهش عملیات نگهداری از کوره‌ها باعث کاهش هزینه‌های نگهداری میشود.



شکل : کوره ذوب آلومینیم با پوشش داخلی نسوزهای پیوند فسفاتی گرماگیر (therbond)

(هیچگونه تجمع دراس و یا خوردگی حاصل از واکنش سرباره / فلز / نسوز مشاهده نمی‌شود)

با استفاده از نسوزهای پیوند فسفاتی (phosphate-bonded refractory) هزینه‌های روزمره تمیزکاری و نگهداری از کوره‌ها کاهش یافته و نیاز به تعمیرات نیز کاهش می‌یابد.

Draft

منیزیم و آلیاژهای آن

منیزیم با دمای ذوب °C ۶۵۰ از سبکترین فلزات ساختمانی به شمار می‌رود. وزن سبک (دانسیته فلز و آلیاژهای آن ۱/۷۴ تا ۱/۸۲ است) و سهل‌الوصول بودن مهمترین کانسار آن (آب دریا)، قابلیت ماشین‌کاری عالی و خواص مکانیکی بسیار خوب آلیاژهای آن، باعث استفاده روز افزون از منیزیم شده است. لازم به ذکر است که دو مانع بر سر راه استفاده گسترده آن وجود دارد که یکی گران بودن و دیگری فعالیت شیمیایی آن است.

خواص مکانیکی منیزیم خالص بسیار پایین است ($d = 2\%$, $s_s = 2 \text{ kg/mm}^2$, $s_u = 9 \text{ kg/mm}^2$) و مقاومت آن در برابر خوردگی نیز بسیار پایین است. لذا از منیزیم خالص به عنوان مواد ساختمانی استفاده نمی‌شود. ریخته‌گری آلیاژهای منیزیم به روشهای ماسه مرطوب، ماسه خشک، قالب دائمی و تحت فشار صورت می‌گیرد و در قطعات هواپیما، ابزارهای دستی قابل حمل، ماشین تحریر و دستگاههای اشعه-X مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بلورشناسی

ساختار اتمی منیزیم HCP است و انتظار می‌رود فقط با فلزاتی که دارای ساختار مشابه و تقریباً با اندازه و خصوصیات الکتروشمی مساوی هستند محلول جامد تشکیل دهد. روی و بریلیم که دارای ساختار HCP هستند نمی‌توانند هر دو شرط را برآورده سازند در نتیجه نمی‌توانند با منیزیم محلول جامد تشکیل دهند. کادمیم هر دو شرط را بر آورده می‌کند و در نتیجه به هر نسبتی با آن محلول جامد تشکیل می‌دهد.

اندازه نسبی اتمها

اندازه اتمی عناصر آلیاژی بایستی بین ۱۵ درصد اندازه اتمی فلز حلال باشد تا بتواند در حد وسیعی آلیاژ تشکیل دهد. تقریباً ۵۰ درصد عناصری که بالقوه می‌توانند با منیزیم آلیاژ تشکیل دهند دارای اندازه‌ای در حدود ۱۵ درصد می‌باشند و حدود ۱۰ درصد در مرز قرار دارند و مابقی خارج این محدوده قرار می‌گیرند. در وهله اول عامل اندازه است که امکان تشکیل محلول جامد را محدود می‌کند.

عامل والانس

به عنوان یک قاعده کلی می‌توان گفت که با دور شدن والانس ماده حلال و ماده حل شونده، تشکیل محلول جامد محدود می‌شود و عنصری که دارای والانس بالاتری است (نسبت به عنصری که دارای والانس کمتری است) در یک فلز بیشتر حل می‌شود مثلاً اختلاف والانس بین **Mg-In** و **Mg-Ag** مساوی است. اما نقره یک والانسی، نسبت به **In** سه والانسی، کمتر در منیزیم حل می‌شود.

عامل الکتروشمی

منیزیم شدیداً الکتروپوزیتیو است و وقتی با عناصر الکتروننگاتیو آلیاژ شود بجای محلول جامد، ترکیب بین فلزی تشکیل می‌دهد. این ترکیبات از نوع یونی یا نوع NaCl و یا از نوع ساختار Lave بوده و ترکیب آنها بر اساس قواعد والانس شیمیایی خواهد بود برای مثال:

- | | | |
|-----------------------|-----|--|
| عناصر گروه Mg + VII B | (۱) | مثال، MgBr_2 و MgCl_2 |
| عناصر گروه Mg + VI B | (۲) | مثال، MgTe و MgSe ، MgS |
| عناصر گروه Mg + V B | (۳) | مثال، Mg_2Bi_2 و Mg_2Sb_2 ، Mg_2As_2 ، Mg_2P_2 |
| عناصر گروه Mg + V | (۴) | مثال، Mg_2Pb و Mg_2Sn ، Mg_2Ge ، Mg_2Si |

اگر منیزیم با عنصری که الکترونگاتیوتیه ضعیف یا الکتروپوزیتیوتیه ضعیف‌اند آلیاژ شود، ممکن است ترکیب تشکیل دهد. ترکیب شیمیایی این ترکیبات با والانس معمولی مطابقت نکرده، پایداری کمتری دارند و نقطه ذوبشان پایین است، اما این عناصر عوامل آلیاژی مهمی به شمار می‌روند.

نمودارهای تعادلی

مهمترین آلیاژهای منیزیم شامل آلومینیم است که نمودار تعادلی آن در شکل ۱ داده شده است.

شکل: نمودار تعادلی Al-Mg

در ساختار یوتکتیک (با توجه به قانون اهرمها) فاز ترکیبی، با توجه به محلول جامد α بیشتر است و چون فاز ترکیبی شکننده است در نتیجه آلیاژهایی که دارای شبکه یوتکتیک هستند شکننده‌اند. از طرفی در هر مورد، محلول جامد در دمای یوتکتیک دارای مقدار ماده حل شونده نسبتاً بیشتری است که با کاهش دما این حلالیت کاهش می‌یابد. لذا در این آلیاژها امکان پیرسختی وجود دارد.

روی و منگنز هم با منیزیم آلیاژ می‌شوند. در نمودار تعادلی دوتایی **Mg-Zn** بین محلول جامد پایانی و فاز شکننده **MgZn** فاز یوتکتیک قرار داد. هم سیستم **Mg-Zn** و هم سیستم **Mg-Mn** با کاهش دما، از خود کاهش حلالیت جامد نشان می‌دهند. در شکل‌های ۲ و ۳ نمودارهای تعادلی **Mg-Zn** و **Mg-Mn** نشان داده شده‌اند.

شکل: نمودار

از آنجایی که آلیاژهای تجاری مفید دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای روی و آلومینیم هستند، لذا به نمودار تعادلی سه تایی نیاز است تا فازهای این آلیاژهای پیچیده را نشان دهد. در نمودار تعادلی سه تایی زیر، اطلاعات با ارزشی در مورد عملیات حرارتی و ساختار آلیاژ و نیز ترکیب دو آلیاژ ریخته‌گری تجاری داده شده است.

شکل: نمودار سه تایی Mg-Zn-Al

مقطع در گوشه منیزیم از سیستم سه تایی **Mg-Al-Zn** با منحنی‌های هم حرارت که محدوده حلالیت جامد را نشان می‌دهد رسم شده است. خط نقطه چین حوزه ساختاری آلیاژهای ریخته‌گری شده را جدا می‌سازد. در سمت چپ، ساختار شامل محلول جامد و توده‌های $Mg_{17}Al_{12}$ است. آلیاژهای Dow-alloy C که با دایره پر نشان داده شده است، در این محدوده می‌باشد. در سمت راست این خط، ساختارهای ریخته‌گری شده شامل محلول جامد، توده‌های $Mg_{17}Al_{12}$ و ترکیب سه تایی $Mg_{23}Zn_2Al_2$ قرار دارد. برای مثال در آلیاژ Dow-alloy H که ترکیب آن برابر دایره توخالی است و مثال این سه فاز می‌باشد در این محدوده قرار دارد.

آلومینیم و روی، خواص مکانیکی منیزیم را افزایش می‌دهند. منگنز مقاومت در برابر خوردگی را افزایش می‌دهد. تیتانیوم دانه‌بندی آلیاژهای منیزیم را ریز می‌کند در حالیکه بریلیم با تشکیل لایه‌های اکسیدی بر روی مذاب، قابلیت اکسید شدن منیزیم را کاهش می‌دهد و از خطر شعله‌ور شدن جلوگیری می‌کند. افزودن $0/6$ تا $0/85$ درصد زیرکونیم به مقدار قابل ملاحظه‌ای دانه‌ها را ریز می‌کند و خواص مکانیکی را افزایش می‌دهد. سریم هدایت حرارتی را افزایش می‌دهد. مضرترین ناخالصی آلیاژهای منیزیم آهن است که مقاومت در برابر خوردگی را کاهش می‌دهد.

آلیاژهای منیزیم بر مبنای کاربرد، به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- آلیاژهای چکشی که به صورت ورق یا میله عرضه می‌شوند.

۲- آلیاژهای ریخته‌گری

مقایسه نسبت‌های مقاومت به دانسیته نشان می‌دهد که منیزیم با دیگر فلزات قابل مقایسه است.

آلیاژ ^۱	منیزیم	آلومینیم	تیتانیوم	آهن
S_i / r	$(43/1,8) = 24$	$(60/2,9) = 21$	$(100/4,5) = 22$	$(180/7,8) = 23$

^۱ جالب است که اشاره شود نسبت مقاومت مکانیکی به وزن مخصوص از نظر عددی ۱۰ برابر طول شکست بر حسب کیلومتر است، یعنی سیمی از فولاد، وقتی که طول آن به $2/3$ کیلومتر برسد تحت وزن خود پاره می‌شود.

آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم

برخی از آلیاژهای منیزیم برای ریخته‌گری بسیار مناسبند. این آلیاژها در استاندارد ASTM و در جدولهای زیر مشخص شده‌اند. در این جدول‌ها، سیستم‌های آلیاژی اصلی عبارتند از:

۱. اگر آلومینیم و منگنز عناصر آلیاژی منیزیم باشد نوع AM
۲. اگر آلومینیم و روی عناصر آلیاژی منیزیم باشد نوع AZ
۳. اگر عناصر خاکی نادر و زیرکنیم در آلیاژ منیزیم وجود داشته باشد نوع EK، EZ و ZE
۴. اگر روی و زیرکنیم عناصر اصلی آلیاژی منیزیم باشد نوع ZK
۵. اگر توریم و زیرکنیم عناصر اصلی آلیاژی منیزیم باشد نوع HK، HZ و ZH

آلیاژهای نوع AZ اولین آلیاژهای منیزیم بوده‌اند که ریخته‌گری شده‌اند. قابلیت ریخته‌گری این آلیاژها بسیار خوب است. AZ^{۹۱} و AZ^{۸۱} به تدریج جانشین AZ^{۶۳} شده و در مواقعی که به چکش خواری و تنش تسلیم بالا تا ۳۵۰°F (۱۷۷°C) نیاز باشد استفاده می‌شوند. تنش تسلیم این آلیاژها بالاست و برای چرخهای فرود هواپیما، اهرمها، اتصالات و پوششهای آن مناسب‌اند.

جدول ۱- خصوصیات ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم در ماسه

جدول ۲- خصوصیات و خواص آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم در ماسه

آلیاژهای ZK و ZH بالاترین مقاومت تسلیم را در بین دیگر آلیاژها دارا می‌باشند و آنها را می‌توان به شکل‌های پیچیده ریخته‌گری نمود. این گروه‌ها از گروه AZ گرانترند.

آلیاژهای منیزیم که دارای عناصر خاکی نادر و زیرکنیم باشند بین دمای ۳۵۰-۵۰۰ °F (۲۶۰-۱۷۷ °C) استفاده می‌شوند زیرا این آلیاژها قادرند در برابر دمای بالا به مدت طولانی مقاومت مکانیکی خود را حفظ کنند. این آلیاژها را ممکن است برای پوشش موتور جت و دیگر ریخته‌گری‌های هواپیما و صنایع موشکی در دمای بالا استفاده نمود.

جدول ۳- خواص مکانیکی مورد نیاز آلیاژهای منیزیم (ریخته‌گری در ماسه)

در جدولهای زیر آلیاژهای منیزیم که در ریخته‌گری با قالب دائمی و قالب تحت فشار استفاده می‌شوند داده شده است.*

جدول ۴- خصوصیات و ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم در قالب دائم

جدول ۵- خصوصیات و خواص ریخته‌گری آلیاژهای منیزیم در قالب دائم

حروفی که در جداول فوق مورد استفاده قرار گرفته‌اند عناصر آلیاژی را نشان می‌دهند که در زیر داده شده است.

Silicon	S	Manganese	M	Iron	F	Aluminum	A
Tin	T	Nickel	N	Magnesium	G	Bismuth	B
Antimony	Y	Lead	P	Thorium	H	Copper	C
Zinc	Z	Silver	Q	Zirconium	K	Cadmium	D
		Chromium	R	Beryllium	L	Rare Earth	E

جدول ۶- خواص مکانیکی مورد نیاز آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم در قالب دائم

جدول ۷- خصوصیات و ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم تحت فشار

جدول ۸- خواص آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم تحت فشار

عملیات حرارتی

جز در چند مورد تقریباً خواص مکانیکی آلیاژهای جداول فوق را می‌توان با عملیات حرارتی افزایش داد. شرایط و روش‌های عملیات حرارتی در جدول ۹ داده شده است.

جدول ۹- برنامه عملیات حرارتی آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم

عملیات حرارتی محلول جامد^۱ را ممکن است از دمای (۳۰۰-۵۰۰°F) شروع کرده و در مدت ۲ تا ۳ ساعت دما را تا دمای عملیات حرارتی افزایش داد. افزودن حدود ۰/۱٪ گاز SO_۲ به کوره عملیات حرارتی برای جلوگیری از سوختن قطعه و جلوگیری از واکنش H_۲O-Mg ضروری است. (نقطه احتراق منیزیم بدون SO_۲ حدود ۷۰۰°F است. پس از عملیات حرارتی محلول جامد، برای جلوگیری از پیچیدگی و ترک، قطعات در هوای ساکن و یا با جریان هوا چابیده می‌شوند. اثر سرعت سرد شدن از دمای عملیات حرارتی محلول جامد بر خواص قطعه‌ای که متعاقباً در آنها پیرسازی^۲ صورت گرفته است در جدول شماره ۱۰ داده شده است.

جدول شماره ۱۰- اثر سرعت سرد شدن بر خواص آلیاژ ریخته‌گری منیزیم در ماسه

آلیاژ AZ۶۳A			آلیاژ AZ۹۲A			مدت سرد شدن، ۱۹۰ - ۴۱۰ °C
% افزایش	استحکام	استحکام	% افزایش	استحکام	استحکام	
طول در	تسلیم	کششی	طول در	تسلیم	کششی	
۲ in	psi	psi	۲ in	psi	psi	
۵,۰	۱۹۲۰۰	۴۰۰۰۰	۲,۰	۲۴۱۰۰	۴۰۰۰۰	۱۹۰ ثانیه، (سرد شدن در هوا)
۳,۴	۲۳۴۰۰	۴۰۴۰۰	۱,۸	۲۵۰۰۰	۴۱۹۰۰	۶۵ ثانیه، (چابیدن در روغن)
۵,۷	۲۱۷۰۰	۴۲۴۰۰	۲,۲	۳۰۰۰۰	۴۵۹۰۰	۵,۵ ثانیه، (آب ۹۰ °C)
۷,۳	۲۱۶۰۰	۴۵۱۰۰	۳,۵	۲۹۹۰۰	۴۸۲۰۰	۰,۵ ثانیه، (پاشش آب سرد)

برای جلوگیری از رشد و رسوب در مرز دانه‌ها یا پیچیدگی قطعاتی که اعمال حرارتی محلول جامد بر روی آنها صورت گرفته است عملیات تثبیت‌کننده نیز انجام می‌شود. پس از این مرحله ممکن است عمل پیرسازی نیز صورت گیرد (اگر به مقاومت کششی و تسلیم حداکثر با از دست دادن چکش خواری نیاز باشد). علائم اعمال حرارتی T۴، T۶ و T۷ به ترتیب بجای عملیات حرارتی محلول جامد، عملیات حرارتی به علاوه پیرسازی و عملیات حرارتی محلول جامد به علاوه عملیات تثبیت‌کننده به کار می‌رود. در حین اعمال حرارتی آلیاژهای منیزیم گاهی امکان سوختن هست که خود را به سه طریق ظاهر می‌کند:

الف) ترشح سطحی

ب) پودر خاکستری تیره در سطح

ج) ایجاد حفره در سطح و داخل قطعه

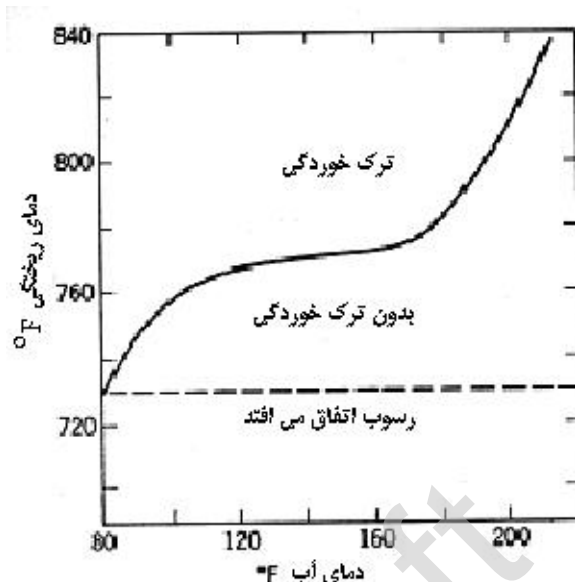
^۱ Solution Heat Treatment

^۲ Aging

دلیل سوختن می‌تواند:

- ۱) بالا بودن دمای اعمال حرارتی برای تشکیل محلول جامد
- ۲) سرعت حرارت دادن تا دمای اعمال حرارتی زیاد باشد.
- ۳) وجود بخار آب و عدم وجود گاز SO₂ در محیط اطراف

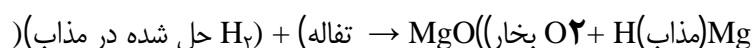
چائیدن آلیاژهای ریخته‌گری منیزیم از دمای hot short، یعنی دمای بسیار بالا در آب سرد منجر به ترک می‌شود. در شکل زیر رابطه دمای آب و فلز که ممکن است به ترک منجر شود یا نشود داده شده است.



شکل ۵- تمایل به ترک آلیاژ ریخته‌گری AZ^{۹۲}A با چائیدن در آب از دمای اعمال حرارتی محلول جامد

قالب‌گیری ماسه

منیزیم مذاب تمایل زیادی به رطوبت موجود در ماسه مرطوب و اکسیژن ماسه خشک قالب دارد که در نتیجه بایستی از ماسه‌های سنتزی (ماسه سیلیسی + ۳ تا ۴ درصد نبتونیت) با نرمیت AFS از ۶۰ تا ۹۰ و نفوذپذیری ۱۵۰ ml/min - ۸۰ و با مقاومت خام ۷ - ۱۰ psi و حداقل رطوبت استفاده شود و برای جلوگیری از واکنش زیر بایستی عامل محافظی به ماسه افزوده شود.



این واکنش دو ضرر دارد. ممکن است ذرات اکسید شده در قطعه محبوس شوند و حفره‌های سوزنی به علت تشکیل هیدروژن ایجاد گردد. ضمناً این واکنش منجر به سیاه شدن پوسته خارجی تا عمق قابل ملاحظه‌ای در قطعه می‌شود و تخلخل موضعی و پودر اکسید منیزیم خاکستری ایجاد می‌کند که سوختن می‌نامند. مواد بازدارنده این اثرات را به حداقل می‌رساند. برای این کار از گوگرد و اسید بوریک هر کدام یک درصد یا بیشتر استفاده می‌کنند. از ترکیبات فلئور آمونیم، KBF_۴، سیلیکو فلئور آمونیم، فلو بورات آمونیم و گاهی نیز از ۱٪ دی اتیلن گلیکول که مایع شربت مانندی است استفاده می‌شود.

قابلیت تمیزکاری (ریزش)^۱، ماسه ماهیچه بایستی بالا باشد زیرا آلیاژهای منیزیم در معرض ترک گرم^۲ قرار دارند به ماسه ماهیچه نیز مواد محافظ برای جلوگیری از اکسید شدن اضافه می‌شود. مثلاً در ماسه ماهیچه خشک ۵٪/۰ اسیدبوریک با مقدار مساوی گوگرد قطعه تمیز با سطح روشن ایجاد می‌شود و سطح شکست نیز تا قسمت بیرونی روشن است.

^۱ Collapsibility

^۲ Hot tear

سیستم راهگاهی

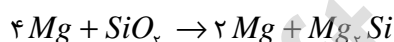
سیستم راهگاهی صحیح یکی از مهمترین عوامل تولید قطعه سالم با کیفیت خوب است. برای این منظور بهترین سیستم راهگاهی راهگاه تحتانی است. ظرفیت حرارتی منیزیم پائین است لذا دمای آن به سرعت افت می کند در نتیجه در قطعات نازک طول مسیر راهگاه بایستی کوتاه باشد.

برای جلوگیری از گردابی شدن مذاب که مشخصه راهگاههای مدور است از راهگاه قائم شکافی^۱ به ضخامت ۱/۴ تا ۱/۲ تا ۲ اینچ استفاده می شود و برای جلوگیری از ورود اکسیدها از پشم شیشه درشت بنام صافی که در انتهای راهگاه قائم شکافی قرار می گیرد استفاده می شود.

تغذیه انقباض حاصل از انجماد منیزیم را عمدتاً با منبع تغذیه فوقانی انجام می دهند هرچند گاهی نیز لازم است از منبع تغذیه جانبی استفاده شود. (استفاده از منبع تغذیه فوقانی برای ایجاد فشار متالوستاتیکی کافی است) منبع تغذیه بایستی تا پایان انجماد مذاب باقی بماند. از آنجائیکه تغذیه قطعات منیزیم به منبع تغذیه بزرگ نیاز دارد بهره دهی پائین بوده و حدود ۲۰ تا ۳۵ درصد است.

ذوب

چون منیزیم آهن را در خود حل نمی کند لوازم ذوب از نوع بوته ای و از جنس آهن و یا گرافیتی است بوته های خاک نسوز برای ذوب نامناسبند زیرا سیلیس (SiO₂) خاک به راحتی با منیزیم احیا می شود.



منیزیم را معمولاً بصورت شمشهای آلیاژشده عرضه می کنند با وجود این عناصر آلیاژی اصلی را در کارگاه ریخته گری به مذاب اضافه می کنند.

حدود یک قسمت شمش جدید باچهار قسمت از فلز برگشتی به کوره بارگیری می شود و محیط ذوب بایستی تا حدودی احیائی باشد. از آنجائیکه مذاب منیزیم و آلیاژهای آن به سهولت با هوا ترکیب می شوند ذوب تحت یک فلاکس محافظ انجام می شود. فلاکس شماره ۲۳۰ و ۲۳۲ در جدول ۱۱ تشکیل سرباره روانی را می دهد که به عنوان پوشش بر روی مذاب قرار گرفته و از سوختن فلز جلوگیری می کند. این فلاکسها مخلوطی از BaCl₂، MgO، CaF₂، KCl، MgCl₂ و BaCl₂ به نسبتهای مختلف می باشد.

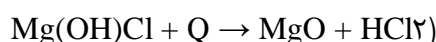
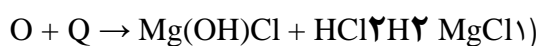
جدول شماره ۱۱- فلاکسهای ذوب منیزیم

کاربرد	MnCl ₂	BaCl ₂	CaF ₂	MgO	MgCl ₂	KCl	شماره فلاکس
بوته های ذوب مجدد، سرباره سیال	...	۹،۰	۲،۰	...	۳۴،۰	۵۵،۰	۲۳۰
بوته های ذوب مجدد، سرباره سیال	...	۴،۵	۸،۵	۷،۵	۴۲،۰	۳۷،۵	۲۳۲
دمای ذوب بالاتر	۷۲،۰	۲،۵	۲،۵	...	...	۲۳،۵	۲۵۰
یک بوته، ذوب بوته ای، در حین استفاده خشک می شود.	...	...	۱۵،۰	۱۵،۰	۵۰،۰	۲۰،۰	۳۱۰
دمای ذوب بالاتر	۷۶،۰	...	۱۳،۰	۱۱،۰	...	...	۳۲۰

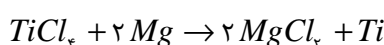
منیزیم برخلاف آلومینیم مذاب که لایه ای از اکسید را بوجود می آورد و این لایه از ادامه واکنش جلوگیری می کند نمی تواند چنین لایه محافظی را تشکیل دهد زیرا اکسید منیزیم دانه دانه ای و متخلخل بوده و وزن مخصوص آن بیشتر از فلز است (۳/۲ gr/cm³) و به همین دلیل به سهولت ترک می خورد و نمی تواند از ادامه واکنش جلوگیری کند. ابتدا بهتر است از تشکیل اکسید جلوگیری شود و در صورتیکه اکسید تشکیل شد به کمک فلاکسها از مذاب جدا شود.

^۱ slot sprue

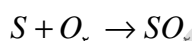
هدف اصلی استفاده از فلاکس جلوگیری از سوختن و اکسایش است. برای این منظور فلاکس، همراه با شمش به داخل بوته بارگیری می‌شود بطوریکه در زمانی که فلز مذاب است به عنوان فلاکس مذاب آن را پوشش دهد. پایه فلاکسهای منیزیم، کلرور منیزیم بی آب است که نقطه ذوب آن 710°C می‌باشد. برای کاهش این نقطه ذوب، دیگر کلرورها و برخی فلئورها را به آن می‌افزایند. کلرور منیزیم بی آب ماده جاذب الرطوبه شدیدی است که اگر در فضای مرطوب قرار داشته باشد به سرعت رطوبت را جذب می‌کند. آب جذب شده را نمی‌توان با حرارت از آن جدا کرد. زیرا کلرور کلسیم تجزیه شده و اسید کلریدریک تولید می‌کند.



برای آگیری کامل کلرور منیزیم بدون اینکه تجزیه شود، بایستی آن را در اتمسفر اسید کلریدریک حرارت داد. یکی از طرق تهیه کلرور منیزیم بی آب، بصورت محصول جنبی تولید فلز تیتانیم می‌باشد.

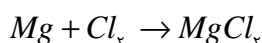


سابقاً از کارنالیست که نمک دوتائی پتاسیم و منیزیم کلر می‌باشد ($\text{KClMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) به عنوان فلاکس استفاده می‌کردند. کارنالیست کانساری است که بخش عمده نمک موجود در دریای سیاه را تشکیل می‌دهد. برای جلوگیری از اکسیداسیون منیزیم بر روی مذاب گل گوگرد می‌پاشند. واکنش مربوطه عبارتست از:



حرارت تشکیل اکسید گوگرد از اکسید منیزیم بیشتر است بطوریکه گوگرد بجای منیزیم می‌سوزد. البته استفاده از گوگرد دارای معایبی است زیرا بوی نامطبوعی دارد و تنفس را مشکل می‌سازد و اگر غلظت آن بالا رود سمی است در نتیجه از مواد جانشین استفاده می‌کنند. این مواد فلئورهای فرار و یا مخلوطی از فلئورهای فرار با اسید بوریک می‌باشد. فلئورها، بی فلئور آمونیم (NH_4HF_2) یا بروفلئور آمونیم (NH_4BF_4) و یا فلئور آمونیم (NH_4F) می‌باشد. این مواد با فلز داغ تجزیه شده و لایه‌ای از فلئور خنثی را تشکیل می‌دهد که از اکسیداسیون بیشتر جلوگیری می‌کند. بخارات حاصله نسبت به گوگرد ضرر کمتری دارد.

برای خارج ساختن هیدروژن از فلز مذاب، می‌توان نیتروژن خشک به مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه به داخل مذاب تزریق نمود. افزودن فلاکس یا بهم زدن مذاب به طور آهسته، به جدا شدن اکسیدهای تفراله ساز کمک می‌کند. از گازهای هلیوم و کلر نیز برای هیدروژن زدائی آلیاژهای منیزیم استفاده می‌شود البته کلر از نظر قیمت و سرعت عمل ارجحیت دارد. تشکیل MgCl_2 سرعت کلر زنی را افزایش می‌دهد. برای اینکار کلر را از مخزن استوانه‌ای به داخل مذاب تزریق می‌کنند که کلرور منیزیم طبق رابطه زیر تشکیل می‌شود.



با هم زدن مذاب، کلرور منیزیم بصورت قطرات ریز، به سطح رانده می‌شود و در نقش فلاکس برخی از ناخالصیها و MgO را نیز با خود به سطح آورده و از مذاب خارج می‌کند.

هیدروژن زدائی را می‌توان با هگزا کلروراتان (C_2Cl_6) که در داخل مذاب تجزیه شده و کلر زیادی ایجاد می‌کند نیز انجام داد. عمده‌ترین مزیت استفاده از هگزا کلروراتان علاوه بر هیدروژن زدائی ریز کردن موثر دانه‌هاست. هگزا کلروراتان را بصورت قرصهای فشرده با وزن مخصوص ۲/۰ استفاده می‌کنند. این قرصها تحت وزن خود به داخل مذاب فرو رفته و به خوبی تجزیه می‌شوند.

ریز کردن دانه بندی

ریز کردن دانه‌های آلیاژهای منیزیم به چند طریق می‌تواند صورت گیرد یکی از این روشها کلرزی یا تزریق حبابهای گاز کلر یا تتراکلور کربن به مذاب است که به ریزش دانه‌ها کمک می‌کند. افزودن پودر کربن دانه‌ها را ریز می‌کند. آلیاژهای منیزیم را که مقدار قابل ملاحظه‌ای آلومینیم دارند برای ریزش دانه‌بندی معمولاً حرارت فوق ذوب^۱ می‌دهند. این موضوع با اصلی که بیان می‌دارد حرارت فوق ذوب در یک مذاب قبل از ریخته‌گری منجر به دانه‌های درشت می‌شود تضاد مستقیم دارد زیرا کلیه جوانه‌های بالقوه در مذاب حل می‌شود (براساس فرض، سرد کردن بعدی مذاب تا همان دمای بارریزی) اما آلیاژهای Mg-Al پس از اینکه چند صد درجه بالاتر از نقطه ذوب حرارت داده شوند تا دمای ۱۶۵۰-۱۷۰۰F (۹۰۰-۹۲۷ C) و سپس به سرعت تا دمای بارریزی سرد شود دانه‌بندی بسیار ریزتری در آنها ایجاد می‌شود. مطالعات انجام شده برخی محققین نشان می‌دهد که ناخالصیهای فلز در حین حرارت فوق ذوب حل شده و پس از سرد شدن مذاب تا دمای بارریزی بصورت ذرات بسیار ریز که می‌توانند به عنوان جوانه عمل کنند تشکیل می‌شوند. البته منیزیم خالص و آلیاژهای منیزیم که فقط منگنز دارند از این قاعده مستثنی می‌باشند. روش معمول برای این کار ذوب کردن آلیاژ است و در حدود ۷۳۰ C افزودن فلاکس به مذاب و به هم زدن آن جهت جدا کردن تفاله اکسیدی، عمل تصفیه انجام می‌شود. سپس فلاکس محافظ افزوده شده و دمای مذاب به ۸۷۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. لازم نیست مذاب در این دما نگهداری شود فقط زمان کافی برای یکنواخت شدن دما کافی است. آنگاه مذاب در کوره تا دمای بارریزی مناسب یعنی حدود ۷۳۰C سرد می‌شود سپس برای مدتی که دمای مذاب یکنواخت شود به حال خود می‌گذاریم و بعد از آن بارریزی می‌کنیم.

روش دیگر برای ریز کردن دانه‌بندی استفاده از هگزاکلوربنزن (C_6Cl_6) می‌باشد حدود ۲۰ تا ۲۵ گرم از آن را به هر ۱۰۰ پوند فلز در ۱۴۵۰-۱۵۰۰F (۷۸۸-۸۱۶C) اضافه می‌نمائیم دمای بارریزی حدود ۱۳۵۰-۱۵۰۰F (۷۵۰-۸۱۶C) می‌باشد. روش دیگری نیز که برای ریز کردن دانه‌ها مرسوم است افزودن حداکثر ۱٪ از موادی مانند گچ، منزینت، کلرور فرو به مذاب می‌باشد.

برخی از محققین در جنگ جهانی دوم نشان داده‌اند که برای افزایش تولید روشهای دیگری نیز برای ریز کردن دانه‌ها به همان اندازه حرارت فوق ذوب موثر است این روشها عبارتند از:

۱. به هم زدن مذاب در ۷۶۰C به طور شدید (برای مذابهای کم)
۲. وارد کردن (تزریق) حبابهای استیلن، متان، پروپان یا تتراکلور کربن به مذاب در ۷۶۰C
۳. به هم زدن مذاب با ۱٪ پودر گرافیت یا کربور آلومینیم (Al_2C_3)

فلزی که بروش حرارت فوق ذوب ریزدانه شده باشد در ذوب مجدد خصوصیت دانه‌ریزی خود را از دست می‌دهد اما اگر با کربن دانه‌ریز شده باشد پس از ذوب مجدد خاصیت ایجاد دانه‌های ریز را خواهد داشت.

تمیزکاری

برای جلوگیری از خطر ترک در حین تکان دادن قطعه برای دفع ماسه، قطعه بایستی کاملاً سرد شده باشد. برای قطعات بزرگ حدود ۲ ساعت طول می‌کشد تا قطعه به دمائی برسد که برای تمیزکاری آماده شود. پس از جدا کردن ماسه‌ها، قطعه را با ماسه نرم (۳۵AFS) سندبلاست می‌کنند تا عیوب آشکار شود. راهگاهها و منابع تغذیه با اره نواری بریده می‌شود. در کلیه روشهای برش فلز، احتمال آتش گرفتن و انفجار تراشه‌ها و پودر منیزیم وجود دارد.

قطعاتی که باید ضد نشت باشند اشباع یا درزگیری صورت می‌گیرد. قطعات ریخته‌گری قبل از حمل با کروم محافظت می‌شوند. این عمل عمدتاً برای جلوگیری از خوردگی در حین حمل و نقل و انبار کردن قبل از ماشینکاری صورت می‌گیرد.

^۱ Superheat

عمل محافظت و کنسروسازی، شامل فرو بردن قطعه به مدت کوتاه در محلول آبی ۱/۵ پوند دیکرومات سدیم در گالن و ۱/۵ پونیت اسیدنیتریک غلیظ در گالن است ($K_2Cr_2O_7 + HNO_3 + H_2O$) پس از این عمل قطعه در آب گرم شسته می‌شود و به رنگ برنز در می‌آید.

آلیاژهای دای کست تحت فشار

۱- آلیاژهای روی

با وجودیکه در این زمینه، دو دسته آلیاژ وجود دارد، عمده ریخته‌گریها در انگلیس با آلیاژ A صورت می‌گیرد. از آلیاژ B فقط وقتی استفاده می‌شود که مانند زیپ‌ها، به سختی و مقاومت بالا نیاز باشد. یکی از خصوصیات هر دو آلیاژ کنترل دقیق بر روی ناخالصیهاست که برای جلوگیری از خوردگی بین دانه‌ای نیاز است.

جدول: آلیاژهای پایه روی مطابق BS ۱۰۰۴

آلیاژ	Zn	Al	Cu	Mg	Fe
A	توازن	۳٫۸	۰٫۱	۰٫۰۳	۰٫۱۰
		۴٫۳		۰٫۰۶	
B	توازن	۳٫۸	۰٫۷۵	۰٫۰۳	۰٫۱۰
		۴٫۳	۱٫۲۵	۰٫۰۶	

شرایط خاص ناشی از اتصال مقاطع

در شکل مثالهائی از انقباض در اتصال مقاطع و استفاده از مبردها برای جلوگیری از انقباضها داده شده است. استفاده از اتصال مقاطع مسائل تغذیه‌ای ویژه‌ای از خود نشان می‌دهد که با مبردها و یا طراحی مجدد قطعه رفع می‌شود.

مبردها

برای انجماد جهت دار در قالبها و یا ماهیچه‌ها از مبردهای داخلی و یا مبردهای خارجی استفاده می‌شود. مبردهای خارجی در داخل دیواره قالب و در محل فصل مشترک فلز-قالب قرار داده می‌شوند. در حالیکه مبردهای داخلی در داخل حفره قالب قرار داده می‌شوند.

مبردهای خارجی

این مبردها معمولا از جنس فولاد، چدن، یا مس می‌باشند که در محل مناسبی در داخل قالب برای افزایش سرعت انجماد فلز قرارداده می‌گیرند. شکل آنها می‌تواند استاندارد و یا در موارد خاص به شکل مناسبی که با ابعاد قالب تطبیق کند باشند.

مبردهای داخلی

این مبردها در داخل حفره قالب و در محلی که امکان دسترسی و استفاده از مبردهای خارجی نیست، قرار داده می‌شوند. استفاده از این مبردها بدلائیل زیر، نسبت به مبردهای خارجی به توجه و دقت بسیار بیشتری نیاز دارد.

۱. مبرد ممکن است با قطعه کاملاً ذوب نشود لذا باعث نقطه ضعف در قطعه می‌شود.
۲. تمیزی سطح مبرد بسیار مهم است زیرا به طور کامل با فلز مذاب احاطه می‌شود و هرگونه گازی که در داخل مذاب تولید شود، نمی‌تواند از مذاب خارج شود و در قطعه ایجاد عیب می‌کند.
۳. بسته به اینکه مبرد در کجای قطعه استفاده شود ممکن است خواص مکانیکی قطعه را تغییر دهد.
۴. ترکیب شیمیائی مبرد با مذاب بایستی اخت کامل داشته باشد، برای مثال از مبردهای چدنی نباید در قطعات فولادی استفاده شود. برای پیش‌گیری از مشکلات عملیات حرارتی، مبرد باید تقریباً همان ترکیب شیمیائی مذاب را دارا باشد.

عایق‌ها و ترکیبات گرمزا

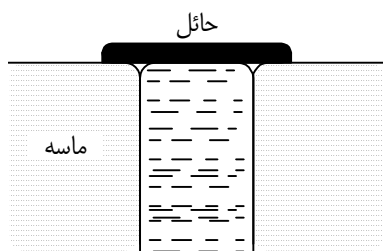
یک منبع تغذیه را می‌توان با استفاده از برخی روشهای مصنوعی برای پیش‌گیری بالای منبع تغذیه از انجماد و پیش‌گیری فلز مذاب در معرض اتمسفر موثرتر کرد. این عمل را می‌توان با استفاده از برخی افزودنیهای در سطح فلز مذاب منبع تغذیه انجام داد. برای ایجاد خاصیت عایقی، از افزودنیهای متعددی مانند پودر گرافیت، ذرات کک، پودر ذغال، شلتوک برنج، و مخلوطی از مواد نسوز، استفاده می‌شود. ترکیبات کربنی و نیز دیگر مخلوطها، که به طور ویژه برای این هدف طراحی می‌شوند، از واکنشهای گرمزا حرارت نیز ایجاد می‌کنند. این واکنشهای گرمزا ممکن است بسته به فرمول‌گیری، در مقدار حرارتی که تولید می‌کنند با هم متفاوت باشند. به طور کلی مواد گرمزا، به چهار دسته زیر تقسیم می‌شوند.

۱. تا حدودی عایق کننده (در واقع گرما زا نیست). این گروه شامل موادی مانند پرلیت، گچ، و امثال آن
۲. عایق و تا حدود کم گرمزا- قسمت عایق شامل نسوزها به علاوه ترکیبات شیمیائی گرمزا که ایجاد عایقی کرده و نیز منبع اضافی گرماست.
۳. عایق، تا حدودی گرمزا، و تولیدکننده غیرفلز
۴. گروه‌های ترمیت که دما را افزایش می‌دهند.

کاربرد نوع ۱ و ۲ بیشتر در پوشیدن منبع تغذیه است. این مواد از افت حرارت بر اثر تشعشع و یا انجماد زودرس منبع تغذیه جلوگیری می‌کنند. نوع ۳ و ۴ موادی هستند که ممکن است به شکل آستینهای استوانه‌ای و امثال آن، قالب‌گیری شوند.

در شکل‌های زیر زمانهای انجماد کل (بر حسب دقیقه) برای عملیات متفاوت بر روی منبع تغذیه‌ای استوانه‌ای به ابعاد 4^*4 in نشان داده شده است.

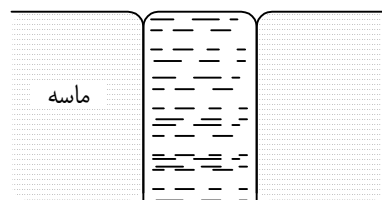
فقط استفاده از حائل



۱۳,۴

۱۴,۰

۱۴,۳



۵,۰

۸,۲

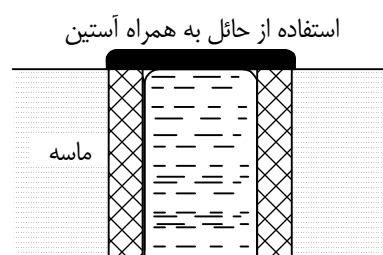
۱۲,۳

فولاد

مس

آلومینیم

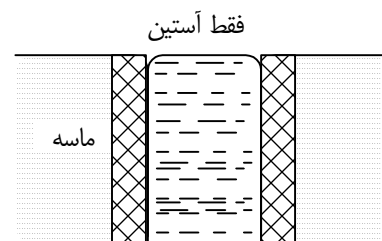
استفاده از حائل و آستین



۴۳,۰

۴۵,۰

۴۵,۶



۷,۵

۱۵,۱

۳۱,۱

فولاد

مس

آلومینیم

کمک ذوبها

بسیاری از فلزات برای ذوب و ریخته‌گری به هیچ‌گونه عملیات خاصی نیاز ندارند فقط فلز تمیز و خالص در کوره ذوب و تا دمای بارریزی گرم و هرگونه تفاله (dross) از سطح آن حذف شده و سطح فلز تمیز و بارریزی می‌شود. اما برای برخی فلزات دیگر، استفاده از کمک ذوب و یا استفاده از مواد ریزکننده دانه (عوامل جوانه‌زا) و استفاده از هر دو مورد نیاز است. مواد کمک ذوب پودری را ممکن است با مذاب بهم زد تا برخی از اکسیدها و آخالهای غیرفلز را جمع‌آوری، آگلومره سازی کرده و به سطح هدایت کند. پس از چنین عملیاتی، مذاب بایستی برای مدتی معین حداقل ۵ دقیقه و ترجیحاً ۱۰ تا ۱۵ دقیقه ساکن بماند تا کمک ذوب و دیگر مواد زائد تشکیل شده شناور شده و از مذاب جدا شود. آخالهای فلاکس در قطعه مضر است زیرا باعث عیب می‌شود. لذا رعایت مدت زمان نگهداری مذاب به حالت سکون بسیار مهم است.

کمک ذوبهای پودری گاهی در ته بوته قرار داده می‌شوند یا اینکه بر سطح فلز جامد بار کوره پخش می‌شوند بطوریکه با گرم شدن فلز ذوب شوند.

فلاکسها (کمک ذوبهای) گازی مانند نیتروژن، کلر یا مخلوطی از این گازها گاهی به صورت حباب به داخل مذاب آلومینیم دمیده می‌شوند تا آخالها را از مذاب جدا کنند. کلر موثرترین ماده برای تمیز کردن فلزات با مقدار قابل ملاحظه‌ای منیزم، بویژه آلیاژهایی با مقدار ۶ تا ۱۱ درصد منیزیم است. در این مورد نیز سیالیت مذاب بایستی به مدت زمان معینی به حالت ساکن نگهداری شود تا کلرومنیزیم از مذاب جدا شود.

فلاکسهای گازی که به طور صحیح استفاده شوند می‌توانند در ذوب و کیفیت بعدی قطعه ریخته‌گری مفید باشند و در برخی موارد نیز به طور مطلق لازم می‌باشند. استفاده نادرست آنها به قطعه معیوب منجر می‌شود. فلاکسها چهار نقش عمده دارند.

۱. حفاظت از مذاب در حین فرایند ذوب

۲. تمیز کردن فلز مذاب
۳. حذف و از بین بردن تفاله‌ها (dross)
۴. گازگیری (degassing)

عیوب ریخته‌گری

PR Beely P۱۸۰

در شرایط عملی، قطعات ریخته‌گری دارای

۱. حفره یا مک Voids

۲. آخال Inclusions

۳. دیگر عیوب

است. این عیوب وقتی عیب واقعی در نظر گرفته می‌شوند که برای قطعه از نظر کارکرد یا ظاهر مشکل ایجاد شود.

آنگاه بایستی در مورد امکان

۱. قراضه بودن Salvage قطعه

۲. پس زنی و یا تعویض در شرایط نامناسب

تصمیم گرفت

تصمیم فوق نه فقط به نوع عیب بستگی دارد بلکه به استانداردهای بازرسی اعمال شده نیز بستگی دارد.

سرچشمه ایجاد عیوب در سه بخش خلاصه می‌شود که عبارتند از

۱. طراحی قطعه ریخته‌گری

۲. روش ساخت قطعه

۳. اعمال روش

دسته بندی عیوب ریخته‌گری

به طور کلی عیوب ریخته‌گری را میتوان از دیدگاه سرچشمه آن به هفت دسته تقسیم کرد.

۱. عیوب شکل‌گیری حاصل از بارریزی، اگر مذاب نتواند قالب را به طور کامل پر کند در آن عیب شکل‌گیری

ایجاد می‌شود که به آن misrun یا short run گفته می‌شود. عیب لبه‌های سرد cold laps نوعی عیب از

عیب فوق است که بدلیل دمای پائین، فلز به آزادی بر سطح قالب جاری نمی‌شود. اولین شرایطی که به این

عیوب منجر می‌شود گوشه‌ها و لبه‌های مدور و عدم وجود ویژگیهای تیز و نبود جزئیات ظریف قالب است.

دلیل عیوب فوق

a. دمای پائین فلز مذاب (فلز سرد) است.

b. تبرید بیش از حد سطح قالب

i. که ممکن است بدلیل مبردگذاری بیش از حد باشد.

ii. رطوبت بیش از حد ماسه قالب باشد

c. سرعت ناکافی پر شدن قالب نسبت به سرعت انجماد قطعه ریخته‌گری است.

۲. عیوب حاصل از آخالها و ماسه: آخالهای غیرفلزی به دو گروه تقسیم می‌شوند.

a. آخالهای ذاتی (Indigenous) یا درونی endogenous یا درونزاد که محصول واکنشها در مذاب که

ذرات معلق بسیار ریز در قطعه‌اند. واکنشهایی که آخالهای درونی را تشکیل می‌دهند مستلزم وجود

ناخالصیهای معمول مانند اکسیژن، نیتروژن و گوگرد به همراه اجزای فلزی فعال در آلیاژ است.

معمولترین واکنش اکسایش است که محض تشکیل آخال ذاتی توسط جدایش ثقلی از مذاب جدا می‌شود. این تمایل برای ذرات ریز کروی در محیط مذاب توسط قانون استوک بیان می‌شود.

$$v = \frac{2}{9} \times \frac{r^2 g (r_1 - r_2)}{m}$$

که در این رابطه

v سرعت جدایش m/sec

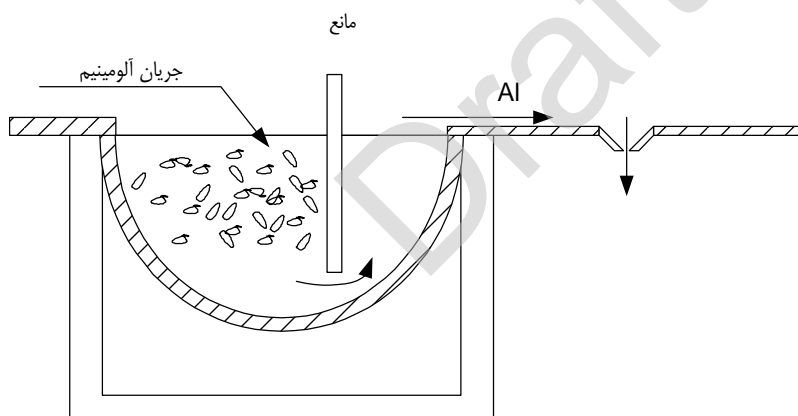
r شعاع ذره m

r_1 چگالی مذاب kg/m^3

r_2 چگالی ذره kg/m^3

m ویسکوزیته مذاب Ns/m^2

است. در جدایش، شعاع ذره عامل مسلط به شمار می‌رود. از آنجائیکه ذرات بزرگ نسبتاً سریع از مذاب جدا می‌شوند نگهداشتن فلز مذاب به مدتی در داخل کوره یا پاتیل قبل از ریخته‌گری روش مناسبی برای کاهش مقدار کل آخالها به شمار می‌رود گرچه در مدت کوتاه انتظار نمی‌رود که ذرات ریزتر از مذاب جدا شوند. جدایش ثقلی در مورد آلیاژهای سبک چندان موثر نیست دلیل آن تفاوت بسیار کم در چگالی فلز و آخال است. در این مورد بهتر آن است که سطح فلز در هنگام ذوب تا حد ممکن هم زده شود. در آلیاژهای سبک مقدار آخال بسیار کم را می‌توان با فیلتر کردن مذاب توسط بستری متخلخل از ماده‌ای گرانولی قبل از ذوب بدست آورد (شکل زیر).



b. آخالهای برونی exogenous یا برونزاد که حاصل حبس شدن مواد در حین بارریزی است.

۳. عیوب حاصل از محبوس شدن گازها

۴. عیوب انقباضی حاصل از انقباض حجمی (طی حالت مایع و انجماد)

۵. عیوب حاصل از انقباض پس از انجماد

۶. عیوب حاصل از خطاهای ابعادی

۷. عیوب حاصل از ترکیب شیمیائی و تجمع و رسوب ماده Segregation

عیوب فوق عمومی و کلی است. عیوب دیگری نیز از هر دسته از آلیاژها وجود دارد.

عیوب ریخته‌گری بسیار مهم است ۱ تا ۱۰٪

حدود ۲۰ نوع عمده عیوب ریخته‌گری وجود دارد که عبارتند از:

بیرون زدگی (Flash)، عدم هماهنگی (Mismatch)، (blow hole) misrun cold shut، تخلخل گاز (gas porosity)، حفره انقباض (shrinkage cavity)، تخلخل (porosity)، (hot tear) sink centerline، ترک (crack)، (scab)، تورم (swell) نفوذ فلز (metal penetration)، سطح زبر (rough surface)

دیگر عیوب

ترکیب و خواص نادرست
عیوب وابسته به قالب گیری
عیوب وابسته به پرشدن قالب
عیوب وابسته به انجماد
تجزیه و تحلیل عیوب

انواع عیوب

عیوب وابسته به محل

عیوب داخلی

عیوب خارجی

عیوب وابسته به نوع

عیوب هندسی

عیوب یکپارچگی

عیوب وابسته به اندازه / اهمیت

عیوب کوچک / کم اهمیت

عیوب بزرگ / مهم

عیوب وابسته به فرایند

عیوب وابسته به قالب گیری

عیوب وابسته به پر شدن قالب

عیوب وابسته به انجماد

عیوب وابسته به علت

عیوب وابسته به مواد اولیه

عیوب وابسته به طراحی

عیوب وابسته به طراحی ابزار

عیوب وابسته به پارامترهای فرایند

عیوب وابسته کنترل فرایند

عیوب وابسته به مرحله تولید

عیوب مرحله ذیخته گری

عیوب مرحله ماشینکاری اولیه

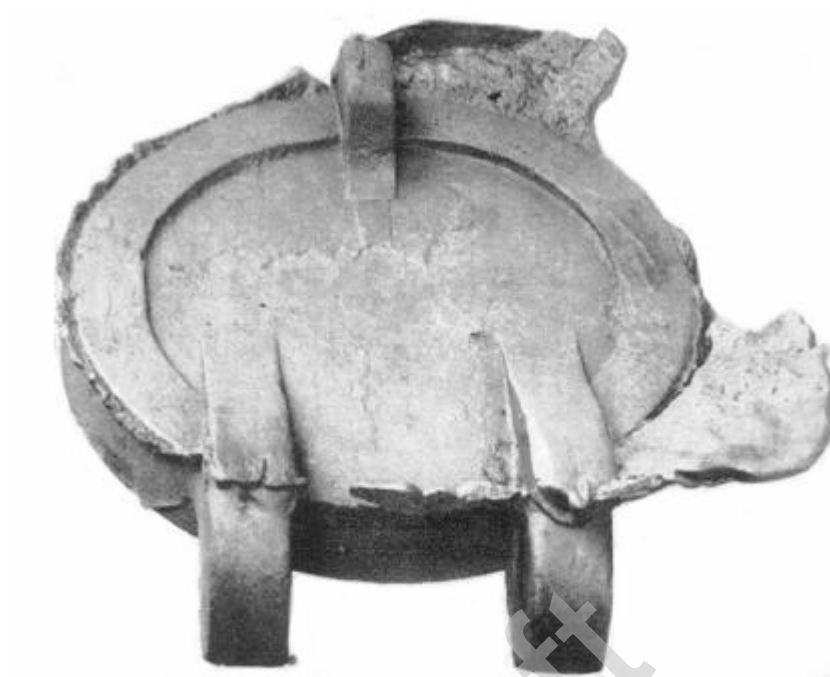
عیوب مربوط به پرداخت کاری

عیوب مرحله استفاده از قطعه

عیوب بر اساس تعمیرپذیری

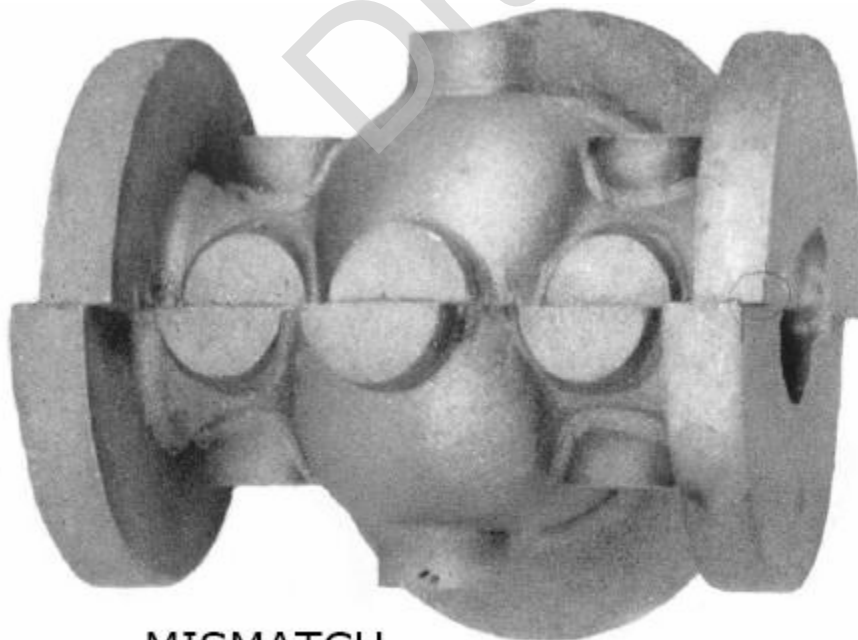
قابل تعمیر

غير قابل تعمير
عيوب وابسته به قالبگيري
بسته ناصحيح قالب
در سطح جدائش، flash



FLASH

در سطح جدائش mismatch

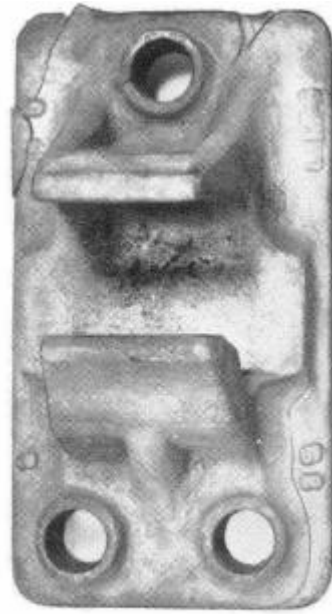


MISMATCH

عيوب مربوط به پر نشدن قالب
پرنشدن كامل قالب، misrun, cold shot



MISRUN



COLD SHUT

محبوس شدن گاز، حفره های دمش Blow holes، تخلخلهای گاز



BLOW HOLE

GAS POROSITY

آخالهای جامد Solid Inclusions

عیوب وابسته به انجماد/سردشدن

انقباض حاصل از انجماد، حفره، تخلخل، سنترلاین، سینک

انقباض تاخیردار سردشدن، پارگی داغ، ترک، اعوجاج

روشهای بازرسی

بازرسی تخریبی

مقطع زنی، ماشینکاری

آزمونهای مکانیکی
 آزمونهای شیمیائی
بازرسی غیر تخریبی
 چشمی، عیوب خارجی بزرگ
 ابعادی، عیوب اندازه
 آزمون فشار، نشد مایع
 رادیوگرافی، حفره های داخلی
 آلتراسونیک، عدم پیوستگی داخلی
 جریان سرگردان (ادی کارنت)
 ذرات مغناطیسی، عدم پیوستگی زیر سطحی
 نفوذ رنگ، عیوب باز به سطح قطعه

فلاکسهای مصرفی در فلزات غیر آهنی

فلاکسهای مصرفی برای آلیاژ برنج:

- سولفات پتاسیم: مخلوط سولفات پتاسیم با ذغال
 - کیک نمک (Salt Cake) شامل:

کربنات سدیم	۵	قسمت
سیلیس	۱۵	قسمت
خاکه ذغال (آنتراسیت)	۵	قسمت
خاکستر استخوان	۲۰	قسمت
جمع	۴۵	قسمت

برای استفاده این مواد؛ به روش زیر عمل شود.

۱. مواد فوق با هم مخلوط شوند.
۲. سطح فلز با مخلوط پوشیده شود.
۳. قبل از رسیدن مذاب به دمای بارریزی کاملاً هم زده شود.

فلاکسهای مصرفی برای برنج

گچ ($CaSO_4$) به عنوان فلاکس برای احیای خاکستر آلیاژ برنج و کف گیری (skimming) استفاده می شود.

فلاکسهای مصرفی برای مس

اکسید روی و ذغال به فلز مذاب اضافه شود. این مواد با آب ملاس دار مخلوط می شود تا خمیر سفتی ایجاد شود، آنگاه به شکل گلوله ای تبدیل و خشک می شود. بلافاصله وقتی مس ذوب شد، یکی از این گلوله ها به سطح مذاب انداخته می شود، که فلز را می پوشاند و روی موجود با هر گونه اکسیژن موجود ترکیب می شود. سیلیسیم-مس (Silicon-Copper) بهترین دی اکسید کننده برای مس ریختگی است اما تحت فلاکسهای فلزی دسته بندی می شوند.

فلاکسهای مصرفی برای آلیاژهای روی

نشادر (Sal-Ammoniac) فلاکس مورد نیاز در این مورد است که بر سطح مذاب پاشیده می شود.

فلاکسهای مصرفی برای فلز بابت

نشادر به عنوان فلاکس فلز بایست استفاده می‌شود که در دماهای نسبتاً پائین، توسط فلزات تجزیه شده و کلورهای فلزی تولید میکند و آمونیاک آزاد، آزاد می‌شود.

فلاکسهای مصرفی آلیاژهای آلومینیم

یک فلاکس بهبود یافته شامل اسیدبوریکن و کربنات سدیم به نسبت مساوی است. این مخلوط به جای بوراکس استفاده می‌شود.

فلاکسهای مصرفی آلیاژهای نیکل

گج و نیترو (نیترات پتاسیم) به نسبت‌های مساوی پنج دقیقه قبل از ریخته‌گری با مذاب هم زده می‌شود.

سیالیت فلز

اگر طراحی قالب بر مبنای محاسبات تغذیه‌گذاری و ایجاد راهگاه کامل شده باشد، موضوع باقی‌مانده، انتخاب دمای صحیح بارریزی آلیاژ مورد نظر برای ریخته‌گری است. برای درک این مسئله، بایستی یادآور شویم که در بحث‌های قبلی مربوط به طراحی راهگاه، فلز مذاب را به صورت یک سیال معمول در نظر گرفتیم. با وجود این، دو موضوع مهم که باید بر آن اضافه شوند عبارتند از:

الف) اگر آلیاژ در دمای بیش از حد پائین بارریزی شود در سیستم راهگاهی منجمد شده و ممکن است قالب پر نشود و در قطعه عیب ایجاد شود. دیگر معایی که از دمای بارریزی پائین نتیجه می‌شود پیچیدگی‌ها (laps)، شکافها یا درزها (Seams) می‌باشند. در این حالتها که بین دو جریان مختلف فلز مذاب که در حفره قالب جریان می‌یابد پیوند کامل ایجاد نمی‌شود.

ب) اگر فلزی در دمای بیش از حد بالا بارریزی شود ماسه راهگاه و دیواره قالب به شدت مورد حمله مذاب و تحت واکنش شیمیائی قرار می‌گیرد که بر اثر این واکنش سطح ناصاف شده و گازهای واکنش، سرباره و... را در قطعه محبوس می‌سازد لذا سطح قطعه ناصاف می‌شود. نتیجتاً انتخاب دمای بارریزی صحیح، بسیار ضروری است. گرچه در این رابطه، عباراتی مانند قابلیت ریخته‌گری (Castability) برای توضیح برخی ویژگیهای مربوط به رفتار جریان به کار رفته است، اما عبارت سیالیت بسیار شناخته‌تر است.

اندازه‌گیری سیالیت

معنی کلمه سیالیت (fluidity) در ریخته‌گری با کلمه سیالیت (fluidity) در شیمی-فیزیک کاملاً متفاوت است. در شیمی-فیزیک، سیالیت عکس ویسکوزیته یا ناروانی است ولی در ریخته‌گری، سیالیت (fluidity) توانائی نسبی یک مذاب معین در دمای معین برای پر کردن قالب است. به عبارت دیگر ویسکوزیته در دمائی بالاتر از دمای خط مذاب (liquidus) به اندازه کافی پائین (یعنی سیالیت به اندازه کافی بالا) است که بتواند قالب را به طور کامل و با موفقیت پر کند. همانگونه که اشاره شد سیالیت فلزات مذاب خاصیتی است که نشان دهنده سهولت پر کردن حفره قالب با فلز مذاب است. خاصیتی است که به محدوده انجماد آلیاژ مذاب مورد نظر، ΔT ، و دمای فوق ذوب فلز وقتی که وارد قالب می‌شود (دمای بارریزی منهای دمای خط مذاب، $T_P - T_L$)، بستگی دارد. از نظر کیفی هر چقدر سیالیت بالاتر باشد اندازه مقطعی را که می‌توان قبل از انجماد به طور موفقیت آمیزتری پر کرد کوچکتر است.

از آنجائیکه سیالیت را نمی‌توان از خواص فیزیکی واحدی به دست آورد، آزمونهای تجربی برای اندازه‌گیری مشخصه کل ایجاد شده است. این آزمونها بر پایه شرایطی مشابه با ریخته‌گری فلزات در کارگاه ریخته‌گری بنا شده است و سیالیت را به صورت کل فاصله پیموده شده فلز مذاب در سیستمی استاندارد شده از کانالهای محبوس قبل از توقف اندازه‌گیری می‌کند. لذا برای اندازه‌گیری آن و بدست آوردن معیار نسبی سیالیت روشهای تجربی زیادی توسعه یافته است. در این رابطه، در قالب استاندارد که به شکل حلزونی است و به طور عالی بیانگر جریان فلز است بارریزی می‌کنند. از چنین قطعه‌ای برای بدست آوردن اطلاعات شکل - استفاده می‌کنند. دو روش تجربی مهم برای اندازه‌گیری سیالیت عبارتند از

۱. استفاده از ماریپیج تعیین سیالیت در ماسه ریخته‌گری (sand cast fluidity spiral)

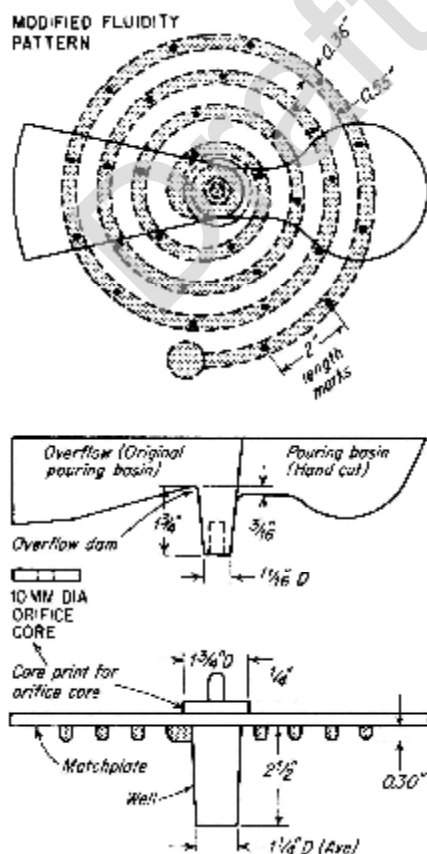
۲. روش لوله مکند (suction tube)

۱- ماریپیج سیالیت قالب ماسه‌ای

یکی از روش‌های معمول برای اندازه‌گیری سیالیت یک فلز ریخته‌گری استفاده از لوله ماریپیج است که در آن فلز مذاب در یک ماریپیچی به طول ۶۰ اینچ در ماسه تحت ارتفاع ثابت ۴ اینچ ریخته‌گری می‌شود. طولی را که فلز در ماریپیج حرکت کرده و آن را پر می‌کند معیاری از سیالیت ماده به شمار می‌رود. از آنجائی که اندازه‌گیری سیالیت نیز به تغییرات جزئی در خواص حرارتی و مشخصه سطحی قالب حساس است، برخی از محققین از قالبهای گرافیتی و فلزی برای کمینه‌کردن تغییرات این عوامل استفاده کرده‌اند. گرچه انواع اشکال حلزونی (ماریپیج) برای تعیین سیالیت استفاده می‌شود، در حالیکه حلزونی که هم برای فلزات آهنی و هم برای فلزات غیرآهنی به کار می‌رود آزمون تک حلزونی بریکز-کزیوس است که در شکل زیر نشان داده شده است.

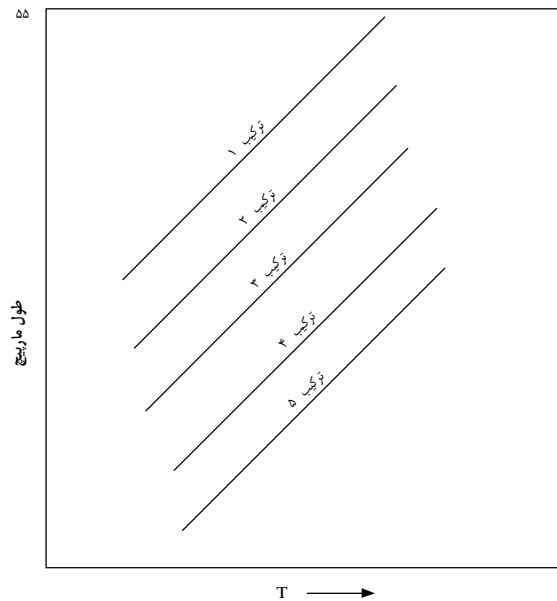
شکل ص ۲۵۹

در شکل زیر طرح ماریپیج در قالب ماسه، (sand cast fluidity spiral) برای تعیین سیالیت فلز ریخته‌گری نشان داده شده است. طول این ماریپیج ۵۵ اینچ (۱۳۹٫۷ سانتیمتر) است، که فقط می‌تواند تحت شرایط سیالیت بسیار بالا پر شود. طولی از ماریپیج که در حالت معمولی (به طور جزئی) پر می‌شود، شاخصی برای سیالیت نسبی به شمار می‌رود.



شکل: طراحی ماریپیج تعیین سیالیت

دما با استفاده از یک ترموکوپل با سیمی از جنس $Pt + 10\% Rd - Pt$ در داخل غلاف نازکی از جنس لوله سیلیس ذوبی اندازه‌گیری می‌شود و منحنی سیالیت بر حسب دما رسم می‌شود که معمولاً به شکل زیر است.

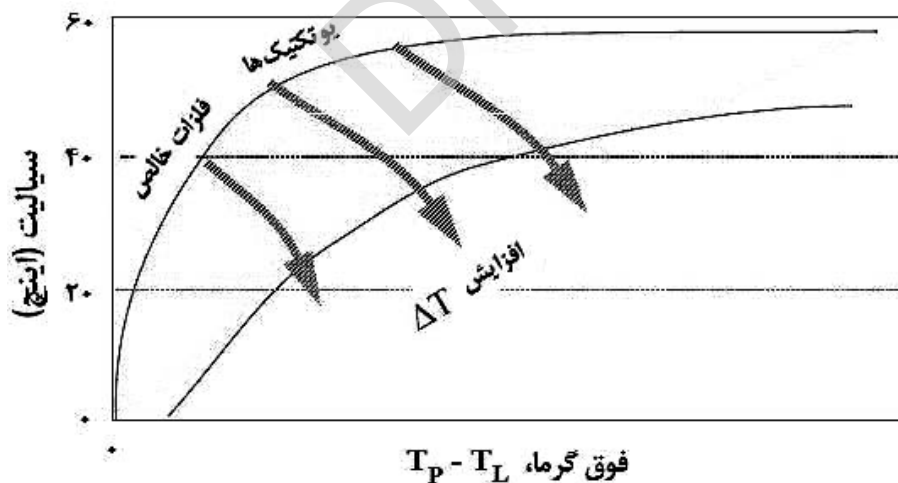


شکل: منحنی سیالیت، طول ماریچ بر حسب دما برای چندین ترکیب شیمیایی مختلف

اگر استفاده از ترموکوپل گران باشد، از روش چشمی استفاده می‌شود. در این روش از یک قالب باز، تقریباً به قطر ۳ اینچ و ارتفاع ۲ اینچ استفاده شده و در دمایی حدود حداقل 150°F (83°C) بالاتر از خط مذاب بارریزی می‌شود و دمای مذاب با یک پیرومتر نوری به طور دائم قرائت می‌شود. سطح قالب به طور پیوسته با یک میله سبک تمیز می‌شود تا اینکه سرد شدن در یک مقدار معین نگهداشته شود. این روش تقریباً دقیق است زیرا ثابت شدن دما به مدت ۱۰ تا ۶۰ ثانیه طول می‌کشد و فرصت کافی برای اندازه‌گیری دما ایجاد می‌شود.

سیالیت فلزات مذاب

در منحنی زیر شماتیکی از سیالیت بر حسب فوق حرارت و مقدار آلیاژ داده شده است.



شکل: سیالیت بر حسب فوق حرارت و مقدار آلیاژ

همانگونه که این شکل نشان می‌دهد سیالین فلز خالص و یوتکتیک‌ها، با محدوده انجماد صفر بیشترین مقدار را داراست. آلیاژها با بالاترین محدوده انجماد دارای سیالیت پائین تری است. شکل فوق نشان می‌دهد که سیالیت کلیه فلزات و آلیاژها با افزایش دمای فوق گرما بشیرت می‌شود. چدن خاکستری یکی از سیال‌ترین آلیاژ ریختگی است. از اطلاعات تجربی حاصل از نتایج آزمایشات متعدد سیالیت ماریچ بر روی چدن خاکستری رابطه زیر را حاصل می‌شود.

$$\text{سیالیت (in)} = 14.9^*CF + 0.05T - 155$$

که در این رابطه

T دمای بارریزی بر حسب $^{\circ}\text{F}$

CF ترکیب چدن است و برابر است با

$$CF = \%C + 0,25 * \%Si + 0,5 * \%P$$

بنابراین برای چدنی با ترکیب یوتکتیک $\%C 3,5$ ، $\%Si 2,4$ و $\%P 0,04$ ، سیالیت برای دمای بارریزی $2600^\circ F$ برابر است با:

$$CF = 3/5 + 0,25 * 2/4 + 0,5 * 0/0,4 = 4,12$$

که در نتیجه سیالیت برابر است با

$$\text{سیالیت (in)} = 14,9 * 4,12 + 0,05 * (2600) - 155 = 36,388 \text{ in}$$

با افزایش دمای بارریزی، سیالیت نیز افزایش می‌یابد (در دمای بارریزی $2700^\circ F$ سیالیت برابر با $41,388 \text{ in}$ است). و نیز با کاهش ترکیب (افزایش محدوده‌ای که در آن انجماد صورت می‌گیرد) به سمت مقدار هیپویوتکتیک (مثلاً $\%C 3,2$ ، $\%Si 2,1$ و $\%P 0,04$ ، سیالیت در دمای بارریزی $2600^\circ F$ به مقدار $30,8 \text{ in}$ کاهش می‌یابد. بدیهی است سیالیت لازم برای پر کردن حفره قالب به اندازه مقطع قطعه ریختگی بستگی دارد. طبیعتاً مقاطع نازک برای پر شدن قبل از اینکه انجماد صورت بگیرد، به سیالیت بالاتر و در نتیجه دمای فوق گرمای بالاتری نیاز دارند. بر عکس قطعات ضخیم به سیالیت پائین‌تری نیاز دارند و نتیجتاً برای پر شدن موفقیت‌آمیز حفره قالب به فوق گرمای پائین‌تری نیاز دارند.

عوامل موثر بر سیالیت

در تعیین سیالیت مذاب، مشخصات فلز مذاب و مشخصات قالب هر دو موثر است. یکی از عوامل موثر بر سیالیت مذاب، قدرت جذب گرما توسط مواد قالب است. دو عامل متالورژیکی عمده بر سیالیت فلز مذاب تاثیر قابل توجهی دارند که عبارتند از

۱. **ترکیب شیمیایی فلز:** عامل اصلی دیگر موثر بر سیالیت، ترکیب شیمیایی است. فلزات خالص و آلیاژهای یوتکتیک بالاترین سیالیت را دارند. تغییر در ترکیب شیمیایی فلز باعث تغییر در الگوی انجماد (CFR) فلز یا آلیاژ می‌شود. آلیاژهای محلول جامد که محدوده انجماد آنها طولانی و فلز در شرایط خمیری است، سیالیت ضعیفی دارند. در حالیکه محدوده‌ی انجماد کوچک مانند فلزات خالص، محدودیتی بر سیالیت ایجاد نمی‌کند. معمولاً رابطه بین سیالیت و محدوده انجماد رابطه‌ای معکوس است. در شکل زیر رابطه بین ترکیب و سیالیت در یک سیستم آلیاژی نشان داده شده است.

شکل:

۲. **دمای فوق ذوب:** دما از عوامل بسیار مهمی است که بر سیالیت فلز مذاب به طور مستقیم موثر است.

دیگر عوامل موثر بر سیالیت:

عوامل بسیاری غیر از راهگاه، دما و ترکیب شیمیایی فلز مذاب بر توانایی آن برای پر کردن قالب موثر است. فقط در رابطه با مشخصات فلز، دیگر عوامل متالورژیکی زیر را می‌توان نام برد.

۳. ویسکوزیته فلز

۴. کشش سطحی فلز

۵. لایه‌های اکسیدی سطح

۶. مقدار گاز جذب شده به ویژه گاز جذب شده در لایه‌های سطحی

۷. آخالهای معلق در فلز

۸. آخالهای رسوب کننده در طی انجماد

از عوامل فوق، دو عامل اول بسیار مهمند. در رابطه با گرمای فوق ذوب، چنین استدلال می‌کنند که فلزی که تا دمای بالاتری گرم شده است زمان بیشتری در قالب به صورت مذاب باقی می‌ماند لذا فاصله بیشتری را طی می‌کند. بحث صفحه ۲۰۲ رزنتال در رابطه با شکل ۸/۱۹ ترجمه و اضافه شود.

اثر شیمی فلز بر سیالیت

با توجه به اینکه منحنیهای سیالیت با هم موازی می‌باشند لذا رابطه کلی سیالیت بر حسب دما و ترکیب وجود دارد. اگر خط سیالیت ثابت در منحنی رسم شود (منحنی ۵/۳ فلین) برای مثال در ۳۰ in، آهنهای متعدد رابطه بین دمای بارریزی و نقطه انجماد را نشان می‌دهند که در جدول ۱-۵ آمده است. افزایش دمای بارریزی لازم که به یک سیالیت در آهن ۴ و ۱ منجر شود، برای مثال، تقریباً برابر با اختلاف در دماهای انجماد است. به عبارت دیگر سیالیت در ریخته‌گری عبارتست از مجموع سیالیت‌های موجود در کل محدوده دمائی، از دمای بارریزی تا دمای انجماد است.

ب) روش لوله‌کننده

نزدیک‌ترین رویکرد به استانداردسازی کامل، در آزمون سیالیت خلاء توسط راگون (Ragone)، آدامس (Adams) و تیلور (Taylor) حاصل شده است (شکل زیر).

شکل ۱/۲ ص ۱۵ Beeley

شکل:

با استفاده از این دستگاه، فلز مذاب در داخل لوله‌ای شیشه‌ای و صاف تحت مکش ایجاد شده با خلاء جزئی حرکت می‌کند. به این منظور، ابتدا لوله‌ای شیشه‌ای یا فلزی با زاویه به داخل مذاب فرو برده می‌شود. سپس شیری که انتهای فوقانی لوله را به یک مخزن خلاء متصل می‌کند باز می‌شود. فلز مذاب بر اثر هد فشار حاصل از تفاوت فشار اتمسفر و داخل مخزن، به داخل لوله مکیده شده و بالا می‌رود. ارتفاع مذاب به عنوان شاخصی از سیالیت در نظر گرفته می‌شود. این روش دو مزیت دارد که عبارتند از:

۱. مشاهده مستقیم ارتفاع فلز در طی حرکت مذاب ممکن است.
 ۲. این روش نسبت به روش ریخته‌گری ماریچج در ماسه ساده‌تر است.
 ۳. اندازه‌گیری سیالیت به عنوان خاصیت فلز به تنهایی و بدون اثر قالب انجام می‌شود.
 ۴. با توجه به مشخص بودن فشار ارتفاع، خطال انسانی در بارریزی حذف می‌شود.
- شیب حرارتی و شرایط جوانه‌زنی در لوله فلزی و شیشه‌ای با جوانه زنی و شیب حرارتی در ماسه تفاوت دارد.

کاربرد یافته‌های سیالیت در ریخته‌گری

پرسش ۱: چگونه می‌توان یافته‌های آزمون تعیین سیالیت به روش ریخته‌گری ماریچجی را به مسائل ریخته‌گری اعمال کرد؟

پرسش ۲: از آنجائیکه سیالیت تابعی از دمای حلالیت خط مایع (Liquidus) است، آیا می‌توان مورد اخیر را از پیش تعیین کرد؟

آزمایش ۲- تعیین دانه‌بندی ماسه با الکهای استاندارد

اکثر خواص ماسه‌ها به توزیع دانه‌بندی و اندازه متوسط دانه‌های آن بستگی دارد. این مشخصه‌ها با انجام آزمایش دانه‌بندی و با استفاده از الکهای استاندارد^۱ (AFS) تعیین می‌شوند.

روش آزمایش

پنجاه (۵۰) گرم از ماسه خشک شده و یا از ماسه‌های باقیمانده از آزمایش تعیین خاک (مطابق با استاندارد AFS) که گاهی نیز ممکن است از ۵۰ گرم کمتر باشد، وزن شود. سپس نمونه بر روی الک بالایی، سری الکهای آزمایش قرار داده شود و بمدت ۱۵ دقیقه در دستگاه مرتعش، تکان داده شود. در جدول زیر شماره الکها و اندازه متوسط سوراخهای آن با ذکر یک مثال داده شده است. پس از ۱۵ دقیقه، مقدار ماسه‌ی باقیمانده روی هر الک، وزن شود و درصد آن نسبت به کل نمونه محاسبه شود. آنگاه با استفاده از این نتایج:

۱. منحنی توزیع دانه‌بندی و همچنین منحنی درصد تجمعی^۲ را که بیانگر مقدار ماسه‌ای است که ازالک به خصوص درشت‌تر است، رسم شود.

۲. عدد متوسط نرمه دانه‌ها^۳ محاسبه شود. برای محاسبه این عدد درصد باقیمانده روی هر الک، در اندازه الک قبلی ضرب می‌شود (ضریب مربوطه در جدول زیر داده شده است) زیرا اندازه واقعی هر ماسه، الکی است که ماسه از داخل آن عبور کرده است. سپس مجموع این حاصلضربها، بر درصد کل دانه‌های ماسه تقسیم شود و خارج قسمت، محاسبه شود. طبق تعریف عدد متوسط نرمه‌ی ماسه، متوسط اندازه دانه‌هاست و تقریباً بیانگر شماره الکی است که اگر کلیه دانه‌ها یک اندازه بودند از داخل آن عبور می‌کردند. این عدد با سطح واحد وزن ذرات بدون در نظر گرفتن خاک متناسب است، لازم به ذکر است که این عدد حاوی هیچگونه اطلاعاتی در زمینه توزیع دانه‌ها نیست، زیرا ممکن است دو ماسه با توزیع دانه‌بندی متفاوت دارای عدد متوسط نرمه یکسانی باشند.

ماسه استاندارد AFS

ماسه استاندارد AFS ماسه سیلیسی شسته و خشک شده‌ای با دانه‌های کروی است که عدد متوسط نرمه AFS آن 50 ± 1 است که ۱۰۰ درصد آن ازالک ۴۰ مش^۴، ۹۵ درصد آن ازالک ۵۰ مش عبور کرده و بقیه بر روی الک ۷۰ مش باقی بماند و هر مقدار که از الک ۷۰ مش عبور می‌کند روی الک ۱۰۰ مش باقی بماند. بعلت اینکه اکثر ریخته‌گران ماسه استاندارد AFS را ماسه درشتی می‌دانند، ماسه آزمایش ثانویه‌ای^۵ AFS نیز به جای ماسه استاندارد وجود دارد که ماسه سیلیس شسته شده با دانه بندی زیر است.

جدول: شماره الکها و نتایج حاصل از آزمایش یک نمونه ماسه ریخته‌گری

شماره الک آمریکایی	مقدار باقیمانده روی هر الک	درصد تجمعی
۲۰	۰-۱	۰-۱
۳۰	۰-۱	۰-۱
۴۰	۰-۱	۰-۱
۵۰	۲-۴	۲-۵
۷۰	۱۸-۲۵	۲۰-۳۰
۱۰۰	۳۷-۴۳	۶۰-۷۰

^۱ American Foundry Society (AFS), Sieve Analysis

^۲ Cumulative percentage

^۳ Average grain fineness number (gfn)

^۴ مش: طبق تعریف، تعداد سوراخهای الک در طول یک اینچ مش (mesh) نامیده می‌شود.

^۵ AFS Secondary Testing Sand

۸۸-۹۳	۲۳-۲۹	۱۴۰
۸۹-۱۰۰	۶-۱۱	۲۰۰
۹۹-۱۰۰	۰-۲	۲۷۰
۱۰۰-۱۰۰	۰-۱	ظرف زیرین

نتیجه این آزمایش کمکی به حفظ یکنواختی خواص ماسه کرده و مبنایی برای انتخاب و خرید آن بشمار می‌رود.

جدول الکها و محاسبات دانه بندی و عدد نرمه‌های ماسه

شماره الکهای آمریکایی	شماره الکهای Tyler	سوراخهای الک mm	قطر سیمها in	مقدار باقیمانده روی هر الک از ۵۰ گرم		ضریب	حاصلضرب
				گرم	درصد		
۶	۶	۳/۳۲۷	۰/۰۳۶	-	-	۳	-
۱۲	۱۰	۱/۶۵۱	۰/۰۳۲	-	-	۵	-
۲۰	۲۰	۰/۸۳۳	۰/۰۱۷۲	-	-	۱۰	-
۳۰	۲۸	۰/۵۸۹	۰/۰۱۲۵	-	-	۲۰	-
۴۰	۳۵	۰/۴۱۴	۰/۰۱۲۲	۰/۷	۱/۴	۳۰	۴۲/۰
۵۰	۴۸	۰/۲۹۵	۰/۰۰۹۲	۷/۷	۱۵/۴	۴۰	۶۱۶/۰
۷۰	۶۵	۰/۲۰۸	۰/۰۰۷۲	۱۷/۸۵	۳۵/۷	۵۰	۱۷۸۵
۱۰۰	۱۰۰	۰/۱۴۷	۰/۰۰۴۲	۱۴/۲	۲۸/۴	۷۰	۱۹۸۸
۱۴۰	۱۵۰	۰/۱۰۴	۰/۰۰۲۶	۷/۴	۱۴/۸	۱۰۰	۱۴۸۰
۲۰۰	۲۰۰	۰/۰۷۴	۰/۰۰۲۱	۱/۶۵	۳/۳	۱۴۰	۴۶۲
۲۷۰	۲۷۰	۰/۰۵۳	۰/۰۰۱۶	-	-	۲۰۰	-
ظرف زیرین	ظرف زیرین	-	-	۰/۵	۱/۰	۳۰۰	۳۰۰
جمع	-	-	-	۵۰/۰	۱۰۰	-	۶۶۳۷

$$AFS No. = \frac{۶۶۳۷}{۱۰۰} = ۶۶.۳۷$$

مسائل حل شده

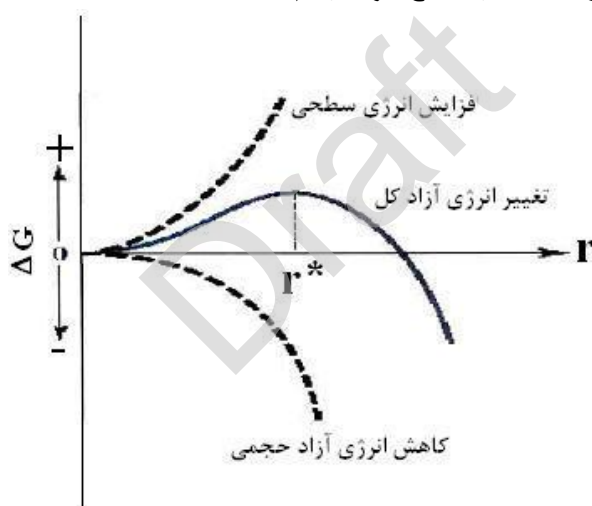
پرسش ۱: چرا دمای جوانه‌زنی همگن، همیشه از دمای انجماد تعادلی پایین‌تر است. چه عاملی باعث تولید جوانه می‌شود؟
پاسخ: دمایی که در آن جوانه‌زنی همگن اتفاق می‌افتد همیشه از دمای انجماد تعادلی، پایین‌تر است، زیرا بایستی بر نیروهای کشش سطحی که مانع رشد جوانه می‌شوند فائق آئیم. عامل تولید جوانه اختلاف انرژی فازهای مذاب و جامد است. این مقدار را، تغییر انرژی آزاد حجمی می‌نامند و با ΔG_v نشان می‌دهند که واحد آن (cal/cm^3) است.
پرسش ۲: ثابت کنید که شعاع بحرانی جوانه در هنگام انجماد از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$r^* = \frac{2g}{\Delta G_v}$$

پاسخ: اگر جوانه‌ای کروی با شعاع r تشکیل شود، تغییر انرژی آزاد کل برابر با مجموع انرژی آزاد حجمی و انرژی آزاد سطحی است. تغییر انرژی آزاد حجمی برای تشکیل جوانه‌ای کروی به شعاع r برابر با $\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v$ است. انرژی لازم برای ایجاد سطح جدید، تابعی از کشش سطحی^۱ (واحد آن ارگ بر سانتیمتر مربع ergs/cm^2) برابر با $4\pi r^2 g$ است. نتیجتاً، تغییر انرژی آزاد کل واکنش انجماد برابر است با:

$$\Delta G_{Total} = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 g \quad (1)$$

در شکل زیر منحنی ΔG_{Total} برحسب اندازه شعاع جوانه رسم شده است.



شکل: منحنی تغییرات انرژی آزاد بر حسب تابعی از شعاع جوانه

برای بدست آوردن r^* از معادله ۱ نسبت به شعاع، مشتق می‌گیریم و آن را مساوی صفر قرار می‌دهیم.

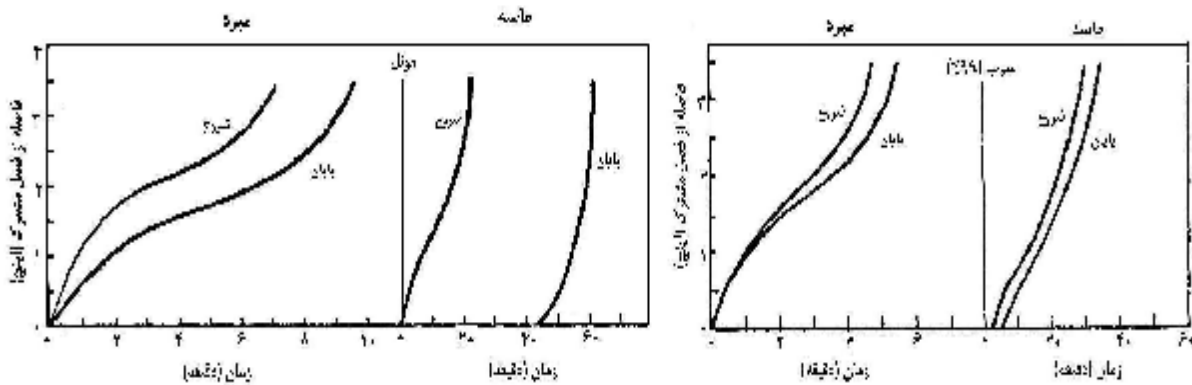
$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta G_{Total}}{\partial r} &= -4\pi r^2 \Delta G_v + 8\pi r g = 0 \\ -4\pi r^2 \Delta G_v + 8\pi r g &= 0 \end{aligned}$$

یا

$$r^* = \frac{2g}{\Delta G_v}$$

پرسش ۳: با توجه به منحنی پیشرفت انجماد دو آلیاژ در شکل‌های زیر، CFR را برای این دو آلیاژ محاسبه کنید و تعیین کنید که ریخته‌گری کدامیک از این دو آلیاژ مشکل‌تر است؟

^۱ Surface tension



پاسخ: با استفاده از فرمول زیر و نیز منحنی‌های فوق، CFR را برای هر کدام از این دو آلیاژ، محاسبه می‌کنیم.

$$CFR = \frac{a - b}{a - d}$$

که در آن

- a پایان انجماد در مرکز
- b شروع انجماد در مرکز
- d شروع انجماد در فصل مشترک

$CFR = \frac{9.6 - 7.1}{9.6 - 0} \times 100 = 26$	مونل مبرد
$CFR = \frac{61 - 22}{61 - 0} \times 100 = 63.9$	مونل ماسه
$CFR = \frac{5.5 - 4.7}{5.5 - 0} \times 100 = 14.5$	سرب مبرد
$CFR = \frac{34 - 30}{34 - 2} \times 100 = 12.5$	سرب ماسه

همانگونه که از نتایج مشخص است، ریخته‌گری آلیاژ مونل در ماسه مشکل‌تر است.

پرسش ۴: معایب فرایند ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای را نام ببرید.

پاسخ: الف) عدم امکان ریخته‌گری قطعات بزرگ (ب) پائین بودن دقت اندازه‌ها

پرسش ۵: فرایند ریخته‌گری Antioch را توضیح دهید.

پاسخ: روش Antioch، روش دیگری از ریخته‌گری در قالب گچی است که برای ریخته‌گری قطعات مهندسی پیچیده استفاده می‌شود. مزیت عمده این روش در آن است که قالب گچی نفوذپذیری بالایی دارد. در این روش، برای تولید قالب، آب را به مخلوط خشکی از ژیبس، ماسه، پنبه نسوز، تالک و سیلیکات سدیم اضافه می‌کنند تا دوغاب تهیه شود سپس آن را با شیلنگ به داخل قالب تخلیه می‌کنند. مخلوط در ابتدا گیرش اولیه‌ای دارد پس از شش ساعت در دمای اتاق در اتوکلاوی با ۲ اتمسفر فشار قرار می‌دهند. پس از آن قالب را ۱۲ ساعت در هوا قرار می‌دهند تا بهبود یابد و نهایتاً در خشک کن و دمای 230°C خشک می‌کنند.

پرسش ۶: فلزات ریخته‌گری به چند دسته تقسیم می‌شوند نام ببرید؟ آلومینیم و چدن خاکستری جزء کدام دسته محسوب می‌شوند؟

پاسخ: به دو دسته عمده آهنی و غیر آهنی تقسیم بندی می‌کنند. گروه آهنی خود به دو گروه فولاد و چدن تقسیم می‌شود. آلومینیم به گروه غیر آهنی و چدن خاکستری به گروه آهنی وابسته‌اند.

پرسش ۷: رطوبت ماسه را چگونه تعیین می‌کنند به طور مختصر توضیح دهید؟

پاسخ: ۵۰ گرم از ماسه را وزن کرده و به مدت ۲ ساعت در دمای 10.5°C (220°F) خشک می‌کنیم تا به وزن ثابتی برسد. سپس مجدداً آن را وزن (m) می‌کنیم. دو برابر افت وزنی مقدار درصد رطوبت ماسه را نشان می‌دهد.

$$\text{درصد رطوبت} = 2^*(50 - m)$$

پرسش ۸: قطعه‌ای با سطح مقطع $10 \times 20 \text{ in}^2$ و به ارتفاع 5 in را با راهگاهی تحتانی و با ارتفاع کل 9 in و سطح مقطعی برابر با $1/5 \text{ in}^2$ بارریزی می‌کنند. زمان بارریزی را محاسبه کنید. اگر این قطعه با همین راهگاه، اما از قسمت فوقانی قطعه بارریزی شود، زمان بارریزی چقدر خواهد بود؟ ($g = 32.2 \text{ ft/sec}^2$)
پاسخ: چون راهگاه تحتانی است، از فرمول

$$t_f = \frac{2A_m}{A_g \sqrt{2g}} (\sqrt{h_t} - \sqrt{h_t - h_m})$$

استفاده می‌کنیم. با جایگذاری مقادیر خواهیم داشت.

$$t_f = \frac{2 \times 10 \times 20}{1.5 \sqrt{2 \times 12 \times 32.2}} (\sqrt{9} - \sqrt{9 - 5}) = 9.59 \text{ sec}$$

برای محاسبه زمان بارریزی از قسمت فوقانی از فرمول

$$t_f = \frac{V}{Q} = \frac{V}{Av}$$

استفاده می‌کنیم. با جایگذاری مقادیر خواهیم داشت.

$$t_f = \frac{5 \times 10 \times 20}{1.5 \sqrt{2 \times gh}} = \frac{5 \times 10 \times 20}{1.5 \sqrt{2 \times 12 \times 32.2 \times 9}} = 7.99 \text{ sec} \cong 8 \text{ sec}$$

پرسش ۹: قطعه‌ای مکعبی شکل از جنس فولاد و به ضلع 66 cm را در قالب ماسه‌ای که ثابت قالب آن (B) برابر با 0.885 sec/cm^2 است ریخته‌گری می‌کنیم. زمان انجماد قطعه را محاسبه کنید. اگر مکعب بزرگتر شود بطوریکه حجم آن دو برابر شود، زمان انجماد چند برابر خواهد شد؟
پاسخ: زمان انجماد قطعه را از رابطه چورینف محاسبه می‌کنیم.

$$t_{s_1} = B \left(\frac{V}{A} \right)^2 = 0.885 \left(\frac{66 \times 66 \times 66}{6 \times 66 \times 66} \right)^2 = 0.885 (11)^2 = 107.085 \text{ sec}$$

اگر حجم قطعه دو برابر شود بایستی ضلع مکعب (b) را در حالت جدید محاسبه کنیم، که در نتیجه خواهیم داشت.

$$b^3 = 2 \times V = 2 \times 66^3 \rightarrow b = 83.15 \text{ cm}$$

مجدداً زمان انجماد را از رابطه چورینف محاسبه می‌کنیم، لذا خواهیم داشت.

$$t_{s_2} = B \left(\frac{V}{A} \right)^2 = 0.885 \left(\frac{83.15 \times 83.15 \times 83.15}{6 \times 83.15 \times 83.15} \right)^2 = 169.99 \text{ sec}$$

برای تعیین چند برابر شدن زمان انجماد، را بر تقسیم می‌کنیم، نتیجه عبارتست از.

$$\frac{t_{s_2}}{t_{s_1}} = \frac{169.99}{107.085} = 1.587$$

پرسش ۱۰: الف) چه عواملی تعیین کننده کافی بودن منبع تغذیه می‌باشد؟ ب) چه عواملی تعیین کننده اقتصادی بودن منبع به شمار می‌رود؟

پاسخ:

الف) منبع تغذیه بایستی بعد از قطعه منجمد شود و برای تغذیه انقباض حاصل از انجماد فلز کافی داشته باشد.

ب) حداقل ضایعات را داشته باشد. محل قرار گرفتن آن مناسب باشد تا بتواند کاملاً موثر باشد.

پرسش ۱۱: چه عواملی برای تعیین محل منبع تغذیه یک قطعه ریخته‌گری بایستی مد نظر قرار گیرد؟

پاسخ: بایستی در تمام قسمتهای قطعه‌ای که باید تغذیه شود، فشار مذاب مثبتی ایجاد کند.

پرسش ۱۲: با محاسبه نشان دهید که یک منبع تغذیه کور (blind) تا چه ارتفاعی می‌تواند قطعه فولادی را در شرایط ایده‌آل تغذیه کند؟

پاسخ:

پرسش ۱۳: چه عواملی استفاده از منبع‌های تغذیه پوشیده را محدود می‌کند؟

پاسخ:

پرسش ۱۴: در منبع‌های تغذیه پوشیده، هدف از بکار بردن ماهیچه ماسه‌ای یا گرافیتی چیست؟

پاسخ: برای ایجاد فشار اتمسفر به منبع تغذیه شکل ۶،۶

پرسش ۱۵: ایده‌آل‌ترین شکل یک منبع تغذیه کدامست؟ عملی‌ترین شکل آن کدامست؟

پاسخ:

پرسش ۱۶: عواملی را که برای تعیین اندازه و سطح تماس منبع‌های تغذیه لازم است به طور روشن توضیح دهید.

پاسخ:

پرسش ۱۷:

پاسخ:

۱. آزادی عمل بیشتری در تعیین محل منبع بسته وجود دارد.

۲. منبع بسته می‌تواند از منبع تغذیه‌ی باز قابل مقایسه با آن کوچکتر باشد.

۳. منبع پوشیده می‌تواند از قطعه به راحتی جدا شود.

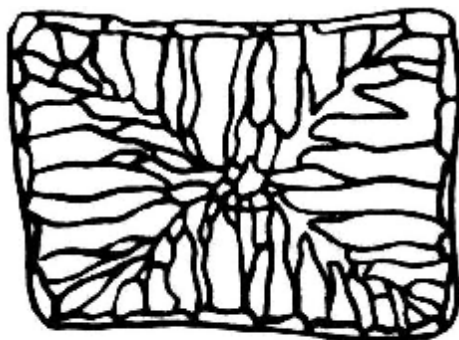
از معایب منبع پوشیده

پرسش ۱۸: همانگونه که در شکل‌های زیر ملاحظه می‌شود، در سطح مس اکسیدزدائی شده لایه نازکی از بلورهای اتفاقی

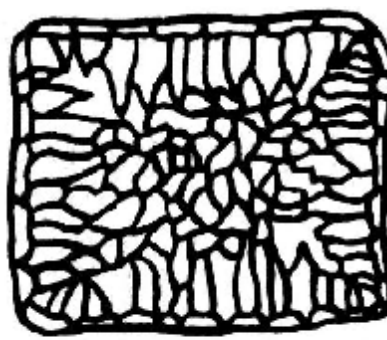
تشکیل شده و سپس با بلورهای ستونی تا مرکز ادامه یافته است. اما در مس اکسیدشده حتی در مرکز نیز بلورهای اتفاقی

تشکیل شده است. چرا؟

(توجه: دمای ذوب مس خالص 1083°C و دمای ذوب اکسید مس (Cu_2O) برابر با 1236°C است).



مس، دمای اکسید نشده



مس، اکسید شده

پاسخ: نقطه ذوب مس خالص 1083°C ولی نقطه ذوب اکسید مس (Cu_2O) برابر با 1236°C است. در مس

اکسیدزدائی شده هیچگونه جوانه خارجی (عامل جوانه‌زا) برای جوانه‌زنی و رشد وجود ندارد فقط سطح قالب به عنوان

جوانه‌های غیرهمگن عمل می‌کنند و تشکیل جوانه در داخل مذاب مس خالص باید به روش همگن باشد که مشکل است.

در نتیجه جوانه‌های اتفاقی در سطح قالب تشکیل و تا مرکز ادامه می‌یابند، اما در مس اکسیدشده، ذرات اکسید مس در تمام

مذاب موجود است که به عنوان جوانه عمل می‌کنند و جوانه‌زنی به روش غیرهمگن است.

پرسش ۱۹: مقدار گرمائی که در مدت زمان t از سطح مقطع مشترک مذاب و قالب (A) انتقال می‌یابد برابر است با

$$Q = A \frac{\gamma k (T_1 - T_0) t}{a_{mold}}$$

که در این رابطه

T_1 دمای سطح مشترک فلز با قالب

T_0 دمای اولیه قالب

a ضریب نفوذ حرارتی قالب

k هدایت حرارتی قالب

اگر مذابی را که گرمای ویژه‌ی آن برابر با C_m و گرمای نهان ذوب آن در واحد وزن L_m و از دمای T_p بارریزی شود، زمان لازم برای انجماد فلز تا ضخامت d_t را محاسبه کنید.

پاسخ: سطح قالب پس از بارریزی، به طور نگرهانی از دمای اولیه T_0 به دمای T_1 افزایش می‌یابد و در طی انجماد در دمای T_1 ثابت می‌ماند. ورقی به ضخامت d_t را در نظر بگیرید که مساحت وجوه اصلی آن A باشد. مقدار حرارتی که باید منتقل شود حرارت ماورای ذوب و گرمای نهان ذوب است، که A مساحت سطح یکی از وجوه است. برای انجماد مذابی به ضخامت d_t مقدار حرارتی که باید منتقل شود برابر است با:

$$Q = Ad_t r_m C_m (T_p - T_1) + Ad_t r_m L_m$$

یا

$$Q = Ad_t r_m [L_m + C_m (T_p - T_1)]$$

با مساوی قرار دادن این مقدار با حرارتی که منتقل می‌شود، خواهیم داشت.

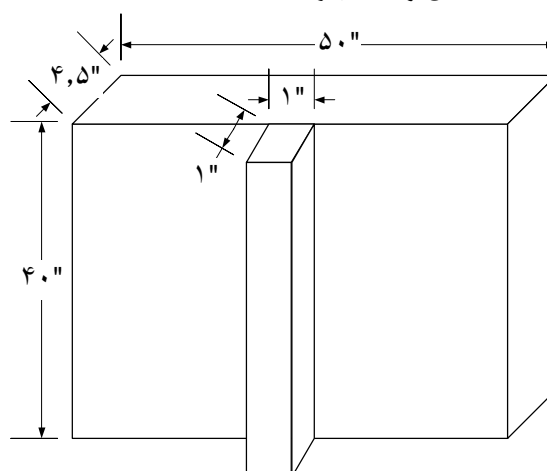
$$Ad_t r_m [L_m + C_m (T_p - T_1)] = A \frac{\gamma k (T_1 - T_0) t}{a_{mold}}$$

یا

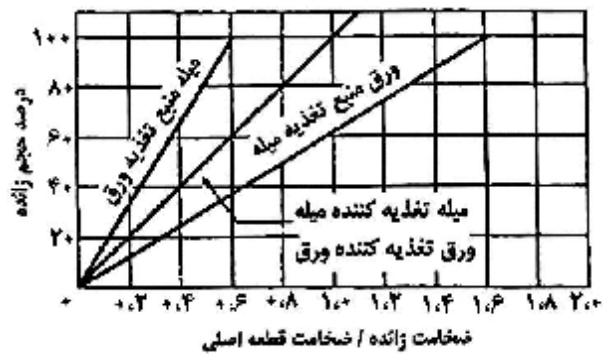
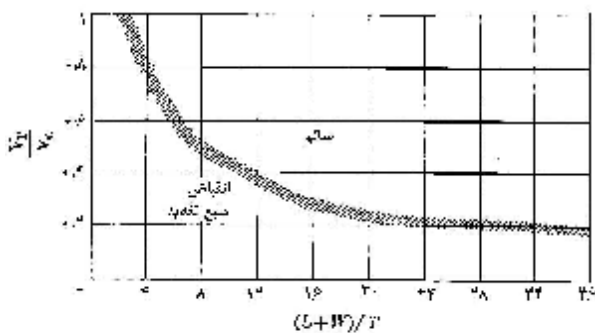
$$d_t = \frac{\gamma k (T_1 - T_0) t}{a_{mold} r_m [L_m + C_m (T_p - T_1)]}$$

$$d_t = B' t$$

پرسش ۲۰: برای ریخته‌گری قطعه‌ای به شکل و ابعاد زیر،



حجم منبع تغذیه را با توجه به منحنیهای زیر محاسبه کنید (مذاب فولاد ۰/۳٪ کربن).



پاسخ: ابتدا ضریب شکل SF را محاسبه می‌کنیم.

$$SF = \frac{L+W}{T} = \frac{40+50}{4.5} = 20$$

با استفاده از شکل

$$\frac{V_r}{V_c} = 0.22$$

$$\frac{T_p}{T_c} = \frac{1}{4.5} = 0.22$$

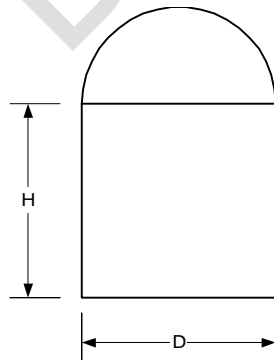
درصد حجم ضمیمه که بایستی به حجم قطعه اضافه شود برابر است با ۰/۱۴
حجم کل برابر خواهد بود با

$$V_{total} = V_c + \% \text{ parasitic vol} = 40 \times 50 \times 4.5 + 40 \times 1 \times 1 \times 0.14 = 9005.6 \text{ in}^3$$

$$V_r = 0.22 \times V_c = 0.22 \times 9005.6 = 1981.23 \text{ in}^3$$

پرسش ۲۱: اگر در مسئله قبل منبع تغذیه را استوانه‌ای با انتهای کروی که قطر و ارتفاع استوانه با هم برابر باشند در نظر بگیریم ابعاد آن را محاسبه کنید و شکل آن را رسم کنید.

پاسخ: شکل منبع تغذیه با توجه به داده‌های مسئله به صورت زیر است.



لذا حجم این منبع تغذیه برابر خواهد بود با

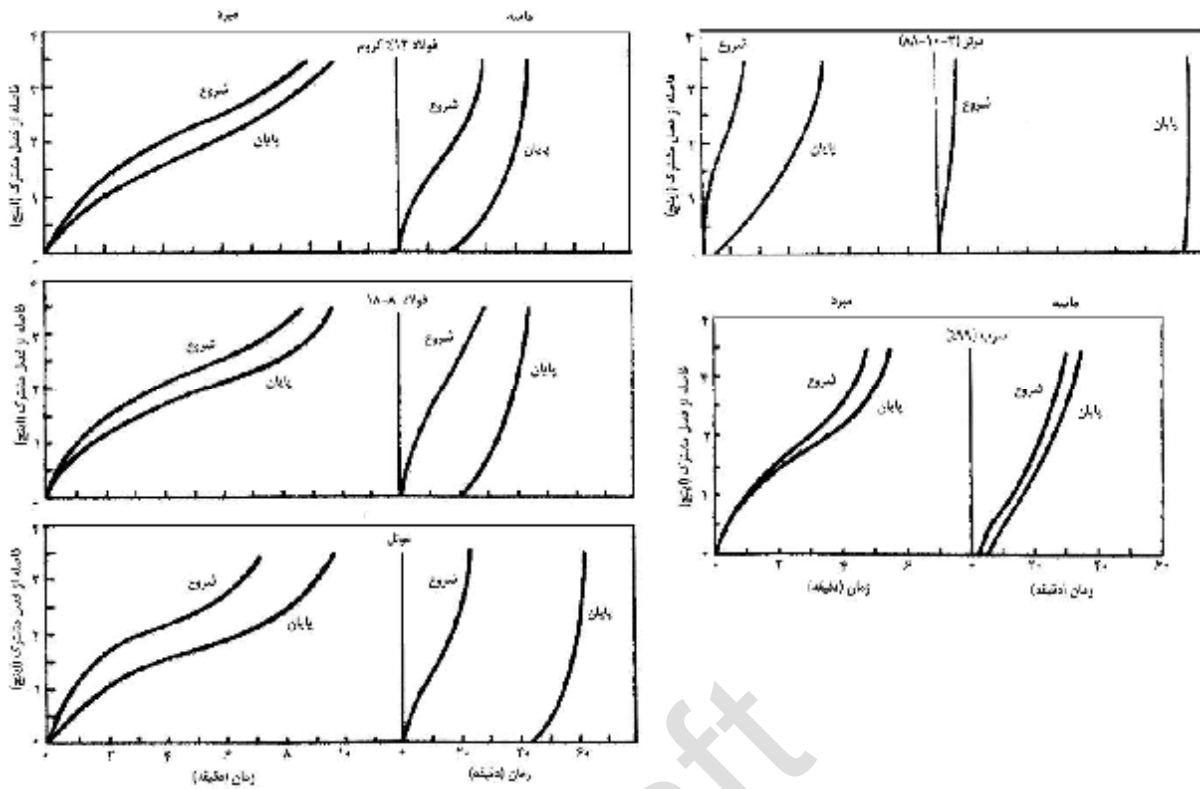
$$\text{حجم منبع تغذیه} = \frac{1}{4} \left(\frac{4}{3} p \right) \left(\frac{D}{2} \right)^3 + p \left(\frac{D}{2} \right)^2 D = \frac{p}{3} D^3$$

که با جایگذاری خواهیم داشت.

$$\frac{p}{3} D^3 = 1981.23 \rightarrow D = 12.368 \text{ in}$$

پرسش ۲۲: منحنیهای پیشرفت انجماد برخی آلیاژها در زیر داده شده است. برای هر منحنی (انجماد در قالب ماسه یا انجماد تیریدی) CFR را محاسبه کنید. بر اساس تجربیات حاصل، تغذیه آلیاژهایی که CFR آنها از ۷۰٪ بیشتر باشد،

مشکل است، به نظر شما تغذیه کدامیک از این آلیاژها، مشکل تر است. برای ریخته‌گری قطعه‌ای سالم از این آلیاژ، چه راه حلی را پیشنهاد می‌کنید؟



پاسخ: با استفاده از رابطه

$$CFR = \frac{a-b}{a-d}$$

که در آن

a پایان انجماد در مرکز

b شروع انجماد در مرکز

d شروع انجماد در فصل مشترک

است، خواهیم داشت.

نوع فلز	ماسه			مبرد			CFR
	a	b	d	a	b	d	
فولاد ۱۲٪ کروم	۴۵	۳۰	۰	۱۰	۹	۰	۱۰
فولاد ۸-۸	۴۲	۲۸	۰	۹,۵	۸,۵	۰	۱۱
مونل	۶۰	۲۲	۰	۹,۶	۷,۱	۰	۲۶
برنز ۸۸-۱۰-۲	۸۶	۷	۰	۸,۸	۴,۳	۰	۵۱
سرب ۹۹٪	۲۵	۳۰	۳	۵,۵	۴,۸	۰	۱۳

با توجه به نتایج CFR تغذیه برنز ۸۸-۱۰-۲ مشکل است. ریخته‌گری آن بایستی در شرایط تبریدی صورت گیرد. پرسش ۲۳: تامین مذاب تغذیه به چه عواملی بستگی دارد؟ نام ببرید.

پاسخ: به عوامل زیر بستگی دارد که عبارتند از

۱. شکل منبع تغذیه

۲. اندازه‌ی منبع تغذیه که تابعی از شکل قطعه ریخته‌گری است.

۳. محل قرارگرفتن منبع تغذیه
۴. تجمع قطعات ریخته‌گری برای استفاده از یک منبع
۵. اتصال منبع تغذیه به قطعه ریخته‌گری
۶. استفاده از مبرد
۷. استفاده از عایق‌ها و مواد گرم‌زا
۸. شرایط خاص ناشی از اتصال قطعات

پرسش ۲۴: منبع تغذیه بایستی چه خصوصیتی را دارا باشد؟

پاسخ: بایستی دارای دو خصوصیت مستقل زیر باشد.

۱. منبع تغذیه بایستی از قطعه ریخته‌گری دیرتر منجمد شود.
۲. منبع تغذیه برای جبران انقباض، مذاب کافی را تامین کند.

پرسش ۲۵: تفاوت تغذیه‌گذاری چدن خاکستری با تغذیه‌گذاری دیگر فلزات چیست؟ توضیح دهید.

پاسخ: در چدن خاکستری، در هنگام انجماد گرافیت تشکیل می‌شود که با انبساط حجم همراه است. اگر انبساط گرافیت تشکیل شده، برابر انقباض حاصل از انجماد باشد به تغذیه‌گذاری نیازی نیست ولی کمتر باشد به تناسب به تغذیه نیاز است و اگر بیشتر باشد، منبع تغذیه بایستی زودتر منجمد شود.

پرسش ۲۶: قانون پیوستگی چیست؟ شرح دهید.

پاسخ: این قانون بیان می‌دارد که اگر سیستم غیرقابل نفوذی با مایع غیرقابل نفوذی پر شده باشد، رابطه زیر برقرار است.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

که در این رابطه

A_1 و V_1 سطح مقطع و سرعت مذاب در نقطه ۱

A_2 و V_2 سطح مقطع و سرعت مذاب در نقطه ۲

است.

پرسش ۲۷: دلیل ایجاد مکش در راهگاه قائم چیست؟ راه جلوگیری از آن چگونه است؟ (اثبات لازم است).

پاسخ: با اعمال معادله برنولی برای دو نقطه ۱ و ۳ خواهیم داشت.

$$h_i + \frac{14.7}{w} + 0 = 0 + \frac{14.7}{w} + \frac{v_r^2}{2g} \rightarrow v_r = \sqrt{2gh_i}$$

$$h_i + \frac{p_r}{w} + \frac{v_r^2}{2g} = 0 + \frac{14.7}{w} + \frac{v_r^2}{2g} \rightarrow v_r = \sqrt{2gh_c}$$

$$p_r = 14.7 - \frac{w}{2g} v_r^2 = 14.7 - wh_c$$

پرسش ۲۸: برای صادق بودن معادله برنولی چه فرضیاتی لازم است؟

پاسخ: دو فرض زیر ضروری است.

۱. از اصطکاک صرف نظر می‌شود.
۲. مایع غیرقابل نفوذ است.

پرسش ۲۹: دمای بارریزی فلزی 120°F بالاتر از دمای ذوب آن است. انقباض حجمی مذاب به ازای هر 100°F برابر با

$1/60.5\%$ و انبساط حجمی حاصل از انجماد $2/8\%$ و نیز انقباض آن از دمای انجماد تا دمای اتاق $6/5\%$ است. محاسبه

کنید که اگر این فلز از دمای بارریزی ریخته‌گری شود:

۱. انقباض کل از دمای بارریزی تا دمای اتاق چقدر است.

۲. آیا این قطعه به منبع تغذیه نیاز دارد یا خیر؟ پاسخ خود را کاملاً شرح دهید.

۳. به نظر شما، فلز فوق چه نوع فلزی است؟

پاسخ: فرض کنید که حجم مذاب در دمای بارریزی برابر با V باشد. انقباض حجمی به ازای هر درجه فارنهایت برابر است با

$$\% 1.605 \times \frac{120^\circ F}{100^\circ F} = \% 1.926 \quad \text{درصد انقباض به ازای } 120^\circ F \text{ سرد شدن}$$

$$\Delta V = \frac{1.926}{100} \times V = 0.01926 \times V \quad \text{انقباض مذاب از دمای بارریزی تا دمای انجماد}$$

$$V_r = V - 0.01926 \times V = (1 - 0.01926) \times V = 0.98074 \times V \quad \text{حجم مذاب در دمای انجماد}$$

$$\Delta V = 0.98074 \times V \times \frac{2.8}{100} = 0.02746 \times V \quad \text{انبساط حاصل از انجماد}$$

$$V_r = 0.98074 \times V + 0.02746 \times V = 1.0082 \times V \quad \text{حجم قطعه پس از انجماد}$$

$$\Delta V = 1.0082 \times V \times \frac{4.5}{100} = 0.045369 \times V \quad \text{انقباض قطعه تا دمای اتاق}$$

$$V_r = 1.0082 \times V - 0.045369 \times V = 0.9628 \times V \quad \text{حجم قطعه در دمای اتاق}$$

$$\frac{V - 0.9628 \times V}{V} \times 100 = 3.717 \quad \text{انقباض کل}$$

پرسش ۳۰: فوق تبرید ساختمانی را به طور روشن (constitutional supercooling) توضیح دهید؟
پاسخ:

پرسش ۳۱: برای تشکیل جوانه‌ای کروی، شعاع بحرانی و انرژی آزاد بحرانی (تغییرات) از روابط زیر بدست می‌آید.

$$r^* = \frac{2g}{\Delta G_v}$$

$$\Delta G^* = \frac{16pg^3}{3\Delta G_v^2}$$

ثابت کنید که رابطه ΔG^* با حجم جوانه بحرانی V^* به صورت زیر است.

$$\Delta G^* = -\frac{V^*}{2} \Delta G_v$$

پاسخ:

پرسش ۳۲:

پاسخ: بایستی دارای دو خصوصیت مستقل زیر باشد.

۳. منبع تغذیه بایستی از قطعه ریخته‌گری دیرتر منجمد شود.

۴. منبع تغذیه برای جبران انقباض، مذاب کافی را تامین کند.

پرسش ۳۳: معادله کاین (Caine) برای تغذیه‌گذاری فولاد ۰/۳ درصد کربن عبارتست از

$$x = \frac{0.12}{y - 0.05} + 1.0$$

این اثر بر غلظت‌های تعادلی اثر میکند (به مماس در شکل ب مراجعه شود)، تمایل به درشت شدن را توضیح میدهد، و دمای در نوک دندریت در حال رشد را کاهش میدهد. به صفحه ۲۰۶ و ۲۰۷ پورتر-استرلینگ مراجعه شود.

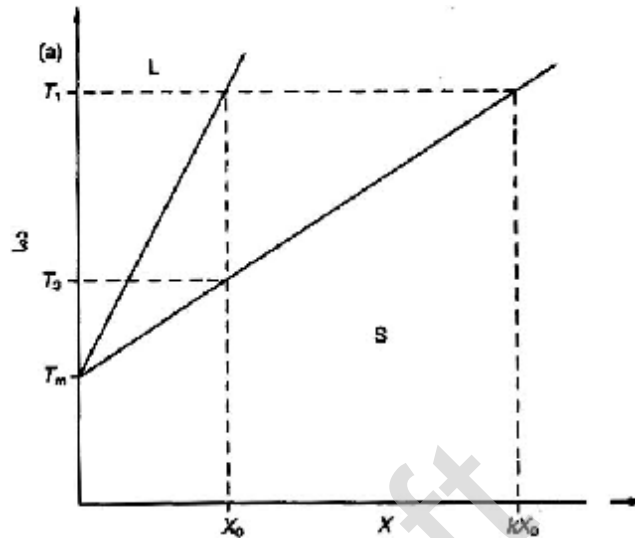
پرسش ۲: شکل‌هائی رسم کنید که توزیع ترکیب شیمیائی را پس از انجماد در طول یک میله و برای $k > 1$ نشان دهد.

(الف) برای حالتی که هیچگونه نفوذی صورت نمی‌گیرد و در مذاب اختلاط کامل انجام می‌شود.

(ب) برای حالتی که هیچگونه نفوذی صورت نمی‌گیرد و در مذاب نیز اختلاط انجام نمی‌شود.

(Porter Easterling, problem ۴,۱۳)

پاسخ: نمودار الف (شکل زیر) نوعی نمودار فازی برای $k > 1$ است. (در این مورد $k > 3$ است).

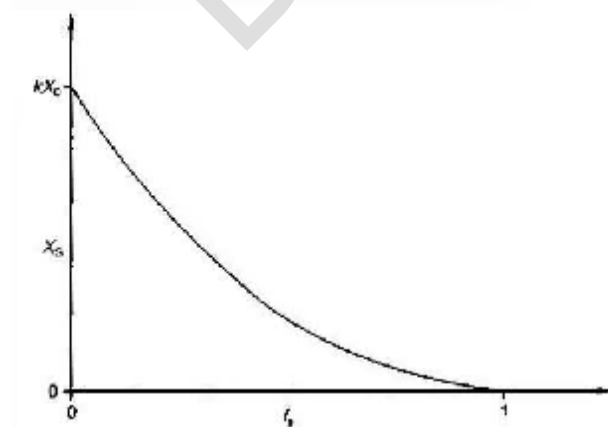


(شکل الف)

تغییرات ترکیب در طول میله را می‌توان با معادله زیر محاسبه کرد.

$$X_s = kX_o (1 - f_s)^{(k-1)}$$

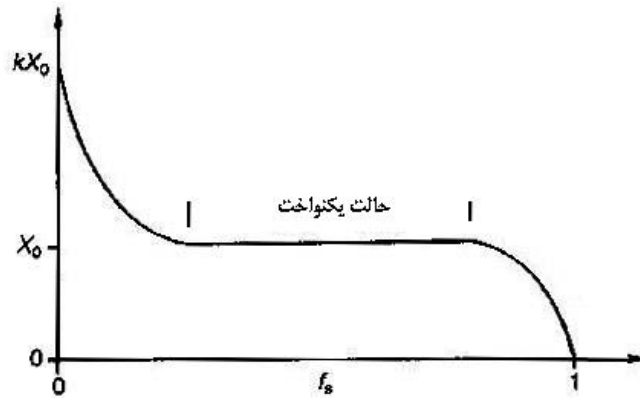
نتیجه برای $k > 3$ در شکل ب نشان داده شده است.



(شکل ب)

f_s با فاصله در طول میله متناسب است. توجه کنید که ترکیب نهائی که منجمد می‌شود حلال خالص $X_s = 0$ است.

برای حالتی که هیچگونه نفوذی در جامد صورت نمی‌گیرد و در مذاب نیز اختلاط انجام نمی‌شود منحنی به صورت زیر است.



پرسش ۳: فوق تبرید ساختمانی چیست؟ و ارتباط آن با انجماد سلولی چگونه است؟

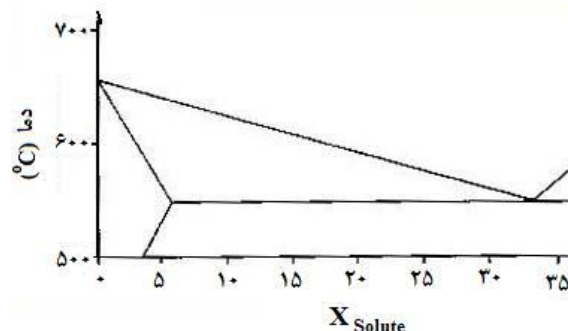
پاسخ: فوق تبرید ساختمانی یا فوق تبرید ترکیب شیمیایی عبارت از اثری است که در آلیاژ در حال انجماد بدلیل این حقیقت که انجماد با جدایش ترکیب اتفاق می افتد. هسته جامد از نظر ماده حل شده دارای ترکیب کمتر (یا بیشتر) از مذاب است. نتیجه آن است که حتی اگر، جامد در تماس با مذاب فوق گرم شده (برای فلزات خالص این موضوع منجر به رشد پایدار تخت میشود) فصل مشترک S/L میتواند ناپایدار شود زیرا دمای واقعی مذاب به طور منطقه ای از دمای تعادلی مذابی که از نمودار فاز بدست می آید سردتر است. این فوق تبرید منطقه ای در جلوی فصل مشترک باعث ناپایداری و بنابر این رشد سلولس میشود شکل ۴,۲۳ در پورتر استرلینگ

پرسش ۴: سیستم Al-Cu دارای نمودار فازی یوتکتیکی است که $T_m(\text{Al})=660^\circ\text{C}$ ، $T_E(\text{Al})=548^\circ\text{C}$ ، $X_{\max}=5,65\text{wt}\%$ و $X_E=33\text{wt}\%$ Cu است. ضریب نفوذ برای مذاب $D_L=3 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ است. اگر آلیاژ Al-0,5 wt% Cu بدون هیچگونه همرفت و با فصل مشترک جامد/مذاب در $5 \mu\text{m/s}$ منجمد شود. آنگاه

- دمای فصل مشترک در حالت یکنواخت چقدر است؟
- ضخامت لایه نفوذ چقدر است؟
- چه شیب دمایی نیاز است تا فصل مشترک تخت را حفظ کند؟
- a, b و c را برای آلیاژ Al-2 wt% Cu که تحت همان شرایط منجمد میشوند پاسخ دهید.

(پورتر استرلینگ مسئله ۴,۱۵)

پاسخ: برای آلیاژ Al-0,5wt% Cu نمودار تعادل فازی در شکل زیر داده شده است.



(الف) برای ترکیب مربوطه، دمای فصل مشترک در حالت یکنواخت با دمای خط جامد داده می شود.

$$\text{دمای فصل مشترک} = 650,1^\circ\text{C}$$

(ب) ضخامت لایه نفوذ معادل با مشخصه عرض نیمرخ غلظت است.

$$\text{ضخامت} = \frac{D_L}{n} = \frac{3 \times 10^{-9}}{5 \times 10^{-6}} = 6 \times 10^{-4} \text{ m}$$

ج) یک فصل مشترک مسطح (صفحه‌ای) فقط اگر هیچگونه فوق تبرید ساختمانی در جلوی آن وجود نداشته باشد، پایدار است. تحت رشد حالت یکنواخت، در نظر گرفتن نیمرخ دما و غلظت در مذاب جلوی فصل مشترک شیب بحرانی را ایجاد کرده که به صورت زیر قابل بیان است.

$$T_L' = \frac{T_1 - T_2}{D/n}$$

که در این رابطه

T_1 دمای خط مذاب در X_0

T_2 دمای خط جامد در X_0

بنابراین

$$\begin{aligned} T_L' &= \frac{658.3 - 650.1}{6 \times 10^{-4}} = 13667 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m} \\ &= 13.7 \text{ } ^\circ\text{K}/\text{mm} \end{aligned}$$

د) برای آلیاژ ۲wt% Cu-Al

دمای فصل مشترک برابر با $620.4 \text{ } ^\circ\text{C}$ است. لذا ضخامت لایه نفوذ برابر است با

$$\text{ضخامت} = \frac{D_L}{n} = \frac{3 \times 10^{-9}}{5 \times 10^{-6}} = 6 \times 10^{-4} \text{ m}$$

شیب دما برابر است با

$$\begin{aligned} \text{شیب دما} = T_L' &= \frac{653.2 - 620.4}{6 \times 10^{-4}} = 54667 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m} \\ &= 54.7 \text{ } ^\circ\text{K}/\text{mm} \end{aligned}$$

لغت نامه

affinity	میل ترکیبی
allowance	رواداری
blow	مک یا حفره گاز
buckle	شکم دادن
cellular	سلولی (رشد حجمی)
chill	مبرد
chilling power	قدرت تبریدی
choke	مانع
collapsibility	قابلیت تمیزکاری، قابلیت ریزش
columnar	ستونی
compaction	تراکم
core	ماهیچه
core box	جعبه ماهیچه
core print	تکیه گاه ماهیچه
dendritic	شاخه‌ای
deoxidation	اکسیژن زدائی
die	ریژه
die casting	ریخته‌گری تحت فشار
die forming	ریخته‌گری عمقی
dressing	پوشش دادن
equiaxed	متساوی‌المحور
etch	حکاکی
exothermic	گرمازا
flask	درجه
flowability	قابلیت قالب‌گیری
fluidity	سیالیت
fluxing	سیاله‌زنی
gating	راهگاه‌گذاری
gating system	سیستم راهگاهی
grain refining	جوانه‌زائی
hot tear	شکستگی (پارگی) گرم
inclusion	آخال
indigeneous	داخلی
ingot	شمش
ingredients	اجزاء

Jolt machine	ماشین تکان‌دهنده
Lubricant	روان‌کننده
misrun	پرنشیدن قالب (نرسیدن)
mould	قالب
nodular cast iron	چدن نشکن
parting line	سطح جدایش
pattern	مدل
pattern draft	شیب مدل
pattern making	مدل‌سازی
platelet	صفحه‌ای
pouring basin	حوضچه بارریز
proximate	تقریبی
refractoriness	گدازپذیری، نسوزیت
runner	کانال اصلی، راهبار
scab	کیس
shake out	تخلیه کردن
shell	پوسته
side riser	منبع تغذیه جانبی
slingers	پرتاب‌کن‌ها
slush casting	ریخته‌گری مجوف
spiral	مارپیچ، حلزونی
sprue	کانال راهگاه
stamping	پرسکاری
structure	ساختار
superheat	گرمای فوق ذوب
top riser	منبع تغذیه فوقانی
trimming	تراشیدن
ultimate	نهایی
viscosity	گران‌روی
wrought	چکشی
zone refining	تصفیه موضعی
Solid Solubility or Solvus Line	خط حلالیت جامد
Eutectiferous Structure = Having Eutectic Structure	ساختار یوتکتیکی

- [١] - Fundamentals of Metal Casting, R. A. Flinn, Addison Wesley publ. ١٩٦٣
- [٢] - Principles of Metal Castings, R. W. Heine, C. R. Lopper, P. C. Rosenthal, McGraw-Hill, ١٩٥٧
- [٣] - Engineering Manufacturing Methods, G. S. Schaller, ٢nd Ed. McGraw-Hill, ١٩٥٩
- [٤] - Production Technology, R. B. Gupta, Satya, Prakashan, New Delhi, ١٩٨٢
- [٥] - Metal Casting, A Sand Casting Manual for the Small Foundry, Vol. ١, Stephen Chastain, ٢٠٠٤
- [٦] - Applied Science in the Casting of Metals, K. Strauss, Pergamon Press, ١٩٧٠
- [٧] - Foundry Engineering, H. F. Taylor, M. C. Fleming, J. Wulff, John Wiley and Sons, Inc. ١٩٥٩
- [٨] - Foundry Technology, P. R. Beeley, Butterworth Scientific, ١٩٧٢
- [٩] - Solidification and Casting, G. J. Davies, Applied Science Publishers Ltd, ١٩٧٣
- [١٠] - Metalcaster's reference and guide, ed. By: Ezra L. Kotzin, American Foundrymen's Society, ١٩٧٢