Subject. ۱۳۸۷/۷/۲ Date.

«ریخته گری»

مرجع: Principales of Metal Casting / Heine, Looper, Rosenthal

یکی از روش های تولید مواد مهندسی، ریخته گری است. ریخته گری روش های مختلفی دارد که عوامل زیادی در انتخاب فرایند نقش دارد.

هدف از تولید قطعات مهندسی دو چیز است:

1) قطعه با شکل مشخص 2) قطعه با خواص متالورژیکی معین

مادهٔ اولیه معمولاً نه شکل معین و مورد نظر را دارد و نه خواص. این دو منظور طی فرایند تأمین می شود. بدین منظور دو راه داریم:

1) شکل دادن در حالت جامد: فرزکاری، ماشینکاری، فورج، نورد

2) شکل دادن در حالت مذاب

• شکل دادن در حالت جامد:

مثلاً برای تولید چرخ دنده از یک استوانه، می توان با ماشینکاری و فرزکاری و ... به شکل مورد نظر رسید. به این ترتیب خواص متالورژیکی تغییری نکرده است. عامل اصلی تغییر فرم در شکل دادن در حالت جامد، نیرو است (اعمال نیرو بیش از تنش تسلیم ← تغییر شکل پلاستیک و دائم) در اکثر آلیاژها، با افزایش دما، استحکام کاهش می یابد و قابلیت تغییر فرم زیاد می شود. در نتیجه افزایش دما می تواند بعنوان عامل کمکی نیرو برای شکل دادن باشد. هم چنین خواص هم تغییر می کند: مثلاً در نورد، استحکام در جهت نورد افزایش می یابد بدلیل کار سختی ناشی از تغییر فرم پلاستیک.

اگر بعد از عملیات شکل دادن، به خواص مورد نظر رسیدیم، کار تمام است وگرنه نیاز به عملیات تکمیلی خواهد بود: عملیات حرارتی، پوشش دادن: گالوانیزه، آب نیکل و ... ← تغییر سطح قطعه ← تغییر خواص خوردگی و ...

یکسری خواص حین فرایند تغییری نمی کنند و خواص مادهٔ اولیه عیناً به مادهٔ نهایی منتقل می شود.

مثل آنالیز شیمیائی. پس آنالیز ماده اولیه، باید دقیق تعیین شده باشد وگرنه حین فرایند نمی تواند تغییر کند.
ناخالصی ها هم همینطور است (MnS). پس اگر ماده ی اولیه ناخالصی داشته باشد، ماده نهایی هم همین ناخالصی ها خواهد داشت ← بخواص نهایی ممکن است نرسیم.

• شکل دادن در حالت مذاب:

عامل اصلی برای تغییر شکل، حرارت است. حرارت باندازه ای که ماده اولیه تغییر حالت داده و ذوب می شود ← انرژی مصرفی عمدتاً حرارتی است درحالیکه در حالت جامد، مکانیکی است.
شکل دادن مذاب بسیار راحت تر از جامد است: مذاب را داخل قالب با شکل مورد نظر می ریزیم و مذاب شکل ظرف را به خود می گیرد. کافیست زمان بدهیم تا انجماد صورت گیرد. عامل کمکی می تواند، نیرو باشد: با اعمال نیرو (فشار) مذاب را وارد قالب سربسته کنیم از طریق روزنه: Die Casting. مذاب باید کل دیواره قالب را تر کند.

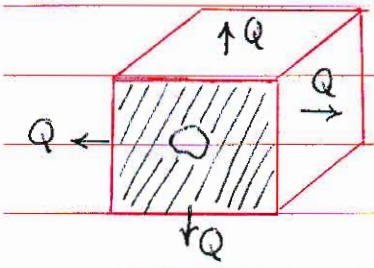
قدم اول: تهیه مذاب دوم: ریخته گری سوم: انجماد ← به شکل مورد نظر می رسیم.
بحث این درس کنترل پارامترها در این سه قدم است. نسبت به شکل دادن در حالت جامد، این فرایند کنترل بیشتری لازم دارد. چون دو بار تغییر حالت داریم.
قطعه تولید شده با شکل معین یا خواص مورد نظر را دارد و یا ندارد. اگر نداشت همان عملیات تکمیلی را انجام می دهیم.

تفاوت بین این دو فرایند:

در حالت مذاب انتخاب ماده اولیه اهمیت چندانی ندارد چون قابل تغییر است. شیرآلات از روش ریخته گری تولید می شوند و معمولاً برنج α (Cu 70, Zn 30) است. معمولاً روی آنها آب Cr می دهند. ماده اولیه شمش های برنج α هستند و ناخالصی هم ندارند. این شمش ها باید ذوب شوند. در حالت ذوب خواص فرق می کند. نقطه بخار Cu و Zn متفاوت است. اگر اتمسفر کوره کنترل نشود، بخشی از Zn آلیاژ تبخیر شده و در فضا اکسید روی (پودر سفید رنگ) پخش می شود و آلیاژ ممکن است 20-80 شود. این مذاب اگر داخل قالب ریخته شود، شکل مورد نظر را داریم اما خواص را نه.
برعکس این را هم داریم:
شمش های Cu و Zn یا آلیاژهای آن را داریم: (Cu80, Zn20) و (Cu90, Zn10)

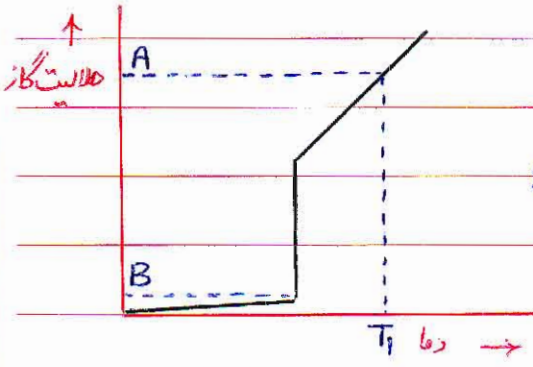
2000 For All

هدف تولید آلیاژ 30_70 است. درحالت جامد نمی توان کاری کرد. اما درحالت مذاب می شود: ابتدا Cu را ذوب کرده و بعد Zn را کم کم اضافه می کنیم تا ترکیب 30_70 بدست آید. پس کنترل آنالیز داریم.
هم چنین در این حالت می توان ناخالصی ها را نیز حذف کرد. با ذوب آلیاژ و انجام عملیات آخال زدایی و گاززدایی، می توان آلیاژ را تصفیه کرد (در داخل کوره)
پس مرحله ی ذوب یک عامل کمکی است برای رسیدن به خواص.
مرحلهٔ انجماد: در این مرحله در اکثر موارد، با کاهش حجم (انقباض) همراه هستیم. سطوح دیوارهٔ قالب سریع تر حرارت از دست می دهند ← جامد می شود. این پوسته در خلاف جهت انتقال حرارت، رشد کرده و به وسط قالب می رسد. چون انقباض داریم، برحسب اختلاف وزن مخصوص، یک حفرهٔ انقباضی در وسط قالب داریم. (وزن کل ثابت است)
پس در مرحله انجماد هم مشکلات داریم. این حفره مانع از رسیدن به خواص مورد نظر می شود.



درحالت جامد، با افزایش دما، به مقدار جزئی حلالیت گاز زیاد می شود؛ اما درحالت مذاب حلالیت به سرعت زیاد می شود. پس اگر دمای مذاب بالا باشد، حاوی گاز بیشتری خواهد بود.

Q: حرارت فوق گداز + گرمای نهان



اگر در دمای T_1 باشیم و مذاب باندازهٔ کافی دارای گاز باشد؛ حد حلالیت در این دما A است.
وقتی پوسته جامد روی دیواره بوجود آمد، گازهایی که بصورت اتمی در مذاب بودند، در داخل فصل مشترک S/L جوانه زنی کرده و بصورت مولکولی (حباب) در می آیند. این حباب ها امکان دارد بین شاخه های دندریت گیر می افتند. به مقدار ٪(A_B) موقع انجماد، گاز آزاد می شود. این حفره ها، حفره های گازی نام دارد و بصورت کروی هستند. حفره های انقباضی بصورت گوشه دار هستند چون در انتهای دندریت ها واقع شده اند.

برای جلوگیری از تشکیل حباب گازی، باید میزان گاز در داخل مذاب، کمتر از حلالیت آن در حالت جامد (B) باشد؛ در نتیجه حین انجماد این گاز داخل جامد باقی می‌ماند چون پتانسیل لازم برای جوانه‌زنی حباب را ندارد.

چون کنترل ترکیب را در حالت شکل دادن مذاب داریم، ماده اولیه عمدتاً قراضه‌ها خواهند بود.

موقع ریختن مذاب در قالب، سایش، errosion و ... داریم ← قالب ممکن است خراب شود چون دما هم بالاست.

در ریخته‌گری فولادها، دما $1600^{\circ}C$ است ← از مواد دیرگداز و ماسه برای قالب استفاده می‌شود. پس در ریخته‌گری باید روش مناسب برای ذوب داشت. قالب شرایط ویژه‌ای داشته باشد؛ امکان اصلاح آنالیز باشد، شرایط انجماد کنترل شود و انتقال مذاب به داخل قالب کنترل شود.

۱۳۸۷/۷/۷

مزایای روش ریخته‌گری:

1 ـ قابلیت تولید قطعات بسیار کوچک و بسیار بزرگ (از چند gr تا چند تن). در اکثر دیگر روش‌ها، محدودیت اندازه قطعه وجود دارد. قالب استفاده مجدد ندارد؛ چون باید تخریب شود.

2 ـ امکان تولید قطعات پیچیده: داخل قطعه اگر حفره وجود داشته باشد مثل سیلندر ـ چون شکل دادن در حالت مذاب است، راحت‌تر می‌شود.

3 ـ تولید قطعات بصورت یک پارچه: خیلی از قطعات که با دیگر روش‌ها ساخته می‌شوند، نیازمند به اتصال هستند.

4 ـ امکان تولید آلیاژهای خاص (چدن‌ها): چدن (Fe, C, Si). کاربرد زیادی در صنعت دارد. چون درصد کربن زیاد است، گرافیت آزاد در ساختار وجود دارد. در نتیجه تغییر شکل پلاستیک نخواهد داشت. تنها راه تولید قطعات چدنی، ریخته‌گری است. در 4.3% C (یوتکتیک) وقتی انجماد صورت می‌گیرد، در داخل γ بیش از 2% کربن نمی‌تواند حل شود و گرافیت بصورت آزاد ایجاد می‌شود و قابلیت تغییر فرم ندارد.

محدودیت‌های روش ریخته‌گری:

1 ـ قالبی باید تهیه شود که حرارت فلز مذاب را تحمل کند، بخصوص برای آلیاژهایی که

2000 For All

T_m بالائی دارند. در این مورد از مواد دیرگدازی برای ساخت قالب استفاده می‌کنیم؛ مخلوط قالب‌گیری عبارتست از: ماسه (SiO_2)، چسب و کاتالیست. چسب به ماسه اضافه میشود تا خاصیت پلاستیسیته به ماسه بدهد و قالب به شکل مورد نظر می‌رسد.

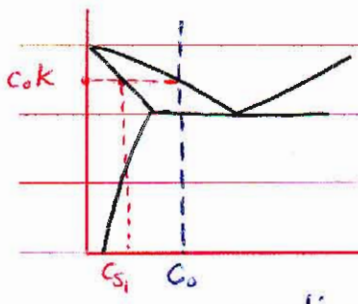
استفاده از قالب ماسه‌ای موجب می‌شود سطح فلز مذاب در تماس با قالب بصورت گوشه‌دار منجمد می‌شود. در نتیجه کیفیت سطحی پائین می‌آید نسبت به قالب فلزی. (در قالب ماسه‌ای دقت ابعادی کم است).

دقت ابعادی: چند قالب یکسان داشته باشیم اما محصول از نظر ابعاد باهم فرق کنند. تغییرات ابعادی در تولید انبوه مشکل ایجاد می‌کند؛ چون فرایند اتومات است و دقت ابعادی مهم است، بخصوص وقتی عملیات ماشینکاری هم بخواهد انجام شود.

قالب ماسه‌ای استحکام کمتری دارد؛ در نتیجه برحسب وزن فلز مذاب، ممکن است قالب تغییر شکل دهد و دقت ابعادی کاهش یابد. پس قالب ماسه‌ای هم کیفیت سطحی کم و هم دقت ابعادی کمی دارد: در نتیجه نیاز به ماشینکاری داریم.

2 ـ عملیات ذوب و انجماد داریم ← جزءهای انقباضی امکان تشکیل بیشتری دارند نسبت به روش‌های حالت جامد ← اثرات منفی روی خواص می‌گذارد.

3 ـ (بخصوص در قطعات بزرگ) حین انجماد امکان جدایش وجود دارد.



فاز اولیه جامد، عنصر آلیاژی کمتری دارد یعنی $C_{S_1} = KC_0 < C_0$

انجماد از جایی شروع می‌شود که T کم است یعنی دیوارهٔ قالب بدلیل انتقال حرارت. در این محل جامد با ترکیب C_{S_1} داریم. در نتیجه علی‌رغم همگن بودن مذاب (C_0)، جامد تشکیل شده در دیواره، ترکیب متفاوتی از C_0 دارد. با گذشت انجماد، عناصر آلیاژی پس زده می‌شوند به مذاب؛ در آخرین نقطهٔ انجماد (مرکز قالب) غلظت عناصر آلیاژی زیاد خواهد بود. پس جدایش وجود دارد و قطعه همگن نخواهد بود. مثلاً: $C_0 = 10\%$ و ضریب توزیع $K = 0.7$:

در دیواره: 7% عنصر آلیاژی در مرکز: 13% عنصر آلیاژی

از نظر عملیات حرارتی هم مشکل داریم چون سیکل عملیات حرارتی وابسته به ترکیب است و ما قطعه با ترکیب یکسان نداریم. این جدایش ماکروسکوپی است و امکان از بین رفتن ندارد؛ چون فاصله زیاد است. در جدایش میکروسکوپی (در حد دانه و مرز دانه) امکان از بین رفتن وجود دارد.

برای رفع این مشکل، باید زمان انجماد را زیاد بگیریم تا امکان نفوذ فراهم شود. برای قطعات کوچک می‌توان سریع سرد کرد اما برای قطعه بزرگ مجبور هستیم با اضافه کردن عناصری که جوانه‌زا هستند، شرایطی را ایجاد کنیم که مکان شروع انجماد، هم جا فراهم شود؛ در نتیجه جدایش کم می‌شود. تعداد جوانه‌ها اگر زیاد باشد، جا مدرشد کمتری نیاز دارد و پس زدن عنصر آلیاژی به مذاب کمتر می‌شود و قطعه همگن می‌شود.

روش‌های ریخته‌گری:

انتخاب روش به نوع آلیاژ، تعداد قطعات، مشخصات مورد انتظار از قطعه بستگی دارد.

۱- ریخته‌گری در قالب‌های دائمی

بعد از انجماد، قالب باز می‌شود و قالب تخریب نمی‌شود و بعد می‌تواند دوباره بسته شود و امکان ورود مجدد مذاب وجود دارد. با یک قالب می‌توانیم چندین قطعه تولید کنیم یعنی سرعت کار زیاد و هزینه کم است.

ریخته‌گری در قالب‌های موقت (ماسه‌ای/سرامیکی)

بعد از انجماد، قالب شکسته می‌شود تا قطعه منجمد شده، خارج شود. در مواقعی که قطعه شکل پیچیده‌ای دارد و نمی‌تواند از قالب خارج شود، ناچاریم قالب را تخریب کنیم. برای هر قطعه یک قالب لازم داریم.

ریخته‌گری در قالب‌های دائمی

1- ثقلی Gravity Diecasting

2- تحت فشار بالا High pressure Diecasting

3- تحت فشار کم Low pressure Diecasting

(از نظر جنس)

فلزی

محدودیت از جهت استفاده برای مذاب‌های با دمای بالا و محدود به غیرآهنی‌ها (Mg، Cu، Al) می‌شود.

حتی برخی فولادهای مقاوم به حرارت هم نمی‌توانند استفاده شوند.

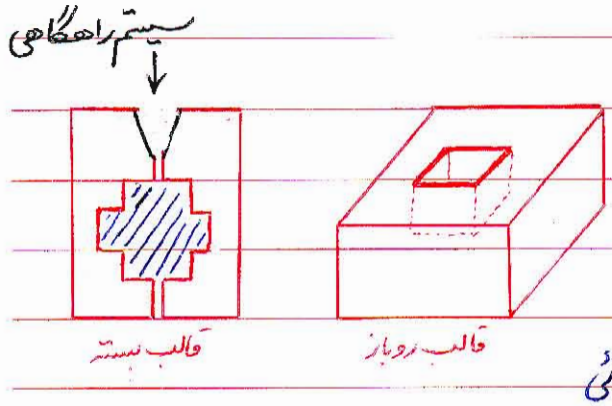
گرافیتی

برای مذاب‌های با T_m بالا مثل چدن‌ها چون گرافیت مقاومت به حرارت خوبی دارد. محدودیت از جهت خواص و استحکام کم. امکان اتوماتیک کردن فرایند و سیستمی که قالب را باز و بسته کند مشکل‌تر است.

2000 For All

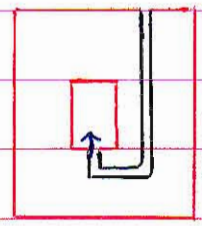
I love you.

ریخته‌گری ثقلی:



عامل وزن موجب ورود مذاب به قالب می‌شود.

در قالب روباز، مذاب بجز سطح بالایی که با هوا در تماس است، با سطح فلز ماشینکاری شده در تماس بوده و در نتیجه در قسمت های بالایی، امکان اکسیداسیون وجود دارد. هم‌چنین کیفیت سطح بالائی خوب نیست؛ برخلاف قسمت های کناری و کف قطعه. به همین دلیل برای تولید قطعات صنعتی از قالب روباز استفاده نمی‌شود. در قالب های بسته، مذاب در همه جا با سطح فلز در تماس است. در قالب های بسته بمنظور ورود مذاب به داخل قالب، سیستم راهگاهی طراحی می‌شود. در این حالت قطعه کیفیت خوبی ندارد چون ریختن مذاب از بالا به کف قالب موجب می‌شود که هوایی که قبلاً در قالب بوده حبس شود و آخال تولید کند. برای اینکه پاشش مذاب را نداشته باشیم، از حالت زیر می‌توان استفاده کرد.



بعد از انجماد قالب باز می‌شود و قطعه خارج می‌شود. قطعه نهایی یک زائده هم دارد که از سیستم راهگاهی باقی مانده است و بعداً جدا می‌شود.

تمام سطوح عمودی قالب بطور کامل توسط مذاب تر نمی‌شود. کشش سطحی فلز مذاب باعث می‌شود که مذاب نتواند تمامی انحناهای سطح فلز را تر کند. در نتیجه یک قسمت هایی اتصال کامل بین دیواره قالب و فلز مذاب نداریم و فاصله هوایی وجود خواهد داشت. انتقال حرارت در محل های اتصال کامل، بیشتر است در نتیجه سرعت انجماد بیشتر است.

عاملی که باعث می‌شود فلز به قالب بچسبد، وزن فلز مذاب است.

تمامی قطعات صنعتی مثل پیستون خودرو از جنس Al Alloy بوده و از روش ریخته‌گری ثقلی تولید می‌شوند.

در قالب های چند تکه، قالب با نیروی زیادی بسته می‌شود تا مذاب از درز قالب خارج نشود.

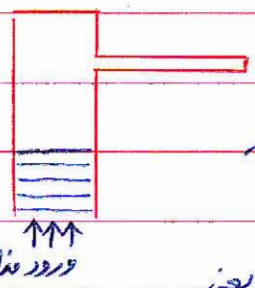
در قالب های فلزی سرعت انتقال حرارت زیاد بوده و در نتیجه جداشش کمتر و دانه ها ریزتر می‌شود.

عاملی که موجب خروج حرارت می‌شود، α (نفوذ حرارتی) است: $(k_m \rho_m C_m)_{\text{قالب}}$

k: ضریب هدایت قالب ρ: چگالی قالب C: گرمای ویژه قالب

برای تولید قطعه با ضخامت کم:

فلز از زمانیکه از کوره خارج می‌شود تا به قالب برسد، افت دما دارد. کاهش دما همواره با کاهش سیالیت همراه است. در نتیجه توانایی فلز مذاب برای پرکردن محفظه کاهش می‌یابد. در قسمت‌های ضخیم، میزان کاهش دما در حدی نیست که جلوی جریان را بگیرد چون گرمای زیادی دارد (Q). اما در ضخامت‌های کم، نسبت حجمی و سطحی طوری است که افت دما زیاد است و میزان خروج گرما از سطح بیشتر از محتوی گرمایی Q در حجم است. چون سطح زیاد یعنی انتقال حرارت زیاد. در نتیجه ممکن است قبل از پرشدن محفظه، به نقطه انجماد برسیم و عدم سیالیت موجب پرنشدن منطقه نازک شده و به شکل مورد نظر نخواهیم رسید.



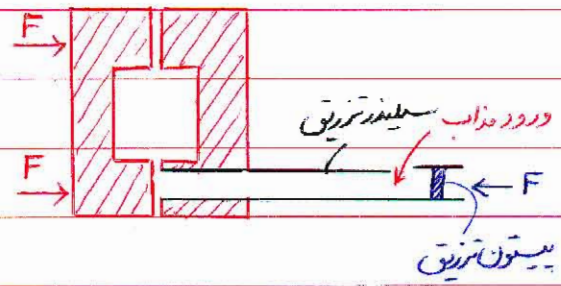
در ریخته‌گری قالب‌های بزرگ این مشکل وجود دارد. مثلاً گوشه‌های قالب نمی‌تواند پر شود. اگر کشش سطحی مذاب به وزن مذاب غلبه کند، گوشه‌های قالب پر نخواهد شد.

برای رفع این مشکل از روش ریخته‌گری تحت فشار استفاده می‌کنیم؛ یعنی مذاب توسط اعمال فشار زیاد وارد قالب می‌شود. اساس همان ریخته‌گری ثقلی است فقط با تفاوت زیر:

ریخته‌گری تحت فشار بالا:

مذاب داخل سیلندر تزریق، ریخته می‌شود (باندازه‌ی حجم قطعه مورد نظر). پیستون به سرعت فلز مذاب را داخل قالب می‌کند و نیرو تا پایان انجماد اعمال خواهد شد.

در اینجا عامل پرشدن قالب، فشار اعمالی توسط پیستون تزریق است.



در ریخته‌گری ثقلی، فشار مذاب وابسته به وزن است (ρgh) اما در روش diecasting فشار مذاب در همه جا برابر فشار اعمالی توسط پیستون می‌باشد. این فشار بسیار بیشتر از کشش سطحی مذاب است ← گوشه قالب هم پر می‌شود.

پیستون تزریق : Plunger

سیلندر تزریق : Shot sleeve

در روش ثقلی، 5-10 sec زمان لازم است تا مذاب به قالب تزریق شود. اما در die casting این زمان در حدود دهم و صدم ثانیه است. در نتیجه افت دمایی ناشی از زمان پر شدن قالب نداریم.

این روش دو مزیت دارد:

فشار بیش از کشش سطحی مذاب است. افت دمای کمتری داریم.

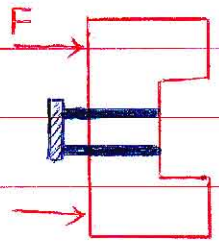
موقعی که مذاب را داخل سیلندر می‌ریزیم، ممکن است کل سیلندر پر نشود. اگر پیستون بخواهد از اول با سرعت زیاد مذاب را وارد قالب کند، مقداری هوا هم وارد قالب می‌شود و محصول متخلخل می‌شود. پیستون در سه مرحله حرکت می‌کند:

1- حرکت آرام پیستون: هدف جمع کردن مذاب است بطوریکه کل سطح مقطع سیلندر از مذاب پر شود و هوا در قسمت بالایی سیلندر، وارد قالب شده و در نهایت از درز قالب خارج می‌شود.

2- سرعت بالای پیستون: هدف تزریق مذاب به داخل قالب است. اگر پیستون بخواهد با همان سرعت اولیه ادامه بدهد، همان زمان افت دما در حالت ثقلی را خواهیم داشت و در نتیجه دقت ابعادی کم می‌شود و مشکل پر نشدن گوشه‌ها را خواهیم داشت. در این مرحله سرعت پیستون زیاد می‌شود. امکان سرعت ناگهانی زیاد با نیروهای هیدرولیکی فراهم نمی‌شود. در نتیجه از گاز متراکم (ازت با P=200 atm) استفاده می‌شود: یکباره پیستون را به جلو پرت می‌کند بصورت انفجاری. زمان پر شدن قالب هم در حد دهم و صدم ثانیه است. بعد از پر کردن گوشه‌ها، زمانی برای انجماد ندارد (در حد دهم ثانیه).

3- جک هیدرولیک فشار اعمال می‌کند تا خاتمه انجماد. چون فشار از اول وجود داشته است، میزان حفره‌های میکروسکوپی کم می‌شود. هم چنین دقت ابعادی هم زیاد است. سرعت تولید هم بالاست.

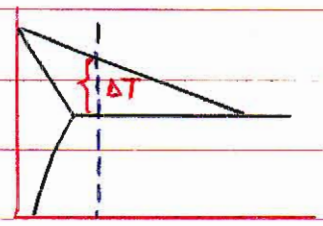
مثال: پره‌های آلومینیومی رادیاتورها با ضخامت کم.



طراحی باید به گونه‌ای باشد که با باز شدن قالب، قطعه به قالب چسبیده و بیرون بیاید و بعد با فشار اعمالی توسط پین‌ها، قطعه از قالب جدا می‌شود. در نتیجه فرایند می‌تواند تمام اتوماتیک باشد.

چون مذاب همواره در تماس با دیواره قالب است، آلیاژهایی با Tm کم استفاده می‌شود. حتی آلیاژهای Cu هم کمتر استفاده می‌شود.

هرچه فاصله انجماد (ΔT) بیشتر باشد، یک مخلوط S+L داریم و احتمال اینکه L توسط S احاطه شود، زیاد است و این L بعد از انجماد حفره می‌شود.



در نتیجه آلیاژهای نزدیک به یوتکتیک مناسب‌ترند. در یوتکتیک، حین انجماد دما ثابت است.

ΔT بیشتر باشد در نتیجه حدایش هم بیشتر است.

۱۳۸۷/۷/۹

ریخته‌گری در قالب‌های فلزی:
1- ثقلی
2- تحت فشار بالا
3- تحت فشار کم
4- گریز از مرکز

ریخته‌گری تحت فشار کم:

برای انتقال فلز مذاب به قالب از فشار خیلی کمتر از ریخته‌گری تحت فشار بالا استفاده می‌شود. در فشار زیاد چون پاشش داریم، احتمال اکسیداسیون زیاد است اما چون زمان کم است، ناچیز می‌باشد. تحت فشار زیاد مزایای: سرعت تولید بالا، برای ضخامت‌های کم، دقت ابعادی و کیفیت سطحی بالا را دارد؛ اما خواص مکانیکی کمتر از روش‌های دیگر است؛ بهمین دلیل برای تولید سیستون خودرو، چون تحت تنش قرار می‌گیرد، از روش تحت فشار بالا (Die casting) استفاده نمی‌کنیم و معمولاً از روش ثقلی استفاده می‌کنیم.

بنابراین در ریخته‌گری تحت فشار بالا، بیشتر شکل قطعه برای ما مهم است تا خواص مکانیکی.

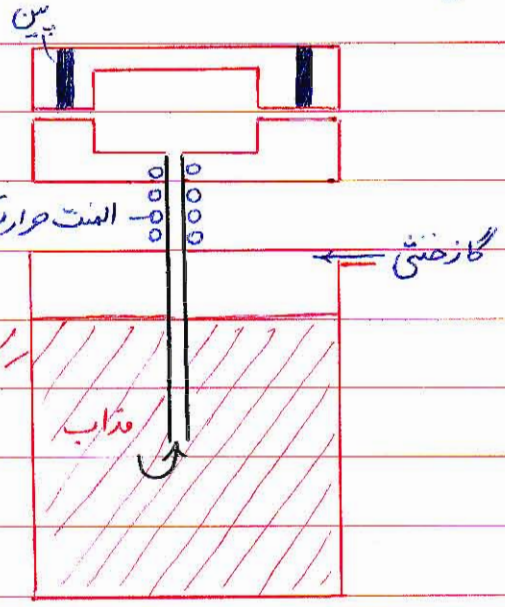
روش تحت فشار کم، بطور همزمان برخی مزیت‌های فشار بالا و ثقلی را دارد.

در این روش، قالب بصورت افقی قرار می‌گیرد در نتیجه برای بازوبسته شدن قالب، نیم قالب بالائی در جهت عمودی حرکت می‌کند، برخلاف فشار بالا یا diecasting.

بالای کوره مذاب، یک دریچه گاز خنثی وجود دارد و وقتی فشار این گاز بالا می‌رود، مذاب از طریق کانالی وارد قالب می‌شود چون فشار روی سطح مذاب بالا می‌رود. (محفظه مذاب کاملاً بسته است) وقتی مذاب به داخل قالب می‌رسد، به آرامی بالا رفته و قالب را پر می‌کند. در این موقع

2000 For All

فشار گاز می تواند بالاتر رفته و البته تا پایان انجماد باید همین ترتیب اعمال شود. بنابراین، این امکان را داریم که قالب را مطابق با انتظارات خودمان پر کنیم؛ با هر سرعت و شرایط دلخواه (بسته به فشار گاز خنثی). فشار گاز خنثی بستگی به شکل قطعه دارد تا چندین بار بتواند تغییر کند تا بمنظور و هدفمان برسیم. بنابراین پر شدن قالب کاملاً کنترل شده است. شماتیک این روش:



مزایا:

1) مذاب در داخل کوره: (مرحله ذوب)

روی سطح مذاب همواره لایه اکسیدی قرار دارد. ترکیب شدن عناصر آلیاژی در داخل مذاب اگر با O_2 ترکیب شوند، آخال و اکسید تولید می کنند که معمولاً وزن مخصوص کمتری دارند و روی سطح مذاب جمع می شوند.

در ریخته گری ثقلی این امکان وجود دارد که اکسید و ناخالصی سطح مذاب (سرباره) وارد قالب شود همراه با مذاب. ورود سرباره یعنی کاهش خواص قطعه.

در روش تحت فشار کم، مذاب از مرکز محفظه مذاب از کانال بالا آمده و وارد قالب می شود. دهانه کانال مرکز محفظه واقع شده است. ته محفظه آخال های سنگین (وزن مخصوص بالاتر) جمع شده است مثل ترکیبات آهن و آلومینیوم (لجن). بنابراین اکسیدهای سطحی و لجن ته محفظه نمی تواند وارد کانال شود و مذاب تمیز وارد قالب خواهد شد. بنابراین در این روش، مذاب کیفیت بالاتری دارد.

2) چون مذاب از کف وارد قالب می شود و شرایط ورود آن کنترل شده است، جریان مذاب می تواند بدون تلاطم باشد ← امکان اکسیداسیون مجدد کم است.

وقتی مذاب وارد قالب می شود چون قبلاً در قالب هوا وجود دارد، یک لایه اکسیدی در سطح مذاب ایجاد می شود. در جریان های متلاطم، موج روی سطح ایجاد شده و موجب شکسته شدن فیلم اکسیدی شده و مذاب تمیز در معرض هوا قرار می گیرد. در نتیجه مذاب بیشتری اکسید می شود. پس تلاطم بیشتر یعنی سطح مذاب بیشتر در تماس با O_2 اکسید می تواند بدلیل تلاطم وارد مذاب شده و در نهایت در ساختار باقی بماند.

پس حرکت آرام مذاب موجب می شود ضخامت لایه اکسیدی بیشتر نشود و فقط در قسمت بالای

قطعه مقداری اکسید خواهیم داشت . برای رفع این مشکل می‌توان در قالب زائده‌ای پیش بینی کرد تا اکسیدها در آنجا جمع شده و بعداً از قطعه جدا شود.

پوسته اکسیدی فوق بسیار نازک است و روی خواص متالورژیکی تأثیر چندانی ندارد. این روش بیشتر برای قطعات بزرگ استفاده می‌شود مثل : رینگ اتومبیل از جنس Al . که البته به خواص مکانیکی بالایی نیاز دارد. پس از die casting نمی‌توان استفاده کرد. چون امکان حفره و آخال در آن وجود دارد. چون کیفیت سطحی هم مهم است، ثقلی هم فایده‌ای ندارد.

بعد از انجماد، لنگری بالای قالب بالا رفته و قالب باز میشود. توسط پین‌هایی قطعه از لنگه بالایی جدا می‌شود.

اطراف لوله راهگاه ، المنت‌های حرارتی وجود دارد تا از انجماد مذاب داخل کانال جلوگیری کند. کافی است فشار گاز خنثی قطع شود تا کل حجم مذاب داخل کانال به کوره برگردد. بنابراین مزیت بعدی :

3) در دیگر روش‌ها، مقداری از مذاب در راهگاه منجمد می‌شد و یک زائده ایجاد می‌کرد و انرژی و هزینه اضافی است. در این روش 98% مذاب ایجاد شده به محصول تبدیل می‌شود و زائده کمی داریم.

یادآوری: مزیت قالب فلزی : خواص مکانیکی بالاتر و امکان اتوماسیون.

ریخته‌گری به روش گریز از مرکز :

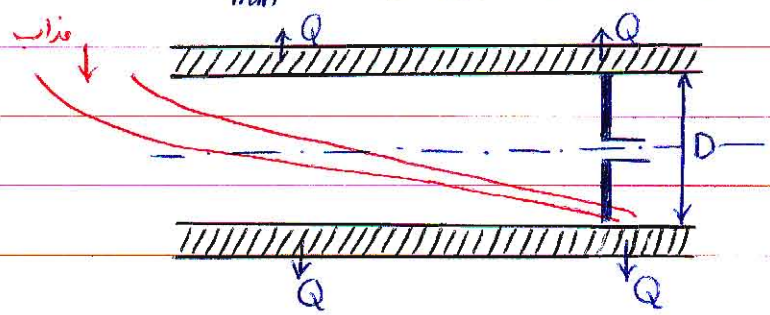
استفاده از نیروی گریز از مرکز برای حرکت مذاب به داخل قالب. برای ساخت غلتک‌ها، لوله‌ها عمدتاً این روش استفاده می‌شود. مثل لوله‌های آب از جنس چدن نشکن (کروی). طول این لوله‌ها تا 12 m هم می‌رسد.

از روش‌های دیگر نمی‌توان استفاده کرد چون :

1) قالب بزرگی نیاز داریم.

2) فلز مذاب باید طول زیادی را طی کند و در ضخامت کم لوله (محصول) . در نتیجه امکان انجماد وجود دارد.

اما در این روش: قالب استوانه‌ای داریم با ضخامت دیواره بیشتر. این استوانه حول محور خودش بصورت افقی می‌تواند دوران کند با سرعت بسیار زیاد مثلاً 700 دور/min.



در چنین حالتی اگر یک ناودان از قسمت دهانه باز لوله به قسمت انتهایی لوله در داخل قالب قرار گرفته باشد، مذاب می‌تواند حین دوران استوانه، ریخته شود. همزمان با خارج شدن مذاب از ناودان، یا ناودان عقب می‌آید یا استوانه به سمت جلو می‌رود. در نتیجه ریزش مذاب در سرتاسر قالب بطور یکنواخت صورت می‌گیرد.

بدلیل نیروی گریز از مرکز، مذاب کل سطح داخلی لوله را می‌پوشاند. وقتی ریخته‌گری انجام شد و ناودان خارج شد، مذاب در حال دوران داریم و بدلیل نیروی فوق، مذاب هم دوران می‌کند. چون قالب فلزی است، حرارت در جهت عمود به سطح خارج شده و انجماد از سطح قالب به سمت مرکز استوانه رشد می‌کند؛ تا اینکه کل پوسته که بدلیل دوران شکل لوله را گرفته منجمد می‌شود. دوران متوقف شده و توسط گیره‌های لوله خارج می‌شود. انجماد همراه با انقباض بوده و خروج قطعه راحت‌تر خواهد شد. با استفاده از گیره‌هایی که با سیستم هیدرولیک کار می‌کنند قطعه خارج می‌شود. بدلیل شکل خاص قطعه نیاز به باز و بسته شدن قالب نیست چون دو استوانه‌ی در هم داریم.

زمان تولید قطعه خیلی کم است و سرعت تولید بالاست. برای قطعات بزرگ در حدود 2^{min}.

برای خنک کردن قالب فلزی از سیستم آبگرد استفاده می‌شود: پاشیدن آب به سطح خارجی استوانه در نتیجه سرعت انجماد و تولید قطعه بالاتر می‌رود.

در این فرایند، عامل شکل دادن مذاب، نیروی گریز از مرکز است. محصول نمی‌تواند رانده داشته باشد چون دیگر از قالب نمی‌تواند خارج شود. اما می‌تواند شیار سراسری داشته باشد.

این حالت امکان ندارد

ضخامت لوله به حجم مذاب ریخته شده در ناودان بستگی دارد. کیفیت سطحی بیرون لوله بسیار تمیزتر از سطح داخلی لوله است. چون با سطح فلزی در تماس است اما سطح داخل با هوا و گاهی نوک دندریت‌ها را هم می‌توان دید. در نتیجه زبر است. بنابراین گاهی داخل لوله به ماشینکاری نیاز دارد.

آخال‌ها و اکسیدها در سطح داخلی وجود دارند چون سبک‌تر هستند و توسط نیروی گریز از مرکز، عناصر سنگین‌تر به سطح خارجی می‌روند. در مورد چدن‌ها این چنین است. اما در مورد Al، آخال‌ها سنگین‌تر بوده و به سطح خارجی می‌روند.

با همین روش می‌توان قطعات کامپوزیتی هم تولید کرد: عملکرد نیروی گریز از مرکز روی عناصر با وزن مختلف. برای ساخت غلتک مقاوم به سایش این روش مفید است:

ابتدا مذاب مقاوم به سایش در استوانه می‌ریزیم (Cr دار، W دار و ...) این مذاب لایه سطحی را می‌سازد در سطح بیرونی. اما نیاز به مغز نرم داریم تا ماشینکاری ساده‌تر باشد. بعد از ریختن مذاب اول، بلافاصله مذاب فولاد نرم را اضافه می‌کنیم. مذاب اولیه نقش قالب را بازی می‌کند. سطح بیرون می‌تواند چدن پرکروم باشد که تماماً کاربید کروم دارد و سخت است.

محصول لوله‌ی دولایه خواهد بود.

مثال دیگر: کامپوزیت Al_10% SiC داریم. SiC در داخل مذاب Al مخلوط شده. SiC کاربید خیلی سخت است یا Al_2O_3.

چون وزن SiC (وزن مخصوص) بیشتر است، این ذرات در سطح بیرونی می‌روند. در نتیجه مثلاً در لایه سطحی کامپوزیت Al_25% SiC داریم و در لایه داخلی (سطح داخلی) Al_2% SiC. در نتیجه مقاومت به سایش در سطح بالاتر است.

عکس این حالت:

کامپوزیت Al_G ، Cu_G (آلیاژهای مس که کربن در آن بصورت ذره وجود دارد نه محلول)؛ در نتیجه قابلیت روغن‌کاری بالا می‌رود و اصطکاک کم می‌شود (ضد سایش)).

ریختن مذاب این کامپوزیت در داخل قالب ← Cu به سمت بیرون و G به سمت داخل.

برای ساخت استوانه‌ای که یک شفت داخل آن بالا و پایین می‌رود. چون باید اصطکاک کم باشد پس باید در سطح داخلی استوانه G زیاد باشد تا اصطکاک کم و روغن‌کاری مناسب باشد.

2000 For All

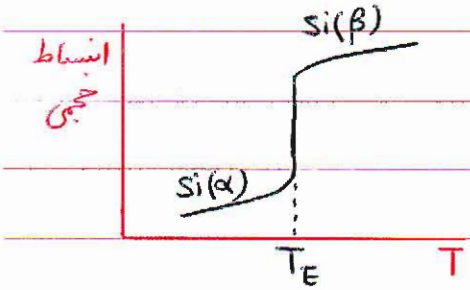
درحالت چدن پرکروم در سطح و فولاد نرم در داخل:
اگر دو مذاب باهم ریخته شود (مذاب دوم وقتی انجماد مذاب اول تمام شده است، اضافه شود) ترکیب به هم می خورد.
اگر لایه اول کاملاً منجمد شده باشد و بعد لایه دوم مذابش ریخته شود، ممکن است چسبندگی مناسب نباشد. بهترین حالت: مذاب لایه اول در آخرین مرحله ی انجماد باشد و در این زمان مذاب دوم ریخته شود.

ریخته گری در قالب های موقت
1- قالب موقت - مدل دائمی
2- قالب موقت - مدل موقت

قالب موقت - مدل موقت همان ریخته گری دقیق (Investment Casting) است که کیفیت سطحی بالایی دارد و دقت ابعادی بسیار زیاد: آلیاژهای استحکام بالا، طلا و جواهرات، لوازم جراحی و پره های توربین.
قالب های موقت عمدتاً از جنس نسوز هستند و قابلیت پلاستیسیته را با اضافه کردن مواد اضافی ایجاد می کنیم.
اجزای مختلف قالب ماسه ای (مخلوط ریخته گری): ماده دیرگداز - چسب - کاتالیست - مواد افزودنی
ماده دیرگداز عموماً اکسیدهای طبیعی هستند که فقط نیاز به یک فرآوری دارند: عمدتاً ماسه سیلیسی که از SiO_2 بهمراه ناخالصی های CaO، Al_2O_3، Fe_2O_3 و ... تشکیل شده و ماسه کرومیتی، زیرکونی و دولومیتی هم داریم. حتی گچ هم یک نوع دیرگداز است.
ماسه سیلیسی یک سری محدودیت هایی دارد که برای قطعات حساس تر از دیرگدازهای دیگر باید استفاده کرد.
خود ماسه سیلیسی خاصیت فرم پذیری ندارد (عدم پلاستیسیته) در نتیجه چسب اضافه می کنیم تا ذرات دیرگداز را به هم پیوند دهد. معمولاً چسب از همان اول فعال نیست در غیر اینصورت امکان ساخت قالب فراهم نبود بنابراین کاتالیست اضافه می شود تا چسب فعال شود. در اینصورت قابلیت فرم پذیری حاصل می شود.
گاهی از قالب انتظارات خاصی داریم که در اینصورت از مواد افزودنی استفاده می کنیم.
یکی از بزرگترین معایب سیلیس، تغییر آلوتروپی Si است. در نتیجه حرارت فلز مذاب ممکن است دمای قالب را به T_E برساند و این تغییر انجام شود. این تغییر حالت با انبساط ناگهانی همراه

2000 For All

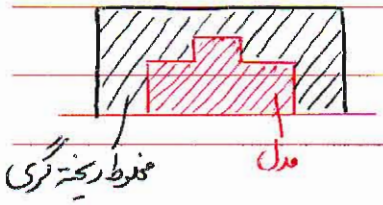
است . قالب از ذرات دیرگدازی چسبیده به هم توسط چسب تشکیل شده و در نتیجه تحمل انبساط ندارد و بعد از انبساط قالب ترک می خورد و ممکن است یکسری ذرات از قالب درون مذاب بیفتد.



(گرما می تواند از طریق تشعشع منتقل شود و دمای قالب در قسمت بالای مذاب را به T_E برساند)

با اضافه کردن اکسید آهن و یکسری مواد افزودنی، مقاومت به ترک خوردن زیاد می شود.

بعد از تهیه مخلوط، باید مخلوط شکل مناسب قالب را به خود بگیرد؛ در نتیجه از یک مدل استفاده می کنیم.



مدل که هم شکل قطعه مورد نظر است را روی سطح افقی قرار می دهیم و مخلوط را روی مدل می ریزیم. بعد از مدتی که مخلوط به استحکام لازم رسید، 180° می چرخانیم و مدل را بیرون می آوریم.

(برای گچ باید صبر کرد تا آب آن تبخیر شده و گچ خودگیر شود)

بعد از انجماد، دیگر باز شدن قالب نداریم بلکه قالب را تخریب کرده و قطعه خارج می شود البته در اثر تغییر دما، خود قالب هم ترک می خورد.

برای قالب های چند تکه هم، قسمت دیگر مشابه قسمت اولی، ساخته می شود. ۹۵٪ قطعات صنعتی با این روش (قالب موقت - مدل دائمی) تولید می شوند؛ چون هزینه تولید کم است و قابلیت اتوماسیون وجود دارد. در این روش انعطاف پذیری بالائی داریم.

۸۷/۷/۱۶

ریخته گری در قالب های موقت:

برای ساخت قالب، دو روش داریم: مدل دائمی - مدل موقت (مدل همراه قالب از بین می رود)

برای ساخت قالب به مخلوط ریخته گری نیاز داریم و این مخلوط باید فرم داده شود. البته باید استحکام کافی داشته باشد. برای استحکام دهی دو راه داریم: اعمال نیرو - واکنش شیمیائی. در واقع با این دو مکانیزم، ذرات را می توان به یکدیگر چسباند؛ چون مخلوط از ذرات ریز سرامیکی تشکیل شده و این ذرات پلاستیسیته ندارند، استحکام کافی نخواهند داشت.

گفته شد که وقتی مدل از قالب خارج شد، فضای خالی قالب ریخته گری را تشکیل می دهد.

2000 For All

در این جا نیاز به باز شدن قالب نیست و قالب تخریب می شود. در نتیجه امکان تولید قطعات خیلی بزرگ و کوچک وجود دارد و در نتیجه در صنعت این روش بسیار زیاد به کار می رود.

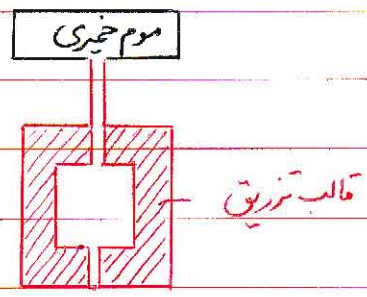
در روش مدل موقت (ریخته گری دقیق)، کیفیت سطحی مراتب بالاتر از قالب فلزی است و دقت ابعادی هم بالاتر است. اساس این روش، استفاده از مدل های مومی است: روی مدل مومی پوشش دیرگدازی می دهیم و با حرارت دادن، موم ذوب شده و بعد از خارج شدن، فضای خالی ایجاد می شود. برای ساخت مدل مومی نیاز به یک قالب داریم که موم به داخل آن تزریق شود تا از این طریق، تعداد زیادی قالب مومی (مدل مومی) داشته باشیم. بنابراین نیاز به قالب تزریق موم داریم. این قالب بصورت افقی یا عمودی قرار می گیرد. موم عمدتاً از پارافین، کلوفان و صمغ تشکیل شده است.

موم یکسری خواص مورد نظر را باید داشته باشد:

نقطه ذوب پایین - استحکام کافی پس از انجماد - کیفیت سطحی بالا.

وقتی موم ذوب می شود، افزایش حجم می دهد. در نتیجه موقع انجماد کاهش حجم داریم و ممکن است دقت ابعادی کم شود. استحکام موم گرم بالا نیست. در نتیجه بالای قالب تزریق، یک محفظه وجود دارد که موم در آنجا وجود دارد و رها تا صدی بالا می رود که بصورت خمیری در آید.

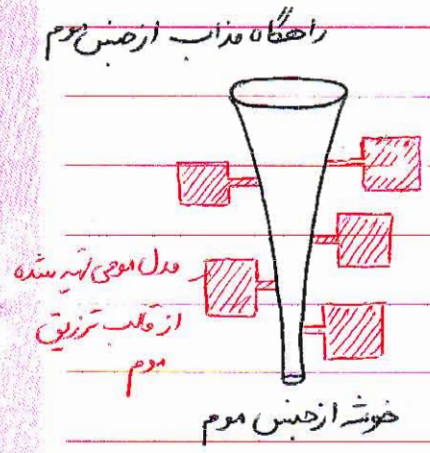
بر مبنای اعمال نیرو و فشار هوا، موم خمیری وارد محفظه ی قالب مومی می شود. چون موم بصورت خمیری وارد می شود، انقباض کمتری دارد و چون فشار اعمال کرده ایم، موم تمام قسمت های قالب را پر می کند. شبیه تحت فشار کم است منتها با تفاوت هایی:



دمای قالب تزریق بالا می رود تا وقتی موم خمیری به آن تزریق می شود، دمایش کم نشده و جامد نشود. قالب عموماً تا 80-70 درجه سلسیوس گرم می شود. دمای موم خمیری 110-100 درجه است.

بعد از تزریق قالب سریعاً سرد می شود تا موم سریع به استحکام مورد نظر برسد. قالب از جنس Al بوده و داخل آن کانال هایی طراحی شده است که از آن بخار آب و آب سرد عبور می کند. بخار برای گرم کردن قالب عبور می کند تا موم تمام قسمت های قالب را پر کند. و آب سرد برای سرد کردن قالب حین انجماد عبور می کند. در نتیجه حرارت موم خارج شده و موم به سرعت به استحکام مورد نظر می رسد. بعد قالب باز می شود و چون موم استحکام دارد، تغییر فرم نمی دهد.

روش ریخته‌گری دقیق برای قطعات زینتی، جواهر، پره توربین و... بکار می‌رود. برای اینکه تعداد قطعات زیادی تولید کنیم، مدل مومی را به همراه چندین مدل دیگر به یک راهگاه از جنس موم می‌چسبانیم؛ مطابق شکل مقابل. روی تا دور این کانال، قالب‌های مومی قرار می‌گیرد. بعد دوغاب سرامیکی (ماسه زیرکونی با اندازه ذرات کمتر از 300^{mesh} (300 سوراخ در $1in^2$: الک)، کلوئیدال سیلیکا، سیلیکات اتیل و آب) را در یک ظرفی تهیه می‌کنیم.



کلوئیدال سیلیکا و سیلیکات اتیل چسب‌هایی هستند که حین پخت باندهای بسیار قوی تشکیل می‌دهند.

داخل ظرف دوغاب سرامیکی همزن وجود دارد تا ذرات معلق داخل آن ته‌نشین نشود. گاهی آنتی موم هم به دوغاب افزوده می‌شود تا دوغاب سطح موم را بهتر تر کند.

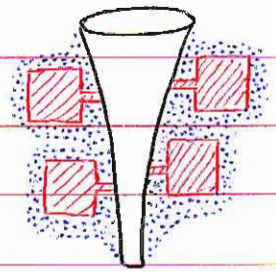
مجموعه بالا (خوشه) {راهگاه + مدل موم} را وارد دوغاب می‌کنیم و بعد از مدتی خارج می‌کنیم؛ در نتیجه لایه نازکی از دوغاب سرامیکی روی کل مجموعه بالا (خوشه) قرار می‌گیرد. درحالیکه دوغاب روی خوشه خشک نشده است، مجموعه بالا زیر دوش ماسه زیرکونی قرار می‌گیرد (ابعاد ماسه در حدود 50^{mesh}) و چون دوغاب حاوی چسب بوده، این ذرات درشت به کل سطح مجموعه می‌چسبد. بعد مدتی زمان می‌دهیم تا خشک شود و مجدداً مجموعه را وارد دوغاب می‌کنیم و دوباره بعد از آن زیر دوش سرامیکی قرار می‌دهیم. این کار حتی تا 10 بار ادامه می‌یابد. در نتیجه ضخامت پوسته‌ی سرامیکی روی خوشه زیاد می‌شود. ممکن است شکل بیرونی قالب دیگر مثل خوشه اولی نباشد چون چندین بار ذرات روی سطح انباشته شده و این ذرات ممکن است تمام فضاهای خوشه را پر نکند.

در نهایت بعد از رسیدن به ضخامت کافی پوسته (برگذاری)، مجموعه بطور معکوس در کوره قرار می‌گیرد. دمای این کوره چندان بالا نیست. هم لایه بیرونی خشک می‌شود و به استحکام کافی می‌رسد و هم چنین موم ذوب شده و از طریق راهگاه خارج می‌شود. موم بعد از خارج شدن از کوره سریعاً وارد آب می‌شود چون مشتعل است. این موم دوباره می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. پوسته سرامیکی باقی مانده استحکام زیادی دارد و فشار مذاب برای آن مشکلی ایجاد نمی‌کند.

اجزای خوشه معمولاً کوچک هستند چون این روش اصولاً برای قطعات ظریف بکار می‌رود.

2000 For All

در نتیجه ممکن است، مذاب تمام قسمت ها را نتواند پر کند. در نتیجه از یک نیروهم برای پر کردن قالب کمک می گیریم. غالباً از نیروی گریز از مرکز استفاده می کنیم.



در اینجا نیروی گریز از مرکز موجب می شود، مذاب تحت فشار وارد قالب شود؛ در نتیجه کیفیت سطحی بالا رفته و تمام اجزای قالب پر می شود و محصول ظرافت زیادی خواهد داشت.
برای ایجاد نیروی گریز از مرکز، خوشه با پوشش دیرگدازی حول محور خودش دوران می کند.

موقع ریخته گری مذاب ممکن است دچار افت دما شود و مذاب تمام قالب را پر نکند. در نتیجه قالب تا دمای زیادی گرم می شود. مثلاً برای st.st. تا دمای $1500^{\circ}C$ گرم می کنیم؛ قالب هم دیرگدازی بوده و آسیبی نمی بیند. بعد از طرق راهگاه، فلز مذاب که Tm حدود $1400^{\circ}C$ دارد وارد قالب می شود. در نتیجه افت دمایی نخواهیم داشت و تمام جزئیات قالب می تواند پر شود. بعد از انجاد پوسته سرامیکی را خرد می کنیم و قطعه خارج می شود.

چون دیواره قالب از ذرات زیرکونی در ابعاد میکرون (موجود در دوغاب) تشکیل شده است، کیفیت سطحی بالایی دارد و در نتیجه به ماشینکاری نیاز نداریم.

این روش هزینه زیادی دارد در نتیجه باید مقرون به صرفه باشد. ماسه سیلیسی در طبیعت زیاد است اما ماسه زیرکونی کمتر و بسیار گران تر (200 برابر). چسب های مورد استفاده گران هستند. فرایند زمان بر است: در هر سری پوشش دادن باید صبر کرد تا خشک شود و به استحکام مورد نظر برسد. خوشه چند بار باید به کوره برود؛ در نتیجه هزینه بر است. محصولات این روش نیز ارزش زیادی باید داشته باشند. مثلاً برای زینت آلات چون مواد اولیه گران است نباید براده برداری و ماشینکاری روی محصول صورت بگیرد. بنابراین از ریخته گری دقیق استفاده می شود.

برخی قطعات سختی بالایی دارند و ماشینکاری پر هزینه می شود پس این روش مقرون به صرفه تر خواهد بود.
چون برای هر قطعه یک مدل و یک قالب نیاز داریم، این روش هزینه بیشتری خواهد داشت.

پلی استایرن (پونولیت) نیز می تواند به جای موم در این روش مورد استفاده قرار بگیرد. چون موم گران است. ذرات پودری پلی استایرن در اثر حرارت، منبسط می شوند و محفظه قالب تزریق را پر می کنند.

2000 For All

اگر ذرات پلی استایرن ریزتر باشد، بعد از گرم کردن و پف کردن، دانه بندی ریزتر خواهد شد و استحکام بالاتری خواهد داشت. هم چنین زمان لازم برای انبساط نیز کمتر خواهد شد. اگر ذرات درشت باشد دانه بندی نهایی درشت و زمان بیشتری هم لازم دارد.

بقیه مراحل مثل موم است. مثل موم، مدل ها را به راهگاه از جنس پلی استایرن می چسبانیم و... برخلاف موم نیاز نداریم که پلی استایرن را ذوب کنیم و بعد مذاب را بریزیم. می توان مذاب را روی فوم ریخت و در اثر حرارت تشعشعی مذاب، فوم تبخیر شده و از مناقذ خارج میشود. در این روش کیفیت سطحی تا حدی افت می کند و برای قطعاتی استفاده می شود که کیفیت سطحی بالایی نخواهد مثل چدنگ لودر که مقاومت به سایش زیادی دارد و ماشینکاری هزینه بر است.

مخلوط قالب گیری از سه قسمت تشکیل شده است: دیرگداز - چسب - کاتالیست

دیرگداز عمدتاً ماسه سیلیسی، چسب عمدتاً بنتونیت و کاتالیست می تواند آب باشد. این حالت ارزان ترین مخلوط است. کائولن و خاک رس هم چسب های ارزان قیمت هستند.

هرچه چسب و رطوبت کمتر باشد، بهتر است چون حین ریخته گری می تواند مشکلاتی ایجاد کند مثل گاز، حفره و واکنش با مذاب. حالت ایده آل:

SiO

چسب باندازه ای باشد که یک لایه نازک از چسب روی ذره را بگیرد و رطوبت در حدی باشد که بتواند تمام این لایه را فعال کند.

عامل دیگر که این ذرات را به هم می چسباند، نیرو است. بعد از ریختن مخلوط ریخته گری روی مدل، با اعمال نیرو (کوبیدن) ذرات را فشرده می کنیم. در نتیجه توسط لایه چسب روی ذرات، بین ذرات باند برقرار می شود و قابلیت فرم پذیری ایجاد می شود و استحکام کافی نیز ایجاد شده و با خارج شدن مدل قالب شکل خود را حفظ می کند.

در این حالت استحکام خیلی بالا نیست و اگر نیروی زیادی اعمال شود یا وزن مذاب زیاد باشد (برای قطعات سنگین)، قالب این فشار را نمی تواند تحمل کند. بنابراین، این مخلوط علی رغم ارزان بودن، این مشکل را دارد.

پس مخلوط ارزان قیمت فوق دو مشکل دارد: استحکام بالائی ندارد - رطوبت دارد و با تشکیل بخار آب ممکن است وارد قطعه شده و حفره ایجاد کند.

2000 For All

همین مخلوط ریخته‌گری ارزان یک مزیت دیگر هم دارد: بعد از انجماد قطعه، یک ماسه خشک داریم بهمراه چسب خشک (آب آن تبخیر شده است). برای استفاده مجدد کافی است آب اضافه کنیم. پس مخلوط قالب‌گیری دوباره می‌تواند استفاده شود. بنابراین از این مخلوط ارزان زیاد استفاده می‌شود با اینکه دقت ابعادی خوبی هم ندارد.

چند نوع مخلوط قالب‌گیری داریم:

ماسه سیلیسی
بنتونیت (قالب‌گیری ماسه‌ای تر)
آب

ماسه سیلیسی : دیرگداز
سیلیکات سدیم (بصورت مایع) : چسب
گاز CO_2 : کاتالیست

ماسه سیلیسی
رزین ترموست (قالب‌گیری پوسته‌ای، ماسه چراغی، shell)
حرارت

ابتدا ماسه را در یک ظرف ریخته و بعد چسب اضافه می‌شود و در نهایت کاتالیست. همزن داخل ظرف همواره کار می‌کند.

در حالت تر، همزن نداریم چون چسب فعال می‌شود و خودگیر می‌شود. در این حالت یکسری غلتک یا آسیاب داریم تا گند له ایجاد نشود.

در مورد CO_2: مخلوط بدون کاتالیست روی مدل ریخته می‌شود در نتیجه هنوز باند نداریم و استحکامی وجود ندارد. چون چسب عمل نکرده است. بعد با عبور گاز CO_2 از داخل مخلوط، ذرات چسب بصورت جامد درآمده و واکنش شیمیایی انجام می‌شود. در نتیجه ماسه به استحکام کافی می‌رسد. استحکام ماسه در این حالت 10 برابر حالت تر است.

• قالب‌گیری پوسته‌ای:

داخل مخلوط‌کن ماسه خشک می‌ریزیم. چسب از نوع رزین است که با حرارت، خودگیر می‌شود. در دمای محیط بصورت جامد و در دمای $150^{\circ}C$ به بصورت مذاب است.

دمای ماسه تا $150^{\circ}C$ بالا می‌رود و بعد رزین افزوده می‌شود. در نتیجه رزین ذوب شده

و با ذرات ماسه کاملاً مخلوط می‌شود. بعد از ترشدن کامل ماسه از رزین، ذرات ماسه سرد شده و در نتیجه چسب جامد می‌شود. تا اینجا مخلوط بصورت: ماسه خشک و یک رزین یا چسب خشک روی آن است.

SiO — رزین جامد

در این حالت فرو ریزی ماسه امکان دارد و یک جور حالت سیلان دارد و می‌تواند براحتی فضاها را پر کند. وقتی ماسه روی مدل ریخته می‌شود، ماسه باند فعالی نداشته و برای فعال شدن چسب (رزین) حرارت می‌دهیم. در نتیجه ذرات چسب ذوب سطحی می‌شوند و پیوند ذرات ماسه به یکدیگر فراهم می‌شود. (ذرات تقریباً حالت زینتر شده دارند)

در روش پوسته‌ای این امکان را داریم که از ذرات ماسه ریز استفاده کنیم. هرچه ریزتر باشد، تعداد نقاط تماس بیشتر است و استحکام بیشتر خواهد بود و فضای خالی بین ذرات کمتر می‌شود. در نتیجه کیفیت سطحی روی مدل هم زیاد می‌شود و نهایتاً کیفیت سطحی قطعه بهتر خواهد بود.

در روش CO_2، گاز CO_2 باید از لابلای ذرات ماسه عبور کند. اگر ذرات ریز باشند، امکان عبور گاز کمتر می‌شود. بنابراین در روش CO_2 این محدودیت اندازه ذره را داریم که ذرات نباید خیلی ریز باشند تا گاز بتواند عبور کند. در نتیجه کیفیت سطحی هم کمتر می‌شود، چون ذرات درشت یعنی سطح ناصاف‌تر. روش CO_2 در مقایسه با پوسته‌ای ارزان‌تر است.

در حالت پوسته‌ای، نمی‌توان قطعات بزرگ تولید کرد چون حرارت زیادی باید فراهم کنیم و ممکن است در این صورت دمای قالب بالا رفته و چسب (رزین) دوباره ذوب شود و استحکام کم شود.

اما سیلیکات سدیم (چسب معدنی) در دمای بالا هم می‌تواند استحکام خود را حفظ کند برخلاف رزین.

ترتیب گران بودن روش: پوسته‌ای > CO_2 > تر.

۸۷/۷/۲۱

قالب سالم دو پارامتر باید داشته باشد:

۱- استحکام کافی داشته باشد تا در برابر جریان فلز مذاب، قالب شکسته نشود و هم چنین وزن فلز مذاب، دیواره قالب را تغییر شکل ندهد.

2000 For All

2 ـ وقتی فلز مذاب وارد قالب می‌شود، یکسری گاز آزاد می‌شود. هم‌چنین هوایی که قبل از ورود مذاب داخل قالب بوده، باید بطریقی خارج شود. خود اجزای سازنده‌ی قالب (رطوبت) گاز آزاد می‌کنند. این گاز اگر از قالب بیرون نرود، در مذاب می‌ماند و مذاب را از گاز اشباع می‌کند و حین انجماد حفره‌های گازی شکل خواهد گرفت.

برای اینکه قالب این دو خاصیت را داشته باشد:

برخی از خواص قالب به ماده دیرگداز و برخی به چسب و کاتالیست بستگی دارد. ماده دیرگداز باید در برابر درجه حرارت بالای مذاب، پایدار باشد و مقاومت کند؛ پس Tm مخلوط قالب‌گیری باید بالا باشد. خواصی از این دسته که به ماده دیرگداز مربوط می‌شود، خواص پایه نام دارد. این خصوصیات قابل تغییر نمی‌باشند.

دسته‌ی دیگر خواص، خواص قابل کنترل است. مثلاً استحکام. می‌توان از چسب قوی‌تر، مقدار چسب بیشتر و نوع دیگر کاتالیست استفاده کرد.

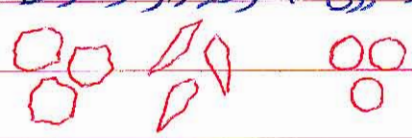
فرض: ماسه سیلیسی انتخاب کرده‌ایم. در نتیجه چندین خواص خود به خود با این انتخاب به ما تحمیل می‌شود:

الف) درجه دیرگدازی (نقطه ذوب). عاملی که Tm را تعیین می‌کند، ترکیب شیمیائی ماسه است. ماسه سیلیسی عمدتاً SiO_2 است. هرچه SiO_2 در ماسه بیشتر باشد، Tm بالاتر می‌رود. هر نوع ناخالصی در ماسه، Tm را کاهش می‌دهد. ناخالصی‌ها: Al_2O_3، Fe_2O_3 و CaO و ... هرچه Tm بالاتر باشد، کیفیت بهتری دارد.

با انتخاب دیرگداز، این خاصیت را نمی‌توان تغییر داد. در بین ناخالصی‌ها، برخی تأثیر منفی بیشتری دارند: CaO و Fe_2O_3. (تأثیر منفی بیش از Al_2O_3 دارند.)

ماسه‌های طبیعی عمدتاً شکل کروی دارند چون طی سال‌های زیاد شسته شده‌اند. شکل کروی مطلوب است. اما ماسه‌های طبیعی ناخالصی‌های زیادی دارند؛ در نتیجه نمی‌توان مستقیماً از آنها استفاده کرد. در سواحل، ماسه‌ها همراه خود رس، بنتونیت و ... هم دارند و با اضافه کردن آب، قابلیت پلاستیسیته ایجاد می‌شود. اما برای آلیاژهایی چون چدن که Tm بالائی دارند، مناسب نیستند.

ب) شکل ذرات: شکل ذرات می‌تواند کروی، گوشه‌دار و متوسط باشد.



ذرات کروی: فضای خالی بین ذرات زیاد خواهد بود و در نتیجه مسیر مناسب برای عبور گاز وجود دارد.
ذرات گوشه دار: کانال و فضای کمتری بین ذرات وجود دارد و احتمال حبس شدن گاز وجود دارد. اما چون سطح ذرات بیشتر است وقتی سطح ذرات از جنس پوشیده شد، باند بین ذرات گوشه دار بسیار قوی تر از حالت کروی می شود. چون در حالت کروی، بین ذرات، یک نقطه اتصال (مشترک) وجود دارد اما در حالت گوشه دار، یک سطح مشترک است.
قالب هم استحکام می خواهد و هم مسیر عبور گاز. در نتیجه از ذرات متوسط استفاده می کنیم. معیار شکل ذرات توسط فاکتور گوشه دار بودن تعیین می شود:

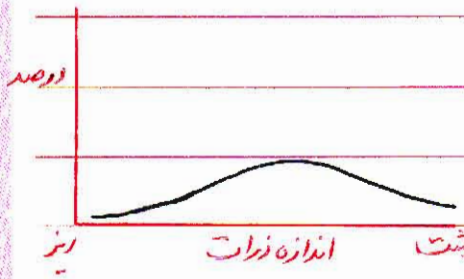
$$\text{ضریب گوشه داربودن} = \frac{\text{سطح مخصوص واقعی}}{\text{سطح مخصوص تئوری}} > 1$$

کره کمترین $\frac{\text{سطح}}{\text{حجم}}$ را دارد. در حالت گوشه دار، این ضریب به 2 و 3 هم می رسد. در ریخته گری ضریب 1.2 ـ 1.1 مناسب است و بهترین خواص را به ما می دهد. یعنی تمایل داریم بیشتر به حالت کروی نزدیک باشیم. بعبارت دیگر امکان کنترل استحکام بیشتر امکان کنترل گاز است. (روی استحکام بیشتر می توان مانور داد) مثلاً از جنس قوی تری استفاده کنیم. اما وقتی مسیر گاز وجود ندارد، خیلی دستمال باز نخواهد بود.

ج) اندازه ذرات (در حالت شکل ثابت): هرچه ذرات درشت تر باشند، فضای خالی بیشتر خواهد بود و قابلیت خروج گاز بیشتر. حتی با ازای ترکیب شیمیائی ثابت، T_m بالاتری داریم چون نوب سطحی دیرتر اتفاق می افتد بدلیل کم بودن سطح. اما استحکام کمتر است چون تعداد باند کمتری داریم و کیفیت سطحی هم کمتر خواهد بود.
برای ریخته گری قطعات بزرگ، حجم گاز بیشتری داریم چون حرارت بیشتری داریم و نرخ تبخیر بیشتر خواهد بود. در نتیجه نیاز به کانال وسیعی داریم و در این حالت بهتر است، دانه درشت باشد.
برای ریخته گری قطعه کوچک، کیفیت سطحی مهم است و از ماسه دانه ریز استفاده می کنیم. هم چنین حرارت هم کمتر است و گاز کمتری داریم. هرچه ذرات ماسه درشت تر باشد امکان اینکه نوب سطحی صورت بگیرد، کمتر است؛ در نتیجه برای آلیاژهای با T_m بالا، از دانه درشت استفاده می کنیم.

2000 For All

د) توزیع اندازه دانه: بصورت معمول اندازه ذرات باهم متفاوت است و ذرات ریز و درشت را باهم داریم. با استفاده از چندین الک متوالی و عبور ماسه و بعد وزن کردن هر الک، می توان این توزیع را بدست آورد.



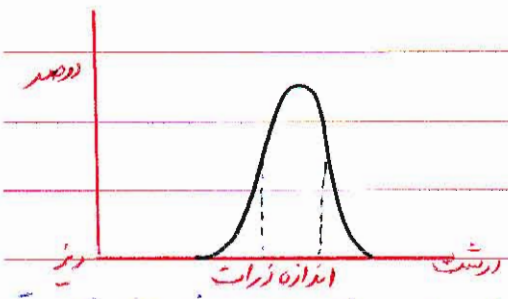
الک ها از درشت به ریز است.

در منحنی مقابل، توزیع گسترده‌ای از ذرات با اندازه مختلف داریم.

در این حالت بازای هر فضای خالی، یک ذره داریم که می تواند آن را پر کند. در نتیجه استحکام بالایی خواهیم داشت اما قابلیت عبور گاز بشدت کاهش می یابد. در نتیجه گاز داخل قالب قبل از ریزش ذوب، در قالب می ماند و خارج نمی شود. بعد از ریختن ذوب، هوای داخل قالب گرم می شود و منبسط شده و چون نمی تواند خارج شود، فشار هوا داخل قالب بالا می رود و ممکن است به P^* برسد؛ در نتیجه امکان جریان مذاب وجود ندارد.

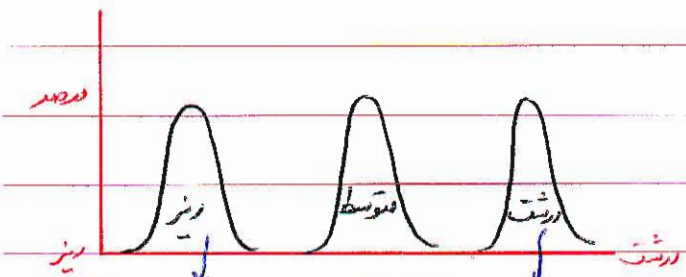
P^* فشار هیدرواستاتیکی مذاب است که بالا بحال آن، مذاب قالب را پر می کند. وقتی فشار هوا به P^* رسید، دیگر مذاب وارد قالب نمی شود و ما احساس می کنیم، قالب پر شده است و مذاب پس زده می شود (گاهی اوقات) و O_2 ممکن است خارج شود. در هر صورت کیفیت سطحی خوبی نخواهیم داشت.

توزیع مناسب ذرات بصورت مقابل است:



یعنی 90٪ وزن ماسه باید از دانه های هم اندازه باشد یا دانه بندی نزدیک بهم (سه الک متوالی).

در نتیجه توزیع گسترده از ذرات نداریم و فضاهای خالی وجود خواهد داشت. این ماسه اصطلاحاً سه الکه نام دارد. این ماسه هم سه نوع دانه بندی می تواند داشته باشد؛ هر سه اینها مناسب ریخته گری هستند.



ریز: ذرات ریز نزدیک بهم
متوسط: " متوسط " "
درشت: " درشت " "

برای مذاب آلیاژ T_m پایین و کیفیت سطحی بالا

برای مذاب آلیاژ T_m بالا و کیفیت سطحی کم

تا اینجا خواص پایه را بررسی کردیم که با انتخاب دیرگداز یا ماسه تعیین می‌شدند. برای ماسه‌های زیرکونی هم همین بحث وجود دارد.

2 ـ خواص قابل کنترل:

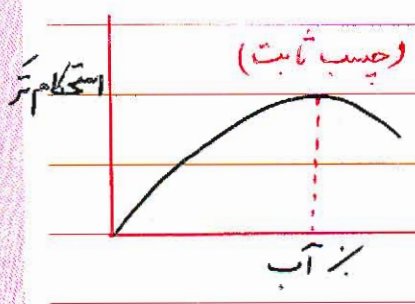
مثل استحکام. در مراحل مختلف ریخته‌گری، پارامترهایی استحکام مورد نیاز را تعیین می‌کند. مثلاً در مورد قالب تر:

الف) استحکام قالب باید بگونه‌ای باشد که ما بتوانیم مدل را خارج کنیم بدون اینکه ماسه بریزد. این استحکام را استحکام تر می‌نامند. (ماسه روی مدل باید متراکم شود)

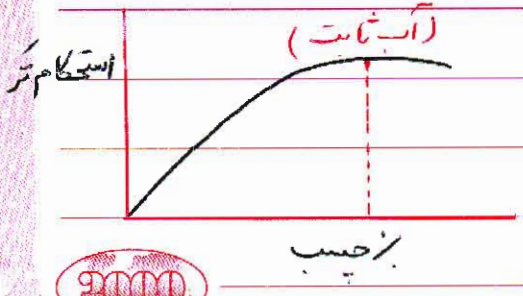
ب) در حین ذوب ریزی، ماسه باید در دمای بالا، استحکام لازم را داشته باشد و در مقابل وزن فلز مذاب تحمل کند و تغییر فرم ندهد. این استحکام را استحکام گرم یا داغ می‌گویند.

ج) بعد از انجماد و سرد شدن، باید قالب را بشکنیم. هرچه قالب استحکام بیشتری داشته باشد، هزینه شکستن بالا می‌رود. در این مرحله استحکام باید کمترین باشد. این استحکام را استحکام باقیمانده می‌نامند.

استحکام تر به درصد بنتونیت و آب وابسته است. کاتالیست معمولاً خواص منفی ایجاد می‌کند و باید در حدی باشد که چسب آن را جذب کند. اضافه بر آن یعنی رطوبت اضافی. اگر کاتالیست نداشته باشیم، استحکام نخواهیم داشت.



در max، تمام چسب توسط آب فعال شده است. از این بیشتر، آب اضافه داریم که بین ذرات می‌ماند. وجود آب اضافه استحکام را بشدت کم می‌کند چون عاملی است برای لغزیدن ذرات روی هم. (حالت روانکاری دارد)



در max، تمام آب اضافی را گرفته و دیگر آب نداریم. بعد از این چسب اضافه داریم که افت استحکام ناشی می‌شود البته این افت در حد رطوبت اضافی نیست.

مقدار چسب اضافی، رطوبت ندارد و نمی تواند فعال شود و بصورت ذرات جامد (بسیار ریزتر از ماسه) در می آید. این ذرات بدلیل خاصیت روانکاری تا حدودی استحکام را کم می کند اما اثر منفی مهم تری هم دارد: این ذرات جامد ریز، کانال عبور هوا را پر می کند؛ در نتیجه عبور گاز بشدت کم می شود.
پس نه آب اضافی مطلوب است و نه چسب اضافی.

دو گروه بنتونیت:
- Ca (کلسیمی): یون Ca با جذب آب فعال می شود.
- Na (سدیمی): یون Na دارد.

بایند ایجاد شده از بنتونیت کلسیمی، استحکام کمتری از Na دارد؛ اما پایداری حرارتی آن از Na بیشتر است. در نتیجه وقتی قالب از بنتونیت کلسیمی داریم، بنتونیت تجزیه نمی شود و تغییر ساختار نمی دهد؛ در نتیجه دوباره قابل استفاده خواهد بود و فقط با اضافه کردن رطوبت، چندین بار استفاده می شود.

بنتونیت سدیمی پایداری حرارتی کمتری دارد و در اثر گرم شدن، تجزیه می شود. اما استحکام بیشتری دارد. سطحی از قالب که در تماس با مذاب است یا نزدیک به مذاب است به دمای تجزیه رسیده و دیگر قابل استفاده مجدد نخواهد بود. از هر دو نوع بنتونیت استفاده می شود.
در طبیعت بیشتر بنتونیت کلسیمی یافت می شود و بنتونیت سدیمی معمولاً از طریق تعویض یونی تولید می شود:
دو غاب کلسیمی درست کرده و به آن ترکیب های سدیمی اضافه می کنیم و امکان تعویض یون ایجاد می کنیم. بعد از خشک شدن، بنتونیت سدیمی داریم. چون بنتونیت ها معدنی هستند، ناخالصی دارند. در داخل بنتونیت ماده ای وجود دارد به نام montmorillonite که بصورت کانی است. درصد جذب رطوبت بنتونیت به درصد این ماده وابسته است. در نتیجه استحکام های متفاوتی می توانیم داشته باشیم.

برای بررسی استحکام گرم: قالب در دمای بالا خشک می شود. چون استحکام در دمای بالا می خواهیم، بنتونیت کلسیمی بهتر است.

برای بررسی استحکام باقیمانده: مقداری ترک روی قالب ایجاد می شود بدلیل اینکه،

قطعه حین انجماد، انقباض قطعه و قالب به مقدار یکسانی نیست؛ در نتیجه تنش ایجاد می‌شود و در نهایت ترک. اما هنوز باند نسبتاً محکمی داریم. در نتیجه باید قالب را بشکنیم. هرچه استحکام باقیمانده کمتر باشد، بهتر است.

بنتونیت و چسب معدنی هستند در نتیجه کار زیادی بمنظور کم کردن این استحکام نمی‌توان انجام داد.
گاهی می‌توان به مخلوط ریخته‌گری پودر زغال اضافه نمود (درصد ۱٪-۰.۵). در نتیجه مخلوط سیاه می‌شود.
این کار دو خصوصیت به ما می‌دهد:

۱- پودر زغال می‌تواند بسوزد و یکسری کانال ایجاد کند برای عبور گاز.

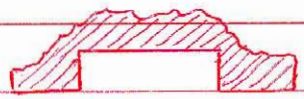
2- استحکام هم کم می‌شود.

خاک اره یا پودر چوب هم می‌توان بجای زغال استفاده کرد. پودر چوب زودتر از زغال می‌سوزد و حفره‌های بیشتری می‌تواند ایجاد کند و بهتر است.

در روش ماسه‌ای تر، استحکام گرم و باقیمانده خیلی زیاد و خیلی کم نیست؛ در نتیجه پودر چوب لازم نیست.

در روش سیلیکات سدیم و گاز CO_2، باند ایجاد شده استحکام گرم خیلی خوبی دارد. پس برای ریختن قطعات بزرگ مفید است. اما استحکام باقیمانده هم زیاد است و این مشکلاتی ایجاد می‌کند و خروج قطعه مشکل می‌شود. پس پودر چوب یا زغال می‌زنیم. می‌توان ذرات پلی استایرن و پلیمری هم اضافه کرد تا استحکام باقیمانده کم شود.

در بین ماسه‌ها، ماسه زرنی بهترین شرایط را دارد. وقتی حرارت می‌بیند و سرد می‌شود، بخش عمده زرنی تبخیر شده و استحکام باقیمانده کم است و راحت تخریب می‌شود.
تا جائیکه حرارت در ماسه نفوذ می‌کند، زرنی فعال می‌شود. وقتی ضخامت زرنی فعال شده به حد کافی رسید، می‌توان بقیه مخلوط را استفاده نکرد. به همین دلیل، این روش، قالب‌گیری پوسته‌ای یا Shell Moulding نام دارد.



در اینجا شرایط مثل ریخته‌گری دقیق است. بیرون قالب شکل هندسی قطعه را ندارد و منظم نیست و بصورت یک پوسته است.

در نتیجه با کمترین وزن ماسه، قالب تهیه می‌شود و قالب سبک‌تر است و حمل و نقل آسان‌تر. در حین سرد شدن، سه نوع حرارت خارج می‌شود:

فوق گداز (حدود 10-20٪ Tm) - گرمای نهان انجماد - سرد شدن جامد تا دمای محیط.

وقتی یک پوسته‌ای از جامد روی دیواره قالب تشکیل شد، اگر قالب ترک بخورد، دیگر تأثیری روی قطعه ندارد چون انجماد روی پوسته‌ی فلزی (قالب فلزی فرضی) صورت می‌گیرد.

پس خصوصیات قالب تا وقتیکه پوسته‌ی جامد شکل می‌گیرد، مورد نیاز است. در قالب پوسته‌ای با سرد شدن قطعه، زمین تجزیه می‌شود و استحکام باقیمانده‌ی خیلی کمی داریم.

این روش کیفیت سطحی خوبی هم می‌دهد. تنها مشکل آن: عدم استفاده برای قطعات بزرگ.

در روش ماسه‌ای تر، تنها عامل که باعث استحکام می‌شد، تراکم بود یعنی ماسه را باید متراکم می‌کردیم. در دو روش دیگر، تراکم تا حدی که هوا نباشد، کافی است.

۸۷/۷/۲۳

روش‌های قالب‌گیری:

۱- روش دستی

2- روش ماشینی

روش ماشینی:

1- ضربه‌ای - فشاری Jolt - Squeeze Moulding

2- فشار بالا High Pressure Moulding

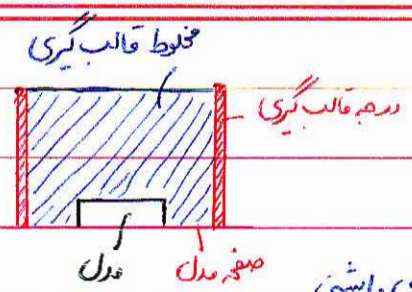
3- انفجاری Explosive Moulding

4- فشار هوا Air Impact Moulding

5- دیزاماتیک Disamatic Moulding

روش دستی توسط کارگر انجام می‌شود.

روش‌های ماشینی سرعت بالاتری دارند و در خط تولید به کار می‌روند. در تمامی روش‌ها برای ساخت قالب، نیاز به مدل داریم. برای اینکه ماسه دور قالب نگه داشته شود، به یک محفظه به نام درجه نیاز داریم. در قالب‌گیری تر، وقتی ماسه متراکم می‌شود، استحکام لازم ایجاد می‌شود. تفاوت روش‌ها بر مبنای متراکم کردن این ماسه است و گرنه بقیه چیزها یکسان است.



در روش دستی برای متراکم کردن از کوبه استفاده می شود:

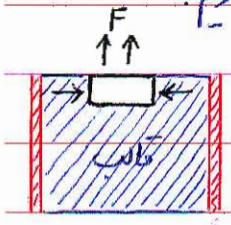
در روش دستی تراکم یکنواخت نخواهیم داشت. تفاوت در روش های ماشینی بر اساس داشتن تراکم یکنواخت است. بعد از تراکم، پلاستیسیته لازم را داریم و می توانیم مدل را خارج کنیم. در اینصورت درجه کمک می کند، قالب استحکام خود را حفظ کند.

مدل های ریخته گری:

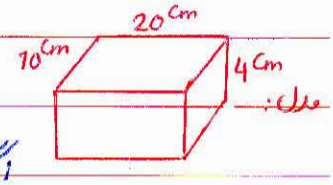
مدل باید یکسری خصوصیات را داشته باشد. جنس مدل - تعداد قطعه تولیدی و جنس قطعه بستگی دارد. جنس مدل می تواند: چوبی، پلاستیکی، پونولیت، چدنی و... باشد. هرچه جنس قالب سخت تر باشد، هزینه ی تولید مدل بالاتر می رود (بدلیل هزینه ماشینکاری).

ذرات ماسه سختی بالایی دارند در نتیجه حین ریخته گری روی مدل سایش ایجاد می کند.

فرض: می خواهیم قطعه مکعبی با ابعاد زیر تولید کنیم. در نتیجه مدل با همان ابعاد می سازیم.

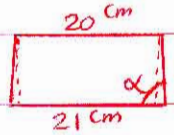


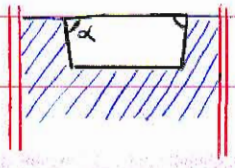
بعد از کوبیدن ماسه، درجه را 180° می چرخانیم:

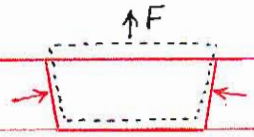


اگر مدل کاملاً مکعبی باشد، برای خارج کردن از قالب نیاز به اعمال نیروی زیادی است. چون بصورت مکعب است و دیواره آن عمودی بوده و اصطکاک کامل بین دیواره قالب و مدل وجود دارد. دیواره قالب از ذرات ریز کنار هم درست شده است در نتیجه ممکن است یکسری ذرات دیواره شکسته شود و خرد ریزد. برای غلبه بر اصطکاک نیروی زیادی لازم داریم. برای رفع این مشکل خصوصیت زیر را به مدل می دهیم:

۱- شیب مدل: علی رغم اینکه می خواهیم قطعه مکعب مستطیلی باشد، مدل را با مقطع ذوزنقه می سازیم یعنی به دیواره مدل شیب می دهیم تا دیواره عمودی نداشته باشیم:

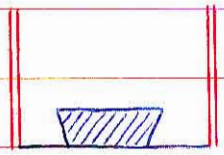






تراکم باعث می‌شود که ذرات به دیواره فشار اعمال کند. با کوچکترین حرکت مدل، بدلیل اینکه هر سطح در محل و فضای بزرگتری قرار می‌گیرد، راحت از قالب خارج می‌شود و با کوچکترین حرکت، دیگر تماس بین قالب و دیواره را نداریم و مدل براحتی خارج می‌شود.

جهت شیب مدل هم کاملاً مشخص است: بیشترین ابعاد روی صفحه مدل قرار می‌گیرد. برای وجود امکان خروج مدل، شیب باید مثبت باشد.

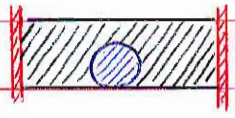


مدل امکان خروج ندارد (شیب منفی)

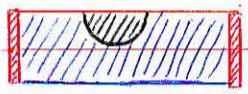
2 ـ اضافه انقباض: سرد کردن جامد از T_m به T_R بسته به جنس و ضریب انبساط طولی آن، باعث کاهش ابعاد می‌شود. در نتیجه ممکن است در T_m قطعه همان ابعاد مطلوب را داشته باشد اما در T_R ابعاد کاهش یابد و به دقت ابعادی نرسیم.

برای داشتن دقت ابعادی، مدل را بسته به ضریب انبساط طولی، بزرگتر در نظر می‌گیریم. اگر انقباض 2٪ است، باید مدل 2٪ بزرگتر باشد.

3 ـ سطح جدایش: وقتی شکل قطعه ساده است (مکعب) مدل بصورت یک تکه ساخته می‌شود. اگر قطعه پیچیده‌تر باشد، مثلاً بخواهیم استوانه‌ای افقی را بریزیم، جایی برای خروج آن وجود ندارد و بطور کامل زیر ماسه رفتن می‌شود.



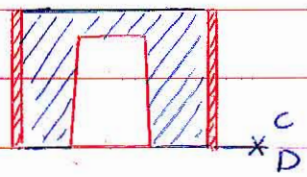
در اینصورت مدل را دو تکه می‌سازیم: از محور استوانه، آن را دو تکه می‌کنیم. صفحه مدل از محور استوانه خواهد گذشت. در ضمن شکل مدل طوری است که شیب لازم برای خروج را هم دارد و دیگر نیاز نیست شیب ایجاد کنیم.



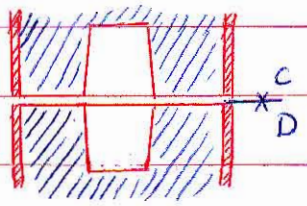
سطحی که عملاً مدل روی آن، دو قسمت شده است، سطح جدایش نام دارد. ایجاد سطح جدایش موجب سهولت ریخته‌گری می‌شود.

اگر بخواهیم قطعه استوانه‌ای را بصورت عمودی بریزیم، مدل می‌تواند یک تکه باشد اما در اینصورت

مدل باید شیب داشته باشد؛ بعبارت دیگر، مدل بصورت مخروط ناقص خواهد بود. برای اینکه به قطعه نهایی برسیم، روی قطعه باید ماشینکاری انجام دهیم تا شیب آن از بین برود. در روش دستی نیاز است شیب بیشتری بدهیم تا دیواره تخریب نشود. در نتیجه حجم ماشینکاری بیشتر است. پس در اینصورت هزینه ماشینکاری هم داریم.



در حالت عمودی هم می‌توان سطح جدایش ایجاد کرد:
در اینصورت شیب مدل به مرکز ختم شده است و سطح جدایش در مرکز قطعه است. در نتیجه افزایش قطر در جائی که قطر max است، نصف حالت قبلی (یک تکه) خواهد بود.



راه بهتر این است که استوانه را بصورت افقی و بصورت دو تکه بریزیم.
در حالت افقی نیاز به ایجاد شیب در مدل نیست و در نتیجه ماشینکاری لازم نداریم. چون خود قطعه یا مدل شیب لازم برای خروج را دارد.

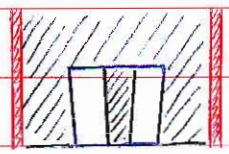
در نقشه‌های ریخته‌گری: C: درجه یا لنگه بالائی D: درجه یا لنگه پائینی

حالت قائم یکسری پارامترهای مثبت دارد: شرایط انجماد و ....

برای برخی قطعات پیچیده، سطح جدایش می‌تواند چندین سطح باشد و یا صاف نباشد.

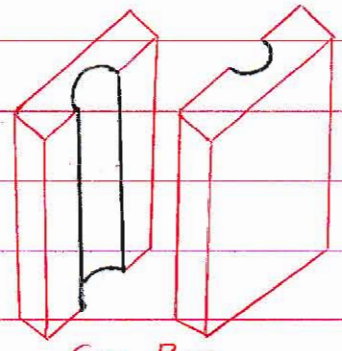
4_ ریشه ماهیچه (Core Print):

برای تولید قطعات توخالی مثل استوانه توخالی، به ماهیچه نیاز داریم. اگر قطعه کوتاه باشد مثل دیسک یا استوانه کوتاه می‌تواند بصورت زیر باشد:



اما اگر استوانه بلند باشد، امکان تراکم ماسه در وسط وجود ندارد. در نتیجه جداگانه یک استوانه ماسه‌ای می‌سازیم و در وسط قالب استوانه‌ای قرار می‌دهیم. در نتیجه مذاب فقط فضای بین قالب و ماهیچه را می‌تواند پر کند. پس مدل سطح بیرونی و ماهیچه سطح درونی قطعه را می‌سازد.
برای ساخت ماهیچه نیاز به قالب داریم. (جعبه ماهیچه یا Core Box). مخلوط قالب‌گیری را در این جعبه می‌کوبیم و با باز شدن قالب، ماهیچه بدست می‌آید.

2000 For All

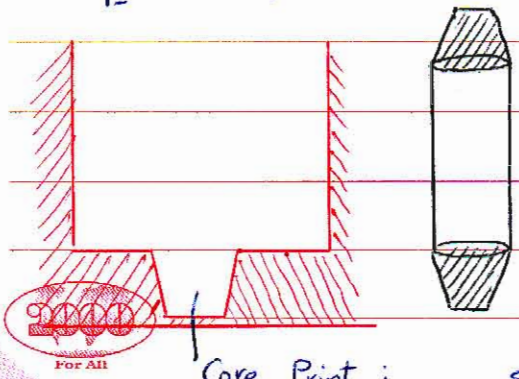


ماهیچه باید بقدر کافی استحکام داشته باشد تا قابل حمل و نقل باشد و بتواند سر جای خود قرار بگیرد و استحکام در برابر فشار مذاب داشته باشد.

ماهیچه اجزای داخلی قطعه را می سازد. مذاب دور تا دور ماهیچه را می گیرد. در نتیجه از تمام قسمت ها، حرارت وارد ماهیچه می شود و در نتیجه از حرارت اشباع می شود. به همین دلیل دمای ماهیچه بسیار بالاتر از قالب است (چون از یک طرف حرارت خارج می شود). پس کیفیت ماهیچه باید از قالب بیشتر باشد. پس برای ساخت آن معمولاً چسب رزینی و گاهی CO_2 استفاده می شود.

قطعه حین سرد شدن، فشار انقباضی زیادی به ماهیچه وارد می کند در نتیجه مخلوط قالب گیری ساخت ماهیچه از مخلوط قالب متفاوت است. برای ساخت ماهیچه از ماسه درشت استفاده می کنیم چون پایداری حرارتی بیشتری دارد. در اطراف ماهیچه دور تا دور مذاب وجود دارد و تنها از قسمت قاعده ی بالای ماهیچه، گاز می تواند خارج شود. پس مسیر عبور گاز بسیار اهمیت دارد. اگر گاز از محل مذاب مجاور ماهیچه بخواهد خارج شود، وارد مذاب خواهد شد. پس گازها باید هدایت شوند تا از سطوح قاعده خارج شوند. پس باید مسیرهایی داخل ماهیچه تعبیه کرد تا قطعه سالم باشد. پس مخلوط ساخت ماهیچه باید قابلیت عبور گاز زیادی داشته باشد. پس ضریب گوشه داربودن ماسه آن باید نزدیک به ۱ باشد یعنی نزدیک به حالت کروی. هم چنین ماسه باید سه انگه باشد و چسب مورد استفاده هم باید قوی تر باشد.

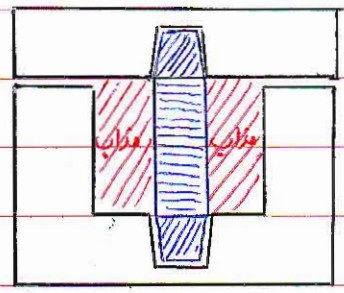
بعد از خروج استوانه و ایجاد فضای قالب، ماهیچه را داخل قالب قرار می دهیم. باید ماهیچه و استوانه هم مرکز باشند. حتی اگر بتوانیم کاملاً وسط قرار دهیم، دقتی در حد بالایی را می گذاریم، هیچ اطمینانی وجود ندارد که فشار فلز مذاب باعث جابجایی ماهیچه نشود. فشار فلز مذاب و سیلان آن باعث حرکت ماهیچه می شود. برای اینکه این مشکل رفع شود، محلی را برای جایگیری ماهیچه در نظر می گیریم.



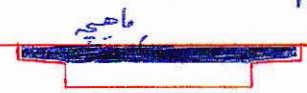
بالا و پایین ماهیچه استوانه ای هم دو مخروط ناقص تعبیه می شود. در اینصورت جای ماهیچه مشخص است و ثانیاً تکیه گاه دارد و تکان نمی خورد.

ریشه یا تکیه گاه ماهیچه

بسته به ابعاد، وزن، شکل و... ماهیچه، تکیه‌گاه باید طراحی مناسبی داشته باشد. لنگه بالائی هم دیگر سطح صاف ندارد و همان گودی (مخروط ناقص) را دارد تا قسمت بالایی ماهیچه در آن تعبیه شود.

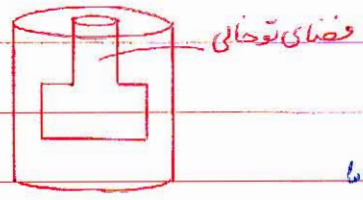


اگر می‌خواستیم استوانه را بصورت توخالی و افقی بریزیم:



در حالت افقی، ماهیچه از دو سر درگیر است در حالیکه هنوز لنگه بالایی قرار نگرفته است. در حالت عمودی کنترل اینکه ماهیچه کاملاً عمودی باشد، مشکل است و ممکن است حین قرار دادن لنگه بالایی، ماهیچه سائیده شود و ماسه داخل قالب بریزد. در حالت افقی قبل از قرار دادن لنگه بالائی، ماهیچه کاملاً پایدار است (از دو سر درگیر).

عذاب وارد ریشه ماهیچه نمی‌شود چون در هم قفل است. در حالت افقی اگر ریزش ماسه در ریشه داشته باشیم، وارد محفظه قالب نمی‌شود (برخلاف حالت عمودی). پس حالت افقی از لحاظ سهولت قرارگیری ماهیچه، پایداری ماهیچه و ریزش ماسه، بهتر است.

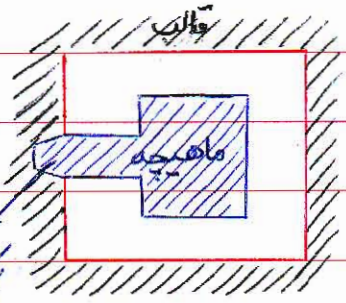


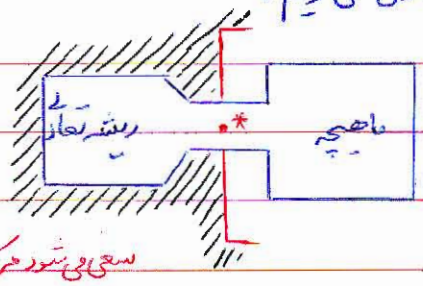
برای قطعات با شکل پیچیده‌تر:

در اینجا ساخت مدل بصورت یک تکه مشکل است.

یک راه این است که ماهیچه بصورت یک سر درگیر استفاده کنیم اما امکان دارد در اثر وزن خود، پایدار نباشد. البته ریشه ماهیچه بصورت قبلی نمی‌تواند ساده هم باشد.

در اینصورت تعادل نخواهیم داشت و نیازمند ریشه بزرگتر هستیم؛ به این ریشه، ریشه تعادلی می‌گوییم:

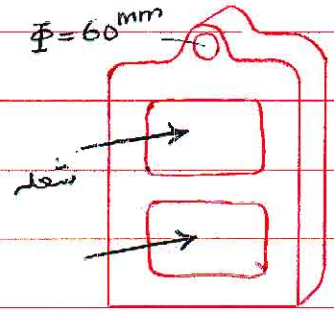




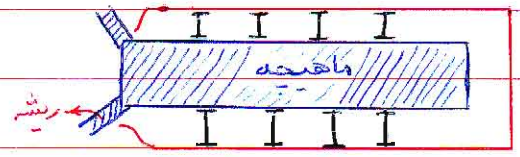
ریشه ماهیچه سطح و وزن زیاد دارد بطوری که تعادل برقرار شود.

سعی می‌شود مرکز ثقل در * باشد.

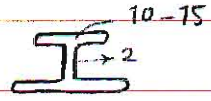
برای برخی قطعات، فضای کافی برای ریشه ماهیچه نداریم. مثل پره های ریگ شوماخر. چون انتقال حرارت می خواهیم، جنس پره ها از چدن خاکستری است. فضای درون پره خالی است پس یک ماهیچه بزرگ لازم داریم و تنها جایی که ریشه می تواند باشد، سوراخ با $\Phi = 60^{mm}$ است.



در این حالت وزن ماهیچه حدود 50kg است و یک ریشه کوچک فقط می توانیم داشته باشیم. ایجاد ماهیچه تعادلی هم مشکل است.



پس یک راه این است که قبل از موتاژ ماهیچه، یک پل هایی که نازک هستند در قالب قرار می دهیم تا ماهیچه را نگه دارد. این پل ها را چاپلت هم می نامند. تعداد زیاد پل ها می تواند وزن ماهیچه را تحمل کند. محاسبه چاپلت ها هم مهم است. چاپلت ها حین ریخته گری نباید ذوب شوند در غیر اینصورت بصورت شناور در می آید (ماهیچه). اگر دیرگداز باشد، مذاب در برخورد با آن یک لایه جامد تشکیل می دهد و چسبندگی هم ندارد و به نوعی جوش سرد رخ داده و نشت صورت می گیرد. بهترین حالت این است که چاپلت در برخورد با مذاب، ذوب سطحی شود.



چاپلت از جنس خود فلز است و در نهایت باقی می ماند.

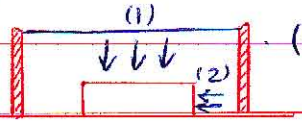
بعد از انجماد، تمام ماهیچه نهایتاً در دریچه خرد شده و بیرون می رود. بنابراین لازم است استحکام باقیمانده ماهیچه صفر باشد تا راحت خرد شود.

۸۷/۷/۲۸

عمده روش های قالب گیری، ماسه ای تر است. در ساده ترین روش، تراکم ماسه توسط دست انجام می شود.

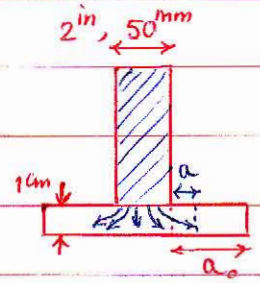
پارامترهای مهم در حالت دستی:

۱) قابلیت سیلان ماسه: با اعمال ضربه توسط کوبه، ماسه چقدر می تواند حرکت کند. در قسمت بالایی مدل، براحتی تراکم داریم چون جهت اعمال نیرو با جهت فشرده شدن یکسان است (حالت ۱).



اما در حالت (2) تراکم به سادگی صورت نمی گیرد.

معیاری که برای این پارامتر در نظر می گیرند بصورت زیر است:



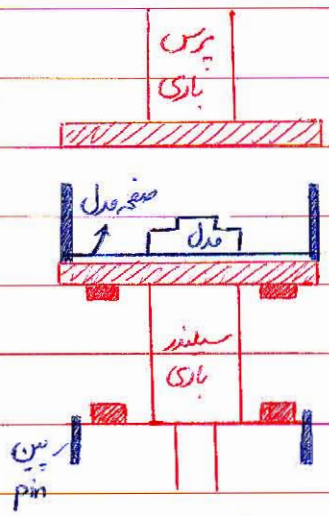
فاکتور سیلان ماسه $= \frac{a}{a_0} \times 100$

اگر با یک کوبه استاندارد، سه ضربه به ماسه وارد کنیم، مسافتی که ماسه طی می‌کند در استوانه پائینی، معیار سیلان نام دارد.

اگر کل دیسک را پر کند، قابلیت سیلان 100% است. اگر قابلیت سیلان ماسه بقدر کافی نباشد، مخلوط قالب‌گیری در انتهای قالب، استحکام ندارد و با حرکت مذاب شکسته می‌شود. هم‌چنین اگر تراکم مطلوب نباشد، مذاب می‌تواند به فضای خالی بین ذرات نفوذ کند. به این پدیده: Metal Penetration می‌گویند. کشش سطحی مذاب از این عمل جلوگیری می‌کند.

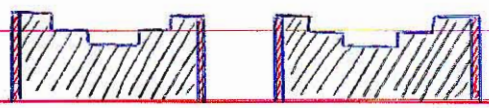
در حالت قالب دو لنگه، ممکن است دو لنگه کاملاً هم محور نباشند که موجب می‌شود قطعه در نهایت پله‌دار شده و دقت ابعادی افت کند. بنابراین روی درجه‌ها زائده‌ای وجود دارد که در آن سوراخی تعبیه شده و از آن سوراخ پین عبور می‌کند. در نتیجه هر دو لنگه هم‌محور می‌شوند. در روش تولید انبوه، روش دستی مناسب نبوده و از روش‌های ماشینی استفاده می‌شود. در تولید انبوه دو هدف داریم: تراکم ماسه در کمترین زمان - یکنواختی تراکم.

روش Jolt - Squeez (ضربه‌ای - فشاری):

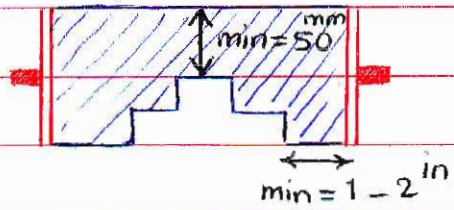


با ورود هوا، جک سیلندر باری را به بالا حرکت می‌دهد. صفحه مدل با پیچ و مهره به صفحه ماشین متصل شده است و محل‌هائی را داریم تا درجه روی ماشین نصب شود. در قسمت بالای ماشین یک صفحه وجود دارد که این صفحه با یک جک باری بالا و پائین می‌رود و پرس را انجام می‌دهد. قسمت بالا می‌تواند 180° بچرخد تا امکان ریختن ماسه فراهم شود. ریختن ماسه بصورت دستی انجام می‌شود. در مرحله‌ی اول تراکم، صفحه پائینی بهمراه صفحه مدل و مدل و درجه مجموعاً به سمت بالا می‌روند و با برداشتن فشار باد، بدلیل نیروی وزن، مجموعه بسرعت پائین می‌آید و با برخورد زائده به سندان، و هم‌چنین اینرسی، ضربه‌ای وارد می‌شود که موجب تراکم ماسه خواهد شد. بسته به سختگی مدل و قابلیت سیلان ماسه، این عمل چندین بار انجام می‌شود. (Jolting) در نتیجه ماسه اطراف مدل به همدیگر کاملاً فشرده می‌شوند.

بیشترین تراکم ماسه مربوط به اطراف مدل و صفحه مدل است چون به صفحه مدل و ماشین نزدیکتر است. تراکم در قسمت بالای قالب کم است. بمنظور تراکم یکنواخت، عملیات ضربه زنی متوقف شده و صفحه بالائی با فشار باد روی قالب آمده و بدون ضربه، پرس را انجام می دهد. در این حالت ارتفاع ماسه باید از درجه بالاتر باشد تا پرس انجام شود. در نهایت سطح ماسه بیشتر از سطح درجه است و ماسه اضافه را با تیغه برمی داریم تا هم سطح درجه شود. در نهایت باید نیروبی اعمال کنیم تا مدل از صفحه مدل خارج شود؛ بدین منظور پین هایی از قبل اطراف درجه قرار گرفته اند و پین ها توسط جک می توانند به بالا حرکت کرده و به قسمت فوقانی درجه نیرو وارد کرده و آن را از صفحه ماشین جدا می کند و صفحه مدل همراه درجه خارج می شود. برای اینکه مدل از قالب براحتی جدا شود، ویبراتوری وجود دارد که روی صفحه ماشین تعبیه شده و با اعمال لرزش با دامنه ی کم و فرکانس بالا مدل را از قالب جدا می کند. این لرزش قبل از عملکرد پین ها، انجام می شود. {ماسه بدلیل داشتن چسب به مدل چسبیده و اگر مدل بخواهد همینطوری خارج شود ممکن است ماسه کنده شود} در نهایت این مجموعه قالب همراه درجه، 180 چرخیده و روی نوار نقاله قرار می گیرد.

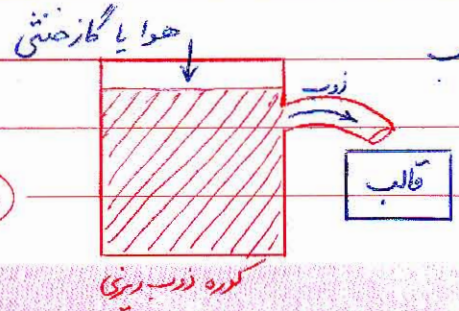


مشابه همین ماشین، ماشین دیگری وجود دارد که لنگه بالائی قالب را تهیه می کند. لنگه دوم هم روی نوار نقاله قرار می گیرد (در کنار لنگه اول). ارتفاع لنگه ها لزومی ندارد یکسان باشد چون ارتفاع مدل ها دلیلی ندارد یکسان باشد و با توجه به ابعاد شکل نیز، ارتفاع درجه ها می تواند فرق داشته باشد. (بمنظور مصرف بهینه ماسه) برای اینکه قالب استحکام کافی داشته باشد، فاصله ماسه از درجه و انتهای قالب باید مطابق شکل زیر باشد:

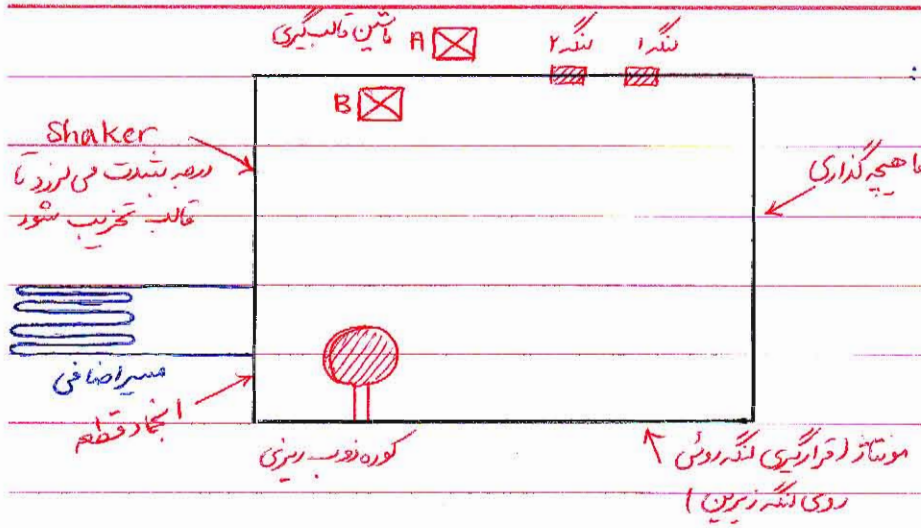


ماهیچه معمولاً در لنگه زیرین قرار می گیرد. روی درجه ها وزنه هایی قرار می دهند تا از رفتن قالب، ذوب خارج نشود. می توان از بست نیز استفاده کرد تا دو لنگه کاملاً به هم محکم شوند.

برای ذوب ریزی: با اعمال فشار هوا یا گاز خنثی، مذاب تخلیه می شود



مراحل مختلف خط تولید:



برای قالب‌های بزرگ، زمان ایجاد زیاد است و منطقی نیست در این مدت خط تولید متوقف شود. بهمین جهت یک مسیر اضافی برای این قطعات طراحی می‌شود و بعد از ایجاد دوباره به خط اصلی برمی‌گردند.

Shaker: قالب روی شبکه درشت قرار می‌گیرد و بشدت می‌لرزد و ماسه از شبکه می‌ریزد ولی قطعه در درجه روی شبکه باقی می‌ماند. قطعه روی shaker روی نوار نقاله دیگری قرار می‌گیرد و به قسمت ماشینکاری و برش کاری و ... می‌رود.

تراکم ماسه در این روش یکنواخت‌تر است و فرایند اتوماسیون می‌باشد. مدل در این روش به شیب کمتری نیاز دارد چون دستی خارج نمیشود. (ماشین کاملاً تراز است)

معایب این روش:

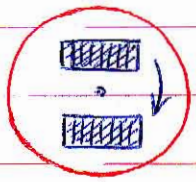
اولاً برای مرحله تراکم نیازمند چندین بار اعمال ضربه هستیم و زمان بر است. صدای ناشی از باد و ضربه زیاد است. تراکم ماسه چندان یکنواخت نیست و میزان تراکم هم کم است. روش دیگر که این معایب را ندارد عبارتست از:

روش فشار بالا (High Pressure Moulding):

بخش اعظم کار مشابه روش قبلی است. تفاوت: وقتی مخلوط قالب‌گیری روی سطح مدل ریخته می‌شود (به مقدار مناسب) فقط یک عملیات پرس از بالا انجام می‌شود توسط یک صفحه پرس. تفاوت در این است که در اینجا پرس هیدرولیک است (استفاده از روغن). پرس‌های بادی از فشار باد استفاده

2000 For All

می‌کنند و فشار باز حداکثر $10-15^{atm}$ است و نیروی حاصل $(P \times A)$ کم خواهد بود. اما پرس هیدرولیک فشارهای بسیار بالاتر اعمال می‌کند و نیرو نیز زیاد خواهد بود و تراکم مناسب‌تر خواهد بود. سیلان ماسه باید خوب باشد تا بتواند متراکم شود. در نتیجه نوع بنتونیت و افزودنی باید سیلان کافی را به ماسه دهد. پس سیلان ماسه از حالت Jolt - squeez باید بیشتر باشد. با یک مرحله پرس، قالب تهیه می‌شود و بقیه مراحل شبیه روش قبلی است.



در این روش به یک ماشین نیاز داریم. بعد از پرس لنگه اول، ماشین 180° چرخیده و پرس لنگه دوم را نیز انجام می‌دهد.

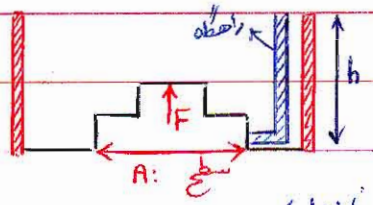
با استفاده از اسپری سطح مدل از مواد جداکننده، مدل راحت‌تر از قالب جدا می‌شود.

بنابراین شیب مدل را می‌توان کمتر در نظر گرفت تا دقت ابعادی بیشتر شود.

سرعت عملیات قالب‌گیری در این روش بالاست و این روش علی‌رغم هزینه اولیه بالا، جایگزین روش Jolt - Squeez شده است. چون سرعت تولید بالا، دقت ابعادی زیاد و صدا کمتر است.

چون سرعت قالب‌گیری بالاست، فرصت کافی نداریم تا وزنه‌ها را از روی درجه برداریم. در نتیجه از وزنه‌های ضخیم‌تر برای ساخت درجه استفاده می‌کنیم تا وزن درجه‌ها، کار وزنه را انجام دهد. وزن زیاد درجه جلوی فشار مذاب $(\rho g h)$ را می‌گیرد.

نیرویی که می‌خواهد دو سطح را از هم جدا کند = فشار × سطح مدل. اگر این نیرو از وزن درجه بیشتر باشد، مذاب از درز درجه بیرون خواهد زد.



F: نیروی وارد بر درجه بالایی که می‌خواهد صفحه را جدا کند.

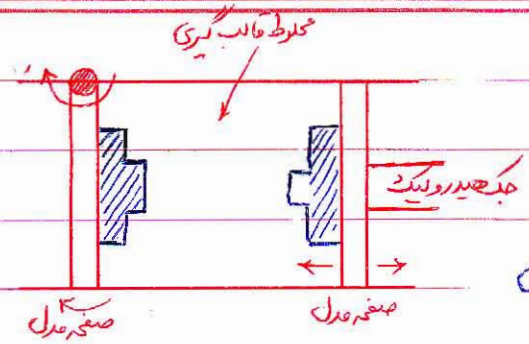
قطعاتی که به صورت صفحه‌ای شکل هستند، به وزنه بیشتری نیاز داریم چون سطح بیشتری را داشته و نیروی بیشتری اعمال می‌کند.

روش دیزاماتیک: (Disamatic)

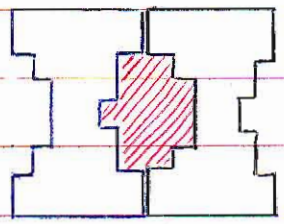
در این روش صفحه مدل برخلاف روش‌های قبلی که به صورت افقی بود، سطح جدایش عمودی است و یک جک به صورت افقی داریم. (مشابه ریخته‌گری تحت فشار)

فضای بین دو سطح را از مخلوط پر می‌کنیم و مخلوط بین دو سطح مدل، پرس می‌شود و تراکم ایجاد می‌شود.

2000 For All



بعد از تراکم، نیروی جک متوقف شده و صفحه مدل اومی تواند آن می کند و خارج می شود. محصول بصورت بلوک ماسه ای است. چندین بلوک کنار هم قرار می گیرد و بعد ذوب ریزی انجام می شود:



در اینجا دیگر درجه نداریم. وقتی بلوک دوم کنار بلوک اول قرار می گیرد، عملاً مخلوط قالب تهیه می شود.

برای تولید 50 قطعه، 51 بلوک نیاز داریم. عملیات مربوط به ماسه ریزی و پرس تحت فشار بالا است. در فشار بالا، زمانی برای درجه گذاری نیاز داریم اما در این روش درجه نداریم. در روش های قبلی برای تولید هر قطعه، دو قالب و دو درجه و دو بار عمل پرس لازم داشتیم ولی در این روش با دو برابر ظرفیت تولید، برای هر قطعه در واقع یک بلوک لازم داریم.

تفاوت عمده: در این روش درجه نداریم. قالب برای اینکه استحکام لازم را داشته باشد، به چسب خیلی خوبی نیاز داریم. در این روش بنتونیت کلسیمی مناسب نبوده و با تعویض یونی، بنتونیت سدیمی تولید کرده و به کار می بریم. کیفیت ماسه هم باید بالاتر باشد. فشار مذاب را قالب ماسه ای تحمل می کند در نتیجه به حجم ماسه بیشتری نیاز داریم و ضخامت ماسه 50^{mm} / $1-2^{in}$ کافی نخواهد بود. ضخامت ماسه، 3 تا 4 برابر روش قبلی است که درجه داشتیم. پس ماسه مصرفی زیاد خواهد بود. البته پس از قرارگیری بلوک ها کنار هم، مجموعه از دو طرف توسط جک هیدرولیکی پرس می شود تا مذاب از درز خارج نشود. سطح جدایش عمودی است و وزنه گذاری هم جواب نمی دهد. بعد از انجام یک پارامتر مثبت داریم:

چون درجه نداریم استحکام باتیانده کم است و راحت خرد می شود. وقتی روی shaker قرار می گیرد با لرزش کم، ماسه می ریزد.

هزینه های جابجائی وزنه، درجه و ساخت درجه را هم نداریم اما به مخلوط کیفیت بالا نیاز داریم. ابعاد قطعات تولیدی با این روش کوچکتر از روش های قبلی است چون قطعات بزرگ، فشار مذاب بیشتری به قالب وارد می کنند. صفحه مدل در ایران 80×80^{cm} است. در روش های ماشینی، قابلیت تولید قطعات چند صد تنی وجود ندارد و از روش نیمه دستی برای تولید این قطعات استفاده می شود.

2000 For All

قالب گیری قطعات سنگین:

در این مورد دیگر امکان استفاده از روش های ماشینی وجود ندارد. قطعات سنگین منظور قطعاتی با وزن مثلاً 120 ton است. در این مورد از دست استفاده می شود عمدتاً منتها برای سادگی کار، از ماشین هم استفاده می شود.

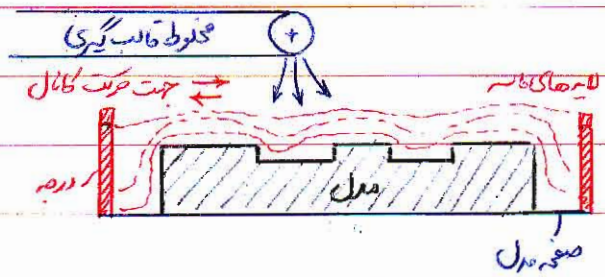
برای قطعاتی که محور تقارن دارند، از روش شابلون استفاده می کنیم: مثل تولید رینگ. اساس این روش بر این مبناست که ماسه در گودال ماسه، متراکم می شود. یک بازو در قسمت مرکز گودال بصورت عمودی نصب می شود. این بازو یا محور خود یک بازوی دیگر دارد. این بازو یک شابلون یا مدل دارد به عرض محصول. این شابلون امکان دوران حول محور را دارد. وقتی کف ماسه بصورت متراکم درآمد، شابلون به فاصله مورد نظر قطعه از محور فاصله می گیرد. با برداشت برداری ماسه، فضای خالی قالب ایجاد می شود.

دیواره شابلون در تماس با ماسه متراکم می تواند انحنا هم داشته باشد تا محصول هم انحنا داشته باشد.

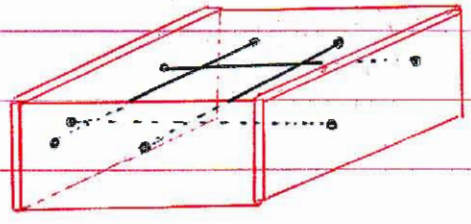
در هر صورت قطعاتی که محور تقارن دارند، با این روش تولید می شوند. دقت ابعادی در این روش از روش های ماشینی کمتر است اما چون قطعه بزرگ است، مذاب زمان زیادی در مجاورت قالب بوده و برای از بین بردن این اثرات باید از ماشینکاری استفاده کرد و دقت ابعادی نیز از این طریق حاصل می شود.

روش دیگر: قالب گیری توسط ماسه پاشی (Sand Slinger):

مدل روی صفحه مدل قرار می گیرد و درجه ها در اطراف قرار گرفته و مخلوط قالب گیری توسط یک کانال که در انتها یک پروانه دارد، با سرعت زیاد خارج می شود و روی سطح مدل پاشیده می شود.



مخلوط با حجم کم، سرعت زیاد و بطور مداوم پاشیده می‌شود. درحالت دستی یکبری کوبه داریم چون در این جا امکان لرزش وجود ندارد. تراکم ماسه توسط سرعت زیاد ایجاد شده و وقتی کانال بصورت یکنواخت حرکت می‌کند، تراکم یکنواخت خواهیم داشت چون دبی خروج ماسه هم ثابت است. تراکم لایه‌های مختلف یکسان است. وقتی درجه پر شد، توسط جرثقیل مثل روش‌های دیگر برمی‌گردد و بعد صفحه مدل و مدل خارج می‌شود. چون درجه سنگین است، احتمال فرو رفتن درجه وجود دارد توسط گشتاور نیروی وزن. درنتیجه امکان شکسته شدن ماسه درون درجه وجود دارد. درنتیجه درجه برای قطعات سنگین از یک frame تقویت کننده که با جوشکاری به درجه وصل شده است، تشکیل شده است. بدین ترتیب درجه دیگر تاب برنمی‌دارد. قطعه تولیدی بزرگ است پس طول درجه زیاد بوده و گشتاور نیز بزرگ می‌باشد و احتمال تاب برداشتن وجود دارد.

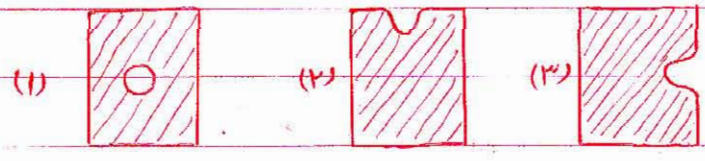


این شبکه فراهم تراکم ماسه نمی‌شود و با راهگاه تلاقی ندارد. با مدل هم برخورد نمی‌کند.

ماسه در داخل این شبکه متراکم می‌شود و این شبکه به درجه استحکام می‌دهد (مثل بتن مسلح)

در این روش سایش مدل بسیار زیاد است چون ماسه به سرعت می‌آید و ذرات سیلیس ساینده اند.

برای اینکه مذاب از درز درجه‌ها بیرون نزند، روی آن وزنه قرار می‌دهند. وقتی سیستم راهگاهی در وسط طراحی شود وزنه بصورت شکل (۱) است. گاهی راهگاه در کنار قالب طراحی می‌شود و وزنه‌ها بصورت شکل (۲) یا (۳) طراحی می‌شوند.



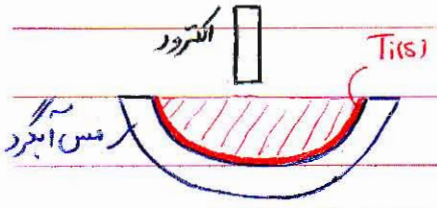
وقتی وزن قطعه زیاد است، زمان انجماد طولانی خواهد بود (حتی ۳ روز)؛ درنتیجه ممکن است مخلوط قالب‌گیری نتواند مقاومت کند درنتیجه در این مواقع، قالب (منظور دیواره قالب یا داخل قالب) از آجر نسوز ساخته می‌شود و روی آن رنگ نسوز می‌زنند. آجرها روی هم چیده می‌شوند و دیواره قالب را می‌سازند. بسته به نوع عناصر موجود در مذاب و درجه حرارت مذاب، ممکن است عناصر داخل مذاب با دیواره واکنش دهند و درنتیجه هم دیواره نسوز تخریب شود و هم ترکیب مذاب. وقتی از آجر نسوز استفاده می‌کنیم، این احتمال کم می‌شود و سطح نهایی هم صاف‌تر می‌شود (کیفیت سطحی خوب).

برای ریخته‌گری Ti چون TiO_2 پایدار است، در هر قالبی که ریخته‌گری کنیم، (قالب‌ها معمولاً حاوی Cr_2O_3 . SiO_2 هستند) چون TiO_2 پایدارترین اکسید است، مثلاً Si وارد مذاب می‌شود و Ti بصورت اکسید در می‌آید.

بهمین دلیل برای ریخته‌گری قطعات سنگین حتی فولادی، از ماسه سیلیسی استفاده نمی‌شود چون Si وارد مذاب می‌شود بخصوص اگر مذاب حاوی عناصری مثل Ti باشد. پس پایداری هر اکسید در دمای ریخته‌گری بسیار مهم است. این مشکل در قطعات سنگین بیشتر است چون زمان انجماد زیاد است.

در مرحله‌ی اول انجماد در ریخته‌گری قطعات سبک، یک پوسته جامد در مجاورت دیواره سرد قالب تشکیل می‌شود و از این به بعد مذاب در مجاورت پوسته است نه قالب. برای قطعات سنگین، مذاب زمان زیادی در مجاورت دیواره قالب است. نوع دیرگداز کوره به مذاب بستگی دارد. مثلاً برای فولاد از دیرگداز منیزیتی استفاده می‌شود. اما برای چدن چون SiO_2 مقاوم است در برابر چدن حاوی Si، از دیرگداز سیلیسی استفاده می‌شود. هیچ دیرگدازی نداریم که بتوان Ti را در آن ذوب کرد چون پایدارترین اکسید را دارد.

Ti را معمولاً در خلأ ذوب می‌کنند که باز هم بدلیل واکنش آن از دیرگداز معمولی نمی‌توان استفاده کرد. برای Ti از یک کوره کاسه‌ای استفاده می‌شود که از شبکه مسی آبگرد تشکیل شده است و Ti تحت تأثیر قوس ایجاد شده توسط الکترود، ذوب می‌شود. ذوب Ti در تماس با قالب مسی آبگرد می‌باشد بنابراین یک لایه نازک از Ti جامد روی دیواره قرار می‌گیرد چون سرعت انتقال حرارت بالاست. دمای ذوب $1600^{\circ}C$ است. این لایه جامد Ti از این به بعد بعنوان دیواره قالب عمل می‌کند.



Skull Melting Furnace

یکی از مراحل ریخته‌گری تهیه مذاب است و برای این کار، کوره نیاز داریم:

کوره‌های ذوب:

کوره باید حرارت مورد نیاز را برای ما فراهم کند تا مشارژ به دمای مورد نظر (T_P) برسد.

$$T_R \rightarrow T_m \rightarrow T_P \quad ; \quad T_P = T_m + 15\text{-}20\%\, T_m$$

2000 For All

دو نوع کوره اصلی داریم:

۱- با سوخت فسیلی: نیاز به ماده‌ای هستیم که با O_2 بسوزد و حرارت ایجاد شده انتقال یابد تا شارژ را ذوب کند.

2- الکتریکی

• تقسیم بندی کوره های فسیلی براساس نوع سوخت

۱- جامد ← براساس تکنیک ها
- کوره زمینی
- کوپل *Coupla F.

۲- مایع ←
- زمینی
- دوار
- تشعشعی

۳- گاز ←
- زمینی
- دوار
- تشعشعی

کوپل: مثل کوره بلند است. در کوره بلند همراه با احیای اکسید آهن عذاب داشتیم اما در اینجا قراضه داریم.

• تقسیم بندی کوره الکتریکی بر مبنای نوع انرژی الکتریکی

۱- مقاومتی: در سر راه جریان مقاومت قرار می دهیم.

2- القایی: با استفاده از جریان فوکو، روی شارژ جریان القا می کنیم.

3- قوس الکتریکی: با استفاده از قوس و استفاده از انرژی آن.

کوره های الکتریکی مقاومتی براساس نوع مقاومت تقسیم بندی می شوند:
- فلزی
- SiC
- گرافیتی

کوره های القایی برحسب نوع ایجاد جریان القایی تقسیم بندی می شوند:
- بدون هسته (Coreless)
- کانالی

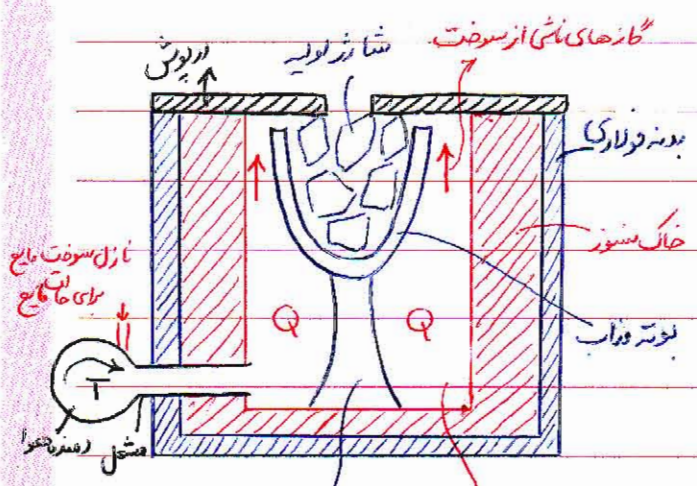
کانالی:
- فرکانس شهر (50Hz)
- متوسط (50-1500Hz)
- بالا (>1500Hz)

میزان فرکانس روی تلاطم مذاب موثر است.

تقسیم بندی کوره‌های قوس:
- مستقیم: قوس بین الکترود و شارژ ایجاد می‌شود.
- غیرمستقیم: دو یا سه الکترود داریم. قوس بین الکترودها ایجاد شده و تشعشع حاصل موجب ذوب می‌شود.

کوره‌های زمینی:

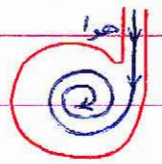
ساده‌ترین نوع کوره‌ها هستند.



وقتی کوره با سوخت جامد داریم، فضای بین بوته و دیواره داخلی، کک و زغال سنگ پخته شده می‌ریزیم و فقط هوای درونی دمیده شده داریم. در نتیجه کک می‌سوزد و حرارت ایجاد می‌شود.

در حالت مایع: گازهای داغ ناشی از واکنش در مشعل، از طریق کنوکسیون حرارت را به بوته انتقال می‌دهند.

محل اتصال مشعل و دیواره کوره، باید حالت مایل شکل داشته باشد تا هوا هنگام ورود به محفظه حالت دورانی داشته باشد و از قسمت بالای کوره خارج شود. اگر خروجی مشعل وسط باشد، ورود گاز موجب افزایش فشار در محل خروج شده و ممکن است پس زده شده و خاموش شود.



گازهای ناشی از سوخت در تماس با سطح مذاب است. برای داشتن راندمان حرارتی بالاتر، از یک دریوش استفاده می‌شود تا گاز داغ از قسمت مرکز بوته خارج شود. اگر مقدار هوا بیش از مقدار لازم برای اشتعال کامل سوخت باشد، هوای اضافه خواهیم داشت، در نتیجه اتمسفر اکسیدی داریم که برای آلیاژهای reactive با O_2، مناسب نخواهد بود چون مذاب از O_2 می‌تواند اشباع شود و یا عناصر آن اکسید شود. اشباع شدن مذاب از O_2 یعنی ایجاد حباب گازی حین انجماد.

اگر کنترل سوخت و هوا طوری باشد که مقدار سوخت از هوای لازم برای اشتعال بیشتر باشد، سوخت ناقص خواهیم داشت و H_2 و CO بجای H_2O و CO_2 داریم و بنابراین محیط احیایی خواهد بود. در نتیجه روی سطح مذاب واکنش اکسیداسیون نداریم اما ممکن است برخی گازها مثل H_2

جذب مذاب شود. اگر درصد سوخت و هوا مطابق با میزان استوکیومتری باشد، اتمسفر خنثی خواهیم داشت.

در شرایط عادی اتمسفر خنثی ایجاد نمی‌شود. با دیدن رنگ شعله ای که از وسط بوته خارج می‌شود، می‌توان نوع شعله یا محیط را فهمید. رنگ شعله شفاف ← اتمسفر اکسیدی

رنگ شعله تیره ← اتمسفر احیایی (تیره و مخشوش)

راندمان در شرایط خوب 8-10٪ است و بقیه حرارت توسط گازهای ناشی از سوخت خارج می‌شود.

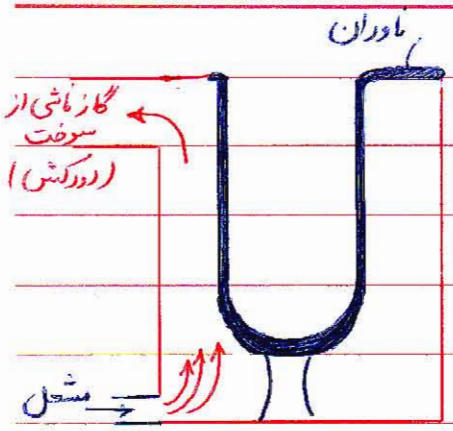
برای کنترل ذوب و شرایط اتمسفری، یک درپوش روی بوته قرار می‌دهند تا در تماس با محیط بیرون نباشد در نتیجه بخش زیادی از واکنش های گاز و مذاب انجام نمی‌شود و مذاب تمیزتر خواهد بود اما امکان دسترسی به مذاب حین ذوب کم می‌شود. (برای اضافه کردن عناصر آلیاژی، نمونه برداری و ... باید کوره را خاموش کرد). وقتی درپوش نباشد، بخش زیادی از حرارت توسط گازهای داغ ناشی از سوخت به شارژ منتقل می‌شود در نتیجه راندمان وقتی از درپوش استفاده می‌کنیم کم خواهد شد (انتقال حرارت کمتر).

وقتی از درپوش استفاده می‌کنیم، بوته توسط شارژ پر می‌شود و بین شارژ فضای خالی وجود دارد و حجم مذاب کمتر خواهد شد. اگر درپوش نباشد، موقعی که شارژ قرار می‌گیرد، بخشی از شارژ از بالای بوته خارج می‌شود:

گازهای ناشی از سوخت، قسمت بالای بوته را گرم می‌کند و انتقال حرارت سریع‌تر می‌شود. در نتیجه بوته کاملاً پر می‌شود و از تمام حجم بوته استفاده می‌شود. در نتیجه راندمان ذوب زیاد می‌شود اما کیفیت متالورژیکی کاهش می‌یابد.

کوره های زمینی از یک نظر مناسب هستند: جنس بوته $SiC + G$. در مقابل اکثر فلزات و آلیاژها خنثی است و در نتیجه کیفیت متالورژیکی بالایی دارد چون واکنشی بین مذاب و بوته نداریم. برای خروج مذاب با انبر باید بوته را خارج کرد در نتیجه بصورت صنعتی استفاده نمی‌شود چون بالاخره بوته باید از کوره خارج شود. نهایتاً وزن مذاب تولیدی 200kg است. برای تولید کم، کیفیت مذاب خوب است.

گاهی برای آلیاژهای با T_m کم، چون هم T_m پایین است و هم اینکه فلزاتی مثل Cu و Al با O_2 واکنش می‌دهند، اکسید نشوند، کوره بصورت زیر طراحی می‌شود:



در اینصورت تماس گاز ناشی از سوخت با سطح مذاب نداریم و در تمام مدت روشن بودن کوره، گاز از کنار خارج می‌شود. در نتیجه دسترسی به مذاب را داریم (در تمام مدت). اما راندمان کمتری داریم نسبت به حالت قبل. اما چون برای آلیاژهای Cu و Al، Tm کم است، راندمان مناسب خواهد بود.

در اینجا بوته خارج نمی‌شود. برای خروج مذاب، اگر قطعه وزن کم داشته باشد، مذاب با ملاقه برداشته می‌شود. اما اگر وزن زیاد باشد و به پاتیل نیاز باشد، با خم شدن کوره، مذاب از بوته خارج می‌شود. (بوته ثابت است)

در نتیجه وزن بوته حجم می‌تواند بیشتر باشد (تا حجم 500kg)

بوته در این حالت یک ناودان دارد تا وقتی مذاب آماده شد، با خم شدن بوته، مذاب خارج شود.

این کوره هم با سوخت مایع و هم گاز کار می‌کند. سوخت مایع حرارت بیشتری ایجاد می‌کند و برای چدن بکار می‌رود. برای Cu و Al سوخت گاز هم استفاده می‌شود.

برای آلیاژهای Co و ... که Tm بالایی دارند، زمان ذوب زیاد می‌شود و صرفه اقتصادی ندارد و شارژ زمان زیادی بصورت سرخ در می‌آید که مناسب نیست. چون حجم مذاب کم است در صنعت به کار نمی‌آید.

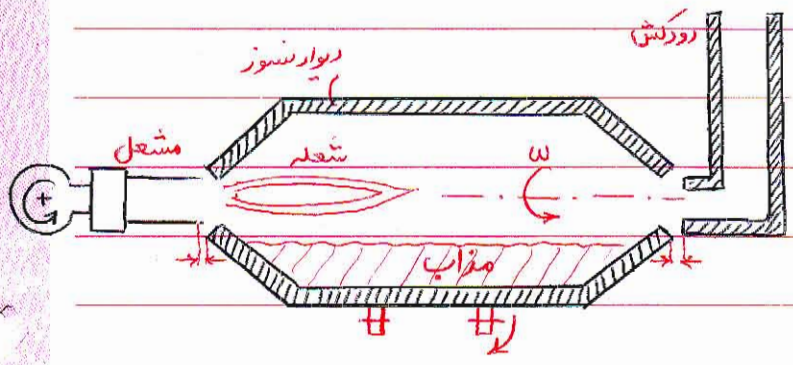
برای بردن قطعات روی خط تولید، از سری صفر استفاده می‌شود که کوره زمینی مناسب است و می‌توان با آن 6-5 قالب را ریخت و آنها را تست کرد و اگر مناسب بود، برای تیراژ بالاتر از کوره‌های با حجم بالاتر استفاده می‌کنیم.

برای فولادها، از این کوره‌ها نمی‌توان استفاده کرد و نهایتاً برای چدن مناسب است.

کوره دوار (Rotary Furnace) :

از دیگر کوره هایی است که با سوخت فسیلی کار می کند.

از یک استوانه فلزی که دو طرف آن مخروط ناقص نصب شده است، تشکیل شده است. یک طرف مشعل و طرف دیگر دورکش وجود دارد برای انتقال گازهای ناشی از سوخت.



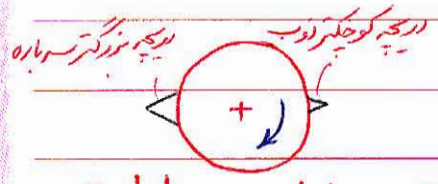
مطابق کوره قبلی، داخل بدنه فلزی، خاک نسوز کوبیده شده است. کل کوره روی چندین غلتک قرار گرفته طوری که به آرامی حول محور استوانه ای می تواند دوران کند (با روشن شدن کوره). پس مشعل و دورکش از استوانه کمی فاصله دارند تا همراه استوانه دوران نکنند. دورکش بصورت کشویی یا بازویی می تواند کنار برود و دسترسی به مذاب داشته باشیم. اضافه کردن شارژ و قراضه و... فقط از قسمت دورکش است و با کنار رفتن آن. مشعل از یک دمنده و یک نازل سوخت (مخلوط کردن سوخت با هوا) تشکیل شده است.

در ابتدا کوره ساکن است و شعله موازی سطح جامد است. بخشی از حرارت از تشعشع و بخشی توسط گازهای ناشی از سوخت به شارژ منتقل می شود. تشعشع شعله تمام دیواره کوره را گرم می کند (در قسمت بالای شارژ) وقتی در این حالت کوره ساکن است، دمای نسوز زیر شارژ خیلی کمتر از دیواره نسوز بالای شارژ است؛ چون گرما جذب شارژ شده و به این قسمت حرارت نمی رسد. موقعی که شارژ بصورت خمیری درآمد، دوران کوره شروع می شود و در نتیجه دیواره ای که قبلاً در قسمت بالا بوده و بسیار داغ است (بدلیل تشعشع) کم کم به زیر شارژ می آید و این بهتر از حالت اولی یعنی نسوز سرد زیر شارژ است.

در نتیجه عمل دوران، علاوه بر حرارت از طریق تشعشع، حرارت از طریق هدایت کوره داغ به شارژ نیز صورت می گیرد چون در حال دوران کوره روشن است. در نتیجه بخش زیادی از حرارت که در دیواره بوده، به مذاب انتقال می یابد. وقتی دیواره کوره، حرارت را به مذاب می دهد، افت دمایی پیدا کرده و عمر دیواره کوره از این جهت زیاد می شود. پس هم راندمان ذوب خوب است و هم عمر نسوز.

وقتی مذاب به T_p (دمای ریختن) رسید یعنی فوق گداز مناسب، دوران متوقف شده

و کوره خاموش می‌شود. در قسمت وسط کوره، دو دریچه وجود دارد. (یکی جلوی کوره و دیگری پشت و روی بدنه کوره). در ابتدای کار، این دریچه بسته است تا حین دوران ذوب خارج نشود. بعد از توقف باز می‌شود و چون در مرکز استوانه است، بالاتر از سطح مذاب قرار می‌گیرد. (سطح مذاب تا $\frac{1}{3}$ ارتفاع استوانه است). با دوران، دریچه کوچکتر زیر کوره قرار می‌گیرد و مذاب با دوران کوره خارج می‌شود. پاتیل مذاب زیر دریچه قرار دارد.



قبل از تخلیه مذاب، دریچه پشتی که بزرگتر است باز می‌شود و کوره در جهت عکس دوران کرده تا به سطح مذاب برسد. روی مذاب عدتاً سرباره وجود دارد. دوران آنقدر ادامه می‌یابد تا دریچه

خروج سرباره هم سطح با مذاب شود. وقتی سرباره تمام شد و کم کم مذاب داشت خارج می‌شد، دوران کوره متوقف شده و در جهت عکس دوران می‌کند تا مذاب از دریچه کوچکتر خارج شود.
سیلان سرباره کمتر است و به همین دلیل دریچه آن بزرگتر است.

بعد از تخلیه کوره، مجدداً کوره افقی شده و دریچه‌ها با خاک نسوز بسته می‌شود و شارژ از قسمت دورکش (با کنار رفتن دورکش) وارد کوره می‌شود. دورکش سر جای خود برمی‌گردد و مشابه مراحل قبل.
چون در این کوره، شارژ در تماس با گازهای ناشی از احتراق است، برای مذاب‌هایی استفاده می‌شود که نسبت به اکسیداسیون و جذب گاز حساس نباشند. این کوره برای آلیاژهای غیرآهنی مثل Cu، Al استفاده نمی‌شود چون نسبت به جذب گاز و اکسیداسیون حساس اند.
با توجه به اینکه مذاب در کوره استوانه‌ای قرار گرفته است، سطح مذاب نسبت به حجم مذاب زیاد است. از یک جهت خوب است: سطح حرارت شعله را دریافت می‌کند و در نتیجه راندمان انتقال حرارت خوب است. اما از جهتی همین سطح در تماس با گاز است.
حرارت از سوخت فسیلی ناشی می‌شود. در نتیجه دمای آن خیلی بالا نیست و فقط برای چدن استفاده می‌شود. برای فولاد هم مناسب نیست. چدن ترکیب یوتکتیک دارد تا T_m کم باشد.
برای چدن $T_p = 1400^{\circ}C$ مناسب است. برای فولاد $T_m \sim 1550^{\circ}C$ و $T_p = 1650^{\circ}C$ است. چدن بدلیل درصد زیاد C، Si حساسیت کمتری به جذب گاز و اکسیداسیون دارند و در نتیجه اتمسفر روی مذاب تأثیر نمی‌گذارد.

اگر شعله مستقیماً به سطح شارژ بخورد، بخش زیادی از مذاب اکسید می‌شود و راندمان ذوب کم می‌شود. در نتیجه شعله کاملاً موازی با سطح مذاب است تا انتقال حرارت از طریق تشعشع و کنوکسیون باشد. بخش زیادی از حرارت از دودکش خارج می‌شود (گازهای ناشی از سوخت) و در نتیجه راندمان حرارت کمتر است. البته راندمان حرارتی از کوره زمینی بیشتر است. برای افزایش راندمان، روی بدنه دودکش مبدل حرارتی می‌سازند.

مبدل، گاز ورودی به کوره را گرم می‌کند و هوای ورودی تا $300^{\circ}C$ پیش گرم می‌شود. در نتیجه:

1 ـ دمای شعله بالاتر می‌رود. 2 ـ میزان مصرف سوخت فسیلی کمتر می‌شود.

3 ـ زمان ذوب کوتاه‌تر می‌شود و شارژ زمان کمتری در تماس با اتمسفر بوده و کیفیت متالورژیکی بالا می‌رود.

محدودیت‌ها:

1) min وزن محدود است و زیر 500kg ذوب این کوره استفاده نمی‌شود چون طول استوانه کوچک شده و برای شعله مشکل ایجاد می‌شود. برای چند تن مذاب مناسب است.

2) فقط برای چدن استفاده می‌شود.

3) عدم دسترسی به سطح مذاب. باید مشعل خاموش شده و دودکش کنار رود تا دسترسی به سطح مذاب فراهم شود.

4) امکان هم‌زدن مذاب وجود ندارد و آلیاژسازی مشکل می‌شود.

اما این روش قیمت اولیه کمتری دارد.

مهم‌ترین عنصری که ابتدا بدلیل شعله و حرارت ممکن است بسوزد، کربن است. برای جبران آن به مذاب کربن بصورت گرافیت می‌دهیم. وزن مخصوص گرافیت یا کک از مذاب کمتر است و بنابراین با افزودن گرافیت، روی سطح مذاب باقی می‌ماند و چون در آن دما ذوب نمی‌شود، باید جذب کربن در حالت جامد صورت گیرد. گرافیت با هوا واکنش داده و CO تولید می‌شود و جذب کربن کم می‌شود.

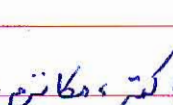
2000 For All

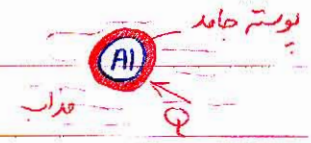
شارژ باید ترکیب خروجی را داشته باشد چون امکان آلیاژسازی فراهم نیست.

برای آلیاژسازی، عنصر آلیاژی را بطور خالص اضافه نمی کنیم چون گران است؛ بلکه:
اگر Si کم داریم، فرو آلیاژ Si (25%Fe, 75%Si) ، اگر Cr کم داریم، فرو آلیاژ Cr (60-70%Cr)
و برای Mn هم فرو آلیاژ Mn . در واقع آلیاژ پایه آهنی آن فلز را اضافه می کنیم.
در حالت فرو آلیاژ، قابلیت انحلال نیز نسبت به حالت خالص بیشتر است؛ ارزان تر نیز می باشد.

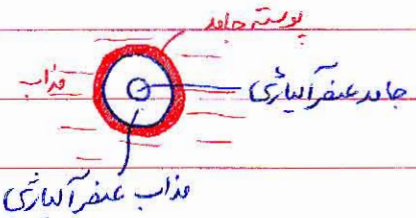
بسته به اینکه نقطه ذوب عنصر آلیاژی از دمای ذوب بیشتر است یا کمتر، مکانیزم حلالیت عنصر آلیاژی متفاوت است:

1) مثلاً اگر چدن داشته باشیم و بخواهیم Al اضافه کنیم: $T_{m(Al)} = 780^{\circ}C$ $T_{\text{ذوب}} = 1450^{\circ}C$

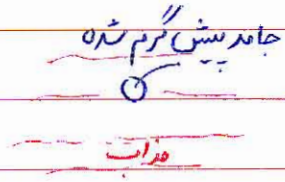
الف) $t = 0\ (sec)$ 

ب) $t = t_1$ 

حرارت زیادی از مذاب جذب می کند. مقدار حرارت به نفوذ حرارتی آلیاژ بستگی دارد. پوسته جامد از فلز اصلی یا مذاب، روی عنصر آلیاژی تشکیل می شود بدلیل افت دمایی.

ج) $t = t_2$ 

Q ممکن است به حدی برسد که عنصر آلیاژی را ذوب کند. اما پوسته جامد هنوز ذوب نشده است چون دمای کوره هنوز به $1400^{\circ}C$ نرسیده است.

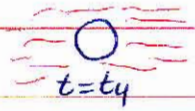
د) $t = t_3$ 

هـ) $t = t_4$: عنصر آلیاژی حل می شود.

2) اگر عنصر آلیاژی، نقطه ذوب بیشتری از دمای مذاب داشته باشد مثل افزودن Cu به مذاب Al یا گرافیت به چدن.

مشابه حالت اول:

در $t=t_2$ ، عنصر آلیاژی، Q بیشتری گرفته است چون T_m بالایی دارد و پوسته ضخیم شده است. در $t=t_3$ عنصر آلیاژی از حرارت اشباع شده است و دوباره پوسته نازک می‌شود. در $t=t_4$ عنصر آلیاژی را در مذاب داریم.



$t=t_4$

از این به بعد، حلالیت شروع می‌شود. در حالت اول تا زمان t_2 حلالیت نداشتیم چون پوسته روی عنصر ایجاد شده بود و با آنالیز کردن مذاب، اثری از عنصر آلیاژی نمی‌بینیم. در t_3 به مقدار کمتری تغییر در ترکیب می‌بینیم و در $t=t_4$ عنصر آلیاژی به مقدار اضافه شده، در مذاب حل شده است.

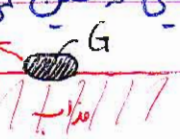
در حالت دوم: تا t_4 تغییری در ترکیب نمی‌بینیم. در این حالت، مکانیزم حلالیت بر مبنای دیفوزیون اتم‌های عنصر آلیاژی به سطح و بعد به ذوب است. وقتی عنصر آلیاژی به بیرون آمد، غلظت عنصر در مذاب بالا می‌رود و انحلال کم می‌شود چون اشباع شده است و تلاطمی هم نداشته‌ایم. در نتیجه حلالیت متوقف می‌شود.

مثال. به مذاب فولاد با $C=1\%$ ، گرافیت اضافه می‌کنیم تا به $C=3.5\%$ برسد. مذاب اطراف G ، به $C=4\%$ می‌رسد. در نتیجه به اشباع رسیده‌ایم (حد حلالیت C در چدن) و سرعت حلالیت کم می‌شود. در نتیجه باید مذاب تلاطم داشته باشد تا لایه غلیظ در مذاب پراکنده شود و انحلال ادامه یابد. پس در حالت دوم، باید تلاطم در مذاب داشته باشیم.

عامل دیگر، دمای مذاب است. هر چه T_p بالاتر باشد، حلالیت بیشتر می‌شود. هر چه ابعاد ذره کوچک‌تر باشد، حلالیت بیشتر است چون Q کمتری می‌گیرد و پوسته نازک‌تر است.

در کوره دوار که تلاطم نداریم، افزودن عنصر آلیاژی با T_m بالاتر از T_p $(T_m > T_p)$ با مشکل حلالیت مواجه هستیم. سرعت دوران کوره $1 \frac{\text{دور}}{\text{دقیقه}}$ است و مذاب کاملاً ساکن بوده و کوره به آرامی از زیر مذاب دوران می‌کند.

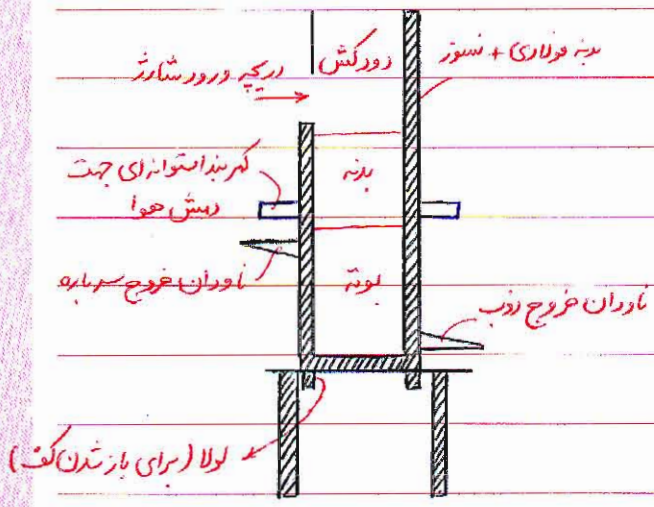
گرافیت با چگالی کمتر روی مذاب قرار می‌گیرد و در نتیجه کربن اکسید شده و بصورت CO در می‌آید. بخشی از عنصر که در تماس با مذاب است، می‌تواند کربن به مذاب دهد و مذاب اطراف ذره نیز وزن مخصوص کمتری از مذاب اولیه دارد و سر جای خود می‌ماند (یعنی ته‌نشین نمی‌شود) و تلاطم هم نداریم و حلالیت متوقف می‌شود.



مگر اینکه اتم‌های کربن در حالت طبیعی از غلظت زیاد به کم نفوذ کنند که این هم زمان بر است. با اکسیداسیون، G از بین می‌رود.

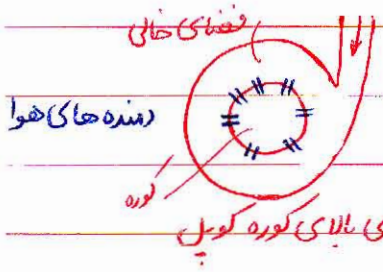
مشابه همین برای عناصر آلیاژی با وزن مخصوص کمتر و Tm بالاتر داریم. این مورد مهم‌ترین محدودیت کوره دوار است. پس ماده اولیه یا شارژ باید همان ترکیب نهایی را داشته باشد. مثلاً در یک کوره دیگر آلیاژ سازی می‌کنیم و در این کوره ذوب را فراهم می‌کنیم و یا استفاده از کوره‌های دیگر.

کوره کوپل:

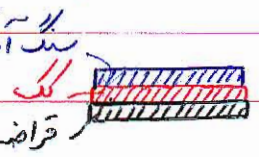


از دیگر کوره‌هایی است با سوخت فسیلی جامد. سه منطقه دارد: بوته، بدنه اصلی، دورکش. ناودان خروج سرباره، بالای بوته قرار دارد. کف بوته کمی شیب به سمت دریچه مذاب دارد تا مذاب کاملاً تخلیه شود.

سوخت کوره کک جامد است. با سوختن کک حرارت لازم فراهم می‌شود. در ابتدا کک در داخل کوره ریخته می‌شود تا به بالای دمنده‌های هوا برسد.



تعداد دمنده‌ها تا 16 هم می‌رسد. بستر کک وظیفه نگهداری شارژ بالای خود را دارد. شارژ بصورت لایه لایه از قراضه، کک و سنگ آهک تشکیل شده است.



شارژ کوره: ارتفاع شارژ دوری تا دریچه ورود شارژ می‌رسد.

وظیفه سنگ آهک تصفیه مذاب و افزایش سیلان (سیالیت) سرباره است. وقتی به کک هوا دمیده شد و مشتعل شد، واکنش سوختن کک، هوای گرم لازم (حرارت لازم) را ایجاد می‌کند. گازهای ناشی از سوخت از لابه‌لای لایه‌های شارژ بالایی خارج می‌شود. از بالا هم بطور مداوم شارژ اضافه می‌شود. در واقع کوره کوپل مداوم است و زمان شارژ و تخلیه را نداریم.

همانند کوره بلند، گاز در جهت عکس شارژ حرکت می کند. گازها از دورکش خارج می شود و هم چنین در مسیر خود شارژ را پیش گرم می کند. بطوری که وقتی شارژ به قسمت دمنده ها می رسد، ذوب می شود.
max دما در جلوی دمنده هاست. قطرات مذاب از لابه لای کک در قسمت بوته می گذرد و فضای خالی بین ذرات بوته را ذوب پر می کند. این عمل ادامه می یابد تا سطح سرباره به دریچه سرباره برسد. پاتیل های سرباره و مذاب زیر ناودان قرار دارند. اولین قطره از مذاب که از ناودان سرباره خارج شد، ناودان مذاب باز می شود و مذاب تخلیه می شود. دوباره دریچه بسته می شود و همین مراحل تکرار می شود.
مذاب در تماس با کک است و برای ذوب چدن استفاده می شود (نه فولاد) چون فولاد کربن جذب می کند.
غیر آهنی ها هم استفاده نمی شود چون در اثر گازهای خروجی، اکسید می شوند. برخلاف کوره بلند گاز احیایی نداریم.

ارتفاع بستر کک:

اگر ارتفاع بستر کک کم باشد، شارژ جامد به قسمت دمنده می رسد و قبل از اینکه هوا به کک بخورد به شارژ خورده و آن را اکسید می کند.
اگر زیاد باشد، از منطقه ی گرم فاصله می گیرد و شارژ مدت زمان زیادی بصورت سرخ در می آید و شارژ دچار اکسیداسیون می شود.
ارتفاع بستر کک مهم ترین عامل کنترل کننده کیفیت ذوب است.
کک در بستر باید استحکام زیادی داشته باشد تا خرد نشود (وزن لایه های شارژ را تحمل کند). هم چنین باید پایداری حرارتی بالایی داشته باشد. کک بصورت مداوم همراه شارژ تزریق می شود و باید درست برابر مقدار ککی باشد که سوخته و از بین رفته است. بدین ترتیب ارتفاع کک بستر ثابت خواهد ماند وگرنه ارتفاع تغییر خواهد کرد. از روی رنگ سرباره می توان نوع محیط را فهمید.
معمولاً کوره کوپل تا وقتی که به تعمیر نیاز ندارد، روشن است. برای شروع به کار، اگر کک سرد بریزیم، واکنش انجام نمی شود. بدین منظور در قسمت بوته یک مقدار چوب می ریزیم و فقط کک ریخته می شود (نه شارژ).
حرارت سوختن چوب، کک را گرم می کند و وقتی به دمای واکنش کک رسید، هوا دمیده می شود تا شعله ایجاد کند.
برای خاتمه کار، شارژ متوقف می شود. تا زمانی که تمام آهک و شارژ از بین برود و فقط کک می ماند که در بستر ریخته شده بود. سپس دمنده های هوا خاموش شده و دریچه زیر استوانه (کوره) باز شده و کک در اثر وزن خود خارج می شود.

2000 For All

مزایای اصلی:

ذوب ارزان در می آید چون سوخت هوا + کک است. ذوب بصورت مداوم تولید می شود و حجم مذاب زیادی می توان بدست آورد.

محدودیت:

فقط برای چدن ها استفاده می شود. حتی در مقایسه با کوره دوار، دسترسی به مذاب کمتر است. در نتیجه کنترل ترکیب و آلیاژسازی امکان ندارد. بنابراین حین خروج از کوره (داخل پاتیل) آلیاژسازی می کنیم منتها برای عناصر آلیاژی که Tm کمتر از دمای مذاب دارند. مذاب دائماً در تماس با کک است در نتیجه جذب کربن دارد. (مذاب اشباع از کربن داریم: ٪۴)

مذاب کوره کوپل داخل کوره الکتریکی القایی تخلیه می شود و در آنجا تصفیه و آلیاژسازی انجام می شود. در این کوره فقط تهیه ذوب صورت می گیرد.

مذاب داخل بوته بیش از یک حدی نمی تواند فوق گداز شود چون فقط در قسمت دمنده ها سوخت صورت می گیرد و مذاب توسط تشعشع آن قسمت گرم می شود. از این جهت برای تولید قطعات سنگین می تواند مستقیماً استفاده شود که فوق گداز زیادی نیاز ندارد.

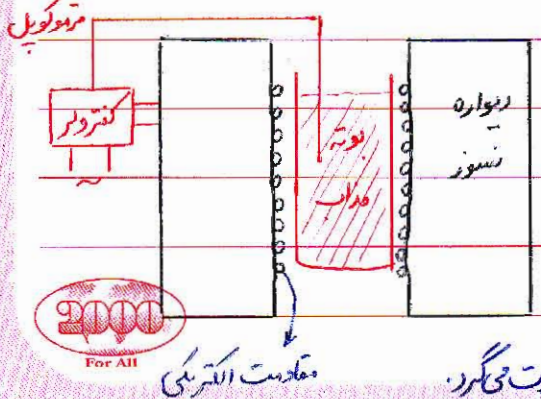
۸۷/۸/۱۴

کوره های الکتریکی:

برای تولید حرارت از انرژی الکتریکی استفاده می کنیم. انواع کوره های الکتریکی:
- مقاومتی
- القایی
- قوس الکتریکی

- کوره های مقاومتی:

بر مبنای مقاومت که در یک محفظه یا داخل کوره می تواند باشد، حرارت تولید می کند. این نوع کوره ها که از مقاومت فلزی استفاده می کنند، برای ذوب آلیاژهای با Tm کم (Al، Cu و ...) بیشتر استفاده می شود. بخش زیادی از انرژی الکتریکی تلف می شود یعنی راندمان انرژی حرارتی کم است. این نوع کوره ها بیشتر برای نگهداری فلز مذاب استفاده می شود. یعنی ذوب در کوره دیگر تهیه می شود. ذوب در بوته ریخته شده و یکسان سازی دما صورت می گیرد.



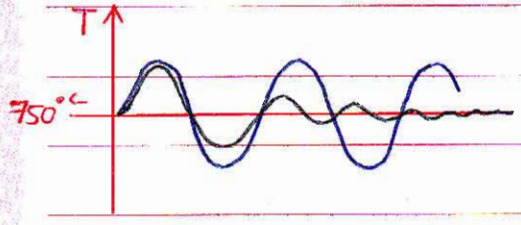
بوته مذاب : اکسیداسیون و جذب گاز ↓ ← سطح کم و عمق زیاد ← $\frac{H}{D} > 2$

مزیت این کوره ها: کنترل راحت تر دما؛ چون دما با تغییر ولتاژ و جریان به سادگی تنظیم می شود. این کار را کنترولر انجام می دهد.

در ریخته گری تحت فشار (die casting) ، در کنار دستگاه یک کوره برای نگهداری مذاب نیاز داریم. با کنترولر دمای کوره را روی مقدار ثابت، تنظیم می کنیم و دمای مذاب در تمام قطعات تولیدی یکسان خواهد بود.

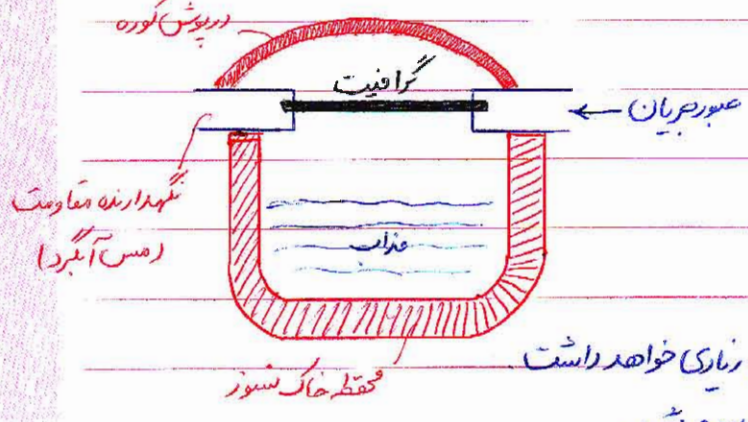
این کوره ها برای آلیاژهای Tm بالا (بیش از $1200^{\circ}C$) نمی تواند بطور مداوم کار کند؛ چون خود مقاومت تحمل نخواهد کرد.

وقتی دما به حد مطلوب رسید، جریان خاموش شده تا دما بالاتر نرود و بعد از افت دما، جریان دوباره وصل می شود تا کوره روشن شود.



وقتی جریان وصل است، حداکثر توان را داریم و وقتی به حد min رسید، دوباره جریان وصل می شود. در واقع دمای ثابت نخواهیم داشت. برخی کنترولرها که گران ترند، بصورت میرایی کار می کنند یعنی دامنه ی هر سیکل، 10٪ کاهش می یابد. در صنعت این کوره ها برای نگهداری مذاب استفاده می شوند.

اگر بخواهیم دمای بالایی در این کوره ها داشته باشیم، از مقاومت گرافیتی استفاده می کنیم؛ حتی برای ذوب فولاد هم کار می کند.



جریان از نگهدارنده مسی می گذرد. با استفاده از ترانسفورماتور، ولتاژ را کم و جریان را زیاد می کنیم تا توان حرارتی بالا رود.

دمای گرافیت به $2800^{\circ}C$ هم می رسد و تشعشع زیادی خواهد داشت.

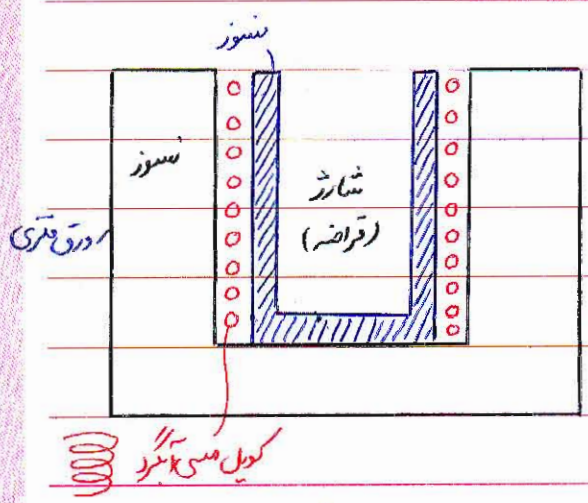
درپوش برای کاهش اتلاف انرژی، استفاده می شود.

در ابتدا در پوش برداشته می‌شود و مقاومت کنار می‌رود و شارژ انجام می‌شود. در جلوی کوره دریچه وجود دارد و با باز شدن و خم شدن کوره، ذوب تخلیه می‌شود. این کوره برای ذوب‌های 100-200kg استفاده می‌شود و برای نمونه‌ریزی است نه تولید صنعتی. بخشی از مقاومت در دمای بالا اکسید شده و در نتیجه محیط احیایی خواهیم داشت و به همین دلیل عناصر آلیاژی در مذاب اکسید نمی‌شوند. انتقال حرارت از طریق تشعشعی است و تلاطم هم نداریم. در نتیجه اکسیداسیون و جذب گاز نخواهیم داشت. اما به دلیل عدم تلاطم، امکان آلیاژسازی وجود ندارد.

در حالت مقاومت فنری، آلیاژسازی و تهیه مذاب در کوره دیگری انجام می‌شود و فقط در این کوره نگهداری می‌کنیم. (همگن سازی دمای مذاب) در این کوره‌ها دسترسی به مذاب داریم و بطور جزئی می‌توان آلیاژسازی کرد و بطور دستی مذاب را هم زد. اما این حالت را در مقاومت گرافیتی نداریم چون بعنوان راندمان بالا، در پوش باید استفاده شود و امکان آلیاژسازی وجود ندارد. در نتیجه شمش و عناصر آلیاژی، از ابتدا اضافه می‌شوند.

تفاوت کوره‌های مقاومتی در جنس مقاومت است. برای دماهای بالاتر، می‌توان از مقاومت سیلیکون کاربایدِ (SiC) استفاده کرد که تا 1800°C مقاومت می‌کند. شکل عمده SiC مقاومت کم در برابر شوک حرارتی است. موقعی که جریان عبور می‌کند، اگر در کوره را باز کنیم، ممکن است مقاومت بشکند. پس باید کوره را خاموش کرد و صبر کرد دما افت کند و بعد در کوره را باز کرد.

اصلی‌ترین کوره‌ها در ریخته‌گری، القایی هستند.



- کوره‌های القایی:

با عبور جریان از کویل مسی، چون بصورت سیم پیچ ساخته شده است، یک جریان ثانویه (فوکو) در مرکز سیم پیچ القا می‌شود. اگر داخل کوره شارژ فلزی داشته باشیم، جریان فوکو عیناً به شارژ القا می‌شود و باعث گرم شدن آن می‌شود. مقاومت‌ها خودشان گرم نمی‌شوند و فقط عبور جریان داریم. پس راندمان انرژی الکتریکی به حرارتی (تبدیل انرژی) بالاست. 80٪ انرژی الکتریکی از شارژ بصورت القایی عبور می‌کند.

2000 For All

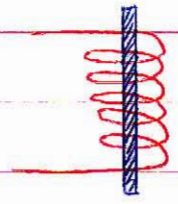
عبور جریان آب از کویل مسی ، برای سرد کردن آن است . بجای میلیری مسی ، لوله مسی استفاده می‌شود و آب داخل آن جریان دارد.

فریت ها : راندمان تبدیل انرژی بالاست . تقریباً محدودیتی از نظر اندازه کوره نداریم. (30gr - 50ton) درحین ذوب ، دسترسی به مذاب داریم . گاهی برای کاهش اتلاف انرژی و افزایش راندمان تولید، از درپوش استفاده می‌شود (تشعشع از سطح مذاب داریم).

مهم‌ترین پارامتر فرکانس جریان است . برای 30gr ، 2-4 kw توان برای عبور جریان داریم که از برق تک فاز تأمین می‌شود اما برای کوره های بزرگ ، 1000 kw توان عبور جریان داریم.

مبدل هایی داریم برای تغییر فرکانس جریان . بسته به نوع مبدل : فرکانس پایین (50 Hz) ، فرکانس متوسط (1000 Hz) و فرکانس بالا (> 2000 Hz) داریم.

هرچه فرکانس بالاتر باشد ، جریان القایی عبور داده شده از شارژ ، سطحی‌تر انجام می‌شود. در فرکانس کم ، جریان از کل توده شارژ می‌گذرد.



از جریان القایی گاهی در عملیات حرارتی (عملیات سطحی) استفاده می‌شود. مثلاً سختی سطحی . شفت : سطح آن تحت سایش است و باید سختی بالایی داشته باشد تا عمر خستگی آن هم بالا باشد . کل قطعه نباید سخت شود چون ترد خواهد شد . پس سطح : سخت و مغز : نرم

CK45 (0.45% C) : فریتی - پرلیتی است . اگر به یوتکتوئید رود و سریع سرد شود، مارتنزیت حاصل می‌شود . کل قطعه مارتنزیت می‌شود و چقرمگی افت می‌کند.

پس شرایطی را ایجاد می‌کنیم که یک لایه M در سطح داشته باشیم و مغز، فریت - پرلیت بماند . از سیم پیچ دور قطعه استفاده می‌شود (لوله مسی آبگرد).

با عبور جریان الکتریکی ، قطعه سرخ می‌شود . فاکتور فرکانس اهمیت زیادی دارد. هرچه فرکانس بالاتر باشد جریان بیشتر از سطح قطعه عبور خواهد کرد و فقط لایه سطحی سرخ خواهد شد. $f=10000Hz$

(دانسیته جریان بالاتری داریم و از کل توده عبور نمی‌کند)

درنتیجه در 20sec به دمای $900^{\circ}C$ می‌رسد و لایه سطحی آستنیته می‌شود بدون اینکه دمای مغز بالا رفته باشد . اگر سریع سرد شود در سطح M خواهیم داشت و در مغز ، فریت - پرلیت .

عمق لایه سطحی هم مهم است و تحت تأثیر پارامترهای زیر است:

1- فرکانس جریان 2- زمان نگهداری 3- توان القایی

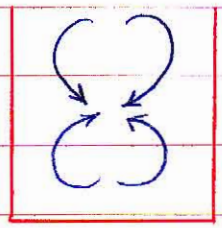
فرکانس ↑ ← عمق کمتر

برای میل لنگ خودرو از جنس فولاد، جایی که یاتاقان قرار می‌گیرد، دائماً در حال سایش است و همچنین میل سوپاپ. برای چرخ دنده هم، بجای حرارت دادن کل قطعه، این کار را می‌کنیم:

در نتیجه احتمال تاب برداشتن و ترک خوردن هم کم می‌شود.

کویل مسی

تغییر فرکانس برای کوره ذوب هم همین اثر را دارد. وقتی فرکانس 50Hz است، جریان از کل توده مذاب عبور می‌کند و یک جریان ثانویه در داخل مذاب ایجاد می‌شود و تلاطم مذاب ایجاد می‌شود. (مذاب کاملاً زیر و رو می‌شود)



f = 50Hz

• پارامتر مثبت:

سرعت زیاد در حلالیت عنصر آلیاژی بخصوص عناصر با Tm بالا.

در نتیجه ترکیب همگن است.

• پارامتر منفی: یک سطح جدید از مذاب در تماس با اتمسفر داریم. جذب گاز و اکسیداسیون زیاد می‌شود.

این کوره‌ها برای چدن‌ها و فولادها که حساسیت کمتری دارند، استفاده می‌شود. برای چدن نیاز است مقدار زیادی G در مذاب حل شود که باید این کوره استفاده شود. در فرکانس بالا، تلاطم نداریم و ذوب انجام می‌شود و اگر اتمسفر خنثی ایجاد کنیم (با ایجاد سرباره یا دمش گاز خنثی) مذاب کیفیت بالایی خواهد داشت. اما حل شدن عنصر آلیاژی مشکل است. در نتیجه برای ذوب سوپرآلیاژها و آلیاژهای حساس به جذب گاز و اکسیداسیون استفاده می‌شود. شش‌های اولیه ذوب می‌شود و نیاز به آلیاژسازی هم نباید باشد.

برای فرکانس متوسط: مابین موارد قبلی است. میزان تلاطم کمتر از حالت 50Hz. حل شدن عنصر آلیاژی و میزان جذب گاز هم متوسط است. برای آلیاژهای حساس اما نیازمند به حل شدن عنصر آلیاژی استفاده می‌شود.

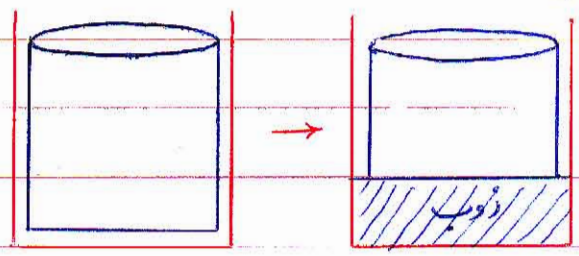
2000 For All

برای تولید st.st. (18-8) شارژ اولیه را داریم (فولاد معمولی). Ni بطور خالص یا فرونیکل اضافه می‌شود. وزن مخصوص بیشتری دارد و به داخل توده مذاب می‌رود. فرو کروم هم همینطور است و غوطه‌ور می‌شود و براحتی حل می‌شود. پارامتر مثبت نداشتن تلاطم هم داریم. اما برای C و G اینطور نیست و استفاده نمی‌شود برای حل کردن G.

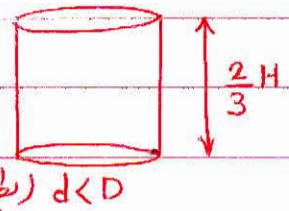
اگر شارژ اولیه بصورت تکه قراضه باشد، حجم جامد که در کوره قرار می‌گیرد، کمتر از حجم واقعی است. اما در یک جایی کمترین سطح مقطع فلز را خواهیم داشت (جایی که جریان می‌تواند عبور کند)؛ جایی که سطح مقطع زیادی نداریم، جریان کمتری عبور می‌کند. در نتیجه شارژ مدت زیادی بصورت سرخ قرار می‌گیرد و اکسیداسیون سطحی زیاد می‌شود.

در نتیجه یک شارژ جامد استوانه‌ای با قطر حدود محفظه در نظر می‌گیریم. در این حالت سطح مقطع فلز زیاد است و از همان اول جریان بیشتری از آن عبور خواهد کرد و توان بیشتری به شارژ القایی می‌شود و زمان ذوب بسیار کوتاه خواهد بود.

وقتی که یک قسمت آن ذوب شد، در قسمت پائین تمام سطح مقطع محفظه پر می‌شود و در این حالت حداکثر استفاده از توان خواهیم داشت، چون سطح مقطع حداکثر شده است.

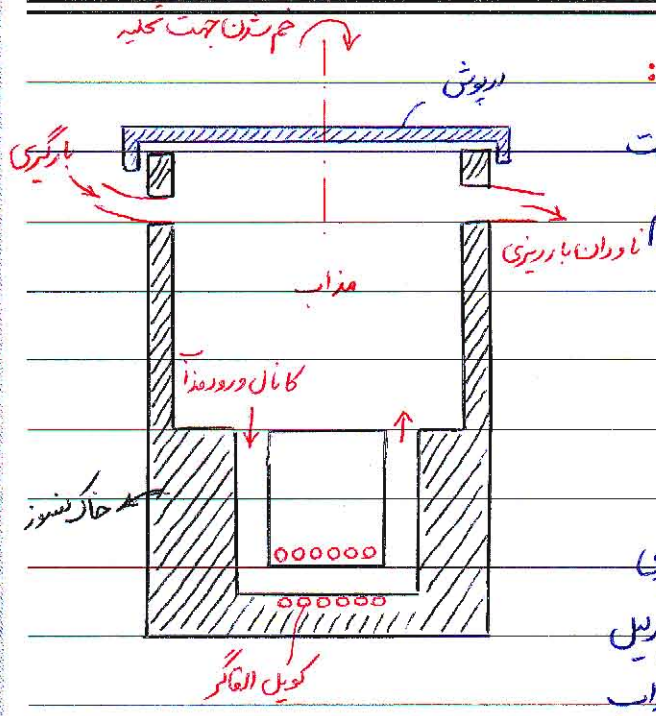


وقتی ذوب آماده شد، $1/3$ مذاب در کوره باقی می‌ماند و $2/3$ تخلیه می‌شود. $1/3$ باقی مانده در روی آن شارژ بعدی را می‌ریزند تا از ابتدا حداکثر توان را داشته باشیم. این $1/3$ را همیشه باقیمانده می‌نامند. آخرین ذوب را با بلوک زیر می‌ریزیم و برای روز بعد که دوباره کوره روشن می‌شود، ما حداکثر جریان و توان را خواهیم داشت:



کوره‌های القایی بطور نیمه مداوم استفاده می‌شوند. حین تخلیه لازم نیست جریان قطع شود. کوره خم می‌شود و $2/3$ مذاب تخلیه می‌شود و بعد قراضه جامد اضافه می‌شود.

کوره خاموش شده و روز بعد با شرایط بالا، دوباره روشن شده و استفاده می‌شود.



کوره های نگه دارنده (کوره های القایی کانالی):

دیواره نسوز ضخامت زیادی دارد تا افت درجه حرارت کم باشد. فقط در قسمت پایین کوره، یک کانال داریم که داخل آن، کویل القایی در دو طرف قرار دارد. کویل موجود فقط به قسمتی از مذاب که در مجاور آن است، جریان القایی کند.

هدف: حجم زیادی از مذاب را در زمان طولانی در دسترس داشته باشیم. فلز مذاب از دریچه بارگیری وارد می شود (دمای مذاب یکنواخت نیست). بدلیل ضخامت زیاد نسوز، اتلاف حرارت کم است. مذاب در قسمت کویل گرم شده و فوق گداز زیاد می شود و از کانال خارج می شود و به سمت بالا می رود و مذاب سرد از کانال دیگر وارد می شود. در واقع یک کنوکسیون طبیعی داریم. و در نتیجه مذاب یکسان و هم دما داریم. حرارت فقط از قسمت پایین به مذاب منتقل می شود.

• بزرگترین مزیت: حجم زیادی از مذاب را با دمای ثابت و ترکیب شیمیائی ثابت، داریم ($80-100^{ton}$). مذاب تولیدی در کوره القایی به محض آماده شدن به کوره کانالی انتقال می یابد. کوره نگهدارنده کمتر از 30^{ton} نداریم.

کوره ها، حجم مذاب کمی دارند اما با داشتن این کوره، حجم زیادی ذوب با ترکیب و دمای یکنواخت خواهیم داشت.

در هر مرحله از ذوب در کوره القایی ممکن است ترکیب به مقدار جزئی فرق داشته باشد اما با جمع آوری در این کوره، ترکیب و دما یکسان می شود. در نتیجه امکان ریخته گری قطعات سنگین را هم می توان داشت.

• محدودیت ها: امکان خاموش کردن کوره وجود ندارد چون باید مذاب کاملاً خارج شود و حجم زیاد است. در کوره القایی اگر برق قطع شود، مذاب داخل کوره منجمد می شود. ذوب مجدد به آجر نسوز خسارت وارد می کند در اثر انقباض و انبساط. اما مشکل زیادی ایجاد نمی شود. اما در کوره نگهدارنده اگر این اتفاق افتاد، دیگر کاری نمی توان کرد چون جریان القایی کم است و ذوب مجدد صورت نخواهد گرفت و باید دور انداخته شود.

For All

وقتی خط تولید خاموش است، ذوب ریزی در کوره نگهدارنده انجام می‌شود و وقتی خط تولید روشن می‌شود، 120^{ton} مذاب آماده داریم که قابل استفاده است. در نتیجه راندمان تولید، ظرفیت تولید و یکنواختی قطعات تولیدی بالاست.

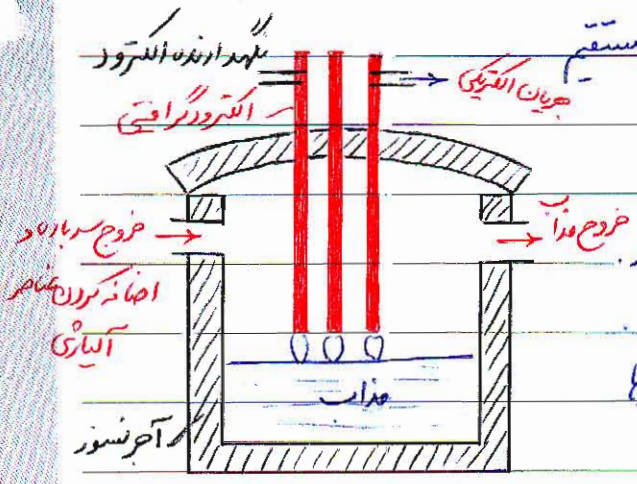
در کوره نگهدارنده سهولت کار (خاموش و روشن کردن) نداریم. کوره‌های القایی بیشترین کاربرد را در صنعت دارند چون محدودیت وزن و آلیاژ را نداریم.

کوره‌های قوس الکتریکی:

۸۷/۸/۲۱

دو نوع است: قوس مستقیم - قوس غیرمستقیم

ابتدا مستقیم را بررسی می‌کنیم:



کوره‌های قوس عمدتاً برای ریخته‌گری فولادها کاربرد دارد.

بیرون بدنه، ورقه فولادی است و دیواره داخلی آجر نسوز.

از درپوش سه الکترود گرافیتی وارد کوره می‌شود. الکترودها توسط نگهدارنده الکترود به جریان الکتریکی وصل می‌شود؛ هم‌چنین امکان بالا و پایین آوردن الکترود را فراهم می‌کند. در ابتدای کار، الکترود خارج شده و درپوش کنار می‌رود و شارژ انجام می‌شود. درپوش قرار گرفته و الکترودها هم تا نزدیک سطح می‌آیند. با برقراری جریان، ولتاژ بالا و آمپر بالا توسط مبدل فراهم می‌شود تا قوس ایجاد گردد.

قوس بین الکترود و شارژ جامد ایجاد می‌شود. الکترود گرافیتی است و ذوب نمی‌شود و حرارت قوس فقط شارژ را ذوب می‌کند. کار ادامه می‌یابد تا شارژ کاملاً ذوب شود و به فوق گداز مناسب برسد.

دسترسی به مذاب به سادگی کوره‌های القایی نیست چون در کوره القایی، حین برقراری جریان می‌توانست درپوش کنار رود.

کوره می‌تواند خم شود و سرباره و مذاب تخلیه شود. وجود درپوش موجب می‌شود اتلاف حرارتی کم و تقریباً محیط بسته‌ای داشته باشیم. در اثر ایجاد قوس، الکترود تا حدودی اکسید شده و یک اتمسفر احیایی در داخل کوره ایجاد می‌شود. در نتیجه کمترین میزان اکسیداسیون فلز مذاب را داریم.

2000 For All

در کوره القایی فضای بسته نداشتیم حتی اگر در پوش باشد و همواره محیط اکسیدی داریم. اما در کوره قوس، در اثر اکسیداسیون گرانیت، اتمسفر احیایی ایجاد می‌شود و محافظت بیشتر عناصر آلیاژی و مذاب را خواهیم داشت. حداکثر سرعت ذوب و توان را وقتی داریم که یک فاصله مناسبی بین الکترودها و شارژ وجود داشته باشد. در نتیجه بست های نگهدارنده الکترود به یک سیستم وصل می‌شود که از جریان کشیده شده از کوره فرمان می‌گیرد و الکترودها را حرکت می‌دهد. اگر جریان کم باشد، الکترود پائین می‌آید و طول قوس را تنظیم می‌کند. طول قوس طوری است که حداکثر توان را داشته باشیم.

با ذوب شدن، سطح شارژ پائین می‌رود و در نتیجه الکترودها نیز پائین می‌روند. قوس شدید موجب تلاطم سطح مذاب می‌شود و طول قوس مدام تغییر می‌کند. در نتیجه الکترودها مدام باید حرکت کنند توسط سیستم کنترلر.

وقتی مذاب به دما و ترکیب مدنظر رسید، کوره در جهتی خم می‌شود که سر باره تخلیه شود. قبل از این جریان متوقف شده و ممکن است الکترودها هم خارج شوند. سپس در جهت عکس خم شده و مذاب تخلیه می‌شود در داخل پاتیل.

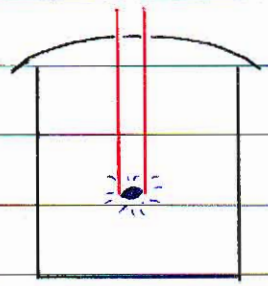
در این نوع کوره‌ها چون مکانیزم ذوب با کوره القایی فرق می‌کند، ذوب کاملاً تخلیه می‌شود و شارژ جامد در ادامه وارد می‌شود. اما در کوره القایی $1/3$ مذاب را نگه می‌داشتیم. راندمان حرارتی کوره قوس بالاست و در حدود 85-90٪ است.

وقتی سه الکترود داریم، قوس مستقیم است. ظرفیت کوره خیلی زیاد نیست (در حدود بالای 1 ton) الکترودها در اثر اکسیداسیون کوتاه می‌شوند و الکترود توسط یک نگهدارنده دیگر پائین آمده یا تعویض می‌شود. این نوع کوره‌ها بدلیل راندمان حرارتی بالا، قوس مستقیم، سرعت ذوب بالایی دارند و آلیاژسازی و تصفیه مذاب براحتی انجام می‌شود. اما بدلیل تلاطم، چون اتمسفر کاملاً احیایی نیست، مقداری از ذوب اکسید می‌شود. هم چنین در اثر تلاطم، قطرات مذاب به الکترود پاشیده شده و دوباره برمی‌گردد و از این طریق مقداری کربن جذب مذاب می‌شود. از این جهت این کوره برای فولادهای خیلی کم کربن (مثل st.st.) مطلوب نیست.

کوره قوس الکتریکی غیر مستقیم:

مشابه قوس مستقیم است منتها در این کوره، دو الکترود گرافیتی داریم و قوس بین این دو الکترود ایجاد می‌شود. انتقال حرارت از طریق تشعشع قوس به شارژ صورت می‌گیرد.

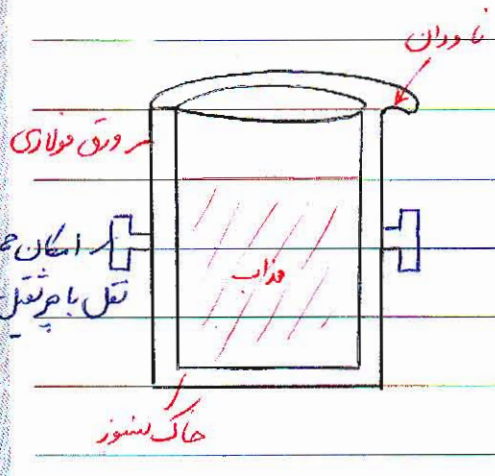
2000 For All



در مقایسه با قوس مستقیم، راندمان تبدیل انرژی کمتر است چون قوس غیرمستقیم است و حرارت از طریق تشعشع صورت می‌گیرد؛ اما در حالت قوس غیرمستقیم، مذاب کاملاً ساکن است و تلاطم نداریم؛ در نتیجه کیفیت متالورژیکی بهتر است از حالت قوس مستقیم. البته حلالیت عناصر آلیاژی در این حالت کمتر است. هم چنین پاشش مذاب هم نداریم.

برای ریخته‌گری پس از تهیه ذوب نیاز به حمل مذاب از کوره به قالب داریم. بندرت اتفاق می‌افتد که باهم کردن کوره، ذوب داخل قالب ریخته شود، مگر برای قطعات سنگین. ممکن است محل تهیه ذوب و قالب ریزی باهم فاصله زیادی داشته باشند. وسیله انتقال مذاب، پاتیل‌های باربری هستند.

پاتیل سرریز: (پاتیل ساده)



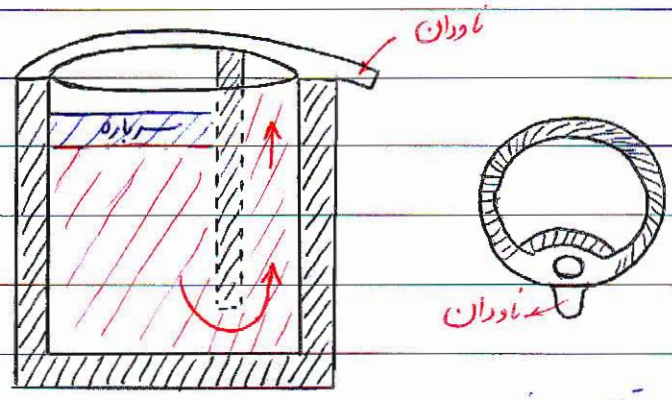
ساده‌ترین نوع پاتیل است. بیرون از ورق فولادی + خاک یا آجر نسوز در داخل استفاده شده است. در قسمت بالا یک ناودان داریم برای سهولت جریان مذاب. بعد از ریختن ذوب در پاتیل، امکان انتقال فراهم می‌شود.

حجم پاتیل‌های بزرگ در حدود 1^{ton} مذاب است.

محدودیت: موقعی که فلز مذاب را داخل پاتیل می‌ریزیم، سرباره روی سطح جمع می‌شود. اگر در مراحل اولیه سرباره را جدا کنیم، مذاب تمیزی داریم اما در این صورت حرارت زیادی بدلیل تشعشع مستقیم فلز مذاب هدر می‌رود. وجود سرباره روی مذاب مفید است؛ از این نظر که جلوی تشعشع مستقیم مذاب را می‌گیرد و افت دمای کمتری داریم بطوری که وقتی نیاز به زمان بیشتری داریم، خودمان سرباره را روی مذاب اضافه می‌کنیم؛ چون سرباره عایق حرارتی است. انتقال حرارت از دیواره نداریم چون عایق بکار برده‌ایم.

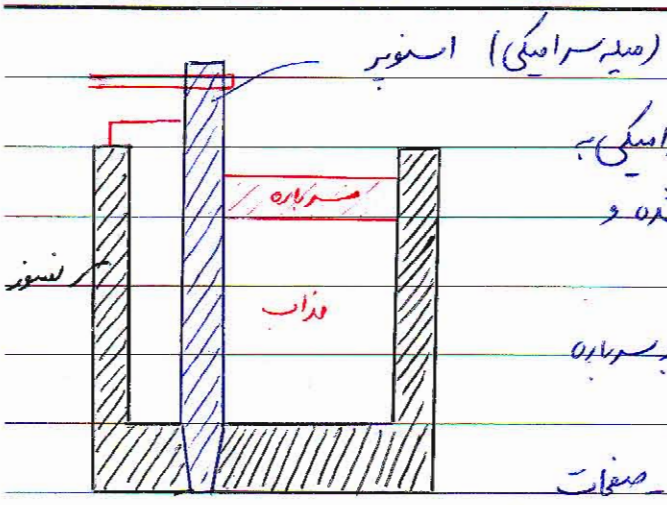
2000 For All

موقعی که پاتیل خم می‌شود و بار تخلیه می‌شود ممکن است سرباره با مذاب مخلوط شده و وارد قالب شود.
قبل از تخلیه با ملاقه، سرباره را خارج می‌کنیم اما در همان لحظه‌ی تخلیه هم، سطح فلز مذاب اکسید شده و یک فیلم اکسیدی روی آن ایجاد می‌شود و همراه مذاب وارد محفظه قالب می‌شود و کیفیت افت می‌کند.
برای اینکه هم از تأثیر مثبت سرباره استفاده کنیم و هم مانع ورود سرباره به قالب شویم، از پاتیل سیفونی استفاده می‌کنیم.



پاتیل‌های سیفونی:
این پاتیل مشابه پاتیل ساده است.
موقع خم کردن پاتیل، مذاب از سطح نمی‌آید و مثل قبلی، از قسمت ته می‌آید.
در نتیجه خروج سرباره ممکن نیست و به قالب نمی‌رسد و
هم چنین می‌توان از مزایای وجود سرباره بالای مذاب بهره برد. در اکثر واحدهای ریخته‌گری این پاتیل استفاده می‌شود. این پاتیل زمانی کاربرد دارد که سرباره سبک‌تر از فلز مذاب باشد مثل مس، چدن و فولاد. برای فلزات با وزن مخصوص کم مثل Al، دو مشکل داریم:
ناخالصی‌های مذاب Al به دو صورت سبک‌تر از مذاب Al و سنگین‌تر از مذاب Al وجود دارند.
ناخالصی‌های حاوی Fe در کف قرار می‌گیرند (لجن یا dross) و سرباره سبک هم روی سطح مذاب.
در نتیجه پاتیل سیفونی مناسب نخواهد بود چون از ته پاتیل، لجن وارد قالب می‌شود. به همین دلیل از پاتیل سرریز استفاده می‌کنیم منتها ابتدا سرباره را جمع‌آوری کرده و ضمناً مذاب را تا انتهای پاتیل تخلیه نمی‌کنیم تا لجن باقی بماند.
چون T_m آلومینیوم کم است، دمای مذاب کمتر از فولاد، چدن و مس است و در نتیجه میزان تشعشع کم است (تشعشع $\propto T^4$) و افت درجه حرارت کمتر است.

در مورد فولادها، به دلیل اینکه سطح مذاب امکان اکسیداسیون بیشتری دارد، پاتیل دیگری هم استفاده می‌شود به نام پاتیل کف‌ریز.

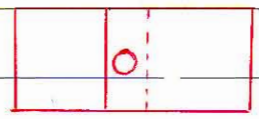


پاتیل کف ریز:

پاتیل روی دو جه قالب قرار می گیرد و میله سرامیکی به سمت بالا حرکت می کند و در نتیجه دریچه باز شده و مذاب تخلیه می شود از قسمت کف

هم مذاب تمیز از کف خارج می شود و هم از وجود سرباره استفاده کرده ایم.

این پاتیل دو حالت دارد: میله اسنوپر - صفحات سرامیکی (دو صفحه سرامیکی روی هم یا مقابل هم در قسمت کف پاتیل: یک صفحه ثابت و صفحه دیگر بصورت کشویی حرکت می کند.



محدودیت: میله طوری باید حرکت کند که دبی ثابت خروج مذاب را داشته باشیم. اگر کابل بالا آید، بدلیل ارتفاع زیاد مذاب، سرعت جریان بیشتری را در دریچه داریم و وقتی مذاب تخلیه می شود و سطح مذاب کم می شود، دبی کم خواهد شد. در نتیجه در لحظات اولیه، اسنوپر را کاملاً خارج نمی کنیم (مثلاً نصف خارج می شود) چون بصورت شیب دار ساخته شده است، اگر کمی بالا بیاید، سطح مقطع، کمتر از سطح مقطع خروجی می شود. دبی خروج = مقطع × سرعت خروج مذاب.

سرعت خروج مذاب بستگی به ارتفاع مذاب (H) دارد. $V=\sqrt{2gH}$؛ در ابتدا V زیاد است و در نتیجه سطح مقطع باید کم باشد.

با کم شدن H، سرعت خروج مذاب کم شده و میله سرامیکی باید بیشتر بالا رود تا سطح مقطع زیاد شود تا دبی ثابت بماند. در نتیجه کنترل حرکت اسنوپر مشکل است.

در مورد صفحات سرامیکی هم، همین بحث وجود دارد.

هدف: هدف ما این است که مذاب آلودگی کمی داشته باشد و افت دمای آن حداقل باشد. البته این دو هدف بهتر است با ساده ترین وضعیت فراهم شود و ریخته گری صورت گیرد.

عناصر آلیاژی که زود حل می شوند، در پاتیل به مذاب افزوده می شوند و یا موادی که برای کنترل خواص ذوب، اضافه می کنیم مثل جوانه زاها. در حین انجماد محل جوانه زنی زیاد شده و ساختار

2000 For All

ریزدانه ایجاد می‌شود. جوانه‌زاها در پاتیل به مذاب افزوده می‌شوند نه در کوره. چون جوانه‌زاها خاصیت هرایی دارند یعنی با گذشت زمان، اثر جوانه‌زاها کم می‌شود، در پاتیل زمان کمتری تا ریخته‌گری داریم. (عناصری مثل Al، تصفیه مذاب را در پاتیل انجام می‌دهند)

بحث دیگر این است که در داخل قالب چه کانال‌هایی باید طراحی کرد تا مذاب از آن عبور کرده و در نهایت قطعه سالم تولید شود بعد از انجماد. از این جهت طراحی کانال‌ها باید بطور مطلوب باشد.

طراحی سیستم تغذیه‌گذاری و راهگاهی:

یکی از مشکلات، مسئله کاهش حجم تغییر حالت مایع به جامد است. در نتیجه تمایل به ایجاد حفره‌های انقباضی در قطعه وجود دارد. در این صورت قطعه خواص مکانیکی مورد انتظار را ندارد. در نتیجه این کاهش حجم باید جبران شود.

$$T_P \rightarrow T_m^L \rightarrow T_m^S \rightarrow T_R^S$$

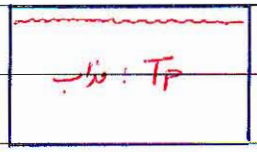
مذاب باندازه $\Delta T = T_P - T_m$ فوق گداز دارد. حین ریخته‌گری، مذاب از T_P به T_m می‌رسد و کاهش حجم خواهیم داشت (انقباض در حالت مایع)

در T_m، تغییر حالت از مایع به جامد را داریم (انقباض در حین انجماد در دمای ثابت)

از T_m^S تا T_R^S، سرد شدن در حالت جامد را داریم (انقباض در حالت جامد)

پس سه مرحله انقباض داریم که باید جبران شود؛ در غیر اینصورت:

مرحله‌ی ۱)

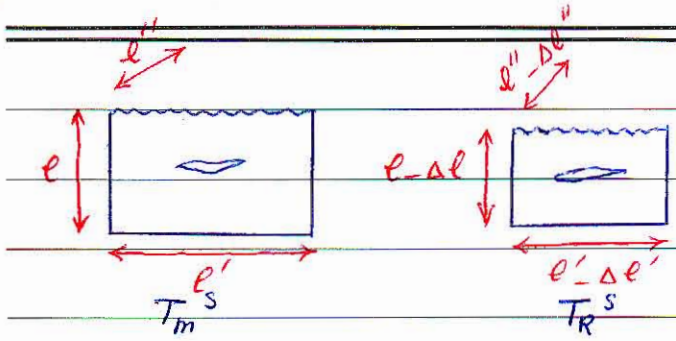


این کاهش در جهت ثقل است چون مذاب جاری داریم.

مرحله‌ی ۲) $T_P = 1300^\circ C$ $T_m = 1000^\circ C$

در $T = 1000^\circ C$ انجماد شروع شده از اطراف چون سردتر است.

در $T = 1000^\circ C$ جامد با یک حفره انقباضی داریم.



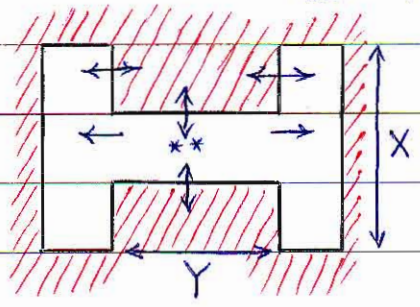
مرحله 3)

در این مرحله در تمام ابعاد بسته به ضریب انبساط طولی (α) کاهش ابعاد داریم.

Δl از همه بیشتر است یعنی در جهت ارتفاع، کاهش بعد، حداکثر است. در تغذیه‌گذاری این انقباض‌ها را می‌خواهیم جبران کنیم.

انقباض در حالت جامد به سادگی قابل جبران است؛ چون میزان تغییر ابعاد را داریم. در نتیجه می‌توان مدل را باندازه تغییرات، بزرگتر ساخت. (اضافه انقباض در مدل سازی)

آلیاژهای مختلف تغییرات ابعادی متفاوتی دارند. ضریب انبساط طولی موقعی یکسان عمل می‌کند که قطعه آزاد باشد. یعنی با تغییر درجه حرارت، مانعی برای تغییر طول وجود نداشته باشد. مثل قطعه مکعبی شکل. اما برای قطعه زیر:

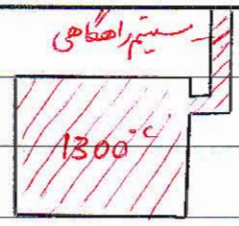


در جهت X اضلاع عمودی مشکلی در جهت کوچک شدن ندارند اما در جهت Y، اضلاع عمودی نمی‌توانند به راحتی تغییر طول دهند چون قالب مانع این عمل می‌شود و تنش کششی در جهت Y به قطعه اعمال خواهد شد. در نتیجه ممکن است که حتی قطعه ترک بخورد (ترک گرم) در قسمت **.

در نتیجه یکسری مواد به مخلوط اضافه می‌کنیم تا استحکام باقیمانده قالب کم شود تا مقاومت کمتری در برابر تغییر طول قطعه نشان دهد. به این ترتیب قطعه ترک نمی‌خورد. (حین انقباض، ماسه در اثر تنش خرد می‌شود)

در نتیجه انقباض ضلع X باندازه مورد انتظار است اما ضلع Y کمتر منقبض خواهد شد. به هر حال انقباض را باید در طراحی مدل در نظر گرفت. خود قالب هم مهم است.

انقباض در حالت مایع هم خیلی پیچیده نیست. در اثر انتقال حرارت و سرد شدن

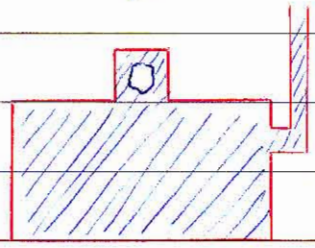


مذاب، حجم مذاب کم می‌شود اما ارتفاع مذاب در راهگاه بالاتر از مذاب در قالب است در نتیجه قالب پر خواهد شد؛ بعبارت دیگر، مذاب داخل راهگاه، این انقباض را جبران می‌کند.

اگر مذاب در سیستم راهگاهی منجمد نشده باشد، کاهش حجم در حالت مذاب جبران می‌شود و دیگر کاهش ارتفاع قطعه را نخواهیم داشت.

پیچیده‌ترین شرایط انقباض، حین انجماد است چون کاهش حجم این تغییر حالت را نداریم چون خصوصیت فزیکی آلیاژ است و کاهش حجم می‌دهد.

تنها کاری که می‌توان انجام داد این است که جای حفره انقباضی را عوض کنیم. مثلاً: یک زائده‌ی استوانه‌ای بالای قطعه قرار دهیم.



اگر کاری کنیم که استوانه دیرتر از قطعه منجمد شود، کاهش حجم در داخل قطعه توسط جریان مذاب از زائده به قطعه جبران می‌شود. اگر کاری کنیم که قسمت استوانه‌ای دیرتر جامد شود، در نهایت حفره داخل زائده تشکیل خواهد شد. حفره در زائده از حفره در قطعه بدون زائده بزرگتر است چون کاهش حجم بیشتر است (یک تکه استوانه‌ای به قطعه اضافه شده است). اما قطعه سالم خواهد بود.

این زائده استوانه‌ای مذاب را تغذیه می‌نامند یا Feeder یا Riser.

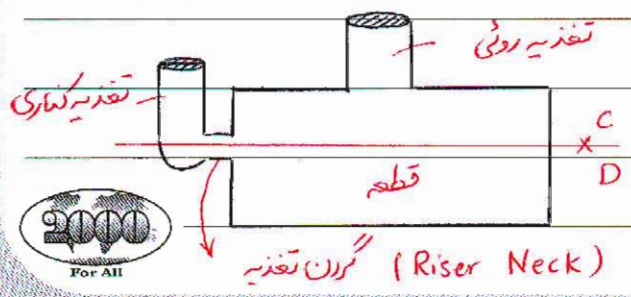
پس تغذیه یک مخزن اضافی مذاب است که وظیفه‌اش جبران کاهش حجم ناشی از انقباض قطعه است و در نتیجه حفره داخل زائده تشکیل می‌شود.

اگر طراحی تغذیه درست نباشد، ممکن است یک قسمت از حفره در خود قطعه هم باشد. ابعاد و اندازه تغذیه باید درست طراحی شود (هم چنین محل) تا وظیفه‌اش را درست انجام دهد.

قسمت تغذیه بعداً از قطعه جدا می‌شود.

۸۷/۸/۲۶

تغذیه‌گذاری قطعات ریختگی:

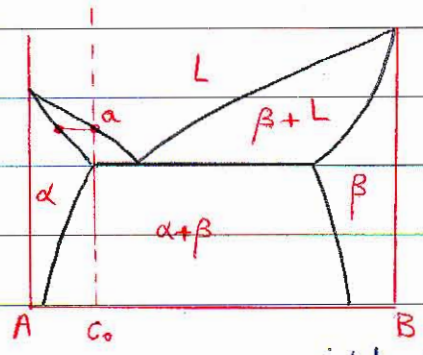


شرایط تغذیه:

1- زمان انجماد طولانی‌تر از قطعه
2- حجم مذاب کافی بمنظور جبران کاهش انقباضی
3- فاصله مذاب رسانی مناسب
4- ارتباط با قطعه تا پایان انجماد

چه در حالت تغذیه رویی و چه تغذیه کناری، مهم است که مذاب را تا چه فاصله‌ای می‌تواند برساند. بعبارت دیگر، تغذیه باید مذاب را به قطعه برساند و این طول یا مسافت، مهم است (Feeding Distance). اگر فاصله تغذیه و جایی که مذاب نیاز دارد (جبهه انجماد) زیاد باشد، مذاب نمی‌تواند خودش را به جبهه انجماد یا جایی که کاهش حجم صورت می‌گیرد، برساند و حفره انقباضی شکل خواهد گرفت. (کاهش حجم در جبهه انجماد صورت می‌گیرد)

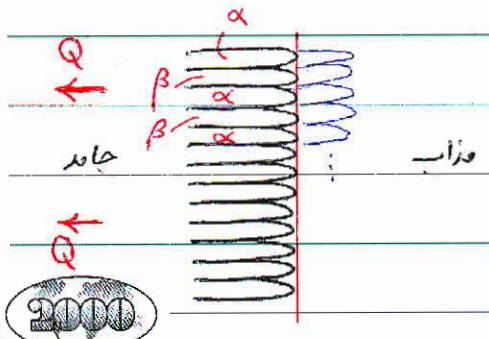
در برخی تغذیه‌ها که زائده‌ای، تغذیه را به قطعه متصل می‌کند (گردن تغذیه) اگر شرایط طراحی طوری باشد که گردن تغذیه منجمد شود، ارتباط قطع شده و عملکرد تغذیه انجام نخواهد شد. این چهار شرط اساسی برای عملکرد تغذیه لازم است.



آلیاژها، شرایط متفاوتی حین انجماد دارند:

1) آلیاژهای با جبهه انجماد مسطح
2) " " " " دندریتی

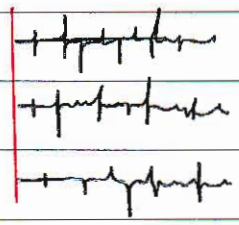
(1) آلیاژهای یوتکتیک و فلزات خالص این خصوصیت را دارند. انجماد در یک دمای ثابت اتفاق می‌افتد و هم‌زمان با آن، α و β رشد می‌کنند.



از نظر ماکروسکوپی، فصل مشترک مسطح است.

② در نقطه a، اولین جامدی که شکل می‌گیرد، ترکیب $C_0 K$ دارد. $K = \frac{C_S}{C_L}$

بعبارت دیگر فوق تبرید ترکیبی داریم و رشد بصورت دندریتی است یا پس زدن عنصر آلیاژی به جبهه انجماد.



هرچه فاصله‌ی S و L (بردار انجماد) طولانی‌تر باشد، طول دندریت هم بیشتر می‌شود. پس هرچه به یوتکتیک نزدیک‌تر باشیم، فاصله انجماد کمتر شده و کسر حجمی رشد دندریت و طول دندریت کوتاه‌تر می‌شود بطوری که در یوتکتیک فصل مشترک مسطح داریم.

برای شرایط تغذیه، مذاب باید خود را از لابه‌لای شاخه‌های دندریت عبور دهد تا به فصل مشترک یا جبهه انجماد برسد تا کاهش حجم جبران شود. پس شرایط مساعدی وجود ندارد.

وقتی فصل مشترک مسطح است، مذاب راحت‌تر به جبهه انجماد می‌رسد. بنابراین ترکیب یوتکتیک از جهت تولید قطعه سالم برای ما اهمیت دارد. در نتیجه به آلیاژهای یوتکتیک، آلیاژ ریخته‌گری هم می‌گویند.

در آهن ـ کربن، نقطه یوتکتیک 4.3٪C است و مربوط به چدن می‌باشد. در فولادها رشد دندریت داریم؛ در نتیجه تنها راه شکل دادن و تولید چدن‌ها، ریخته‌گری است.

آلیاژ Al ـ Si معمولاً 11٪Si دارد و برای تولید قطعات، ساده‌تر است چون نزدیک به یوتکتیک (11.8٪Si) می‌باشد.

آلیاژهای صنعتی دو دسته‌اند:
- آلیاژهای کارشده (فورد، فورج و ...)
- آلیاژهای ریختگی

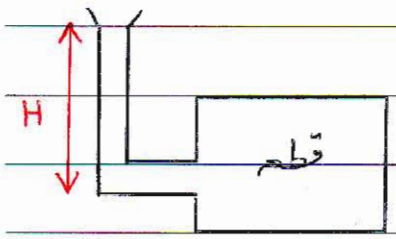
آلیاژهای ریختگی ترکیب نزدیک به یوتکتیک دارند و شرایط انجماد آسانی دارند؛ اما فرم‌پذیری ندارند و امکان ایجاد ترک حین شکل دادن جامد وجود دارد. مثلاً Al ـ Si: زمینه Al نرم و فازهای سوزنی شکل Si داریم که ترد می‌باشد و یک کامپوزیت محسوب می‌شود که خواص مکانیکی خوبی دارد اما قابلیت شکل‌پذیری و تغییر فرم ندارد و باید ریخته شود.

2000 For All

آلیاژهای Al_Mg بدلیل فاصله‌ی انجماد زیاد (برد انجماد زیاد)، مناسب برای ریخته‌گری نبوده ولی تغییر شکل حالت جامد براحتی می‌دهند.

آلیاژهای Al در حالت کارشده یکسری شماره‌های چهاررقمی دارند: 1XXX، 3XXX، 4XXX و ...

اما برای حالت ریخته شده، شماره‌های سه‌رقمی دارند: 1XX، 2XX، 3XX و ...

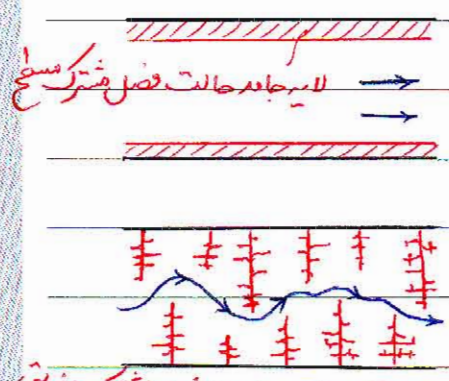


طبقه‌بندی فوق براساس مکانیزم انجماد است.

مذاب بدلیل H از یک طرف وارد و از یک طرف خارج می‌شود. دبی = سطح مقطع × سرعت جریان

$Q = A.V$

از زمانی که مذاب از کوره خارج می‌شود، افت دما داریم. در راهگاه هم افت دما داریم. در نتیجه حین پرشدن قطعه، ممکن است داخل کانال حین جریان مذاب، انجماد رخ دهد بدلیل انتقال حرارت از مذاب به قالب. در نتیجه در دیواره جامد داریم. اگر فصل مشترک مسطح باشد، پوسته جامد مسطح ایجاد می‌شود. در نتیجه سطح مقطع کوچک می‌شود و مانعی در جهت جریان مذاب نداریم. سرعت مذاب را H تعیین می‌کند که ثابت است اما سطح مقطع کم شده و دبی کم می‌شود. لایه جامد مداوم در دیواره راهگاه تشکیل می‌شود. به هرحال جریان مذاب را داریم اما با دبی کمتر. وقتی 100٪ کانال منجمد شد، جریان مذاب متوقف می‌شود.

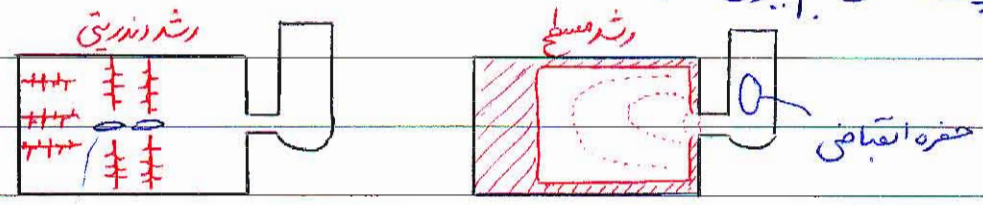


اگر حالت دندریتی داشته باشیم (برد انجماد زیاد باشد):

ارتفاع H و ابعاد قطعه با حالت قبل یکسان فرض می‌شود. در نتیجه میزان دبی خروجی با حالت قبلی یکسان است. وقتی انجماد صورت می‌گیرد، حتی اگر خیلی کم باشد، فصل مشترک مسطح نداریم. هرچه برد انجماد طولانی‌تر باشد، طول دندریت هم بزرگتر می‌شود. در نتیجه میزان جامد مثل حالت قبل است اما نحوه رشد آن فرق می‌کند. نحوه رشد جامد طوری است که مذاب باید از لابلای دندریت‌ها عبور کند که نوعی مانع سر راه جریان مذاب محسوب می‌شود. در نتیجه ممکن است H برای غلبه بر اصطکاک کافی نباشد و جریان متوقف شود تا اینکه

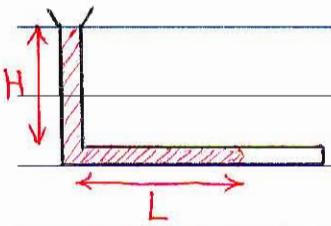
2000 For All

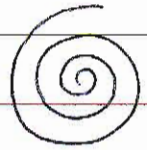
همه قطعه جامد شود. در نتیجه هم از نظر پرشدن و هم تغذیه گذاری مناسب مشکل داریم. مذاب باید خود را از تغذیه به جبهه انجماد در انتهای قطعه برساند اما موانع جلوگیری کرده و موجب ایجاد حفره انقباضی می‌شود چون کاهش حجم جبران نشده است.



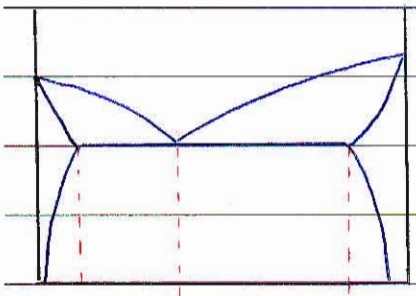
پس برای تولید قطعه جامد، مکانیزم یا mode انجماد هم مهم است.

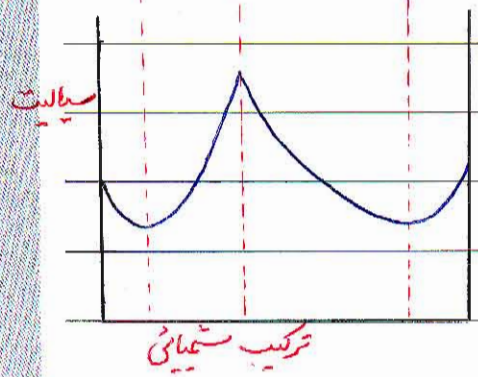
طولی که مذاب می‌تواند طی کند قبل از انجماد، معیار سیالیت نام دارد. (برای یک H معین). برای اینکه طول زیاد نباشد، مسافت را بصورت مارپیچی در نظر می‌گیرند. این طول طی شده توسط مذاب، در طراحی تغذیه اهمیت زیادی دارد.





یکی از پارامترهای موثر روی سیالیت، ترکیب شیمیائی مذاب است. در یوتکتیک بالاترین میزان سیالیت را داریم (در آلیاژهای دوتایی). سیالیت فلز خالص به عوامل متعددی بستگی دارد: فیلم اکسیدی ایجاد می‌کند یا نه، گاز را جذب می‌کند یا نه، چگالی فلز و کشش سطحی هم مهم است. فلزات خالص انجماد مسطح دارند و mode انجماد تأثیری ندارد.



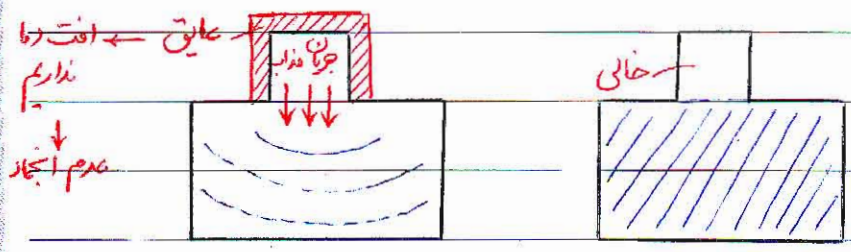


دما نیز یکی از پارامترهای مهم در سیالیت است. فوق گداز بالاتر موجب می‌شود L زیاد شود یعنی سیالیت بیشتر. برای حذف اثر حرارت و اینکه بخواهیم اثر ترکیب شیمیائی را بررسی کنیم، $\Delta T = 10\% T_m$ در نظر می‌گیریم. چون با تغییر ترکیب، T_m فرق می‌کند و در یک دمای ثابت نمی‌توان آزمایش را انجام داد. علاوه بر این، ترکیب یوتکتیک کمترین T_m را دارد

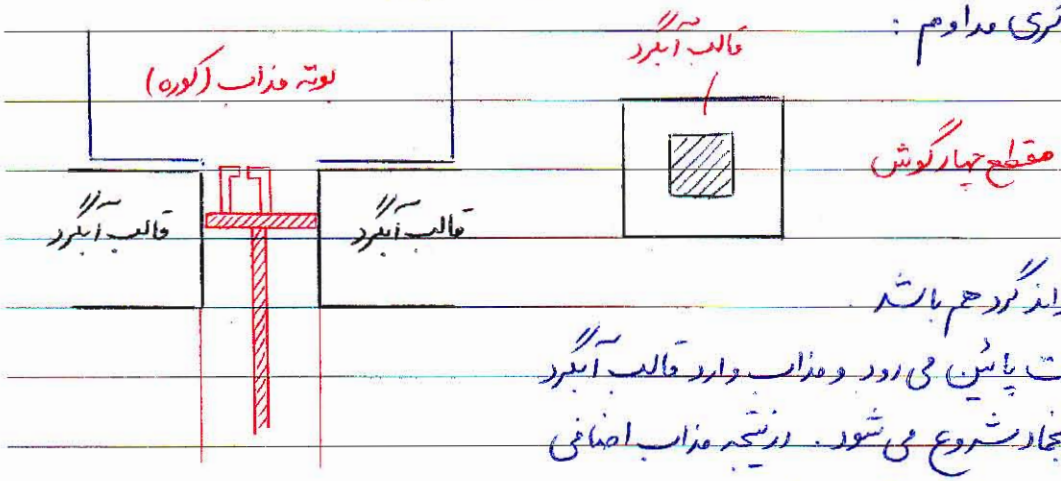
2000 For All

و بنابراین دمای فوق گداز نیز کمتر است یعنی انرژی کمتری مصرف کرده‌ایم و عمر بشقاب‌ها افزایش می‌یابد
و افت دمای کمتری هم داریم.
ترکیب یوتکتیک Fe-C را با کوره زمینی نیز می‌توان ذوب کرد اما فولاد را نه.
در $T_u = 500^{\circ}C$ (مفروض)، $T_p = 550^{\circ}C$ و $T = 25^{\circ}C$ قالب؛ شیب حرارتی کمتر است از
ترکیب غیر یوتکتیکی. (انتقال حرارت با T^4 رابطه دارد)

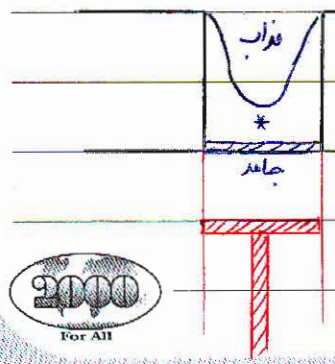
تغذیه باید ریوتر منجمد شود؛ ایده‌آل‌ترین شرایط: مخزن اضافی مذاب دقیقاً حجم معادل کاهش
انقباض را داشته باشد. یعنی کاری کنیم که در انتها، در تغذیه جامد یا مذاب منجمد شده نداشته باشیم



در اینصورت زائده‌ای هم به قطعه متصل نیست که بخواهیم آن را ببریم. معمولاً این حالت دیده نمی‌شود،
اما در ریخته‌گری مداوم:



مقطع می‌تواند گرد هم باشد
میله به سمت پائین می‌رود و مذاب وارد قالب آبگرد
می‌شود و انجماد شروع می‌شود. در نتیجه مذاب اضافی
از طریق بوته وارد شده و تغذیه خواهد بود.



سرعت میله اگر برابر با سرعت جبهه انجماد باشد،
حالت پایا یا steady state داریم. این کار
بطور مداوم ادامه می‌یابد. همانطور که جامد از قالب خارج
می‌شود، مذاب از بوته وارد شده و جبهه انجماد ثابت خواهد بود.

طول قالب حدود $30-40^{cm}$ است اما طول محصول ومیله، بینهایت خواهد بود. حین انقباض انجماد داریم که باعث می‌شود قطعه به قالب نچسبد.

کنترل این فرایند مشکل است. اما سرعت تولید بالایی دارد. جامد در قسمت * استحکام بالایی ندارد (ترویک مذاب است) و ممکن است پاره شود.

این فرایند با فرایندهای سابق تفاوت هایی دارد:

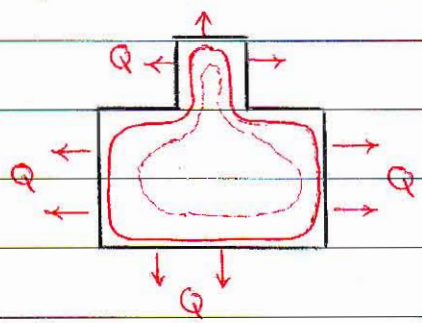
۱- انجماد قطعه و قالب یکسان نیست. البته مقطع همان مقطع است.

2- تغذیه ایده‌آل وجود دارد. کاهش حجم با ورود فلز مذاب از بوته به قالب جبران می‌شود. تغذیه همان بوته مذاب است و انجمادی در تغذیه (بوته) نداریم. برای تولید قطعات صنعتی از این فرایند استفاده نمی‌شود.

دایره ریخته‌گری مداوم:

میلگرد سرخ حاصل از این روش می‌تواند مستقیماً زیر نورد برود، چون دما خیلی بالاست. بعد از خروج از قالب، پاشش آب هم داریم. سرعت تولید هم بیشتر است.

در تولید قطعات صنعتی، همزمان با خروج حرارت از قالب، همین حرارت از سطح بالایی تغذیه هم خارج می‌شود. فقط محل اتصال تغذیه و قالب منجمد نمی‌شود چون هر دو مذاب هستند. پس در تغذیه هم انجماد داریم.



برای جبران کاهش حجم، باید مذاب در تغذیه داشته باشیم. یک راه این است که تغذیه خیلی بزرگی طراحی کنیم. اما در طراحی می‌خواهیم تغذیه حداقل وزن را داشته باشد چون در اینصورت بهره ریختگی زیاد می‌شود.

$$\text{بهره ریختگی} = \frac{\text{وزن قطعه تولید شده}}{\text{وزن مذاب ریخته شده در قالب}}$$

وزن قطعه + تغذیه + راهگاه

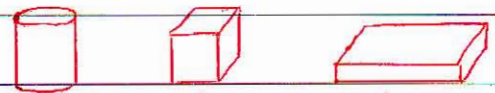
زمان انجماد طولانی‌تر تغذیه یعنی نرخ خروج حرارت کمتر از آن؛ تغذیه هر شکلی می‌تواند باشد اما برای کاهش نرخ انتقال حرارت، باید کمترین میزان سطح را داشته باشیم.

V: حجم (محتوی حرارتی یا مقدار حرارت) A: سطح (میزان خروج حرارت)

$\uparrow A \rightarrow$ نرخ خروج حرارت $\uparrow \rightarrow$ زمان انجماد $\downarrow$

برای کره، $\frac{A}{V}$ حداقل است. بعد از کره، استوانه کمترین $\frac{A}{V}$ را دارد.

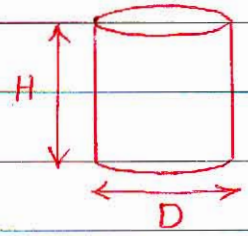
در حجم ثابت (مقدار حرارت اولیه یکسان) و دمای یکسان برای شکل های زیر، زمان انجماد فرق می کند:



زمان انجماد: t_1 t_2 t_3

$t_3 < t_2 < t_1 < t_{کره}$

بهتر است شکل تغذیه، کره یا استوانه باشد. اتصال تغذیه کروی و قالب گیری آن مشکل است در نتیجه استوانه استفاده می کنیم.



کمترین $\frac{A}{V}$ برای استوانه ای است که $\frac{H}{D} = 1$.

در طراحی تغذیه، کمیتی تعریف می کنیم به نام "مدول قطعه هندسی".

$$M = \frac{V}{A}$$

برای مکعب $= \frac{a^3}{6a^2} = \frac{a}{6}$

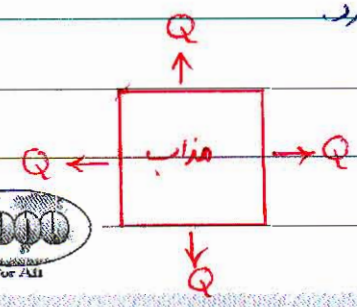
استوانه $= \frac{\pi r^2 H}{2\pi r H + 2\pi r^2} = \frac{r}{3} = \frac{D}{6}$

مدول یکسان یعنی زمان انجماد یکسان. مدول یک قطعه هندسی، معیار زمان انجماد آن است و معیاری در طراحی تغذیه.

۸۷/۹/۵

مدول قطعات ریخته گری:
1 ـ مدول هندسی
2 ـ مدول مؤثر

برای داشتن تغذیه ای با زمان انجماد طولانی تر، بایستی زمان انجماد تغذیه را بدانیم. زمان انجماد به میزان حرارت خروجی و نرخ و جهت خروج حرارت بستگی دارد.



α (نرخ خروج حرارت) وابسته به عوامل زیر است:

K ، ρ و C_p (که وابسته به دما هستند) پس همزمان با خروج حرارت این پارامترها تغییر می کنند.

عامل دیگر نوع فصل مشترک است که آیا تماس کامل بین مذاب و دیواره قالب برقرار است یا نه؟ اگر قشر جامد بوجود آید، در ابتدای انجماد، باعث انقباض شده و موجب می‌شود بین جامد و دیواره یک فاصله هوایی air gap بوجود آید. در نتیجه ضریب انتقال حرارت متفاوت شده و نرخ خروج حرارت نیز تغییر می‌کند.

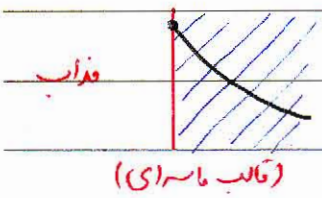
از طرف دیگر، با پیشرفت انجماد، دمای قالب بالا می‌رود و k، ρ و C_p متفاوت می‌شود. بنابراین حل مسائل انتقال حرارت بسیار پیچیده می‌شود و برای ساده‌تر کردن و بدست آوردن معیاری از زمان انجماد، مدول را تعریف می‌کنیم.

مدول: نسبت حجم به سطح است (M).

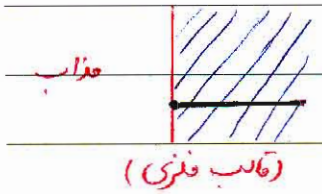
{نفوذ حرارتی قالب کم است} (زمان انجماد) $t = K_1 M^2$ قالب ماسه‌ای (1

{نفوذ حرارتی قالب بالاست} (زمان انجماد) $t = K_2 M$ قالب فلزی (2

سرد شدن مذاب به نرخ خروج حرارت بستگی دارد. در واقع شیب حرارتی در قالب اهمیت دارد. شیب حرارتی به خصوصیات قالب بستگی دارد (k, ρ, C_p).



با توجه به نفوذ حرارتی کم قالب ماسه‌ای (سرامیکی)، مکانیزم انتقال حرارت در قالب ماسه‌ای، نرخ انتقال حرارت در داخل قالب را کنترل می‌کند.



در قالب فلزی، بنابراین اساس است که دمای قالب یکسان است و حرارت به سرعت منتقل می‌شود (توانایی جذب و انتقال حرارت بالا). حالت ایده‌آل وقتی است که قالب آبگرد باشد تا دمای قالب ثابت بماند. در این حالت، کنترل کنندهٔ نرخ انتقال حرارت، فصل مشترک بین قطعه و قالب است. در واقع مقاومت فصل مشترک (h)، نرخ خروج حرارت را کنترل می‌کند، در حالیکه در قالب ماسه‌ای، کنترل کننده جذب حرارتی قالب است.

مدول هندسی $M = \frac{V}{A}$ (cm)

K_1 به K و ρ و C_p بستگی دارد و هم چنین گرمای نهان انجماد. : زمان انجماد قالب ماسه‌ای $= t = k_1 M^2$

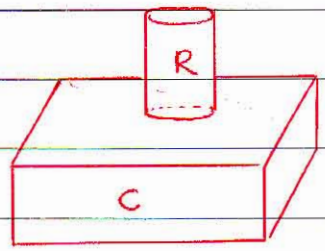
$K_1 \propto K \rho C_p$ و $H \rho L$

(فلز مذاب) (قالب)

زمان انجماد به M^2 هم بستگی دارد (هندسه) $t_{\text{کره}} > t_{\text{ورق}}$

زمان انجماد با M متناسب است. زمان انجماد قالب فلزی $= t = k_2 M$

بنابراین زمان انجماد تغذیه را می‌توان کنترل کرد. مثلاً در مورد $M = 2^{cm}$ ، زمان انجماد در قالب ماسه‌ای، $4K$ خواهد شد. K را نمی‌توان به راحتی محاسبه نمود. مذاب داخل قطعه و تغذیه یکسان است، در نتیجه ضریب K برای انجماد قطعه و تغذیه یکسان است.



قطعه $t_c = 4K$ تغذیه $t_R = 5K$

$\frac{t_R}{t_c} = \frac{5}{4} \rightarrow$ زمان انجماد تغذیه > زمان انجماد قطعه

$$\frac{t_R}{t_c} = \frac{M_R}{M_c} \text{ or } = \left(\frac{M_R}{M_c}\right)^2$$

K را نمی‌توان بدست آورد اما M را می‌توانیم؛ در نتیجه می‌توان زمان‌های انجماد را با یکدیگر مقایسه نمود. بنابراین مدول تغذیه باید از مدول قطعه بیشتر باشد و برای ما $\frac{t_R}{t_c}$ اهمیت دارد تا اینکه t_R و t_c.

در قالب ماسه‌ای : $\frac{t_R}{t_c} = \left(\frac{M_R}{M_c}\right)^2$

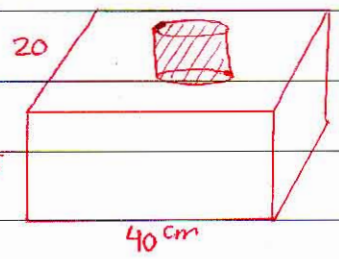
البته زمان خیلی زیاد تغذیه هم مطلوب نیست چون تغذیه مرکز تمرکز حرارت است و بخشی از قطعه که در تماس با تغذیه است، بدلیل آرام سرد شدن، خواص متالورژیکی خوبی ندارد. بنابراین زمان انجماد تغذیه را نباید خیلی خیلی زیاد در نظر گرفت. برای اطمینان از این موضوع معیاری در نظر می‌گیریم :

$M_R = 1.2 M_c \rightarrow \frac{t_R}{t_c} = 1.44$

(قالب ماسه‌ای)

2000 For All

درنتیجه در قالب ماسه‌ای، زمان انجماد تغذیه حدوداً 50٪ بیشتر از زمان انجماد قطعه است و این برای ما کافی است.



$$M = \frac{40 \times 20 \times 5}{2(40\times20 + 5\times40 + 5\times20)} = 1.82^{cm}$$

تغذیه استوانه‌ای با $\frac{H}{D} = 1$

$M_R = 2.184^{cm}$

$$M_R = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \times D}{2\left(\frac{\pi D^2}{4}\right) + \pi D^2} = \frac{D}{6} \longrightarrow D = 13.1^{cm}$$

اگر استوانه را روی قطعه قرار دهیم، یکی از سطوح استوانه، سطح انتقال حرارت نیست (سطح پائینی)؟

$$M_R = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \times D}{\frac{\pi D^2}{4} + \pi D^2} = \frac{D}{5} \longrightarrow D = 10.92^{cm}$$

سطح آزاد تغذیه (سطح بالائی)، حرارت زیادی را خارج می‌کند از طریق تشعشع؛ درنتیجه روی این سطح، پودر اگزوترم (حرارت‌زا) می‌ریزیم: پودر اکسید آهن (Fe_xO_y) + پودر آلومینیوم (Al). مخلوط این دو پودر روی سطح تغذیه واکنش زیر را بدنبال دارد:

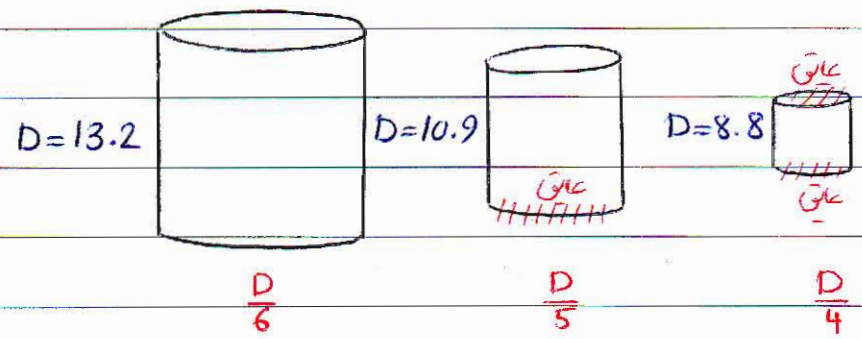
$$Al + Fe_xO_y \rightarrow Al_2O_3 + Fe$$

این واکنش حرارت زیادی ایجاد می‌کند (جوش ترمیت). پس عملاً از سطح بالایی هم انتقال حرارت نداریم. در واقع حرارت ایجاد شده موجب می‌شود که افت زمانی نداشته باشیم. می‌توان روی سطح روئی آجر عایق قرار داد تا حرارت از دست نرود.

$$M = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \times D}{\pi D^2} = \frac{D}{4} \longrightarrow D = 8.7^{cm}$$

پس D از 10.9^{cm} به 8.7^{cm} کاهش یافت.

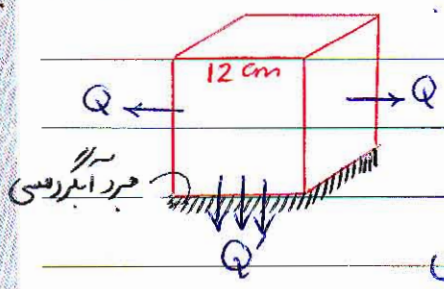
پس تغذیه کوچک‌تر شده در حالیکه زمان انجماد مساوی دارند چون M یکسان دارند.



در همه موارد، $\frac{H}{D}=1$ و زمان انجماد همگی یکسان است چون M_R یکسان است.

در اینجا به تعریف یک پارامتر می‌پردازیم: برای یک مکعب یا ضلع 12^{cm}، مدول هندسی برابر $\frac{D}{6}=2^{cm}$ است. اما مدول مؤثر به شرایط وابسته است؛ مثلاً:

$$\text{مدول مؤثر} = \frac{\text{حجم هندسی}}{\text{سطح هندسی}}$$



اگر از یک مبرد آبگردمی استفاده کنیم؛ مدول هندسی ثابت است یعنی همان 2^{cm}. $Q' >>> Q$

در سطح تماس با مبرد، خصوصیات قالب $k\rho c_p$ مبرد آبگردمی را داریم و در سطوح دیگر، $k\rho c_p$ ماسه که با هم فرق دارند.

$k\rho c_p$ برای مس خیلی بیشتر از $k\rho c_p$ ماسه است. چون نفوذ حرارتی قالب مسی از نفوذ حرارتی ماسه بیشتر است.

زمان انجماد بین حالت وجود و عدم وجود مبرد فرق می‌کند و میزان تفاوت به میزان اثر مبرد روی مدول مؤثر بستگی دارد.

فرض می‌کنیم $\alpha_{\text{مبرد آبگردمی}} = 20\,(\alpha_{\text{ماسه}})$ یعنی سطح پائینی 20 برابر انتقال حرارت بیشتری دارد.

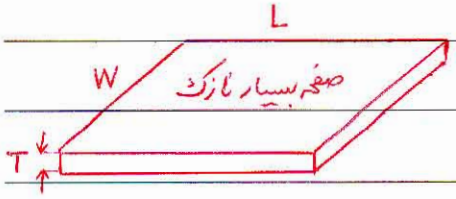
$$M_{\text{واقعی (مؤثر)}} = \frac{12\times12\times12}{5(12\times12)+20(12\times12)} = 0.48^{cm} < 2^{cm}$$

مدول کمتر شده است و در نتیجه زمان انجماد نیز کمتر شده است. (17 برابر کمتر)

$$\left.\begin{aligned} t_1 &= kM^2 = 4k \\ t_2 &= kM'^2 = (0.48)^2 k \end{aligned}\right\} \rightarrow \frac{t_1}{t_2} = 17.36$$

زمان انجماد در هر کدام را نداریم.

محاسبه مدول برای قطعات هندسی ساده است.

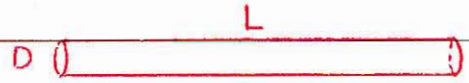


$$M = \frac{LWT}{2(LW+WT+LT)} \qquad T \ll W, L$$

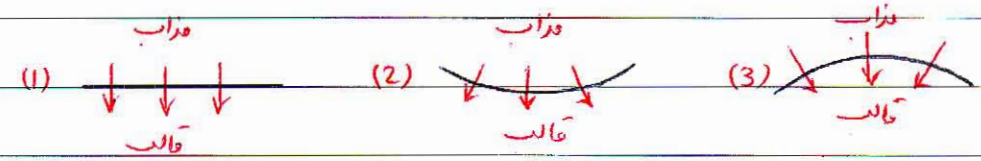
$$\rightarrow M \sim \frac{LWT}{2LW} = \frac{T}{2} \qquad W=80,\ L=100,\ T=2$$

$$\rightarrow M_{\text{واقعی}} = 0.99 \sim 1 = \frac{T}{2}$$

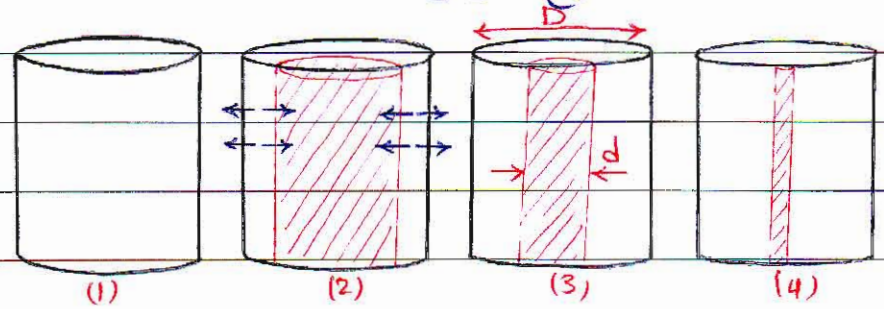
برای میلگرد: اگر L زیاد باشد، سطوح قاعده را در برابر سطوح جانبی صرفنظر می‌کنیم: $M = \frac{D}{4}$



این فرض، محاسبه‌ی مدول هندسی را ساده‌تر می‌کند. اما مدول مؤثر به سادگی بدست نمی‌آید؛



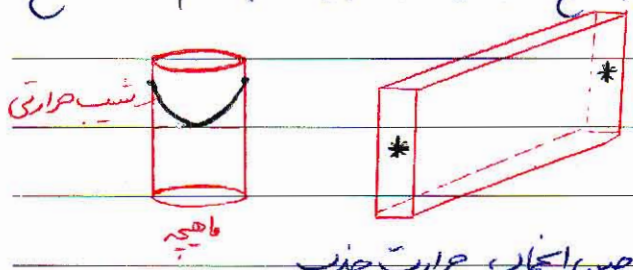
انحنای فصل مشترک روی مدول مؤثر اثر می‌گذارد. بردار انتقال حرارت (1) موازی با هم هستند.
در حالت (2) بردار انتقال حرارت واگرا است در نتیجه افزایش دمای قالب کمتر است و توانایی سرد کردن بیشتری دارد نسبت به سطح مسطح.
در حالت (3) بردار انتقال حرارت همگرا است در نتیجه افزایش دمای قالب بیشتر است و دیگر توانایی جذب حرارت را ندارد (زودتر به اشباع حرارتی می‌رسد).



در حالت (1) که ماهیچه نداریم، مدول هندسی با مدول مؤثر یکسان است.
در حالت (2): قطر ماهیچه زیاد است. در این حالت می‌توان فرض کرد ماهیچه و قالب

تفاوتی در جذب حرارت با هم ندارند. بعبارتی نفوذ حرارتی ماهیچه طوری است که تا موقعی که قطعه منجمد می‌شود، هنوز حرارت به مرکز ماهیچه نرسیده است.

حالت (2) تفاوتی با شرایط انجماد یک صفحه مسطح ندارد (استوانه باز شده باشد) فقط دو سطح جانبی جلویی و عقبی اضافه ایجاد کرده‌ایم.



* : دو سطح جانبی اضافی

حالت (4) ماهیچه قطر کمی دارد در نتیجه ماهیچه حین انجماد، حرارت جذب می‌کند در نتیجه احتمال دارد قبل از اینکه انجماد شروع شود (در مرحله‌ی کاهش دمای $T_m - T_p$ باشیم) انتقال حرارت باعث شود که حرارت ماهیچه اشباع شود (دمای ماهیچه برابر دمای T_m (ذوب) شود. بعبارت دیگر، قبل از شروع انجماد قطعه، ماهیچه هم دما با ذوب شده است و در نتیجه اثری روی انجماد نخواهد گذاشت و مثل یک استوانه توپر عمل می‌کند چون سطوح انتقال حرارت مثل استوانه‌ی توپر است (با ترتیب خوب)؛ پس سطح ماهیچه روی مدول (M) مؤثر اثری ندارد.

حالت (3): مشکل در این حالت است یعنی قطر ماهیچه نه بزرگ است و نه کوچک. در لحظات اول سطح ماهیچه سطح واقعی انتقال حرارت است و در محاسبه‌ی M باید در نظر گرفته شود. با گذشت از انجماد، حرارت بیشتر نفوذ می‌کند و قبل از اینکه قطعه منجمد شود، دو جبهه حرارتی در مرکز ماهیچه به یکدیگر می‌رسند و دمای ماهیچه در مرکز بالا می‌رود در نتیجه شیب حرارتی ماهیچه کم می‌شود بتدریج. بنابراین توانایی جذب حرارت ماهیچه افت می‌کند؛ در نتیجه برای محاسبه‌ی مدول مؤثر مثل لحظات اول نمی‌توان عمل کرد.

سطح داخلی (ماهیچه) روی زمان انجماد با یک ضریبی اثر می‌گذارد

d: قطر ماهیچه

D: قطر استوانه

حالت (2) $d \geq 0.8D$ → حالت (4) $d \leq 0.2D$

حالت (3): $0.2D < d < 0.8D$

ضریب تصحیح مدول: ۰ ۱

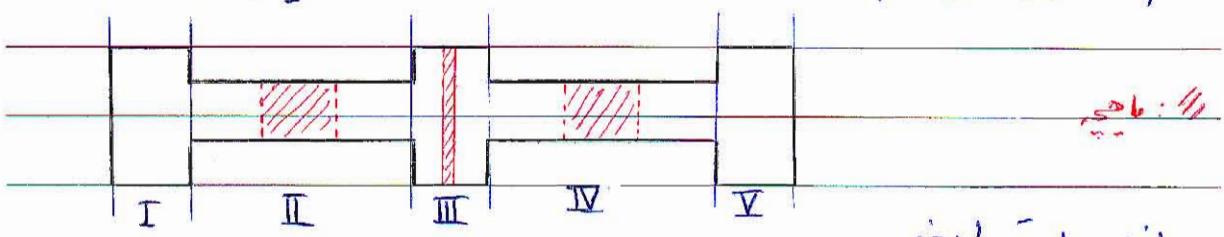
if $d = 0.5D$ → ضریب $= 0.5$

بعبارت دیگر سطح ماهیچه در محاسبات مدول در نظر گرفته می‌شود اما با ضریب 0.5 .

کل سطح ماهیچه را حساب می‌کنیم : ضریب = 1 ← $d = 0.8D$

پس مدول مؤثر زمان واقعی انجماد را به ما می‌دهد . باز هم برای قطعات واقعی ریخته‌گری، محاسبه مدول واقعی (مؤثر) خیلی مشکل است .

گام اول طراحی تغذیه ، بدست آوردن مدول مؤثر است که دشوار نیز می‌باشد.



: ماهیچه

در اینجا، مدول متوسط یعنی

$M = \frac{V}{A}$ (هندسی) فایده‌ای ندارد. محل تغذیه جائی است که انجماد خاتمه می‌یابد؟ نمونه را به 5 قسمت تقسیم کرده‌ایم و مدول را در هر قسمت بدست می‌آوریم در نتیجه برای هر قسمت می‌توان تعیین کرد چه زمانی و چطور منجمد می‌شود .

در نتیجه دیاگرام توزیع مدول قطعه را باید رسم کرد . یعنی چند درصد از قطعه یک مدول معین دارد و بر مبنای آن تغذیه را طراحی کرد.

تغذیه:
- شکل تغذیه ، محل تغذیه (تغذیه روئی ، تغذیه کناری) ← طراحی تغذیه
- ابعاد تغذیه ← محاسبات تغذیه

انواع تغذیه : روئی ، کناری ، باز ، بسته ، اتمسفری ، گرم ، سرد .

* نکته : از نظر تئوری ، تغذیه استوانه‌ای $\frac{H}{D} = 1$ بهترین شرایط را دارد اما در اکثر مواقع استوانه‌هایی با $\frac{H}{D} = 1.5$ در نظر می‌گیریم .

$\frac{H}{D} = 1$ وقتی بهترین حالت است که روی آن اگزوترم بزنیم یا عایق قرار دهیم . در $\frac{H}{D} = 1$ حرارت زیادی از طریق تشعشع از دست می‌رود.

اگر $\frac{H}{D}=1.5$ در نظر بگیریم، متناسب با $\frac{H}{D}=0.5$ ، اگزوترم در بالای تغذیه است. باندازهٔ $\frac{H}{D}=0.5$ از بالا تشعشع داریم (استفاده از خود مذاب). در واقع بجای اینکه اگزوترم بریزیم، از خود مذاب استفاده می کنیم منتها با $\frac{H}{D}=1.5$.

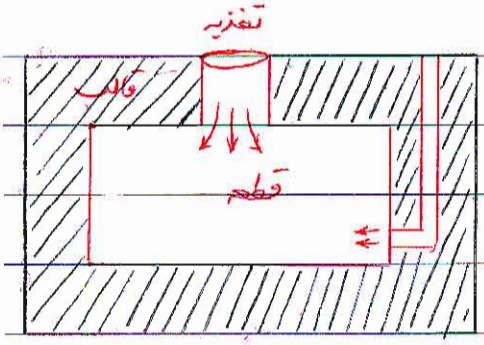
اگر مذاب گران باشد، حجم مذاب را استفاده ی این چنین نمی کنیم و اگزوترم استفاده می کنیم.

در طراحی تغذیه، مشکل ترین قسمت، بدست آوردن مدول مؤثر قطعه است.

۸۷/۹/۱۰

انواع تغذیه ها:

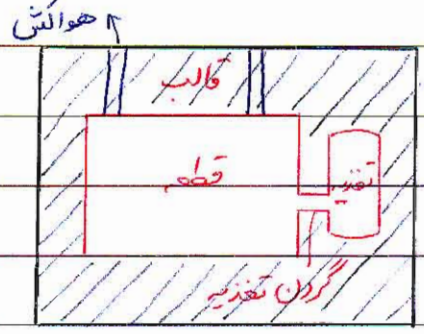
۱- تغذیه باز (روی):



تغذیه بالای قطعه قرار دارد. در نتیجه فشار مذاب برای حرکت به داخل قطعه وجود دارد و مذاب راحت تر حرکت می کند. سطح بالای تغذیه باز است:

پارامتر مثبت: همراه با جریان فلز مذاب و پر شدن قالب، هوای محفظه راحت تر خارج می شود و مانعی در جهت پر شدن قالب وجود ندارد. این امکان هم وجود دارد که سرباره و یا خالصی ها بعد از پر شدن قطعه، وارد تغذیه شود؛ در نتیجه احتمال باقیماندن سرباره در قطعه کم می شود. قالب گیری در این حالت راحت تر است. نحوه ی پر شدن قالب را می توان دید و به سطح مذاب دسترسی داریم.

پارامتر منفی: سطح بالایی باز است و تشعشع خواهیم داشت و در نتیجه برای تغذیه روی مجبور هستیم $\frac{H}{D}=1.5$ بگیریم و در نتیجه وزن مذاب تغذیه زیاد می شود و بهره ریختگی کم می شود. هم چنین چون تغذیه روی قطعه است، عملیات برشکاری هزینه بیشتری دارد و محل جداسازی تغذیه روی قطعه دیده خواهد شد.



2 ـ تغذیه کناری (بسته) :

یک اتصال از تغذیه به قطعه داریم (گردن تغذیه).

این تغذیه در اکثر موارد بصورت روبسته است.

برخی پارامترهای تغذیه باز را ندارد. برای خروج هوای محتبس تمهیداتی باید اندیشید : ماسه قالب‌گیری قابلیت عبور گاز زیادی داشته باشد یا هواکش ایجاد کرده باشیم. اگر هوا خارج نشود، قالب کاملاً پر نمی‌شود.

اگر سرباره وارد قالب شود، قطعاً داخل قطعه می‌ماند و امکان رفتن به تغذیه را ندارد.

پارامتر مثبت: سطح تغذیه بسته است و هدر رفتن حرارت از طریق تشعشع نداریم و می‌توان برای تغذیه $\frac{H}{D}=1$ در نظر گرفت. افت حرارتی داخل تغذیه نسبت به تغذیه باز کمتر است. چون تغذیه از طریق گردن تغذیه به قطعه متصل است، امکان اتصال تغذیه به قطعه، اطراف قطعه جاهای بیشتری دارد. (امکان اتصال بیشتر) محل اتصال را می‌توان به گونه‌ای در نظر گرفت که حساسیت کمتری دارد تا هم از نظر ظاهر و هم خواص متالورژیکی مناسب باشد:

تغذیه آخرین محلی است که منجمد می‌شود و محتوی حرارتی بیشتری است؛ در نتیجه سرد شدن آهسته بوده درشدانه خواهیم داشت و در نتیجه افت خواص مکانیکی.

برای اینکه تغذیه عملکرد مناسب داشته باشد، گردن تغذیه باید قبل از قطعه منجمد شود تا ارتباط آن با قطعه قطع نشود. برای اطمینان از اینکه گردن تغذیه دیرتر منجمد می‌شود، از نظر ابعاد و اندازه، مدول گردن تغذیه باید بصورت زیر باشد:

$$M : M_N : M_R$$

$$1 : 1.1 : 1.2$$

یعنی اول قطعه، بعد گردن تغذیه و بعد تغذیه منجمد می‌شود.

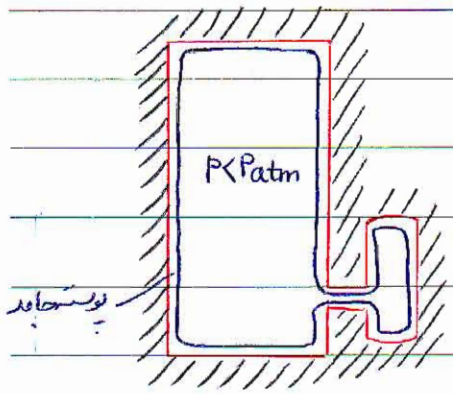
تغذیه بسته، تغذیه کور نیز نام دارد. برای راحت‌تر جریان یافتن مذاب، از فشار اتمسفر استفاده می‌کنیم تا مذاب از ارتفاع کم در تغذیه به ارتفاع زیاد در قطعه حرکت کند. در تغذیه روبی، حرکت مذاب از تغذیه به قطعه توسط نیروی ثقل انجام می‌شد. در تغذیه بسته (کور) این امکان وجود دارد که این شرایط را داشته باشیم اما یکسری شرط وجود دارد.

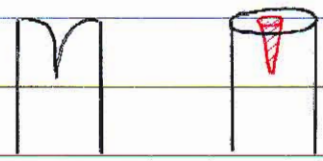
شرط: انجماد آلیاژ باید بصورت پوسته‌ای باشد و انجماد تغذیه درست طراحی شده باشد. پوسته جامد رشد می‌کند و انجماد پیشرفت کرده و چون حین انجماد حجم کم می‌شود، افت فشار خواهیم داشت.

یعنی $P < P_{atm}$

باید کاری کرد که فشار داخل تغذیه همان P_{atm} باقی بماند.

قسمت بالای تغذیه را بجای نیم کره بصورت شکاف دار تهیه می‌کنیم:

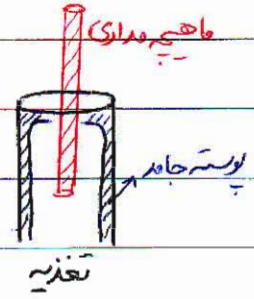




ماسه قالب‌گیری این شکاف را پر می‌کند. تحت این شرایط:

موقعی که پوسته جامد دور تا دور تغذیه ایجاد می‌شود، شکاف مثل یک ماهیچه عمل می‌کند (ماهیچه نازک). حرارت مذاب این شکاف ماسه‌ای را گرم می‌کند و دمای این ماسه بالا می‌رود و هم دما با مذاب می‌شود. بنابراین اطراف این شکاف، جامدی تشکیل نمی‌شود چون انتقال حرارت نداریم بر خلاف دیواره قسمت های دیگر.

در نتیجه فشار اتمسفری در هوا، از طریق منافذ قالب (عبور گاز) عیناً به مذاب داخل تغذیه اعمال می‌شود و در تغذیه P_{atm} داریم اما در قطعه $P < P_{atm}$. چون دور تا دور قالب را پوسته جامد فلز مذاب پوشانده است. این اختلاف فشار باعث می‌شود داخل قطعه خلأ جزئی ایجاد شده و مذاب از منطقه فشار بالا به منطقه فشار پایین جریان یابد. اگرچه ارتفاع تغذیه پایین‌تر از قالب است اما باز حرکت مذاب از تغذیه به قالب را داریم. گاهی بجای ایجاد شکاف، بصورت زیر عمل می‌کنیم:



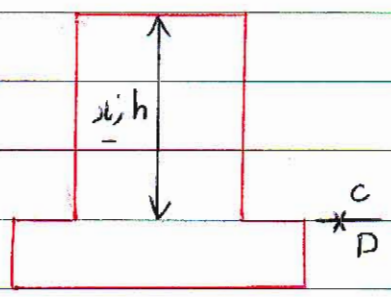
ماهیچه مداری از ماسه‌های درشت تر تهیه شده است و قابلیت عبور گاز زیادی دارد. در نتیجه فشار هوای اتمسفر به تغذیه انتقال می‌یابد. ماهیچه فوق سریع از حرارت اشباع می‌شود و در نتیجه روی آن جامدی تشکیل نمی‌گردد.

اگر ارتفاع ماسه روی تغذیه زیاد باشد، از ماهیچه مداری استفاده می‌کنیم.

اگر انجماد آلیاژ بصورت دندریتی باشد، بجای پوسته جامد، روی سطح دندریت ایجاد می‌شود و در نتیجه از لابه‌لای شاخه‌های دندریت با سطح یا دیواره قالب در تماس است و فشار داخل قالب برابر فشار اتمسفر می‌شود و دیگر اختلاف فشار نداریم و جریان مذاب نخواهیم داشت و کل حفره انقباضی داخل قطعه تشکیل می‌شود.

می‌توان ارتفاع تغذیه را زیاد گرفت تا به سطح آزاد برسد (تغذیه اتمسفری) اما در اینصورت وزن تغذیه (فلز هدر رفته) زیاد می‌شود در حالیکه مدول آن (وابسته به D) یکسان است.

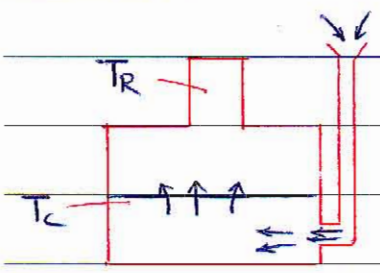
برای اینکه مدل بتواند خارج شود، تمام تغذیه‌های کناری باید در سطح جدایش قرار بگیرند؛ یعنی گردن تغذیه روی سطح جدایش قرار می‌گیرد.



در این شرایط گاهی اجباراً تغذیه پایین‌تر از قالب قرار می‌گیرد و باید شرایطی فراهم کرد که جریان از پایین به بالا داشته باشیم.

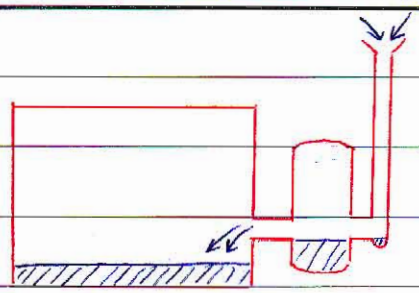
تغذیه سرد - گرم:

بسته به مسیر حرکت (جریان) فلز مذاب و تغییر دمای مذاب حین پر شدن موقع ریخته‌گری این نوع تغذیه‌ها را داریم.



در حالت تغذیه روی: از لحظه‌ای که مذاب وارد محفظه می‌شود افت دما داریم. اولین مذاب وارد راهگاه می‌شود و مذابی است که کمترین دما را دارد. در داخل قطعه، مذاب سطحی اولین مذاب بوده است و کمترین دما را دارد. از طرفی چون در سطح قرار دارد افت دما در اثر تشعشع نیز داریم.

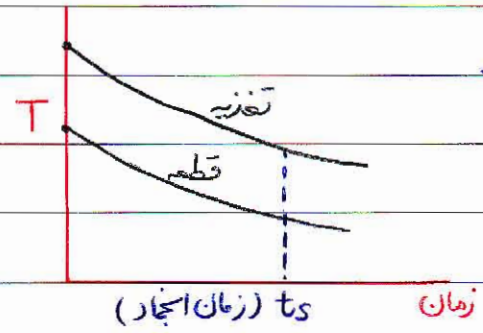
وقتی قطعه و تغذیه پر شدند، $T_R < T_C$ خواهد بود (دمای تغذیه کمتر از قطعه) چون مذاب اولیه در تماس با دیواره سرد شده است و در قالب هم رو بوده و تشعشع داشته است. تغذیه در این جا محتوی حرارتی کمتری دارد و تغذیه سرد نام دارد. قرار بود تغذیه بعد از قطعه منجمد شود اما در اینجا، $T_R < T_C$ است.



در این جا راهگاه به تغذیه متصل شده است. اولین مذاب که وارد می‌شود، وارد محفظه قالب خواهد شد. در حین عبور، مذاب از طریق تشعشع مقدار زیادی حرارت از دست می‌دهد. در نتیجه دیواره تغذیه گرم می‌شود. مداوم مذاب گرم‌تر وارد می‌شود و وقتی محفظه قالب پر شد، آخرین مذاب که وارد می‌شود، دیواره تغذیه و قالب گرم شده است و افت حرارتی کمتری دارد و مذاب گرم وارد تغذیه می‌شود. بلافاصله بعد از پر شدن قطعه و تغذیه، $T_R > T_C$ است. این مسئله کمک می‌کند که مذاب بیشتر در تغذیه باقی بماند بدون اینکه منجمد شود و در نتیجه زمان انجماد بیشتری خواهد داشت.

در شرایط مدول یکسان، مذاب دمای بالاتر، زمان انجماد بیشتری دارد چون محتوی حرارتی بیشتری است. در نتیجه در این حالت تغذیه گرم داریم و از نظر انجمادی معادل است با یک تغذیه بزرگتر با دمای پایین‌تر. عملاً وجود تغذیه گرم، علی‌رغم مذاب کمتر، زمان انجماد طولانی‌تری دارد به دلیل اختلاف دما.

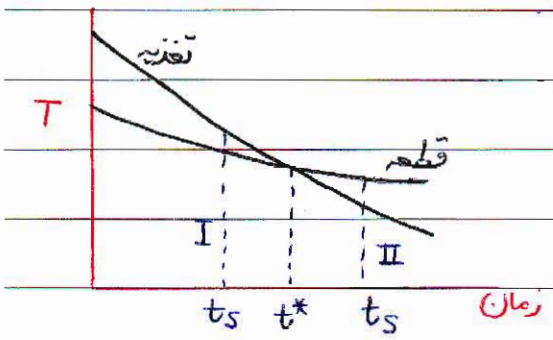
بنابراین قطر تغذیه سرد > قطر تغذیه گرم، تا اینکه زمان انجماد مساوی داشته باشند.



حالت ۱) تغذیه گرم چون در $t=0$، $T_R > T_C$. انجماد و مدول بگونه‌ای بوده است که در t_s، قطعه منجمد شده اما تغذیه هنوز منجمد نشده است. در نتیجه تغذیه شرایط مناسب را دارد. بعد از t_s، زمان زیادی مذاب در تغذیه داریم.

انجماد تغذیه بیش از حد لازم بوده چون مذاب زمان زیادی بیهوده داخل تغذیه بوده و این امکان وجود دارد که انجماد تغذیه کمتر باشد اما باز هم این شرایط را داشته باشیم.

داشتن درت زیاد مذاب در تغذیه روی قسمتی از قطعه که در تماس با تغذیه است، اثرات نامطلوبی دارد: رشد دانه‌ها، جدایش و...



حالت 2) تغذیه گرم چون در $t=0$ ، $T_R > T_c$ ایجاد به گونه ای بوده است که نرخ افت دما در تغذیه بیش از نرخ افت دما در قطعه است در نتیجه در t^* ، $T_R = T_c$ شده است.

در حالت I : اگر $t_s < t^*$ باشد، قطعه کاملاً منجمد شده است ولی تغذیه هنوز منجمد نشده و قطعه سالم تولید می شود و بعد از مدتی تغذیه منجمد می شود پس قطعه سالم خواهد ماند.

در حالت II : اگر $t_s > t^*$ باشد ، دمای تغذیه کمتر از قطعه است و قبل از اینکه قطعه کاملاً منجمد شود ، افت دمای تغذیه باعث می شود ، $T_R < T_c$ و در نتیجه تغذیه زودتر از قطعه منجمد می شود و بنابراین قطعه همراه با حفره انقباضی تولید شده و ناسالم است.

در حالت $t_s < t^*$ ، شرایط از حالت قبلی تغذیه گرم ، بهتر است.

در شرایط $T_c < T_R$ ، اگر مدول هندسی $M_R = M_c$ باشد ، مدول مؤثر $M_R > M_c$ است چون تغذیه محتوی حرارتی بیشتری دارد و زمان انجماد طولانی تر است. پس تغذیه دیرتر منجمد می شود اگرچه $M_R = M_c$ (مدول مؤثر نیست ، مدول هندسی است).

در شرایط عادی :

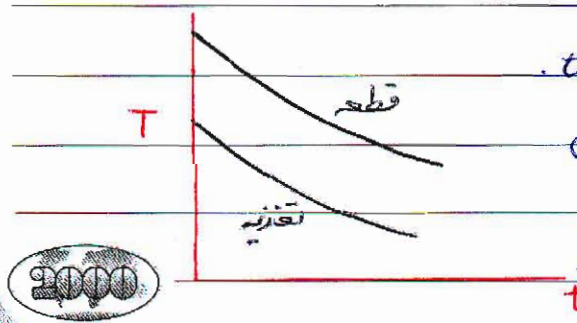
$$\left.\begin{array}{l} M_R = 1.2\ M_c \\ M_c = 2 \end{array}\right\} \mapsto M_R = 2.4 = \frac{D}{4} \mapsto D = 9.6^{cm}$$

در شرایط تغذیه گرم ، می تواند مدول یکسان باشد :

$$M_R = M_c \mapsto D = 8^{cm}$$

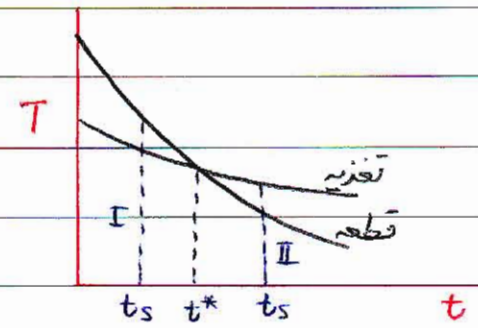
پس وزن مذاب صرفه جویی می شود.

پس مزیت تغذیه گرم این است که در میزان مذاب تغذیه صرفه جویی صورت می گیرد.



حالت 3) تغذیه سرد. چون $T_R < T_c$ در $t=0$. با گذشت زمان همواره $T_c > T_R$ در نتیجه طراحی منجر به تولید قطعه معیوب می شود. چون تغذیه زودتر منجمد می شود.

حالت 4) تغذیه سرد چون در $t=0$ ، $T_R < T_C$



افت دما در تغذیه کمتر است. بسته به ابعاد و اندازه

اگر $t_s < t^*$ باشد در نتیجه قطعه ناسالم است چون

تغذیه زودتر منجمد می‌شود.

اگر $t_s > t^*$ باشد، قطعه زودتر منجمد شده و

مشکلی نداریم. برای اینکه چنین شرایطی حاصل

شود، در تغذیه سرد کمک می‌کند به ایجاد زود هنگام مذاب چون محتوی حرارتی کم است. اگر

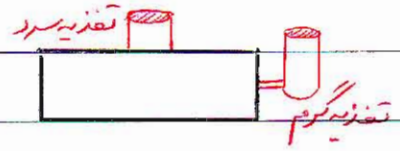
طراحی درست نباشد، ممکن است علی رغم اینکه $M_R = 1.2 M_C$ $(M_R > M_C)$ ، تفاوت در

میزان حرارت موجب شود تغذیه زودتر از قطعه یا همزمان با قطعه منجمد شود. به هر حال اطمینان

زیادی از سالم بودن قطعه نداریم.

وقتی تغذیه سرد داریم، معمولاً ابعاد و اندازه باید بزرگتر باشد تا کمبود محتوی حرارتی جبران شود.

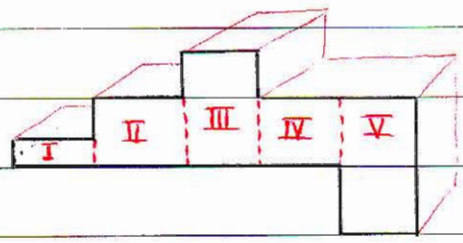
بسته به نوع طراحی، هر کدام از این تغذیه‌ها استفاده می‌شود.



عاملی که مشخص می‌کند، در چه مکان و چه تعداد از این

تغذیه‌ها استفاده شود، مدول قطعه است. بعبارتی

دیاگرام توزیع مدول.



برای یک قطعه با شکل مقابل می‌توان مدول متوسط را

بدست آورد اما فایده‌ای ندارد چون بیانگر خصوصیت

انجمادی قطعه نخواهد بود.

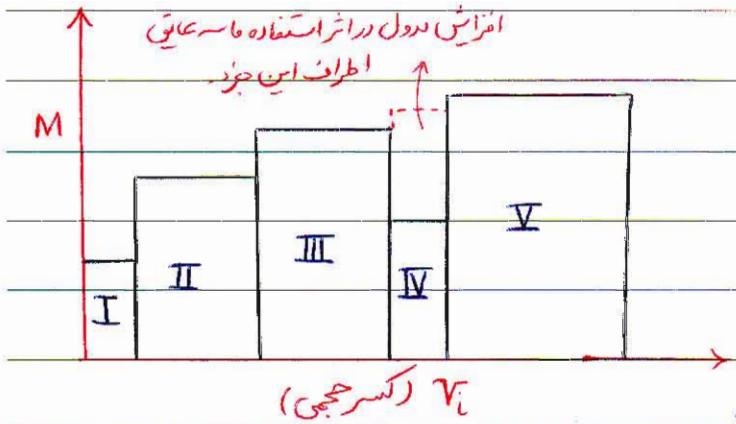
قسمت I ، حجم کمی دارد و زمان انجماد کوتاهی خواهد داشت برخلاف قسمت V.

برای تعیین نحوه‌ی انجماد و نحوه‌ی تغذیه گذاری، دیاگرام توزیع مدول را تعریف می‌کنیم. قطعه را به

پنج قسمت تقسیم می‌کنیم.

برای محاسبه‌ی M_I ، سطح فصل مشترک با II را در نظر نمی‌گیریم چون سطح انتقال حرارت نمی‌باشد.

پس مدول قسمت های مختلف را با در نظر گرفتن نکته بالا بدست می‌آوریم.



حجم کل و حجم هر جزء را داریم در نتیجه می‌توان V_i را بدست آورد.

از این دیاگرام اطلاعات زیادی بدست می‌آید:

انجماد از جایی شروع می‌شود که $min(M)$ را دارد یعنی قسمت I.

خاتمه انجماد جایی است که $max(M)$ را دارد یعنی قسمت V. پس محلی که باید تغذیه قرار دهیم همین قسمت است چون آخرین مذاب را باید برساند.

اول جزء I منجمد می‌شود و بعد IV. با انجماد جزء IV، دو قطعه خواهیم داشت چون پل ارتباطی قطع خواهد شد.

جزء II تغذیه جزء I و جزء III تغذیه‌ای برای IV و II است. جزء V هم برای IV نقش تغذیه دارد. چیزی نیست که به III مذاب برساند پس یک تغذیه هم روی جزء III قرار می‌دهیم.

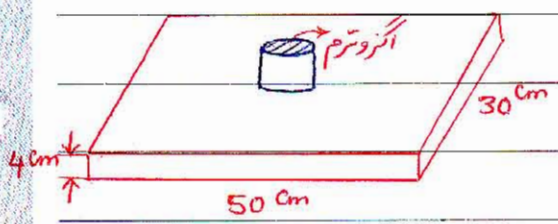
تغذیه روی V انقباض این جزء را جبران می‌کند اما تغذیه روی III انقباض I، II، III و IV را جبران می‌کند. جزء IV مذاب را از V هم می‌گیرد اما در محاسبات برای ضریب اطمینان هر دو را در نظر می‌گیریم.

اگر چنین قالب‌گیری اطراف جزء IV ماسه عایق بریزیم، مدول مؤثر این جزء زیاد می‌شود یا اینکه به هر نحوی مدول مؤثر این جزء را افزایش دهیم، شکل نمودار بالا بصورت --- خواهد شد. قطعه تغییری نکرده است اما مدول مؤثر قطعه تغییر کرده است. بدین ترتیب (نمودار توزیع مدول صعودی شده است) انجماد جهت‌دار داریم و یکی از تغذیه‌ها کم می‌شود و فقط یک تغذیه روی V قرار می‌دهیم. می‌توان از سرد استفاده کرد و مدول را کاهش داد. پس با سرد یا ماسه عایق می‌توان تعداد تغذیه‌ها را کاهش داد تا بهره ریختگی افزایش یابد (وزن هدر رفته مذاب در تغذیه کم شود) و هزینه برشکاری تغذیه کم شود.

شرایط عملکرد مناسب تغذیه:

۱ـ زمان انجماد طولانی تر 2ـ حجم مذاب کافی

برای قطعه‌ای با ضخامت کم، برای محاسبه‌ی اندازه تغذیه، ممکن است تغذیه‌ای بدست آید که انجماد کوچکتر از مورد نیاز بدست آید که با توجه به M بیشتر از قطعه شرط اول را برآورده کند اما شرط دوم را نتواند. بعنوان مثال:



$$M \sim \frac{T}{2} = 2^{Cm}$$

$$M_R = 1.2 \times 2 = 2.4^{Cm} = \frac{D}{4}$$

$$\mapsto D = 9.6^{Cm}$$ قطر تغذیه:

تمام مذاب داخل تغذیه نمی‌تواند برای جبران مذاب کم آمده در قطعه (جبران انقباض) به کار رود چون در تغذیه نیز انجماد صورت می‌گیرد. برای تغذیه‌هایی که $\frac{H}{D} = 1$ دارند، در شرایط معمولی حداکثر حجم مذاب تغذیه که می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد، برای جبران انقباض، حدود ٪20 است.

$$V_e^R = 20\% \, V^R$$

در واقع ٪80 درصد مذاب داخل تغذیه همزمان با قطعه و قبل از انجماد کامل قطعه، منجمد می‌شود و در نتیجه باید محاسبه نمود این ٪20 جوابگوی میزان انقباض است یا نه.

میزان انقباض به نوع آلیاژ بستگی دارد. فرض می‌کنیم ٪5 باشد.

$V_{\text{قطعه}} = 50 \times 30 \times 4 = 6000 \ Cm^3$

$5\% \times 6000 = 300 \ Cm^3$ حجم حفره انقباضی

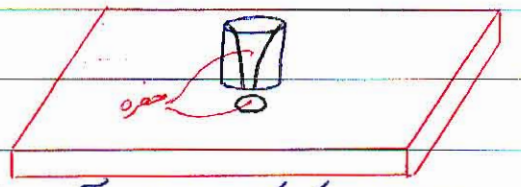
$\rightarrow V_e^R = 300^{Cm^3}$

پس V_e^R حداقل باید $300 \ Cm^3$ باشد.

$D = 9.6^{Cm} \sim 10^{Cm}$, $\frac{H}{D} = 1 \rightarrow V^R = 25 \times 3.14 \times 10 \sim 800^{Cm^3}$

$\rightarrow V_e^R = 20\% \, V^R = 160 \ Cm^3$

این تغذیه شرط اول را دارد اما حجم کافی مذاب را ندارد. چون $300 \ Cm^3$ مذاب نیاز داریم و در نتیجه داخل قطعه و تغذیه حفره بصورت شکل زیر وجود دارد:

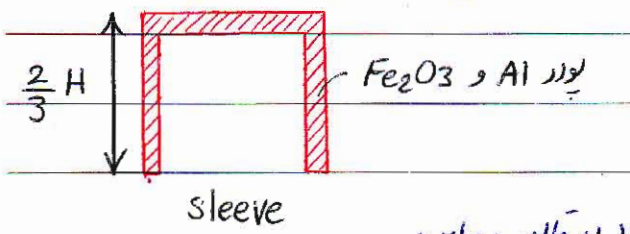


برای داشتن حجم کافی مذاب می توان ابعاد تغذیه را بزرگتر در نظر گرفت (H ، D و یا هر دو).

معمولاً برای قطعات نازک چون M کمی دارند ، M تغذیه هم کوچک بدست می آید و در نتیجه حجم تغذیه کافی نخواهد بود . در نتیجه عاملی که باید کنترل نمود تا ابعاد مناسب تغذیه بدست آید ، حجم مذاب مورد نیاز است .

برای افزایش راندمان تغذیه ، یکی از روش ها این است که زمان باقی ماندن مذاب در تغذیه را افزایش دهیم بدون اینکه حجم آن را افزایش دهیم : استفاده از عایق یا حرارت زا (اگزوترم) در اطراف تغذیه . در نتیجه در لحظات انجماد قطعه ، انجماری داخل قطعه نداریم ؛ بنابراین راندمان تغذیه بجای 20٪ ، 60٪ خواهد شد .

معمولاً یک قالب بصورت شکل زیر می سازند که هم شکل با تغذیه است و هم جنس با مواد حرارت زا در داخل جعبه ماهیچه این شکل را می سازیم . قطر داخلی این شکل برابر قطر خارجی تغذیه است .



این قطعه روی مدل قرار داده می شود و بعد مخلوط ماسه گیری را روی آن می ریزیم . با خروج مدل ، این قسمت باقی می ماند و وقتی مذاب ریخته می شود در قالب ، این مذاب در تماس با ماسه نخواهد بود و با این قطعه تماس دارد . در نتیجه زمان انجماد بالا رفته و راندمان تغذیه تا 60٪ افزایش می یابد و از 60٪ مذاب تغذیه می توان استفاده نمود . در اینصورت :

$$V_e^R = 800 \times 60\% = 480\ cm^3$$

در نتیجه بدون اینکه نیاز باشد ابعاد تغذیه را عوض کنیم ، با همان تغذیه $480\ cm^3$ مذاب می توان تأمین نمود . الان حجم مذاب کافی برای جبران انقباض داریم .

در واقع مواد حرارت زا در اطراف تغذیه ریخته ایم و در نتیجه مدول مؤثر تغذیه افزایش یافته است و می توان از ابعاد کوچکتر تغذیه استفاده نمود .

$$R = 60\% \rightarrow V^R = \frac{100}{60} \times 300 = 500\ cm^3$$

$\frac{H}{D} = 1$ و در نتیجه می توان H و D را محاسبه نمود .

2000 For All

در اینجا مدول مؤثر را عوض کرده‌ایم و دیگر $\frac{M_R}{M_C} = 1.2$ رعایت نشده است.

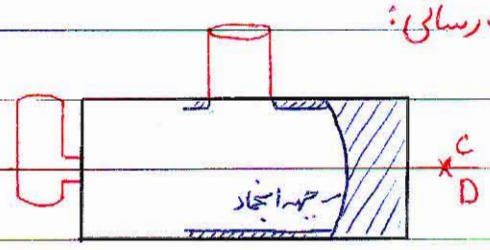
وقتی واکنش $Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + Fe + Q$ تمام شد، تغذیه جامد خواهد شد و در آخر یک پوسته‌ی عمدتاً Al_2O_3 خواهیم داشت.

ارتفاع قطعه فوق $\frac{2}{3}H$ است؛ چون گازهای ناشی از واکنش بالا، مذاب در تماس با این قطعه را آلوده می‌کند و $\frac{1}{3}H$ را خالی می‌گذارند تا مذابی که از این قسمت وارد قطعه می‌شود، آلوده نشده باشد. پس ارتفاع sleeve را $\frac{2}{3}H$ (ارتفاع تغذیه) می‌گیرند. در $\frac{1}{3}H$ پائینی واکنش اگزوترمیک صورت نمی‌گیرد و مذاب این قسمت آلوده نخواهد شد.

برای مذاب‌های گران قیمت از sleeve استفاده می‌کنیم وگرنه ابعاد تغذیه را بزرگتر می‌گیریم.

در حالت تغذیه بزرگتر و زمان انجماد طولانی‌تر، خواص قطعه در محل اتصال با تغذیه افت می‌کند و چاره‌ای هم نیست.

شرط سوم عملکرد مناسب تغذیه: فاصله مذاب رسانی:

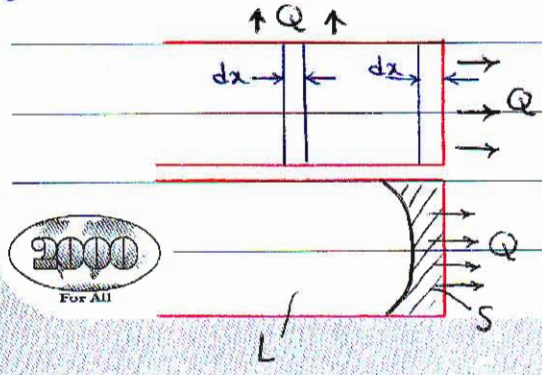


فرض می‌کنیم دو شرط قبلی رعایت شده باشد. مهم‌ترین عامل در مذاب رسانی، مکانیزم انجماد است.

در حالت انجماد پوسته‌ای، مانعی برای حرکت مذاب نداریم. در حالت انجماد خمیری یا دندریتی، هم‌زمان با انجماد در قسمت‌های مختلف، دندریت‌هایی رشد می‌کنند که مانع از جریان مذاب می‌شود و فاصله مؤثر مذاب رسانی زیاد می‌شود و ممکن است مذاب نتواند این فاصله طولانی‌تر را طی کند.

فاصله مذاب رسانی: فاصله‌ای که مذاب در اطراف تغذیه می‌تواند طی کند. (Feeding Distance)

در اکثر موارد انجماد آلیاژها بصورت دندریتی است و مشکلات طراحی و تعداد تغذیه بیشتر وجود دارد بدلیل Feeding Distance کمتر.



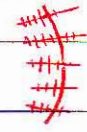
قسمت انتهایی قالب، مدول بسیار کمتری دارد در مقایسه با وسط قالب. چون یک سطح انتقال حرارت بیشتری دارد: End Effect.

بدلیل اثر انتهایی قالب (End Effect) انجماد از این قسمت شروع می‌شود چون مدول کمتری دارد. در انتها، گوشه‌ها باز مدول کمتری دارد چون بازای یک حجم مشخص، سطح انتقال حرارت بیشتر است. پس اولین جایی که منجمد می‌شود همین گوشه‌ها خواهد بود. با گذشت زمان و خروج حرارت، جبهه انجماد بصورت شکل قبلی خواهد بود.

قبل از انجماد جاهای دیگر، در قسمت انتهایی جامد داریم در نتیجه نرخ انتقال حرارت کمتر است. از دیواره بالا و پائین، راحت‌تر حرارت منتقل می‌شود اما از قشر جامد به سختی.

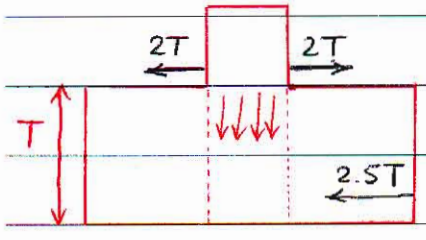
با افزایش ضخامت جامد شکل گرفته، تأثیر End Effect کمتر می‌شود. بسته به نفوذ حرارتی قشر جامد (بسته به نوع آلیاژ): در مورد مس حتی اگر این قشر ضخامت زیادی داشته باشد، حرارت از قسمت انتهایی خارج می‌شود. در مورد فولادهای معمولی با ایجاد قشر جامد و بعد از مدتی، این قسمت انتهایی تأثیری در انجماد ندارد و حرارت از دیواره‌ها منتقل می‌شود. در ابتدا در هر دو حالت End Effect را داریم و در ادامه بسته به نوع آلیاژ، این اثر کم یا بی‌تغییر می‌ماند.

در مورد فولاد انجماد دندریتی داریم: فصل مشترک بصورت دندریتی است و همان End Effect را داریم:



با ادامه انجماد، دندریت‌ها روی دیواره شکل می‌گیرد و مانع جریان مذاب از تغذیه به قطعه می‌شود.

مذاب باید به جبهه انجماد برسد چون در جبهه انجماد، انقباض داریم. وقتی رشد دندریتی داریم وقتی تغذیه رویی داریم، تمام سطح زیر تغذیه بدلیل فشار مثبت مذاب (وزن فلز تغذیه) و در محل اتصال، انجماد نداریم و در سطح زیر تغذیه، مذاب رسانی به خوبی انجام می‌شود و از طرف تغذیه مانعی نداریم.

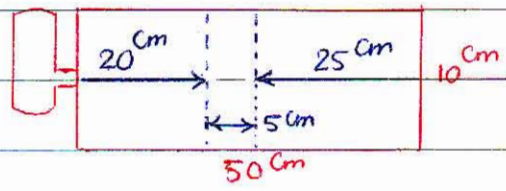


در حالت رشد دندریتی، فاصله‌ای که مذاب از تغذیه از دو طرف می‌تواند طی کند، حداکثر 2T است اما اثر انتهایی به میزان 2.5T است. در نتیجه تغییر مدول برای آلیاژهایی که رشد دندریتی دارند و ضریب انتقال حرارت بالایی ندارند، تأثیرگذارتر از تغذیه است؛ یعنی فاصله‌ای که مطمئن هستیم مذاب به جبهه انجماد می‌رسد، 2.5T خواهد بود.

تغذیه کناری، مذاب رسانی مطلوب را ندارد. T: ضخامت قطعه

برای تغذیه کناری نیز فاصله مذاب رسانی 2T است.

اثر انتهایی : $2.5T = 25^{cm}$

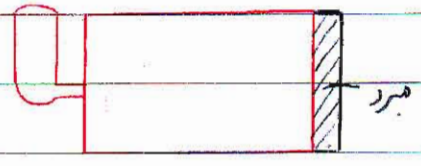


25^{cm} از انتهای قطعه بدون هیچ مشکلی منجمد می‌شود یعنی مذاب رسانی صورت گرفته است.

تغذیه کناری 20^{cm} مذاب رسانی انجام می‌دهد. در نتیجه 5^{cm} مرکز قطعه نه تحت اثر انتهایی قرار دارد و نه تغذیه کناری. پس هیچ عاملی برای جبران حفره وجود ندارد و حفره انقباضی تشکیل خواهد شد. بنابراین ناچار هستیم یک تغذیه روی هم استفاده کنیم. در اینصورت علی رغم اینکه این فاصله 5^{cm} است، نمی‌توان از تغذیه 5^{cm} استفاده کرد چون قطر تغذیه باید به گونه‌ای باشد که شرط اول (دیرتر منجمد شدن) رعایت شود.

پس قطر تغذیه روی ضرورتاً 5^{cm} نخواهد بود در این مسئله قطر تغذیه باید 16^{cm} باشد علی رغم اینکه فقط 5^{cm} نیاز داریم (بدلیل رعایت شرط اول).

راه حل دیگر: بیشتر کردن تأثیر اثر انتهایی: در قسمت انتهایی یک مبرد قرار می‌دهیم؛ عملاً این کار باعث می‌شود مدول مؤثر بخش انتهایی بیشتر کاهش یابد.

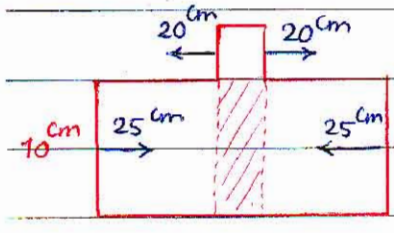


اگر نفوذ حرارتی 5 برابر شود، این سطح 5 برابر حالت عادی اثر دارد: $M_{\text{مؤثر}} = 5\,(M_{\text{هندسی}})$

مبرد برای فلزات و آلیاژهایی که ضریب انتقال حرارت کمی دارند، خیلی مؤثر نیست و حدود 5^{cm} تأثیر اثر انتهایی را بیشتر می‌کند (حدود "2"): $2.5T + 5^{cm}$

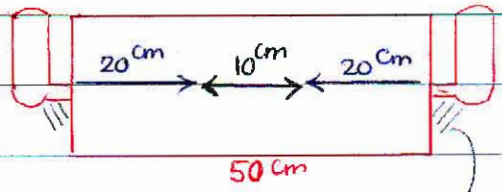
استفاده از مبرد در قسمت انتهایی، در مثال قبلی برابر فاصله $25+5=30^{cm}$ مذاب رسانی از انتها داریم و مشکل 5^{cm} نیز حل می‌شود و به تغذیه روی نیاز نخواهیم داشت.

برای فلزات با ضریب انتقال حرارت بالا، با استفاده از مبرد، فاصله مذاب رسانی از انتها یا End Effect، $2.5T + 15^{cm}$ خواهد بود.



راه حل دیگر: استفاده از تغذیه روی به جای تغذیه کناری. سطح زیر تغذیه روی در محاسبات مذاب رسانی به حساب نمی‌آید. از هر دو طرف در مجموع 45^{cm} مذاب رسانی داریم.

استفاده از تغذیه کناری، اثر منفی دارد:



فاصله عدم مذاب رسانی = 10^{cm}

در حالت اول با یک تغذیه کناری، این فاصله حدود 5^{cm} است.

ماسه در این قسمت‌ها، انتقال حرارت ندارد چون از حرارت اشباع شده است چون ضخامت ماسه بین قطعه و تغذیه کم است.

پارامترهای منفی تغذیه کناری:

۱- فاصله عدم مذاب رسانی بیشتر شده است (از 5^{cm} به 10^{cm}).

2- دو برابر وزن تغذیه اولیه، فلز مذاب استفاده شده است (تغذیه اضافی) تغذیه دوم نمی‌تواند کوچک باشد چون ابعاد تغذیه را زمان انجماد تعیین می‌کند.

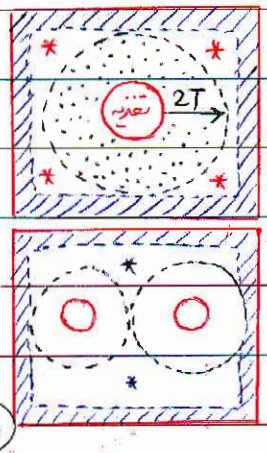
3- اثر انتهایی را دقت داشته باشیم، چون سریع‌تر انجماد صورت می‌گیرد، خواص مکانیکی بهتر از این حالت خواهد بود. در نزدیکی تغذیه، خواص مکانیکی افت می‌کند. در این جا دو تا تغذیه داریم و افت خواص بیشتر است.

حتی‌المقدور باید از تغذیه‌های کمتری استفاده نمود چون استفاده از تغذیه از لحاظ خواص و هزینه‌ها به ضرر است: هزینه مذاب اضافی، برشکاری، تمیزکاری و ...

هدف: با کمترین تعداد و ابعاد تغذیه، قطعه سالم را بدست آوریم.

افت خواص مکانیکی اطراف تغذیه را می‌توان با عملیات حرارتی جبران نمود و این بهتر از این است که قطعه حفره داشته باشد.

سرعت سرد شدن کم موجب رشد دانه، جدایش بیشتر و عدم یکنواختی بیشتر می‌شود.



دید از بالا

مناطق هاشور خورده و نقطه نقطه به ترتیب تحت اثر فاصله انتهایی و تغذیه روی، مذاب رسانی می‌شوند.

اما در مناطق * مذاب رسانی نخواهیم داشت و حفره انقباضی شکل می‌گیرد. ممکن است از دو تغذیه استفاده کنیم.

باز هم ممکن است یکسری مناطق مذاب رسانی کافی نداشته باشند.

2000 For All

در حالت انجماد پوسته‌ای، فاصله مذاب رسانی از End Effect و تغذیه بصورت زیر است:

* End Effect : $(5-10)T$ مس ← 10 ، فولاد ← 5

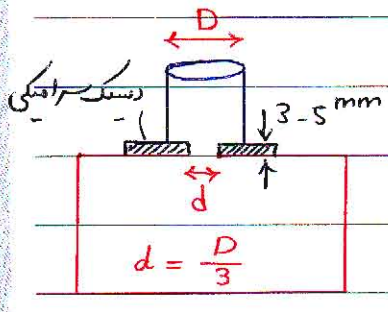
* تغذیه : $10\ M_R$

برخی چدن‌ها حین انجماد انقباض ندارند و بدون تغذیه، ریخته‌گری می‌شوند. برای آلیاژ برنز + فسفر یا برنز + سرب، چون برد انجماد خیلی زیاد است، همیشه حفره انقباضی داریم مگر اینکه با ریخته‌گری پیوسته انجام دهیم.

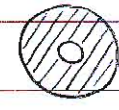
شرط آخر (4) عملکرد مناسب تغذیه: ارتباط بین قطعه و تغذیه:

در تغذیه کناری ممکن است گردن تغذیه منجمد شود قبل از انجماد قطعه و در نتیجه تغذیه عملکرد مناسب نخواهد داشت و حفره انقباضی داخل قطعه داریم.

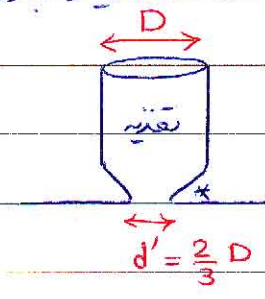
برای تغذیه‌های رویی: بعد از انجماد، سطح زیادی باید برشکاری شود و هزینه زیاد خواهد بود. برای سهولت در برشکاری دو راه وجود دارد:



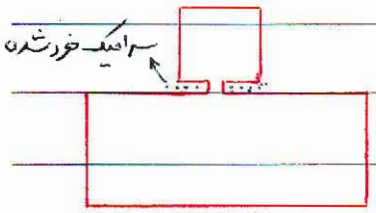
استفاده از دیسک سرامیکی با ضخامت کم که مرکز آن سوراخ است بمنظور جریان مذاب.



راه دیگر این است که تغذیه را بصورت زیر بسازیم:



در هر دو حالت موقعی که مذاب را در قطعه و تغذیه می‌ریزیم، چون ضخامت دیسک و ماسه در قسمت دهانه کم است، سریعاً از حرارت اشباع می‌شود و بسرعت سرخ می‌شود و با فلز هم دما خواهد شد و انتقال حرارت در این قسمت‌ها رخ نخواهد داد. (ضریب هدایت سرامیک نیز کم است). پس در دهانه انجماد رخ نمی‌دهد چون انتقال حرارت نداریم. بعد از انجماد بدلیل انقباض، به دیسک سرامیکی فشار



اعمال می‌شود و خرد خواهد شد. بدین ترتیب هزینه برشکاری تغذیه کم می‌شود.

برای کاهش هزینه دیسک سرامیکی می‌توان از راه دوم استفاده کرد. ماسه در قسمت * از حرارت اشباع می‌شود. البته در این حالت ضخامت را نمی‌توان خیلی کم گرفت چون مذاب ماسه را می‌شوید (ماسه‌شویی)؛ پس در حالت بدون دیسک، گردن تغذیه کلفت‌تر است $(\frac{2}{3}D)$.

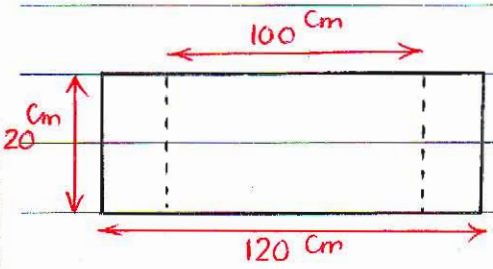
در حالت ماهیچه سرامیکی، دهانه تغذیه به $\frac{1}{3}D$ می‌رسد پس هزینه برشکاری کمتری دارد.

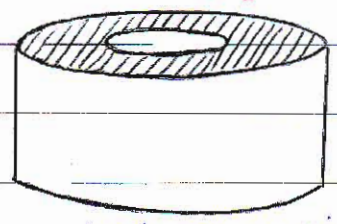
وقتی آلیاژ ریخته شده سختی بالایی دارد و هزینه برشکاری بالاست، از دیسک سرامیکی استفاده می‌کنیم. اگر سختی قطعه کم باشد، برای صرفه‌جویی ماهیچه سرامیکی، از راه دوم استفاده می‌کنیم.

ماهیچه سرامیکی، ماهیچه برشی نیز نام دارد که موجب می‌شود برای ماهیچه روی هم گردن تغذیه داشته باشیم. مدول گردن باید بیشتر از قطعه باشد تا زودتر منجمد نشود.

۸۷/۹/۱۷

تغذیه‌گذاری قطعات ریخته‌گری:





فرض: ریخته‌گری فولاد با 5٪ انقباض.

با توجه به هندسه قطعه، ریخته‌گری بصورت افقی انجام می‌شود. چندین حالت وجود دارد:

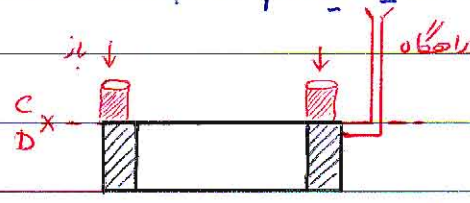
(1) کل قطعه در نیمه پایین

(2) کل قطعه در نیمه بالا

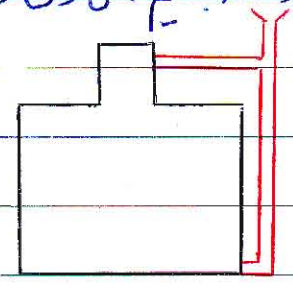
(3) نصف در هر دو نیمه

انتخاب سطح جدایش به نوع تغذیه و ... بستگی دارد.

حالت (۱): تغذیه را می‌توان در تای بالا روی قطعه قرار داد. قطعه سنگین است. اگر از تغذیه استوانه ای باز بخواهیم استفاده کنیم، شرایط تغذیه گرم داریم. مذاب اولیه از سطح جدایش وارد شده و قطعه را در تای پائینی پر می‌کند و بعد وارد تغذیه می‌شود. در نتیجه زمان انجماد تغذیه هم مشکلی ندارد. چون سیستم راهگاهی روی سطح جدایش است، تغذیه روی گرم خواهد بود.



برای قطعات سنگین، راهگاه را از پائین می‌زنیم تا حالت آبشاری برای مذاب پیش نیاید چون ارتفاع مذاب هم زیاد است. یعنی مذاب از پائین قطعه را پر می‌کند. در این حالت تغذیه از نوع سرد خواهد بود. برای قطعات سنگین اگر بخواهیم تغذیه گرم داشته باشیم، می‌توان راهگاه پله‌ای استفاده نمود.



در این حالت مشکل خروج مدل وجود دارد. وقتی مذاب به سطح تغذیه رسید، دریچه بالایی باز شده و از بالای تغذیه ذوب ریخته خواهد شد. در نتیجه تغذیه از نوع گرم خواهد بود.

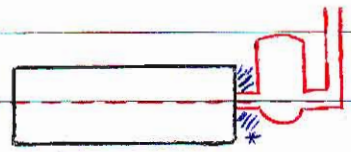
این مذاب گرم‌ترین مذاب است و افت دما از طریق راهگاه را هم نداریم. راه دیگر استفاده از الکترود گرافیتی است که با اعمال جریان الکتریکی حین انجماد قطعه، قوس در تغذیه ایجاد می‌کنیم. جریان به فلز مذاب نیز اعمال می‌شود.

حالت (2): دو ایده وجود دارد: ① یکی استفاده از تغذیه رو باز روی قطعه: در اینصورت تغذیه سرد خواهیم داشت. چون راهگاه همیشه روی فصل مشترک (سطح جدایش) قرار دارد. پس در شرایط عادی (سیستم تک راهگاهی)، تغذیه سرد خواهد بود. اگر از نظر طراحی اینطور باشد، سطح جدایش قطعاً غلط است و بهتر است در این نوع تغذیه، سطح جدایش حالت (۱) باشد. در حالت (۱) ریزش مذاب از ارتفاع 20^{cm} را داریم.

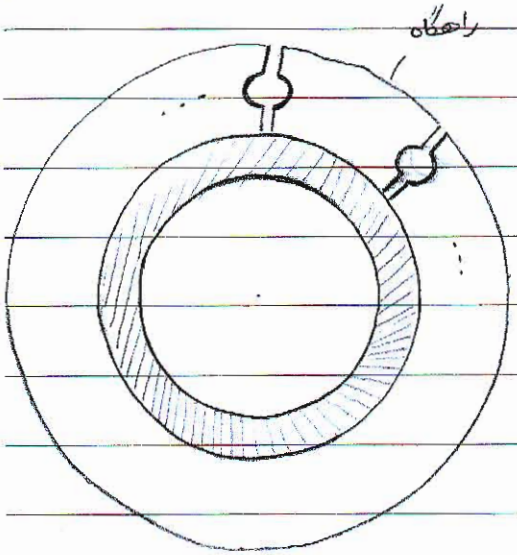
② در حالت راهگاه در کف قطعه، ریزش مذاب را نداریم و اکسیداسیون نخواهیم داشت و خواص متالورژیکی خوبی داریم نسبت به حالت (۱).

2000 For All

حالت (3): امکان استفاده از تغذیه بالا را هم داریم اما در اینصورت دلیلی وجود ندارد که سطح جدایش اینگونه طراحی شده باشد. هدف از این سطح جدایش، استفاده از تغذیه کناری است.



وقتی قطعه را روی تا قرار می‌گیرد، تغذیه گرم (کناری) مناسب است. گردن تغذیه علی‌رغم اینکه سطح مقطع کوچکی دارد، منجمد نمی‌شود زودتر از قطعه چون حجم مایع اطراف آن کم است و زود از حرارت اشباع می‌شود و انتقال حرارت ندارد. در حالت‌های (1) و (2) اگر می‌خواستیم از تغذیه کناری استفاده کنیم، احتمال انجماد گردن تغذیه وجود داشت. این تغذیه‌ها دور تا دور قطعه چیده می‌شوند در فواصل مختلف و همگی توسط سیستم راهگاهی به هم وصل می‌شوند:

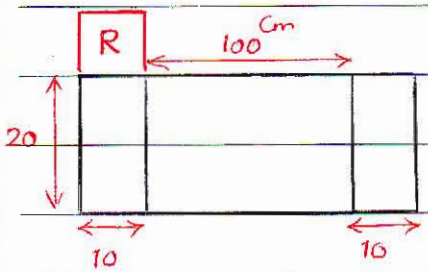


در صورت استفاده از تغذیه کناری در حالت‌های (1) و (2) ناچار هستیم گردن تغذیه را کلفت‌تر در نظر بگیریم که منجر به افزایش هزینه برشکاری و کاهش بهره‌ریختگی می‌شود.

طراحی تغذیه به هزینه، خواص و... بستگی دارد.

در این حالت حجم زیادی از مذاب را در راهگاه و سیستم تغذیه از دست می‌دهیم.

فرض. طراحی را می‌خواهیم بر مبنای حالت اول قرار دهیم:



- مدول قطعه: قطر ماهیچه در وسط زیاد است پس ماهیچه سطح سرد کننده خواهد بود و ضریب تصحیح نداریم؛ استوانه توخالی را می‌توان باز در نظر گرفت (مکعب مستطیل):

$$M_c = \frac{20 \times 10}{60} = 3.3^{Cm} \Longrightarrow M_R = 1.2\, M_c \cong 4^{Cm}$$

روی قطعه می‌توان اگزوترم قرار داد، در نتیجه $\frac{H}{D} = 1$ خواهد شد.

در حالت بدون اگزوترم : $M_R = \frac{D}{5} \rightarrow D_R = 20^{cm}$ ، $\frac{H}{D} = 1.5 \rightarrow H_R = 30^{cm}$

در حالت وجود اگزوترم : $M_R = \frac{D}{4} \rightarrow D_R = 16^{cm}$ ، $\frac{H}{D} = 1 \rightarrow H_R = 16^{cm}$

با در نظر گرفتن $\rho = 7.5\ g/cm^3$: وزن مذاب تغذیه = $\begin{cases} 70\ kg & \text{بدون اگزوترم} \\ 24\ kg & \text{با اگزوترم} \end{cases}$

ملاحظه می‌شود که اختلاف وزن خیلی زیاد است.

مدول قطعه $= 3.3^{cm}$ مدول تغذیه $= 4^{cm}$ قطر تغذیه $= 20^{cm}$

حجم تغذیه $= 9420\ cm^3$ انقباض $= 5\%$ حجم قطعه $= 70000\ cm^3$

بدون اگزوترم : $\frac{H}{D} = 1.5$

• شرط دوم: حجم کافی تغذیه :

حجم حفره $= 5\% \times 70000 = 3500\ cc = 3500\ cm^3$

پس تغذیه حجم کافی را ندارد. : $V_R^e = 20\%\ V_R = 1884\ cm^3$

$\frac{3500}{1884} \sim 2 \rightarrow$ با این خصوصیات دو تغذیه لازم داریم

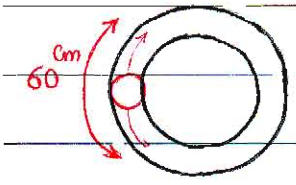
• شرط سوم: فاصله مذاب رسانی کامل :

ضخامت (T) برای قطعه 20^{cm} نمی‌باشد چون اگر $T = 20^{cm}$ و انجماد 5^{cm} از هر طرف صورت گیرد، در جهت شعاعی قطعه بسته می‌شود. پس انجماد کنترل کننده، کمترین ضخامت خواهد بود. یعنی : $T = 10^{cm}$.

برای تغذیه، از هر طرف $2T$ مذاب رسانی داریم.

اگر ارتفاع قطعه 5^{cm} می‌بود، $T=5$ می‌شد.

منطقه تحت اثر هر تغذیه $= 2\times10 + 2\times10 + 20 = 60^{cm}$



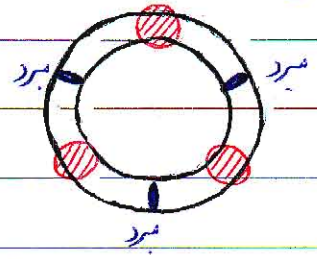
طول رینگ $= 350^{cm}$

تعداد تغذیه $= \frac{350}{60} \cong 6$

پس از نظر مذاب رسانی، ما تغذیه نیاز داریم، در فواصل مساوی از هم (60°). بدلیل شکل خاص قطعه، حجم زیادی از مذاب در تغذیه هدر می‌رود و فقط بدلیل مذاب رسانی قرار داده شده‌اند.

$$\text{بهره ریختگی} = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{وزن قطعه + وزن تغذیه}} = \frac{70000}{70000+6\times9420} \cong 55\%$$

دو برابر وزن قطعه، مذاب استفاده می‌شود بدلیل شرایط انجمادی. پس شرایط دیگری به کار می‌بریم تا تعداد تغذیه کم شود. چون هم حجم اضافی مذاب را داریم و هم هزینه برشکاری:



یکی در میان تغذیه‌ها را برمی‌داریم و از برد استفاده می‌کنیم:

از محل برد انجماد شروع می‌شود. از برد، از دو طرف انجماد پیش می‌رود و ارتباط بین مذاب در دو طرف برد قطع می‌شود. در واقع قطعه به 3 قطاع که هر کدام $\frac{1}{3}$ طول رینگ را دارد، تقسیم می‌شود:

طول هر قطاع $= \frac{350}{3} \sim 120^{cm}$

برد تغذیه $= \underbrace{20^{cm}}_{\text{طول تغذیه}} + \underbrace{2.5(10)}_{\text{اثر انتهایی}} + 2.5(10) + 2(10) + 2(10) + 5 + 5 = 120^{cm}$

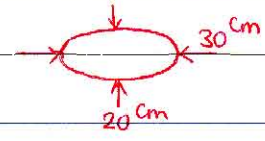
برای فولاد: $2.5T + 5$ (اثر انتهایی)

تحت این شرایط مشکلی پیش نمی‌آید اما ضریب اطمینان هم نداریم.

اگر مذاب رسانی 130^{cm} در می‌آمد، باز 120^{cm} نیاز داشتیم و بجای سه تغذیه، از سه تا مبرد استفاده می‌کنیم. اما اگر 110^{cm} می‌شد، از 4 تغذیه استفاده نمی‌کنیم چون بین تغذیه و انتها مشکل خواهیم داشت.

یک راه: از 4 تغذیه و 4 مبرد استفاده کنیم.

راه دیگر: برد تغذیه را بیشتر کنیم: استفاده از تغذیه بیضی شکل که قطر کوچک 20^{cm} (بدلیل شرایط مدول) ولی قطر بزرگ 30^{cm}.



برد تغذیه $= 30 + 2T + 2T + 2.5T + 2.5T + 5 + 5$

تا حدودی افزایش مذاب داریم اما بهتر از 4 تغذیه است. قطر کوچک باید 20^{cm} باشد تا شرایط $M_R = 1.2\, M_C$ برقرار باشد و تغذیه زودتر منجمد نشود.

با 3 تغذیه و مبرد: بهره ریختگی $= \dfrac{70000}{70000 + 3 \times 9420} \simeq 71\%$

خواص متالورژیکی در برخی مناطق نیز بهتر است. تحت اثر مبرد، مناطق با خواص خوب خواهیم داشت و فقط در سه منطقه، خواص بدلیل سرد شدن آرام افت دارد.

گاهی استفاده از مبرد مقرون به صرفه نیست. بلوک فلزی مبرد باید هم اندازه با قطعه باشد (ضخامت) هم‌چنین انحنای سطح داخلی مبرد باید با سطح بیرونی رینگ یکی باشد که هزینه بردار است. برای یک قطعه، مبرد صرفه ندارد اما برای تولید زیاد، مبرد طراحی می‌شود.

برای تولید یک قطعه، استفاده از 6 تغذیه به صرفه‌تر از مبرد است.

برای مبرد: $Q =$ گرمای ناشی از فوق گداز + گرمای نهان

$Q = mc\Delta T$, $\Delta T = 250^{\circ}C$ وابسته به جنس برد: c

$\rightarrow m$: جرم مبرد بدست می‌آید

گاهی بجای مبرد می‌توان از ماسه کرومیتی (ضریب انتقال حرارت بالا) استفاده کرد.

2000 For All

مبانی طراحی سیستم راهگاهی:

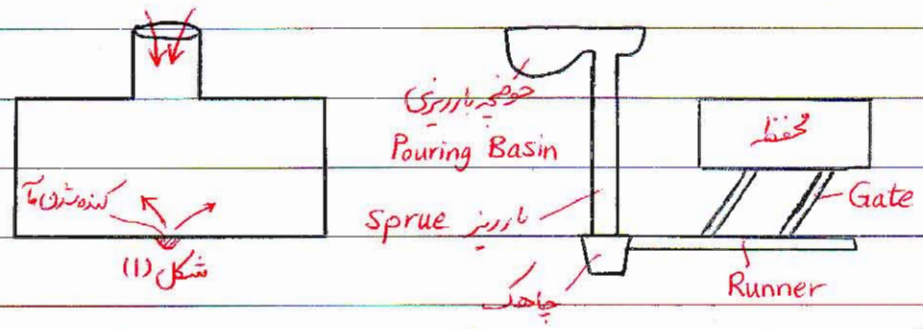
دو نوع بحث داریم { اجزای سیستم راهگاهی / انواع سیستم راهگاهی }

اجزای سیستم راهگاهی:

وظیفه راهگاه رساندن مذاب از بیرون به محفظه در مدت زمانی است که ما تعیین می کنیم البته با کمترین اغتشاش و افت خواص متالورژیکی.

نحوه پرشدن روی کیفیت خیلی اثر دارد. در حالت شکل (۱)، امکان پاشش مذاب، کنده شدن ماسه در کف بدلیل ضربه، احتمال حبس هوا و ورود هوا همراه مذاب وجود دارد که همگی موجب افت کیفیت می شود. برای اینکه قطعه ریختگی با شرایط دلخواه تولید شود و قالب بطور مناسب پر شود، یکسری کانال طراحی می کنیم تا شرایط پرشدن محفظه قالب را بطور دلخواه تعیین کنیم.

اجزای راهگاه:

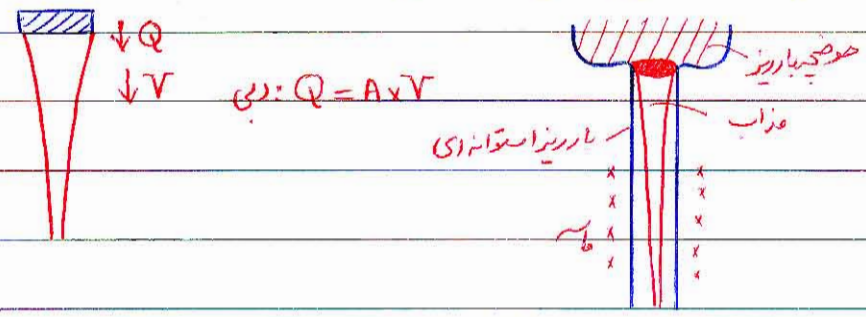


• حوضچه بارریز: اگر نباشد امکان ریختن مذاب در راهگاه وجود ندارد و یا به سختی انجام می شود: در واقع مثل قیف عمل می کند. وظیفه حوضچه این است که مذاب به سادگی ریخته شود به حوضچه و بعد به کانال منتقل شود. پس وظیفه آن سهولت انتقال مذاب از پاتیل به سیستم راهگاهی است.

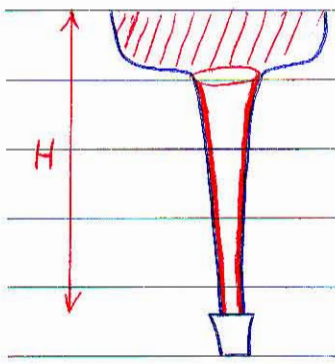
• بارریز: عموماً سطح جدایش افقی است منتها سطح دسترسی به قالب قبل از جفت کردن قالب و خروج مدل مهم است. وظیفه راهگاه بارریز این است که مذاب را از بالا به سطح جدایش برساند. تنها جایی که سقوط آزاد دارد (تحت نیروی ثقل)، راهگاه بارریز است. طراحی خود بارریز هم تأثیر زیادی روی جلوگیری از جذب هوا توسط مذاب و اغتشاش دارد.

2000 For All

وقتی شیر آب را آرام باز می‌کنیم، با پائین رفتن آب سرعت آب زیاد می‌شود چون جهت شتاب به سمت پائین است. از طرفی شیر آب یک مقدار معینی باز است پس دبی ثابت خواهد بود. بنابراین هرچه آب پائین می‌رود، سطح مقطع آن باریک‌تر می‌شود:



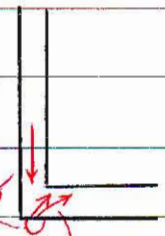
در راهگاه استوانه‌ای هم همین اتفاق می‌افتد؛ پس تماس مذاب با دیواره قطع خواهد شد. داخل استوانه هرچه سرعت زیاد باشد، فشار کمتر می‌شود. وقتی مذاب از دیواره جدا می‌شود، بدلیل افزایش سرعت، افت فشار داریم و در نتیجه خلأ جزئی در استوانه ایجاد می‌شود و این خلأ ایجاد مکش هوا می‌کند و هوا از دیواره جذب مذاب می‌شود؛ پس سیستم راهگاهی به خوبی عمل نمی‌کند. این فضای خالی نباید ایجاد شود. تنها راه این است که خود راهگاه مذاب هم، همان الگوی ریزش مذاب را داشته باشد تا مکش هوا و تلاطم رخ ندهد.



در انتهای باریز، حداکثر سرعت را داریم و از این به بعد بدلیل اصطکاک، سرعت کم می‌شود. عامل حرکت فلز مذاب در راهگاه و وارد شدن به محفظه، ارتفاع باریز (H) است. در انتهای باریز، در اثر سقوط آزاد ممکن است ماسه در اثر ضربه کنده شود و تغییر ناگهانی فلز مذاب، اغتشاش ایجاد کند.

• چاهک: برای جلوگیری از برخورد فلز مذاب با کف و تغییر ناگهانی جهت حرکت، در قسمت انتهایی باریز، چاهک طراحی می‌شود که بصورت مخروط ناقص است و حجم بیشتری از باریز دارد تا جلوی ضربه را بگیرد.

هرگونه تلاطم و پاشش مذاب یعنی اکسیداسیون سطحی.

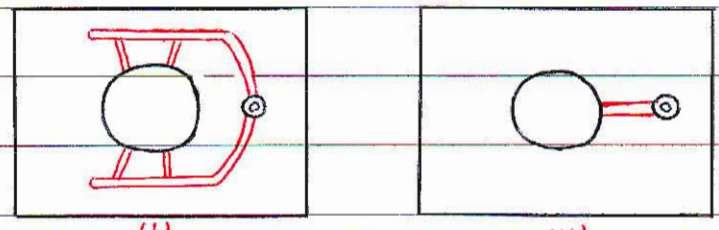


اولین مذابی که به چاهک می رسد، پاشش را دارد اما از این به بعد دیگر پاشش و تلاطم نداریم و بعد از سرریز شدن مذاب از چاهک، مذاب به آرامی در جهت دیگر جریان می یابد.

مذاب مرده در ته چاهک، مزه گیر مذاب های بعدی است. بعد از سرریز شدن جریان مذاب آرام است. ابعاد و اندازه هر یک از این قسمت ها مهم است. برای اینکه مدل بتواند خارج شود، انتهای بارریز در تای بالا و چاهک در تای پائین قرار می گیرد. پس روی سطح جدایش، با کانال هایی، مذاب را می توان به محفظه قالب رساند (توسط مسیرهای مختلف).

• راهگاه اصلی: وقتی مذاب به سطح جدایش رسید، طراحی کانال های اصلی به شکل قطعه بستگی دارد. اگر قطعه بصورت رسک باشد: مبنای محاسبات تغذیه گذاری این بود که مذاب را بصورت هم دما وارد کنیم و بعد انجماد شروع شود.

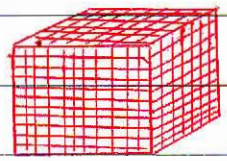
: تصویر از بالا



در حالت (2) مذاب روی سطح پخش می شود در نتیجه سطح خیلی زیاد و ضخامت کمی دارد و در نتیجه اولاً میزان اکسیداسیون زیاد شده و ثانیاً کنترل پر شدن قالب دست ما نخواهد بود. در چنین شرایطی نمی توان نحوه ی پر شدن قالب را پیش بینی کرد. در نتیجه کانال هایی طراحی می کنیم که مذاب را به قسمت های مد نظر ما برساند. این کانال ها، Runner (راهبار، راهگاه اصلی) نام دارد. پس Runner مذاب را در سطح جدایش توزیع می کند.

• Gate: تنها جزئی از سیستم راهگاهی است که مستقیماً با قطعه در تماس است. پس از نظر تعداد، توزیع و شکل روی کیفیت سطحی قطعه تأثیرگذار است چرا که مربوط به محل های سنگ زنی، تمیزکاری و کیفیت متالورژیکی قطعه می شود.

برای قطعات حساس از فیلتر سرامیکی استفاده می‌کنیم که وظیفه‌شان جلوگیری از عبور آخال و ورود به قالب است. برای چدن این فیلتر SiC است. فیلتر مثل توری است و شکل بلوک دارد. فیلتر را می‌توان در Runner قرار داد که اگر اکسید ایجاد شد و یا ماسه کنده شده بود، وارد محفظه قالب نشود.



در مورد قطعات فولادی و چدنی به فیلتر سرامیکی نیاز داریم و برای فلزات با Tm کمتر، پارچه‌های لیوگدازی استفاده می‌شود.

مفاهیم اساسی در سیستم راهگاهی:

مهم‌ترین اصل این است که: برای اینکه یک قطعه با کیفیت مطلوب ریخته شود، مذاب باید در مدت زمان دلخواهی که قبلاً تعیین کرده‌ایم، قالب را پر کند. یعنی:

۱- زمان بازریزی (Pouring Time, t): معیار اصلی طراحی سیستم راهگاهی، همین t است. چون اگر در زمان دیگری پر شدن قالب صورت گیرد، به کیفیت مطلوب نمی‌رسیم. t به ضخامت قطعه، جنس قطعه، سیالیت مذاب، کیفیت متالورژیکی مذاب و وزن قطعه بستگی دارد.

دو قطعه یکسان با ضخامت‌های مختلف داریم. این دو در یک زمان نمی‌توانند ریخته شوند. در مورد ضخامت 1^{cm}، مذاب در 1^{cm} پخش شده است اما در ضخامت 2^{cm}، قطعه مدول بیشتری دارد و افت دما کمتر است و t بیشتر خواهد بود. در حالت $t=1^{cm}$ ممکن است کل قالب پر نشده باشد ولی انجماد خاتمه یافته باشد. اگر t (زمان) زیاد باشد، افت دمای زیادی داریم و امکان انجماد قبل از پر شدن قالب وجود دارد. اگر t (زمان) کم باشد، یا باید سرعت مذاب زیاد باشد و یا سطح مقطع سیستم راهگاهی زیاد باشد.

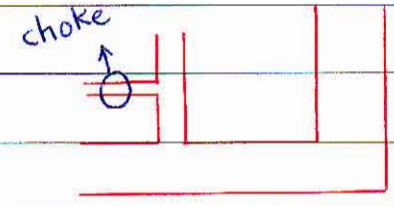
سرعت زیاد ممکن است موجب تخریب دیواره قالب و سیستم راهگاهی شود و سطح مقطع راهگاه زیاد روی میزان بهره ریختگی اثر می‌گذارد چون سیستم راهگاهی دور انداخته می‌شود و اگر وزن راهگاه زیاد باشد، بهره ریختگی کم خواهد شد.

سیستم راهگاهی باید همیشه پر باشد (پر جریان) چون در غیر اینصورت یعنی مذاب در تماس با هوا است که موجب ایجاد فیلم اکسیدی و شکست شدن فیلم‌ها می‌شود.

2000 For All

پس باید دبی ریختن مذاب از پاتیل به حوضچه زیاد باشد؛ یعنی مذاب زیاد ریخته شود تا راهگاه پر جریان باشد و در تماس با هوا قرار نگیرد و کل سطح مقطع راهگاه از مذاب پر باشد.

2- تنگه یا چُک (choke): کمترین سطح مقطعی که می‌توان با آن Q (دبی) مذاب را تحمل کرد، تنگه یا چک نام دارد؛ یعنی کنترل کننده زمان دلخواه و کنترل کننده پر شدن سیستم راهگاهی است.



پس choke: در واقع عامل کنترل کننده‌ی دبی خروج این سطح مقطع است.

زمان باردهی به ما دبی باردهی را می‌دهد:

$$\text{دبی باردهی} = \frac{\text{حجم مذاب ریخته شده}}{\text{زمان}}$$

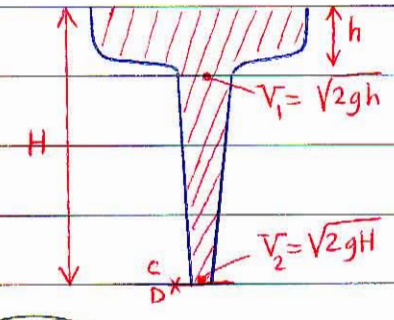
معمولاً بر مبنای وزن کار می‌کنیم: $\frac{M}{t}$ (نرخ باردهی)

پس نرخ باردهی (وزن مذاب ریخته شده در واحد زمان) $M = \rho V$

برابر خواهد بود با: $\rho \times$ دبی حجمی (دبی باردهی)

t: زمان پر شدن محفظه؛ پس در هر ثانیه باید $\frac{V}{t}$ مذاب وارد محفظه شود؛ یعنی نرخ باردهی معینی داریم. پس یک جایی را بعنوان گلوگاه یا تنگه در نظر می‌گیریم؛ یعنی یک سطح مقطع مناسب و متناسب با نرخ باردهی معین.

حوضچه باردهی باید شرایطی را ایجاد کند که H کلی (عامل حرکت مذاب) ثابت بماند تا سرعت سقوط مذاب در باردهی ثابت بماند. سرعت خروج مذاب در سطح جدایش به H بستگی دارد.



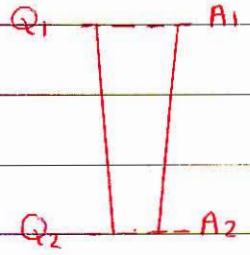
$H = 50\ cm \rightarrow V_2 = 3.3\ m/s$

که سرعت زیادی است و اغتشاشی خواهد بود البته به شرط آنکه اصطکاک نداشته باشیم.

اگر راهگاه بصورت استوانه‌ای ساخته می‌شد:

$H > h$ و $V_2 > V_1$. بجای استوانه یک

فضایی که قوس مذاب حین سقوط دارد، طراحی می‌کنیم پس راهگاه بارریز بصورت مخروط ناقص ساخته می‌شود.

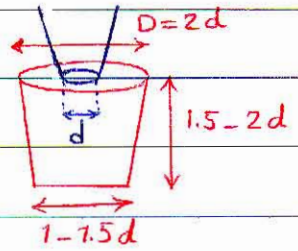


$$Q_1 = Q_2 \rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$\rightarrow \frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\frac{H}{h}}$$

• چاهک انتهای بارریز:

اگر حجم چاهک زیاد باشد، حجم اضافی مذاب داریم ؛ اگر کم باشد، جلوی اغتشاش را نمی‌تواند بگیرد.

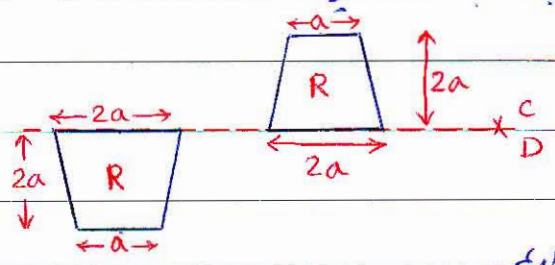


d: قطر بارریز در انتها

مذاب منجمد شده در چاهک نه باندازه‌ای است که بهره ریختگی را کم کند اما جلوی اغتشاش را می‌گیرد.

• Runner:

مقطع راهگاه اصلی معمولاً بصورت ذوزنقه با نسبت‌های زیر است:

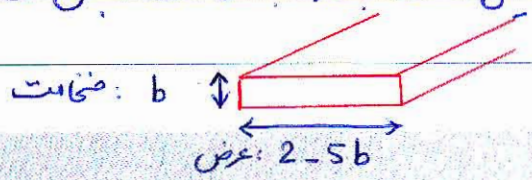


طبق تجربه‌ها، این نسبت بهترین نتیجه را داده است. بسته به اینکه Runner در تای بالاست یا تای پائین، شرایط بالا را داریم

سطح مقطع ذوزنقه‌ای: هم مدل براحتی خارج می‌شود و هم جریان مذاب راحت‌تر است.

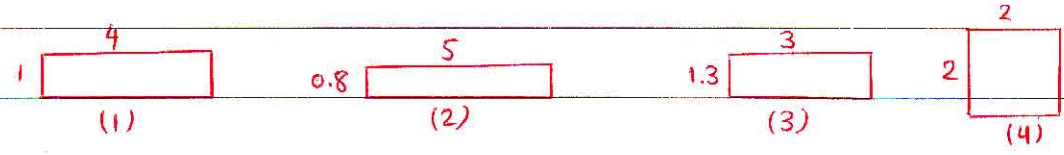
• راهگاه فرعی (Gate):

مقطع راهگاه فرعی بصورت مستطیلی است بسته به ضخامت و جنس قطعه.



برای آلیاژهایی که سیالیت بالایی دارند و کمتر اکسید می‌شوند و می‌توانند براحتی ضخامت کم را طی کنند، نسبت $\frac{5b}{b}$ را در نظر می‌گیریم.

فرض می‌کنیم، سطح مقطع راهگاه فرعی بخواهیم $4\,cm^2$ شود. حالت‌های مختلفی داریم:



در همه موارد فرض می‌شود سرعت یکسانی داریم چون سرعت به H بستگی دارد. راهگاه‌ها همگی روی سطح جدایش هستند پس دبی یکسان است.

اگر سیالیت کم باشد و حالت (2) را داشته باشیم، مدول کم است و اگر Tm بالا باشد، انجماد ممکن است رخ بدهد چون افت دمای زیادی داریم و سیالیت را کمتر می‌کند.

برای آلیاژهای با سیالیت بالا و حساسیت کمتر به اکسیداسیون، حالت (2) خوب است چون برای جدا کردن راهگاه از قطعه، ضخامت کمتری را باید برید و هزینه کمتر است. هم‌چنین روی قطعه یک رد با ضخامت $0.8\,cm$ باقی می‌ماند که تأثیر منفی کمتری دارد از نظر ظاهری. پس بهتر است راهگاه ضخامت کمتری داشته باشد.

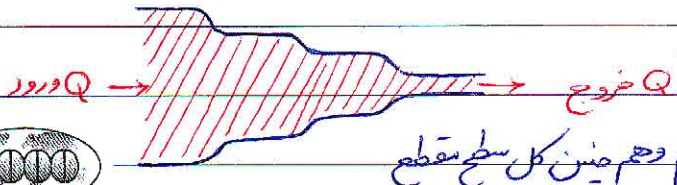
برای فولاد و Al (بدلیل حساسیت به اکسیداسیون) این حالت (یعنی (2)) را به کار نمی‌بریم اما برای چدن‌ها جواب می‌دهد.

دو نوع اصلی سیستم راهگاهی داریم:
- فشاری (pressurized)
- غیرفشاری

در حالت فشاری، تنگه یا چک در محل gate قرار دارد و وقتی مذاب به gate می‌رسد، فشار کل سیستم راهگاهی پشت آن قرار دارد.

در حالت غیرفشاری، چک در انتهای بارریز قرار دارد.

در سیستم فشاری حالت مقابل را داریم:



در انتهای راه، حداکثر سرعت را داریم و هم‌چنین کل سطح مقطع پر جریان است.

در حالت غیر فشاری داریم :

بعد از باریز سرعت کم می‌شود چون سطح مقطع زیاد می‌شود.

در سیستم فشاری، مذاب با سرعت قالب را پر می‌کند و حالت تلاطم داریم. در حالت غیر فشاری تلاطم نداریم و جریان آرام است. پس برای آلیاژهایی که اکسید می‌شوند، غیر فشاری بهتر است و برای چدن‌ها که اکسید نمی‌شوند، فشاری مناسب است چون هر کدام مزیت‌هایی دارند.

یادآوری: ۸۷/۱۰/۱

زمان باریزی: کل زمانی که طول می‌کشد، قالب و سیستم راهگاهی و تغذیه پر شود (t).

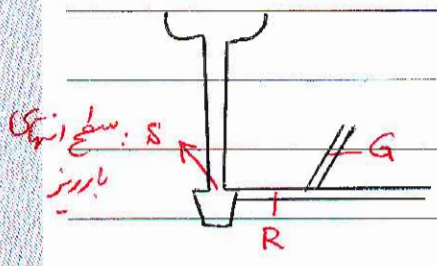
نرخ باریزی: چون مقدار جرم ماده را داریم، برحسب $\frac{kg}{sec}$ عنوان می‌شود.

تنگه: برای محاسبه مجموعه کانال‌ها تا بتوان t دلخواه را ایجاد کرد، باید در سیستم سطح مقطعی داشته باشیم باکترین سطح مقطع.

نوع سیستم راهگاهی:
- فشاری: تنگه همان Gate است: سطوح قبلی بزرگترند و اینجا گلوگاه است.
- غیرفشاری: تنگه انتهای باریز است و چون نرخ باریزی ثابت است، سرعت بعد از تنگه کم می‌شود.

در سیستم فشاری، مذاب با سرعت زیاد وارد محفظه می‌شود.

نسبت سیستم راهگاهی: (S:R:G)



منظور نسبت سطح مقطع‌ها در سه قسمت مشخص شده است.

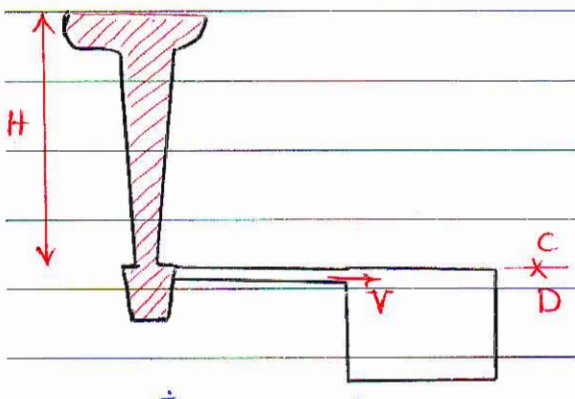
در سیستم فشاری، نسبت‌های زیر را می‌توان داشت:

2:1.5:1 ، 3:2:1 ، 4:2:1

ابعاد حوضچه: فرض کنید بخواهیم 100kg مذاب را در 20sec بریزیم. نرخ بارریزی $15\ \frac{kg}{sec}$ است. ابعاد حوضچه باید طوری باشد که 5kg مذاب را در خود نگه دارد تا با این نرخ بارریزی، ارتفاع H ثابت بماند و سرعت ورود مذاب به قالب یکسان باشد (دبی یکسان و ثابت)؛ در واقع یکی از اهداف حوضچه این است که دبی در راهگاه یکسان باشد و سرعت ورود به قالب ثابت.

سیستم 4:2:1 فشاری‌تر از 2:1.5:1 است و در حالت اول، سرعت ورود مذاب به محفظه قالب بیشتر است. وقتی $S:G \equiv 4:1$، سطح مقطع S بیشتر است و بهره‌ریختگی کم می‌شود ولی از طرفی کنترل تنگه یا G بیشتر است و سرعت بارریزی هم بیشتر است. در حالت $S:G \equiv 1.5:1$ خیلی مطمئن نیستیم که G (Gate) کنترل‌کننده باشد چون افت اصطکاکی داریم.

ارتفاع مؤثر بارریز:



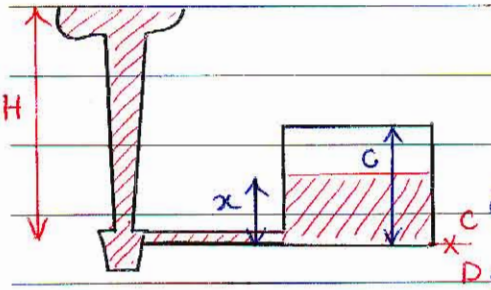
$$V = \sqrt{2gH}$$

سطح مقطع gate (چُک)

$$Q = A \times V = \sqrt{2gH} \cdot G_A$$

پر شدن محفظه هیچ نوع تأثیری روی دبی جریان مذاب ندارد و سرعت ورود مذاب ثابت است و سطح مقطع هم ثابت است و در نتیجه نرخ بارریزی در کل زمان t ثابت است؛ چون محفظه قالب در تا (درجه پائین) قرار گرفته است.

اگر محفظه قالب در تای بالا باشد:



سرعت ورود مذاب در لحظه اولیه $\sqrt{2gH}$ است و دبی $\sqrt{2gH} \times G_A$ خواهد بود. در لحظه اولیه شرایط مانند حالت قبل است. به محض اینکه مذاب وارد می‌شود و به ارتفاع x، مذاب در محفظه بالا می‌آید، دبی جریان فرق می‌کند چون ارتفاع مذاب مانعی در برابر جریان مذاب است در سیستم راهگاهی.

در این حالت ارتفاع مؤثر، $H-x$ خواهد شد و بنابراین داریم:

$$V=\sqrt{2g(H-x)} \qquad Q=\sqrt{2g(H-x)}\times G_A$$

x بطور مداوم تغییر می‌کند؛ در آخرین لحظه، اگر ارتفاع محفظه قالب c باشد:

$$V_{end}=\sqrt{2g(H-c)} \qquad Q=\sqrt{2g(H-c)}\times G_A$$

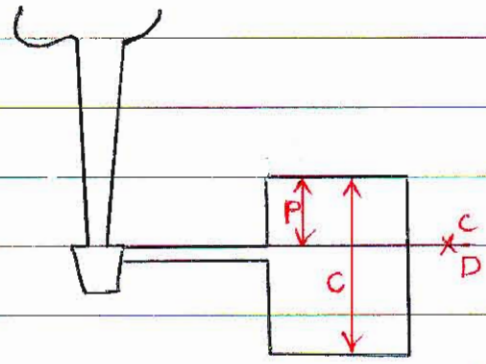
پس در این حالت، ارتفاع مؤثر (E.S.H) متغیر است.

$$H_{eff}=E.S.H=H-\frac{c}{2}$$ (میانگین)

$$x: 0-c \mapsto \bar{Q}=\sqrt{2g\left(H-\frac{c}{2}\right)}\times G_A$$ (نرخ بارریزی متوسط)

پس دبی ثابت نبوده و در انتها، کمترین است اما در ابتدا حداکثر. در واقع پرشدن در حالت دوم مثل پرشدن در حالت اول (محفظه در تای پائین) است منتها با ارتفاع $H-\frac{c}{2}$ به جای H.

حالت سوم (کلی):



مادامیکه قسمت پائین محفظه پر می‌شود، حالت اول را داریم که ارتفاع مؤثر همان H است. چون بالا آمدن مذاب روی دبی جریان تأثیر ندارد. به محض اینکه مذاب به سطح جدایش می‌رسد، حالت دوم را داریم که دبی جریان متغیر است.

در مرحله دوم $E.S.H=H-\frac{P}{2}$ است

درحالت کلی، ارتفاع مؤثر بارریز در حالت سوم (وجود سطح جدایش در قطعه) داریم:

$$\text{Effective Sprue Height (E.S.H.)} = H - \frac{P^2}{2C}$$

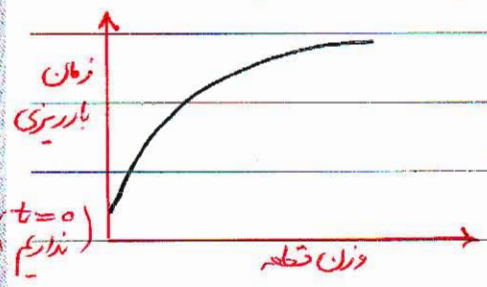
E.S.H. کنترل کننده دبی جریان (متوسط) است و بر مبنای آن محاسبات سیستم راهگاهی انجام می‌شود.

• محاسبه‌ی زمان باردهی (t) مناسب:

پارامترهای مؤثر روی t : 1) وزن قطعه 2) حداقل ضخامت قطعه 3) سیالیت مذاب

هرچه t بیشتر باشد، ابعاد سیستم راهگاهی کوچکتر است و حالت ایده‌آل همین است بشرط آنکه مشکلی ایجاد نشود. در t زیاد چندین مشکل داریم از جمله افت زیاد دمای مذاب.

1) هرچه وزن قطعه زیاد باشد، زمان باردهی طولانی‌تر است و حجم زیادی مذاب داریم و افت دما کمتر خواهد بود و می‌توان t بیشتری در نظر گرفت.

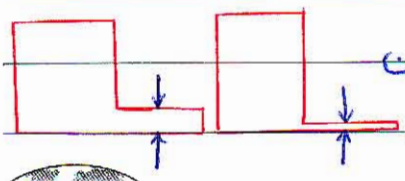


تقعر نمودار منفی است و در زمان‌های طولانی، اختلاف t ها کم است.

(وزن‌های زیاد)

معمولاً: $t_{min} = 3^{sec}$ ، $t_{max} = 3^{min}$

2) هرچه ضخامت قطعه کمتر باشد، زمان باردهی باید کمتر باشد چون هرچه ضخامت کمتر باشد، افت دما بیشتر می‌شود.



در ضخامت کم، سرعت جریان مذاب کمتر است و افت دما ممکن است منجر به انجماد شود بنابراین باید t کمتری در طراحی‌ها در نظر بگیریم.

3) هرچه سیالیت مذاب بیشتر باشد، می‌توان t بیشتری در نظر گرفت؛ چون اگر زمان زیاد باشد و افت دما زیاد باشد، سیالیت لازم برای جریان در ضخامت های کم، هنوز وجود دارد.

یکسری روابط بر مبنای این 3 مورد ارائه شده است که عموماً تجربی هستند چون مباحث افت دمای موجود در قالب (موجب کاهش سیالیت) و انتقال حرارت وجود دارد که به مشخصات قالب و قطعه (میزان تراکم قالب، نوع ماسه و ...) بستگی دارد.

t تنها تابعی از وزن قطعه (kg) است. $t = 1.2\sqrt{W}$ (sec) : برای فولادها

برای چدن‌ها : $t = 1.3\,\alpha\sqrt{W}$ (sec)

نوع قطعه	پیچیده	متوسط	ساده
α	0.7	1	1.5

در قطعات ساده، مسیرهای پیچیده وجود ندارد و بنابراین افت دمای زیاد نداریم و α بزرگتر شده که می‌توان t طولانی‌تری در نظر بگیریم.

زمان بارریزی (t) در قالب ماسه‌ای تر کمتر است چون افت دمای زیادی داریم نسبت به فرایندهای CO_2 و پوسته‌ای. هرچه سرعت سرد کردن قالب بیشتر باشد، t کمتر است.

• محاسبه‌ی ابعاد تنگه (Choke)، Choke Area :

قطعه‌ای با وزن W داریم. نرخ بارریزی $\frac{W}{t}$ خواهد بود.

سرعت ورود به قالب : $V = \sqrt{2g\,(E.S.H.)}$ $\qquad Q = \sqrt{2g\,(E.S.H.)} \times A$

سطح مقطع (A) کنترل کننده، C (سطح مقطع تنگه) خواهد بود.

$$Q_{eff} \times \rho = \sqrt{2g\,(E.S.H.)}\; C \cdot \rho = \frac{M}{t}$$

در 1 sec وزن معادل $\sqrt{2g\,(E.S.H.)}\; C.\rho$ مذاب وارد محفظه می‌شود.

$$W = \sqrt{2g(E.S.H.)} \cdot c \cdot \rho \cdot t \rightarrow C_A = \frac{W^{\rightarrow kg}}{\rho \cdot t \cdot \sqrt{2g(E.S.H.)}}$$

$\rho \rightarrow kg/cm^3$

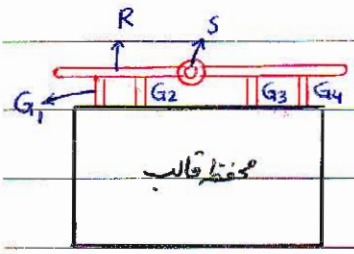
or $$C_A = \frac{1000\, W^{\rightarrow gr}}{\rho \cdot t \cdot \sqrt{2g(E.S.H.)}}$$

$\rho \rightarrow gr/cm^3$

(واحدها باید با هم متناظر باشند)

W : وزن قطعه + تغذیه + راهگاه . با داشتن دیگر پارامترها، C_A بدست می آید.

برای طراحی سیستم راهگاهی، همانند تغذیه دو مرحله داریم { طراحی / محاسبه



شکل (۱)

برای تولید قطعات صفحه‌ای، راهگاه را در طول قرار می‌دهیم تا مذاب، عرض را طی کند که کمتر است نه طول.

هرچه تعداد راهگاه‌ها و Gate ها بیشتر باشد، پرشدن محفظه یکنواخت‌تر خواهد بود اما هزینه جداکردن از قالب بیشتر.

هیچ‌گاه از انتهای راهگاه اصلی، راهگاه فرعی را جدا نمی‌کنیم و همیشه راهگاه اصلی یک مقدار امتداد می‌یابد ($3-5^{cm}$ حداقل امتداد می‌یابد) ؛ چون اولین مذابی که وارد Runner می‌شود، همراه خود لایه‌های اکسیدی دارد و با امتداد دادن، بدلیل ایزوی مذاب، مذاب مسیر را ادامه می‌دهد و وارد قالب نمی‌شود و مذاب‌های تمیز بعدی وارد محفظه خواهد شد. پس هدف از امتداد Runner این است که اولین مذاب وارد قالب نشود.

بعد از طراحی کلی، باید معیارهای اولیه را انتخاب نمود : { فشاری : چدن / غیرفشاری : فولاد، Al، Mg، Cu و...

برای چدن خاکستری، سیستم فشاری در نظر می‌گیریم چون بره‌ریختگی مهم است و اکسیداسیون مطرح نیست. برای آلیاژهای دیگر معمولاً غیرفشاری در نظر می‌گیرند.

2000 For All

بافرض انتخاب سیستم فشاری، باید نسبت S:R:G را انتخاب کرد.
اگر 3:2:1 در نظر بگیریم، کنترل بیشتری می‌توان داشت چون اطمینان از عملکرد فشاری داریم.
در نسبت 8:4:1 این اطمینان بیشتر است که، راهگاه فرعی (G) کنترل کننده جریان مذاب است،
چون افت اصطکاکی داریم و اطمینان در 3:2:1 کمتر است ولی در 3:2:1 وزن راهگاه کمتر است.

بافرض داشتن طراحی شکل (۱) [صفحه قبل] داریم:

فرض: $S:R:G = 3:2:1$ $\qquad$ $P: \quad S:R:G \equiv S : \Sigma R : \Sigma G$

چون دوتا R و چهارتا G داریم، مجموع سطح مقطع‌ها را باید در نظر گرفت.

$G_3 + G_4 = \frac{1}{2} R_1$ $\qquad$ چون $\quad R:G \equiv 2:1$

$G_1 + G_2 = \frac{1}{2} R_2$ $\qquad$ " $\qquad$ "

$S = \frac{3}{2}(R_1 + R_2)$ $\qquad$ " $\qquad$ $S:R \equiv 3:2$

چون قطعه متقارن است: $R_1 = R_2$ ، $G_1 = G_2 = G_3 = G_4$.

$S = 3R_1 = 3R_2$ $\qquad$ $R_1 = R_2 = 2(2G) = 4G$

مثال: $E.S.H. = 20\ cm \rightarrow V = \sqrt{2 \times 1000 \times 20} = 200\ cm/s$

P (فشاری): $S:R:G \equiv 3:2:1$

سرعت در تنگه یا Gate، $200\ cm/sec$ و در راهگاه اصلی، $100\ cm/sec$ و در بارریز $70\ cm/sec$ خواهد بود و دبی در همه جا یکسان است

P.L. (غیرفشاری): $S:R:G \equiv 1:2:4$

سرعت در بارریز یا تنگه، $200\ cm/sec$، در راهگاه اصلی $100\ cm/sec$ و در Gate $50\ cm/sec$ خواهد بود.

2000 For All

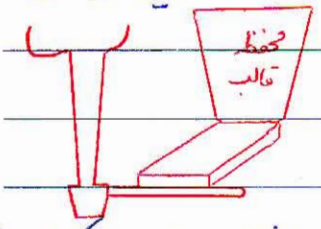
پس در H ثابت، سرعت ورود مذاب به قالب در حالت فشاری و غیرفشاری متفاوت خواهد بود.

در حالت $S:R:G \equiv 1:4:8$ ، سرعت ورود به قالب ، $25 \frac{cm}{sec}$ خواهد بود.

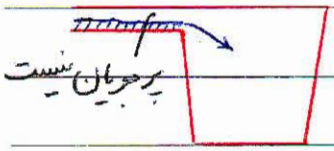
سرعت ورود به محفظه برای آلیاژهای حساس به اکسیداسیون باید کم باشد؛ بنابراین سیستم غیرفشاری را انتخاب می‌کنیم تا تلاطم هم نداشته باشیم.

برای سیستم فشاری، قطعه یا محفظه قالب می‌تواند در تای بالا باشد؛ راهگاه اصلی هم می‌تواند در تای بالا باشد، مثل شکل مقابل:

در حالت غیرفشاری، راهگاه اصلی از کف قطعه باید متصل باشد؛ یعنی راهگاه از زیر؛ بعبارتی قطعه از پائین پر می‌شود. در حالت فشاری، می‌توان راهگاه از بالا داشت. چون در غیرفشاری، هدف این است که ریزش مذاب نداشته باشیم چون آلیاژ به اکسیداسیون حساس است.



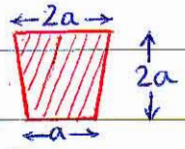
در حالت غیرفشاری، اگر قطعه در تای پائین باشد، سیستم راهگاهی پرجریان نخواهد بود؛ درحالیکه سیستم راهگاهی، همواره باید پرجریان باشد.



با بدست آوردن سطح مقطع چک (CA)، می‌توان ابعاد سیستم راهگاهی را بدست آورد.

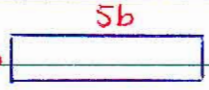
با داشتن H و بدست آوردن CA (فرض $20\ cm^2$) و طراحی سیستم راهگاهی مثل غیرفشاری با نسبت $1:2:4$ ، سطح مقطع بارریز در پائین $20\ cm^2$ بود و بعد با محاسبه‌ی سطح مقطع بارریز در بالا، شیب بارریز بدست خواهد آمد.

فرض: یک راهگاه اصلی و دو راهگاه فرعی داریم:



$$R_A = 40\ cm^2 = \left(\frac{2a+a}{2}\right)(2a) \longrightarrow$$ a بدست می‌آید

For All

فرض: b 

$S = 20 \quad \Sigma G = 4 \times 20 \quad : \quad G_1 = G_2 = 40\ cm^2$

$\rightarrow 5b^2 = 40 \rightarrow b = 2\sqrt{2}\ cm$

سرعت حقیقی : $V_{act} = V_{th} \cdot \alpha \qquad 0 < \alpha < 1$ ضریب اصطکاک

$V_{th} = \sqrt{2g(E.S.H.)}$ (ضریب مجموع افت اصطکاکی)

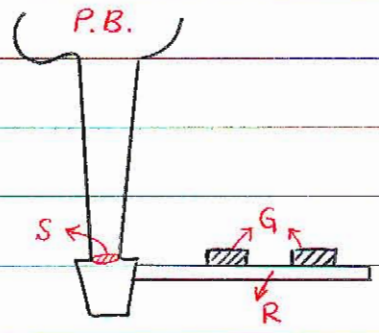
دو نوع افت اصطکاکی داریم:
- اصطکاک مذاب با دیواره قالب و راهگاه
- افت ناشی از تغییر جهت و مسیر فلز مذاب

$$C_A = \frac{1000\ W}{\alpha \cdot t \cdot \rho \sqrt{2g(E.S.H.)}}$$

طراحی سیستم راهگاهی: ۸۷/۱۰/۳

۱) زمان باردیزی ۲) سطح مقطع تنگه ۳) نسبت سیستم راهگاهی ۴) ضرایب افت اصطکاکی

افت های اصطکاکی:



حرکت مذاب در حالت (1) و (2) باهم فرق دارد؛ در (1) اصطکاک بیشتر است.

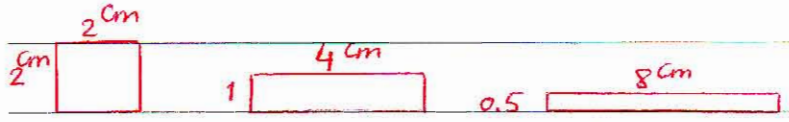
در باردیز، اگر شیب را درست طراحی کرده باشیم، افت اصطکاکی نداریم چون ریزش مذاب داریم. موقع ورود مذاب به Runner افت اصطکاکی ناشی از تغییر جهت حرکت مذاب داریم. در Runner افت اصطکاکی ناشی از اصطکاک دیواره داریم. موقع ورود به gate دوباره تغییر جهت داریم و بعد اصطکاک با دیواره gate.

پس دو نوع افت اصطکاکی داریم:
- اصطکاک با دیواره در حرکت طولی
- اصطکاک ناشی از تغییر جهت حرکت

پس $V_{th} \neq V_{act}$

نوع ماسه، اندازه دانه ماسه (صافی سطح قالب)، رنگ زدن یا نزدن قالب، طول راهگاه و سطح مقطع در افت اصطکاکی تأثیر دارد.

فرض: سطح مقطع راهگاه فرعی $4\ cm^2$ باشد:



جریان در این سه مقطع فرق دارد چون سطح آزاد هر یک با هم فرق دارد، پس افت اصطکاکی هم فرق دارد. در حالت $0.5 \times 8\ cm$ اصطکاک بیشتری داریم. تعداد G ها هم مؤثر است.

یک معیار کلی در نظر می‌گیریم که بر مبنای آن افت اصطکاکی را مشخص می‌کنیم:

$\alpha = C_1 \times C_2 \times C_3 \times \dots$ (ضریب اصطکاک)

ضریب افت اصطکاک در قسمت بادریز و حوضچه $C_1 = 0.9$ در نظر گرفته می‌شود. یعنی:

$$V_{th} = \sqrt{2gH} \rightarrow V_{act} = 0.9\sqrt{2gH}$$

بیشترین افت حین تغییر جهت حرکت از حوضچه به بادریز است.

C_2: مربوط به چاهک است. وقتی چاهک داریم، افت اصطکاک کمتری داریم. معمولاً $(0.7 < C_2 < 0.8)$ است.

C_3: مربوط به Runner است که بصورت نوزنقه با مهار ثابت است. ضریب افت به ابعاد هم بستگی دارد و معمولاً $(0.7 < C_3 < 0.9)$ است؛ کیفیت سطحی هم مؤثر است.

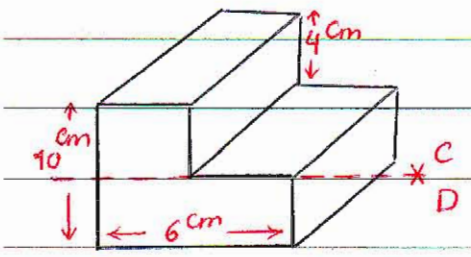
C_4: مربوط به تغییر جهت از Runner به Gate می‌شود و معمولاً 0.8 است.

C_5: مربوط به اصطکاک در طول Gate می‌شود که به طول و ضخامت آن بستگی دارد معمولاً $(0.5 < C_5 < 0.8)$ است.

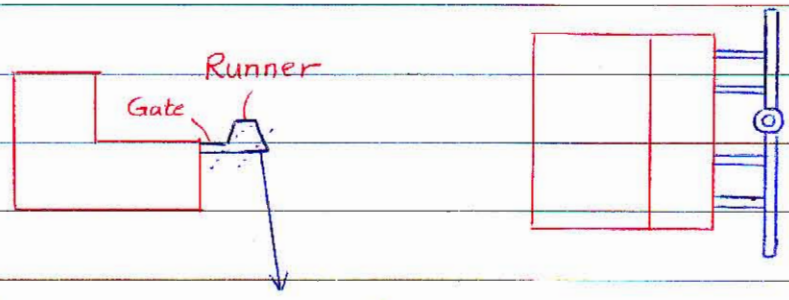
$$\alpha = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5$$

$$C_A = \frac{W}{\rho \cdot t \cdot V_{th} \cdot \alpha} \quad ; \quad V_{th} = \sqrt{2g(E.S.H.)}$$

مثال . طراحی سیستم راهگاهی:



راهگاه اصلی در جهت طول بیشتر قرار می‌گیرد تا مذاب عرض (که طول کمتری دارد) را طی کند و مذاب به همه جا برسد.



فرض: طراحی ←

وزن : 20 kg

زمان باریزی (t) : 10^{sec}

$S:R:G = 1:2:3$

$H = 10^{cm}$

(بعنوان صرفه‌جویی در مصرف ماسه)

برای حالتی که سیستم فشاری باشد می‌تواند اینگونه باشد اما برای غیرفشاری نمی‌تواند و باید R در تای زیرین باشد چون در این مثال غیرفشاری داریم.

(کل ارتفاع) $C = 10^{cm}$ (ارتفاع در تای بالایی) $P = 4^{cm}$: با توجه به ابعاد در شکل

$$\rightarrow E.S.H. = H - \frac{P^2}{2C} = 10 - \frac{16}{20} \sim 9^{cm} \quad : \quad E.S.H \approx 9^{cm}$$

فرض: حوضچه را بصورت طراحی می‌کنیم پس : $C_1 = 0.9$. چاهک داریم : $C_2 = 0.8$

راهگاه اصلی دو طرفه است و $C_3 = 0.8$. $C_4 = 0.7$ ، $C_5 = 0.6$.

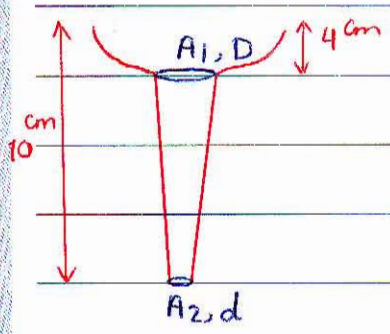
$$C_A = \frac{W}{t \cdot \rho \cdot \alpha \sqrt{2g(E.S.H.)}}$$

آلیاژ معلوم است؛ فرض $\rho = 8 \ gr/cm^3$

$$\alpha = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 = 0.24$$

$$\rightarrow C_A = \frac{20 \times 1000}{10 \times 8 \times 0.24 \sqrt{2 \times 1000 \times 9}} \sim 7.8 \ cm^2$$

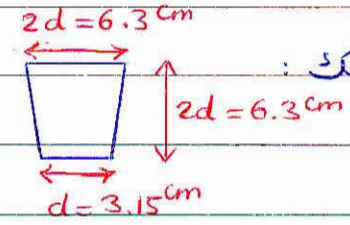
چون سیستم غیرفشاری است پس : سطح مقطع بادبیز در انتها $= S = 7.8\ cm^2$



$A_2 = 7.8\ cm^2$ $\quad \frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\frac{10}{4}}$: $A_1 = 12.33\ cm^2$

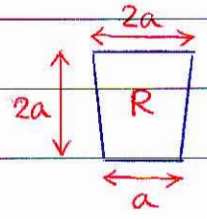
$A_1 = \frac{\pi D^2}{4}$, $A_2 = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow \begin{cases} D = 4\ cm \\ d = 3.15\ cm \end{cases}$

چاهک :



راهگاه اصلی : راهگاه دوطرفه است و نسبت سطح مقطع آن به چُک را داریم :

سیستم غیرفشاری است و R در تای پائین است.

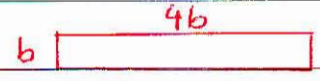


چون دو تا راهگاه داریم و با توجه به $S:R:G \equiv 1:2:3$ ، سطح مقطع هریک از R ها ، معادل $7.8\ cm^2$ خواهد بود :

$\left(\frac{2a+a}{2}\right)(2a) = 7.8 \longrightarrow a = 1.61\ cm$

$\sum R = 15.6\ cm^2$; $\frac{15.6}{7.8} = 2$

راهگاه فرعی : $\sum G = 23.4\ cm^2$; $G = \frac{23.4}{4} = 5.85\ cm^2$

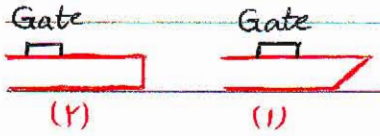


$4b^2 = 5.85 \longrightarrow b = 1.2\ cm$

شیب لازم برای خروج مدل را نیز باید لحاظ کرد ؛ پس سطح مقطع راهگاه فرعی بصورت لوزنقه است ولی این شیب خیلی کم است.

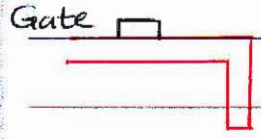
سؤال : سیستم راهگاهی با نسبت $S:R:G = 1:1:1$ فشاری است یا غیرفشاری؟

در این حالت ، G کنترل کننده است یعنی فشاری است چون افت اصطکاکی داریم . سرعت در باریز بیشتر است و در G کمتر. برای غیرفشاری نسبت را 8 : 4 : 1 می گیرند تا مطمئن شوند.



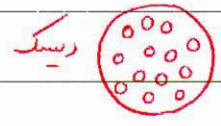
راهگاه اصلی یک مقدار امتداد می یابد . در انتها ایجاد طولانی است و مذاب می تواند تلاطم کند و آخال ها دوباره به G بیایند.
در حالت (۱) ، مدول (M) کمتر است و زودتر منجمد می شود که بهتر است.

اگر ابعاد در حد محدود باشد و نتوان این امتداد را زیاد گرفت و بخواهیم حجم زیادی مذاب اولیه را به دام بیندازیم ، یک رانده در انتهای Runner قرار می دهیم .



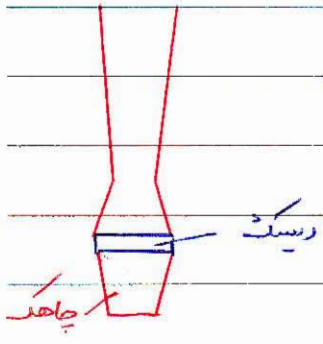
در راهگاه فرعی می توان فیلتر قرار داد تا { آخال ها را بگیرد . / ضربه مذاب را بگیرد و مذاب با سرعت کمتر سقوط کند در محفظه .

• فیلتر در انتهای باریز : Strainer Core (صافی)



بصورت دیسک سوراخ - سوراخ است و در بالای چاهک قرار می گیرد :

این فیلتر دو خاصیت دارد :

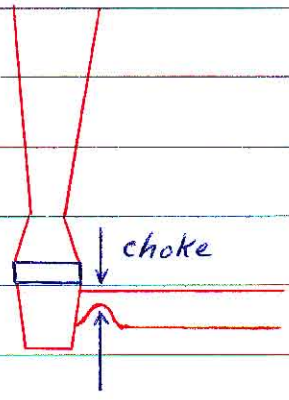


۱) مذاب اولیه به انتهای چاهک از جنس ماسه نمی خورد چون استحکام کمتری دارد و ممکن است ماسه شویی رخ دهد ؛ اول به سرامیک می خورد که استحکام بالایی دارد نه ماسه.
2) جریان مذاب بعد از چاهک خیلی آرام تر است.

اگر سیستم غیرفشاری باشد ، جمع سطوح سوراخ های فیلتر را سطح چک می گیریم تا نقش چک را داشته باشد اما همیشه اندازه و سطح سوراخ ها درست با نیست و مطابق چیزی که در طراحی می خواهیم نیست ؛ در اینصورت طراحی زیر را در نظر می گیریم :

2000 For All

یعنی choke را در ابتدای Runner قرار می‌دهیم.
در این حالت باید جمع سوراخ‌های فیلتر از سطح چک
کوچکتر باشد تا قسمت مشخص شده، چک باشد.



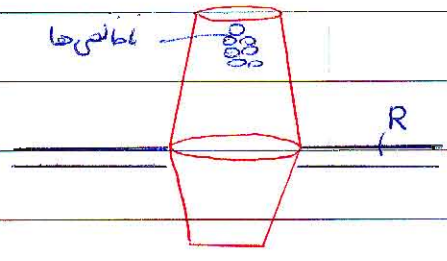
اگر سیستم فشاری باشد، سطح مقطع صافی باید معادل
راهگاه باشد تا سیستم فشاری را برای ما ایجاد کند و باید
سطح هندسی بیشتر از راهگاه باشد.

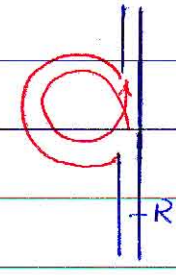
تله چرخشی (روش دیگر گرفتن ناخالصی‌ها):

اساس کار بر مبنای نیروی گریز از مرکز است. در مسیر ورود و خروج مذاب (راهگاه) یک شکل
مخروط ناقص قرار داده می‌شود که مذاب بطور مماسی وارد آن می‌شود و جریان دورانی خواهیم داشت.
در واقع راهگاه بطور مماسی در تماس با مخروط ناقص است و یک یا چند دور می‌زند و بعد خارج می‌شود.

اگر آلیاژ وزن مخصوص بالایی داشته باشد و آخال وزن مخصوص کمتر، حرکت دورانی موجب می‌شود که
آخال‌ها در مرکز جمع شوند و کم کم بالا بیایند.

تذکر: اگر حوضچه باریز پر جریان باشد، کمک می‌کند که آخال وارد راهگاه نشود و همیشه بالای حوضچه باقی بماند.

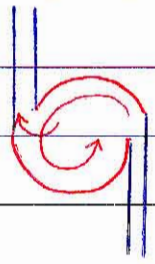




تله چرخشی یک مقدار وزن راهگاه را زیاد می‌کند ولی کیفیت متالورژیکی محصول را بهبود می‌بخشد و در
بعضی موارد توجیه اقتصادی دارد.

2000 For All

از همین خاصیت گاهی در تغذیه کناری هم استفاده می‌شود؛ اما چون گردن تغذیه در وسط (مرکز) تغذیه است، بازدهی حالت قبل را ندارد اما تا حدودی عمل تصفیه را انجام می‌دهد.



تله چرخشی در حالت زیر، راندمان خوبی ندارد.

چون کاهش سرعت مذاب موقع خروج داریم.

راندمان تله چرخشی به قطر تله، سرعت حرکت مذاب در داخل آن بستگی دارد.

2000 For All