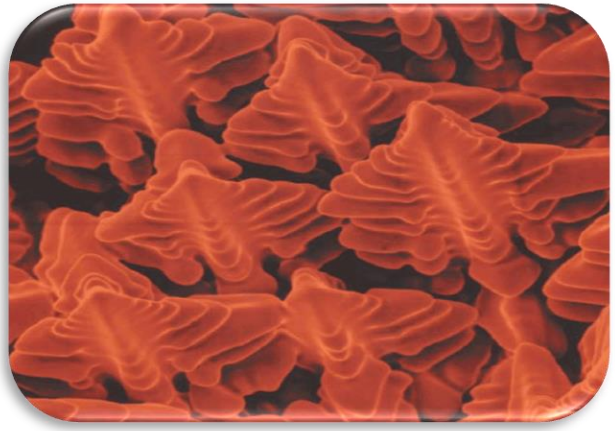
اصول انجماد و ریخته گری مواد

Principles of Solidification and Casting



دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات
تهیه کننده: عبدالعلی فیاض

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

منابع

کتاب:

1- Solidification and Casting, G. J. Davies, 1971.
2- Solidification Processing, M.C. Flemings, 1974.
3- Fundamentals of Solidification, D. J Fisher and W. Kurz, 1984.

4- Foundry Technology, P. R. Beely, 2001.
5- Principles of metal casting, Richard W. Heine, Carl R. Loper, Philip C. Rosenthal, 1967.
6- ASM Handbook Volume 15: Casting - ASM International

۷ ـ انجماد و اصول متالورژیکی ریخته گری، جلال حجازی، ۱۳۸۵انتشارات دانشگاه علم وصنعت.
۸ ـ انجماد فلزات، احمد منشی، انتشارات ارکان،۱۳۹۵.

۹ ـ مبانی و روشهای ریخته گری فلزات، رامین رئیس زاده، انتشارات دانشگاه هرمزگان، ۱۳۹۲.
۱۰ـ اصول ریخته گری فلزات، پیروز مرعشی، امیر عابدی، مسیح رضایی، مجید چیت ساززاده، انتشارات دانشگاه شهید رجایی، ۱۳۹۰.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

منابع

مجلات:

1- International Journal of Metalcasting, Springer, 2017 Impact Factor: 0.779 (Q2).
2- International Journal of Cast Metals Research, Taylor & Francis Group, 2017 Impact Factor: 0.643 (Q2).
3- China Foundry, Springer, 2017 Impact Factor: 0.36 (Q2).
۴- پژوهش نامه ریخته گری، انجمن علمی ریخته گری ایران.
۵- مهندسی متالورژی، انجمن مهندسی مواد و متالورژی ایران.

انجمن ها:

1- American Foundry Society (AFS)
2- European Foundry Association (CAEF)
3- Cast Metal Federation (CMF)
4- Steel Founders' Society of America (SFSA)
۵- انجمن علمی ریخته گری ایران.

Principles of Solidification and Casting
Dr. A. Fayyaz

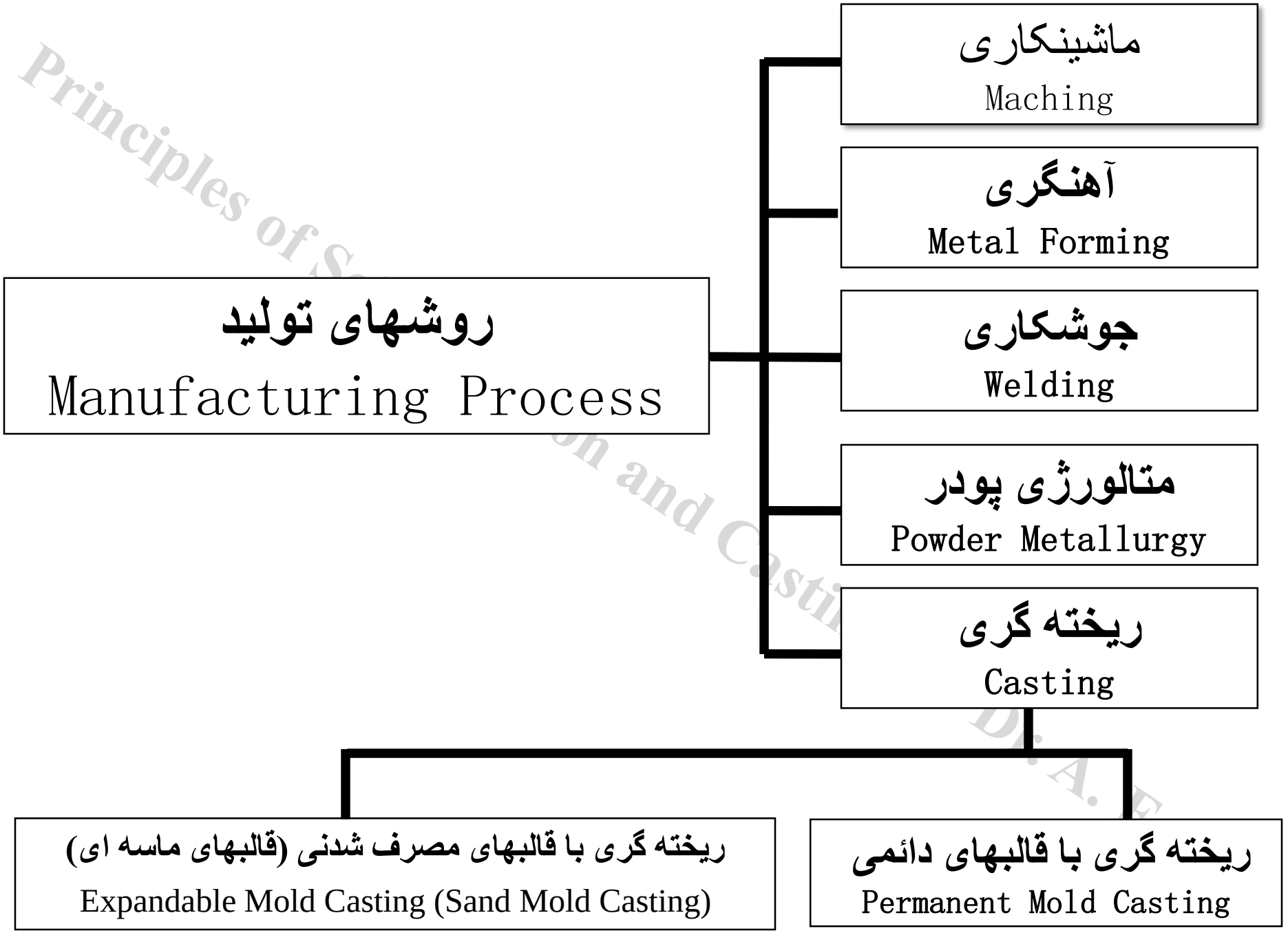
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

سرفصل مطالب

- مقدمه و آشنایی کلی با فرآیند انجماد و ریخته گری
- ساختار مایعات و مقایسه با ساختار مواد جامد، ویژگیهای فیزیکی مایعات
- نیروی محرکه انجماد
- جوانه زنی همگن ـ ترمودینامیک و سینتیک
- جوانه زنی غیر همگن و مکانیزمهای آن
- مکانیزم رشد و تشکیل فصل مشترک جامد/مایع
- انجماد در آلیاژها
- تحت تبرید ترکیبی
- مکانیزم رشد در آلیاژها
- جدایش میکروسکوپی و ماکروسکوپی
- آشنایی با اصول ریخته گری و انواع آن
- روشهای تهیه مذاب، شارژ کوره، انواع کوره ها و ویژگیهای مذاب
- ریخته گری با قالبهای مصرف شدنی (قالبهای ماسه ای – ریخته گری ماسه ای)
- قالب، اجزاء آن، سیستم راهگاهی
- مواد قالبگیری در قالبهای ماسه ای
- مواد و روشهای ماهیچه سازی
- اصول طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری
- عیوب حاصل از ریخته گری
- ریخته گری با قالبهای مصرف شدنی و انواع آن
- ریخته گری با قالبهای دائمی و انواع آن

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz



Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

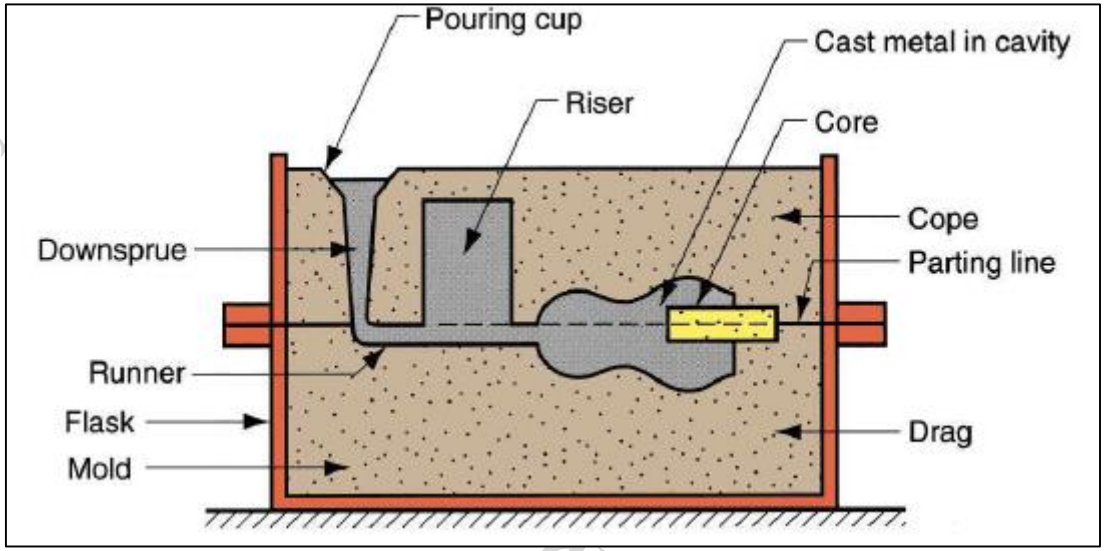
آشنایی با اصول ریخته گری

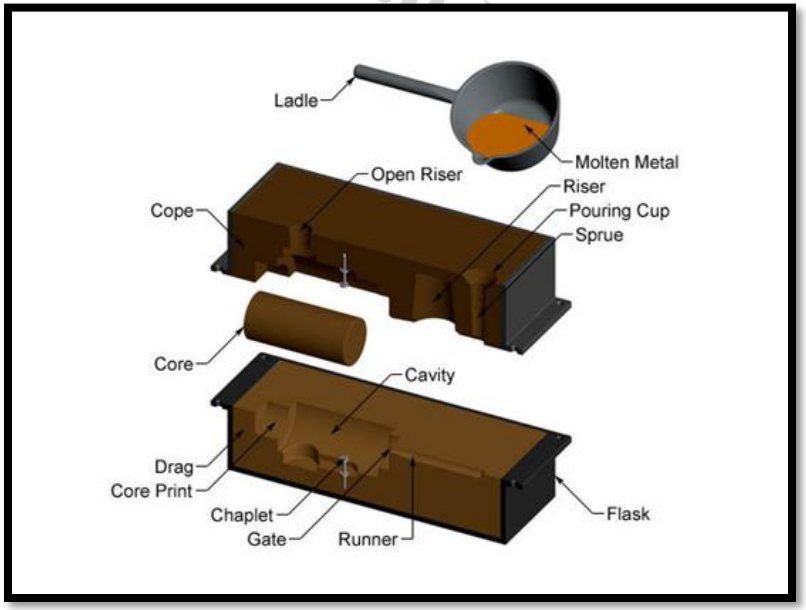
ریخته گری یکی از فرآیندهای شکل دادن فلزات و آلیاژها از طریق ذوب فلز یا آلیاژ میباشد. در این فرآیند مذاب در محفظه ای به نام قالب که مطابق با شکل مورد نیاز ساخته شده است، ریخته شده و نهایتا" پس از سرد شدن و انجماد مذاب؛ شکل، اندازه و خواص مورد نیاز در قطعه شکل خواهد گرفت.

ریخته گری شامل کلیه مراحل ذوب، قالبگیری (ساخت قالب، تهیه مدل و تهیه ماهیچه) و ریختن مذاب در قالب و انجماد میباشد.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

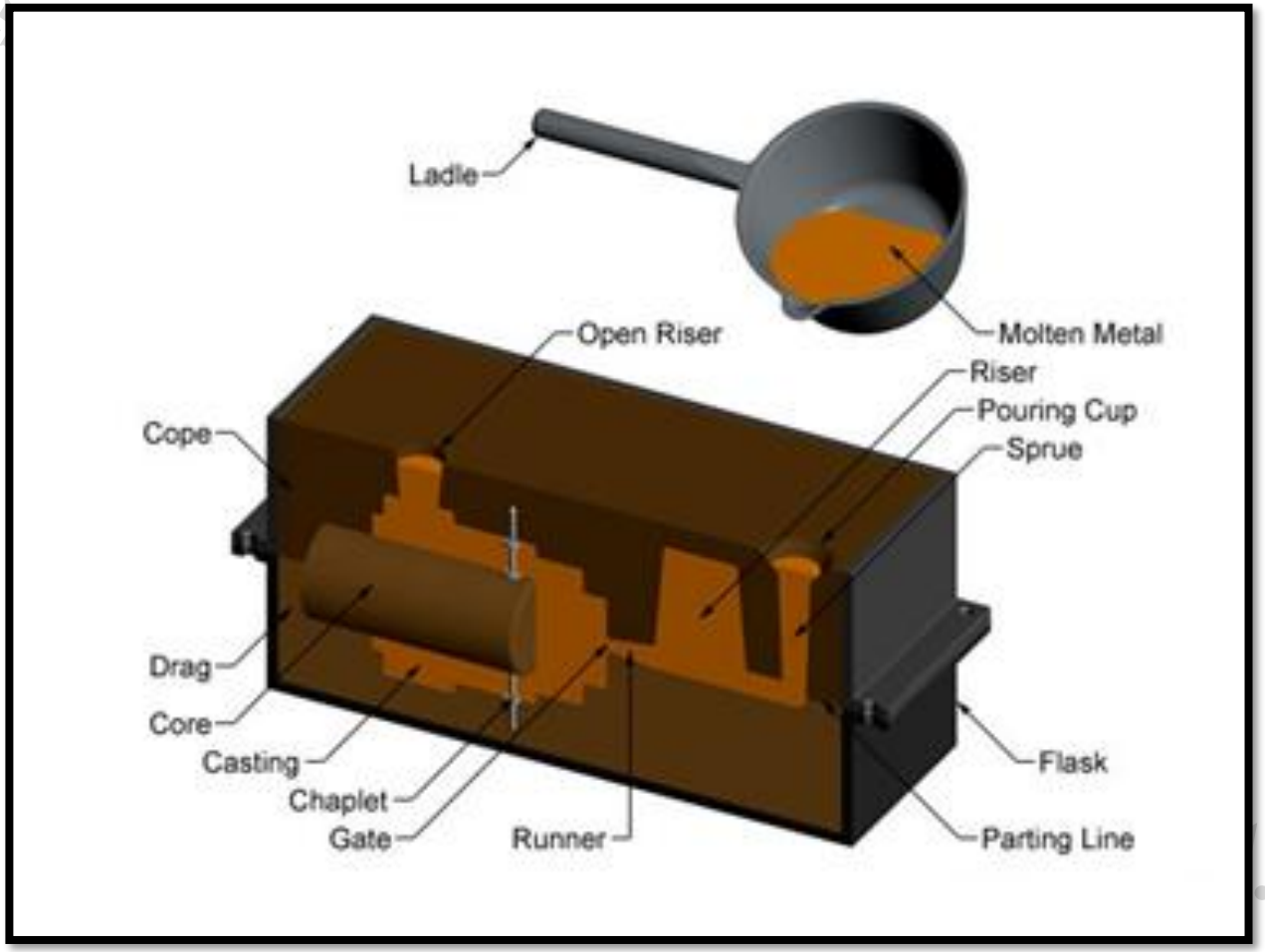
آشنایی با اصول ریخته گری





Principles
Dr. A. Fayyaz

آشنایی با اصول ریخته گری



Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

مزایای ریخته گری نسبت به سایر فرآیندهای ساخت، تولید و شکل دادن

۱. سهولت و سرعت تولید – طرحهای ساده و سریع بودن تولید قطعات
۲. تنوع تولید از نظر اندازه – امکان تهیه قطعات خیلی کوچک (چند گرم) تا خیلی بزرگ (چند تن)
۳. تنوع تولید قطعات از نظر شکل – امکان ساخت قطعات ساده و پیچیده
۴. ایجاد خواص مکانیکی لازم – تولید قطعاتی با خواص مکانیکی لازم با کنترل فرآیند تولید
۵. ارزش اقتصادی – سرعت تولید بالا و هزینه تمام شده نسبتا" پایین فرآیند
۶. طبیعت و ویژگی فلز یا آلیاژ – برخی فلزات و آلیاژها بدلیل ویژگیهایی که دارند، تنها از طریق ریخته گری امکان تولید قطعه از آنها میباشد.
۷. امکان ساخت تک کریستالها – تولید قطعات تک کریستالها مورد استفاده در صنعت نیمه هادی ها و صنایع تولید برق

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

محدودیتهای ریخته گری نسبت به سایر فرآیندهای ساخت، تولید و شکل دادن

۱. حضور ناخالصی – امکان حضور ناخالصی و افت خواص مورد نظر
۲. دقت ابعادی – دقت ابعادی نسبتا" پایین
۳. نیاز به فرآیندهای جانبی – نیاز به ماشینکاری و عملیات حرارتی پس از ریخته گری
۴. استحکام مکانیکی پایین – در مقایسه با قطعات آهنگری شده
۵. انقباض قطعه – احتمال ایجاد عیوب و مشکل در فرآیند تولید قطعه

Principles of Solidification and Casting
Dr. A. Fayyaz

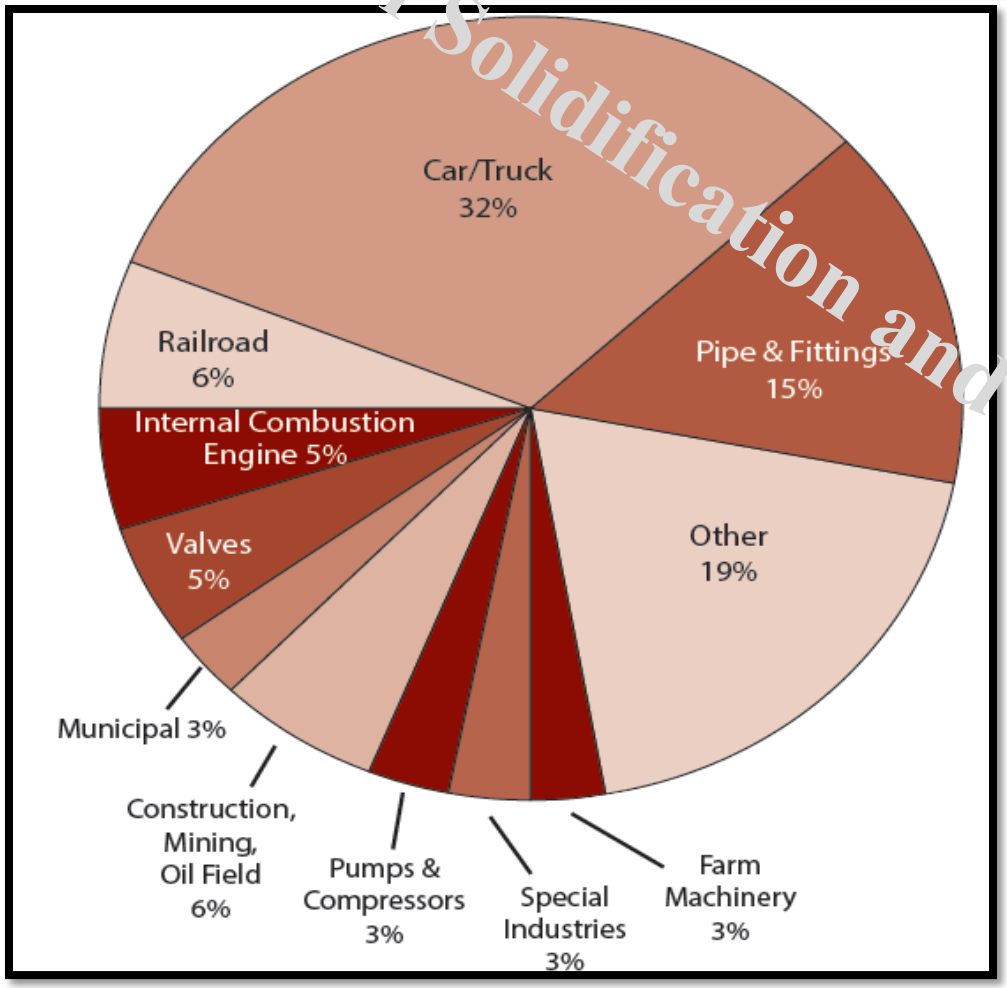
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

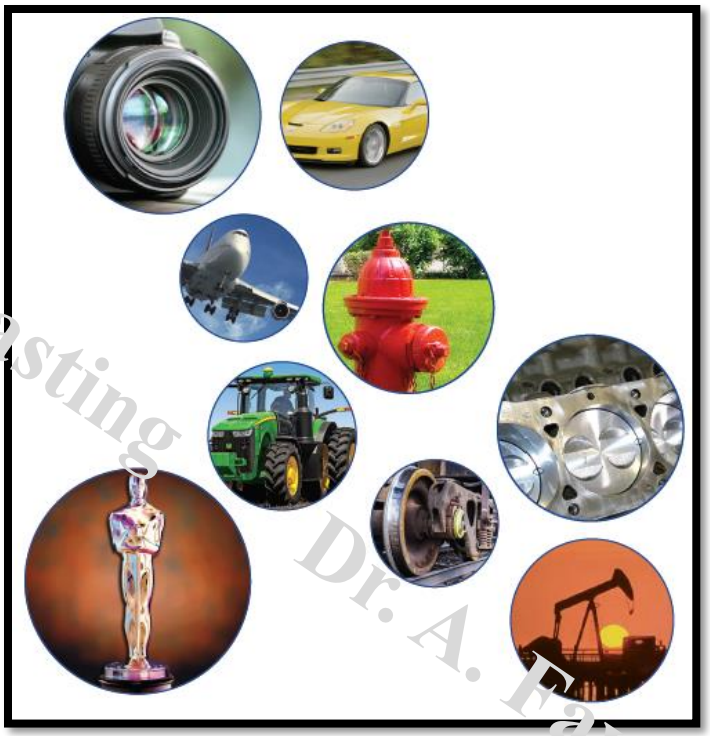
CASTINGS IN OUR WORLD

Did you know

Ninety percent of all manufactured goods rely on metal castings.

American Foundry Society (AFS)



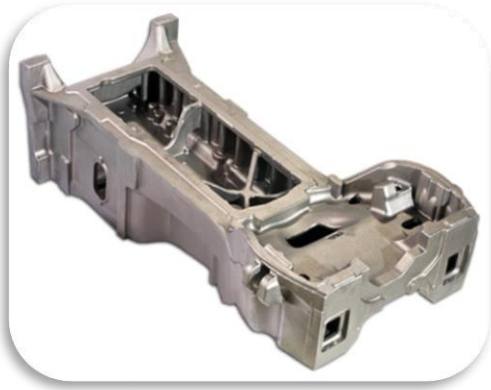


Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

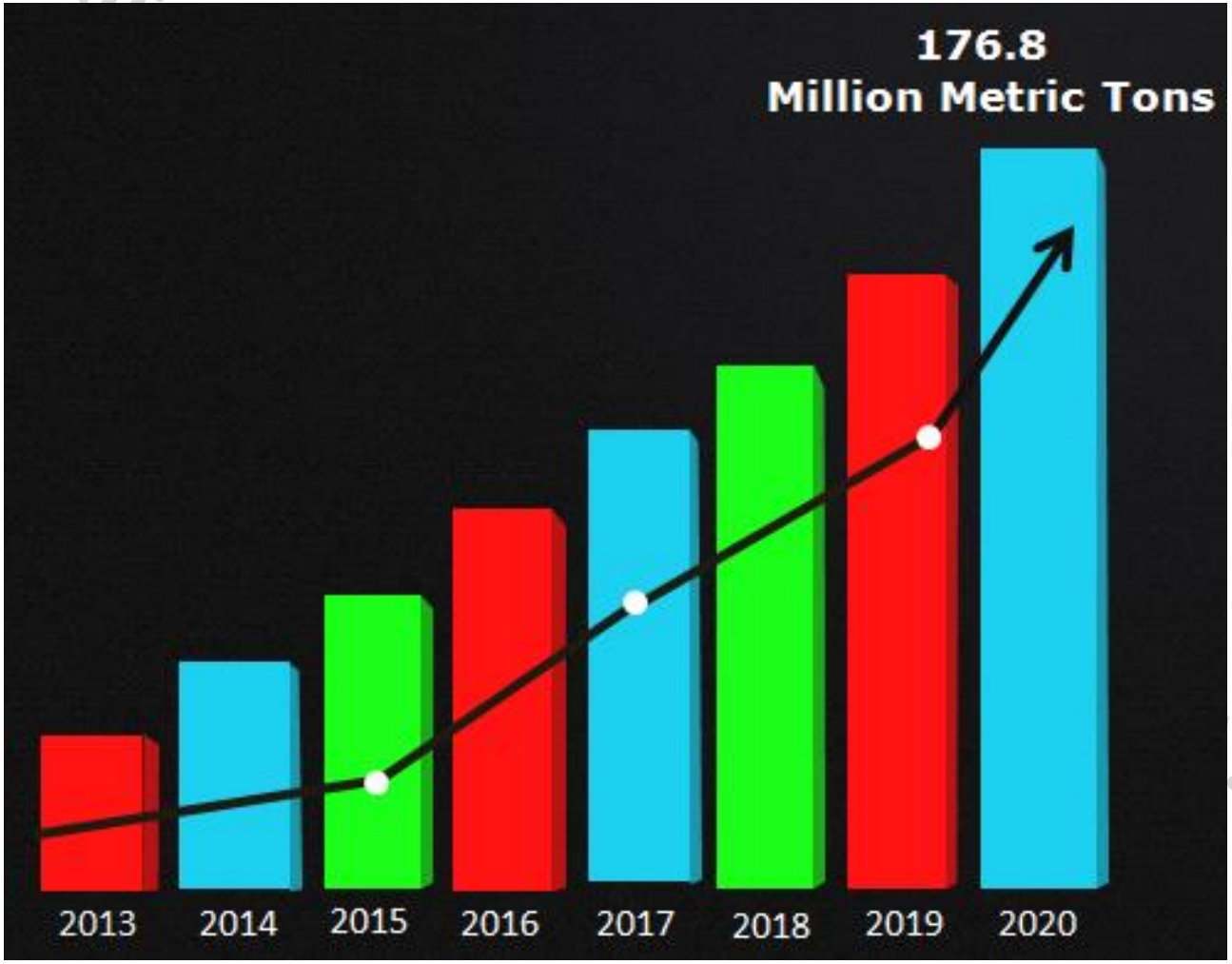
تنوع قطعات ریختگی

Versatility of Casting Part



Principles of Solidification and Casting
Dr. A. Fayyaz

Global market for Industrial Castings is projected to reach 176.8 million metric tons by 2020, driven by recovering manufacturing activity in both developed and developing markets.



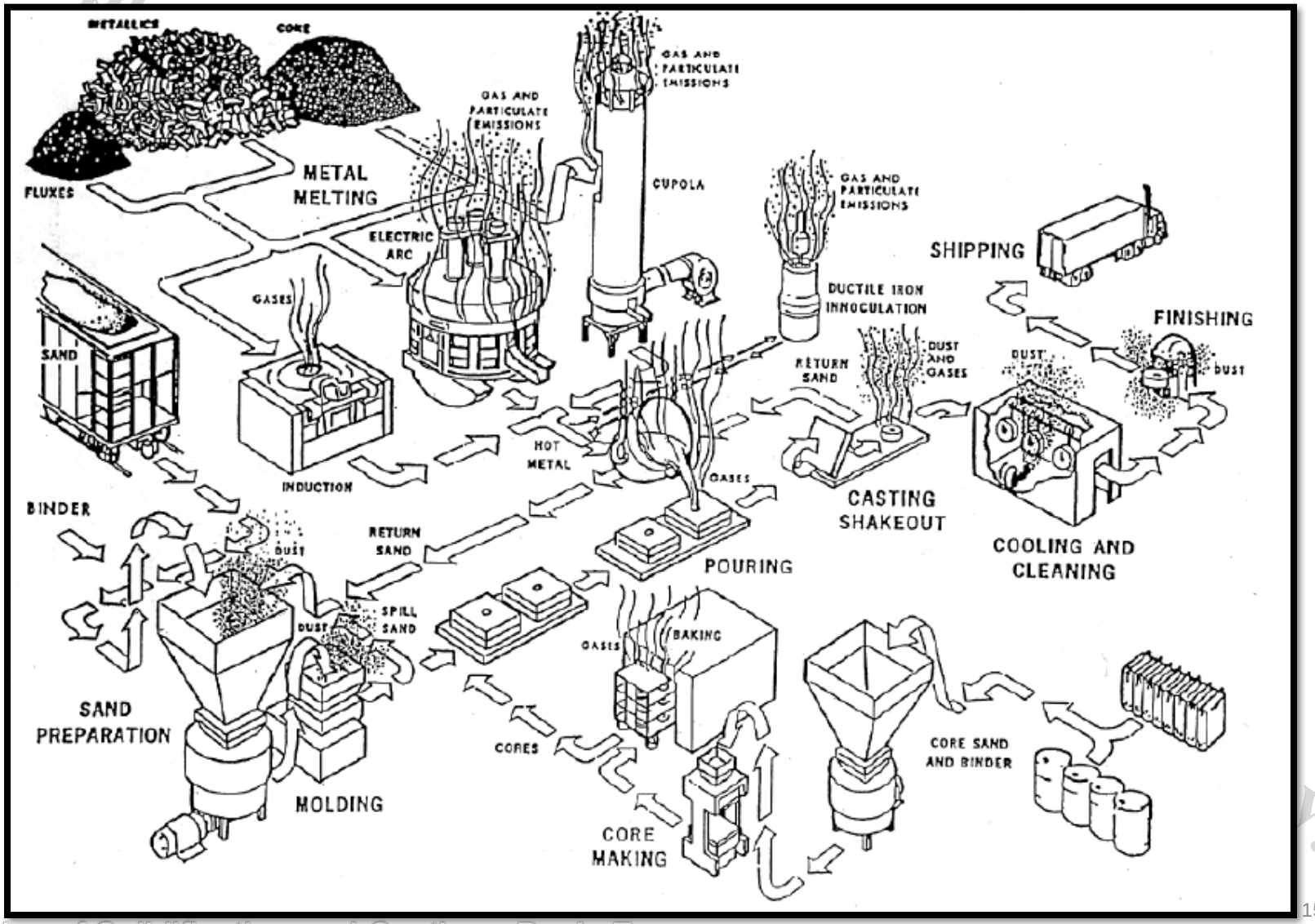
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

مراحل اصلی فرآیند ریخته گری

Principles of Soli
Dr. A. Fayyaz

کارگاه ریخته گری

Work Flow in Typical Sand Casting Foundry



Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

روشهای تهیه مذاب، شارژ کوره، انواع کوره ها و ویژگیهای مذاب

کوره (Furnace)

جهت تهیه مذاب و تبدیل انواع انرژی به انرژی حرارتی ، بوسیله انتقال حرارت به فلز یا آلیاژ جامد و تبدیل آن به مذاب با سرعت، کیفیت و هزینه مناسب.

عوامل اصلی در انتخاب کوره:

۱. نوع فلز، ترکیب آلیاژ و میزان حساسیت فلز یا آلیاژ
۲. دمای ذوب ومیزان فوق گداز لازم
۳. ظرفیت کوره
۴. سرعت تهیه مذاب
۵. هزینه های اقتصادی کوره

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

تقسیم بندی کوره ها (انواع کوره)

۱) از نظر نحوه انجام کار

- **تکباری:** شارژ کوره و انجام فرآیند ذوب سپس تخلیه مذاب و سرباره پس از توقف فرآیند ذوب و تکرار این فرآیند برای هر بار تهیه مذاب . مانند کوره بوته ای
- **مداوم :** تغذیه شارژ به داخل کوره از یک سو و تخلیه مذاب و سرباره از سوی دیگر به طور مداوم انجام میپذیرد. مانند کوره کوپلا

۲) از نظر نوع انرژی

۲-۱) سوخت فسیلی

- **سوخت جامد** (کوره کوپلا)

معایب: مشکل انبار کردن و حمل سوخت به درون کوره، عدم امکان کنترل دما کوره(به علت عدم امکان خاموش و روشن کردن به موقع کوره)، ایجاد آلودگی.

- **سوخت مایع و گاز** (کوره بوته ای، کوره دوار)

مزایا: متداول و در دسترس بودن.

۲-۲) سوخت الکتریکی

- **الکتریسیته** (مانند کوره القایی، کوره قوس الکتریکی، کوره مقاومتی)

مزایا: امکان کنترل اتمسفر کوره،امکان کنترل ترکیب شیمیایی مذاب،امکان ایجاد فوق گداز بالا،سرعت ذوب بالا

معایب: هزینه زیاد تولید انرژی

Principles of Solidification and Casting Dr. A. Fayyaz

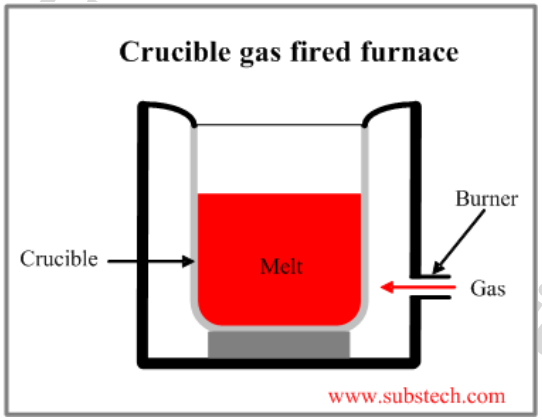
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

پر کاربردترین
انواع کوره های تهیه مذاب جهت ریخته گری

Principles of Solidification and Casting
Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

کوره بوته ای (Crucible Furnace)



نوع کوره: تکباری

نحوه توزیع و انتقال حرارت: عدم تماس مستقیم سوخت و شعله و فلز

نوع سوخت: مایع و گاز(گازوئیل،مازوت،گازطبیعی)

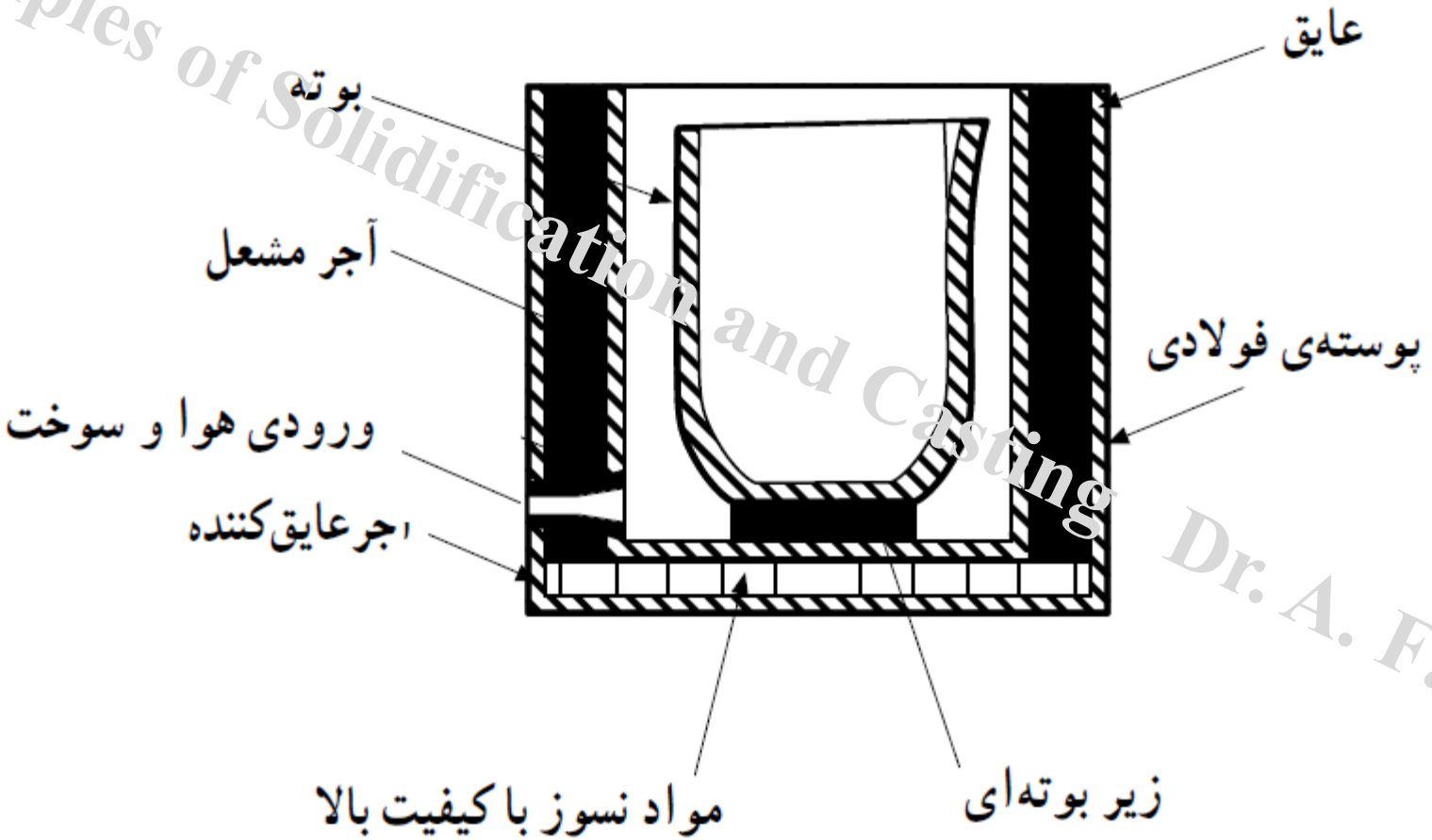
مزایا: سادگی ساخت، ارزان بودن،امکان ساخت در انواع و اندازه های مختلف، عدم تماس مستقیم سوخت با مذاب،

معایب: تلفات حرارتی زیاد، پایین بودن ظرفیت، محدودیت ذوب فلزات با نقطه ذوب بالا

کاربرد: ذوب فلزات غیر آهنی نظیر: روی، مس، آلومینیوم، برنج و برنز

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

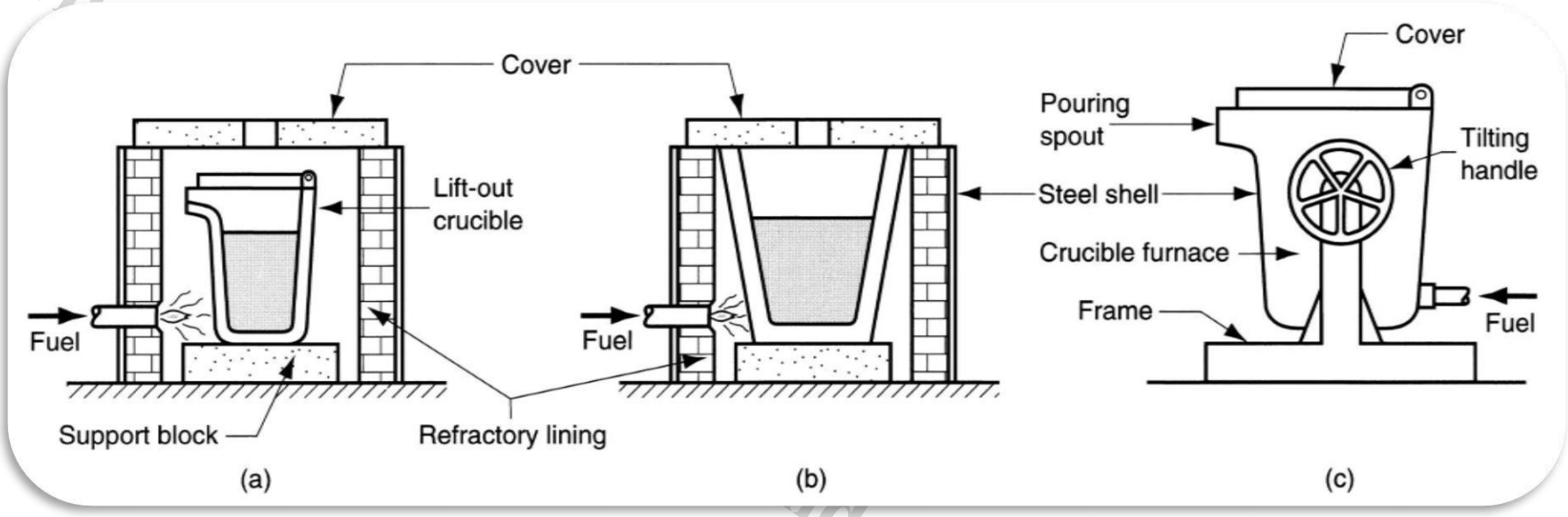
اجزای کوره بوته ای



Principles of Solidification and Casting Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع کوره های بوته ای



Three types of crucible furnaces:
(a) lift-out crucible, (b) stationary pot, from which molten metal must be ladled, and (c) tilting-pot furnace.

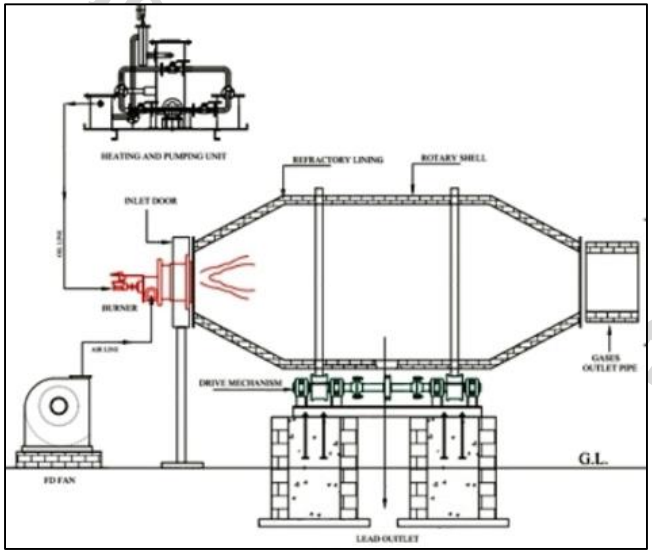
۱. ثابت: بدنه و بوته ثابت. از این نوع کوره بوته ای بمنظور کوره نگهدارنده مذاب عمدتا" استفاده میشود.

۲. ثابت با بوته متحرک: بدنه ثابت و بوته متحرك. دارای ظرفیت کمترنسبت به انواع دیگر

۳. گردان: بدنه و بوته متحرك

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

کوره تشعشعی یا شعله مستقیم (Reverberatory Furnace)



نوع کوره: تکباری

نحوه توزیع و انتقال حرارت: تماس شعله با مواد شارژ

نوع سوخت: مایع و گاز (گازوئیل یا گاز طبیعی)

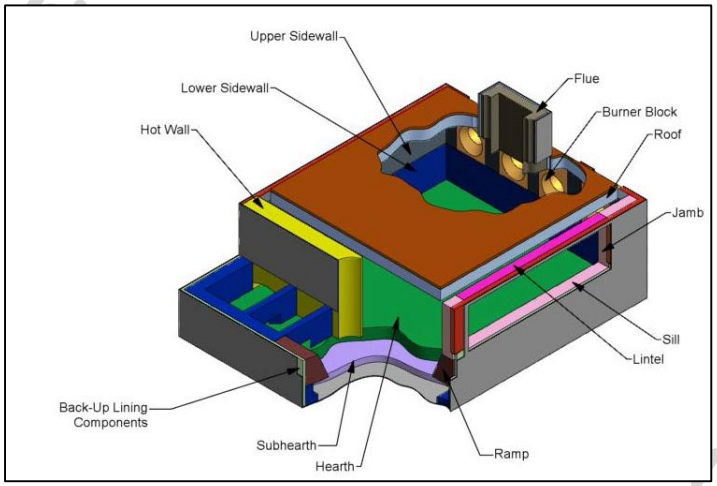
مزایا: ساخت ساده، سرمایه گذاری کم، استفاده جهت ذوب مقادیر زیاد شمش و برگشتیهای ریخته گری،سرعت بالای تولید مذاب با ظرفیت بالا، توزیع یکنواخت دما و ترکیب شیمیایی در کوره های دوار

معایب: اتلاف عناصر شیمیایی،جذب گاز توسط مذاب واکسیداسیون بالای فلز به علت تماس مستقیم شعله وفلز، مشکلات مربوط به کنترل دما، راندمان حرارتی پایین

کاربرد: ذوب مس و آلومینیوم و آلیاژهای آنها، چدن

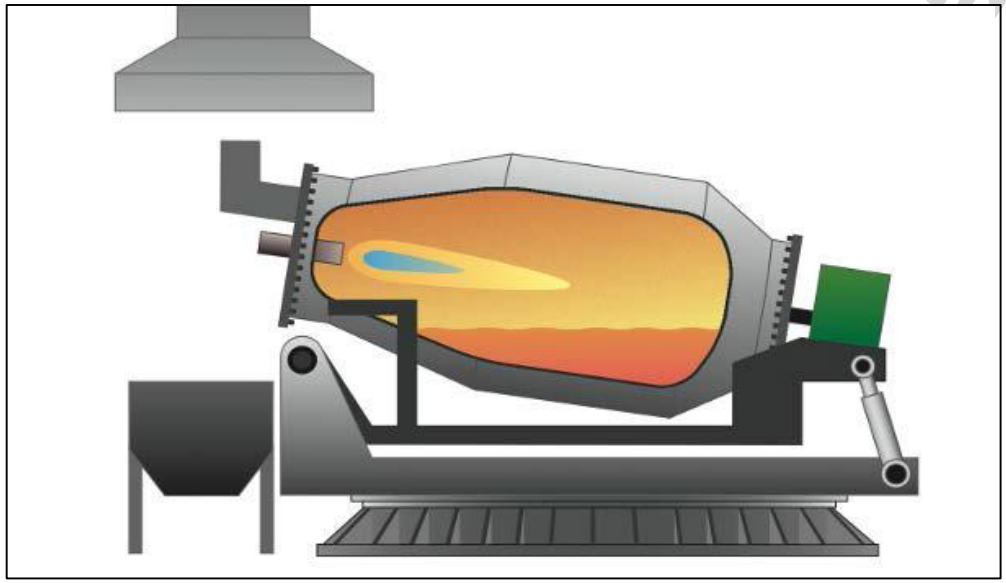
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع کوره های تشعشعی



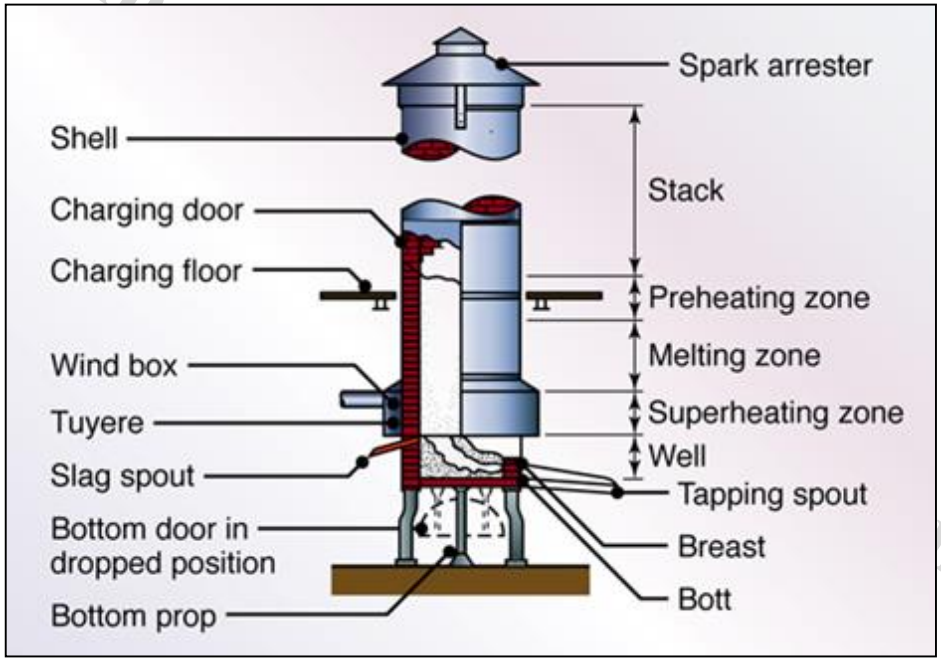
۱. ساکن: شکل مکعب مستطیلی یا استوانه ای

۲. دوار: شکل استوانه ای



Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

کوره کوپلا (Cupola Furnace)



نوع کوره: مداوم

نحوه توزیع و انتقال حرارت: تماس مستقیم سوخت شعله

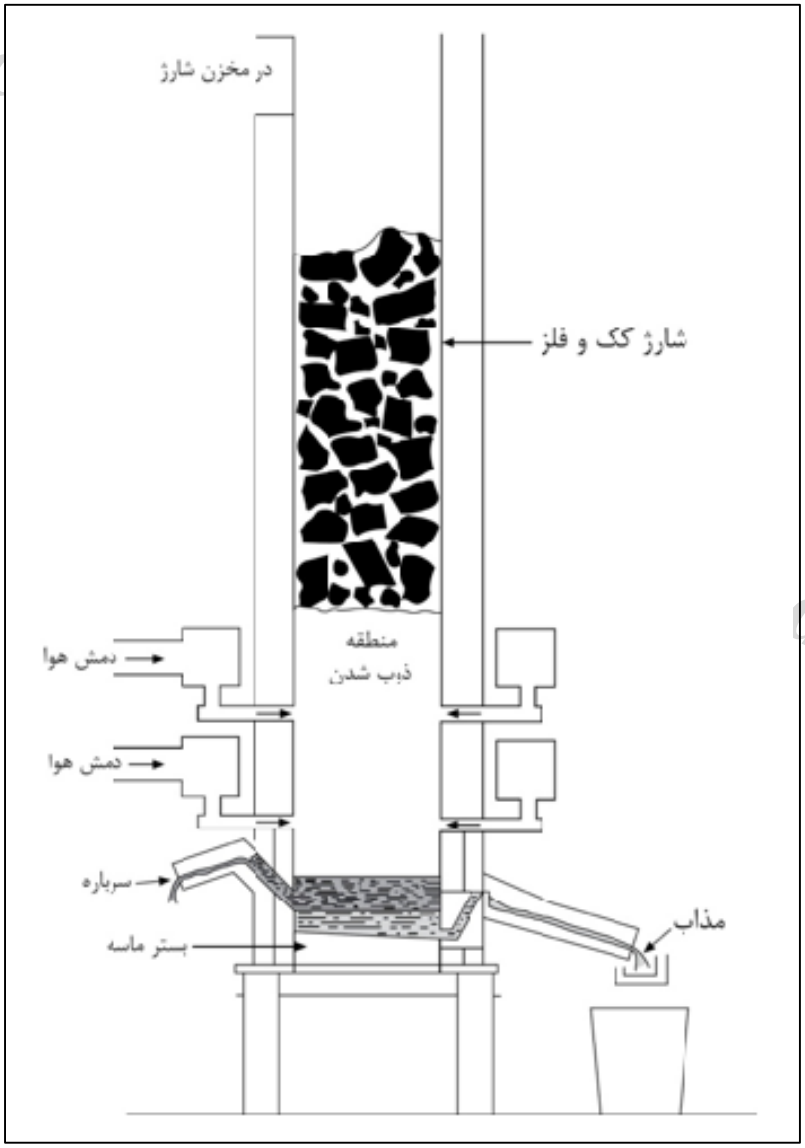
نوع سوخت: جامد(کک و ذغال)

مزایا: سادگی نحوه کار کوره،تولید حجم بالای مذاب

معایب: انعطاف پذیری کم در رسیدن به فوق گداز های بالا، ایجاد دود و آلودگی

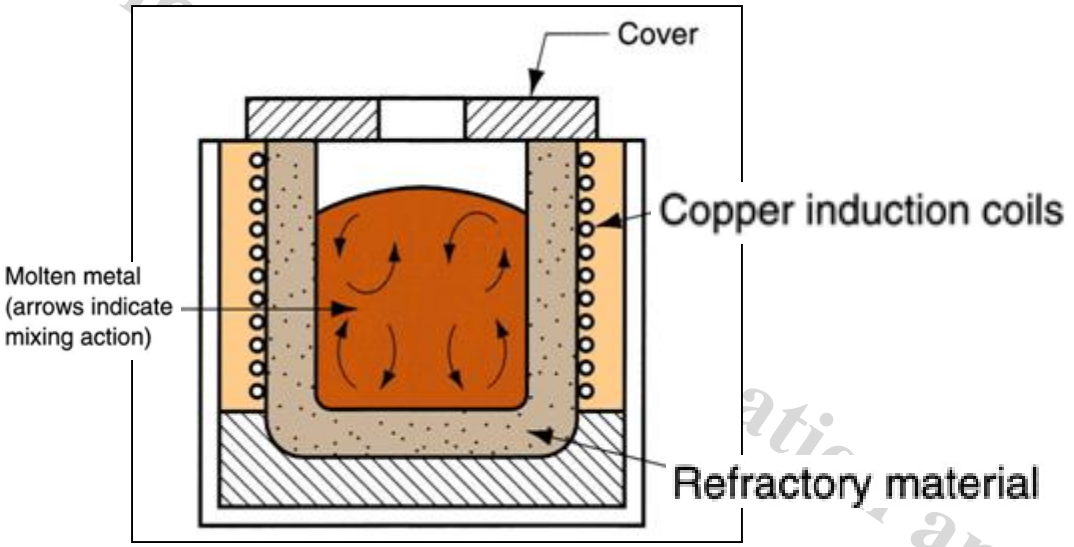
کاربرد: چدن

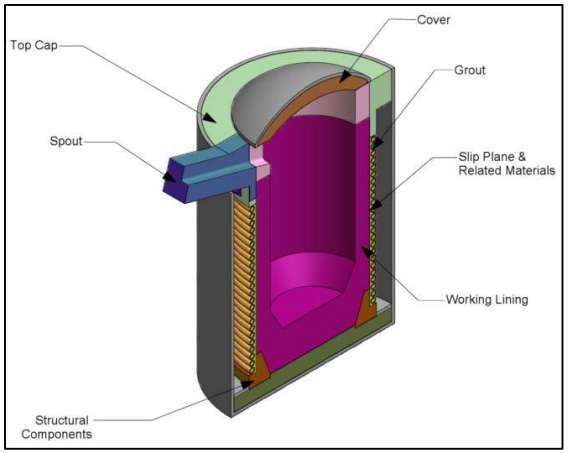
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

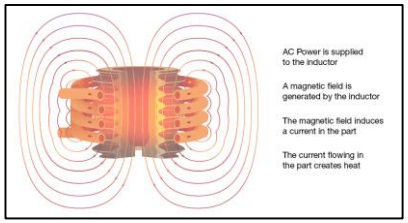


Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

کوره القایی (Induction Furnace)







نوع کوره: تکباری

نحوه توزیع و انتقال حرارت: تماس غیر مستقیم

نوع انرژی: الکتریسیته

مزایا: مصرف انرژی کمتر نسبت به کوره مقاومتی، ظرفیت های متفاوت از چند کیلوگرم تا چند تن، عدم انجام فعل و انفعال شیمیایی با مذاب، توزیع حرارت مطلوب، کنترل ترکیب شیمیایی، عدم محدودیت برای افزایش دما، کارایی بسیارساده، راندمان بالا

معایب: اندازه های کوچک این کوره راندمان مطلوبی ندارند، هزینه بالای انرژی الکتریکی، عدم امکان تصفیه کامل مذاب

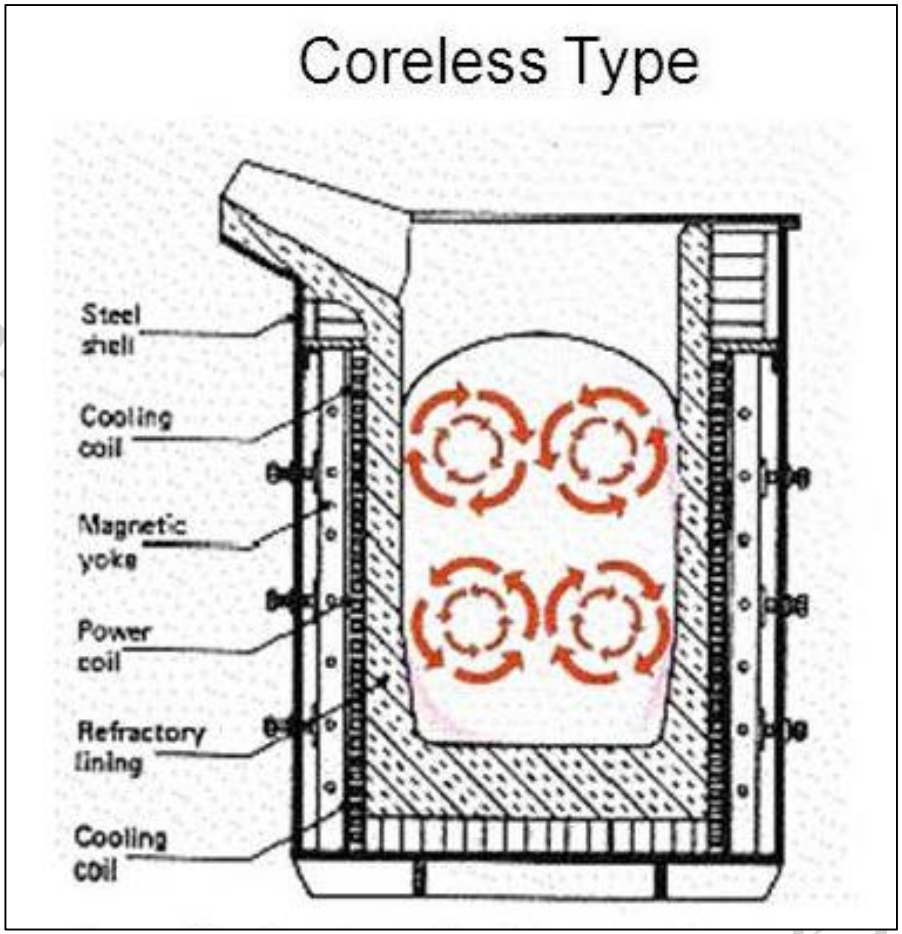
کاربرد: انواع فلزات و آلیاژهای غیر آهنی، چدن و فولاد

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

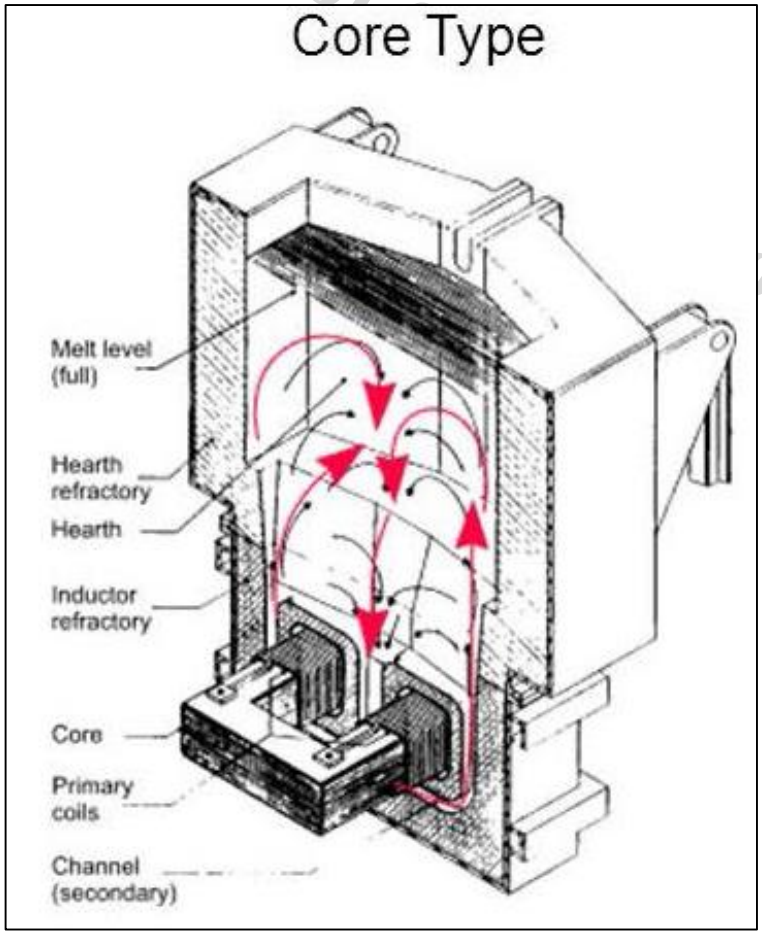
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع کوره های القایی

۱) کوره های فرکانس کم بدون هسته (فرکانس۶۰-۵۰هرتز)

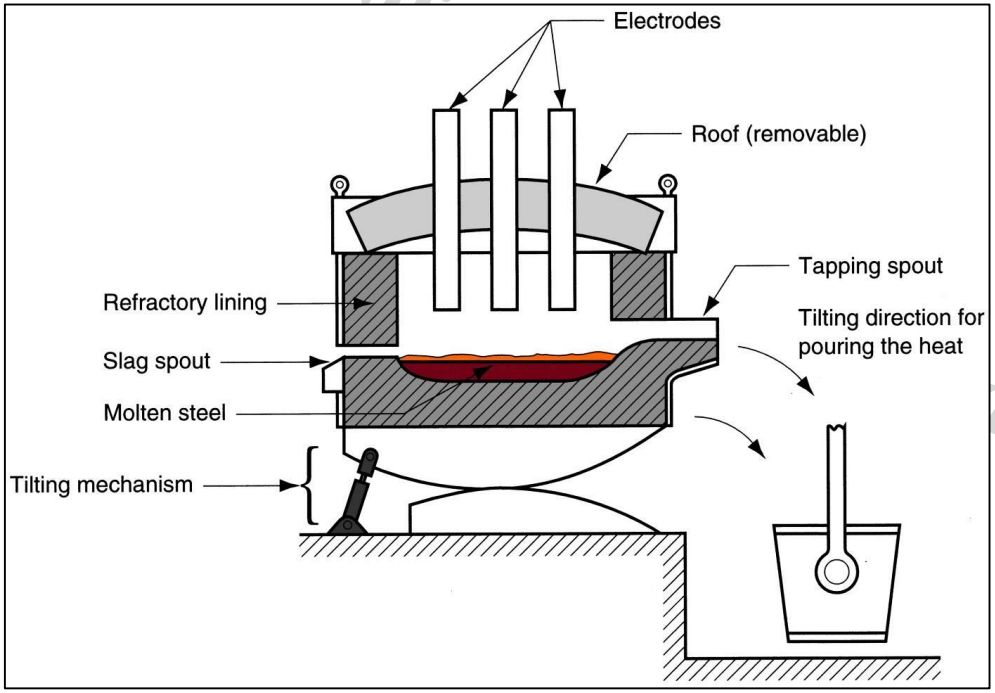


۲) کوره های فرکانس کم با هسته (فرکانس۶۰-۵۰هرتز)



Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

کوره قوس الکتریکی (Electric Arc Furnace)



نوع کوره: تکباری

نحوه توزیع و انتقال حرارت: تماس مستقیم

نوع انرژی: الکتریسیته

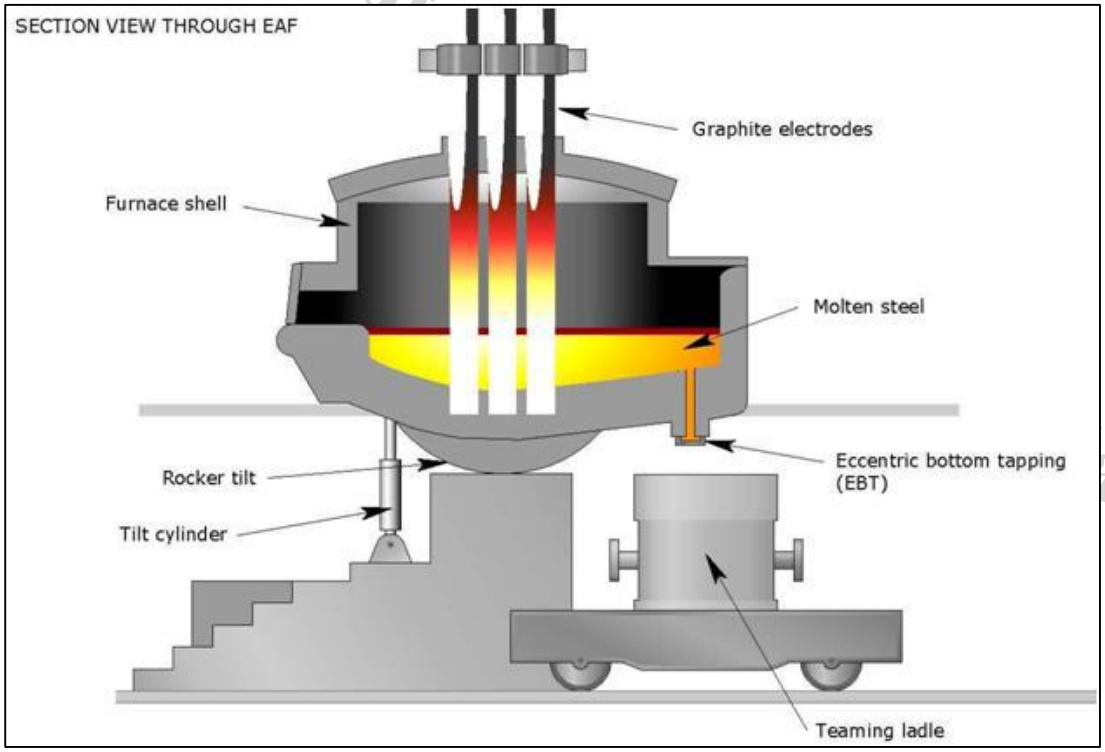
مزایا: ظرفیت بالا تا چندین چند تن، توزیع حرارت مطلوب، تولید دمای بالا، امکان تصفیه مذاب

معایب: تجهیزات گران قیمت، هزینه بالای انرژی الکتریکی و سرمایه گذاری

کاربرد: انواع فلزات و آلیاژهای آهنی بویژه فولاد

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع کوره های قوس الکتریکی

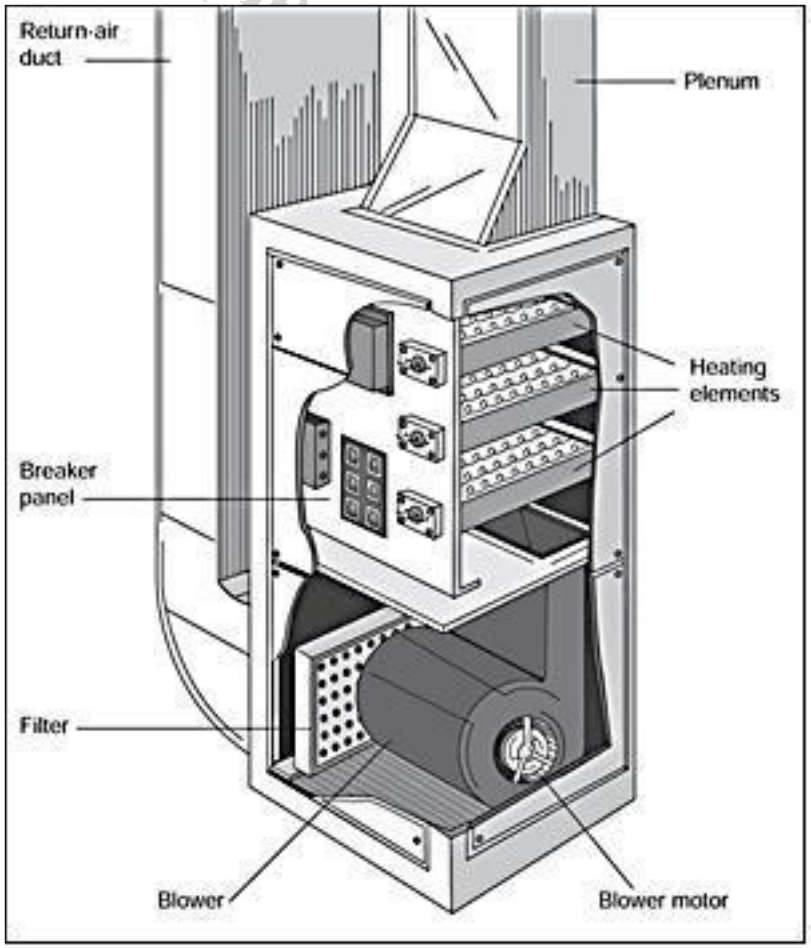


۱. کوره قوس الکتریکی غیر مستقیم: در صورتی که قوس الکتریکی بین الکترودها برقرارگردد، به آن کوره قوس الکتریکی **غیر مستقیم** گویند.

۲. کوره قوس الکتریکی مستقیم: درصورتی که جریان الکتریکی از طریق قوس الکتریکی ایجاد شده بین الکترود و شارژ برقرار شود، به آن را کوره قوس الکتریکی **مستقیم** گویند.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

کوره مقاومتی (Resistance Furnace)



نوع کوره: تکباری

نحوه توزیع و انتقال حرارت: تماس غیر مستقیم

نوع انرژی: الکتریسیته (استفاده از گرمای حاصل از مقاومت میله یا سیم در مقابل عبور جریان)

مزایا: بسیارساده، قابلیت کنترل ترکیب شیمیایی مذاب

معایب: ظرفیت کم کوره (حداکثر ۵۰۰ کیلوگرم)، هزینه بالای انرژی الکتریکی

کاربرد: انواع فلزات و آلیاژهای غیر آهنی

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

شارژ کوره (مواد بار کوره)

۱. شمش اولیه

۲. شمش ثانویه

۳. قراضه

۴. آمیژانها (آلیاژ سازها)

۵. کمک ذوب ها

Principles of Solidification and Casting Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

شمش اولیه Primary Ingot

شمشهایی اولیه، شمشهایی هستند که در اولین مرحله استخراج و از سنگ معدن فلز بدست می آید (مس خام، ،آهن خام، آلومینیوم خام و .....).
فلزات آهنی مانند چدن:دارای کربن،سیلیسیم،منگنز و گوگرد.
فلزات غیرآهنی:با خلوص ۹۹ % تا۹۹/۹% و مقدار کمی ناخالصی.

ویژگیها:

- دارای ناخالصی و عناصر ناخواسته
- محدوده تغییرات ترکیب شیمیایی زیاد است (هر بار کوره در دورهای مختلف تولید ممکن است متفاوت باشد.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Secondary Ingot شمش ثانویه

شمشهایی ثانویه، شمشهایی هستند که که از ذوب و تصفیه مجدد شمش اولیه و قراضه ها تهیه می شوند از نظر کنترل ترکیبی مطلوب تر و همچنین از نظر درصد عناصر آلیاژی غنی تر می باشند و در مراحل خاص ذوب به کار می روند. بعنوان مثال شمشهای ترکیب ثانویه مس معمولا" حاوی ۲ تا ۷ درصد قلع ، ۴ تا ۱۰ درصد روی و ۲ تا ۶ درصد سرب می باشد.

ویژگیها:

- دارای ناخالصی و عناصر ناخواسته بسیار کم
- مدتورده تغییرات ترکیب شیمیایی کم است
- از این شمشها میتوان مستقیما" برای تهیه ذوب و ریخته گری استفاده کرد

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

قراضه Scrape

قراضه شامل قطعات ضایعاتی است که به منظور کاهش قیمت مواد اولیه جهت تهیه مذاب به کوره افزوده میشود. این مواد میتواند شامل قطعات معیوب و برگشتیهای ریخته گری، اضافات قطعات ریختگی مانند راهگاه ها،تغذیه ها و ... ، قطعات مستهلک شده فلزی، زائده های مواد اولیه، دور ریز و یا دم قیچی باقیمانده های برش ورقهای پرسکاری و یا زائدات براده برداری باشد.

ویژگیها:

- دارای حداکثر مقدار از فلز یا آلیاژ مربوطه بوده و از کیفیت شیمیایی مناسب برخوردار باشند
- حداقل مقدار آلودگی از نظر زنگ زدگی، چربی ، رنگ و... را داشته باشند
- دارای اندازه و سایز مناسب باشند.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

آمیژانها (آلیاژ سازها) Hardener

آمیژانها (آلیاژ سازها)، ترکیباتی هستند فلزی پر آلیاژ از عناصر مختلف نسبت به عنصر مادر در آن ترکیب. از این ترکیبات جهت عملیات ذوب و افزودن عناصر آلیاژی به مذاب استفاده میشود.

این مواد در شرایط زیر به مذاب A را مستقیما" به مذاب B نمیتوان افزود.

- فشار بخارA در دمای مذاب B بالا باشد.
- عنصرB به شدت در دما مذاب A اکسید شود.
- نقطه ذوب Bاز مذاب A بیشتر باشد.
- عنصر B فاقد شرایط انحلال سریع در مذاب A باشد.

به عنوان مثال: از فرو سیلیسیم (Fe-75%Si) جهت افزودن سیلیسیم به مذاب چدن استفاده میشود.

ویژگیها:

- دارای عناصر آلیاژی لازم و حداقل از دو عنصر تشکیل شده است
- نقطه ذوب آنها حتی الامکان پایین باشد.
- قابلیت شکنندگی داشته باشند، تا به راحتی وبه مقدار معین به شارژ (بار مذاب) در کوره افزوده شود.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

کمک ذوب ها

افزودنیها با مخلوط و ترکیبی شیمیایی که تاثیر فیزیکی در فرآیند ذوب گذاشته وسبب افزایش کیفیت قطعه وبهره وری تولید میگردد. این نمجموعه موادی که عموما" جهت افزودن مواد جرانه زای مناسب ، اصلاح ساختار فاز های دوم و حذف آخال، ناخالصیها و گازهای محلول در مذاب به مذاب در مراحل مختلف تهیه ذوب وریخته گری، مورد استفاده قرار می گیرند.

مثال:
جوانه زا برای ریزدانه کردن آلیاژهای الومینیوم وآلیاژهای مس
کمک ذوب قلیایی (آهک زنده) یا اکسید کلسیم (آهک زنده) دمای ذوب و غلظت سرباره را کاهش می دهد و به حذف کوگرد در ریخته گری فلزات آهنی کمک مینماید.

ویژگیها:
- وزن مخصوص کمتری نسبت به فلز ذوب شده داشته باشد به طوری که بتواند دربخش فوقانی پاتیلها متمرکز و به صورت سرباره از مذاب فلزی جدا شود.
- ورود و تمرکز فاز در داخل کمک ذوب در حد ناچیزی باشد تا فلز ذوب شده نتواند به وسیله وارد شدن در کمک ذوب از محیط خارج شود.
- کمک ذوب بتواند ناخالصیهای فلزات را جداسازی نموده و در سرباره متمرکزنماید تا جدایش آن از فلز ذوب شده آسانتر باشد.
- موجب بهبود و اصلاح ساختار و خواص فیزیکی، شیمیایی و متالورژیکی قطعه ریختگی گردد.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

ویژگیهای مذاب

هدف از تهیه مذاب جهت ریخته گری با کمک مواد شارژ کوره، تهیه مذابی با کیفیت ودارای ویژگیهای مناسب میباشد تا بتوان قطعه ریختگی سالم و با شکل و خواص مناسب فیزیکی، شیمیایی ومتالورژیکی تهیه نمود.

عوامل موثر بر ویژگیها و کیفیت مذاب:

۱. واکنشهای مذاب با هوای محیط
۲. واکنش با سوخت و محصولات احتراق
۳. واکنش مذاب با مواد نسوز و دیرگداز ها
۴. واکنش با ابزار

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

۱. واکنشهای مذاب با هوای محیط:

$$(M)+\{O_2\}\rightarrow<MO_2>$$
$$<M>+\{O_2\}\rightarrow<MO_2>$$
$$M+H_2\rightarrow<MO>+2[H]_{(M)}$$
$$M+\{O_2\}\rightarrow 2[O]_{(M)}$$
$$M+N_2\rightarrow<MN_2>$$

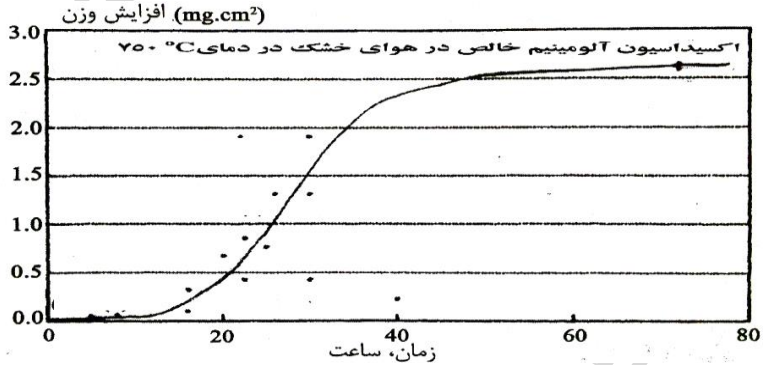
<جامد>،(مایع)،{گاز}،[محلول]

Principles of Solidification and Casting
Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

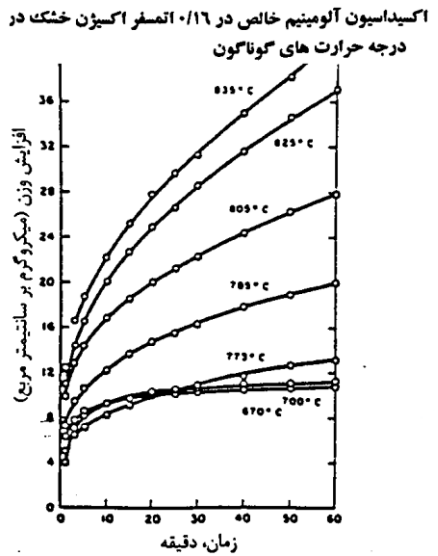
عوامل تشدید کننده واکنش مذاب با هوای محیط

۱) زمان ذوب : مقدار اکسیداسیون مذاب با افزایش زمان افزایش می یابد.سرعت این افزایش ممکن است با قطور شدن لایه اکسید در اثر زمان کاهش یابد (مذاب آلومینیوم) یا اینکه ثابت بماند(مذاب منیزیم).



۲) طبیعت فلز و اکسید آن: بعضی از فلزات طبیعتا" نسبت به سایرین تمایل بیشتری به اکسیداسیون دارند.البته طبیعت لایه اکسید ایجاد شده بر سطح فلز مذاب در اولین لحظات اکسیداسیون نیز تعیین کننده است. برخی اکسیدها از نظر فیزیکی غیر پیوسته هستند، نظیر اکسید فلزات Mg، Na. اکسید برخی دیگر فلزات از نظر فیزیکی متراکم و پیوسته میباشند، مانند Fe، Mn، Ti، Al.

۳) درجه حرارت: در اکثر فلزات و آلیاژ های ریختگی میزان اکسیداسیون با افزایش دما افزایش پیدا می کند.



Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

۲. واکنش با سوخت و محصولات احتراق

سوخت فسیلی دارای ترکیبات هیدروکربوره به فرمول عمومی C_mH_n همراه با رطوبت، کمی گوگرد،خاکستروهمچنین ترکیبات هیدروژن و سولفور هستند.محصولات احتراق گازهایی همچون SO_2، SO_3، H_2O، CO، CO_2هستند. واکنشهای احتمالی محصولات احتراق با مذاب:

$$C_mH_n+\{O_2\}\rightarrow\{CO_2\}+\{H_2O\}+[C]+2[H]$$
$$\{CO_2\}+(M)\rightarrow<CM>+<MO>$$

۳. واکنش مذاب با مواد نسوز و دیرگدازها

۴. واکنش با ابزار

- سرامیک بهترین ماده برای ابزار جهت جلوگیری از واکنش با مذاب است.
- انتخاب نوع سرامیک بستگی به نوع فلز دارد.
- در صورتیکه قیمت مهم باشد از ابزار فولادی استفاده می گردد.

مثال :واکنش مذاب آلومینیوم با ابزار فولادی

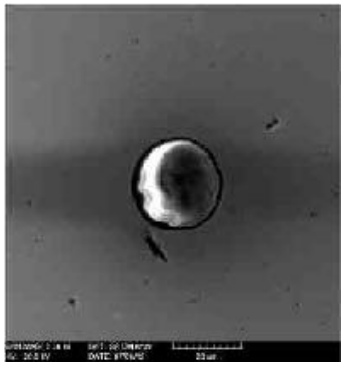
$$<Fe_2O_3>+(Al)\rightarrow 2[Fe]_{(Al)}+<Al_2O_3>$$

<جامد>،(مایع)،{گاز}،[محلول]

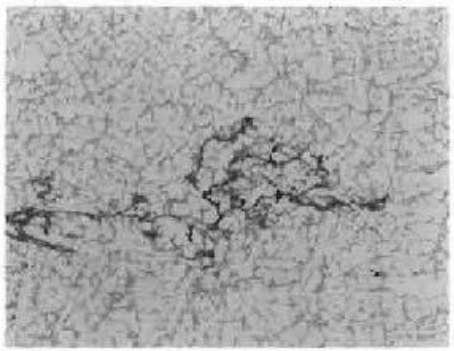
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

نا خالصیهای غیر فلزی (آخالها) Inclusion

در مذاب فلزات یا آلیاژها علاوه بر ناخالصیهای فلزی مقدار قابل توجهی ترکیبات غیر فلزی که عمدتا" ناشی از اکسیداسیون مذاب یا مواد قالب و ماهیچه است، وجود دارد که به آنها آخال میگویند.



آخال کلسیم در آلومینیوم



آخالهای اکسیدی در آلومینیوم

روشهای آخال زدایی

۱. روشهای مبتنی بر پیشگیری

- عدم استفاده از قراضه ها رنگ خورده و آغشته به مواد شیمیایی و چربی ها و شمشهای زنگ زده
- افزایش اندازه قطعات استفاده شده به عنوان شارژ کوره به جای استفاده از براده ها
- استفاده از کوره ها،کمک ذوب ها و ابزارآلات مناسب
- عدم نگهداری طولانی مذاب در دمای بالا (انتخاب فوق گداز مناسب)
- عدم هم زدن مذاب

۲. روشهای مبتنی بر درمان

- استفاده از آخال زداها یا سرباره سازها (فلاکس)و مواد جلوگیری کننده از ورود آخال به محفظه قالب
- پیشگرم کردن مواد شارژ کوره

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

روشهای حذف آخال (آخال زدایی)

۱) استفاده از مواد آخال زدا (فلاکسها) و افزودن به مذاب و انتقال آن به سرباره

فلاکس بایستی شرایطی را برای آخال ایجاد نماید که:

- باعث سبک شدن آخال گردد.
- آخال تشکیل شده از لایه های به هم چسبیده و بزرگ تشکیل گردد.
- مقدار فلز مذاب یا عناصر آلیاژ درآخال حداقل باشد.

- ✓ فلاکس ها معمولا" به شکل پودر تولید می شوند و می توانند در چند دسته بالا به صورت هم زمان قرار بگیرند.
- ✓ هر چه نقطه ذوب فلاکس کمتر باشد از راندمان بالاتری برخوردار است.
- ✓ برخی فلاکسهای هنگام آخال زدایی تولید گازهای مضر مینمایند.

مثال: حذف گوگرد با استفاده از سنگ آهک $CaCO_3$ در آلیاژهای آهنی

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

$$FeS + CaO \rightarrow FeS + CO + CaS$$

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

روشهای حذف آخال (آخال زدایی)

۲) استفاده از وسایل و طراحی سیستم راهگاهی بمنظور جلوگیری از ورود آخال به درون قالب

استفاده از فیلترهای سرامیکی و فلزی در مسیر مذاب

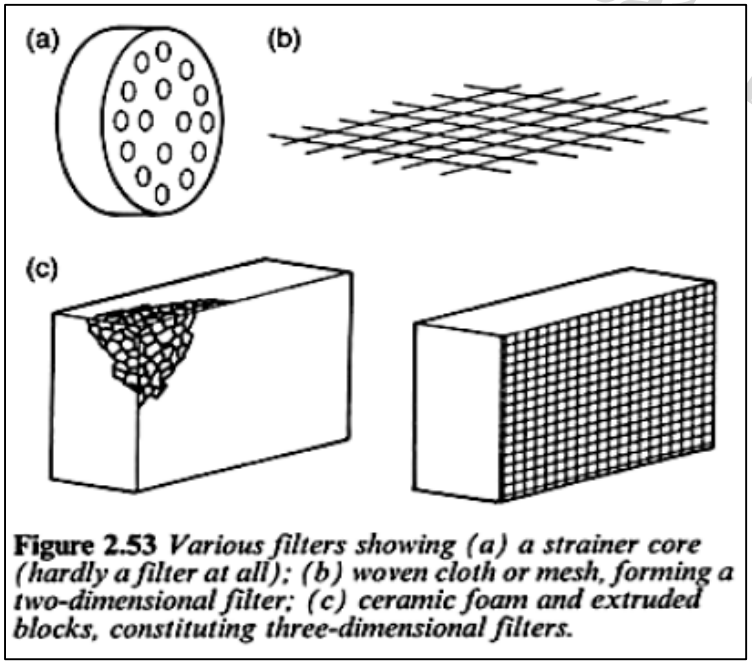
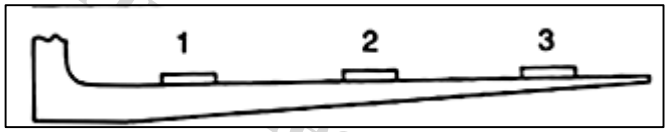
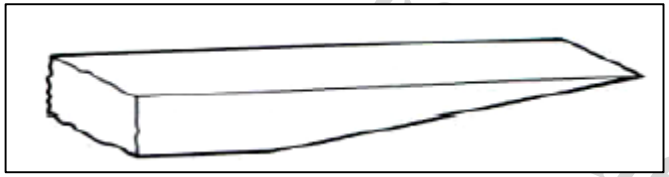


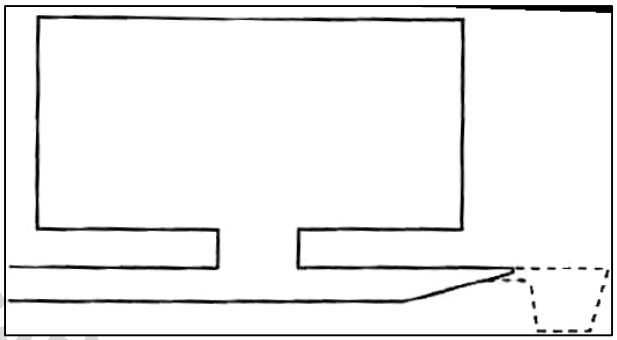
Figure 2.53 *Various filters showing (a) a strainer core (hardly a filter at all); (b) woven cloth or mesh, forming a two-dimensional filter; (c) ceramic foam and extruded blocks, constituting three-dimensional filters.*

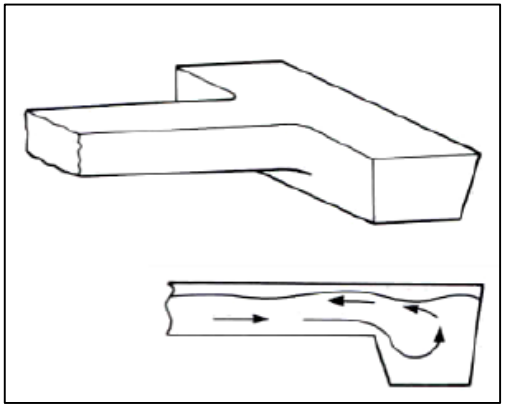
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

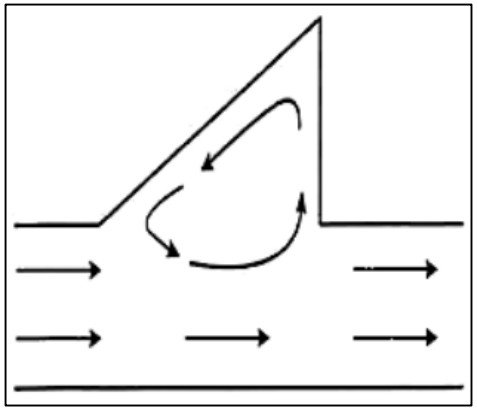
استفاده از تله و محفظه سرباره

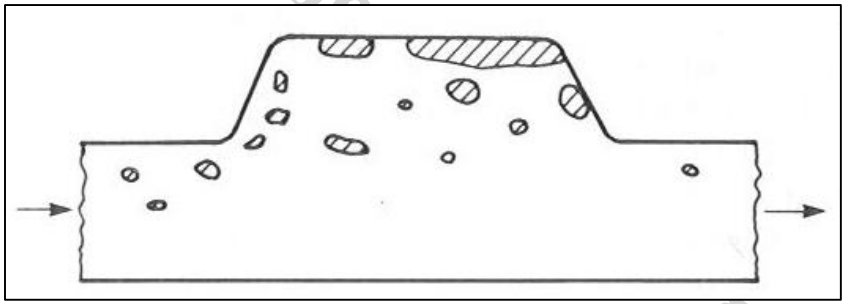


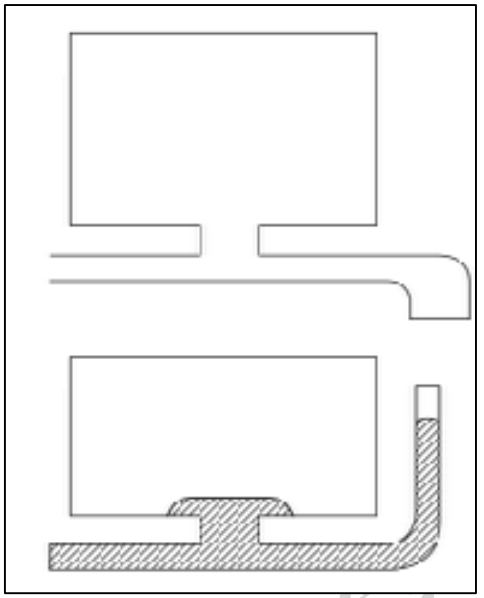


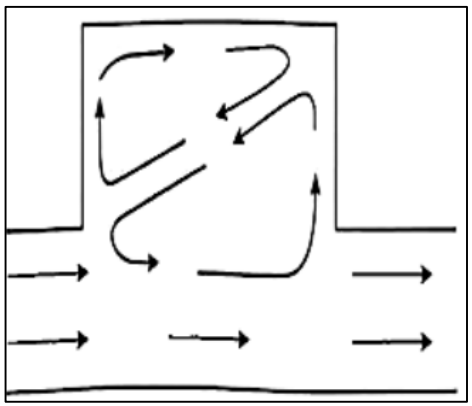


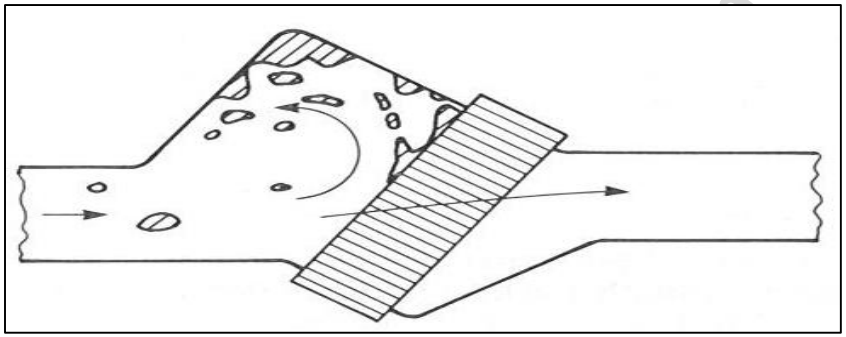












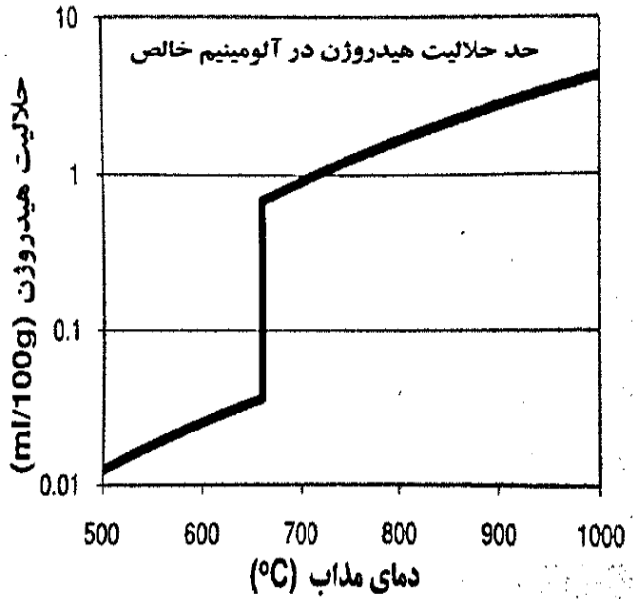
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

گازها در فاز مذاب

انحلال گاز ها در مذاب بصورت بین نشین و نفوذی، باعث ایجاد حفرات گازی و تشکیل فازهای نا مناسب در قطعه نهایی ریختگی منجمد شده، میگردد. این گازها میتوانند بصورت هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، بخارآب، گازهای آلی حاصل از سوخت نظیر منواکسید و دی اکسید کربن حضور داشته باشند.

منابع گازها در مذاب:

- هوای محیط
- رطوبت، روغن و زنگ زدگی در مواد بار کوره و ابزارآلات
- گازهای حاصل از احتراق کوره ذوب
- گازهای حاصل از مواد قالبگیری، ماهیچه و پوششهای قالب

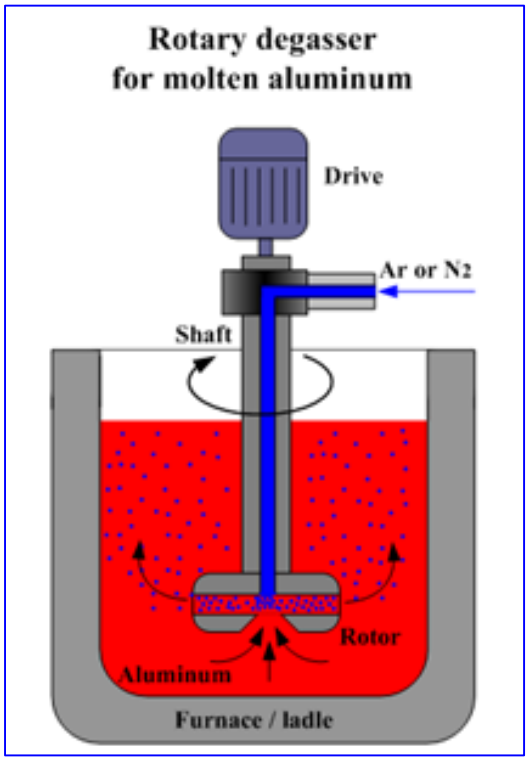


مثال:
هیدروژن می تواند به طور قابل ملاحظه ای در آلومینیوم حل شود و حین انجماد به علت کاهش شدید قابلیت انحلال در فاز جامد،باعث حفرات گازی گردد.
انحلال هیدروژن در مذاب آلومینیوم عموما" توسط واکنش مذاب با رطوبت انجام می گردد.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

روشهای حذف گاز (گاز زدایی) در ریخته گری

۱. هرچه مذاب سردتر باشد، قابلیت انحلال گاز کمتر میشود، لذل توصیه میشود بعد از تهیه مذاب و قراردادن آن در پاتیل زمان داده میشود تا گازها خارج شوند (به شرطی که روی خواص سیالیت مذاب تاثیر منفی نگذارد)
۲. استفاده از خلاء
۳. دمش گازهای بی اثر و نا محلول در مذاب بمنظور خروج گازهای نامطلوب
۴. استفاده از موادی که با گازها ترکیباتی تشکیل دهند و بصورت جامد وارد سرباره گردیده و بصورت سرباره خارج گردند.



مثال: در صنایع فولاد سازی
۱) افزودن کربن به مذاب، باعث جذب هیدروژن و اکسیژن از مذاب میشود.
۲) دمش اکسیژن به مذاب، باعث حذف هیدروژن و نیتروژن از مذاب میگردد.

مثال: در صنایع ریخته گری آلومینیوم
۱) استفاده از قرص هگزاکلرواتان که پس از تجزیه حبابهای بزرگی از آلومینیوم کلرید ایجاد می کند.
۲) دمیدن گاز خنثی همانند نیتروژن یا آرگون توسط لوله نسوز درون مذاب.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

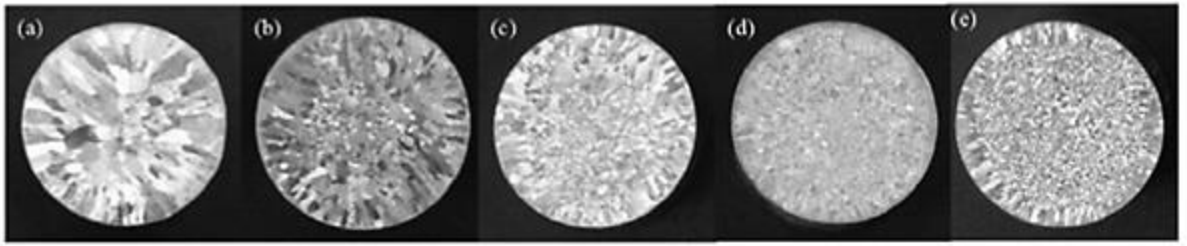
عملیات جوانه زائی Grain Refinement

عملیات جوانه زائی، جهت ایجاد ساختار ریزدانه پس از انجماد استفاده میشود

مزایای ریزدانه بودن قطعات ریخته گری:

۱) افزایش مقاومت قطعه در برابر ترك گرم در خلال انجماد
۲) افزایش مقاومت قطعه در برابر ایجاد ترك حین جوشکاری
۳) افزایش مقاومت قطعه در برابر خوردگی مرزدانه ها
۴) افزایش انعطاف پذیرییو چکش خواری قطعه
۵) افزایش استحکام تسلیم
۶) افزایش مقاومت در برابر خستگی
۷) کاهش اندازه و مقدار تخلخل
۸) افزایش قابلیت کارپذیری گرم شمشها تولیدی

در آلیاژهای آلومینیوم:
از Ti یا Ti-B مثالا"Al-5%Ti-1%B" استفاده میشود.
در آلیاژهای منیزیم:
از C یا Zr استفاده میشود.
در آلیاژهای مس:
از Fe استفاده میشود.

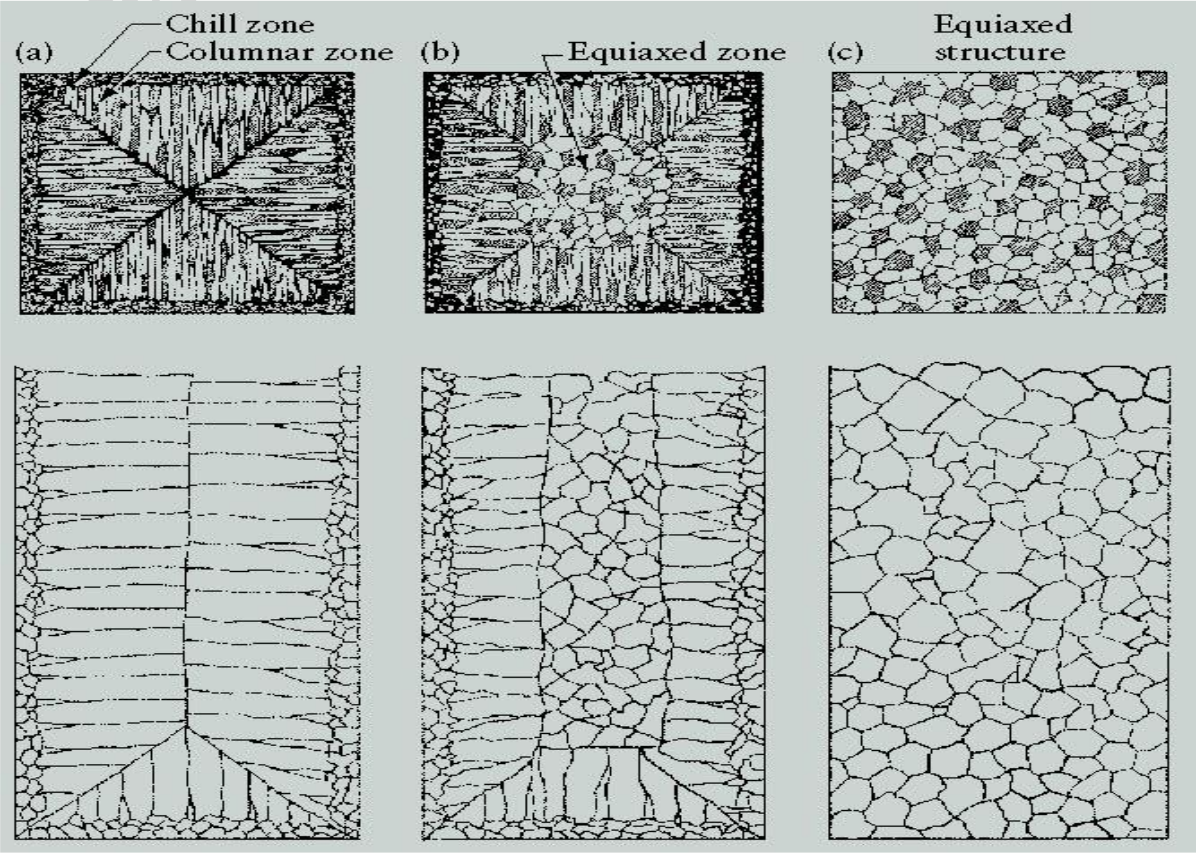


Macrographs of pure Al cast samples. (a): without refiner, (b): refined by the Al-5 mass% Ti alloy (Uncorrect method), and (c), (d) and (e): refined by the Al-5 mass% Ti alloy after 5, 8 and 15 min passes of correct method, respectively.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

نتیجه افزودن جوانه زاها به مذاب:

۱. ایجاد جوانه های غیرهمگن پایدار در مذاب
۲. جلوگیری از رشد دانه ها در اثر ایجاد شیب غلظتی و تحت انجماد ترکیبی در مجاورت دانه های در حال رشد



a) فلز خالص، b) آلیاژ بدون افزودن جوانه زا و c) آلیاژ با افزودن جوانه زا

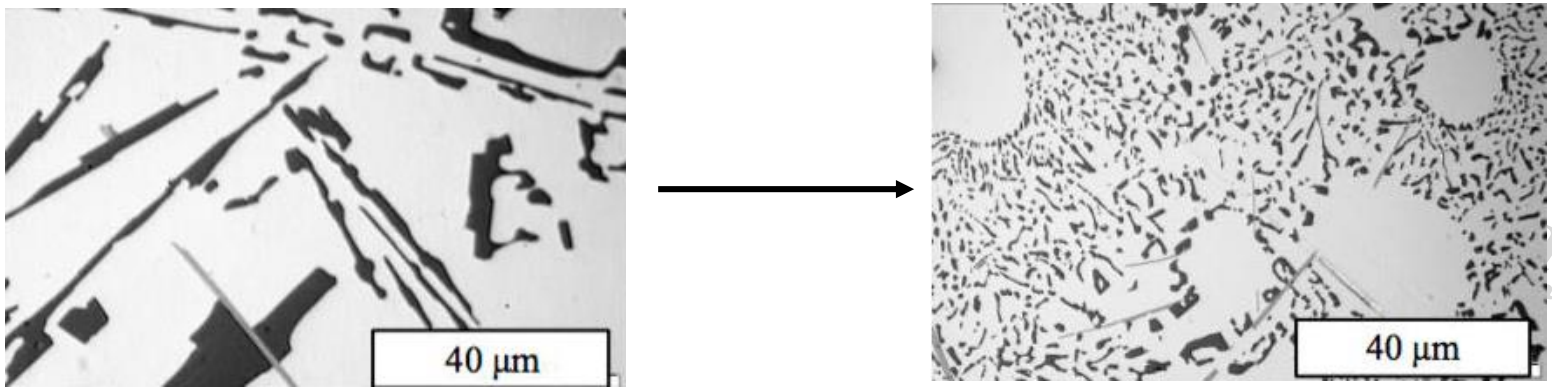
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Modification of cast structures اصلاح ساختار ریختگی

عملیات اصلاح ساختار ریختگی بمنظورتغییر مورفولوژی و ساختار فازهای ثانویه موجود در ریزساختار نهایی قطعات ریختگی تولید شده انجام میپذیرد. با استفاده از عملیات اصلاح ساختار ریختگی، خواص متالورژیکی قطعه نهایی بهبو پیدا میکند.

مثال:

۱) تغییر ساختار فاز سیلیسیم یوتکتیک از سوزنی به گلبولی شکل در آلیاژهای ریختگی آلومینیوم-سیلیسیم بوسیله افزودن ا افزودن عناصری نظیر سدیم ،استرانسیم و کلسیم و تبدیل ساختار سوزنی سیلیسیم به ساختار فیبری شکل

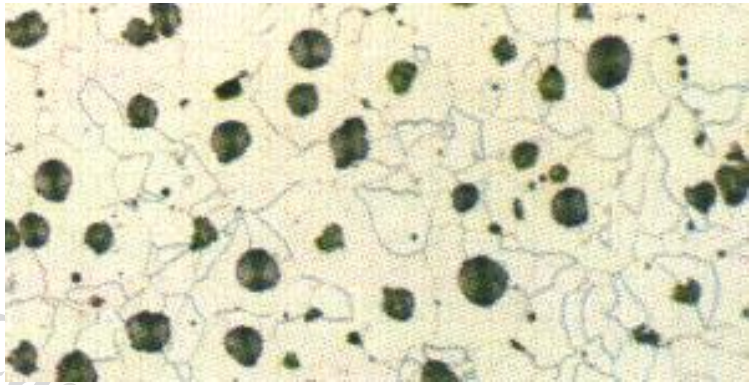


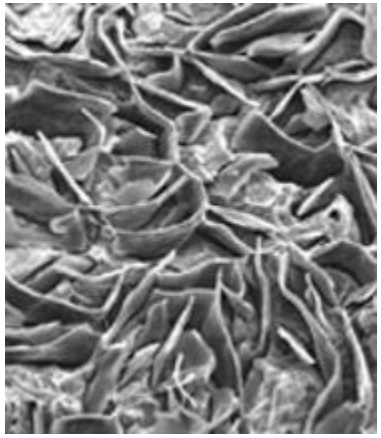
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

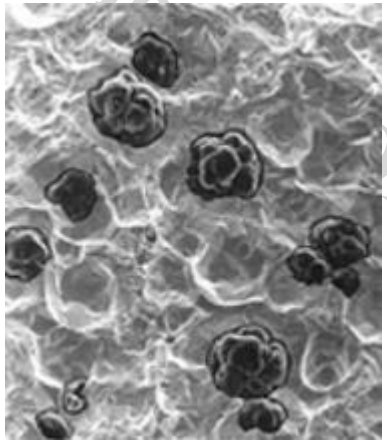
Modification of cast structures اصلاح ساختار ریختگی

مثال:

۲) تغییر شکل گرافیت از حالت لایه ای به کروی در چدنهای خاکستری، بوسیله افزودن منیزیم به مذاب چدن خاکستری و تبدیل آن به چدن نشکن



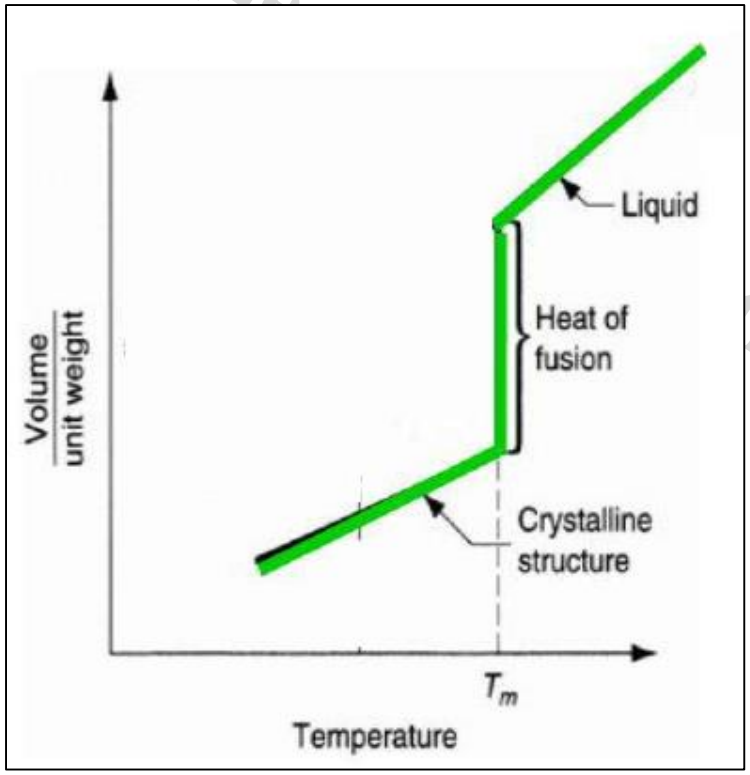




Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

رفتار انقباضی قطعه ریختگی در حین تبدیل فاز جامد به مذاب در طی فرآیند ذوب



گرمای مورد نیاز جهت ذوب مواد تا دمای مورد نظر جهت ریخته گری:

۱. گرمای مورد نیاز تا نقطه ذوب

۲. گرمای مورد نیاز تا تبدیل فاز جامد به مایع

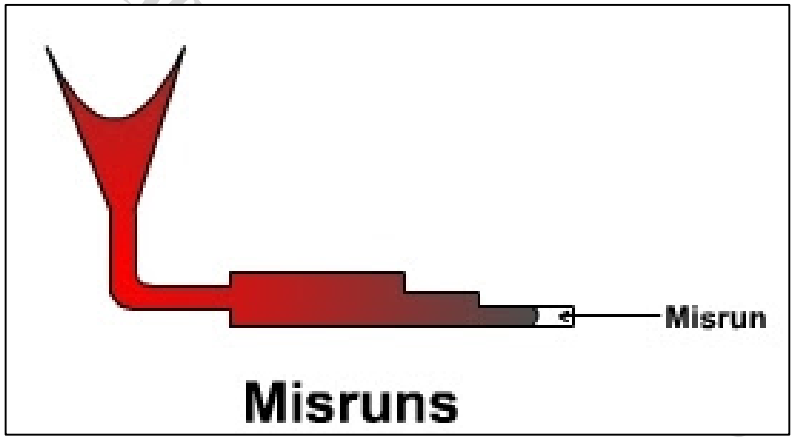
۳. گرمای مورد نیاز تا رسیدن به دمای ریخته گری (دمای ذوب+ فوق گداز)

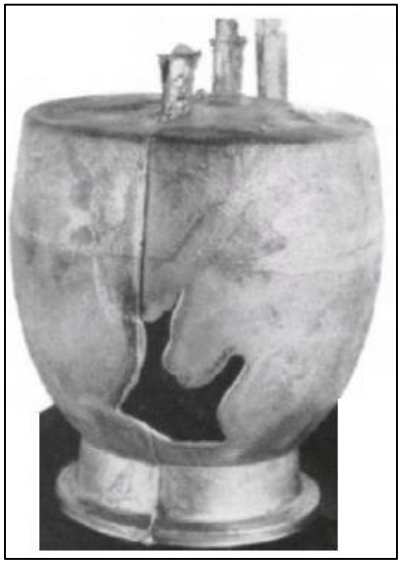
دمای مناسب جهت ریخته گری، دمایی است که مذاب سیالیت کافی جهت پر کردن قالب را داشته باشد.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

تعریف سیالیت در ریخته گری: قابلیت مذاب برای حرکت در داخل محفظه قالب و سیستم راهگاهی و پر کردن همه حفرات، برآمدگیها و فرو رفتگیهای محفظه قالب.

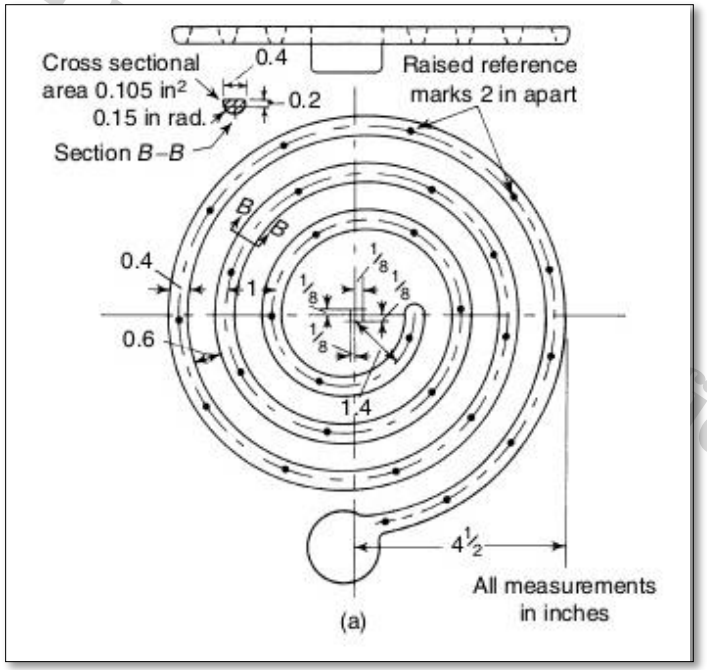
❖ سیالیت غیر کافی می تواند باعث پر نشدن قالب و ایجاد عیب نیامد (misrun)در قطعه ریختگی گردد.

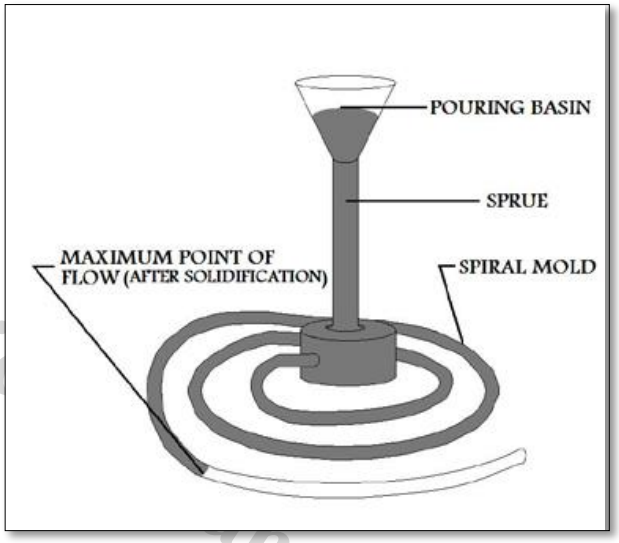




Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

اندازه گیری سیالیت ریخته گری





سیالیت ریخته گری به صورت فاصله ای که مذاب قادر است قبل از انجماد در کانال های استانداردی که به همین منظور طراحی شده اند اندازه گیری میشود. امروزه از کانال های مارپیچ استفاده میشود.

عوامل موثر بر سیالیت مذاب:

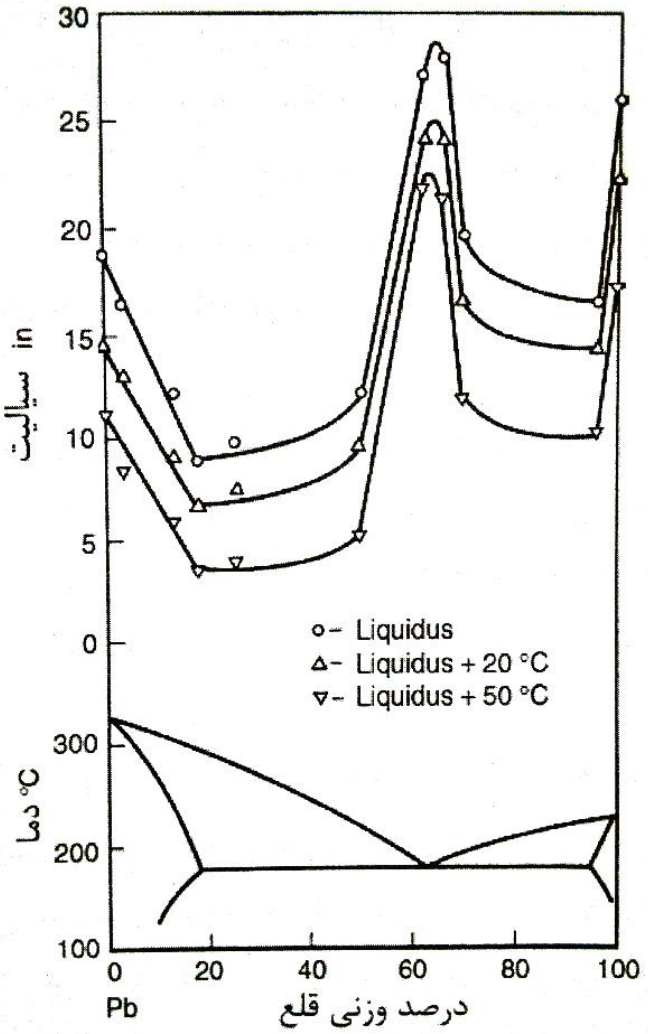
۱. ویسکوزیته (گران روی) مذاب: مقاومت اصطکاکی مذاب هنگام لغزیدن لایه‌ها آن، هنگامی که تحت تنش برشی قرار گیرد.

۲. شرایط حرارتی: دمای مذاب (انتخاب فوق گداز)

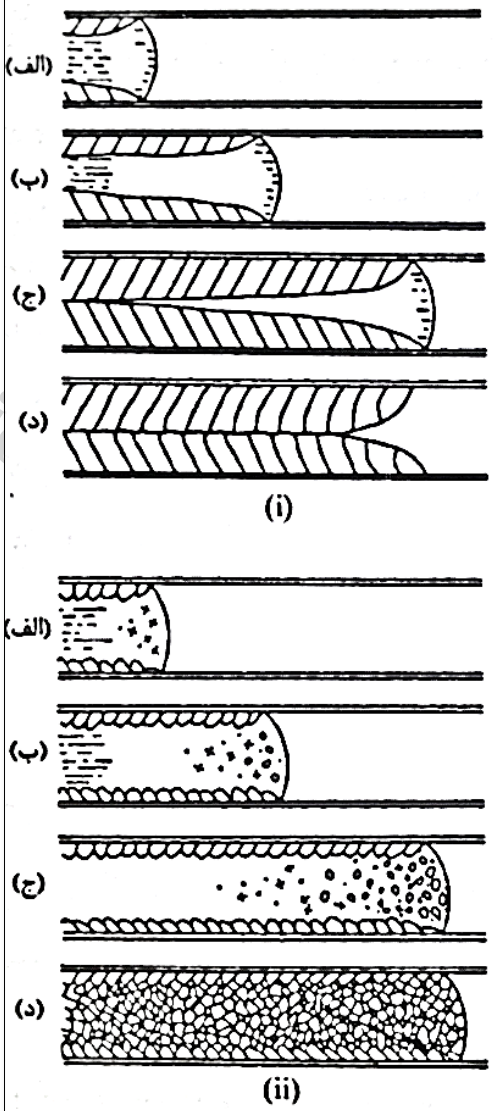
۳. مد انجماد(پوسته ای یا خمیری)

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

مد انجماد (پوسته ای یا خمیری)



ارتباط بین ترکیب شیمیایی و سیالیت در آلیاژهای سرب – قلع



(i) انجماد پوسته‌ای

(الف) مذاب وارد کانال گردیده و دانه‌های ستونی با فصل مشترکی صاف ایجاد می‌گردد.

(ب) دانه‌های ستونی به رشد ادامه می‌دهند.

(ج) مسیر جریان مسدود می‌شود.

(د) بقیه مذاب با رشد سریع دانه‌ها و ایجاد حفره‌های کشیده‌ی انقباضی منجمد می‌گردد.

(ii) انجماد خمیری

(الف) مذاب وارد کانال گردیده، تولید دانه‌های ستونی شروع شده و دانه‌های مستقل در نوک جبهه مذاب جوانه می‌زنند.

(ب) دانه‌های مستقل در حین جریان یافتن مذاب به سرعت رشد می‌کنند.

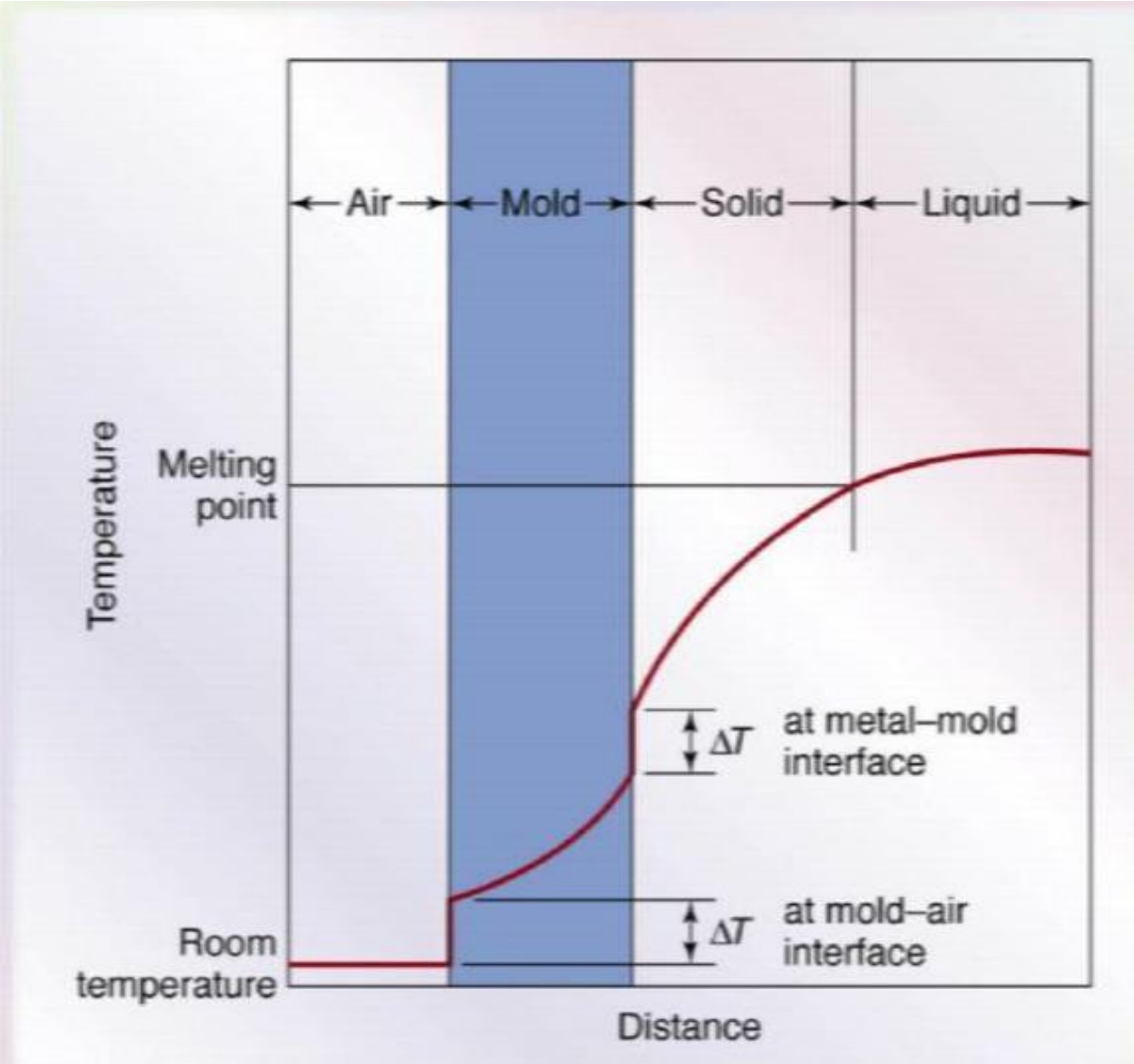
(ج) هنگامی که غلظت دانه‌های مستقل در نوک جبهه مذاب به حد بحرانی می‌رسد، جریان مذاب قطع می‌گردد.

(د) بقیه‌ی مذاب به صورت دانه‌های محوری منجمد شده و حفره‌های انقباضی پراکنده به وجود می‌آیند.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles

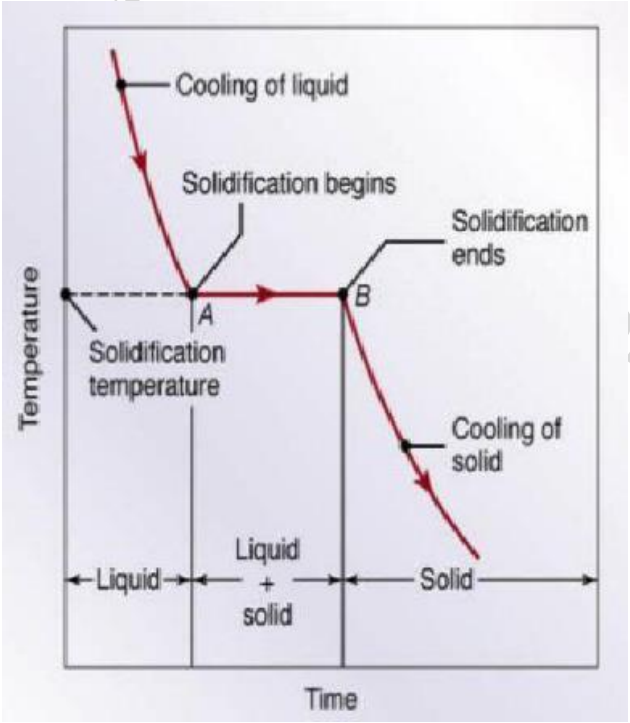
تغییرات دما در طی فرآیند ذوب ریزی در قالب

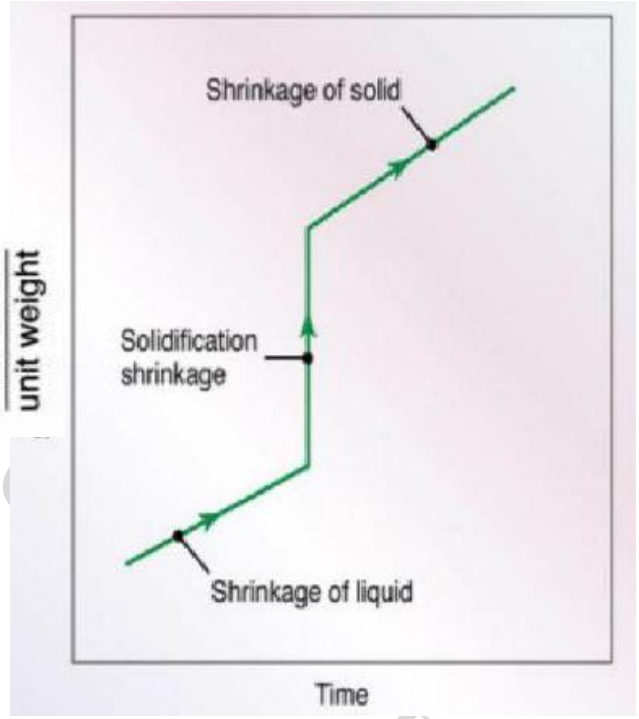


Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

رفتار انقباضی قطعه ریختگی در حین تبدیل فاز مذاب به جامد در طی فرآیند ریخته گری





انقباض در طی مذاب به جامد در فرآیند ریخته گری

۱. انقبض در حالت مایع (کنترل: دقت در فرآیند بارریزی مذاب)
۲. انقباض در حین انجماد (کنترل: استفاده از تغذیه مناسب)
۳. انقباض در حالت جامد (کنترل: دقت در طارحی مدل با ابعاد و اندازه مناسب)

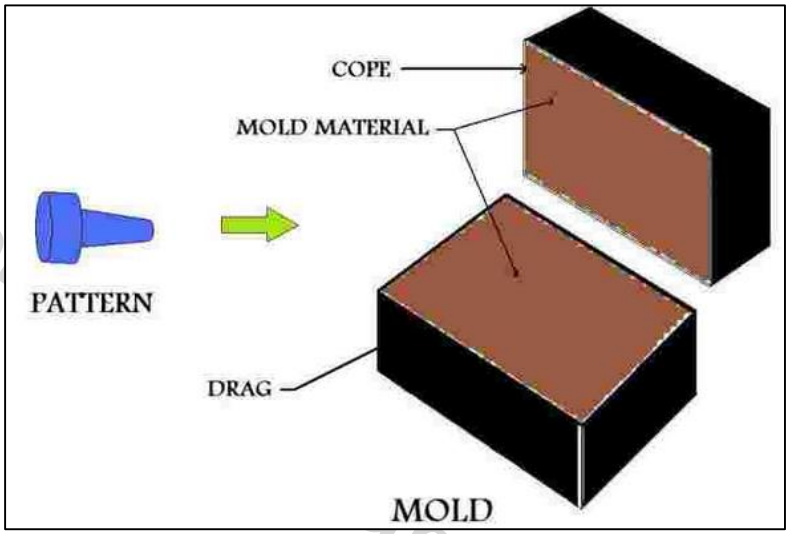
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

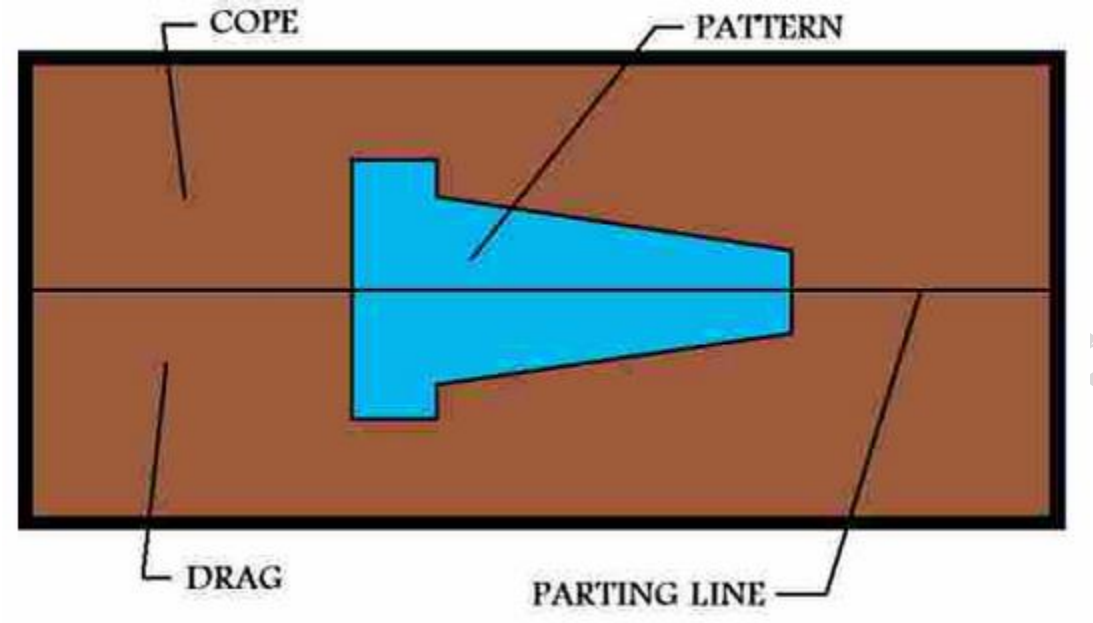
بیشتر مواد در حین انجماد، منقبض میگردند و حجم آنها کاهش میابد (استثاهایی در برخی مواد نظیر بیسموت، سیلیسیم و چدنهای پر کربن وجود دارد).

Contraction (%)		Expansion (%)	
Aluminum	7.1	Bismuth	3.3
Zinc	6.5	Silicon	2.9
Al-4.5% Cu	6.3	Gray iron	2.5
Gold	5.5		
White iron	4-5.5		
Copper	4.9		
Brass (70-30)	4.5		
Magnesium	4.2		
90% Cu-10% Al	4		
Carbon steels	2.5-4		
Al-12% Si	3.8		
Lead	3.2		

Principles of S
Fayyaz

ریخته گری با قالبهای مصرف شدنی (قالبهای ماسه ای – ریخته گری ماسه ای)





Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

مدل یا الگو درریخته گری با قالب ماسه ای

در قالبگیری با مواد مصرف شدنی (قالبگیری ماسه ای)، نیاز به جسمی است که بتوان محفظه یا حفره را در داخل قالب به شکل قطعه ریختگی ایجاد نمود که به آن مدل یا الگو (Pattern) میگویند.

انواع مدلها از نظر جنس

۱. **مدلهای چوبی:** مدلهایی که همه اجزای آن از چوب ساخته شده است. قیمت نسبتا" پایین و مقاومت نسبتا" مناسبی دارند. کار با آنها راحت، شکل پذیری مناسب و وزن کمی دارند. تقریبا" ۷۰-۶۰% مدلها در صنعت ریخته گری از جنس چوب ساخته میشوند. از مهمترین مشکلات آنها مستعد بودن به انقباض، باد کردن و تاب برداشتن این مدلها میباشد.

۲. **مدلهای مصنوعی (مدل پلاستیکی):** این نوع مدلها درمقایسه با مدلهای چوبی پایداری بالاتر در مقابل مواد شیمیایی دارند. سطوح صاف تر، حفظ بهتر ابعاد وشکل، مقاومت بالاتر در برابر نیروهای مکانیکی و شکل پذیری مناسب تری دارند.

۳. **مدلهای اسفنجی:** از اسفنجهای خیلی سبک (پلی استایرن) ساخته میشوند و جهت ریخته گری قطعات با تعداد کم کاربرد دارد.

۴. **مدلهای فلزی:** مدلهایی که معمولا" از جنس آلومینیوم یا مس ساخته میشوند. مقاومت مناسبی در برابر عوامل مکانیکی دارند. دارای دوام بالا و دقت ابعادی مناسب میباشند. صافی سطح مناسبی دارند.

۵. **مدلهای ترکیبی:** مدلهایی که از دو یا چند جنس ساخته میشوند (چوب، پلاستیک، فلز و...).

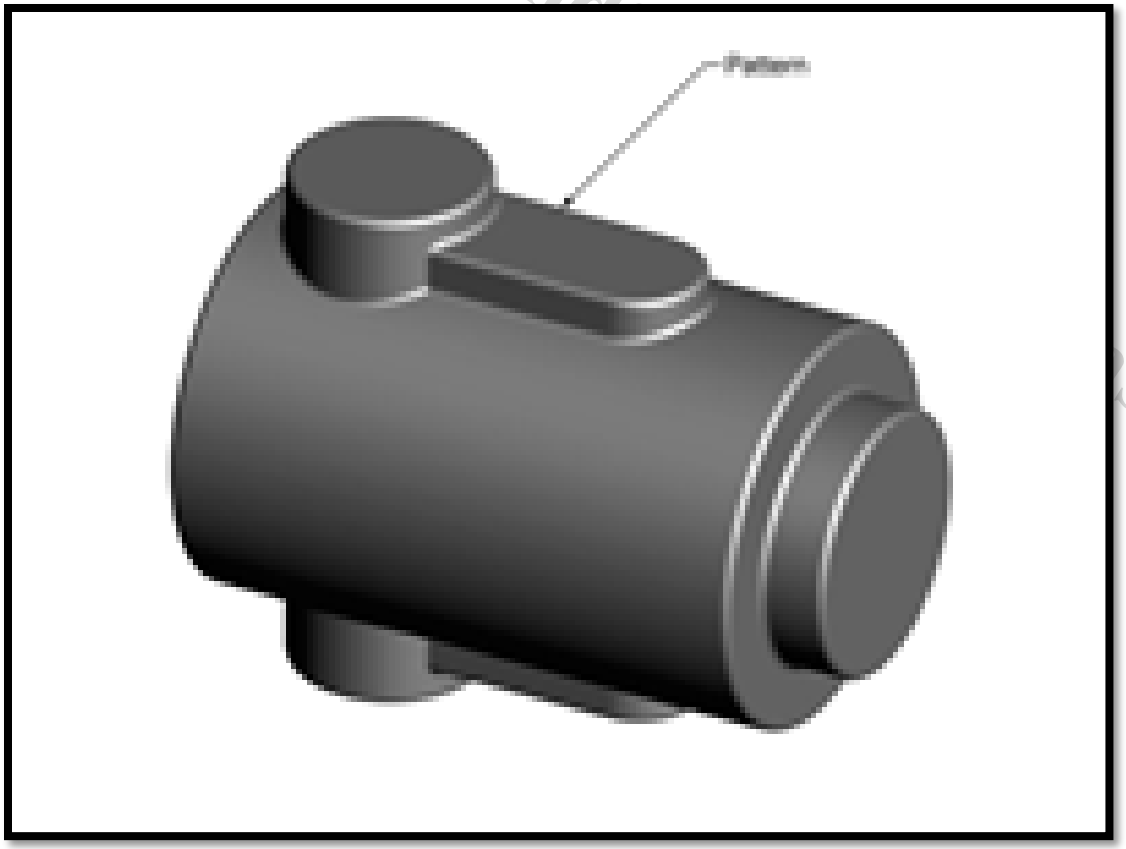
۶. **مدلهای گچی:** از گچ تهیه میشوند. دارای استحکام مناسب هنگام خروج از قالب نیستند و تمایل به جذب رطوبت دارند.

۷. **مدلهای یکبار مصرف:** مدلهایی که از ماده ای با نقطه ذوب پایین (مثال: موم) یا موادی که به سادگی تبخیر میشوند (مثال: مواد پلی استایرن) و بصورت یک تکه ساخته میشوند. مدلها یکبار مصرف بوده و برای هر باریخته گری یک مدل باید تهیه شود.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

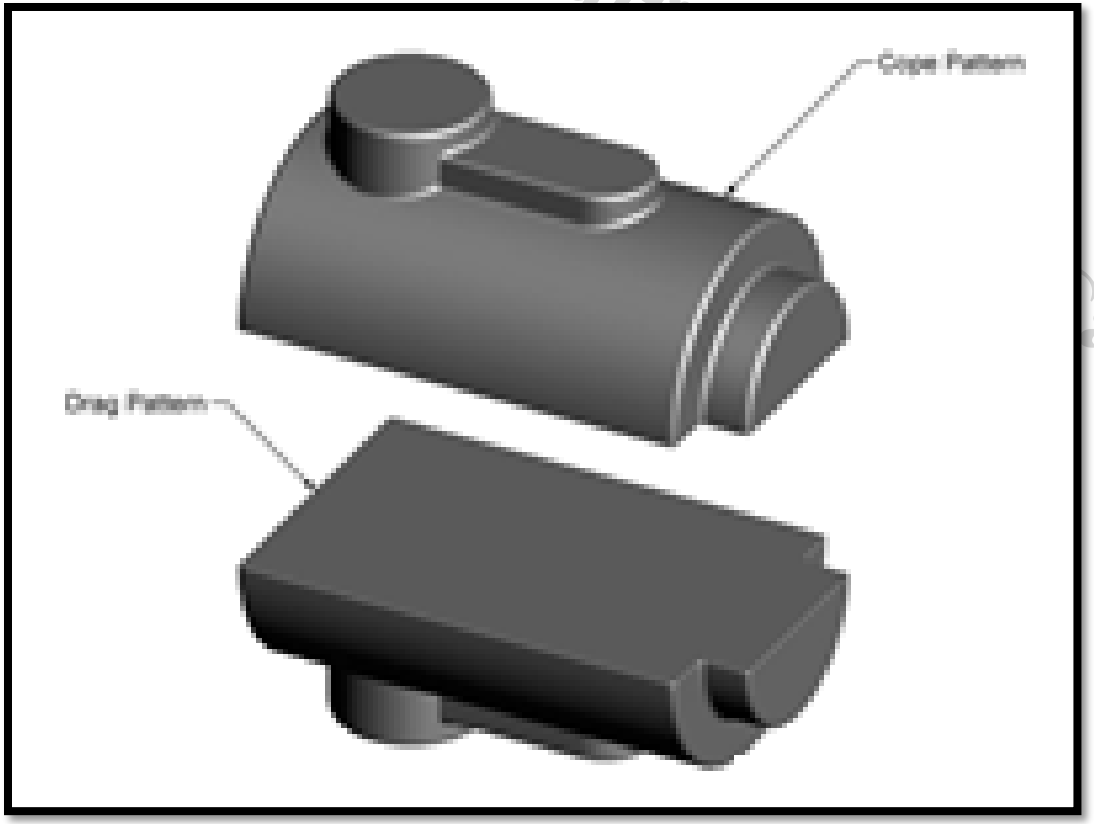
انواع مدل از نظر نوع کاربرد در ریخته گری ماسه ای
Sand Casting Pattern



مدل یکپارچه (مدل آزاد یک تیکه)
Solid Pattern

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz
Dr. A. Fayyaz

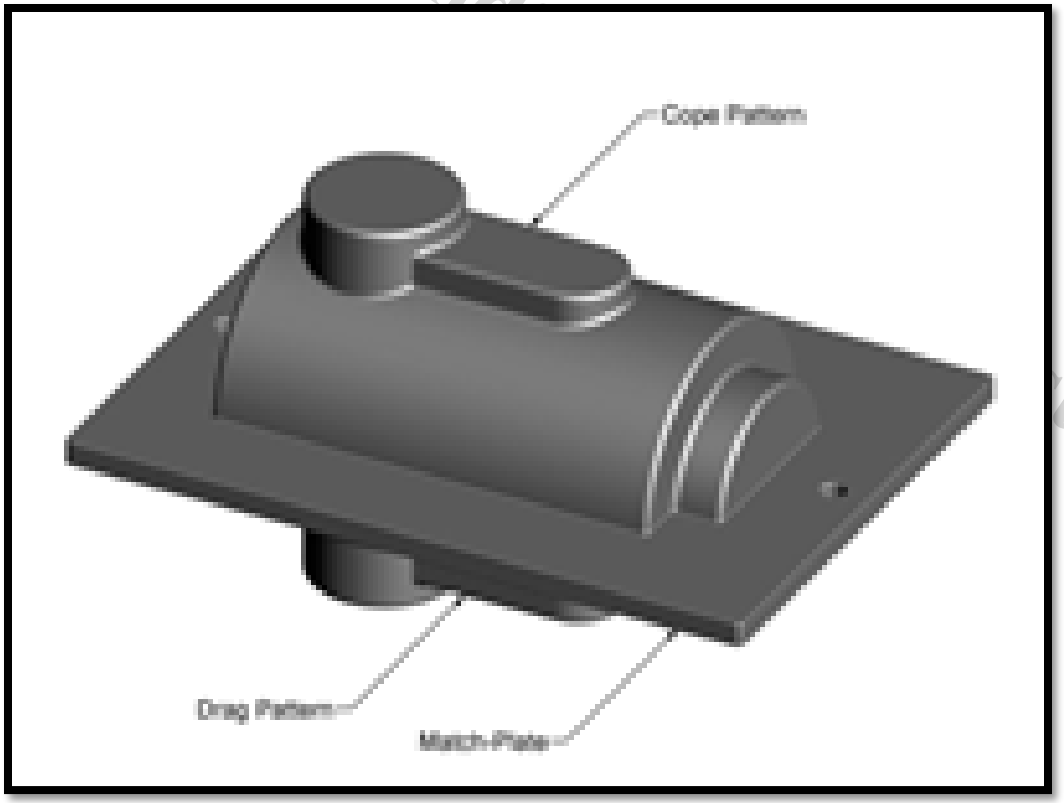
انواع مدل از نظر نوع کاربرد در ریخته گری ماسه ای
Sand Casting Pattern



مدل چند تکه (مدل دو یا چند تکه)
Split Pattern

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz
Dr. A. Fayyaz

انواع مدل از نظر نوع کاربرد در ریخته گری ماسه ای
Sand Casting Pattern

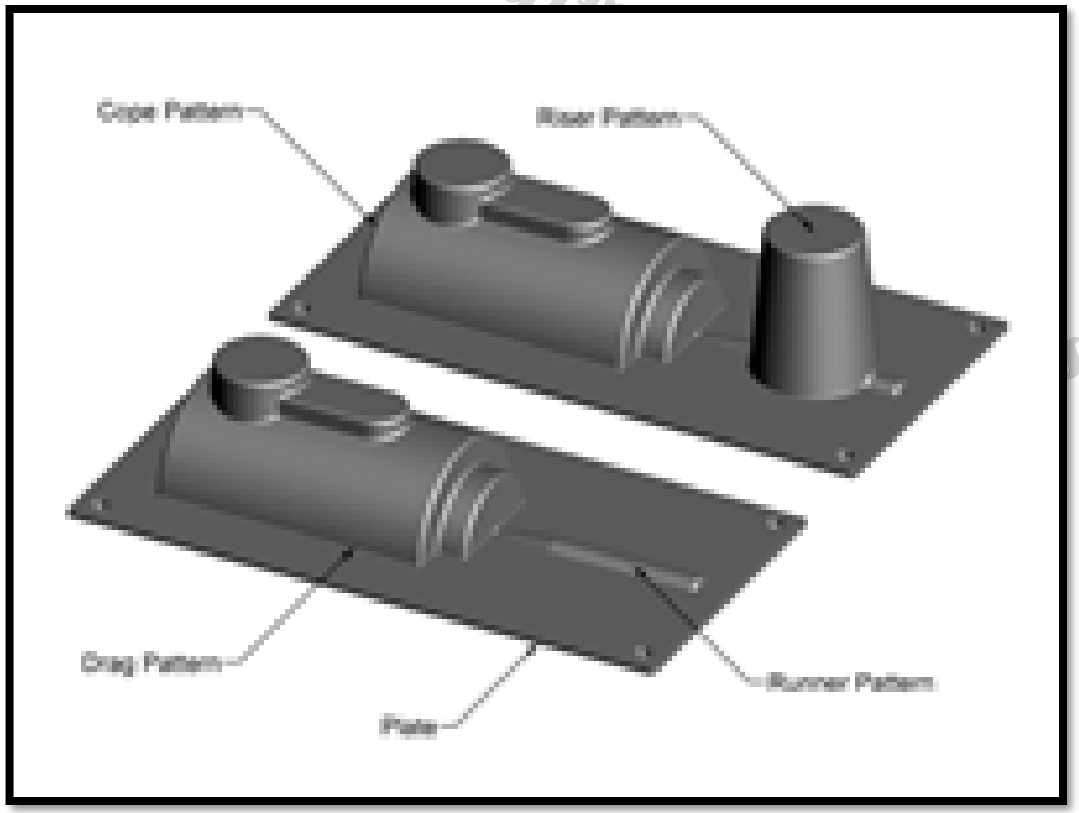


مدل با صفحه مشترک
(مدل صفحه ای دو رو)
Match-Plate Pattern

Principles of Solidification and Casting
Dr. A. Fayyaz

انواع مدل از نظر نوع کاربرد در ریخته گری ماسه ای

Sand Casting Pattern

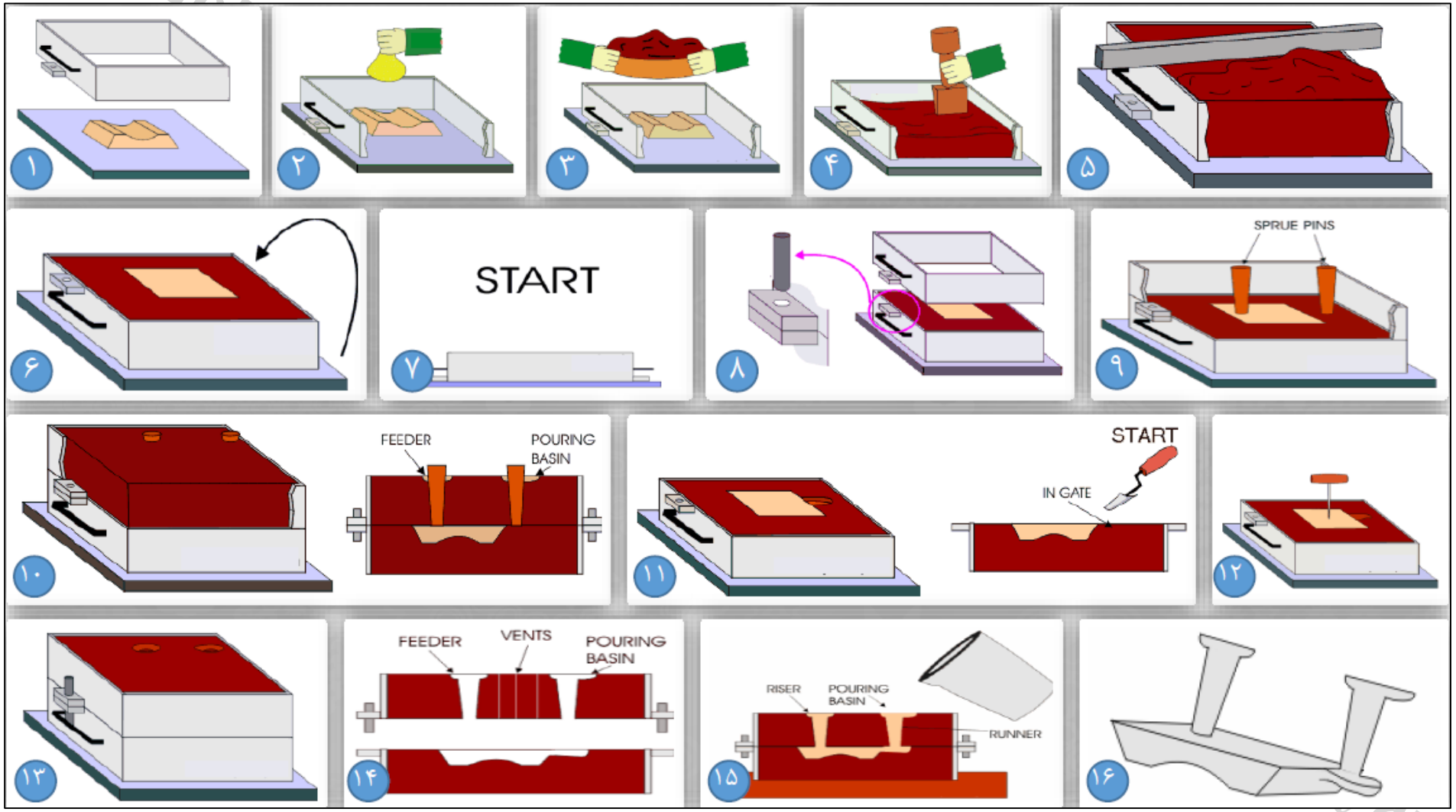


مدل با درجه بالا و پایین
(مدل دو نیمه)

Cope & Drag Pattern

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz
Dr. A. Fayyaz

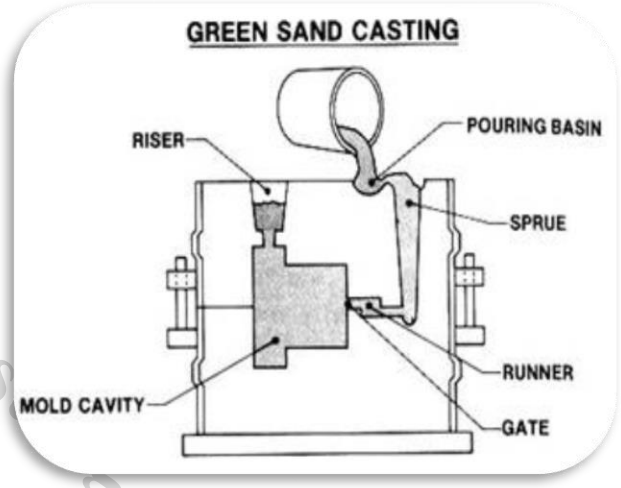
ریخته گری با قالبهای مصرف شدنی (قالبهای ماسه ای – ریخته گری ماسه ای)



Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

ریخته گری ماسه ای
Sand Casting

ریخته گری ماسه ای دستی
Sand Mold Casting



ریخته گری ماسه ای اتوماتیک (ماشینی)
Automatic Sand Mold Casting

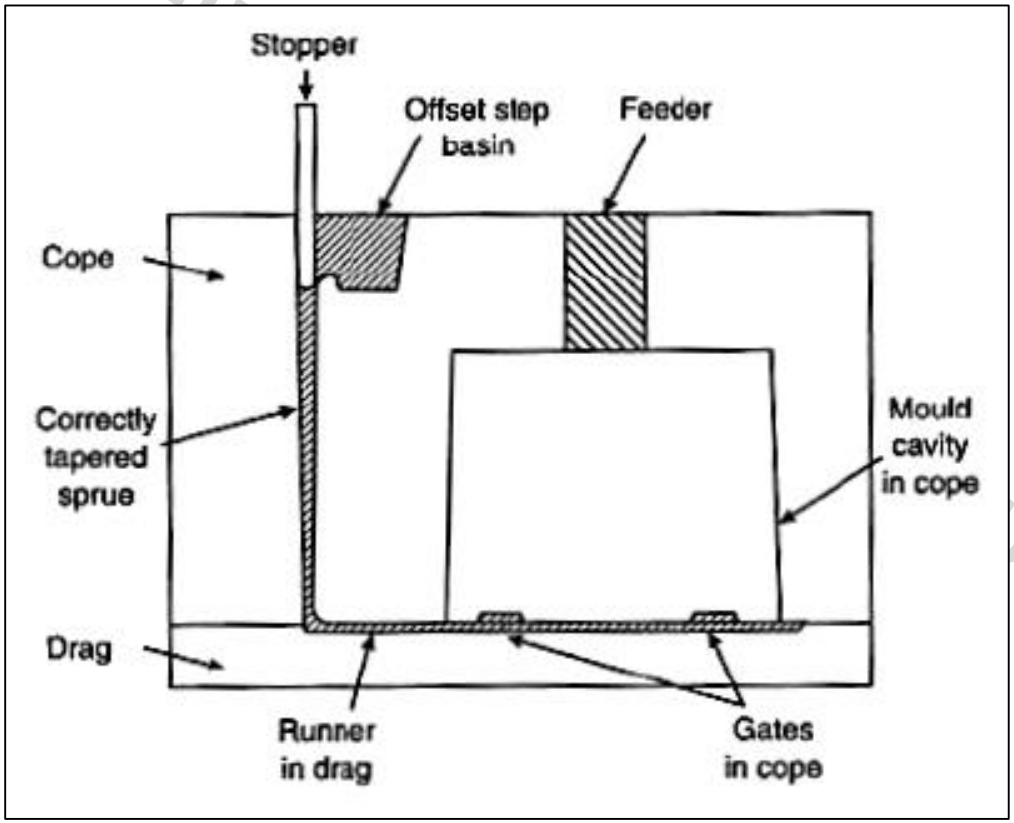
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

ریخته گری ماسه ای اتوماتیک
(ماشینی)
Automatic Sand Mold Casting

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

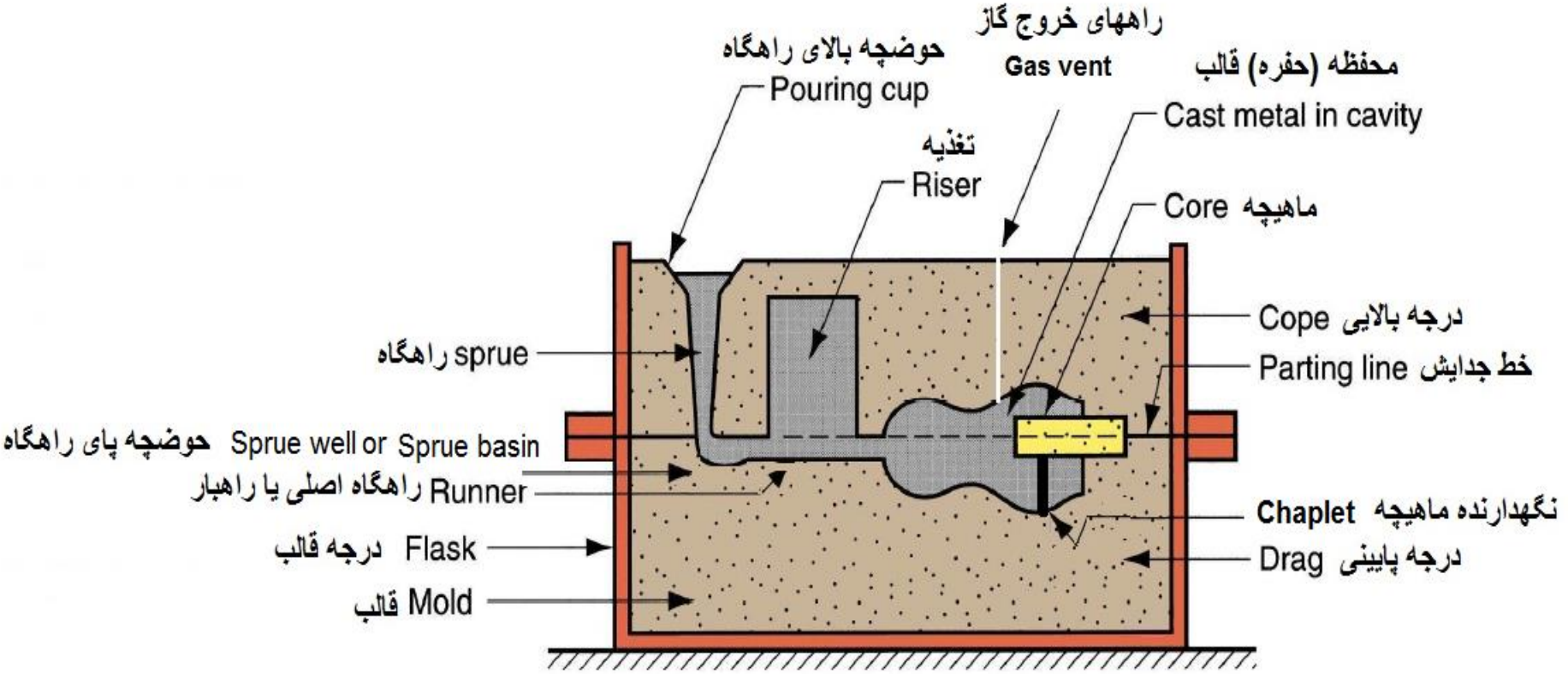
قالب، اجزاء آن، سیستم راهگاهی

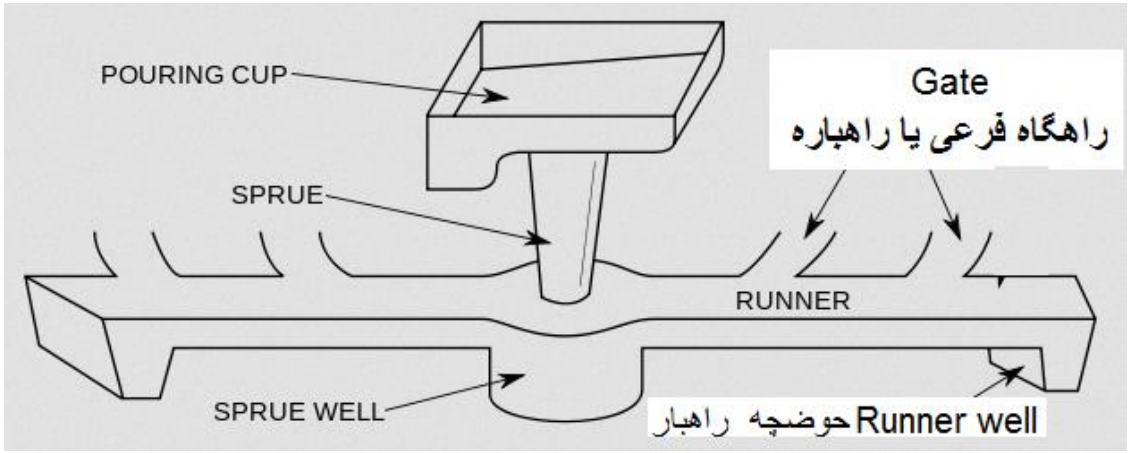
با استفاده از قالب ریخته گری (محفظه ای فلزی یا ماسه ای که در داخل آن حفره ای به شکل قطعه ریختگی مورد نظر ایجاد شده است) و هدایت مذاب بوسیله سیستم راهگاهی (مجموعه ای از کانال ها که مذاب را از بوته به حفره درون قالب هدایت می کند) و با کمک دیگر اجزاء قرار داده شده در قالب (نظیر ماهیچه و....)، فرآیند ریخته گری انجام وقطعه ریختگی تهیه میگردد .



Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

قالب، اجزاء آن، سیستم راهگاهی





Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

سیستم راهگاهی

سیستم راهگاهی مجموعه ای از کانال ها که مذاب را به محفظه قالب هدایت می کند

ویژگی های سیستم راهگاهی مناسب

۱. هدایت جریان مذاب به صورت آرام و یکنواخت و بدون تلاطم
۲. پرکردن به ترتیب و کامل اجزای سیستم
۳. جلوگیری از تشکیل اکسید، آخال، سرباره، گاز و حباب و ورود آنها به محفظه قالب
۴. تنظیم شیب دمایی مناسب به منظور ایجاد انجماد جهت دار
۵. در قطعه ریخته گری
۶. تولید قطعه سالم
۷. اقتصادی بودن وزن سیستم راهگاهی
۸. سهولت جدا کردن سیستم راهگاهی از قطعه
۹. کاهش عملیات تراشکاری قطعه ریخته گری

ویژگیهای سیستم راهگاهی نا مناسب

۱. واردشدن ماسه، سرباره و آخال به همراه مذاب به درون محفظه قالب
۲. زبر و خشن شدن سطح قطعه ریختگی
۳. انحلال گازها در مذاب و ایجاد مک و حفره در قطعه ریخته گری
۴. اکسید شدن بیش از حد مذاب
۵. ایجاد حفره در اثر انقباضی در قطعه ریخته گری
۶. پر نشدن کامل قالب
۷. نفوذ مذاب درون ماهیچه ها
۸. وارد شدن ذرات جامد شده به محفظه قالب

Principles of Solidification and Casting Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

مواد قالبگیری در قالبهای ماسه ای

۱. ماسه
۲. چسبها
۳. فعال کننده
۴. مواد افزودنی

خصوصیات اصلی ماسه ریخته گری

۱. دیر گدازی
۲. پایداری ابعادی و ساختاری در دمای بالا
۳. شکل و اندازه دامنه مناسب
۴. عدم واکنش شیمیایی با مذاب
۵. حداقل قابلیت ترشوندگی با مذاب
۶. تطابق با چسب مورد استفاده
۷. اقتصادی بودن
۸. عدم تولید گاز در برخورد با مذاب
۹. قابلیت نفوذ گاز
۱۰. استحکام مناسب (تر،خشک و گرم)
۱۱. قابلیت شکل پذیری
۱۲. قابلیت متلاشی شدن
۱۳. قابلیت استفاده مجدد

* در قالبگیری با استفاده از ماسه،برای هر تن ریخته گری حدود ۴-۵ تن ماسه نیاز است.

Principles of Solidification and Casting
Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع ماسه ریخته گری

- ماسه چسبدار طبیعی که دارای ۲۰ درصد خاك رس است

مزایا:

۱) فراوانی و ارزانی

۲) به طور طبیعی دارای خواص چسبی بوده و و با آب خواص خود را به دست می آورد.

معایب:

۱) دیر گدازی کم

۲) قابلیت کم نفوذ گاز

- ماسه طبیعی بدون چسب که درصد کمتری چسب دارد و به صورت ماسه رود خانه ای در دسترس است.

مزایا

۱) درجه خلوص بالا

۲)کروی بودن شکل ماسه

- ماسه مصنوعی که بوسیله خرد کردن،دانه بندی و شستشوی سنگ های سیلیسی تهیه میشود

مزایا

۱) کنترل بهتر ترکیب و خواص فیزیکی و مکانیکی مخلوط ماسه

۲) دیر گدازی بالا

۳) در دسترس بودن

۴) قابلیت بازیابی و مصرف مجدد

معایب

۱) قیمت بالا

۲)گوشه دار بودن دانه های ماسه

۳) دشواری آماده سازی جهت قالب گیری

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع ماسه ریخته گری از نظر ترکیب شیمیایی

ماسه سیلیسی SiO_2

دمای کاربرد در ریخته گری: ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد

ساختار :

در دمای محیط – کوارتز آلفا – چگالی: ۲/۶۵ g/cm^3

دربیشتر از ۵۷۳ درجه سانتیگراد – کوارتز بتا – چگالی: ۲/۶۵ g/cm^3

در دمای بیشتر از ۸۷۰ درجه سانتیگراد – تریدیمیت – چگالی: ۲/۲۶ g/cm^3

در دمای بیشتر از ۱۴۷۰ درجه سانتیگراد – کریستوبالیت – چگالی: ۲/۳۲ g/cm^3

کروی و گوشه دار

مزایا:

۱. می توان با استفاده از افزودنی های مناسب ویژگی های آنها را بهبود داد.
۲. پرکاربرد ترین و در دسترس ترین ماسه در صنعت ریخته گری است .

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع ماسه ریخته گری از نظر ترکیب شیمیایی

ماسه زیرکنیایی ($ZrSiO_4$,SiO_2 ,ZrO_2)
دمای کاربرد در ریخته گری: ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد
چگالی: ۴/۷۵ g/cm^3
کروی شکل
جزء اصلی سنگهای آذرین است و همراه با رسوبات سنگین ماسه ها نیز وجود دارد.

مزایا:

۱. عدم ترشوندگی توسط مذاب
۲. عدم واکنش با بیشتر فلزات و آلیاژها
۳. انتقال حرارت بالا (سرعت سرد کردن تا چهار برابر ماسه سیلیسی است)
۴. دیرگدازی بالا و دارای نقطه ذوب بیش از ۲۴۰۰ درجه سانتیگراد و دمای زیتر شدن حدود ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد. مناسب جهت فولادریزی
۵. هدایت حرارتی بالا و توانایی خنک کردن بسیار بالا
۶. نیلز به چسب کمتر
۷. پایین بودن ضریب انبساط حرارتی

محدودیتها:

۱. مهمترین محدودیت قیمت بالا این نوع ماسه است

کاربردها:

۱. مناسب جهت فولادریزی
۲. استفاده به عنوان ماسه رویی

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع ماسه ریخته گری از نظر ترکیب شیمیایی

ماسه کرومیتی $FeO.Cr_2O_3$ ($FeCr_2O_4$)
دمای کاربرد در ریخته گری: ۱۸۵۰ درجه سانتیگراد
چگالی: ۴/۵ g/cm^3
بی شکل و گوشه دار و سیاه رنگ است.

مزایا:

۱. عدم واکنش با مذاب
۲. دیرگذاری بالا
۳. پایداری ابعادی و حجمی خوب در دمای بالا
۴. انبساط حرارتی کم (از ماسه زیرکنیایی بیشتر و از ماسه سیلیسی کمتر)
۵. انتقال حرارت بالا و سریع سرد شدن
۶. تولید قطعات با صافی سطح بالا

محدودیتها:

۱. داشتن ناخالصیها (SiO_2 , CaO)و قابلیت جذب آب بالا، که باعث ایجاد عیوب گازی در قطعات ریختگی میشوند.

کاربرد

۱. ریخته گری قطعات بزرگ فولادی
۲. ریخته گری چدنها
۳. تهیه ماهیچه هایی که در معرض تجمع حرارتی و دمای بالا قرار می گیرند.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع ماسه ریخته گری از نظر ترکیب شیمیایی

ماسه الیوین: فورستریت $2MgO.SiO_2$ و فایالایت $2FeO.SiO_2$
دمای کاربرد در ریخته گری: ۱۸۵۰-۱۸۰۰ درجه سانتیگراد
چگالی: ۳/۳ g/cm^3
گوشه دار و بی شکل

مزایا:
۱. دیرگدازی بالا
۲. افزایش صافی سطح قطعات ریختگی فولادی منگنزدار
۳. کیفیت متوسط مابین ماسه زیرکونیایی و سیلیسی

محدودیتها:
۱. پایداری کمتر از ماسه سیلیسی
۲. انبساط حرارتی کمتر از ماسه کرومیتی و زیرکنیایی

کاربرد
۱. ریخته گری قطعات فولادی و فولادهای منگنز دار

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع ماسه ریخته گری از نظر ترکیب شیمیایی

ماسه شاموتی یا سیلیکات آلومینیوم $Al_2O_3.SiO_2$
دمای کاربرد در ریخته گری: ۱۷۵۰-۱۷۰۰ درجه سانتیگراد
چگالی: ۳/۳ g/cm^3
گوشه دار و بی شکل

مزایا:
۱. دیرگدازی بالا
۲. دانه بندی شده پس از عملیات زینتر
۳. تغییرات حجمی کمتر از ماسه سیلیسی
۴. چسبیدن کمتر به سطح

کاربردها:
۱. رنگ نارنجی دارد و جهت ساخت آجرهای شاموتی در بدنه کوره ها نیز از آن استفاده میشود.
۲. ریخته گری دقیق
۳. ریخته گری فولادهای آلیاژی و کم کربن

ماسه شاموتی از کلسینه کردن (حرارت در دمای بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد و در حضور اکسیژن) خاک رس و حرارت دهی تا دمای زینتر کردن تهیه میگردد.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

تقسیم بندی ماسه با توجه به نوع مصرف و کاربرد در ریخته گری

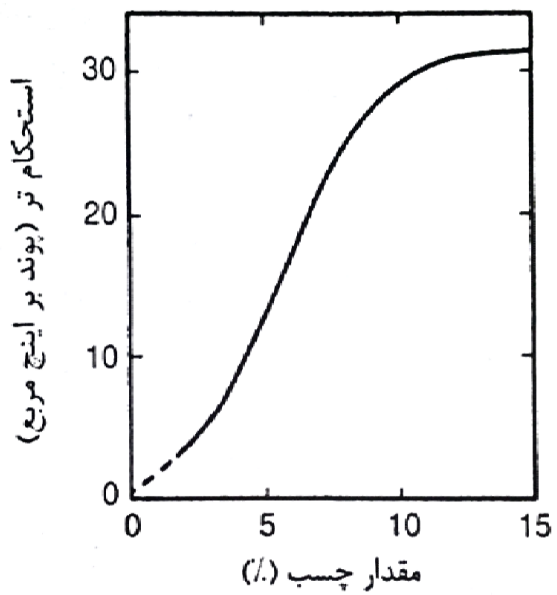
۱. ماسه سیستم (System sand): هر ماسه ای که در یک سیستم مجموعه آماده سازی و نگهداری می گردد.
۲. ماسه توده یا انبوه (Heap Sand): ماسه ای که پس از تهیه و آماده سازی بر روی زمین بصورت توده انباشته و نگهداری میشود.
۳. ماسه رویی (Facing Sand): ماسه ای خاص با ویژگیهای خاص که برای استفاده کنار مدل و ایجاد محفظه داخلی قالب استفاده میشود. این ماسه با ضخامتی معین، در اطراف مدل ریخته میشود و بقیه درجه با ماسه دیگری پر میگردد. این ماسه معمولا" الک بصورت ریزتر و نرم تر تهیه میگردد تا قطعه تولیدی دارای بهترین کیفیت سطحی ممکن باشد.
۴. ماسه پشتی (Backing Sand): ماسه پرکننده که برای پرکردن کامل درجه استفاده می گردد و پس از ماسه رویی روی مدل ریخته میشود.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

چسبها در قالبگیری ماسه ای

وظیفه چسب ایجاد اتصال بین دانه های ماده دیرگداز (ماسه)، در حالت تر و پس از انجام فرآیند استحکام دهی، (در حالت خشک) است.

* چسبها دارای دیرگدازی بالایی نیستند، استحکام لازم در مخلوط ماسه را باید بتوان با افزودن حداقل مقدار چسب به دست آورد.



ویژگیهای چسب خوب

۱. باید ماسه را به طور یکنواخت در بر بگیرد.
۲. در دو حالت تر و خشک استحکام کافی مخلوط را فراهم سازد.
۳. شکل پذیری مناسبی برای پرکردن قالب داشته باشد.
۴. چسبندگی کمی به سطوح مدل و جعبه ماهیچه داشته باشد.
۵. بتواند سریعا خشک شود و رطوبت جذب نکند.
۶. حداقل گاز را تولید کند(در هنگام برخورد با مذاب)
۷. به دیرگدازی ماسه لطمه نزند و باعث سوختن زود هنگام آن نشود.
۸. امکان خارج سازی آسان ماهیچه را فراهم کند.
۹. گاز های سمی تولید نکند.
۱۰. ارزان و قابل دسترسی باشد.

شکل چسب: به صورت مایع یا پودر(با دانه هایی به مراتب ریزتر از ماسه)

* استحکام پیوند با افزایش درصد چسب تا حدی افزایش می یابد و پس از آن ثابت می ماند.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع چسب

۱. **خاك رس:** از مهمترین انواع چسب در ریخته گری میباشد.
(حدود ۲۰-۱۰% به ماسه اضافه میشود)

- ✓ در ماسه های قالب تر (green sand) و ماسه های قالبهای خشک (dry sand) سنتی عموما" مقداری خاک رس وجود دارد.
- ✓ به ماسه های مصنوعی بایستی مقدار خاک رس اضافه شود.
- ✓ با افزودن آب به آن ذرات رس باردار شده و نیروی جاذبه بین آنها و بین ذرات رس و سطح ذرات کوارتز ایجاد می گردد.
- ✓ خشک شدن آن باعث انقباض در شبکه شده و استحکام افزایش می یابد.
- ✓ خاك رس در حالت تر و در حالت خشک خاصیت چسبندگی خود را حفظ می کند.
- ✓ قابلیت جذب آب توسط خاك رس تا دمایی بالاتر از دمای خشک سازی ماسه پدیده ای برگشت پذیر بوده و می توان خاصیت چسبندگی آن را با افزودن آب مجددا احیا نمود.
- ✓ از دمای ۴۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد خاصیت چسبندگی خاك رس با حذف آب درون آن از بین می رود.

مواد تشکیل دهنده خاك رس: مونتموریلونیت - کائولینیت

Montmorillonite

- دارای فرمول عمومی $Al_2O_3.4SiO_2.H_2O$
- جزء اصلی سازنده بنتونیت
- دارای ظرفیت جذب آب بالا
- چسبندگی خوب(با افزودن ۳ تا ۵ درصد آب می توان به حداکثر چسبندگی این خاک دست پیدا کرد.)

Kaolinite

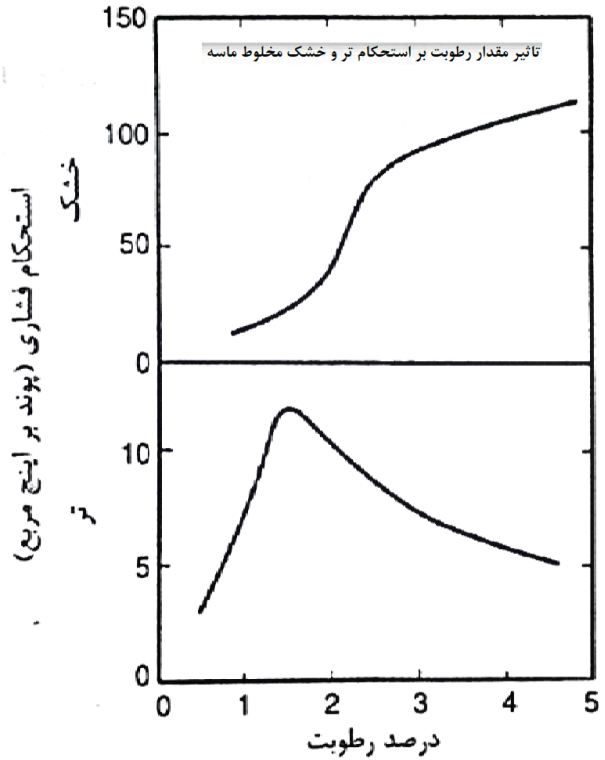
- داری فرمول عمومی $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$
- دیرگدازی به علت محتوای آلومینایی
- درصد چسبندگی کم(باید ۱۰ تا ۲۰ درصد به مخلوط ماسه اضافه گردد.)
- از بین رفتن آب غیر برگشت پذیر در دمای ۴۰۰ تا ۶۵۰ درجه ی سانتی گراد

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

آب در صنعت ریخته گری به عنوان فعال کننده مواد نقش ایفا مینماید.

- در مخلوط قالبگیری جهت فعال کردن چسب و ایجاد قابلیت شکل پذیری به ماسه الزامی است.
- معمولا" درصد آب ۷-۴% به مخلوط ماسه اضافه میشود. البته ماسه باید قبل از ذوب ریزی حذف شود.
- به رنگهای محافظ قالب و ماهیچه که پس از اسپری کردن و اعمال بر روی بخش مربوطه باید خشک و حذف شود، زیرا بخارات آب باعث عیوب ریخته گری میگردد.

* حداقل ۱۰ ساعت بین مخلوط کردن آب با ماسه و سپس قالبگیری باید فاصله باشد.



۱) استحکام تر یک مخلوط ماسه با افزایش درصد آب تا یک حد مشخص افزایش می یابد.مقادیر بیشتر باعث کاهش استحکام تر مخلوط می گردد.
۲) استحکام خشک با افزایش مقدار آب به مخلوط ماسه به طور پیوسته تا مقادیری بسیار بیشتر افزایش پیدا می کند.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

انواع چسب

۲. چسبهای شیمیایی

۱) چسب های گرم

رزینهای مایع که از ترکیبات مختلف اوره فورمالدئید (UF)، فنل فور مالدئید (PF) و الکل فورفیل به همراه یک کاتالیست اسید یا نمک اسید به کار میرود.

در اثر تماس با جعبه ماهیچه گرم در دمای ۱۸۰ تا ۲۶۰ درجه سانتیگراد استحکام می یابد.

از این چسب ها برای تولید ماهیچه های پیچیده با سطوح مقاطع نازك و استحکام بالا و همچنین تولید قالب و ماهیچه های پوسته ای استفاده می گردد.

۲) چسب های سرد

دارای پایه آلی یا سیلیکاتی با استفاده از یک کاتالیزور استحکام می یابند.

زمان خشک شدن به جنس و مقدار کاتالیزور و همچنین دما بستگی دارد.

برای دستیابی به خواص مورد نظر به درصد کمی چسب نیاز است.(کمتر ۱ تا۲ درصد)

از جمله چسب های سرد:

- فوران (Furan)

-رزین های فنولی که توسط استر استحکام می یابند.

-چسب های فنولیک اورتانکه توسط استر استحکام می یابند

۳) چسب هایی که با دمش بخار یا گاز استحکام می یابند

فرآیند استحکام دهی پس از قالبگیری قالب یا ماهیچه وعبور یک بخار یا گاز از میان ذرات تراکم یافته ماسه انجام میگیرد.

زمان افزایش استحکام توسط قالبگیر تعیین میشود.

برای تولید انبوه ماهیچه ها(به ویژه ماهیچه های دمیده شده) و تولید انواع قالب ها از این روش استفاده می شود.

ازجمله این چسب ها میتوان به سیلیکات سدیم (چسب شیشه) اشاره کرد.

واکنش انجام شده در فرآیند استحکام دهی:

$$Na_2SiO_3+CO2 \rightarrow Na_2CO_3+SiO_2$$

ژل سیلیکاتی (مایعی چسبناک)

بسته به نوع چسب معمولا" ۴-۲% به ماسه افزوده میشود.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

مواد افزودنی به مخلوط ماسه در قالبگیری ماسه ای

۱) حبوبات،غلات
برای افزایش استحکام تر یا خشک یا قابلیت فروپاشی تا حدود ۲% به کار گرفته می شود.مقدار نامناسب آن به علت فرّار بودن نشاسته باعث ایجاد عیوب گازی در قطعات می شود.
۲) قیر
برای اصلاح استحکام گرم مخلوط ماسه و بهبود سطح نهایی قطعات برای ریخته گری قطعات آهنی
۳) پودر ذغال افزایش کیفیت سطحی و ایجاد سهولت در تمیزکاری قطعات چدنی
۴) گرافیت
برای اصلاح قابلیت قالبگیری ماسه و بهبود سطح نهایی قطعات
۵) گرد چوب
برای کنترل انبساط ماسه از طریق سوختن و ایجاد فضای خالی و همچنین اصلاح قابلیت فروپاشی و جاری شدن ماسه
۶) پودر سیلیس
برای افزایش استحکام گرم و افزایش چگالی توده ماسه
۷) اکسید آهن
افزایش استحکام گرم
۸) پرلیت
سیلیکات آلومینیوم معدنی منبسط شده برای افزایش پایداری حرارتی ماسه و عایق کننده تغذیه.
۹) ملاس،دکسترین
برای افزایش استحکام خشک ماسه و بالا بردن سختی لبه قالب ها

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

خواص عمومی ماسه های ریخته گری

۱) استحکام تر (Green Strength):استحکام،شکل پذیری و قابلیت حفظ شکل مناسب پس از مخلوط شدن ماسه با آب وچسب

۲) استحکام خشک (Dry Strength): استحکام کافی مخلوط ماسه پس از تبخیر آب موجود در آن در برابر فرسایش

۳) استحکام گرم (Hot Strength): استحکام در برابر فشار مذاب در دمای بالای ۱۰۰ درجه سانتیگراد که بر حسب میزان دما تغییر می کند ودر یک محدوده دمایی تعریف می گردد.

۴) نفوذ پذیری (Permeability): قابلیت عبور گاز از میان ذرات یک مخلوط ماسه قالبگیری که به اندازه دانه ماسه، فشردگی مخلوط ماسه ،مقدار رطوبت و خاك رس مخلوط ماسه قالبگیری وابسته است.

۵) پایداری حرارتی (Thermal Stability): پایداری ماسه قالب گیری در برابر گرم شدن سریع و شوك حرارتی ناشی از فلز مذاب

۶) دیر گدازی (Refractoriness):عدم ماسه سوزی ،زینتر شدن یا نفوذ مذاب به ماسه دیواره قالب در اثر بر خورد مذاب با دمای بالا (مانند آلیاژ های آهنی) به ماسه که عواملی مانند دانه بندی ، عدد ریزی ماسه ، مقدار خاك رس و دیگر مواد افزودنی به مخلوط ماسه قالبگیری بر دیر گدازی ونقطه زینتر شدن ماسه تاثیر می گذارند.

۷) قابلیت شکل پذیری(Mouldability, Flowability): حرکت آسان ذرات ماسه روی هم به واسطه عواملی مانند فشار یا لرزش که شکل، اندازه و توزیع اندازه دانه های ماسه و همچنین نوع و مقدار مواد افزودنی بر قابلیت شکل پذیری مخلوط ماسه تاثیر دارند.

۸) کیفیت سطحی (Surface quality)

۹) قابلیت متلاشی شدن (Collapsibility): قابلیت تخریب ماسه پس از انجام فرآیند ریخته گری و انجماد قطعه که ترکیب شیمیایی ماسه، نوع ومقدار مواد افزودنی به مخلوط ، نوع چسب ، مکانیزم اتصال دهنده ذرات ماسه به یکدیگر و درجه حرارت مذاب بر استحکام باقیمانده ماسه تاثیر گذارند. هر قدر استحکام باقی مانده کمتر باشد(پس از ریخته گری و انجماد قطعه) خارج کردن قطعه از قالب با سهولت بیشتر امکانپذیر است.

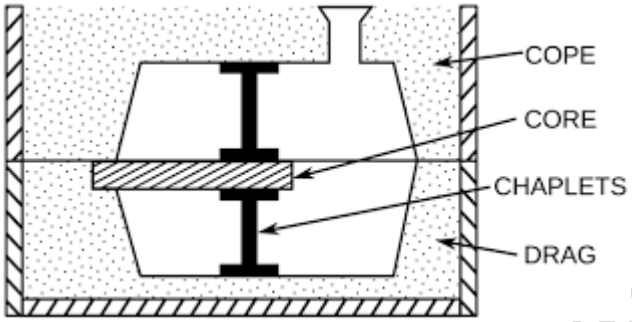
۱۰) قابلیت استفاده مجدد (Re-usability)

۱۱) سهولت تهیه و کنترل ماسه

۱۲) انتقال حرارت از قطعه

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

ماهیچه در ریخته گری



هنگامیگه قطعه ریختگی دارای حفرات، سوراخها یا محفظه داخلی و فرورفتگی باشد. در داخل قالب از قطعات ماسه ای پیش ساخته بنام ماهیچه (Core) استفاده میشود.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

مواد و روشهای ماهیچه سازی

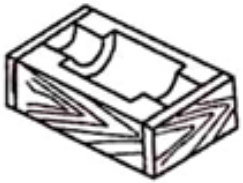
- ماهیچه اغلب اوقات از ماسه تهیه شده و باید دارای استحکام کافی باشد تا بتوان آن را به طور مجزا و خارج از درجه قالبگیری حمل و نقل کرد.
- ماهیچه ها معمولا" درون قالب های ریخته گری جاسازی شده و خصوصیاتی همانند سوراخ، شکاف و ...که به طور عادی نمی توان توسط تکنیکهای قالبگیری درون قالب ایجاد کرد را تولید می کنند.
- در طراحی ماهیچه ها باید تکیه گاه نیز ایجاد شود تا بتوان ماهیچه را در جای مناسب درون قالب قرار داد.
- روش های ماهیچه سازی، براساس چسب مورد استفاده و فرآیند استحکام دهی از یکدیگر متمایز می شوند.
- ماهیچه ها را با متراکم کردن مخلوط ماسه درون قالبی به نام جعبه ماهیچه و سپس استحکام دهی به آن تولید می کنند.
- جنس جعبه ماهیچه می تواند چوبی یا فلزی باشد.
- مخلوط ماهیچه را با دست یا توسط ماشین (ضربه ای یا فشاری و یا دمش مخلوط ماسه به درون جعبه ماهیچه) درون جعبه متراکم می کنند.

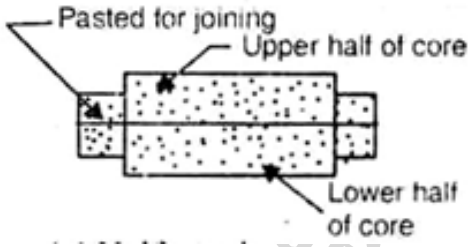
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

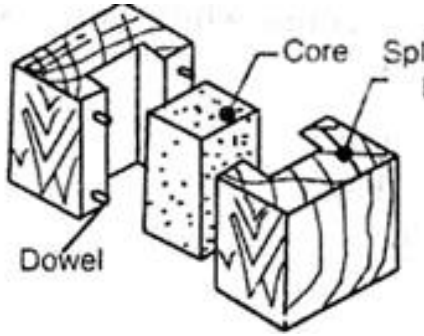
مواد و روشهای ماهیچه سازی

انواع جعبه ماهیچه (Core Box)

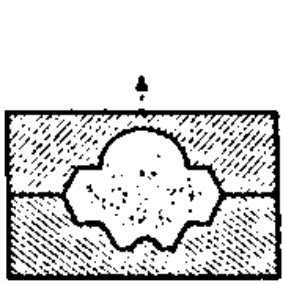


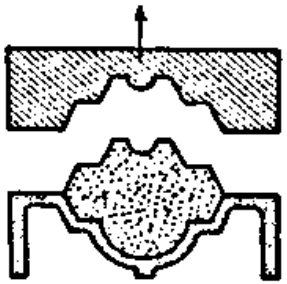


۱. یک تکه که از یک طرف باز است.



۲. چند تکه با خط جدایش عمودی.





۳. چند تکه.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

مواد و روشهای ماهیچه سازی

ویژگی مخلوط ماهیچه مناسب

۱. استحکام ماهیچه در دمای بالا با استحکام فلز متناسب باشد تا موجب ایجاد ترك گرم نگردد.
۲. در طول انجماد همراه با انقباض قطعه خرد شود.
۳. سطح صاف و مناسبی در برابر فلز مذاب ایجاد کنند.
۴. توسط مذاب شسته نشود یا مذاب درون آن نفوذ نکند.
۵. در برابر گرمای ناشی از فوق گداز نیز مقاوم باشد.
۶. در طول نگهداری در انبار ، استحکام و خواص خود را از دست ندهد و رطوبت اضافی جذب نکند.
۷. مقاومت مناسب در هنگام حمل و نقل داشته باشد.
۸. شکل خود را قبل و حین ریخته گری حفظ کند.
۹. با مذاب یا اتمسفر موجود در قالب واکنش ندهد.
۱۰. به جعبه ماهیچه قطعه نچسبد.
۱۱. به راحتی از جعبه ماهیچه خارج شود.
۱۲. تحمل شوکهای حرارتی را داشته باشد.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

روش استحکام دهی به مخلوط ماهیچه:

روش استحکام دهی بر اساس استفاده از یک چسب آلی یا سیلیکاتی که با روش های مختلف استحکام می یابد.

انواع فرآیند های ستحکام دهی

۱. **جعبه داغ (Hot box):** مخلوط ماسه با چسب شیمیایی (فنل فورمالدئید-اوره فورمالدئید) درون جعبه ماهیچه پیش گرم شده، دمیده میشود (دمای ۳۰۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد) در اثر حرارت و تماس با جعبه داغ (از جنس فولاد، چدن یا آلومینیوم) در مدتی کمتر از یک دقیقه سخت شده و در نهایت جهت استفاده از قالب خارج میشود. ماهیچه تهیه شده، دقت ابعادی و استحکام بالایی دارد. امکان تعبیه منافذ خروج هوا (هواکش) در آن وجود دارد. جابجایی این نوع ماهیچه ها آسان است.

۲. **جعبه گرم (Warm box):** مشابه روش جعبه داغ است با این تفاوت که از چسبهای فعال تر استفاده میشود (الکل فورفوریل + کاتالیزور اسید فسفریک). استحکام دهی در دمایی کمتر حدود ۲۰۰-۱۵۰ درجه سانتیگراد انجام میشود.

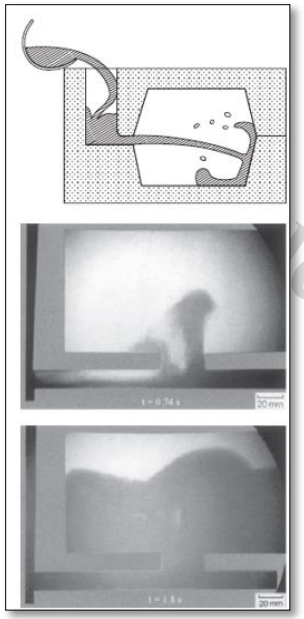
۳. **جعبه سرد (Cold box):** در این روش مخلوط ماسه ماهیچه با چسب شیشه (سیلیکات سدیم) مخلوط شده و دمیدن گاز دی اکسید کربن جهت سخت سازی و استحکام دهی استفاده میشود.

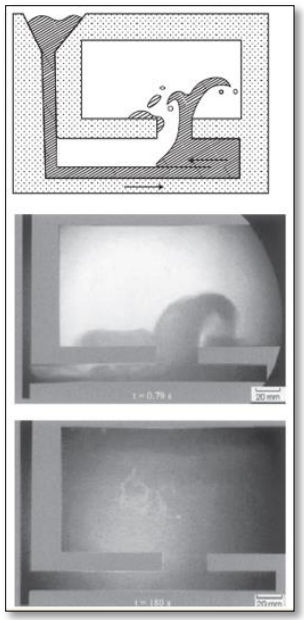
۴. **پخت در اجاق (Oven-bake):** مخلوط شدن ماسه با آرد ذرت یا خاك رس، آب و چسب جهت حفظ شکل پس از بیرون آمدن از جعبه ماهیچه در کوره (اجاق) در دمای ۲۶۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد استحکام پیدا مینماید. در این روش نیاز به تجهیزات پیچیده نیست و قیمت مواد اولیه برای تهیه ماهیچه پایین است. البته دقت ابعادی ماهیچه تهیه شده پایین است.

Principles of Solidification and Casting
Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

اصول طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری





انواع سیستم های راهگاهی

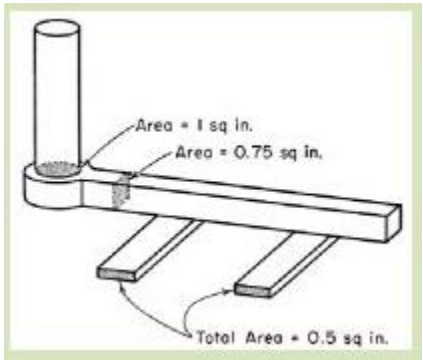
سیستم فشاری:

سطح مقطع کانالها با نزدیک شدن به قالب کم میشود.

مثال:(چدن خاکستری 1:0.9:0.8)

S(Sprue):R(Runner):G(Gate) 2:1:1

تمامی مقاطع سیستم راهگاهی کاملا" پر هستند و همواره فشاری پشت مذاب اعمال می گردد. راندمان ریخته گری بیشتر است.



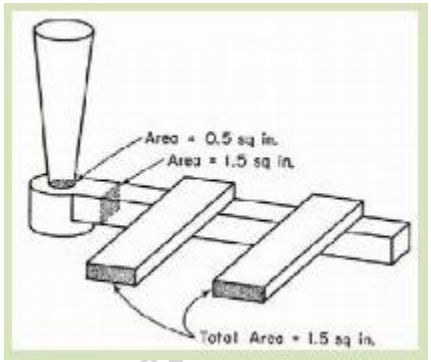
سیستم غیرفشاری:

سطح مقطع کانالها با نزدیک شدن به قالب زیاد میشود.

مثال:(برنج 1:1:3)

S(Sprue):R(Runner):G(Gate) 1:1:3 or 1:2:4

- تنگه در پای راهگاه بارریز یا نزدیک آن قرار می گردد که باعث پر شدن سریع راهگاه بارریز و پایداری دبی جریان می شود
- کمتر بودن تلاطم و اثرات مضر ناشی از آن
- سرعت کمتر جریان مذاب و کمتر بودن احتمال ایجاد عیوب اکسیدی
- پرشدن ترتیبی سیستم راهگاهی و کاهش ورود هوا
- ضایعات کمتر



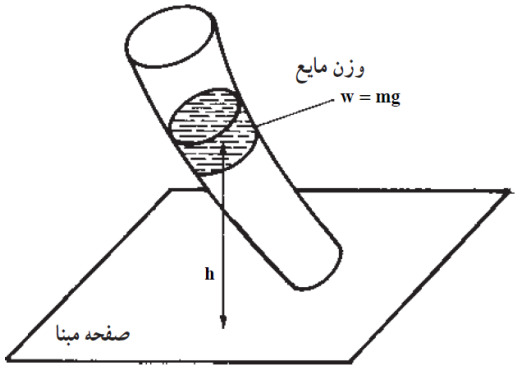
*** تنگه (چوک Choke): قسمتی از کانال اصلی یا فرعی که با کمترین سطح مقطع ساخته شده است.**

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه

طراحی سیستم راهگاهی بر اساس دو قانون دینامیک سیالات انجام میپذیرد با فرض اینکه سیال (مذاب) یک سیال ایده ال (سیالی است تراکم ناپذیر، بدون اصطکاک و بدون ویسکوزیته) باشد.

۱- معادله برنولی (Bernoulli's Equation):برای سیال ایده ال، جمع جبری انرژی همواره مقدار ثابت است. بطور کلی، هر مایع در حال جریان در درون یک سیستم بسته دارای سه نوع انرژی پتانسیل، انرژی فشاری و انرژی جنبشی است.



الف ــ انرژی پتانسیل (U): $U = Wh = mgh$

که در آن، W وزن مایع و g شتاب ثقل زمین است. این انرژی به ازای واحد وزن مذاب، برابر است با :

$U = h$

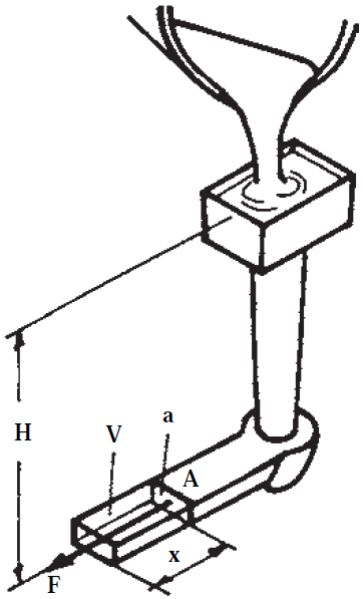
که در آن :

U = انرژی پتانسیل به ازای واحد وزن (برحسب متر)

h = ارتفاع (برحسب متر)

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه



ب ــ انرژی فشاری (E_{Pr}): این انرژی، ناشی از نیروی فشار ستونی از مایع است که به سطح مقطع حجم معیّنی (مثلاً حجم قسمتی از مایع (مذاب) در داخل راهبار) وارد می‌شود و می‌تواند باعث جابه‌جایی و حرکت آن گردد.

فشار در نقطهٔ A که باعث حرکت مقداری از مایع به حجم V می‌گردد، برابر است با :

$$P_A = \rho.g.H$$

که در آن ρ چگالی مذاب و H ارتفاع ستون مذاب می‌باشد. این فشار می‌تواند نیروی F را بر سطح a (سطح مقطع عمود بر امتداد نیرو در نقطهٔ A) اعمال کند.

$$\text{نیرو} = \text{فشار} \times \text{سطح} \Rightarrow F = P_A.a$$

این نیرو می‌تواند حجم V را به اندازهٔ x تغییر مکان دهد. انرژی حاصل از این جابه‌جایی همان انرژی فشاری است که مقدار آن برابر است با :

$$E_{Pr} = F.x = P_A.a.x$$

با توجّه به این‌که $a.x = V$ (حجم مذاب جابه‌جا شده)، را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$E_{Pr} = P_A.V$$

از آن‌جا که $V = \frac{W}{\rho.g}$ ، رابطهٔ اخیر را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$E_{Pr} = P_A.\frac{W}{\rho.g} = W.\frac{P_A}{\rho.g}$$

که در نهایت، مقدار این انرژی به ازای واحد وزنِ مایع جابه‌جا شده، برابر است با :

$$\boxed{E_{Pr} = \frac{P_A}{\rho.g}}$$

E_{Pr} = انرژی فشاری به ازای واحد وزن (برحسب متر)

P = فشار (برحسب نیوتن بر متر مربع)

ρ = چگالی (برحسب کیلوگرم بر متر مکعب)

g = شتاب جاذبه برحسب $(\frac{N}{kg})$

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification

محاسبات سیستم راهگاه

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

ج ــ انرژی جنبشی (K): این انرژی، ناشی از سرعت خطّی ذرّات مایع است که به صورت رابطهٔ بیان می‌شود

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

با توجه به این‌که $m = \frac{W}{g}$ ، رابطهٔ اخیر به صورت زیر درمی‌آید.

$$E_k = \frac{W v^2}{2g}$$

و بالاخره، به ازای واحدِ وزن مایع، مقدار انرژی جنبشی برابر است با :

$$K = \frac{v^2}{2g}$$

که در آن :

K = انرژی جنبشی به ازای واحد وزن (برحسب متر)

v = سرعت خطّی مایع (برحسب متر بر ثانیه)

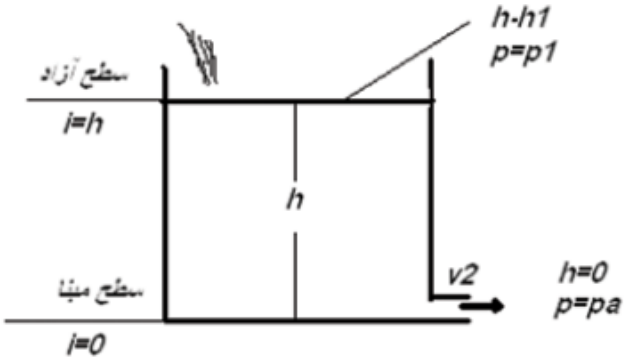
g = شتاب ثقل (۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه)

با توجه به روابط یاد شده، قانون برنولی را می‌توان به صورت رابطهٔ بیان نمود :

$$E = h + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{مقداری ثابت}$$

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه



۲- معادله تریچلی (Torricelli's Equation): این قانون که در حدود یک صد سال پیش از قانون برنولی ارائه گردید در حقیقت یکی از کاربردهای خاص قانون برنولیست.

در ظرفی مطابق شکل مایعی به ارتفاع h_1 قرار دارد و ته ظرف سوراخی برای خروج مایع (در سطح h=۰) تعبیه شده است. براساس قانون برنولی (چنانچه مایع خروجی از ته ظرف به‌طور مداوم از بالا به این ظرف اضافه شود) می‌توان نوشت

$$h = h_1 \Rightarrow E = \frac{P_a}{\gamma} + h_1 \qquad V = 0$$

$$h = 0 \Rightarrow E = \frac{v^2}{\rho g} + \frac{P_a}{\gamma} \qquad V = V_2$$

P_a = فشار اتمسفر بر حسب $(\frac{N}{m^2})$

γ = وزن مخصوص مایع

با توجه به تساوی دو رابطه بالا نتیجه می‌شود

$$\frac{P_a}{\gamma} + h_1 = \frac{v^2}{\rho g} + \frac{P_a}{\gamma} \Rightarrow h_1 = \frac{v^2}{\rho g} \Rightarrow V_2^2 = 2gh_1 \Rightarrow V_2 = \sqrt{2gh_1}$$

V_2= سرعت خروج مایع از ته ظرف $(\frac{m}{s})$

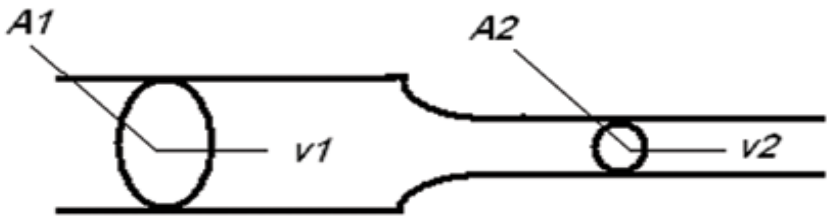
h_1= ارتفاع مایع در ظرف m

رابطه بالا بیان‌کننده قانون تریچلی است که نتیجه کاربرد قانون برنولی در شرایط خاص می‌باشد.

Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه

۳- قانون تداوم یا پیوستگی (The Law of Continuity): حجم مذاب یا مایع جاری در هر مقطع در واحد زمان مقداری ثابت است.



مقداری ثابت $Q = \frac{V}{t} =$

که در آن :

Q = دبی (بده) (مترمکعب بر ثانیه)

V = حجم مذاب (متر مکعب)

t = زمان عبور حجم مذکور از مذاب (ثانیه)

با توجه به این‌که حجم (V) را می‌توان به صورت حاصل‌ضرب مساحت (A) در ارتفاع l بیان کرد، از این رو، رابطهٔ را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{A.l}{t} = A.\frac{l}{t} = A.v$$

که در آن :

v = سرعت خطّی مایع (مذاب) (متر بر ثانیه)

A = مساحت سطح مقطعی که مذاب با سرعت مذکور از آن عبور می‌کند. (مترمربع)

بنابراین، قانونِ تداوم برای دو نقطهٔ مختلف از یک سیستم بسته به صورت رابطهٔ $Q = A_1v_1 = A_2v_2$ می‌باشد

براساس رابطهٔ اخیر، در اثر کاهش سطح مقطع یک لوله، سرعت سیّال افزایش می‌یابد و حال آن که افزایش سطح مقطع، موجب کاهش سرعت سیال می‌گردد .

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه

به کمک دو قانون اخیر (تریچلی و تداوم) می‌توان تأثیر ارتفاع ریختن مذاب را بر سرعت پر شدن قالب (و در نتیجه مدت ریختن بار) محاسبه کرد. در شکل مقدار بار خروجی از پاتیل بارریز (سطح ۳) باید معادل مقدار مذاب خروجی از انتهای راهگاه بارریز (سطح صفر) باشد. براساس قانون تریچلی :

$$v_0 = \sqrt{2g}.\sqrt{h_2}$$

v_0 سرعت خروج مذاب از انتهای راهگاه بارریز می‌باشد و مقدار خروج مایع از سطح مقطع A_0 برابر است با :

$$Q_0 = v_0 A_0 = \sqrt{2g}.\sqrt{h_2} \times A_0$$

در نتیجه، برای آن‌که مقدار h_2 ثابت بماند لازم است همواره سیستم راهگاهی از مذاب پر نگه‌داشته شود. در این حالت دبی (بده) در تمام سطوح مقطع یکسان خواهد بود. به عبارت دیگر :

$$Q_0 = Q_2 = v_2 A_2 = \sqrt{2g}.\sqrt{h_3 - h_2}.A_2$$ (مترمکعب بر ثانیه)

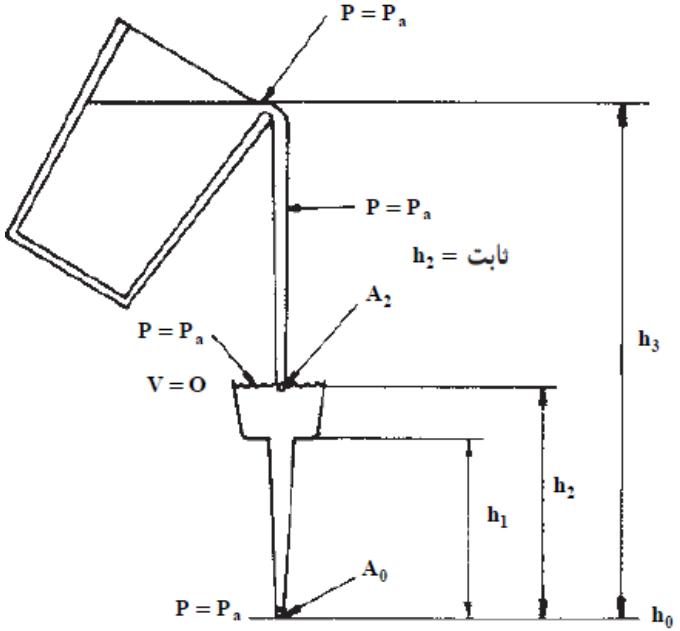
Q_2 و v_2 به ترتیب دبی جریان و سرعت جریانِ ورودی به حوضچه هستند.

از رابطهٔ اخیر می‌توان نتیجه گرفت :

$$A_2 = A_0\sqrt{\frac{h_2}{h_3 - h_2}}$$

که در آن مقدار $h_3 - h_2$ فاصلهٔ بین دهانهٔ پاتیل تا سطح فوقانی حوضچه می‌باشد. فشار در تمام سطوحِ صفر و ۲ و ۳ مساوی و برابر فشار اتمسفر است.

هرچند ریختن مذاب از پاتیل به داخلِ حوضچه، باعث افزایش موضعی فشار در حوضچه می‌گردد، با این حال این فشار به دلیل موضعی بودن تأثیری بر روی مقدار مذاب خروجی از قسمت تحتانی راهگاه (سطح با ارتفاع معادل صفر) ندارد. بنابراین شخص بارریز می‌تواند ریختن مذاب را به دلخواه به وسیلهٔ ارتفاع h_3 یا میزان خم کردن پاتیل کنترل کند. به عبارت دیگر، سرعت پر کردن قالب از مذاب، مستقل از ارتفاع لبهٔ پاتیل تا حوضچه می‌باشد.



میزان ریزش مذاب از لبه پاتیل در ارتباط
با جریان مذاب از انتهای تحتانی راهگاه بارریز

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه

۴- قانون پاسکال (Pascal's Law): در داخل ظروف مرتبط (مثلا" قالب پر شده از مذاب) فشار در همه نقاط ظرف که در یک سطح افقی قرار دارند، یکسان است. فشار هر نقطه از درون مایع ، برابر است با فاصله آن نقطه تا سطح ازاد مایع ضربدر وزن مخصوص مایع به اضافه فشار خارجی که بر مایع وارد میشود.

$$P = P_a + \rho.g.h$$

که در آن :

P = فشار در هر نقطه از یک سطح افقی (نیوتن بر متر مربع)

P_a = فشار اتمسفر (نیوتن بر مترمربع)

ρ = چگالی مذاب (کیلوگرم بر مترمکعب)

h = فاصلهٔ عمودی نقطه تا سطح آزاد مایع (متر)

چون فشار هوای خارجی، در تمام نقاط قالب معادل فشار اتمسفر است، بنابراین فشار مطلق که بر یک نقطه در درون مایع در تمام جهات وارد می‌شود، برابر است با : $P = \rho.g.h$

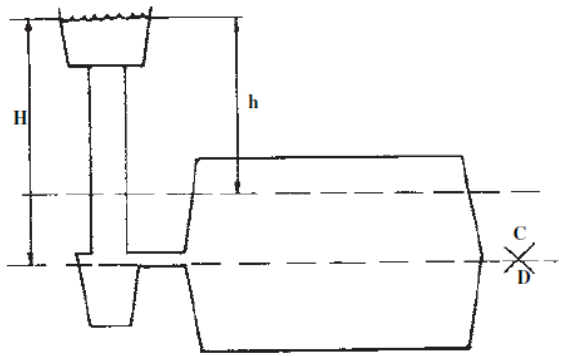
در شکل فشار هیدرواستاتیکی (فشار وارد بر هر نقطهٔ درون مذاب در حالت سکون مذاب) وارد بر بعضی از نقاط قالب و راهگاه نشان داده شده‌اند.

با توجه به شکل مذکور، فشار در هر نقطه از قالب که در ارتفاع دلخواه X نسبت به سطح آزادِ مذاب قرار دارد، برابر است با :

$$P = \rho.g.h$$

به همین ترتیب، فشار وارد بر هر نقطه از مذاب که در سطح جدایش قرار دارند، برابر است با :

$$P = \rho.g.h$$



نمایش شماتیکی قطعه ریختگی / راهگاه‌هایی که از فلّز مذاب پر گردیده‌اند.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه

Principles of Solidificati

محاسبه سطح مقطع تنگه

وقتی مقداری مذاب با حجم V و با سرعت v از مقطع یک کانال به مساحت A عبور می کند بدیهی است که در مدت زمان t (زمان بارریزی) رابطه زیر برقرار است.

$$V = A.v.t$$

چنانچه جرم این مقدار مذاب با m و جرم مخصوص آن ρ باشد در اینصورت:

$$V = \frac{m}{\rho} = A_C.v.t$$

و از آنجا :

$$A_C = \frac{m}{\rho.t.v}$$

سطح مقطع تنگه

که در آن m برحسب گرم (gr)، ρ برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (gr/cm^3)، t برحسب ثانیه (s)، v برحسب سانتی‌متر بر ثانیه (cm/s) و در نتیجه A_C برحسب سانتی‌متر مربع (cm^2) می‌باشد.

براساس رابطهٔ محاسبهٔ سطح مقطع تنگه، مستلزم تعیین سرعت مذاب و زمان بارریزی است.

yaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه

تعیین سرعت خطی مذاب

سرعت مذاب، سرعتی که بطور تئوری از رابطه تریچلی بدست می آید با سرعت واقعی برابر نیست. این موضوع در حقیقت از عدم تطبیق کامل مشخصات و شرایط فلز مذاب با مایعات ایده آل ناشی می گردد، زیرا اصولا" در مورد مایعات واقعی(مانند آب و به ویژه مذاب فلزات و آلیاژها) بین ذرات مایع با یکدیگر و نیز ذرات مایع با جداره هر کانال و مجرا، اصطکاک وجود دارد. بنابراین مقداری از کار نیروهای خارجی مذاب متحرک صرف جریان کار ناشی از نیروهای اصطکاکی می شود.

$$V_{\text{واقعی}} = \mu . V_{\text{تئوری}} = \mu\sqrt{2gh} \Rightarrow \mu < 1$$

در این رابطه μ ضریبی بدون واحد است و ضریب تلفات، ضریب تخلیه یا ضریب ریختگی نامیده می‌شود.

$$\left.\begin{array}{l} \text{(دبی واقعی)}\quad Q = \dfrac{V\ \text{(حجم محفظه قالب)}}{t\ \text{(زمان بارریزی)}} \\ \text{(دبی تئوری)}\quad Q = A\sqrt{2gh} \end{array}\right\} \mu = \frac{Q_{(\text{واقعی})}}{Q_{(\text{تئوری})}} = \frac{V}{A_t\sqrt{2gh}}$$

h : ارتفاع استاتیکی مذاب

At : سطح مقطع تنگه

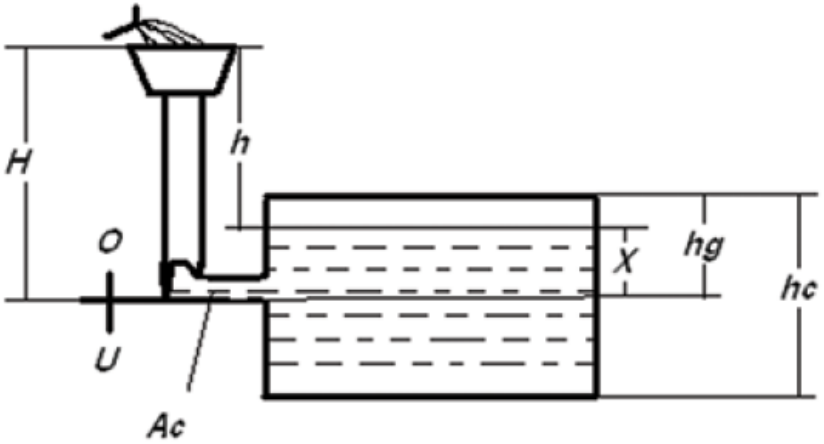
ضریب ریختگی μ	آلیاژ
۰/۲۷_۰/۵۵	چدن‌ها
۰/۳_۰/۴۵	فولادها
۰/۶ _ ۰/۷	فلزات و آلیاژهای غیرآهنی

Principles of Solidification
Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه

محاسبه ارتفاع مؤثر بارریزی: براساس رابطه تریچلی، سرعت واقعی مذاب خروجی از سطح مقطع تنگه، به ارتفاع بار h (ارتفاع استاتیکی مذاب) نیز بستگی دارد.



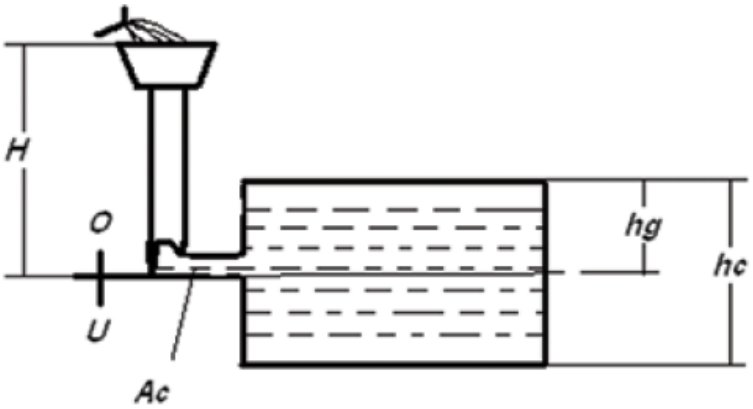
با توجه به شکل مذکور، طبیعی است تا زمانی‌که قسمت پایینی محفظه قالب پرنشده است، مذاب با سرعتی ثابت تحت ارتفاع ثابت H از مقطع تنگه (Ac) عبور می‌کند. پس از آنکه سطح مذاب در محفظه قالب به بالای سطح جدایش رسید، به دلیل کاهش تدریجی اختلاف میان سطح مذاب در درون قالب و سطح مذاب در حوضچه بارریز، دیگر سرعت مذاب نیز در تنگه Ac ثابت نیست و به‌صورت لحظه‌ای تغییر می‌یابد (طبق قانون ظروف مرتبط) تحت چنین شرایطی، سرعت لحظه‌ای در نقطه‌ای به فاصله x از سطح جدایش را می‌توان به‌صورت رابطه زیر بیان نمود:

$$V = \mu\sqrt{2g(H-X)}$$

با توجه به اینکه (H-X) در حقیقت ارتفاع لحظه‌ای می‌باشد که در نتیجه آن سرعت مذاب نیز دیگر نمی‌تواند ثابت بماند از این رو لازم است با به منظور تحقق یافتن فرض ثابت بودن دبی متوسط ارتفاع‌های لحظه‌ای h که مقدار ثابتی است تعیین گردد. این ارتفاع متوسط ثابت ارتفاع مؤثر he نام دارد و با قرار دادن آن در رابطه تریچلی سرعت مؤثر و ثابتی حاصل می‌گردد.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه

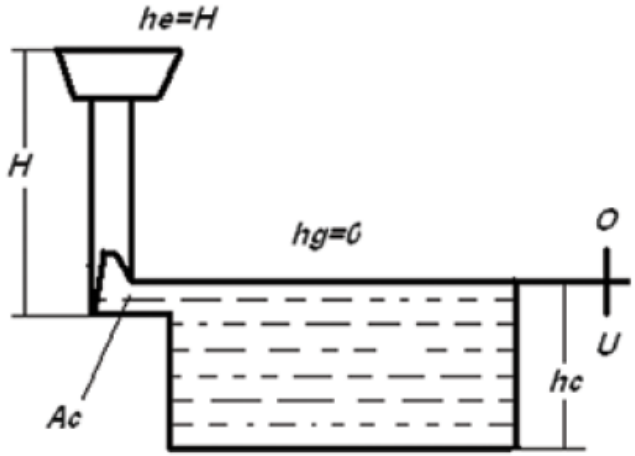


$$h_e = H - \frac{hg^2}{2h_c}$$

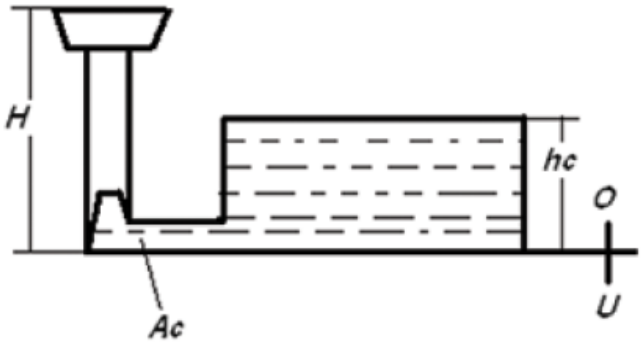
$$A_c = \frac{\nu}{t\mu\sqrt{2gh_e}}$$

با توجه به مشخصات قطعات ریختگی و شرایط ریخته گری،

ارتفاع مؤثر he برای قطعاتی با سطح مقطع یکنواخت مطابق شکل روبرو می باشد.



$$A_c = \frac{\nu}{t\mu\sqrt{2gH}}$$



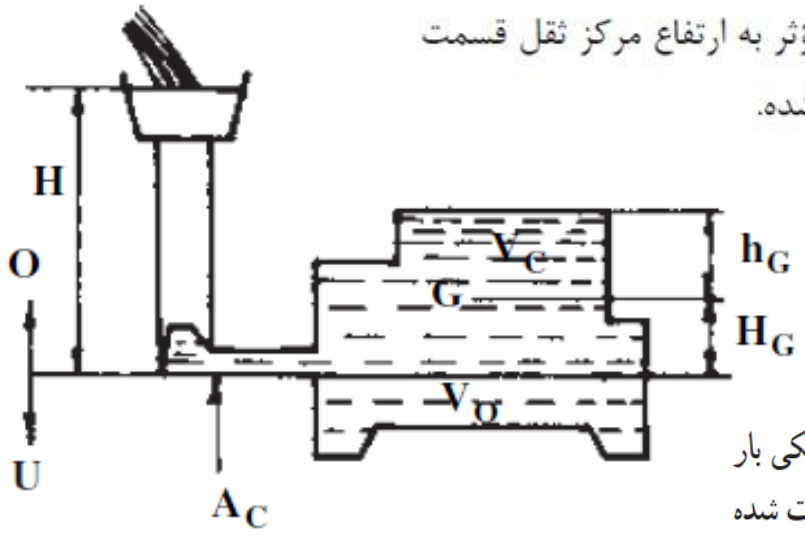
$$h_e = H - \frac{h_c}{2}$$

$$A_c = \frac{\nu}{t\mu\sqrt{2gh_e}}$$

Dr. A. Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه

در صورتی که سطح مقطع افقی قطعات ریختگی یکنواخت نباشد، ارتفاع مؤثر به ارتفاع مرکز ثقل قسمت فوقانی قالب بستگی دارد. در چنین مواردی ارتفاع مؤثر در حالت کلی نشان داده شده.



همان‌طور که قبلاً اشاره شد، ارتفاع مؤثر برای قسمت پایینی قالب همان ارتفاعِ استاتیکی بار یعنی H می‌باشد، ولی در قسمت بالایی قالب، مقدار این ارتفاع متغیّر است. در این مورد، ثابت شده است که ارتفاع مؤثّر (ارتفاع متوسّط ثابت) برابر با ارتفاع مرکز ثقل قسمت بالایی قالب تا سطح آزاد مذاب (h_G) می‌باشد. از این رو، درحالت کلّی، با درنظر گرفتن نسبت حجم‌های قسمت بالایی (V_C) و قسمت پایینی (V_D) به حجم کلّ محفظه قالب (V) می‌توان رابطهٔ زیر را نتیجه گرفت :

$$h_e = \frac{V_C}{V} \times h_G + \frac{V_D}{V} \times H$$

با توجه به این که $V_D = V - V_C$ و $h_G = H - H_G$ (H_G فاصلهٔ مرکز ثقل حجم قسمت بالایی قالب تا سطح جدایش دو درجه است.)، رابطهٔ اخیر را می‌توان به صورت زیر بیان نمود :

$$h_e = \frac{V_C}{V} \times (H - H_G) + \frac{V - V_C}{V} \times H$$

و در نتیجه، رابطهٔ کلّی زیر برای محاسبه ارتفاع مؤثّر به‌دست می‌آید :

$$h_e = H - \frac{V_C}{V} H_G$$

مثال: قطعه‌ای استوانه‌ای شکل به قطر ۱۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر به‌طور عمودی قالب‌گیری شده است. در صورتی که ارتفاع استاتیکی مذاب ۴۰ سانتی‌متر و راهباره در قسمت پایین (کف استوانه) تعبیه شده باشد، ارتفاع مؤثّر را به‌دست آورید.

$h_C = ۳۲cm$

$H_G = \frac{h_C}{۲} = ۱۶cm$

$H = ۴۰cm$

$h_e = H - \frac{V_C}{V} H_G$

$h_e = ۴۰ - (۱ \times ۱۶) = ۲۴cm$

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

محاسبات سیستم راهگاه

تعیین زمان بارریزی

پس از تعیین ضریب تخلیه (μ) و ارتفاع مؤثر (h_e) با تعیین زمان بارریزی، سطح مقطع تنگه به‌دست می‌آید.

مثال: زمان بارریزی قطعه‌ای از آلیاژ مس با سیالیت پایین ($s=1/5$)، به وزن ۵۰ کیلوگرم و به ضخامت متوسّط ۲۰ میلی‌متر چقدر می‌باشد؟

$$t = s\sqrt[3]{\delta G}$$

بر اساس اطّلاعات مسأله، یعنی : $s=1/5$ و $G=50kg$ و $\delta = 20mm$

زمان بارریزی برابر است با : $t=1/5\sqrt[3]{20\times 50}=1/5\times 10=15$ ثانیه

پس از تعیین زمان بارریزی t با استفاده از روابط تجربی داده شده در جدول ۳ـ ۷، مساحت تنگهٔ A_C با استفاده از رابطهٔ ۲۰ـ۷ به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد :

$$A_C = \frac{m}{\rho.t.\mu\sqrt{2gh_e}}$$

m = برحسب گرم (gr)

ρ = برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (gr/cm^3)

t = برحسب ثانیه (s)

g = برابر با ۹۸۱ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه ($\frac{cm}{s^2}$)

h_e = برحسب سانتی‌متر (cm)

A_C = برحسب سانتی‌متر مربع (cm^2)

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

اصول طراحی و محاسبات تغذیه گذاری

اکثر فلزات و آلیاژهای مذاب پس از باریزی و در حین سرد شدن منقبض میشوند.
از تغذیه گذاری به منظور جبران کاهش حجم فلز و آلیاژ و انقباض در مرحله انجماد و تولید قطعه ای سالم میباشد. انقباض در این مرحله توسط مخزن مذاب یا تغذیه (Riser or Feeder) جبران میشود.

تغذیه عموما" در بالای قطعه قرار دارد. سه قانون و شرط اصلی در طراحی تغذیه مهم میباشد:

۱. تغذیه باید پس از قطعه منجمد شود (شرط زمان انجماد).
۲. تغذیه باید حجم کافی از مذاب برای جبران انقباض خود و انقباض قطعه را داشته باشد (شرط داشتن حجم کافی).
۳. تغذیه باید در فاصله ای مشخص قرار داده شود تا امکان مداب رسانی به تمام قسمتهای مورد نیاز را فراهم نماید (شرط مذاب رسانی).

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

اصول طراحی و محاسبات تغذیه گذاری

شرط زمان انجماد - قانون چورنیف

$$\text{زمان انجماد قطعه} = K\left(\frac{\text{حجم قطعه}}{\text{سطح قطعه}}\right)^{۲}$$

K ثابت و به نحوه انجماد فلز مذاب و قالب بستگی دارد

$$t_c = k(Vc/Ac)^{۲}$$

t_c ، زمان انجماد قطعه

Vc، حجم قطعهٔ ریختگی

Ac، سطح کل قطعهٔ ریختگی (سطح تماس تغذیه با قطعهٔ ریختگی منظور نمی‌شود.)

$$t_r = k(Vr/Ar)^{۲}$$

t_r ، زمان انجماد تغذیه

Vr، حجم تغذیه

Ar، سطح کل تغذیه (سطح تماس تغذیه با قطعهٔ ریختگی از مقدار کل سطح تغذیه کسر شود.)

$$t_c = K(M_c)^{۲}$$

$$t_r = K(M_r)^{۲}$$

$$\frac{t_r}{t_c} = \left(\frac{M_r}{M_c}\right)^{۲}$$

نسبت حجم به سطح قطعه مدول نامیده می‌شود $M_c = \frac{V_c}{A_c}$

بنابراین لازم است

زمان‌های انجماد تغذیه (t_r) باید به اندازهٔ کافی از زمان‌های انجماد قطعه (t_c) بزرگتر باشد

مدول تغذیه (M_r) باید به اندازهٔ کافی از مدول قطعهٔ ریختگی (M_c) بزرگتر باشد

تا عمل مذاب‌رسانی به خوبی انجام گیرد.

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

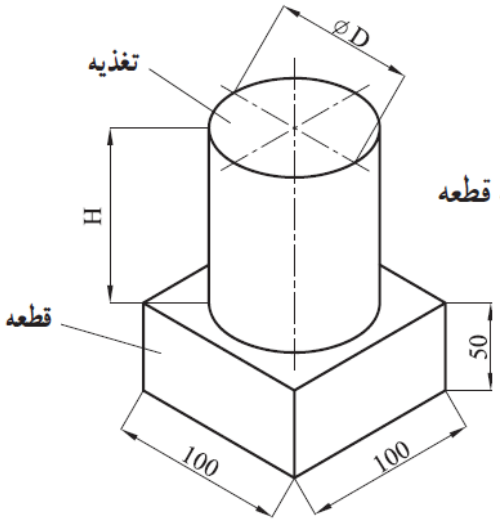
اصول طراحی و محاسبات تغذیه گذاری

مثال : قطعه‌ای مکعب مستطیل از فولاد به ابعاد ۱۰×۱۰×۵ سانتی‌متر مطابق شکل باید به روش ریخته‌گری تهیه گردد. مطلوب است :

الف : محاسبهٔ نسبت مدول تغذیه به قطعه

ب : محاسبهٔ مدول تغذیه و قطعه

پ : محاسبهٔ ابعاد تغذیه و نسبت حجم آن به قطعه



قطعه و تغذیه

$$\frac{M_r}{M_c} = ۱/۲$$

$$H = ۱/۵D$$

نسبت مدول تغذیه به قطعه $\frac{M_r}{M_c} = ۱/۲$

مدول قطعه $M_c = \frac{V_c}{A_c} = \frac{۱۰\times۱۰\times۵}{۲(۱۰\times۱۰+۲\times۱۰\times۵)} = \frac{۵۰۰}{۴۰۰} = ۱/۲۵\,cm$

مدول تغذیه $M_r = ۱/۲\times M_c = ۱/۲\times۱/۲۵ = ۱/۵cm$

اگر $H = ۱/۵D$ درنظر گرفته شود

$$M_r = \frac{V_r}{A_r} = \frac{\text{ارتفاع} \times \text{قاعده}}{\text{سطح کل}} = \frac{\frac{\pi D^۲}{۴}\times ۱/۵D}{\frac{۲\pi D^۲}{۴} + \pi D\times ۱/۵D} = \frac{۱/۵D}{۸}$$

قطر تغذیه $M_r = ۱/۵ = \frac{۱/۵D}{۸} \Rightarrow D = ۸cm$

ارتفاع تغذیه $H = ۱/۵D = ۱/۵\times۸ = ۱۲cm$

حجم تغذیه $V_r = \frac{\pi D^۲}{۴}\times H = \frac{۳/۱۴\times۸^۲}{۴}\times۱۲ = ۶۰۲/۹cm^۳$

نسبت حجم تغذیه به قطعه $\frac{V_r}{V_c} = \frac{۶۰۲/۹}{۵۰۰} \approx ۱/۲$

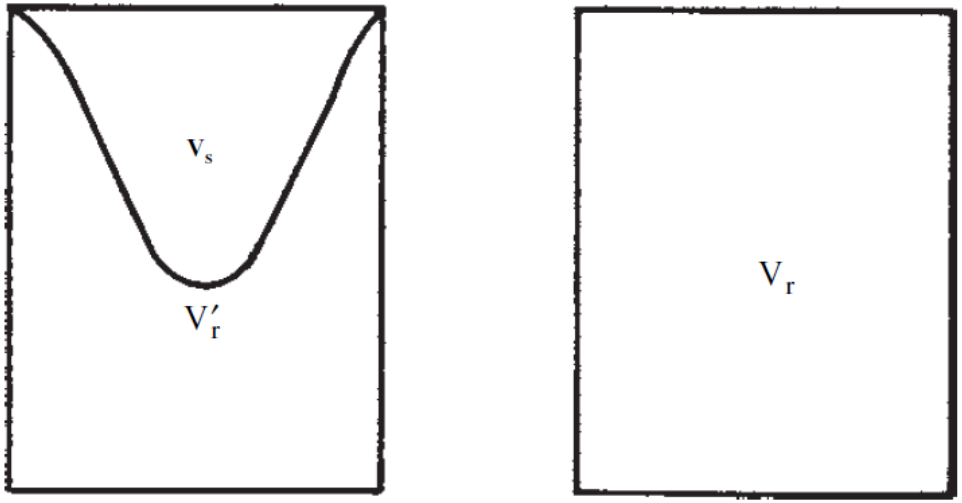
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

اصول طراحی و محاسبات تغذیه گذاری

شرط داشتن حجم کافی

اگر تغذیه‌ای به حجم V_r ، مطابق شکل درنظر گرفته شود، پس از انجماد و مذاب‌رسانی صحیح، حجم آن به V'_r می‌رسد. ($V_r > V'_r$ است.)



تغذیهٔ قبل و بعد از انجماد

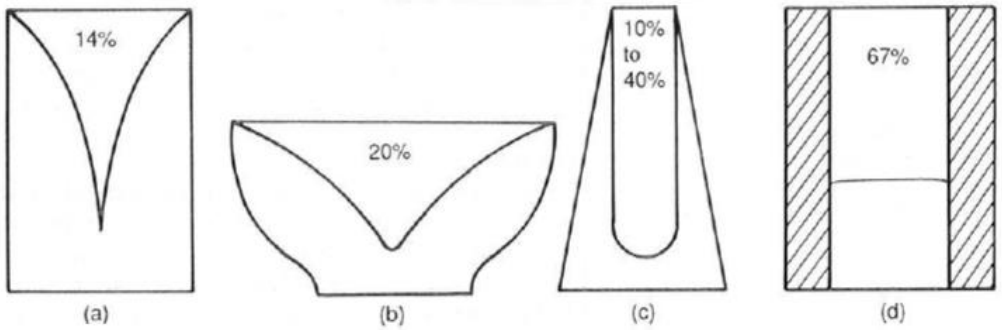
بدیهی است که اختلاف $V_r - V'_r = V_s$ حجم مذابی است که به مصرف جبران حجم ناشی از انقباض قطعه و تغذیه رسیده است.

نکتهٔ مهم این است که هرچه V'_r کوچکتر باشد و V_s به V_r نزدیکتر باشد، مذاب‌رسانی تغذیه بهتر انجام می‌گیرد و در نتیجه راندمان یا بازده تغذیه بیشتر است. راندمان تغذیه $R_r = \frac{V_r - V'_r}{V_r}$

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

اصول طراحی و محاسبات تغذیه گذاری

راندمان تغذیه



درصورتی که انقباض حجمی آلیاژ هنگام انجماد برابر β باشد $V'_r = V_r - \beta(V_r + V_c)$

از آن‌جایی که حجم تغذیه در حالت مذاب و جامد، به مصرف کمبود حجم انقباضی در قطعه و تغذیه رسیده است، بنابراین می‌توان نوشت : $V_r - V'_r = \beta(V_r + V_c)$

طرفین را بر V_r تقسیم می‌کنیم.

$$\frac{V_r - V'_r}{V_r} = \beta + \frac{\beta V_c}{V_r}$$

در رابطهٔ به جای $\frac{V_r - V'_r}{V_r}$ ، مقدار مساوی آن، یعنی R_r را قرار می‌دهیم و رابطه به صورت

$$R_r - \beta = \frac{\beta V_c}{V_r}$$

بنابراین حجم تغذیه باید حداقل برابر و یا از آن بزرگتر باشد.

$$V_r = \frac{\beta V_c}{R_r - \beta} \qquad V_r \geq \frac{\beta V_c}{R_r - \beta}$$

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

اصول طراحی و محاسبات تغذیه گذاری

مثال : مطلوب است محاسبهٔ حجم تغذیهٔ لازم برای قطعه‌ای به حجم ۵۰۰ سانتی‌متر مکعب در دو حالت زیر :

الف : تغذیه استوانه‌ای با مشخصات $H = ۱/۵D$ و راندمان تغذیه ۱۵ درصد.

ب : تغذیهٔ استوانه‌ای با مشخصات $H = D$ و با استفاده از مواد عایق و راندمان تغذیه ۵۵ درصد.

انقباض حجمی آلیاژ ۵٪ $= \beta$ است. علاوه بر آن، ابعاد تغذیه و مدول آن را در هر دو حالت فوق محاسبه کنید :

حل: حداقل حجم تغذیه لازم $V_r = \frac{\beta V_c}{R_r - \beta}$

در حالت اول : سانتی‌متر مکعب $V_r = \frac{۵۰۰ \times ۵}{۱۵ - ۵} = ۲۵۰$

در حالت دوم : سانتی‌متر مکعب $V_r = \frac{۵۰۰ \times ۵}{۵۵ - ۵} = ۵۰$

در حالت اول :

با توجه به شکل ۴ـ۶ در حالت الف $V_r = ۱۷۹ M_r^۳$

مدول تغذیه : $M_r = \sqrt[۳]{\frac{V_r}{۱۷۹}} = \sqrt[۳]{\frac{۲۵۰}{۱۷۹}} = ۱/۱$

قطر تغذیه : $D_r = ۵/۳۵ M_r = ۵/۳۵ \times ۱/۱ = ۵/۹۸ cm$

ارتفاع تغذیه : $H = ۸/۰۲ M_r = ۸/۰۲ \times ۱/۱ = ۸/۸۲ cm$

در حالت دوم با توجه به شکل ۴ـ۶ $V_r = ۱۶۹ M_r^۳$

مدول تغذیه : $M_r = \sqrt[۳]{\frac{V_r}{۱۶۹}} = \sqrt[۳]{\frac{۵۰}{۱۶۹}} = ۰/۶۷$

قطر و ارتفاع تغذیه : $D = H = ۶ M_r = ۶ \times ۰/۶۷ = ۳/۹۹ \approx ۴ cm$

Dr. A. Fayyaz

اصول طراحی و محاسبات تغذیه گذاری

شرط مذاب رسانی

تغذیه باید به تعداد و فواصل مورد نیاز بر روی قطعه طراحی شود تا امکان مذاب رسانی به تمام قسمت های مورد نیاز فراهم گردد.
برای جبران انقباض لازم است تا مذاب امکان رسیدن به مناطق مختلف قطعه را داشته باشد و به همین جهت تحقق چند شرط زیر ضروری است:

۱. انجماد جهت دار به سمت تغذیه

مدول موضعی قسمتهای مختلف قطعه باید به تدریج به سمت تغذیه افزایش یابد. از طرفی مقطع با مدول کوچکتر که در میان دو مقطع با مدول بزرگتر قرار گرفته (قطعه و تغذیه) زود تر منجمد می شود، لذا تغذیه قادر نخواهد بود انقباض قطعه را جبران کند. در چنین حالتی باید بر تعداد تغذیه ها اضافه کرد یا توسط مبرد برای قطعه یا مواد حرارت زا برای تغذیه، مدول مقاطع را تغییر داد.

۲. وجود گرادیان حرارتی کافی

برای انجام مذاب رسانی مناسب به درون قطعه باید حداقل گرادیان حرارتی بر قرار باشد. در چنین حالتی کانال های بین دندریتی و مناطقی از قطعه که هنوز به مذاب رسانی نیاز دارند با گرادیان حرارتی مناسب مذاب رسانی کافی صورت میگیرد. مثلا" برای آلیاژ های مس نیاز به گرادیان حرارتی ۲-۱ درجه سانتی گراد از قطعه به سمت تغذیه نیاز است.

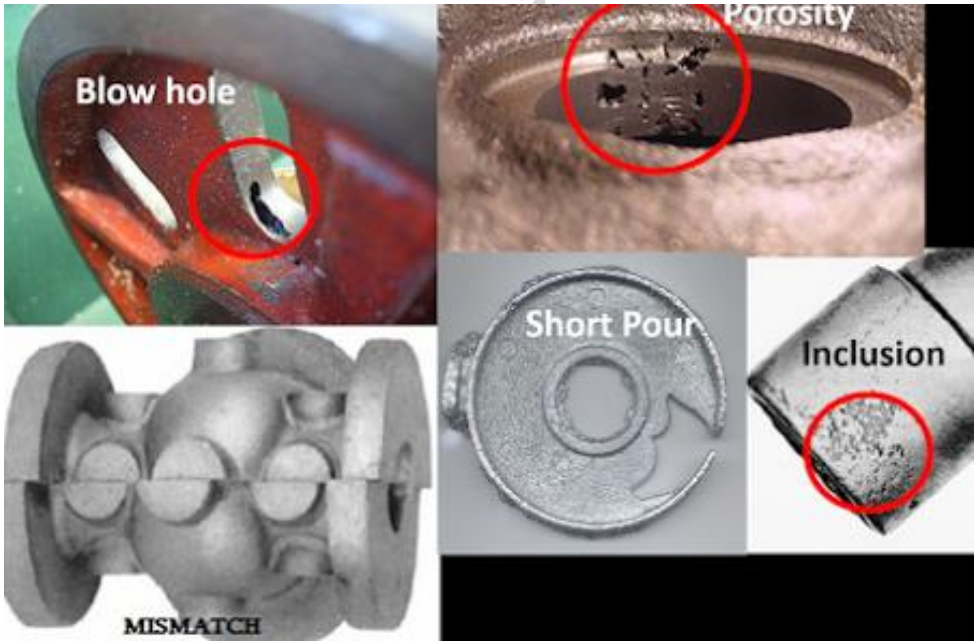
۳. فاصله مذاب رسانی

مذاب درون تغذیه جهت جبران انقباض قطعه فاصله محدودی را میتواند از میان کانالهای بین دندریتی عبور نماید. مثلا" در هنگام ریخته گری صفحاتی از جنس فولاد در قالب ماسه ای حداکثر فاصله مذاب رسانی بستگی به ضخامت قطعه دارد که معمولا" برابر (4.5T) است (T ضخامت قطعه فولادی میباشد).

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

عیوب حاصل از ریخته گری

عیوب حاصل از ریخته گری (casting defect) به کلیه عیوب، نارسایی ها و نواقصی اطلاق میگردد که از فقدان کامل محاسبات علمی و فنی، تکنولوژی،انتخاب غیر صحیح مواد،عدم کنترل فرآیند و تجهیزات نامناسب، حاصل شده و قطعه یا قطعات ریختگی را در محدوده خارج از استاندارد پذیرش قرار میدهد.



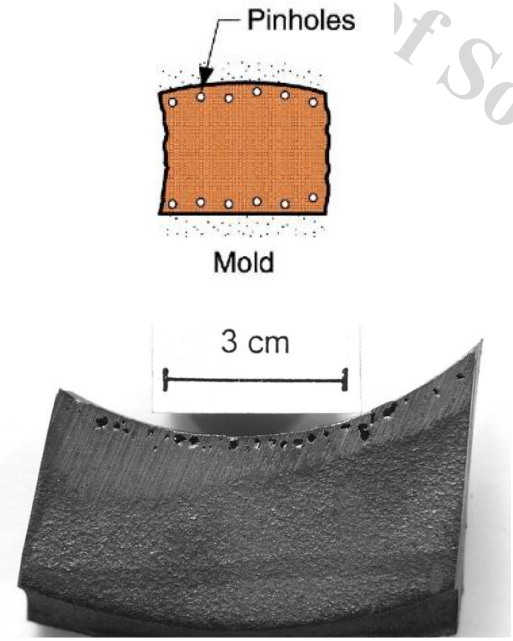
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

عیوب حاصل از ریخته گری

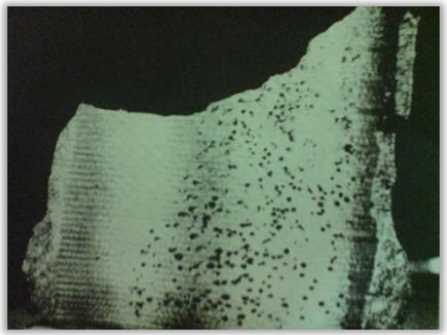
حفرات گازی (مک گازی) Gas Cavities (Blow holes)

حفره های کروی یا کشیده که معمولا" دارای دیواره های صاف هستند. در رو یا زیر قطعات ریختگی ایجاد میشود.



علل ایجاد:

۱. به دام افتادن هوا در خلال ریختن فلز مذاب به داخل حوضچه بارریزی
۲. تولید گاز در اثر واکنش بین فلز مذاب ومواد قالب یا ماهیچه یا در اثر تخریب درون ماسه یا تماس مذاب با چسب روغنی ماهیچه همچنین عدم حذف کامل مدل مومی از درون قالب می تواند باعث ایجاد مشکل شود.
۳. واکنش شیمیایی که در فلز مذاب حین سرد شدن به وجود می آید. مانند واکنش زیر که در شمشهای فولاد ریختگی: $FeO + C \rightarrow Fe + CO$
۴. در اثر آزاد شدن گاز در خلال انجماد (عدم حلالیت گاز درون فلز پس از انجماد). مانند آزاد شدن هیدروژن ازآلومینیوم که حفره های کوچک (Pinhole)) یا حفره بزرگ ایجاد می کند.



روشهای جلوگیری:

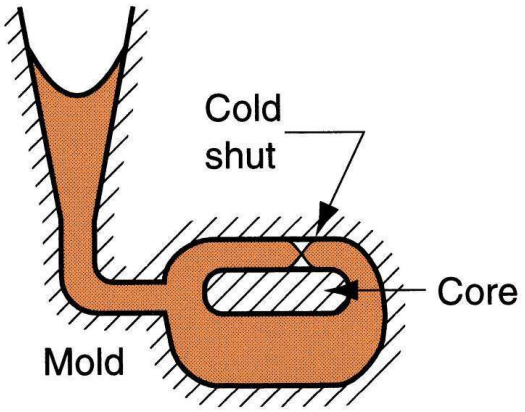
۱. دقت در حین بارریزی و تعبیه هواکش های بیشتر در قالب
۲. خشک کردن دقیق مواد قالبگیری قبل از بارریزی جهت کاهش رطوبت و آماده سازی و پخت دقیق ماهیچه
۳. افزودن موادی جهت از بین بردن مواد واکنش دهنده
۴. استفاده از روش های مختلف گاززدایی

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

عیوب حاصل از ریخته گری

سردجوشی Cold Shut

دو جبهه جریان مذاب که به همدیگر رسیده اند به دلیل سرد شدن زودهنگام در هم نفوذ نمی نمایند (محل برخورد آنها با صورت ترك و چروك دو سطح قطعه به همراه لایه های اکسید ظاهر می شود).



علل ایجاد:

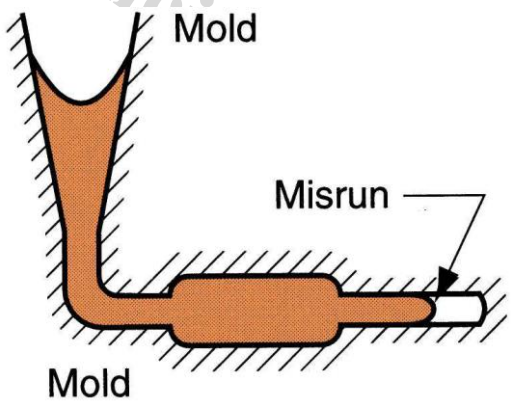
۱. سیالیت ناکافی مذاب
۲. استفاده از سیستم راهگاهی نامناسب
۳. بارریزی منقطع
۴. فوق گداز کم

روشهای جلوگیری:

۱. افزایش دمای فوق گداز
۲. پیشگرم کردن قالب
۳. تغییر محل راهبار و راهباره ها
۴. بارریزی یکنواخت و مداوم

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

عیوب حاصل از ریخته گری

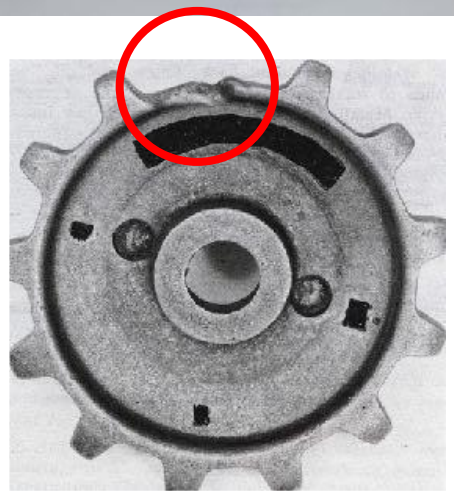


نیامد (پر نشدن کامل قالب) Misrun (Incomplete casting)

پر نشدن قالب و عدم تکمیل قطعه ریختگی توسط مذاب

علل ایجاد:

۱. سیالیت مذاب کافی نیست.
۲. دمای ریختن کم است.
۳. ریختن خیلی آهسته انجام شده است.
۴. سطح مقطع خیلی کم است.
۵. طراحی اشتباه سیستم راهگاهی
۶. عدم وجود هواکش کافی در قالب



روشهای جلوگیری:

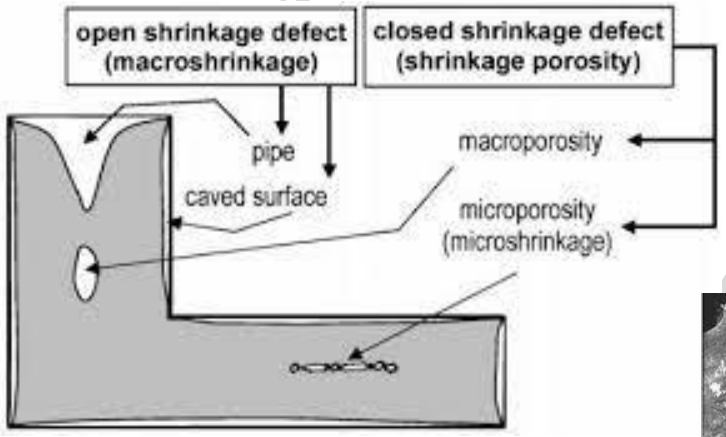
۱. افزایش دمای بارریزی
۲. اصلاح محل،اندازه و تعداد راهبارها
۳. اصلاح محل و تعداد هواکش

Dr. A. Fayyaz

عیوب حاصل از ریخته گری

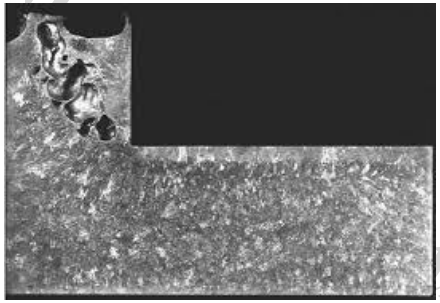
حفرات انقباضی و کشیدگی Shrinkage

در اثر انقباض مذاب در حین انجماد در قطعه ریختگی تورفتگی سطحی یا حفرات انقباضی میکروسکوپی و ماکروسکوپی ایجاد میشود.



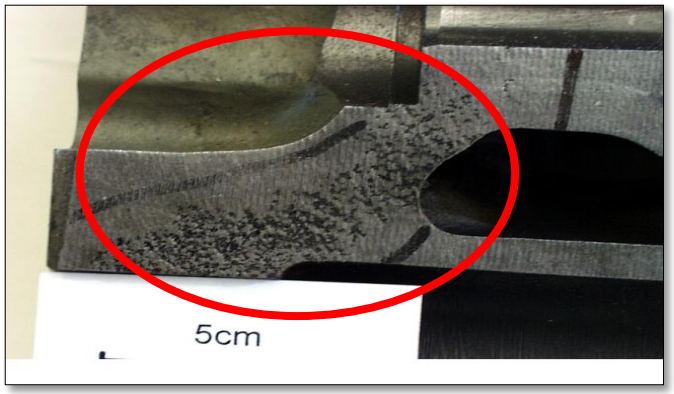
علل ایجاد:

۱. انقباض فلز در حین انجماد
۲. عدم وجود انجماد جهت دار به سمت مرکز حرارتی مناسب



روشهای جلوگیری:

۱. استفاده از تغذیه
۲. قرار دادن تغذیه در محل مناسب
۳. استفاده از فوق گداز بالاتر
۴. استفاده از مواد عایق و گرمازا
۵. استفاده از مبردها
۶. استفاده از مواد عایق در بالای قا لب در شمشها



Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

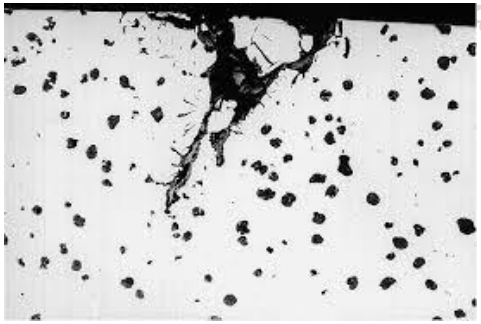
عیوب حاصل از ریخته گری

آخال اکسیدی و سرباره Oxide and Dross Inclusion

به دام افتادن اکسید های سطحی یا سایر مواد خارجی و ناخالصیها در طی بارریزی در قطعه ریختگی و افت خواص مکانیکی

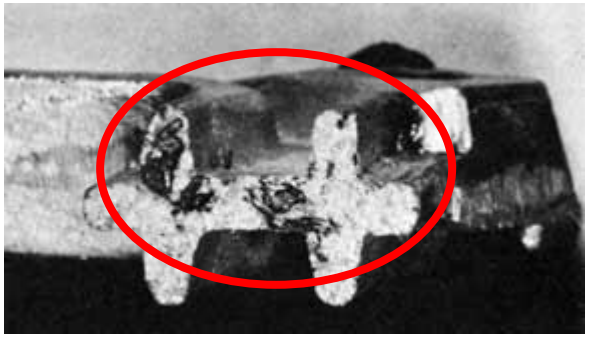
علل ایجاد:

۱. عدم سرباره گیری مناسب و کافی قبل از بارریزی
۲. شارژ کثیف و زنگ زده کوره
۳. سیستم راهگاهی نا مناسب که نمیتواند از ورود ناخالصیها جلوگیری نماید.
۴. شسته شدن ماسه توسط مذاب



روشهای جلوگیری:

۱. افزودن فلاکس (سرباره ساز) برای حذف آخال ها
۲. جلوگیری از ورود هوا
۳. استفاده از فیلترها در مسیر مذاب
۴. اصلاح سیستم راهگاهی
۵. کنترل کیفیت شارژ کوره
۶. سرباره گیری و کنترل ورود ناخالصیها به داخل قطعه
۷. دادن استحکام کافی به ماسه قالب



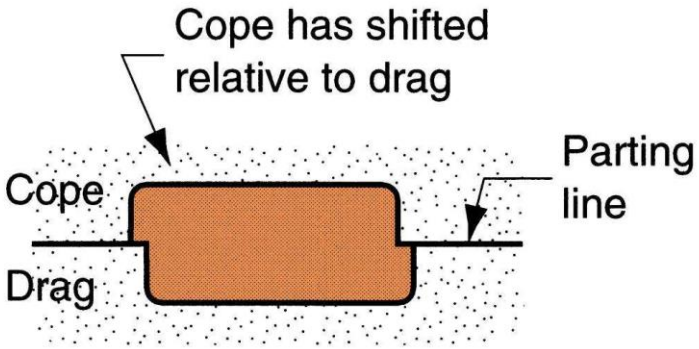
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

عیوب حاصل از ریخته گری

عدم انطباق Mismatch

در اثر حرکت کردن دو نیمه قالب نسبت به همدیگر عدم انطباق ایجاد میشود.

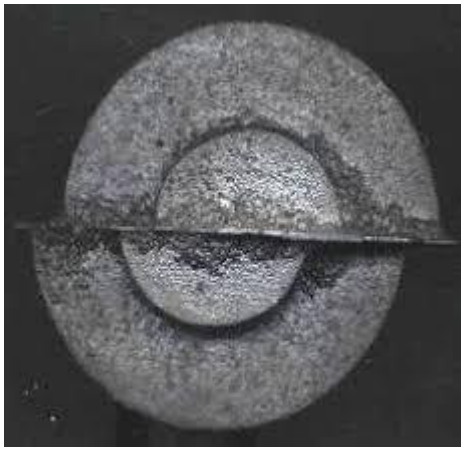


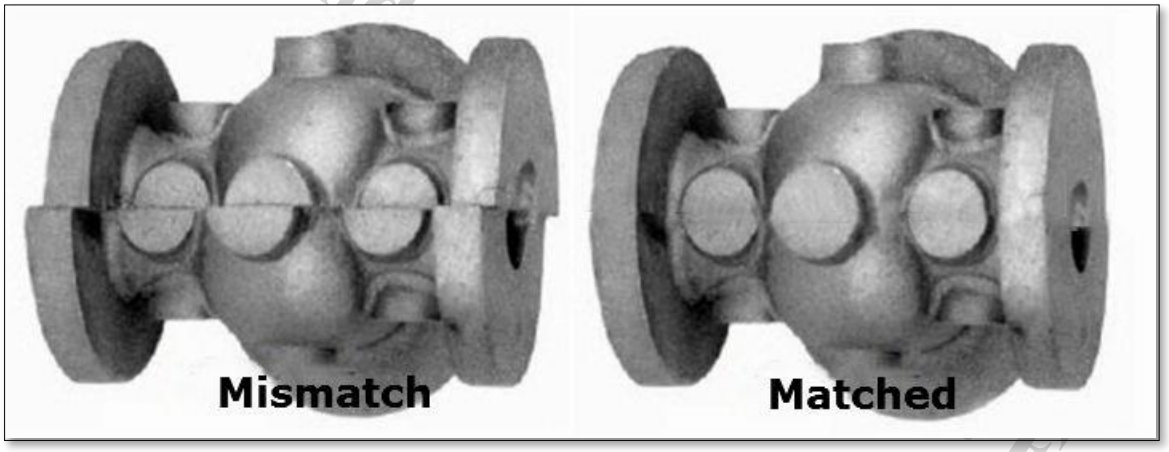
علل ایجاد:

۱. حرکت کردن دو نیمه قالب نسبت به یکدیگر

روشهای جلوگیری:

۱. دو نیمه قالب باید دقیقا روی هم قرار گرفته و بسته شوند.



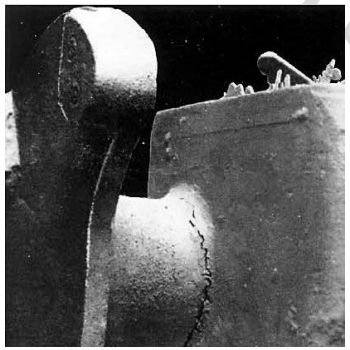


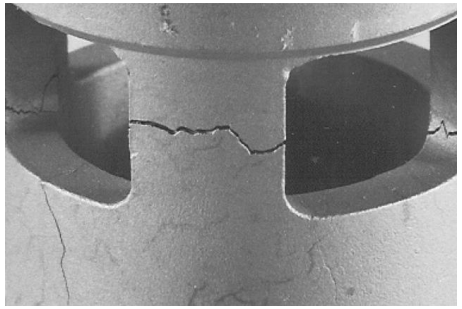
Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

عیوب حاصل از ریخته گری

ترک و شکستگی (ترکهای انقباضی) Cracking & Tearing

تمرکز حرارتی یا شیب حرارتی بالا در گوشه های زاویه دار.اگر ترك در خلال آخرین مراحل انجماد ایجاد گردد به آن ترك گرم می گویند. ترکهای انقباضی در طی مرحله ای که فلز جامد شده است ولی دمای آن هنوز بالا بوده و استحکام مکانیکی قطعه پایین است ایجاد می گردند.





علل ایجاد:

۱. تغییر ناگهانی در سطح مقطع
۲. جلوگیری از انقباض آزاد قطعه ریختگی در اثر تمرکز یا شیب حرارتی زیاد و سخت بودن قالب که حرکت نسبی مقاطع گوناگون را محدود میکند.
۳. ضربه خوردن به قطعه
۴. سریع خارج کردن قطعه از قالب

روشهای جلوگیری:

۱. ساختن قالب و ماهیچه با قابلیت تخریب بیشتر با افزودن موادی نرم مانند سلولز به قالب یا به حداقل رساندن تراکم در خلال قالب گیری
۲. اصلاح طراحی برای جلوگیری از تغییرات ناگهانی سطح مقطع
۳. اصلاح سیستم راهگاهی و کنترل شیب حرارتی مناسب با استفاده از مبردها
۴. عدم خروج سریع قطعه از قالب

Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

عیوب حاصل از ریخته گری

پلیسه Flash

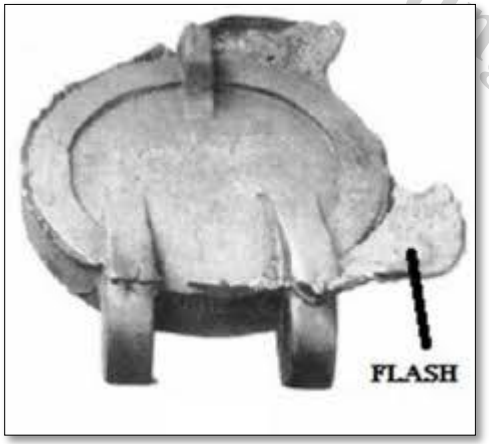
ایجاد زوائد اضافی در اطراف قطعه پس از ریخته گری

علل ایجاد:

۱. عدم جفت شدن صحیح دو درجه بر روی یکدیگر
۲. وجود ترك در قالب یا ماهیچه

روشهای جلوگیری:

۱. اتصال محکم درجه ها
۲. سخت کردن سطوح ماهیچه و قالب
۳. کاهش درجه حرارت فوق گداز برای کاهش سیالیت مذاب



Principles of Solidification and Casting - Dr. A. Fayyaz

ریخته گری با قالبهای مصرف شدنی و انواع آن

Principles of Solidification and Casting
Dr. A. Fayyaz

ریخته گری با قالبهای دائمی و انواع آن

Principles of Solidification and Casting
Dr. A. Fayyaz