به نام خدا

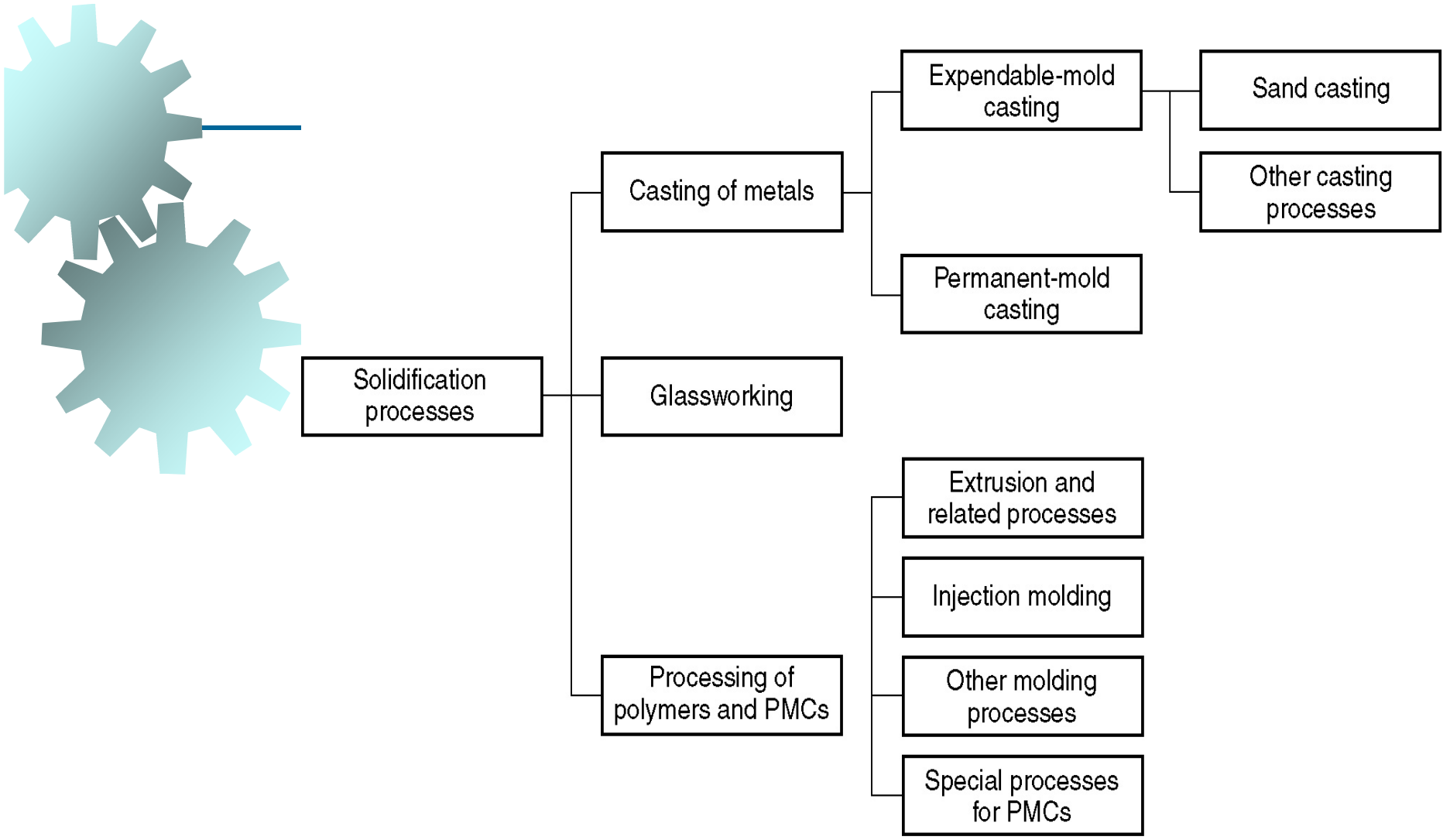
ریخته گری فلزات
Metal Casting

ریخته گری فلزات

۱. مروری بر تکنولوژی ریخته گری
۲. ریخته گری در ماسه
۳. ریخته گری دقیق
۴. دایکاست
۵. ریخته گری گریز از مرکز

Solidification Processes

- فرآیند انجماد بر اساس مواد مهندسی فرآوری شده طبقه بندی می شود:
  - فلزات
  - سرامیکها، خصوصاً شیشه
  - پلیمرها و کامپوزیتهای زمینه پلیمری



Classification of solidification processes.

ریخته گری

فرآیندی است که طی آن مذاب توسط نیروی جاذبه یا نیروهای دیگری درون محفظه قالب جریان پیدا کرده و به شکل محفظه قالب منجمد می شود.

- گامهای ریخته گری:

۱. مذاب فلز

۲. ریختن مذاب در قالب

۳. انجماد مذاب

قابلیتها و مزایای ریخته گری

- تولید قطعات با شکلهای هندسی پیچیده که با روشهای دیگر قابل تولید نیستند
- ایجاد اشکال داخلی و خارجی
- برخی فرآیندهای ریخته گری قطعه را بصورت شکل نهایی تولید کرده برخی دیگر نزدیک به شکل نهایی
- برای تولید قطعات خیلی بزرگ مناسب است (بیشتر از ۱۰۰ تن)
- هر قطعه ای که قابل ذوب شدن باشد قابل ریخته گری است
- برخی فرآیندهای ریخته گری برای تولید انبوه مناسب هستند
- برای پلیمرها و سرامیکها مناسب است

معایب ریخته گری

- محدودیتهایی در خواص مکانیکی
- کیفیت سطح و دقت ابعادی در بیشتر فرآیندها بخصوص ریخته گری در ماسه ضعیف بوده و نیاز به عملیاتهای تکمیلی است.
- مذاب خطرات جانی برای کارگر دارد
- مشکلات و آلودگیهای محیطی

قطعات ساخته شده در ریخته گری

- قطعات بزرگ:
  - غلتکهای نورد، بدنه و سرسیلندر موتور اتومبیل، چرخ قطار، بدنه ماشینهای ابزار، لوله ها و .....
- قطعات کوچک:
  - تاج دندان، جواهرآلات، مجسمه های کوچک، ماهی تابه و ...

مروری بر تکنولوژی ریخته گری

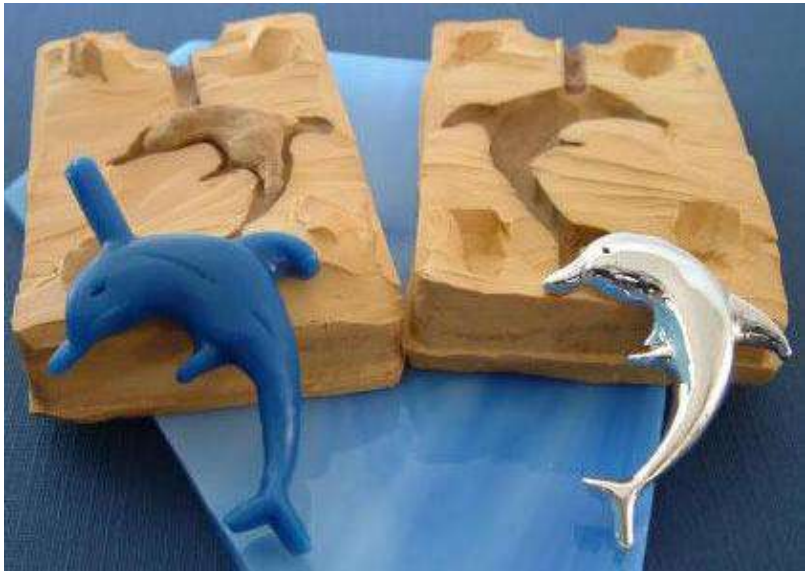
- ریخته گری معمولا در یک ***Foundry*** *(کارگاه ریخته گری) انجام می شود:*

Foundry = factory equipped for

- ساختن قالب
- ذوب کردن و جابجایی مذاب فلزی
- اجرای فرآیند ریخته گری
- تمیز کردن فلز ریخته شده

قالب ریخته گری

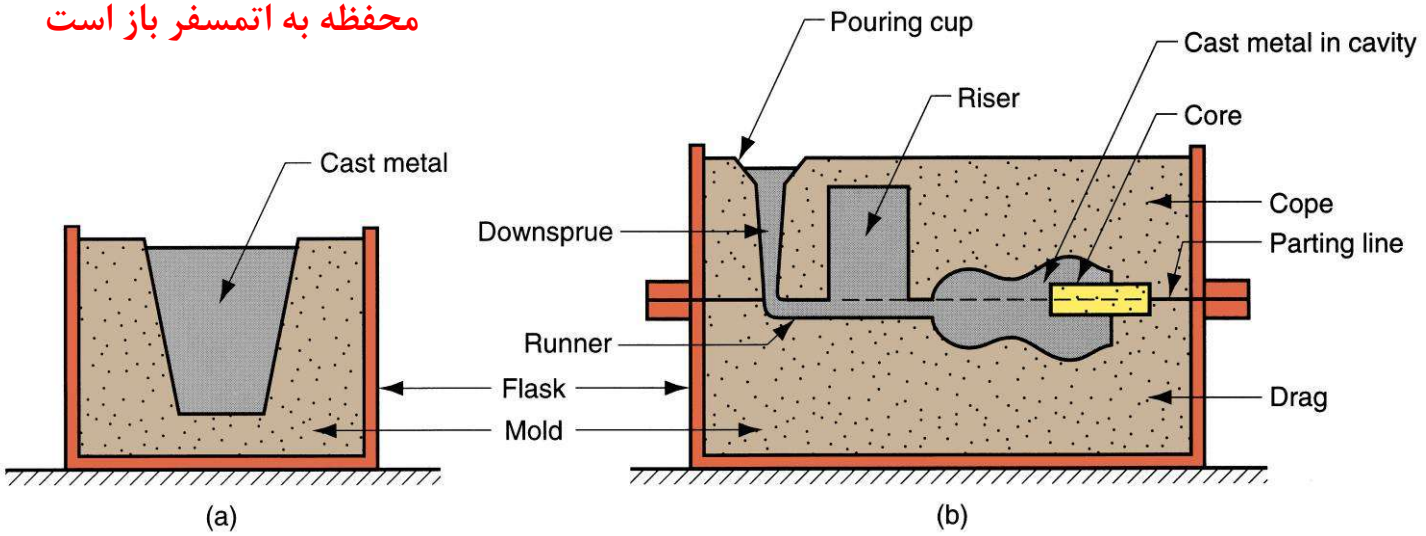
- قالب شامل محفظه ای (حفره و ماهیچه) است که شکل قطعه را بوجود می آورد.
  - به خاطر انقباض فلز پس از انجماد، ابعاد محفظه باید اندکی بزرگتر از اندازه واقعی قطعه در نظر گرفته شود.
  - قالب از جنسهای مختلفی مانند ماسه، گچ، پلاستیک، چوب، فلز و سرامیک ساخته می شود.



قالبهای باز و بسته

محفظه بسته است

محفظه به اتمسفر باز است



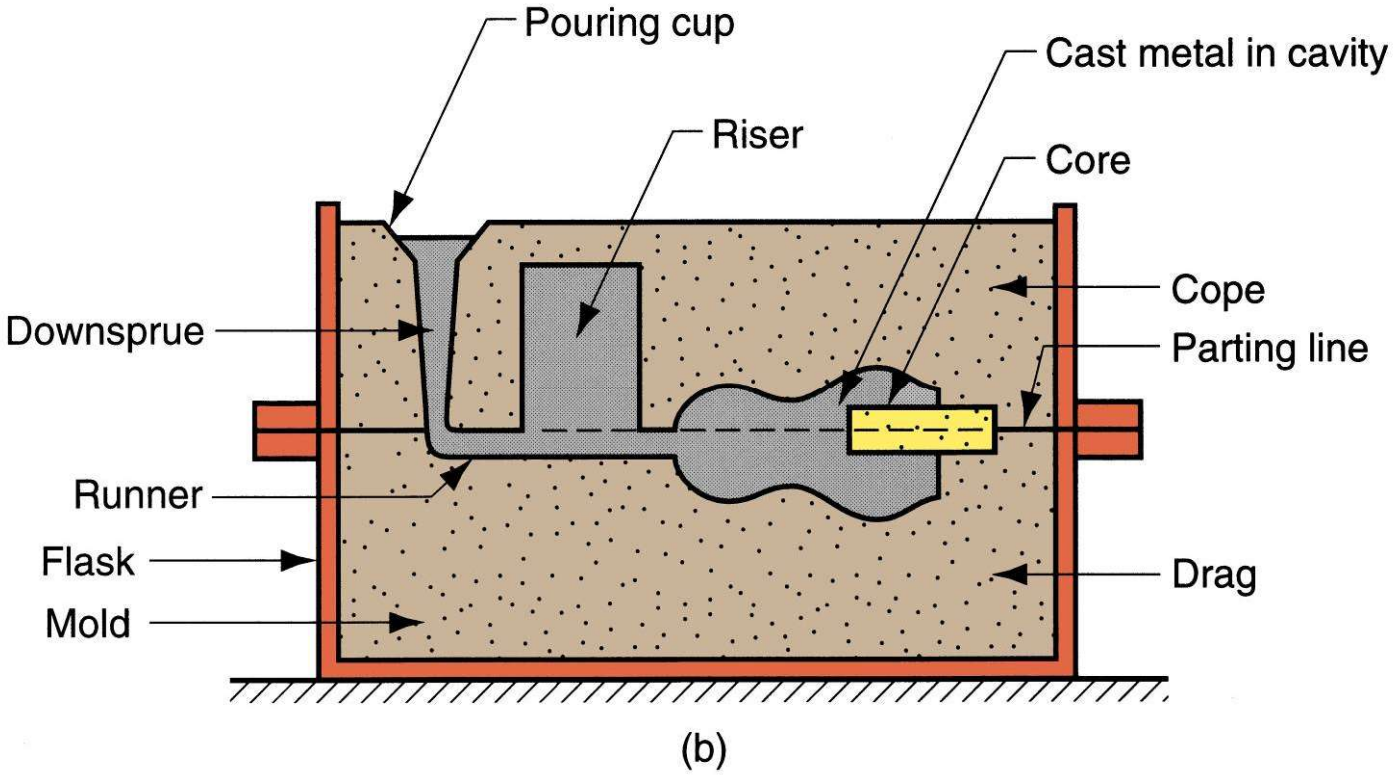
a) قالب باز برای تولید قطعات ساده استفاده می شود.

b) قالب بسته برای تولید قطعات پیچیده استفاده می شود.

دو دسته بزرگ فرآیندهای ریخته گری

۱. **ریخته گری در قالبهای موقت (expendable)**: پس از عملیات ریخته گری قالب تخریب می شود.
   - **مواد قالب:** ماسه، گچ، سرامیک و ...
۲. **ریخته گری در قالب دائم:** پس از ریخته گری قالب تخریب نمی شود.
   - معمولا قالب از جنس فلز ساخته می شود.

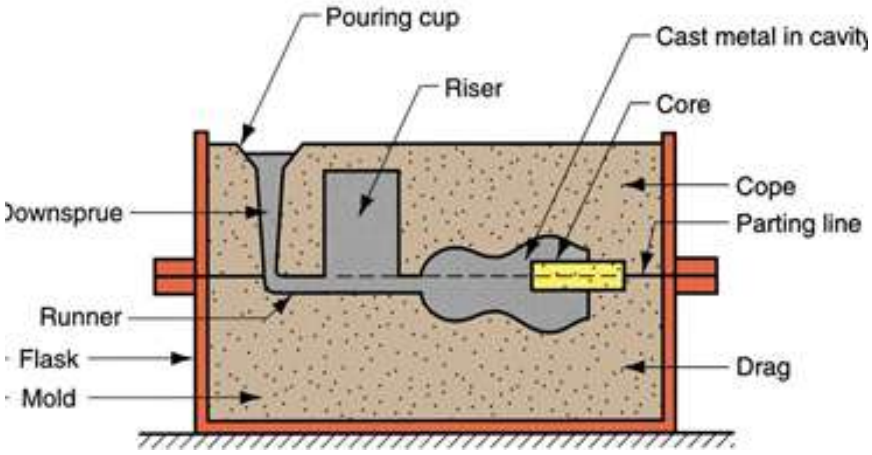
قالب ریخته گری در ماسه



Sand casting mold.

اجزاء قالب ماسه ای

- قالب شامل دو نیمه است:
  - ***Cope*** = *نیمه بالایی*
  - ***Drag*** = *نیمه پایینی*
- نیمه های قالب در محفظه ای که **درجه** نامیده می شود شکل می گیرند.
- دو نیمه قالب توسط **خط جدایش** از یکدیگر جدا می شوند.



شکل دادن حفره قالب

- ***حفره*** *شکل بیرونی قطعه با توجه به انقباض مجاز است.*

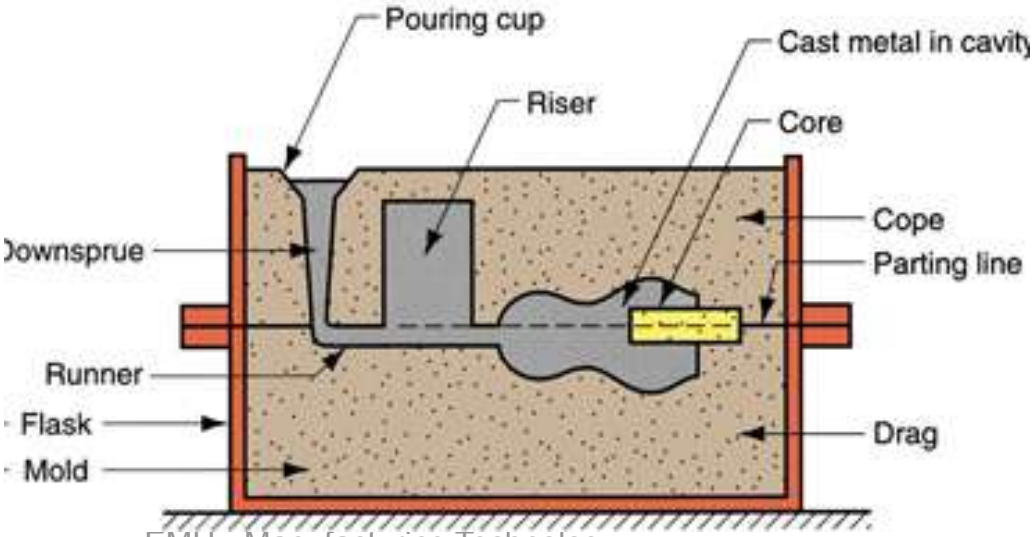
مدل: *همان شکل قطعه با توجه به انقباض مجاز*

ماسه تر: *با اضافه کردن چسب (خاک رس) و آب به ماسه شکل می گیرد.*

- حفره قالب با احاطه شدن مدل توسط مایع شکل می گیرد.

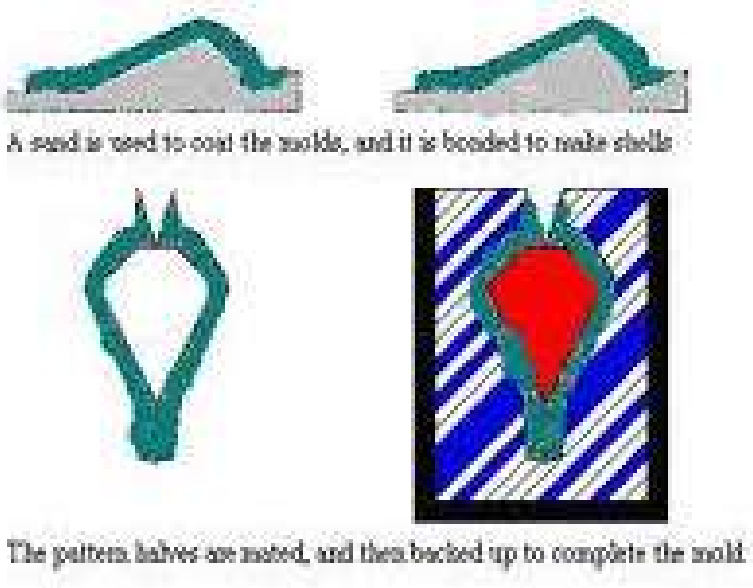
با برداشتن مدل از درون قالب محفظه شکل گرفته و آماده ذوب ریزی است.

- در طراحی مدل باید انقباض قطعه در نظر گرفته شود.



استفاده از ماهیچه در حفره قالب

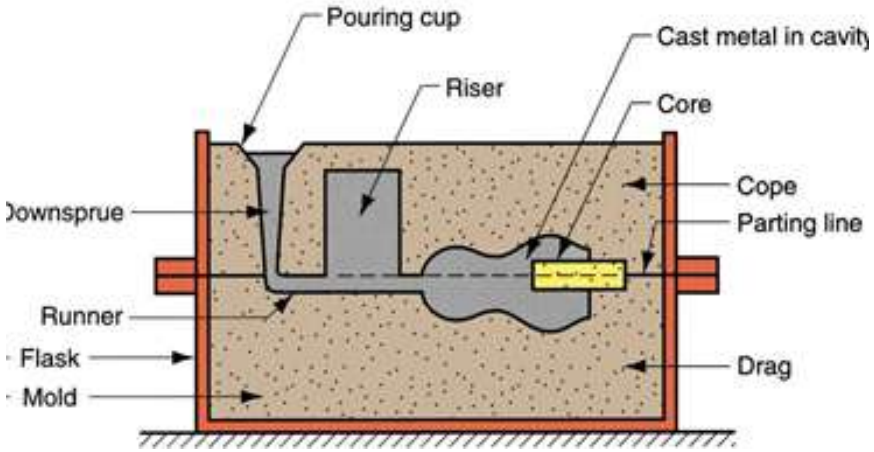
- **حفره** شکل بیرونی قطعه را ایجاد می کند.
- ***ماهیچه*** *شکل درونی قطعه را بوجود می آورد.*
- در ریخته گری در ماسه، ماهیچه از جنس ماسه ساخته می شود.

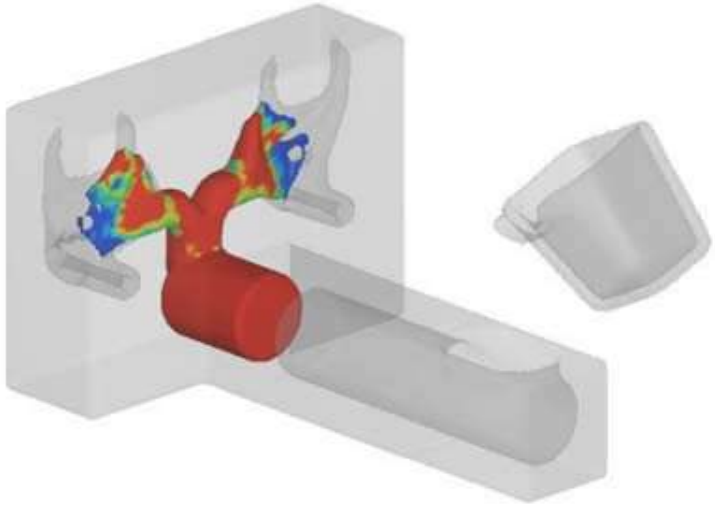


سیستم ورودی مذاب

شامل کانال یا کانالهایی است که مذاب را از بیرون به درون حفره منتقل می کند.

- آن شامل اسپرو، رانر (راهباره) و گیت (ورودی) است.
- در بالای اسپرو **حوضچه مذاب** قرار دارد که باعث می شود مذاب آرام وارد اسپرو شود.

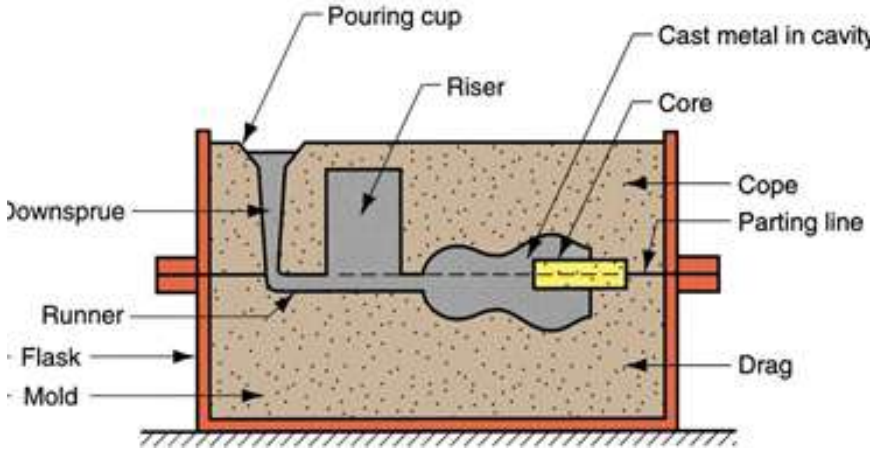




تغذیه (Riser)

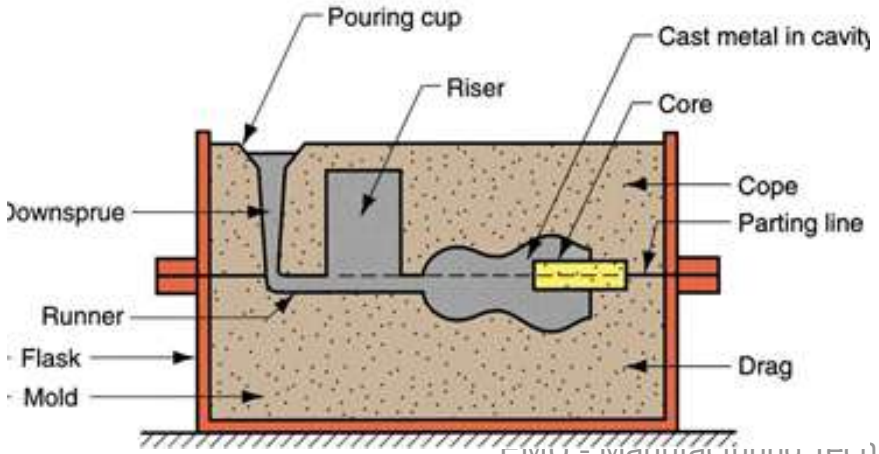
آن مخزنی است داخل قالب که برای جبران مذاب ناشی از انقباض استفاده می شود.

پس از انقباض مذاب فلزی، به خاطر کمبود مذاب، حفرات انقباضی در قطعه بوجود می آید که استفاده از تغذیه مانع آن می شود.



ریختن مذاب فلزی

- برای موفقیت آمیز بودن این مرحله، مذاب فلزی باید قبل از انجماد در همه قسمتهای قالب جریان یابد، مخصوصاً حفره، قبل از اینکه منجمد شود.
- عوامل تعیین کننده این موفقیت:
  - **دمای ریختن**
  - **نرخ ریختن**
  - **توربولانس**
- **دمای ریختن** باید از دمای ذوب بیشتر بوده تا مطمئن شویم مذاب به همه قسمتها قبل از منجمد شدن رسیده است.



ریختن مذاب فلزی

نرخ ریختن نه باید خیلی زیاد بوده و نه خیلی آهسته. اگر آهسته ریخته شود احتمال انجماد وجود دارد و همچنین امکان سرد شدن وجود دارد.

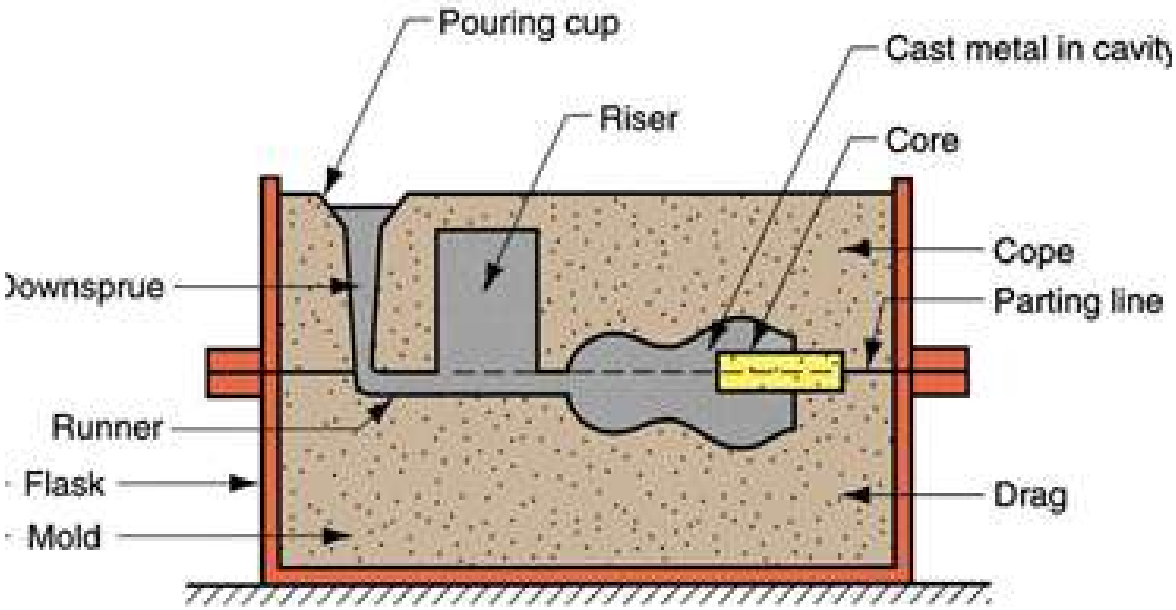
توربولانس مذاب باید حداقل باشد زیرا باعث شود حباب های هوا داخل مذاب حبس شود. از طرفی توربولانس باعث اکسید شدن سطح داخلی قطعه می شود.

آنالیز مهندسی ذوب ریختن ذوب

NOT INCLUDED

- Flow Velocity: $v = \sqrt{2gh}$ (From Bernoulli's Eqn)
- Vol. Flow Rate: $Q = v_1A_1 = v_2A_2$ (Continuity Law)
- Time to Fill Mold Cavity: $T_{MF} = V/Q$

1. **v: velocity of liquid metal at base of sprue in cm/sec; g: 981cm/sec.sec; h: height of sprue in cm**
2. **v_1: velocity at section of area A_1; v_2: velocity at section of area A_2**
3. **V: volume of mold cavity**



محاسبه پارامترهای ریختن ذوب: مثال

NOT INCLUDED

- Height of sprue (h) = 20cm; X-sectional area at sprue base = 2.5cm2; Vol. of cavity (V)= 1560cm3

a. Velocity of molten metal (v):

$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(981)(20)}$ 198.1cm/s

b. Volumetric flow rate (Q):

Q= vA= (198.1)(2.5)= 495 cm3/s

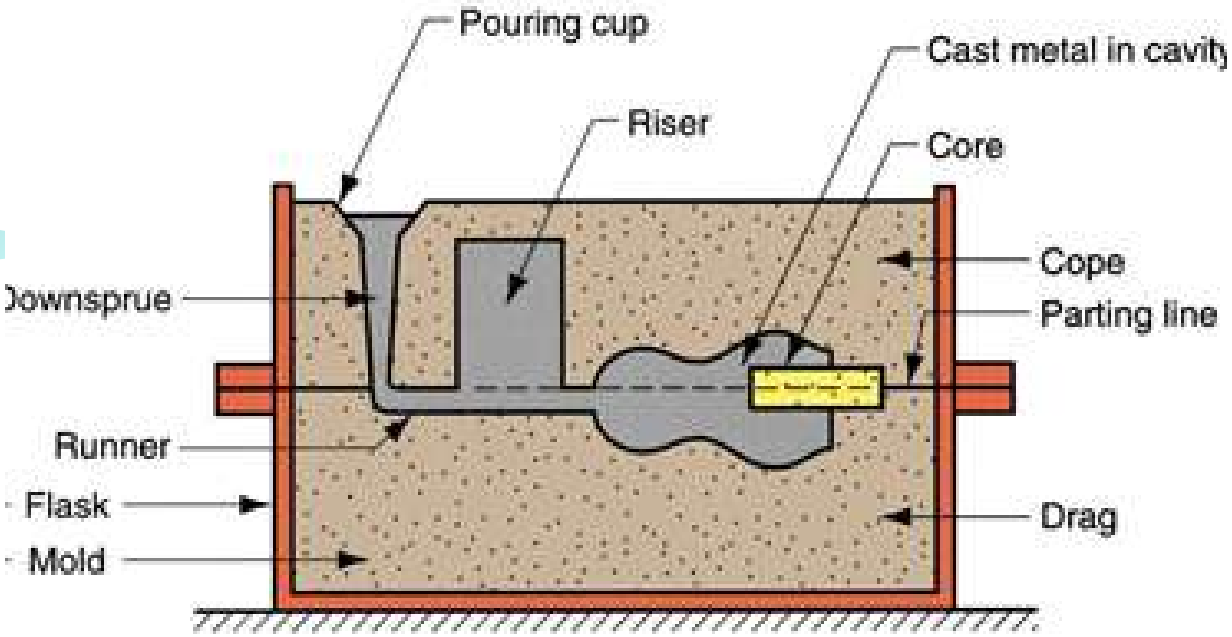
c. Time required to fill mold cavity (T_{MF}):

T_{MF}= V/Q= 1560/495= 3.2s

۱. اگر سطح مقطع اسپرو در ورودی 5cm2 باشد، سرعت مذاب را در ورودی اسپرو محاسبه کنید.

۲. سرعت و نرخ مذاب را هنگامی که مذاب در نیمه راه اسپرو است را محاسبه کنید.

چرا اسپرو مخروطی است؟؟



- به خاطر اینکه دبی حجمی مذاب (Q=VA) ثابت باشد. با افزایش ارتفاع مذاب از سطح قالب، سرعت آن افزایش یافته در نتیجه دبی حجمی افزایش یافته باعث گیرافتادن هوا در مذاب می شود.

سیالیت

معیاری از قابلیت جریان یافتن مذاب قبل از انجماد است.

- سیالیت معکوس ویسکوزیته است.

عواملی که سیالیت را تحت تاثیر قرار می دهند:

- دمای ریختن نسبت به دمای ذوب
- ترکیب مذاب
- ویسکوزیته مذاب فلزی
- انتقال حرارت

انجماد فلزات

آن عبارتست از بازگشت مذاب فلزی به حالت جامد.

- انجماد بسته به اینکه نوع مذاب فلزی کدامیک از موارد زیر است متفاوت است:
  - یک عنصر خالص
  - یک آلیاژ
  - یک آلیاژ یوتکتیک

انجماد: فلز خالص

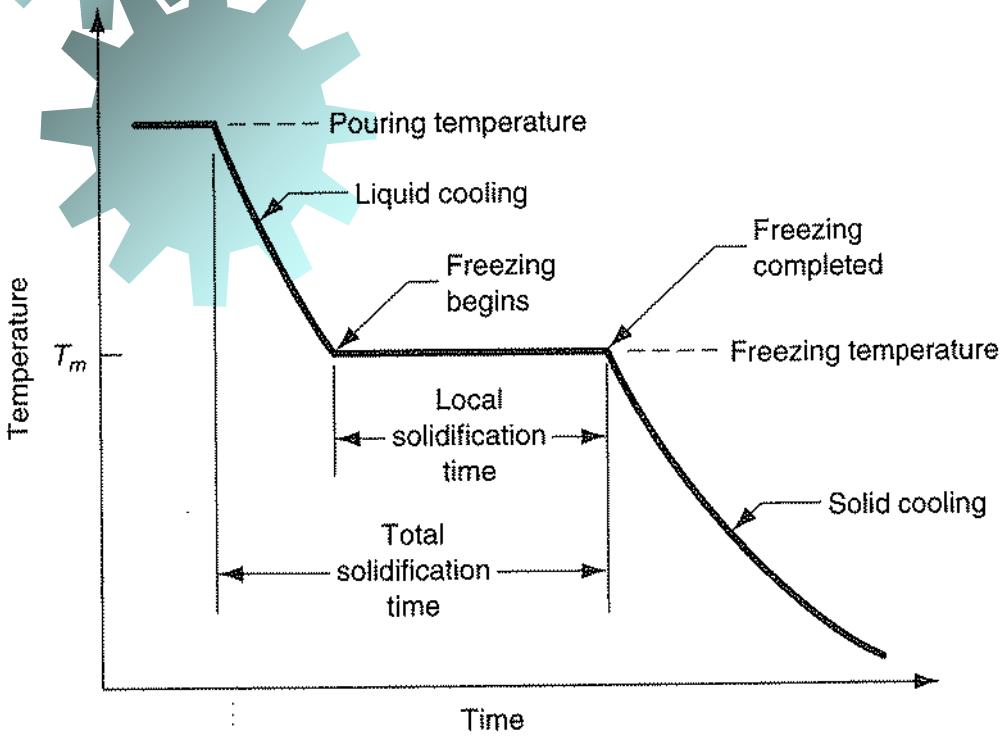


FIGURE 10.4 Cooling curve for a pure metal during casting.

- **منحنی سرد شدن:**
- انجماد فلز خالص در یک دمای ثابت برابر با دمای انجماد رخ می دهد.
- زمان انجماد محلی= زمانی که انجماد شروع شده تا موقعی که به اتمام می رسد.
- زمان انجماد کل: زمان از ریختن مذاب تا انجماد کامل قطعه
- بعد از اتمام فرآیند انجماد قطعه سرد شده تا به دمای محیط برسد.

انجماد: فلز خالص

- به خاطر انتقال حرارت بالا در دیواره قالب، بلافاصله بعد از ریختن مذاب پوسته نازکی از فلز منجمد در فصل مشترک دیواره قالب و مذاب شکل می گیرد.
- در این پوسته، به خاطر سرعت بالای سرد شدن، ریزساختار بصورت دانه های ریز و تصادفی است.
- همانطور که انجماد پیش می رود دانه ها در جهت انتقال حرارت کشیده می شوند.

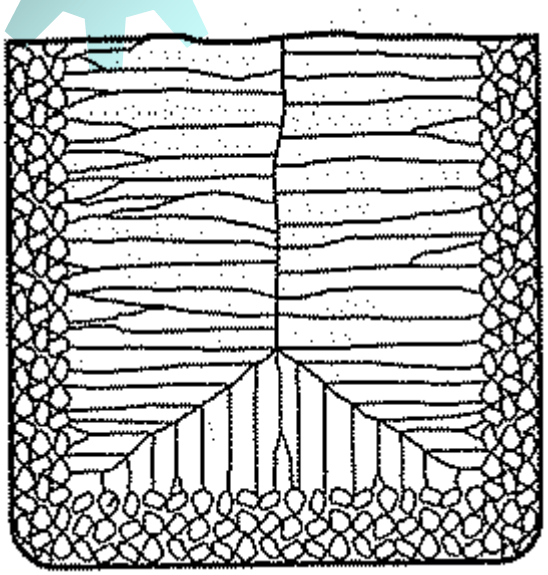


FIGURE 10.5 Characteristic grain structure in a casting of a pure metal, showing randomly oriented grains of small size near the mold wall, and large columnar grains oriented toward the center of the casting.

انجماد: بیشتر آلیاژها

- بیشتر آلیاژها به جای اینکه در یک نقطه منجمد شوند در دامنه ای از دما منجمد می شوند.
- انجماد از دمای مذاب شروع شده و تا دمای انجماد، منجمد می شود.
- مانند فلزات خالص، بلافاصله پس از ریختن مذاب پوسته نازکی از فلز منجمد شده در فصل مشترک مذاب و دیواره قالب تشکیل می شود.

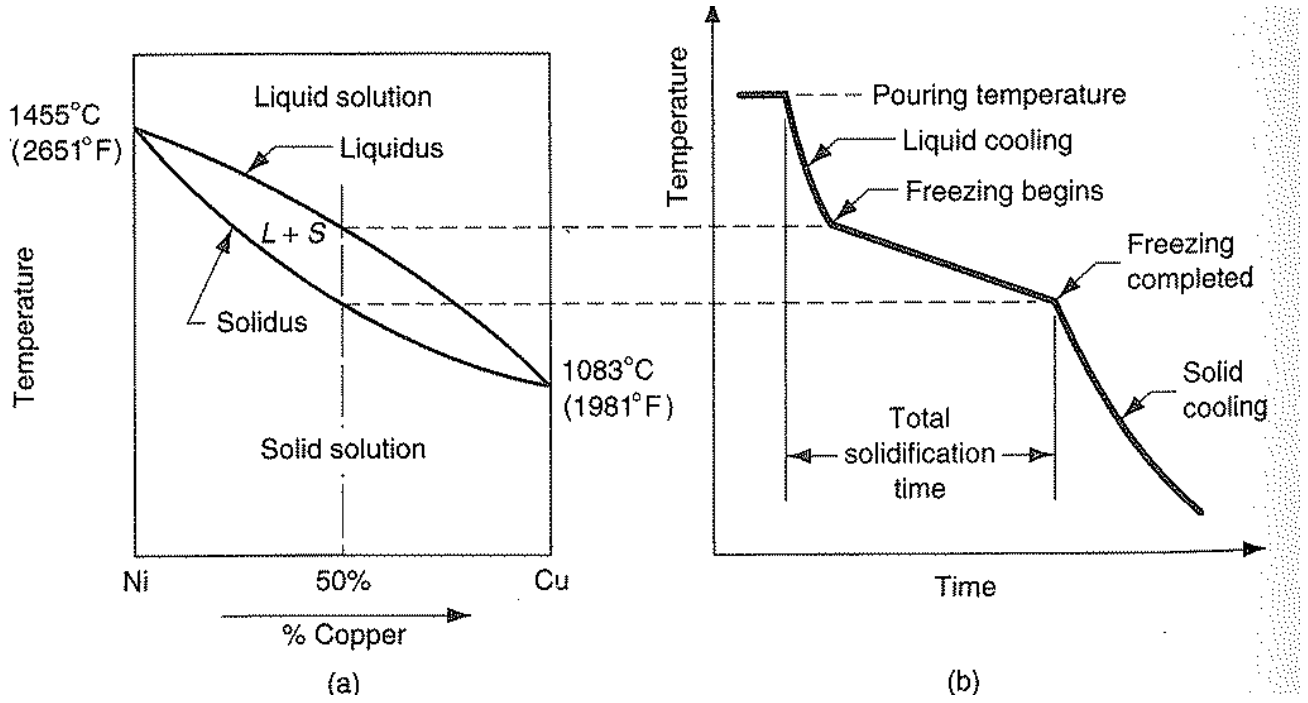
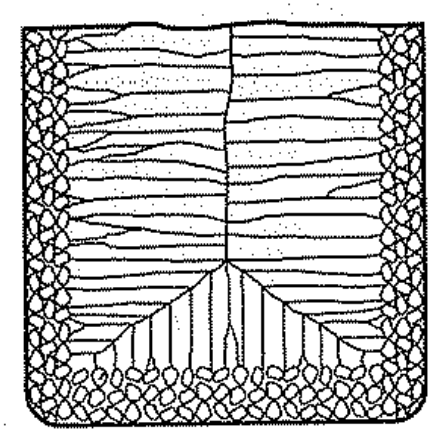
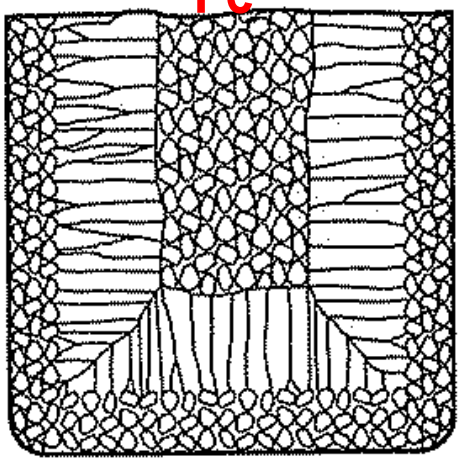


FIGURE 10.6 (a) Phase diagram for a copper–nickel alloy system and (b) associated cooling curve for a 50%Ni–50%Cu composition during casting.

انجماد: بیشتر آلیاژها





- دندریتها کم کم شکل می گیرند. اما با توجه به دامنه وسیع دمایی بین خط انجماد و خط مذاب، بخشی از مذاب رودتر منجمد شده و نسبت به بخشی که دیرتر سرد می شود دانه هایش بیشتر در جهت انتقال حرارت رشد می کند.
- در نتیجه مذاب فلزی در مرکز قطعه دیرتر سرد شده و درنتیجه ساختار ریزدانه گرد است.

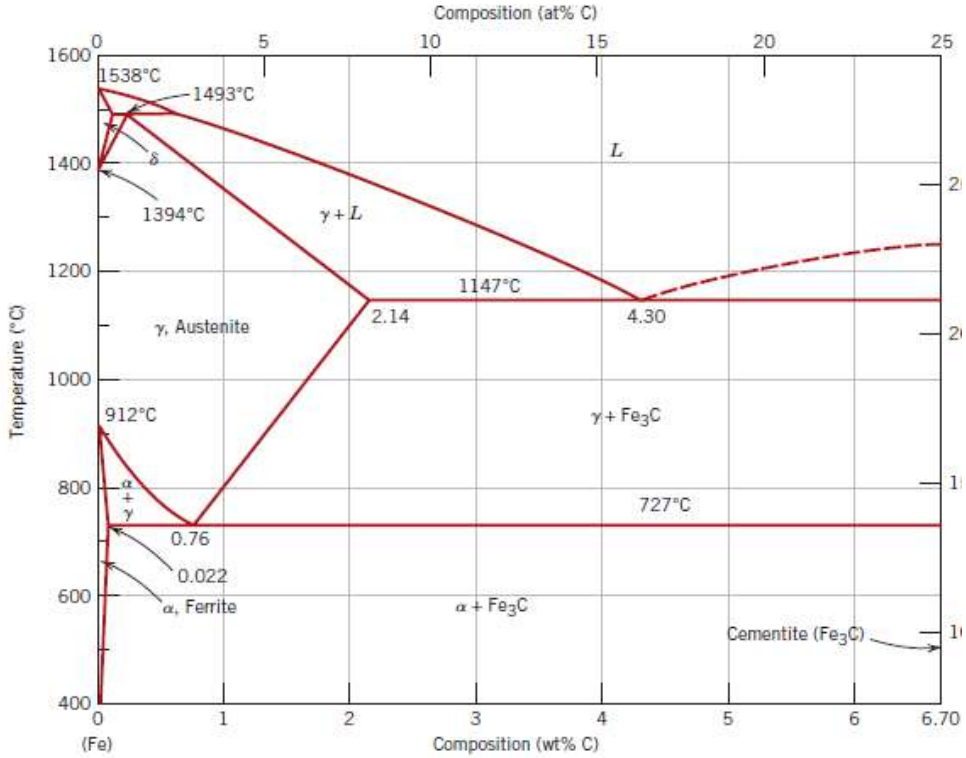
FIGURE 10.7 Characteristic grain structure in an alloy casting, showing segregation of alloying components in the center of casting.

EMU - Manufacturing Technology

انجماد: آلیاژ یوتکتیک

- آلیاژ یوتکتیک شبیه فلز خالص است.
- در این نقطه مذاب بلافاصله منجمد می شود.

- Al-Si (11.6% Si) and Cast Iron (4.3% C) are relevant casting eutectic alloys.



زمان انجماد و قانون کورینوف

NOT INCLUDED

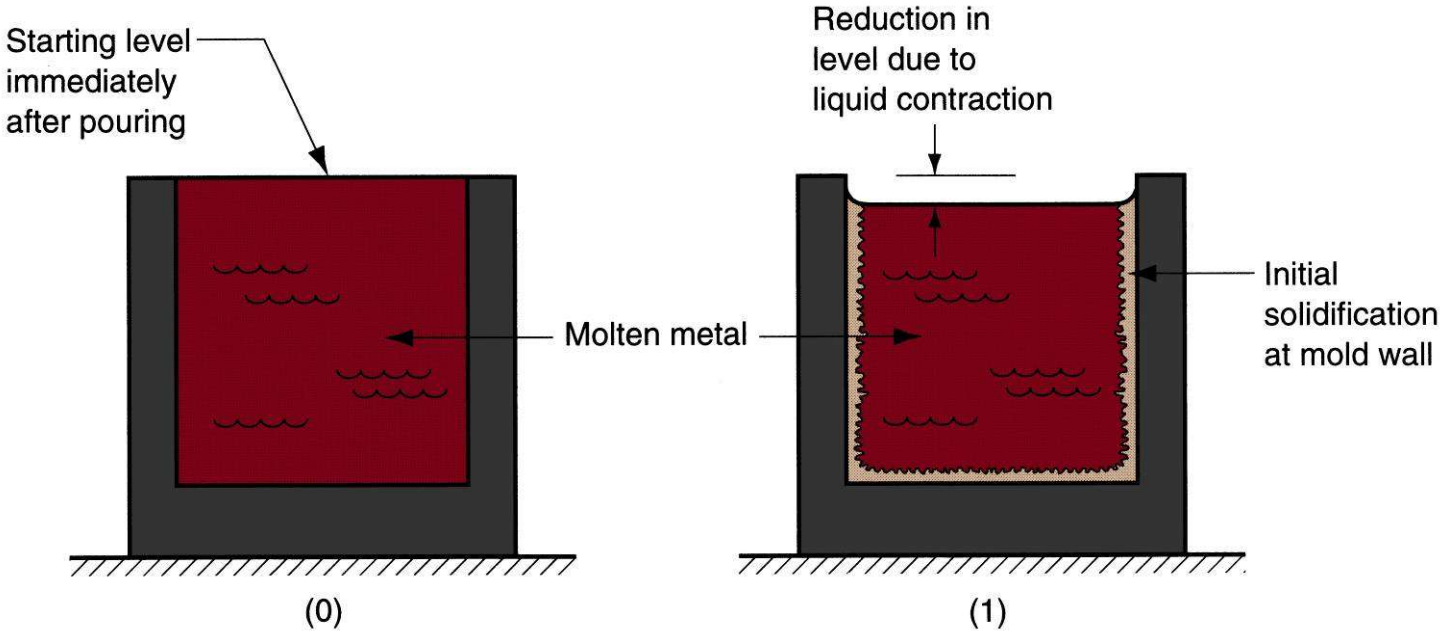
- $T_{TS} = Cm\left(\frac{V}{A}\right)^n$ **Chorinov's Rule**

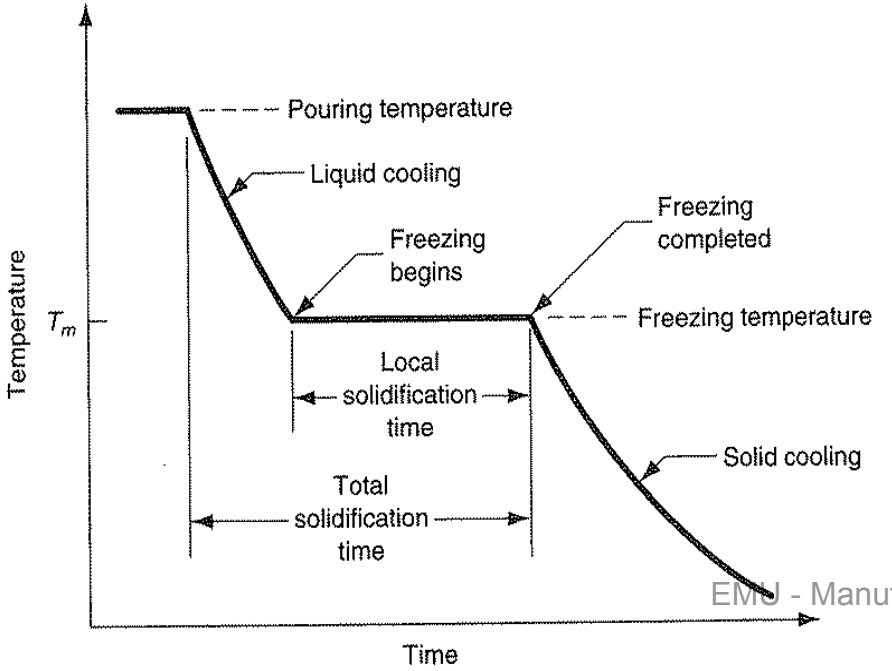
T_{TS} Total solidification time in min; V: volume of casting cm3; A: surface area of casting in cm2; n: exponent having value 2; Cm is mold constant min/cm2.

- This is basically an empirical formula

- The relation shows that higher volume to surface area ratio will lead to higher cooling time
- The above formula is helpful in designing riser. T_{TS} for riser should be higher than T_{TS} for main casting so that molten metal can in riser can compensate for shrinkage in casting before the metal .

انقباض در حالت انجماد و سرد شدن





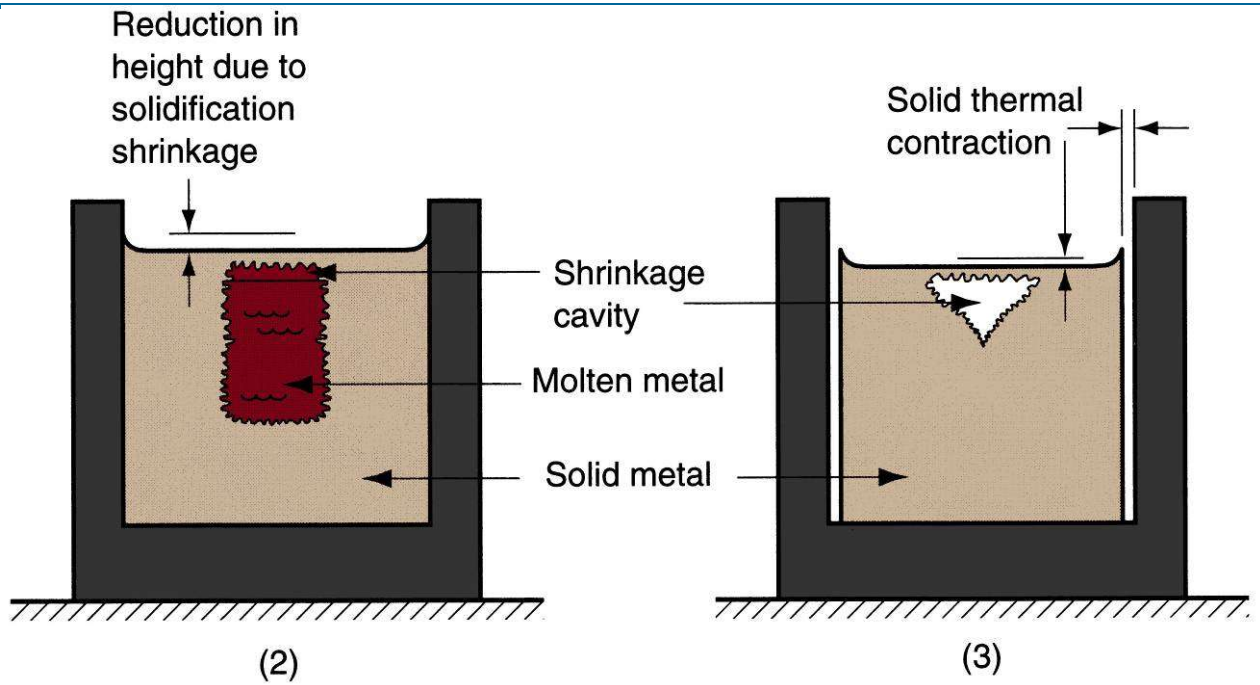
انقباض در سه مرحله اتفاق می افتد:

۱) در حین سرد شدن فلز در حالت مذاب

۲) درحین سرد شدن از حالت مایع به جامد

۳) هنگام سرد شدن جامد فلزی تا دمای محیط

انقباض در حالت انجماد و سرد شدن



(2) reduction in height and formation of shrinkage cavity caused by solidification shrinkage; (3) further reduction in height and diameter due to thermal contraction during cooling of solid metal (dimensional reductions are exaggerated for clarity).

انقباض (انتقال از حالت مذاب به جامد)

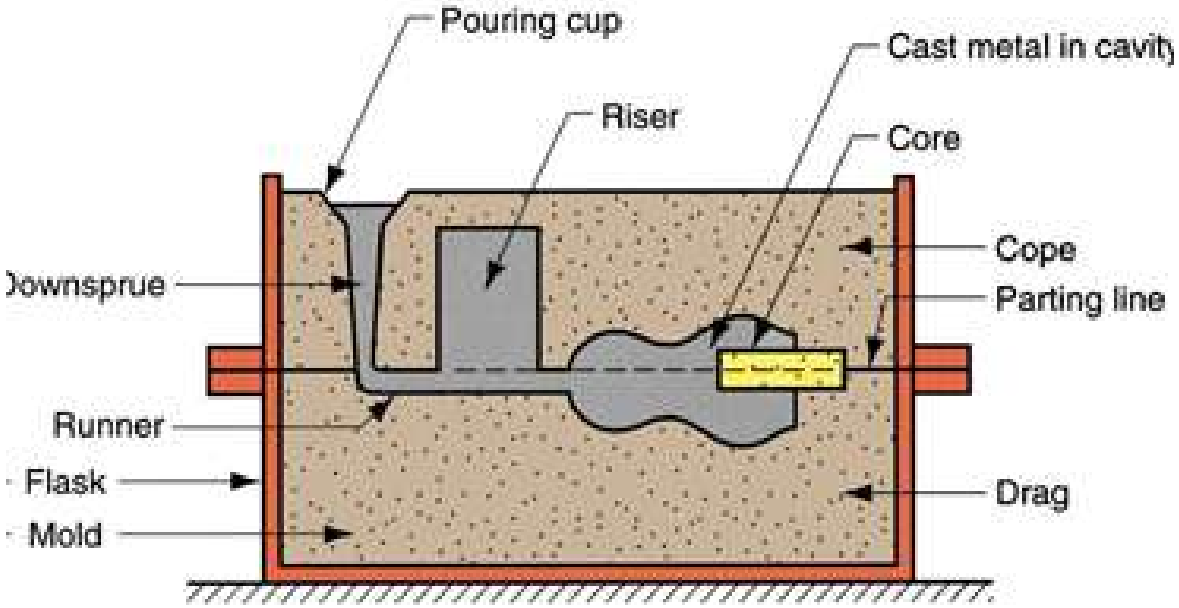
- تقریبا در همه فلزات رخ می دهد زیرا چگالی حالت جامد از حالت مذاب بیشتر است.
- در حالت انجماد حجم بر واحد جرم کاهش می یابد.
- **استثنا:** چدن با کربن بالا
  - تشکیل گرافیت در مراحل پایانی انجماد باعث افزایش حجم شده و با کاهش حجم ناشی از انقباض جلوگیری می کند.

انقباض مجاز

- ابعاد مدل باید به خاطر انقباض، بیشتر در نظر گرفته شود.
- بزرگتر ساختن ابعاد مدل و درنتیجه قالب را **انقباض مجاز** گویند.

انجماد جهت دار- طراحی بهینه

- به منظور حداقل کردن آسیبهای ناشی از انقباض بهتر است قسمتهایی که نسبت به تغزیه دور هستند سریعتر سرد شوند.
- پس تغریه باید نسبت به قسمتهایی که نازک هستند و دارای V/A کمی هستند دور باشد.

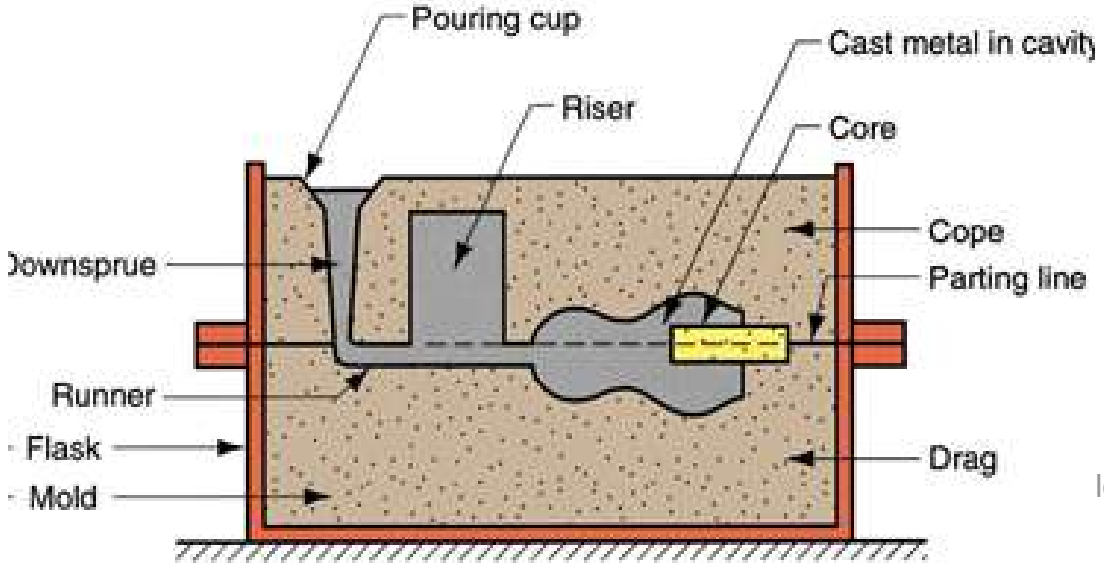


انجماد جهت دار–استفاده از خنک کننده (chills)

- خنک کننده نرخ سرد شدن را افزایش می دهد.
- از خنک کننده های داخلی و خارجی برای سرد کردن قطعه می توان استفاده کرد.
- برای قسمتهای ضخیم قطعه، قطعات کوچک فلزی از همان جنس قطعه ریختگی درون حفره قرار داده می شود. انجماد از اطراف این قطعات کوچک شروع می شود.
- برای قطعات نازک و بلند این قطعات در بیرون حفره قرار داده می شوند.
- ***If Chorinov's rule can not be employed, use chills***

طراحی تغزیه

- تغزیه در قالب استفاده می شود تا کمبود مذاب ناشی از انقباض را جبران کند و پس از ریختگری از قطعه جدا می شود.
- برای طراحی آن باید از قانون کورینوف استفاده شود.
- طراحی های متفاوتی برای تغزیه وجود دارد:
  - **تغزیه کناری:** از طریق کانال به کنار قطعه متصل می شود.
  - **تغزیه بالایی:** به سطح بالای قطعه متصل می شود.
  - **تغزیه باز:** به محیط بیرون راه دارد. عیب آن سریع سرد شدن مذاب است.
  - **تغزیه کور:** به بیرون راه ندارد



logy

فرآیندهای ریخته گری فلزات

دو دسته از فرآیندهای ریخته گری

۱. **قالب موقت:** پس از انجماد قالب تخریب می شود.
   - **مزیت:** تولید شکلهای پیچیده تر ممکن است.
   - **عیب:** نرخ تولید کم است.

۲. **قالب دائم:** پس از انجماد بدون تخریب قالب قطعه خارج می شود.
   - **مزیت:** نرخ تولید بالا
   - **عیب:** تولید شکلهای پیچیده مشکل است.

مروری بر ریخته گری درون ماسه

- در این روش ریخته گری، قطعه درون قالبی از جنس ماسه شکل خواهد گرفت. مذاب درون قالب ریخته شده و پس از انجماد قطعه شکل می گیرد.
- طیف وسیعی از قطعات از کوچک تا بزرگ به این روش می توانند ریخته گری شوند.
- تقریبا همه فلزات به این روش ریخته گری می شوند.
- تعداد تولید از یکی تا میلیونها می تواند باشد.

A large sand casting weighing over 680 kg (1500 lb) for an air compressor frame

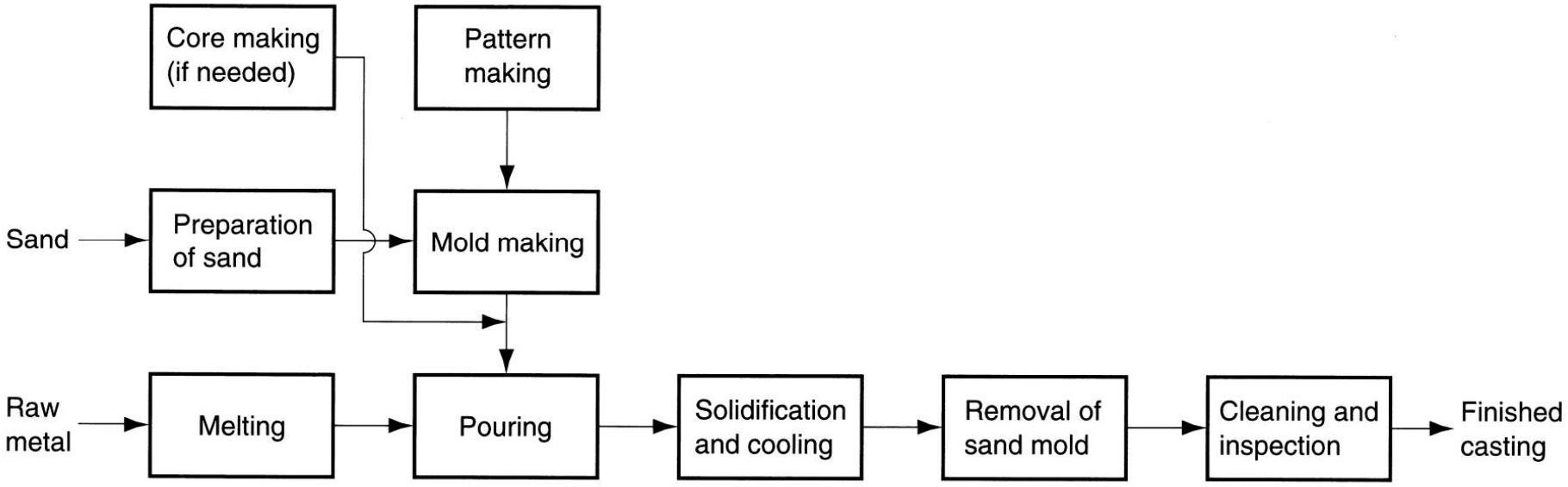
مراحل ریخته گری در ماسه

۱. ریختن فلز مذاب درون محفظه قالب ریخته گری
۲. زمان دادن برای انجماد قطعه
۳. تخریب قالب برای درآوردن قطعه
۴. تمیز کردن و بازرسی قطعه
   - جدا کردن گیت و سیستم تغزیه
۵. گاهی اوقات عملیات حرارتی قطعه به منظور بهبود خواص مکانیکی

توالی تولید ریخته گری در ماسه

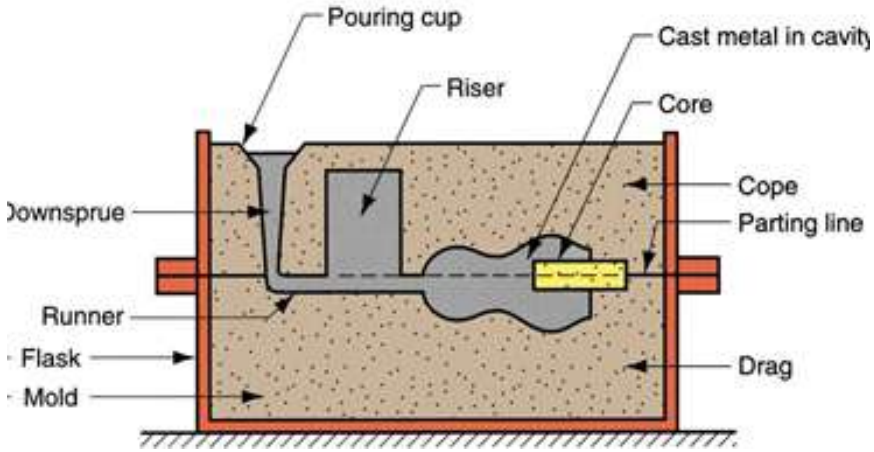
Figure: Steps in the production sequence in sand casting.

The steps include not only the casting operation but also pattern-making and mold-making.



ساختن قالب ماسه ای

- محفظه قالب از طریق فشردن ماسه اطراف مدل و سپس جدا کردن قالب به دو نیمه و درآوردن مدل از درون قالب شکل می گیرد.
- قالب همچنین باید شامل گیت و سیستم تغزیه باشد.
- اگر قطعه دارای سطوح داخلی باشد باید از ماهیچه استفاده شود.
- برای هر قطعه باید یک قالب جدید ساخته شود.



مدل

مدل با توجه به انقباض قطعه اندکی بزرگتر از قطعه ساخته می شود.

- جنسهای مدل عبارتند از:
  - **چوب:** رایج ترین نوع است زیرا شکل دادن آن راحت است.
  - **فلزات:** گرانتر هستند اما عمر آنها بیشتر است.
  - **پلاستیک:** انتخابی بین چوب و فلز است.

انواع مدل

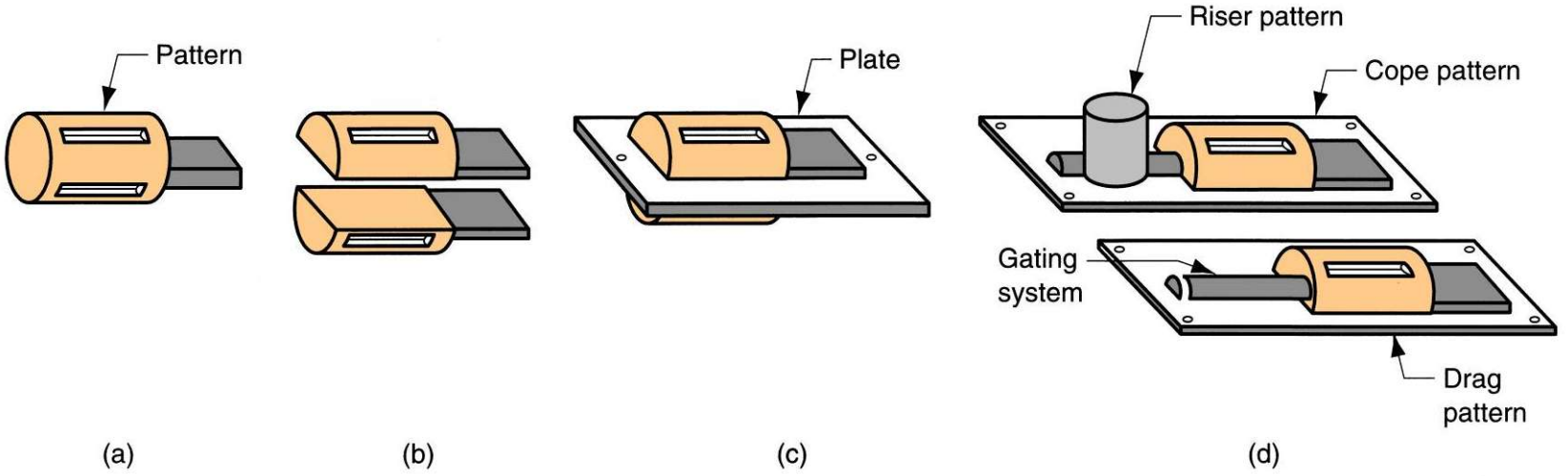
انواع مدلهای استفاده شده در ریخته گری ماسه:

(a) مدل جامد

(b) مدل دو تکه

(c) مدل با صفحه میانی

(d) مدل با نیمه بالایی و پایینی



نیروی رانش در طول پرشدن

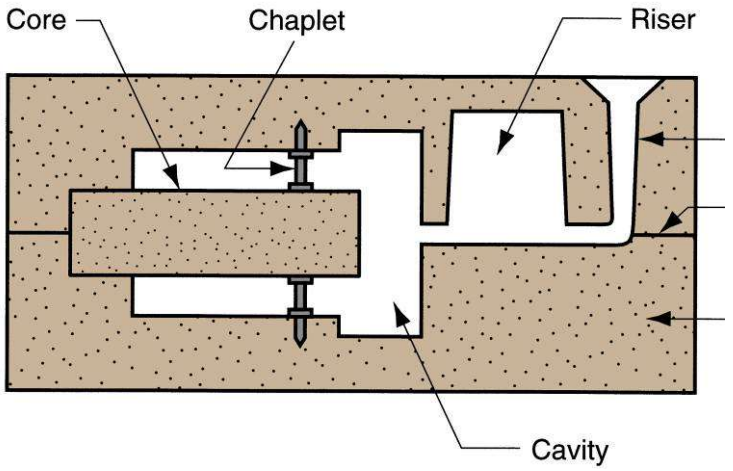
- یکی از خطراتی که در طول پرشدن وجود دارد، جابجاشدن هاهیچه در اثر رانش مذاب توسط نیروی زیر است:

$F_b = W_m - W_c$ (Archimedes principle)

W_m: Weight of molten metal displaced;

W_c: Weight of core

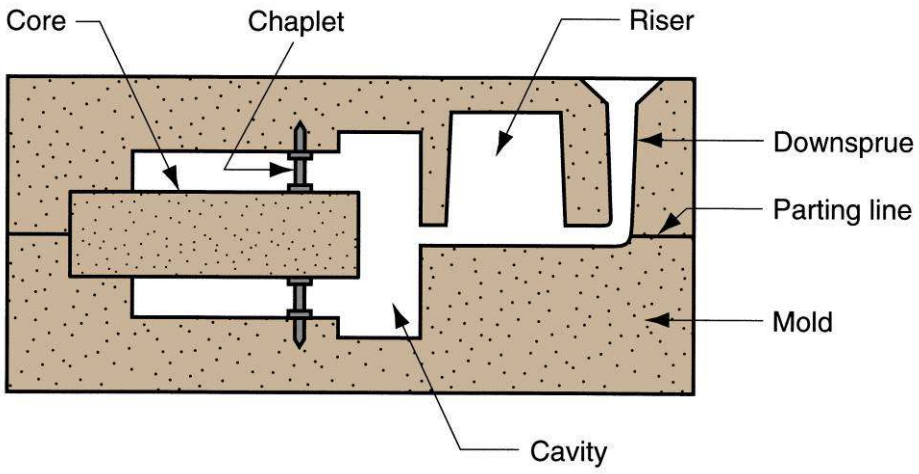
***** In order to avoid the effect of F_b, chaplets are used to hold the core in cavity of mold.***



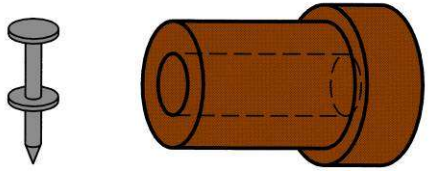
ماهیچه در قالب

یک ماهیچه مدلی است که سطح داخلی قطعه را شکل می دهد.

1. Like pattern, shrinkage allowances are also provided in core. (-ve or +)?
2. It is usually made of compacted sand, metal



(a)



(b) (c)

(a) Core held in place in the mold cavity by chaplets, (b) possible chaplet design, (c) casting with internal cavity.

خواص مطلوب قالب

- **استحکام:** قابلیت قالب در مقابل حرکت مذاب بدون اینکه آسیبی ببیند. این بستگی به اندازه دانه ماسه، چسب و ... دارد.
- **نفوذ پذیری:** اجازه دهد که هوا و گازها از طریق حفرات موجود در قالب خارج شوند.
- **پایداری حرارتی:** پایداری قالب در سطح حفره قالب از ترک خوردن در مقابل مذاب فلزی
- **قابلیت فرو ریختن:** اجازه دادن به قطعه ریخته شده به اینکه بدون هیچ آسیبی انقباض یابد.
- **قابلیت بازیابی:** ماسه برای تولید قطعات دیگر نیز استفاده شود.

ماسه های کارگاهی

Silica (SiO_2): که با مواد معدنی دیگر ترکیب می شود:

- دارای مقاومت خوب در دمای بالا
- دانه های کوچکتر کیفیت سطح بهتری تولید می کنند.
- دانه های بزرگتر نفوذ پذیری بهتری برای خروج گازها و هوا دارند.
- دانه های با شکل نامنظم نسبت به دانه های گرد استحکام بیشتری به قالب می دهد که به دلیل خاصیت درهم قفل شوندگی آنها است.
  - **عیب:** خاصیت درهم قفل شوندگی باعث کاهش نفوذپذیری در قالب می شود.

چسبهای مورد استفاده در ماسه کارگاهی

- خاک رس همراه با آب به عنوان چسب ماسه استفاده می شود.
  - **ترکیب عمومی: ۹۰**٪ ماسه، ۷٪ خاک رس و ۳٪ آب
- چسبهای دیگری که استفاده می شوند عبارتند از:
  - رزینهای آلی (مانند رزینهای فنولی)
  - چسبهای غیرآلی (سیلیکات سدیم و فسفات)
- افزودنیهای دیگری نیز گاهاً برای افزایش استحکام و تخریب پذیری ماسه به آن اضافه می کنند.

انواع قالب ماسه ای

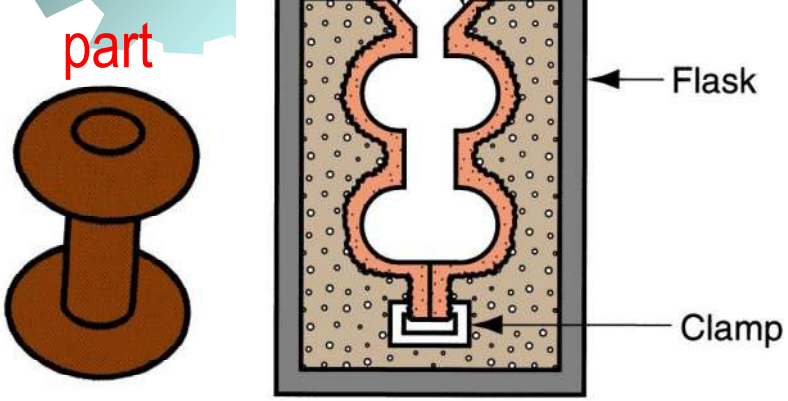
- **قالب ماسه ای تر:** ترکیب ماسه، خاک رس و آب
- **قالب ماسه ای خشک:** معمولا از چسبهای آلی استفاده می شود.
  - استحکام قالب افزایش می یابد.
- **قالب با پوسته خشک:** سطح قالب تر را با مشعل تا عمق ۲۰ تا ۲۵ میلیمتری خشک می کنند.

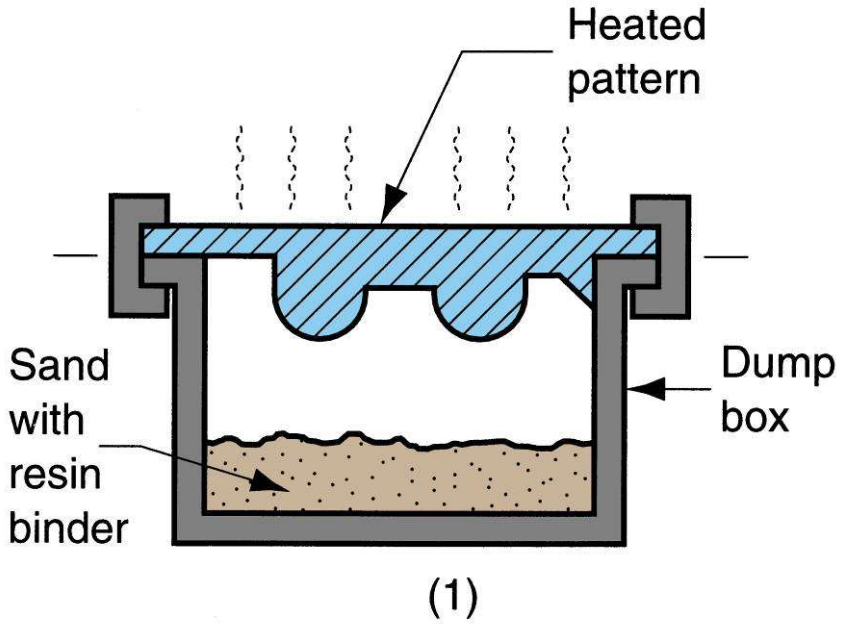
روشهای دیگر ریخته گری در ماسه

- Shell Molding(قالبگیری پوسته ای)
- Vacuum Molding(قالبگیری تحت خلا)
- Expanded Polystyrene Process(قالبگیری با فوم فدا شونده)
- Investment Casting(ریخته گری دقیق)
- Plaster Mold and Ceramic Mold Casting (ریخته گری در قالب سرامیکی)

قالبگیری پوسته ای

فرآیند ریخته گری درون قالب پوسته ای که ترکیب ماسه و رزین فنولی است انجام می شود.



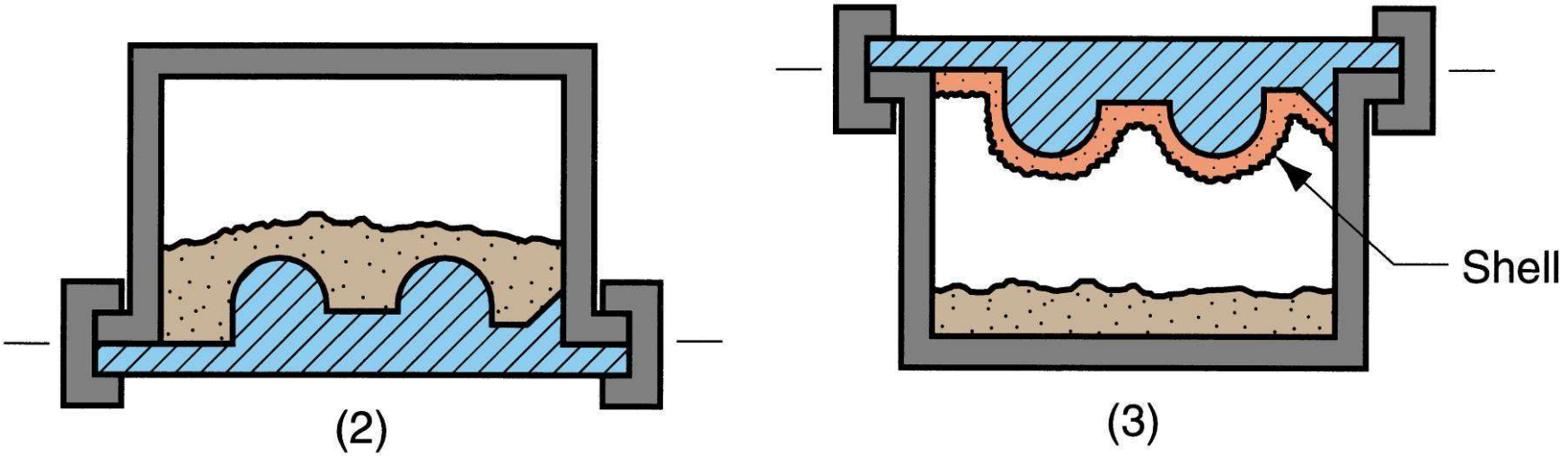


۱) در ابتدا مدل فلزی تهیه شده و سپس گرم شده و روی درجه حاوی ماسه و چسب فنولی قرار می گیرد.

ریخته گری پوسته ای

۲) جعبه معکوس شده و ترکیب ماسه و رزین روی مدل گرم قرار می گیرند. آن قسمتی از چسب که در تماس با مدل است پخت شده و سفت می شود. در نتیجه یک پوسته جامد روی مدل شکل می گیرد.

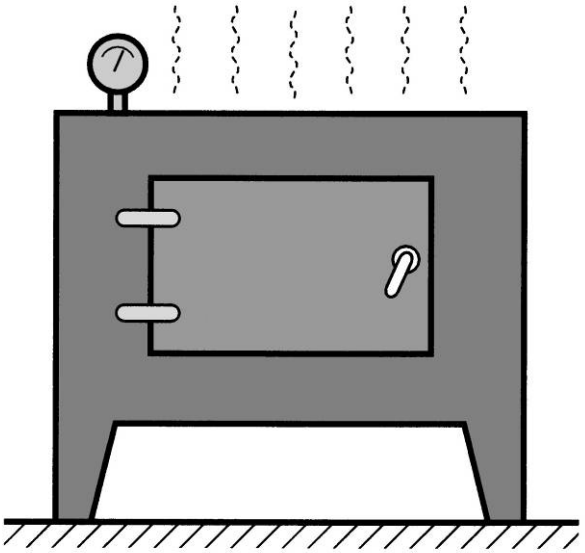
۳) جعبه به شکل اولیه خود برمیگردد. مدل همراه با پوسته روی آن از جعبه خارج می شوند.



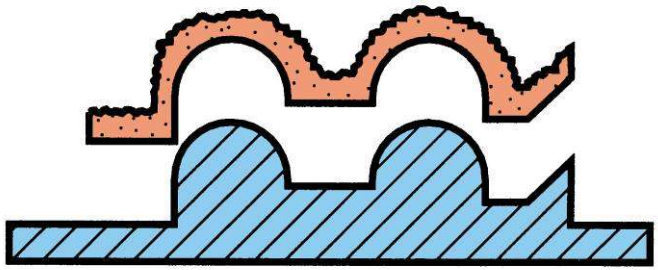
ریخته گری پوسته ای

۴) برای تکمیل فرآیند پخت، مدل همراه با پوسته روی آن داخل آون قرار داده می شود.

۵) مدل از آون خارج شده و قالب پوسته ای از روی آن جدا می شود.

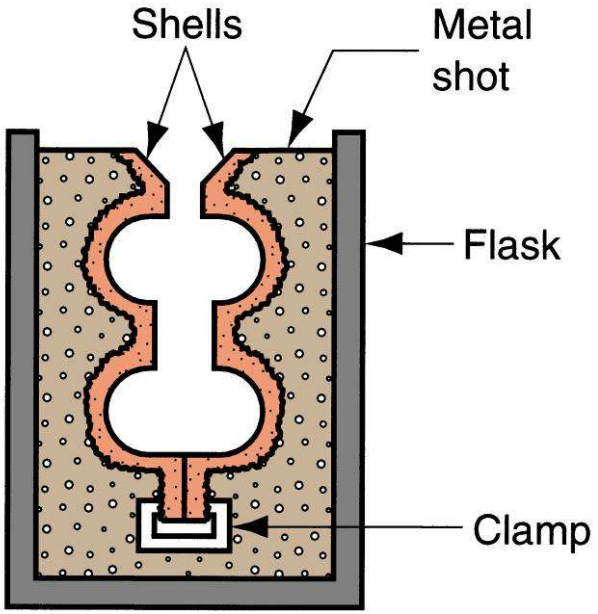


(4)

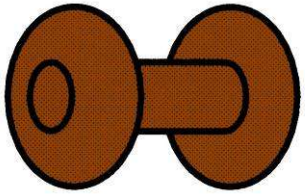


(5)

قالبگیری پوسته ای



(6)



(7)

۶) دو نیمه قالب پوسته ای روی هم مونتاژ شده، درون جعبه دیگری قرار داده شده و پشت آن را با ماسه پر کرده و عملیات ذوب ریزی انجام می شود.

۷) پس از سرد شدن قطعه، با شکستن قالب قطعه خارج می شود.

مزایا و معایب

- **مزایا:**
  - کیفیت سطح خوب محفظه قالب باعث حرکت راحتتر مذاب می شود و از طرف دیگر کیفیت سطح قطعه ریخته شده بهبود می یابد.
  - دقت ابعادی مناسب بوده و اغلب نیازی به ماشینکار نیست.
  - برای تولید انبوه قابلیت اتواسیون دارد.
- **معایب:**
  - قیمت بالای مدل فلزی
  - برای تعداد کم مناسب نیست

قالبگیری تحت خلا

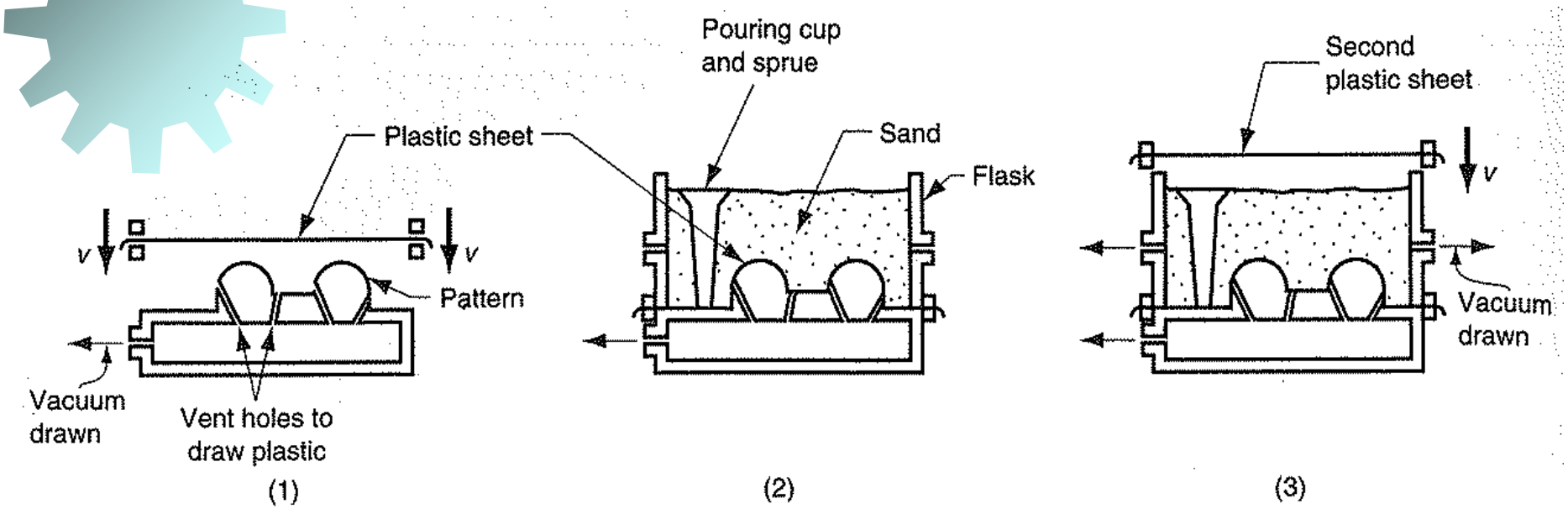
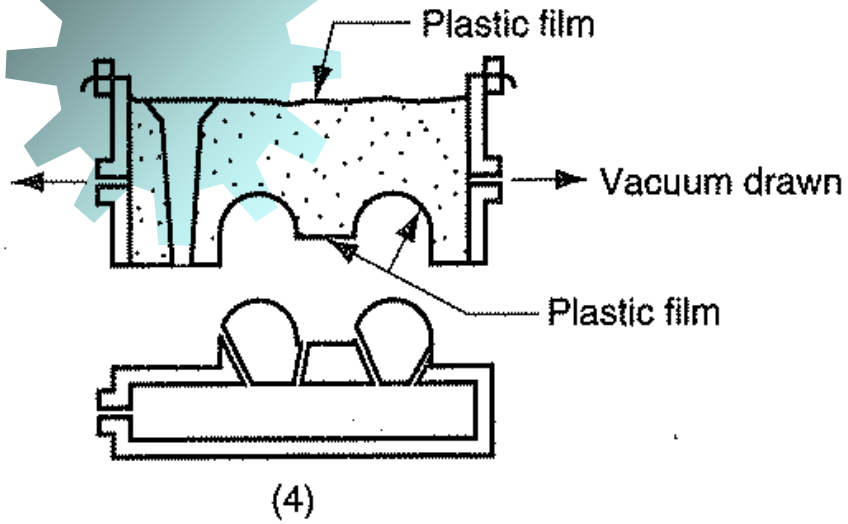
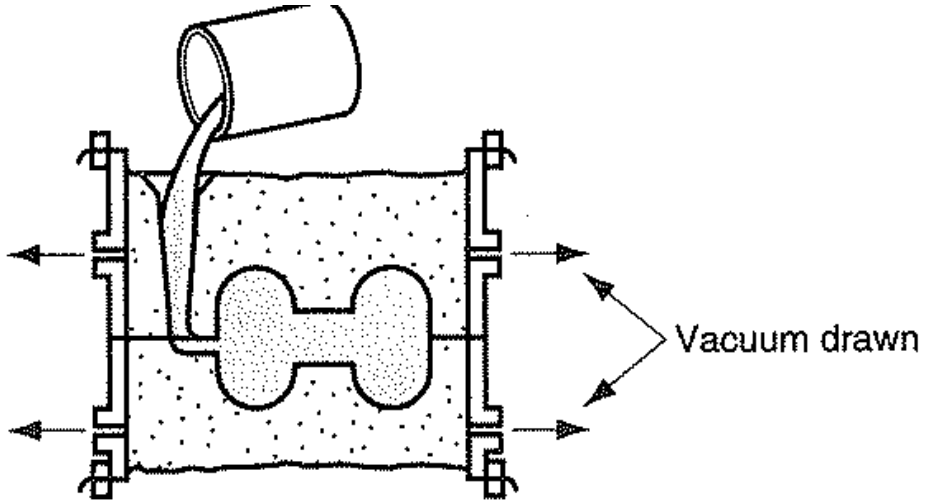


FIGURE 11.6 Steps in vacuum molding: (1) a thin sheet of preheated plastic is drawn over a match-plate or cope-and-drag pattern by vacuum—the pattern has small vent holes to facilitate vacuum forming; (2) a specially designed flask is placed over the pattern plate and filled with sand, and a sprue and pouring cup are formed in the sand; (3) another thin plastic sheet is placed over the flask, and a vacuum is drawn that causes the sand grains to be held together, forming a rigid mold; (4) the vacuum on the mold pattern is released to

قالبگیری تحت خلا



(4)



(5)

vacuum is drawn that causes the sand grains to be held together, forming a rigid mold; (4) the vacuum on the mold pattern is released to permit the pattern to be stripped from the mold; (5) this mold is assembled with its matching half to form the cope and drag, and with vacuum maintained on both halves, pouring is accomplished. The plastic sheet quickly burns away on contacting the molten metal. After solidification, nearly all of the sand can be recovered for reuse.

مزایا و معایب

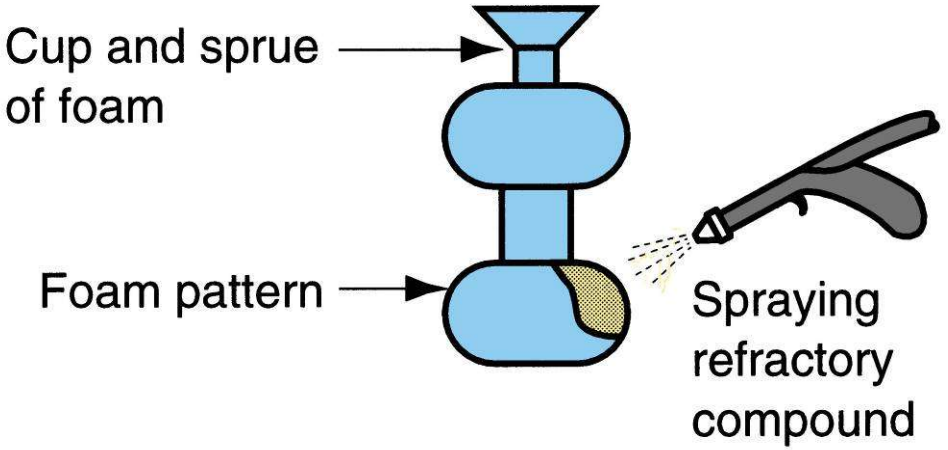
- **مزایا:**
  - سادگی بازیابی ماسه زیرا هیچ چسبی وجود ندارد.
  - از آنجایی که هیچ آبی در ماسه نیست عیوب مربوط به رطوبت در قطعه بوجود نمی آید.
- **معایب:**
  - فرآیند آهسته است.
  - قابلیت اتوماسیون ندارد

ریخته گری با فوم فدا شونده

در این روش از یک مدل فومی از جنس پلی استایرن به عنوان مدل استفاده شده و اطراف آن را با ماسه پر می شود.

- فوم پلی استایرن شامل اسپرو، راهباره، تغزیه، گیت و در صورت لازم ماهیچه است.
- نیاز به باز کردن قالب به دو نیمه نیست زیرا لازم نیست مدل درآورده شود.

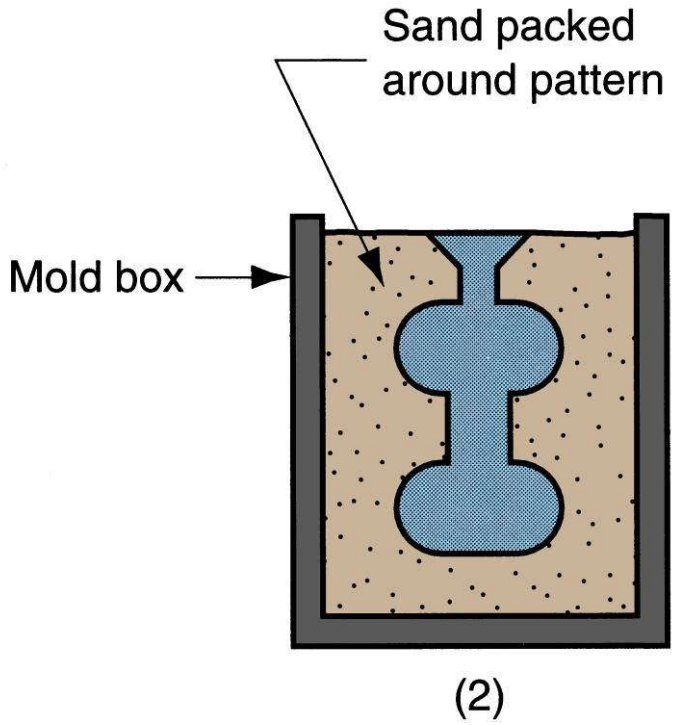
قالبگیری با فوم فدا شونده



(1)

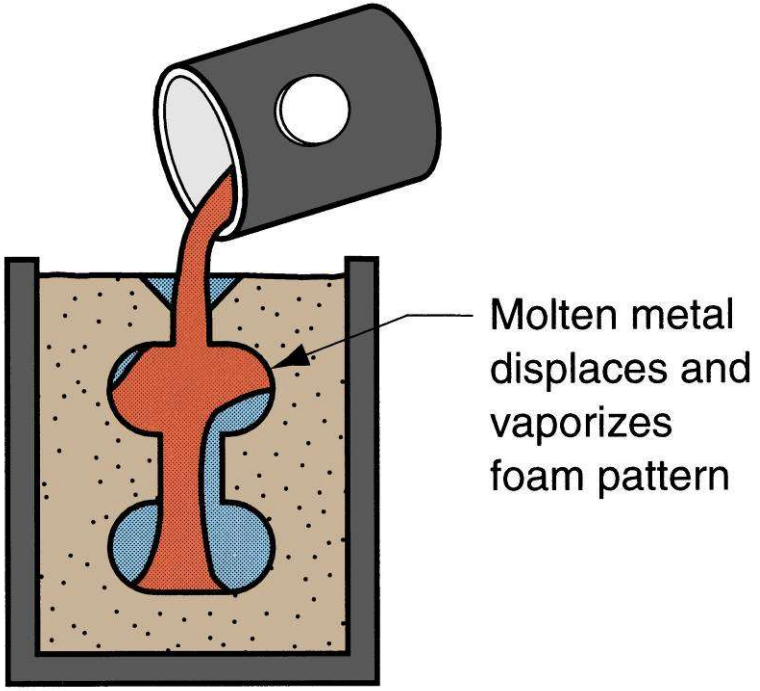
۱) ابتدا فوم پلی استایرن با مواد نسوز پوشش داده می شود.

قالبگیری با فوم فداشونده



۲) فوم درون جعبه قالب قرار داده شده و اطراف آن را با ماسه پر می کنند.

قالبگیری با فوم فدا شونده



۳) مواد مذاب روی مدل فومی ریخته می شود. به دلیل اختلاف زیاد بین دمای ذوب فوم و مذاب فلزی، به محض رسیدن مذاب به فوم، فوم بخار شده از قالب خارج می شود.

مزایا و معایب

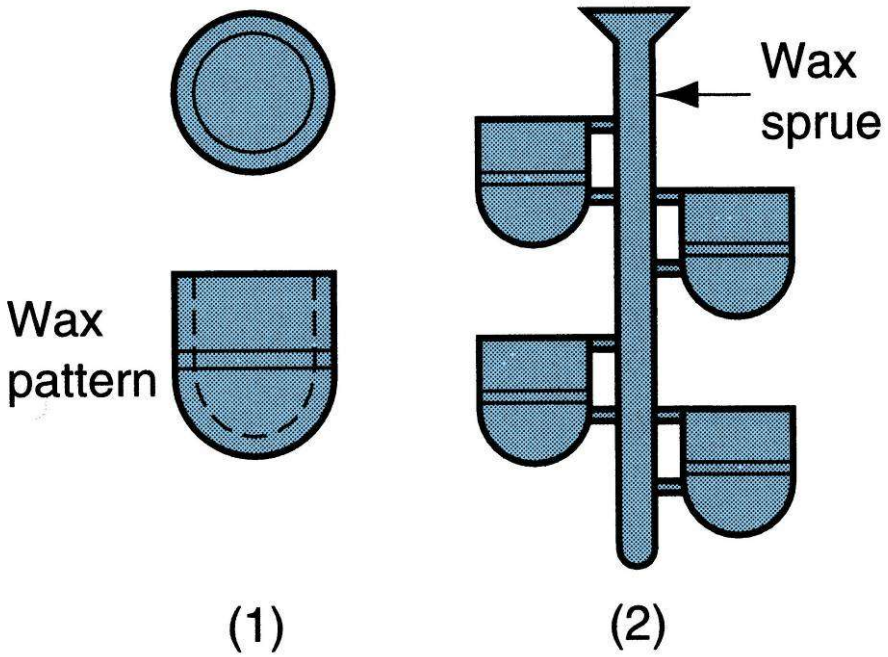
- **مزایا:**
  - لازم نیست مدل از قالب خارج شود.
  - تهیه و آماده سازی قالب خیلی سریع تر انجام می شود.
- **معایب:**
  - برای هر قطعه یک مدل لازم است.
  - برای تولید زیاد هزینه های مدل خیلی بالا می رود.

ریخته گری دقیق

در این روش از مدل مومی استفاده می شود. مدل مومی قبل از ریختن مذاب فلزی ذوب شده و از قالب بیرون ریخته می شود.

- *در این روش قطعات با دقت بالا ساخته می شود.*

ریخته گری دقیق

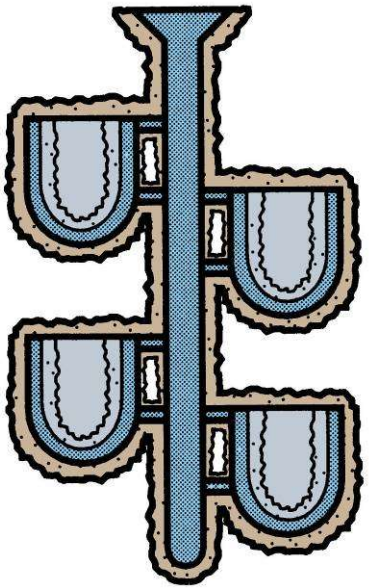


۱) مدل مومی شاخته می شود.

۲) چندین مدل مومی به راهباره مومی متصل شده و الگوی درختی تشکیل می شود.

ریخته گری دقیق

(3)

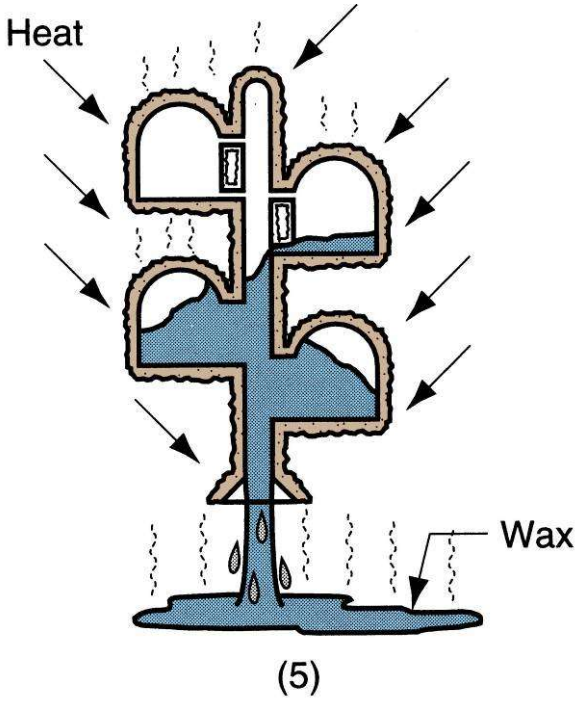


(4)

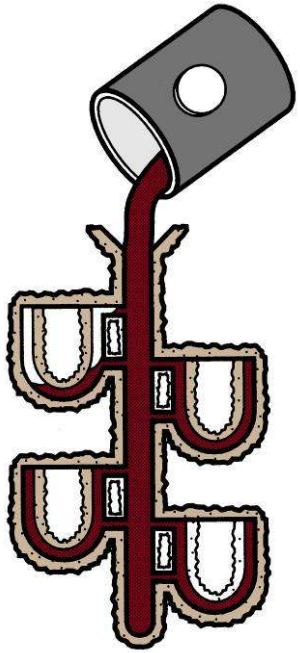
۳) مدل درختی با مواد نسوز (دوغاب سرامیکی) پوشش داده می شود.

۴) ضخامت پوشش دوغاب سرامیکی را افزایش داده تا قالب صلبیت لازم را داشته باشد.

ریخته گری دقیق



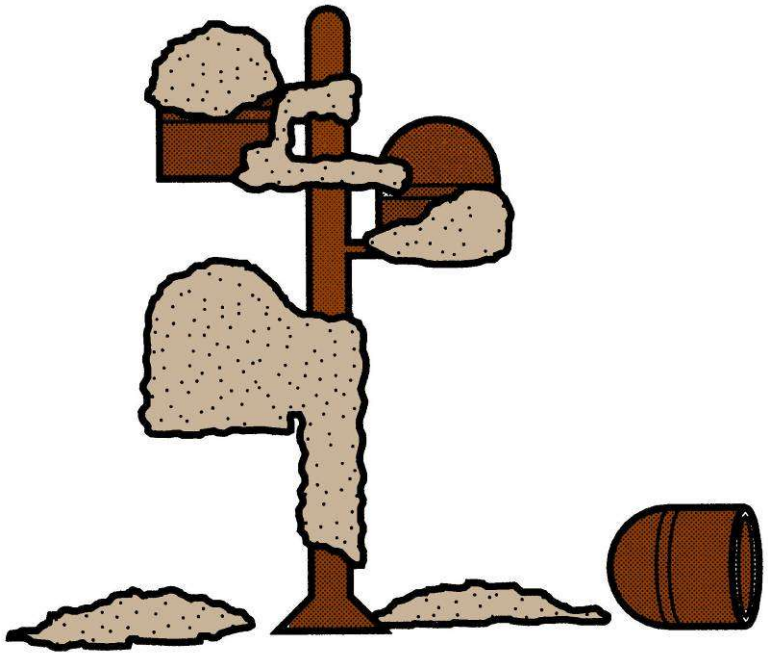
(5)


(6)

۵) قالب گرما داده شده و معکوس می شود تا موم ذوب شده و از آن خارج شود.

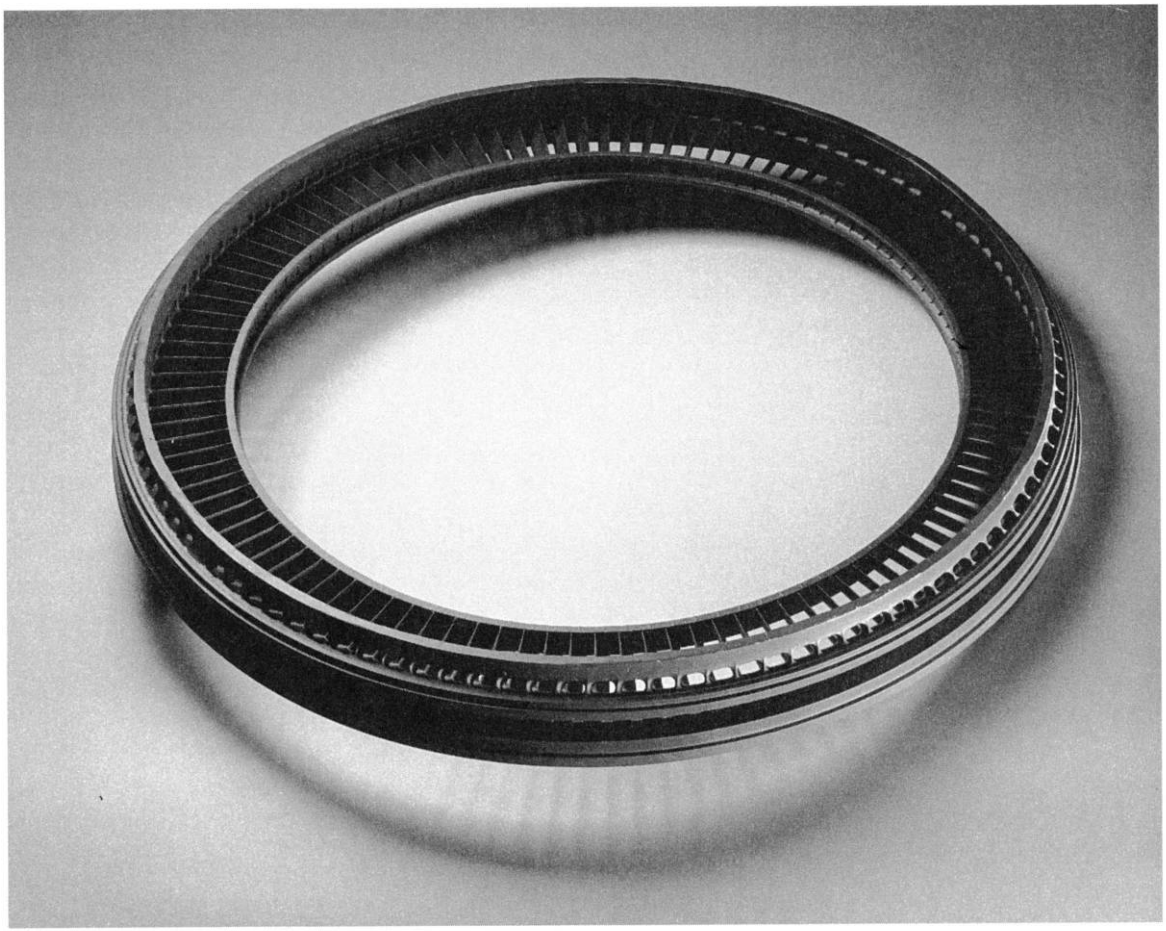
۶) قالب پیش گرم شده آماده ذوب ریزی است و مذاب داخل آن ریخته می شود.

ریخته گری دقیق



(7)

۷) قالب شکسته شده و قطعات خارج می شود.



A one-piece compressor stator with 108 separate airfoils made by investment casting

مزایا و معایب

- **مزایا:**
  - قطعات بسیار پیچیده دارای ریزه کاری به این روش قابل تولید هستند.
  - دقت ابعادی و کیفیت سطح بسیار خوب است.
  - واکس (موم) قابل بازیابی است.
  - اغلب ماشینکاری تکمیلی لازم نیست
- **معایب:**
  - گامهای زیادی لازم است.
  - فرآیند نسبتا گرانی است.

ریخته گری در قالب پلاستر

شبیه ریخته گری در قالب ماسه ای است با این تفاوت که جنس قالب از جنس گچ سفید (plaster of Paris (gypsum - $CaSO_4$-$2H_2O$ است.

- در قالبگیری، پلاستر و آب با همدیگر ترکیب شده و روی مدل ریخته می شود.
  - معمولا از مدل چوبی استفاده نمی شود زیرا در برابر آب متورم می شود.
- ترکیب پلاستر به راحتی اطراف مدل جاری شده و منجر به تولید قطعه با کیفیت مناسب می شود.

مزایا و معایب

- **مزایا:**
  - دقت ابعادی و کیفیت سطح مناسب
  - قابلیت تولید دیواره های نازک
- **معایب:**
  - قالب باید پخته شده تا رطوبت قالب گرفته شود.
  - پلاستر دماهای بالا را نمی تواند تحمل کند و برای فلزات با نقطه ذوب پایین مانند آلومنیوم و منیزیم مناسب است.

ریخته گری در قالب سرامیکی

- شبیه قالبگیری گچی است با این تفاوت که به جای گچ از مواد سرامیکی استفاده می شود.
- قالب سرامیکی قابلیت کاربرد در دماهای بالا را دارد.
- کیفیت سطح مانند روش قالبگیری گچی است.

ریخته گری در قالبهای دائمی

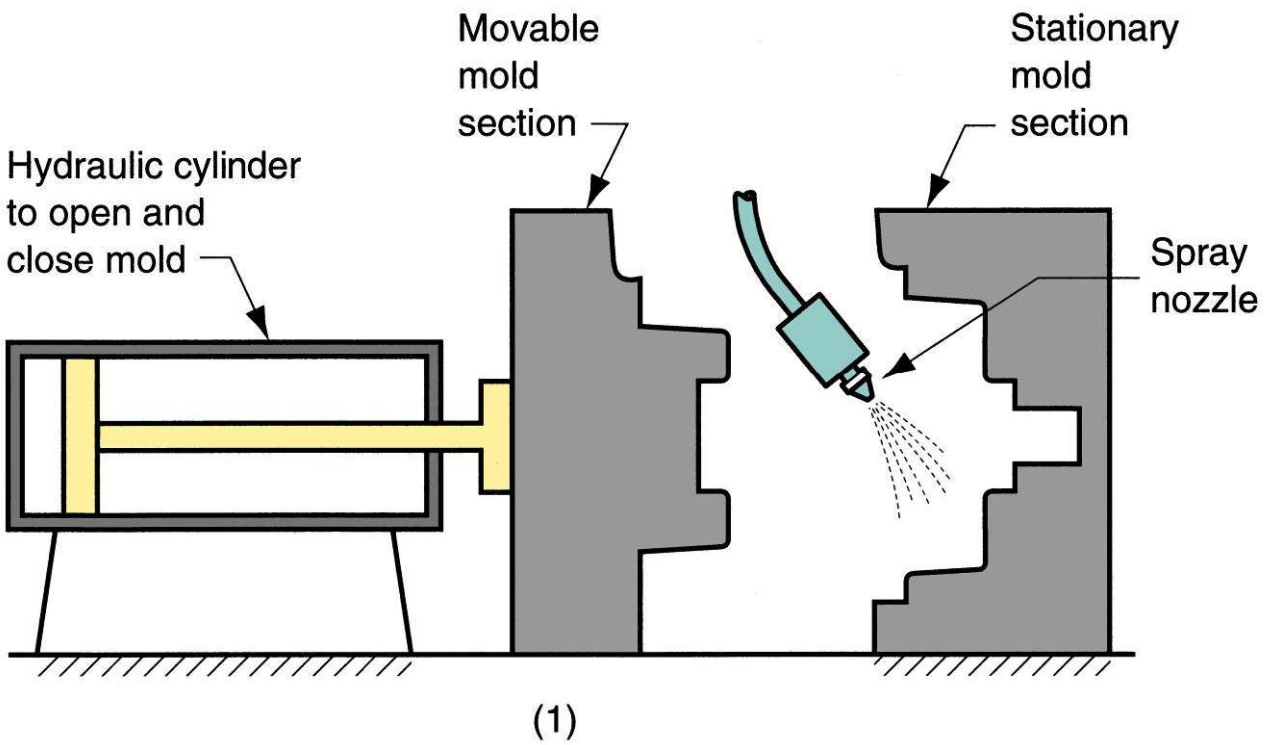
- **عیب اقتصادی ریخته گری در قالب موقت:** برای هر قطعه ی قالب لازم است.
- در ریخته گری در قالب دائمی از هر قالب می توان چندین هزار بار استفاده کرد.
- فرآیند شامل:
  - ریخته گری ثقلی
  - دایکاست (تحت فشار)
  - گریز از مرکز

ریخته گری ثقلی

در این روش از یک قالب فلزی بصورت دو تکه استفاده می شود.

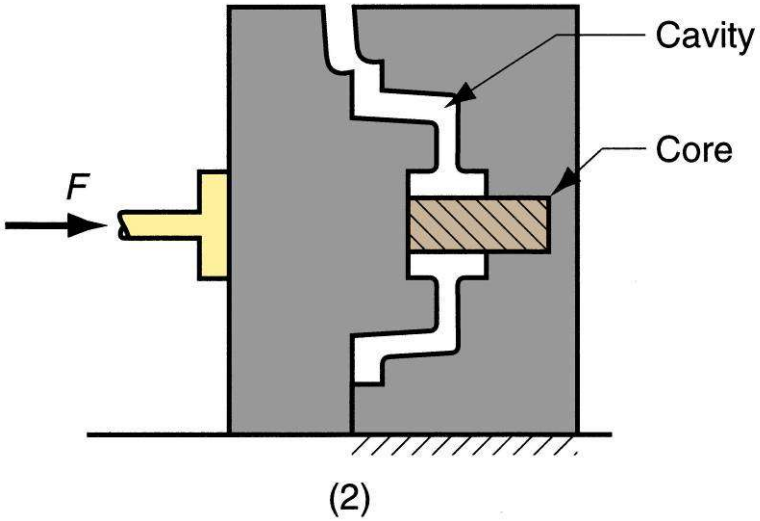
- از این قالبها معمولا برای ریخته گری آلیاژهای با نقطه ذوب پایین مانند آلومنیوم، برنج و .. استفاده می شود.
- برای ریخته گری فولاد و چدن باید از قالبهای گرافیتی یا سرامیکی استفاده کرد.

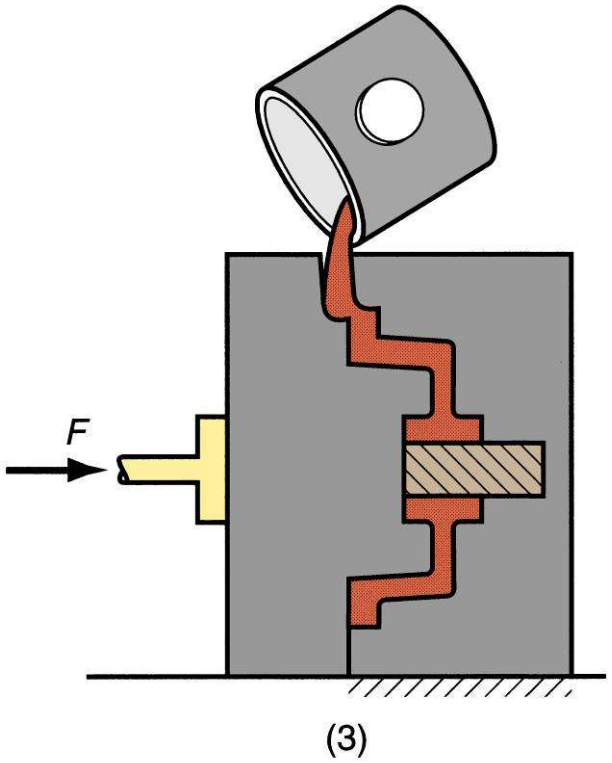
ریخته گری ثقلی



۱) قالب پیش گرم شده و پوشش داده می شود.

ریخته گری ثقلی





۳) ماهیچه جاسازی (اگر لازم باشد).

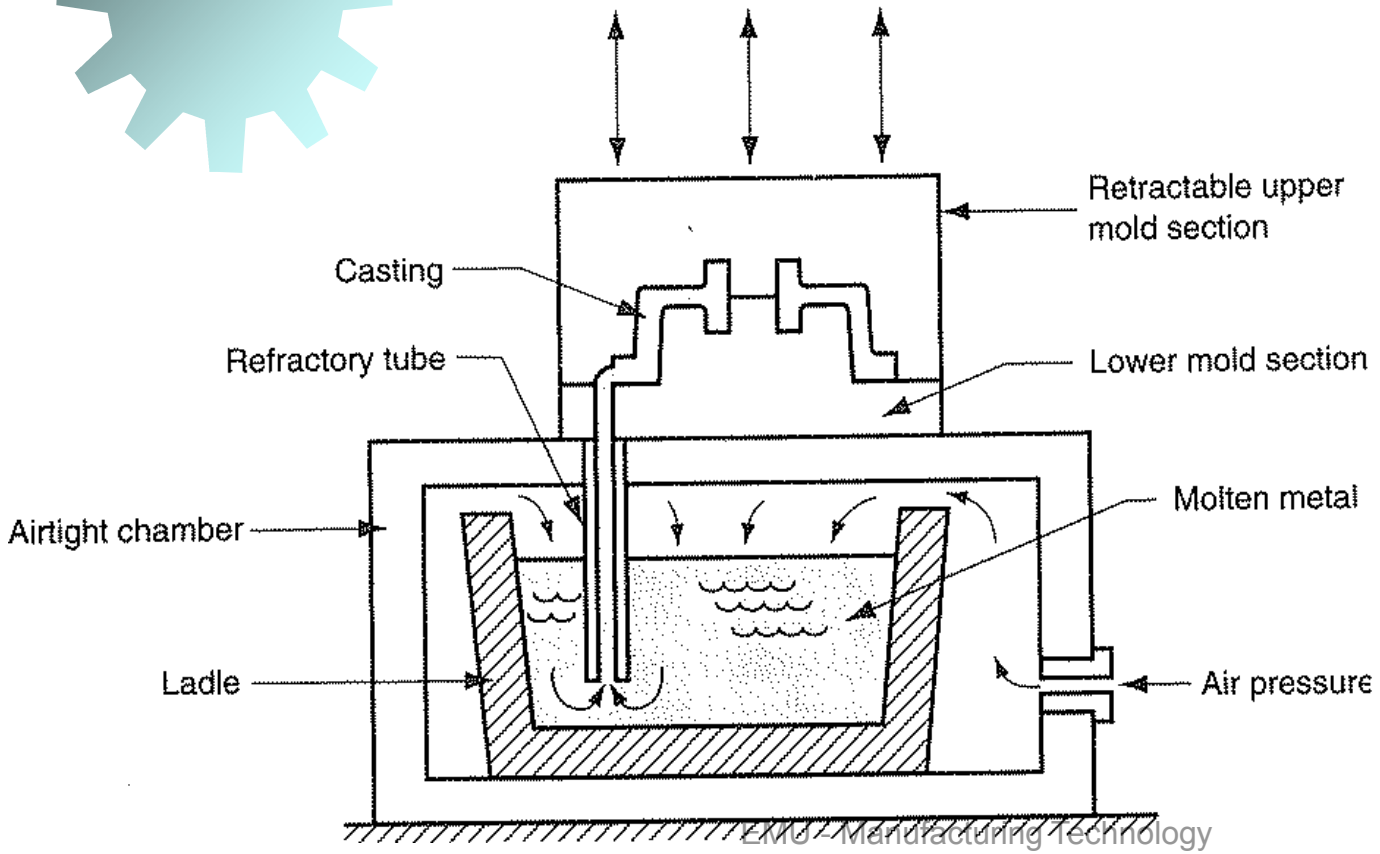
۴) مذاب داخل قالب ریخته می شود.

مزایا و معایب

- **مزایا:**
  - دقت ابعادی و کیفیت سطح مناسب
  - برای تولید انبوه بسیار اقتصادی است.
  - به خاطر فلزی بودن قالب، قطعه سریع سرد شده باعث ریزدانه شدن ساختار قطعه می شود. در نتیجه خواص مکانیکی بهبود می یابد.
- **محدودیتها:**
  - معمولا به فلزات با نقطه ذوب پایین محدود می شود.
  - تولید قطعات با هندسه خیلی پیچیده مشکل است.
  - هزینه قالب بالا است.
  - برای تعداد کم مناسب نیست.

انواع روشهای ریخته گری در قالب دائم:
الف) ریخته گری کم فشار

- اصول کار در شکل زیر نشان داده شده است:
- در این روش مذاب با فشار کم هوا (۰,۱ مگاپاسکال) به درون قالب تزریق می شود.



Low-pressure casting. The diagram shows how air pressure is used to force the molten metal in the ladle upward into the mold cavity Pressure is maintained until the casting has solidified.

انواع روشهای ریخته گری در قالب دائم:
الف) ریخته گری کم فشار

- **مزایا:**

- مذاب تمیز از مرکز مخزن مذاب به درون حفره تزریق می شود.
- تخلخلهای گازی و اکسیداسیون کاهش یافته و در نتیجه خواص مکانیکی بهبود می یابد.

انواع روشهای ریخته گری در قالب دائم:
ب) ریخته گری تحت خلاء

- این روش گونه ای از ریخته گری کم فشار است.
- با این تفاوت که به جای اینکه از طریق فشار هوا مذاب به درون حفره تزریق شود از درون حفره خلاء اعمال می شود و مذاب به درون حفره کشیده می شود.

دایکاست

یکی از روشهای ریخته گری دائم بوده که در آن مذاب با فشار بالا به درون محفظه قالب تزریق می شود.

- فشار تا انجماد قطعه حفظ شده و پس از انجماد فشار برداشته شده، قالب باز شده و قطعه پران می شود.
- به قالب در این روش **دای** گفته می شود.
- فشار مورد استفاده در این روش بین ۷ تا ۳۵ مگاپاسکال است.

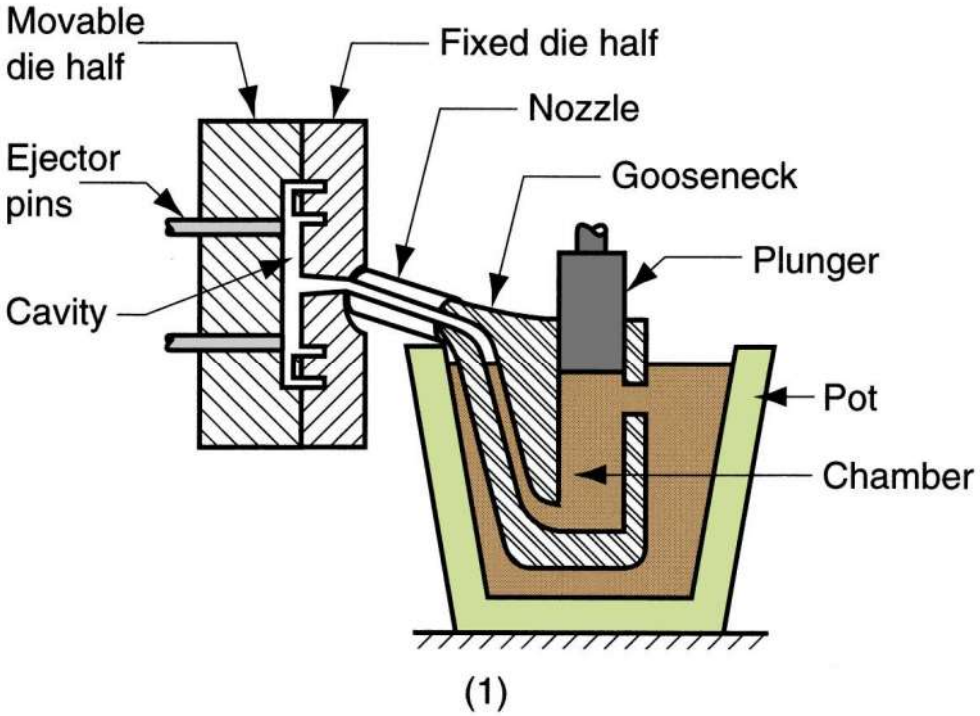
ماشینهای دایکاست

- بگونه ای طراحی شده که با دقت دو نیمه قالب را بسته و آن را بسته نگه دارد تا مذاب تزریق شود.
- دو نوع اصلی عبارتند از:
  ۱. ماشین با محفظه گرم
  ۲. ماشین با محفظه سرد

ماشین دایکاست با محفظه گرم

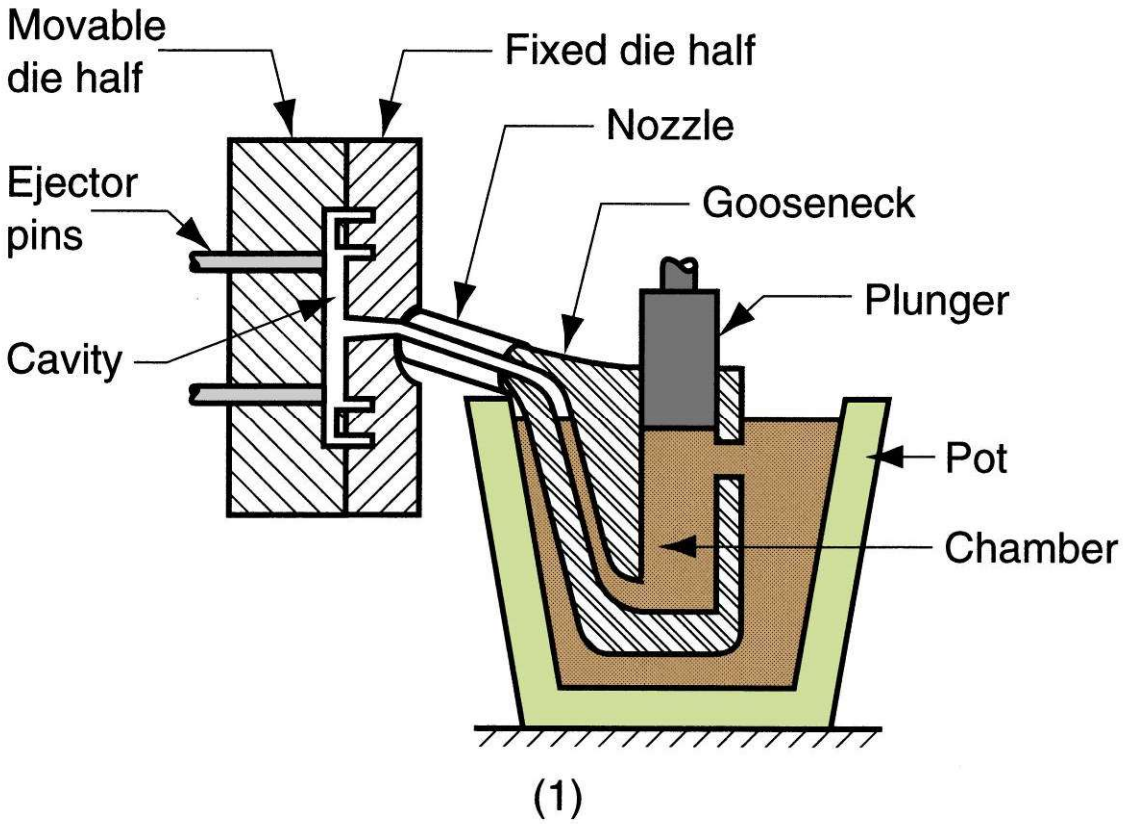
فلز در یک ظرفی ذوب شده و در همان ظرف با فشار پیستون به درون محفظه تزریق می شود.

- نرخ تولید تا ۵۰۰ قطعه در ساعت است.
- فشار تزریق بین ۷ تا ۳ مگاپاسکال است.
- محدود به فلزات با نقطه ذوب پایین است. برای فلزاتی مانند آلومینیوم که باعث خوردگی پیستون و اجزاء مکانیکی می شود مناسب نیست.
- فلزات قابل ریختگی: روی، قلع، سرب و منیزیم



(1)

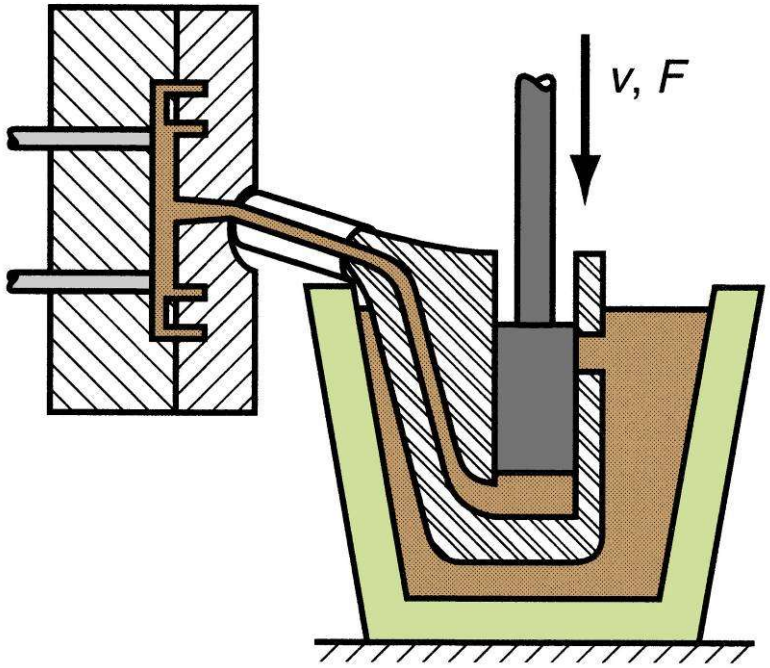
ماشین دایکاست با محفظه گرم



۱) قالب بسته شده و با حرکت پیستون به سمت پایین مذاب به درون قالب تزریق می شود.

ماشین دایکاست با محفظه گرم

به خاطر اینکه در قالبهای دائم منافذی برای خروج هوا وجود ندارد (مانند قالب ماسه ای) باید در قالب منافذی برای خروج هوا ایجاد شود.



(2)

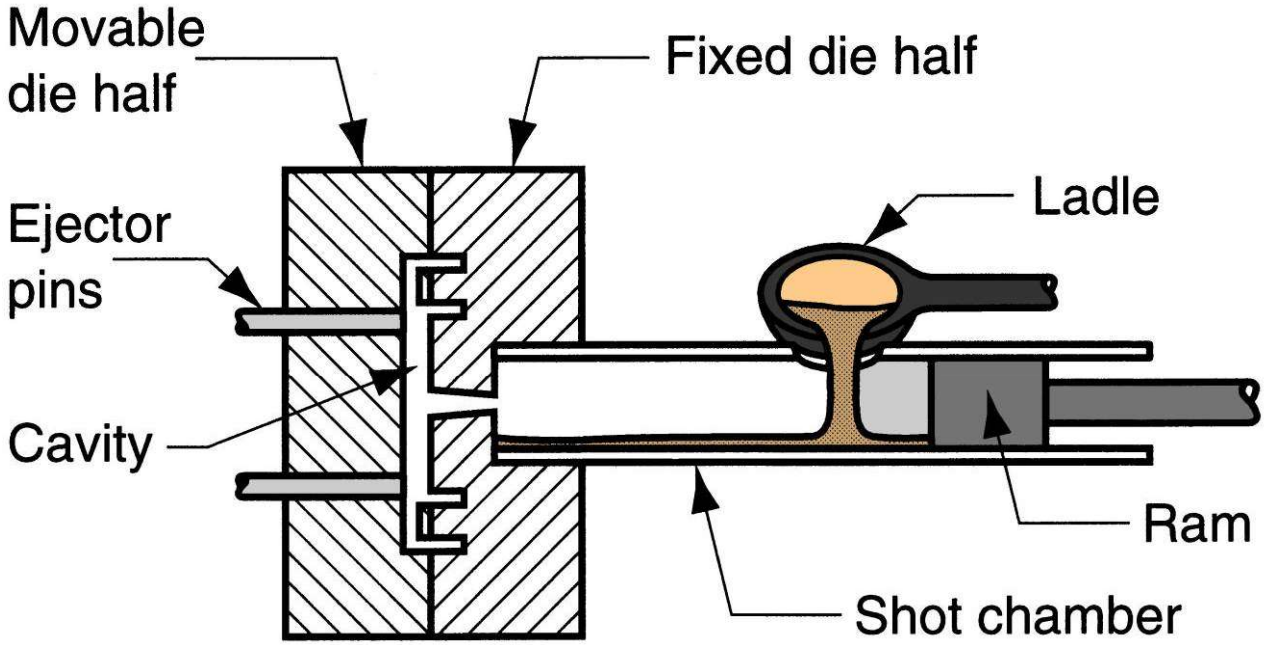
۲) پیستون با فشار مذاب را به درون قالب تزریق کرده و فشار را نگه داشته تا انجماد صورت گیرد.

ماشین دایکاست با محفظه سرد

مذاب توسط ملاقه درون محفظه سرد ریخته شده و مذاب توسط فشار پیستون (۱۴ تا ۱۴۰ مگاپاسکال) به درون حفره تزریق می شود.

- نرخ تولید بالا است اما نه به اندازه محفظه گرم زیرا زمانی صرف ریختن مذاب داخل محفظه تزریق می شود.
- فلزات قابل ریختگری: آلیاژهای آلومنیوم، برنج و منیزیم
- **مزیت محفظه سرد ریختگری فلزات با نقطه ذوب بالاتر است.**

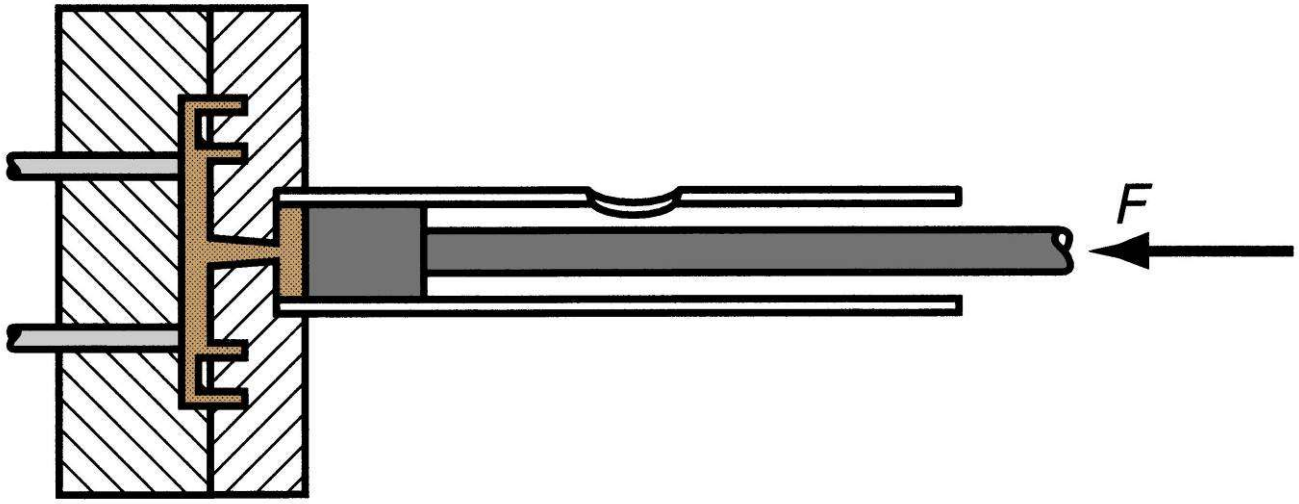
ماشین دایکاست با محفظه سرد



(1)

۱) قالب بسته شده، سیلندر به سمت عقب حرکت کرده و مذاب داخل محفظه ریخته می شود.

ماشین دایکاست با محفظه گرم

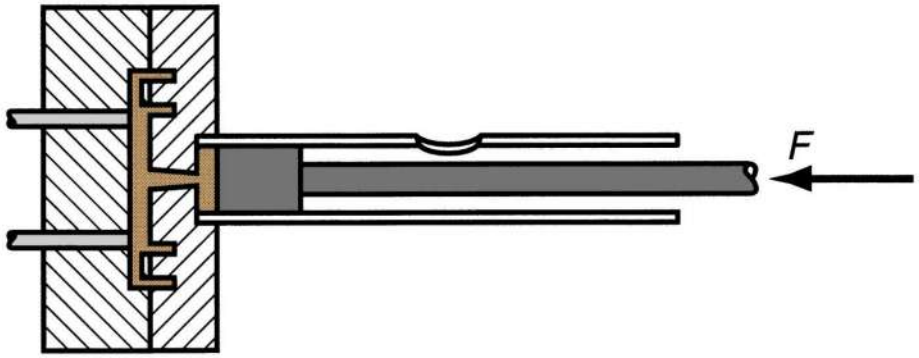


(2)

۲) پیستون با فشار مذاب را به داخل حفره تزریق کرده و فشار را تا انجماد قطعه حفظ می کند.

جنس قالبهای دایکاست

- معمولا جنس قالبهای مورد استفاده فولادی است.
- برای فولاد از قالبهای تنگستنی، مولیبدنی و گرافیتی استفاده می شود.
- برای بیرون انداختن قطعه به پینهای پران نیاز است.
- برای جلوگیری از چسبندگی روغنکاری قالب لازم است.



(2)

مزایا و محدودیتها

- **مزایای دایکاست:**
  - برای تولید بالا مناسب است.
  - دقت ابعادی (±0.076mm) و کیفیت سطح خوب است.
  - تولید مقاطع نازک امکانپذیر است.
  - به خاطر نرخ سرد شدن بالا ساختار ریزدانه شده و خواص مکانیکی بهبود می یابد.
- **معایب:**
  - معمولا محدود به فلزات با نقطه ذوب پایین است.
  - تولید قطعات خیلی پیچیده امکانپذیر نیست.
  - وجود پلیسه در فصل مشترک و پینهای پران

ریخته گری گریز از مرکز

در این روش قالب با سرعت بالا می چرخد و توسط نیروی گریز از مرکز مذاب روی بدنه قالب توزیع می شود.

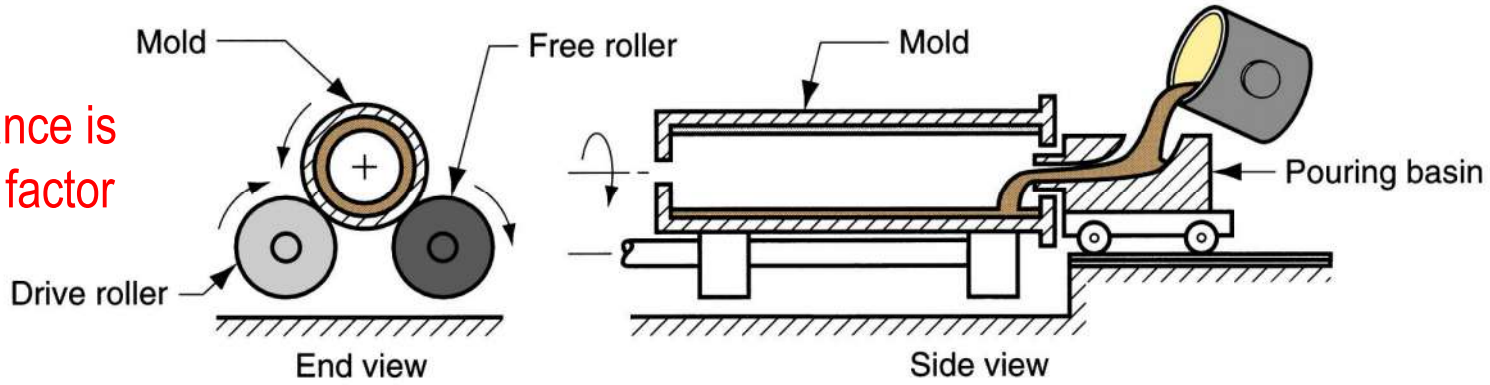
- این روش شامل:
  - ریخته گری گریز از مرکز صحیح
  - ریخته گری نیمه گریز از مرکز
  - ریخته گری گریز از مرکز

الف) ریخته گری گریز از مرکز صحیح

مذاب درون قالب چرخشی ریخته شده تا یک لوله تولید شود.

- در برخی روشها، قالب پس از ریختن مذاب داخل آن شروع به چرخش می کند.
- محور چرخش می تواند افقی یا عمودی باشد.
- قطعات تولیدی: قطعات توخالی مانند لوله ها
- شکل بیرونی می تواند گرد یا چند ضلعی باشد اما شکل داخلی گرد است.

Shrinkage allowance is not considerable factor



سرعت چرخشی قالب

NOT INCLUDED

- For successful ***horizontal centrifugal casting,*** the rotational speed (N) of mold can be computed as:

Centrifugal Force= F= $\frac{mv^2}{R}$

F: force (N); m= mass (Kg); v: velocity (m/s); R: inside radius of the mold

G-Factor= F/W= $\frac{mv^2}{R.mg}$= $\frac{v^2}{Rg}$ ** W=mg

v in terms of N (rotation): *v*= $\frac{2\pi RN}{60}$= $\frac{\pi RN}{30}$

Hence the GF= $\frac{v^2}{Rg}$ = $\frac{R(\pi N/30)^2}{g}$

Finally N= $\frac{30}{\pi}\sqrt{2gGF/D}$ ** $R = D/2$

- **If GF is very low**, the molten metal will not remain forced against the mold, rather it will rain inside cavity
- Therefore, GF must be kept between 60-80 (based on experiments)

مثال

Problem: A true centrifugal casting is to be performed horizontally to make copper tube sections: OD =25cm; ID= 22.5cm; GF= 65. Find rotational speed.

Solution:

$$N = \frac{30}{\pi}\sqrt{2gGF/D} \qquad ** R = D/2$$

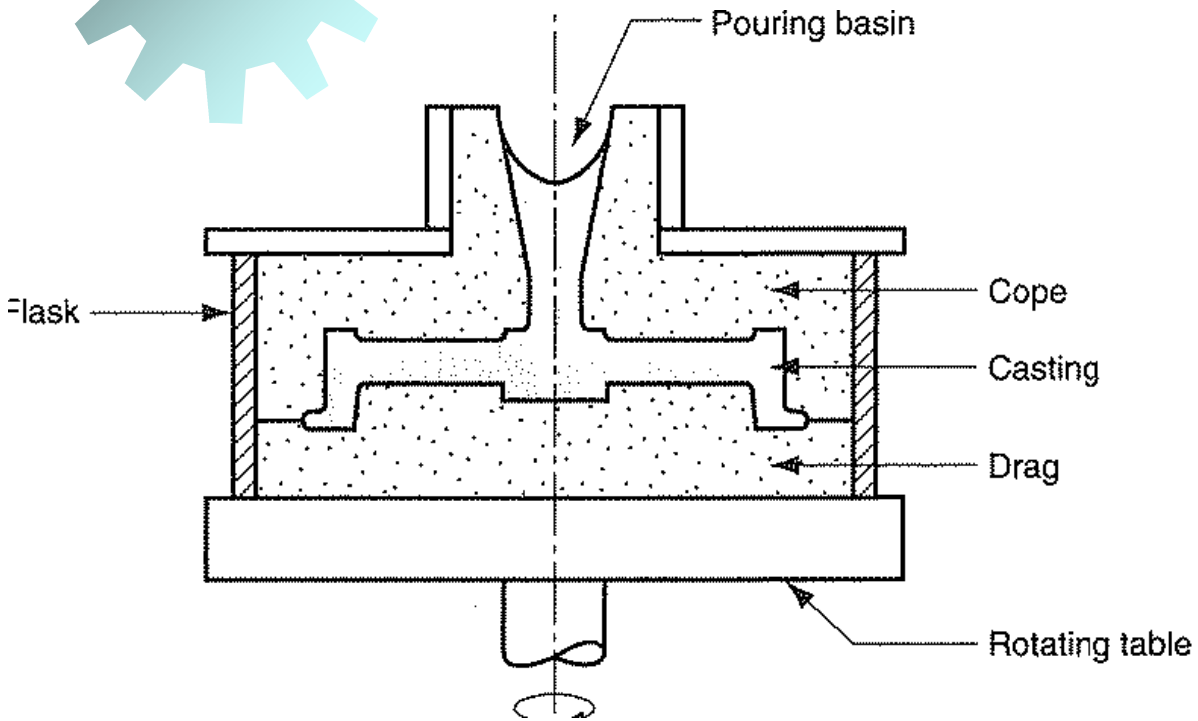
- OD =D= 25cm= 0.25m; g= 9.81m/s2; GF=65

On solving we get: 681.7 RPM (rev/min)

ریخته گری نیمه گریز از مرکز

از نیروی گریز از مرکز برای تولید قطعه توپر استفاده می شود نه لوله تو خالی

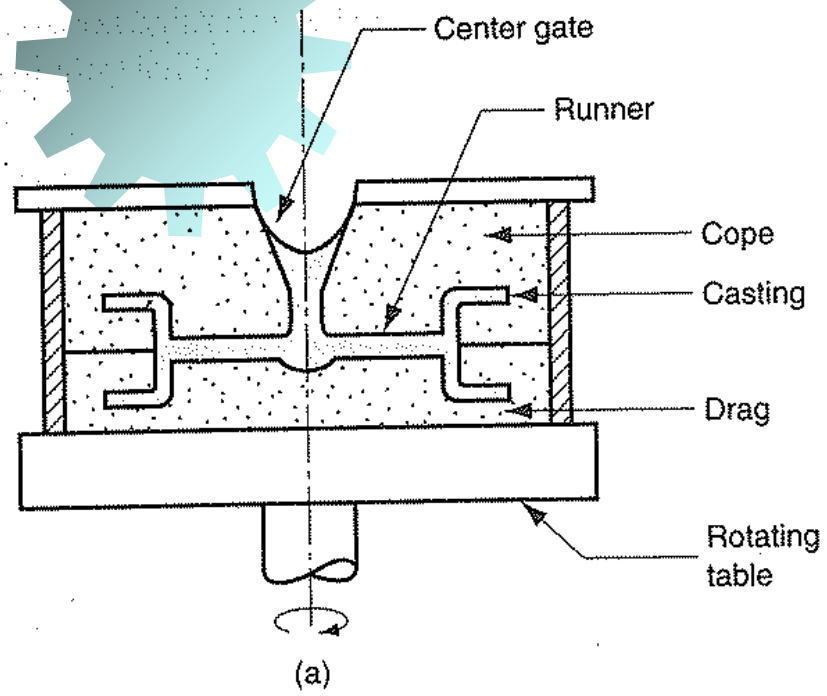
- قالب با تغزیه هایی در گوشه قالب طراحی می شود.
- چگالی فلز ریختگی در سطح بیرونی نسبت به سطح درونی بیشتر است.



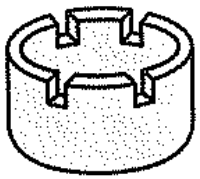
ج) ریخته گری گریز از مرکز

قالب دارای حفراتی است که دور از محور چرخشی قطعه قرار گرفته اند و مذاب توسط نیروی گریز از مرکز وارد حفره می شود.

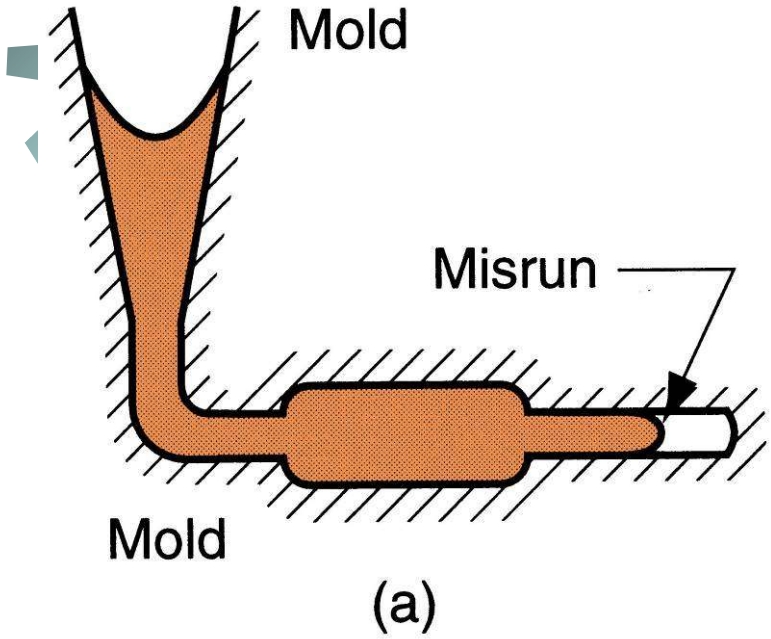
- برای قطعات کوچکتر استفاده می شود.
- تقارن شعاعی قطعه لازم نیست.



(a)



عیوب معمول: پرنشدن کامل قطعه



دلایل:

a. سیالیت مذاب فلزی کافی نیست
b. دمای ریختن کم است
c. ریختن خیلی آهسته انجام شده است.
d. سطح مقطع خیلی کم است.
e. قالب بر اساس قانون کورینوف طراحی نشده: قسمتهایی که دارای V/A بیشتری هستند باید نزدیک به گیت باشند.

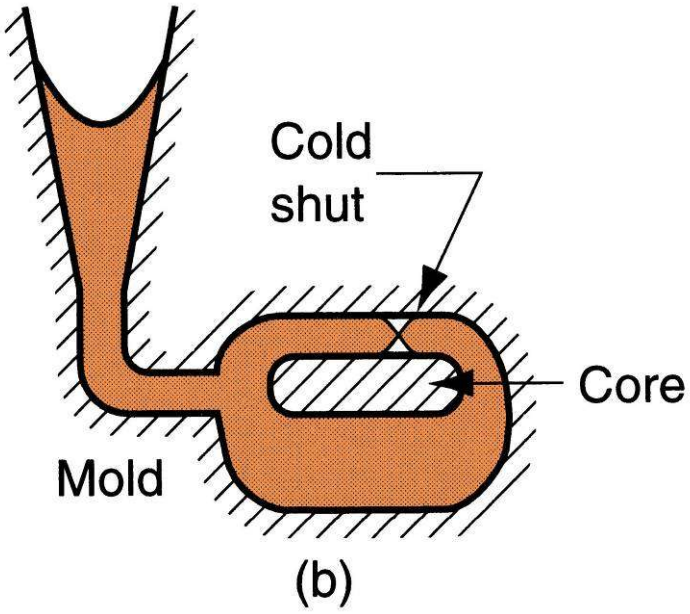
Some common defects in castings: (a) **misrun**

عیوب معمول: انسداد سرد

دو جبهه جریان مذاب که به همدیگر رسیده اند به دلیل سرد شدن زودهنگام در هم نفوذ نکرده اند.

دلایل:

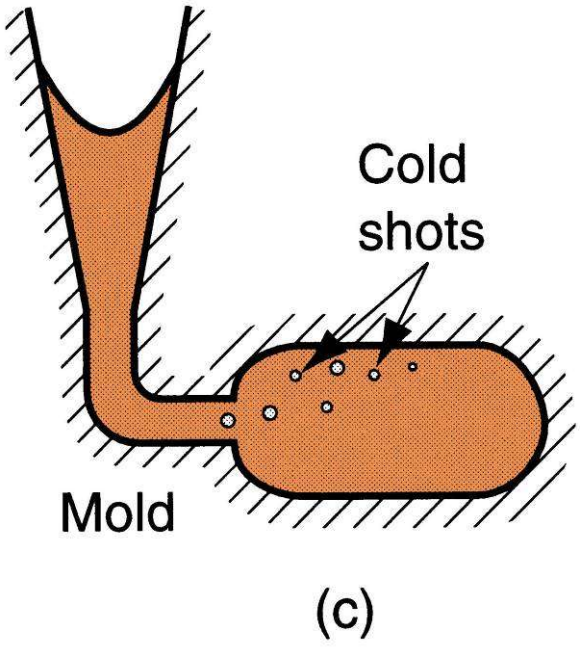
شبیه دلایل قبلی



Some common defects in castings: (b) **cold shut**

عیوب معمول: تاول سرد

فلز مذاب در طول ریختن پاشش کرده و گلوله های جامد شکل گرفته و در قطعه محبوس می شوند.

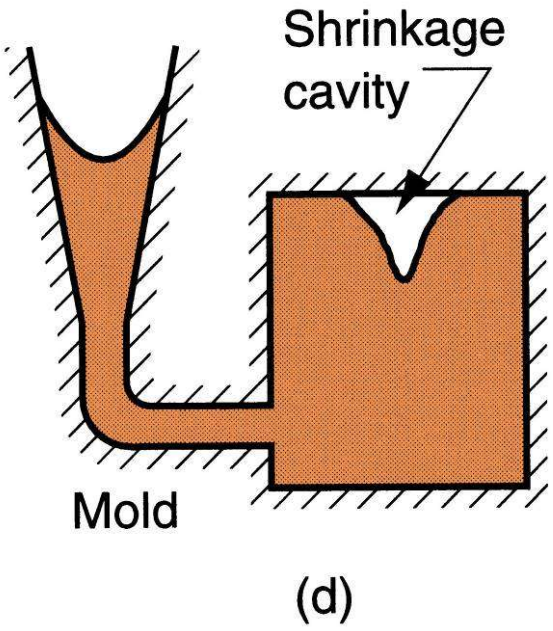


سیستم گیت باید بهبود پیدا کند.

Some common defects in castings: (c) **cold shot**

عیوب معمول: انقباض حفره

تورفتگی سطحی یا حفره های داخلی به دلیل انقباض پس از انجماد است.

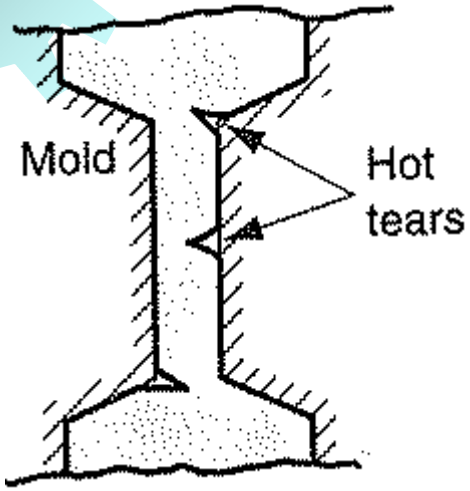


با طراحی صحیح تغزیه این مشکل حل می شود.

Some common defects in castings: (d) **shrinkage cavity**

عیوب معمول در ریخته گری ماسه: پارگی داغ

پارگی یا ترک خوردگی داغ در قطعه ریختگی هنگامی رخ می دهد که فلز مذاب نمی تواند به خاطر وجود حباب های هوا در تماس با قالب منجمد شود.

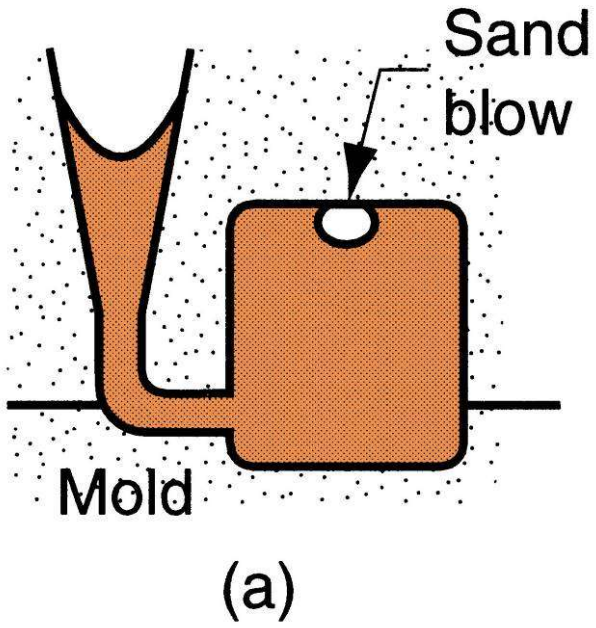


بهبود تخریب پذیری قالب

Common defects in sand castings: (e) **hot tearing**

عیوب معمول در ریخته گری ماسه: حباب ماسه

گازهای بالونی شکل ناشی از آزاد شدن گازهای قالب در قطعه ریختگی بوجود می آید.



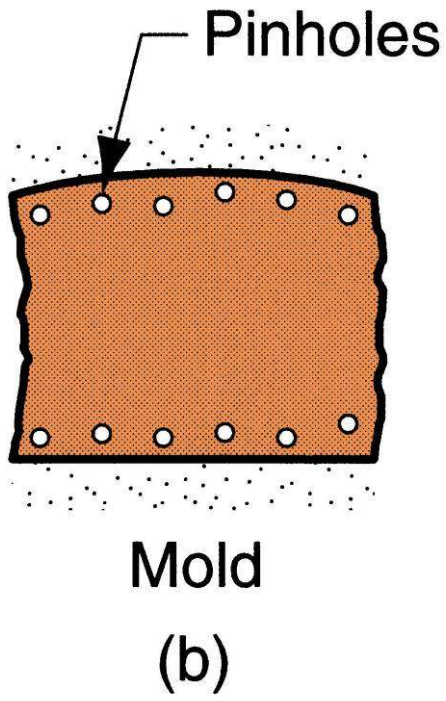
دلایل:

نفوذ پذیری کم قالب و رطوبت بالای قالب

Common defects in sand castings: (a) **sand blow**

عیوب معمول در ریخته گری ماسه: سوراخهای پین شکل

شکل گیری تعداد زیادی حفرات گازی اندکی زیر سطح قطعه ریختگی

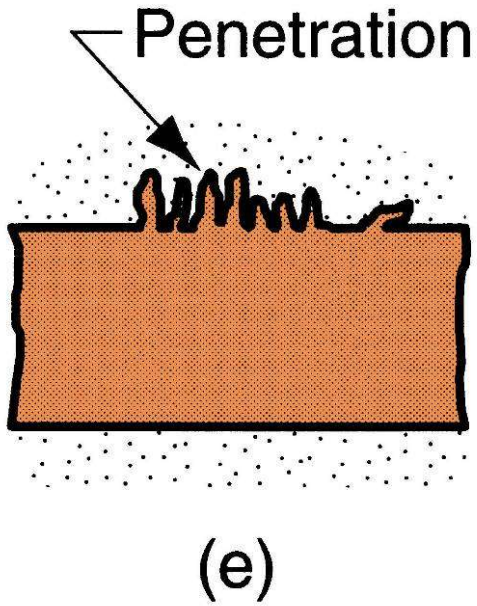


دلیل:
آزاد شدن گاز در طول ریختن فلز مذاب
راه درمان:
بهبود نفوذ پذیری قالب و ایجاد منافذ
خروج هوا

Common defects in sand castings: (b) **pin holes**

عیوب معمول در ریخته گری ماسه: نفوذ

هنگامی که سیالیت مذاب بالا باشد، ممکن است درون ماسه قالب یا ماهیچه نفوذ کند و باعث شود سطح ماده شامل ماسه شود.



راه درمان:

کوبش سخت تر ماسه

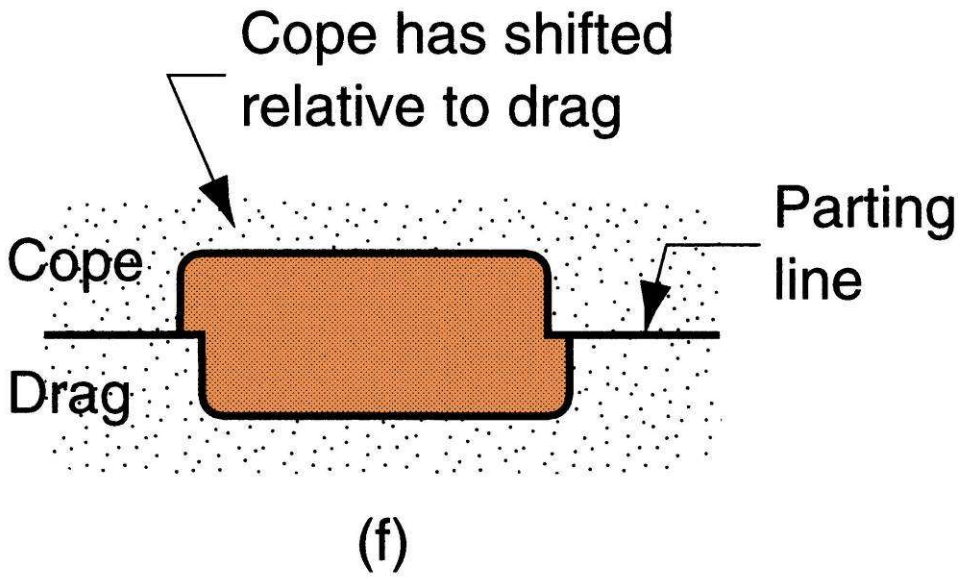
کاهش دمای ریختن

استفاده از چسب بهتر

Common defects in sand castings: (e) **penetration**

عیوب معمول در ریخته گری ماسه: جابجایی قالب

در خط جدایش قالب، ممکن است نیمه های قالب نسبت به هم حرکت کنند.



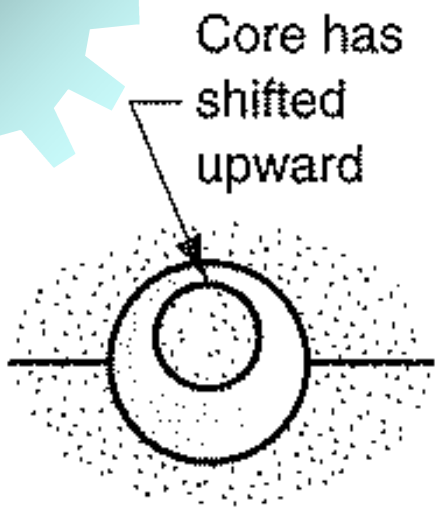
دلیل آن نیروی رانش مذاب است.
دو نیمه قالب باید دقیقا روی هم قرار گرفته و بسته شوند.
استفاده از صفحه میانی در مدل

Common defects in sand castings: (f) **mold shift**

عیوب معمول در ریخته گری ماسه: جابجایی ماهیچه

ماهیچه معمولا در جهت عمودی جابجا می شوند.

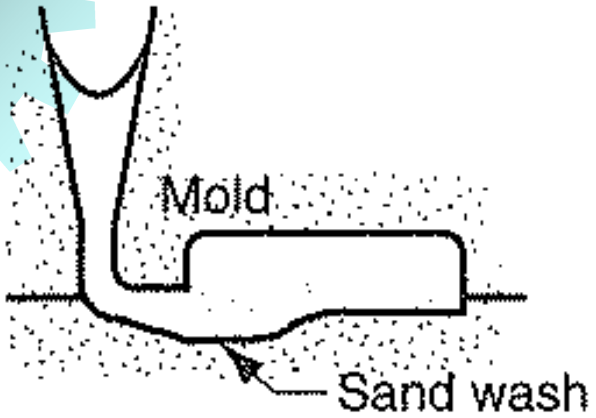
توسط نیروی رانش مذاب ایجاد می شود.
ماهیچه توسط آویز نگه داشته شود.



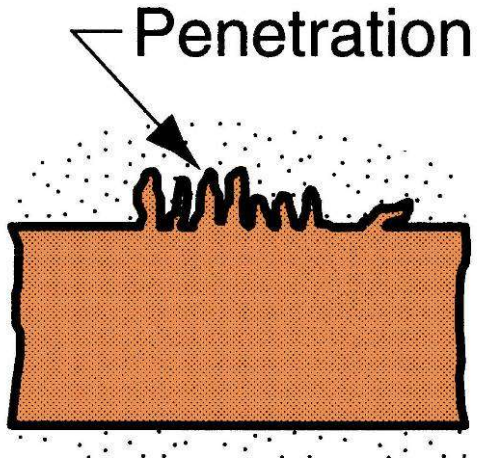
Common defects in sand castings: (g) **core shift**

عیوب معمول در ریخته گری ماسه: شستشوی ماسه

یکی از بی نظمی های سطحی قطعه ریختگی است که توسط خوردگی سطحی ماسه در طول ذوب ریزی ایجاد شده است.



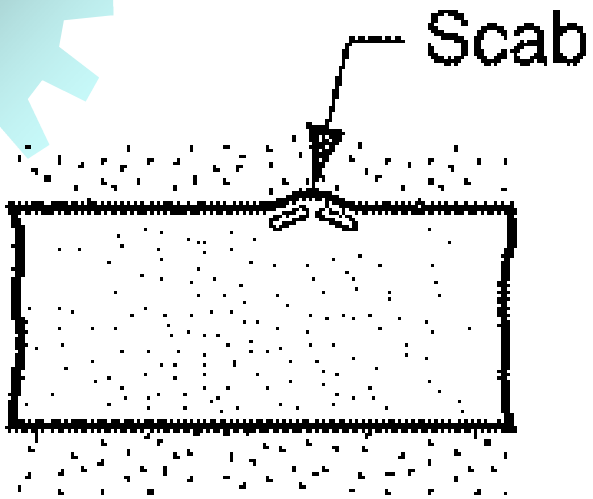
اغتشاش در جریان مذاب در طول ریختن باید کنترل شود.
همچنین دمای بالای مذاب نیز باعث خورده شدن سطح قالب می شود.



Common defects in sand castings: (**h) sand wash**

عیوب معمول در ریخته گری ماسه: تاول

تاولها محدوده های خشن روی سطح قطعه ریختگی بوده که در اثر ته نشین شدن ناخواسته ماسه قالب در قطعه ریختگی ایجاد می شود.

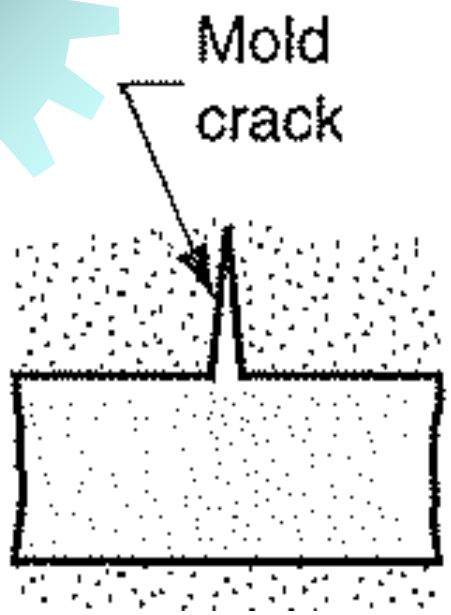


توسط بخشهایی ازسطح قالب که در طول انجماد پوسته شده و درون سطح قطعه ریختگی می رود، ایجاد می شود.
باید با کاهش اندازه ماسه و تغییر چسب استحکام قالب را افزایش دهیم.

Common defects in sand castings: (i) **scab**

عیوب معمول در ریخته گری ماسه: تاول

وقتی استحکام قالب در برابر مذاب فلزی بالا کافی نباشد ایجاد می شود.



بهبود استحکام قالب با کاهش انداز دانه و
تغییر چسب

Common defects in sand castings: (j) **mold crack**

فلزات ریختگی

- آلیاژهای ریختگی به دو دسته تقسیم می شوند:
  - آهنی
  - غیرآهنی

آلیاژهای ریختگی آهنی: چدن

- مهمترین آلیاژ ریختگی است.
- تناژ قطعات ریختگی چدنی چندین برابر همه آلیاژهای دیگر است.
- انواع آن عبارتند از: ۱) چدن سفید ۲) چدن خاکستری ۳) چدن داکتیل ۴) چدن مالیبل ۵) آلیاژهای چدنی
- دمای ریختن آن تقریبا ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد است.

آلیاژهای ریختگی آهنی: فولاد

- به خاطر خواص مکانیکی خوب آن یک فلز پرکاربرد مهندسی است.
- قابلیت تولید شکلهای پیچیده
- مشکلات ریخته گری فولاد:
  - دمای ریختن فولاد از بقیه فلزات بیشتر است (تقریبا ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد)
  - در این دما فولاد قابلیت اکسیداسیون بالایی دارد و باید در معرض هوا نباشد.
  - مذاب فولاد سیالیت کمی دارد.

آلیاژهای ریختگی غیر آهنی: آلومنیوم

- به عنوان ماده ریختگری پذیر خوب در نظر گرفته می شود.
- دمای ریختگی آن به خاطر نقطه ذوب پایین آن کم است.
  - T_m = 660°C (1220°F)
- خواص:
  - وزن سبک
  - با عملیات حرارتی خواص آن تغییر می کند.
  - ماشینکاری آن راحت است.

آلیاژهای ریختگی آهنی: آلیاژهای مس

- شامل برنز، برنج و بزنز آلومنیوم است.
- خواص:
  - مقاوم در برابر خوردگی
  - ظاهر جذاب
  - کیفیت یاتاقان بندی خوب
- محدودیت: هزینه مس بالا است.
- کاربردها: اتصالات لوله، پره های پروانه کشتی، اجزاء پمپ، قطعات زینتی

Assignment No. 1

Propose the best suitable casting process to make an aluminum cup. During selecting a process, keep the following points in view:

1. *No of cups= 4*
2. *Product cost= as low as possible*
3. *Surface quality= good. Quality is not as important as cost*
4. *Defects= some defects are acceptable*
5. *Processing time= not important*

Draw an analysis for each major type of casting process with reference to above conditions. Then choose one casting process and write a report in its support .

Term Project

Processing of--

- **Polymer** (choose a polymer type used in industry) **&**
- **Ceramic** (choose a ceramic type used in industry)

Students can make groups to work. A group should not compose of more than 2 students

All projects should include:

- Process introduction, Processing data for at least one product (either made of polymer or ceramics). Also mention manufacturing method for that particular product

-To obtain processing data, the students can consult Metals Handbooks OR any other handbook OR Internet.

- The type of material chosen should be different in each group.

Topic Submission Dead Line: *on or before 09- April-2014*

Dead Line for Project Submission: *02 weeks before the end of semester*