

روشهای تولید و کارگاه

فهرست

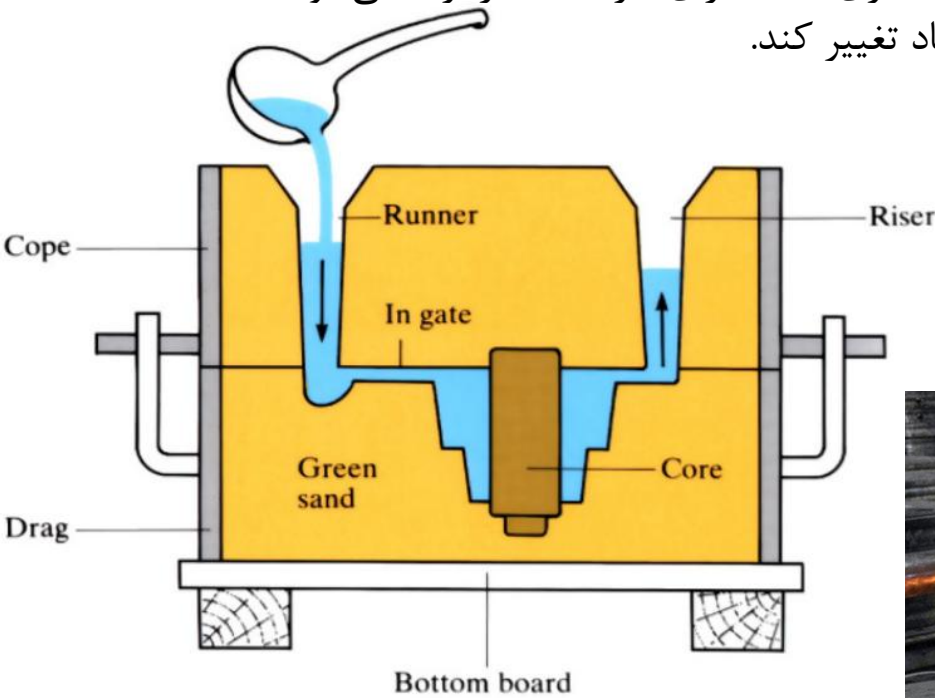
- 1) روشهای قالبگیری و ریخته گری فلزات
- 2) روشهای قالبگیری پلیمرها
- 3) روشهای شکل دهی فلزات
- 4) روشهای ماشینکاری
- 5) روشهای پیشرفته تولید

قالبگیری و ریخته گری

- طراحی مدل و تهیه قالب.
- ریخته گری در قالب ماسه‌ای.
- قالب گیری پوسته‌ای.
- ریخته گری در قالب گچی.
- ریخته گری دقیق.
- ریخته گری گریز از مرکز.
- ریخته گری در قالب دائمی.
- ریخته گری تحت فشار.
- ریخته گری قطعات توخالی.
- ریخته گری قطعات ریز.

تعریف ریخته گری و قالبگیری

- فرآیندی که طی آن، یک ماده مذاب با ویسکوزیته معین در فضای خالی بین قالب ریخته شده تا پس از انجماد، سرد شود و شکل قالب را به خود بگیرد ریخته گری (Casting) یا قالبگیری نامیده می شود.
- این فرآیند را فلزریزی و مذابریزی نیز می نامند.
- فلزات، پلیمرها و کامپوزیتها قابل قالبگیری هستند اما واژه ریخته گری عمدتاً برای فلزات به کار برده می شود.
- در ریخته گری ممکن است ساختار مولکولی ماده در حین انجماد تغییر کند.



محصولاتی که با فرآیند ریخته گری تولید می شوند بسیار متنوع هستند. این قطعات دارای شکلهای هندسی مختلف و گاهی پیچیده هستند. محصولاتی که با فرآیند ریخته گری تولید می شوند را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد. ۱- محصولاتی که خودشان قطعه کار خام برای فرآیندهای دیگر (ماشینکاری، شکل دهی) هستند و ۲- محصولاتی که مستقیماً و یا تنها با یک عملیات ثانویه ساده به روی خط مونتاژ می روند.



طراحی مدل و تهیه قالب

• مدل (pattern) مانند قطعه است که با استفاده از آن، حفره قالب (Cavity) ساخته می شود.

(1)

مدل یک تکه: برای قالبگیری قطعات ساده و تیراژ تولید کم.

(2)

مدل دو تکه یا چند تکه: برای قالب سازی قطعات قوس داری که خارج کردن قطعه یا مدل مسطح مشکل است از این نوع مدل استفاده می شود.

(3)

مدل صفحه ای: مدل بصورت دائمی روی صفحه ای محکم شده است.

✓ در مدل صفحه ای می توان سیستم راهگاهی برای حرکت مذاب در فضای خالی قالب را روی مدل نصب کرد.

✓ مدل ها را از چوب، گچ یا پلاستیک می توان ساخت.

✓ در مورد مدل های پلاستیکی از پلی استیلن اسفنجی و مومی استفاده می شود.

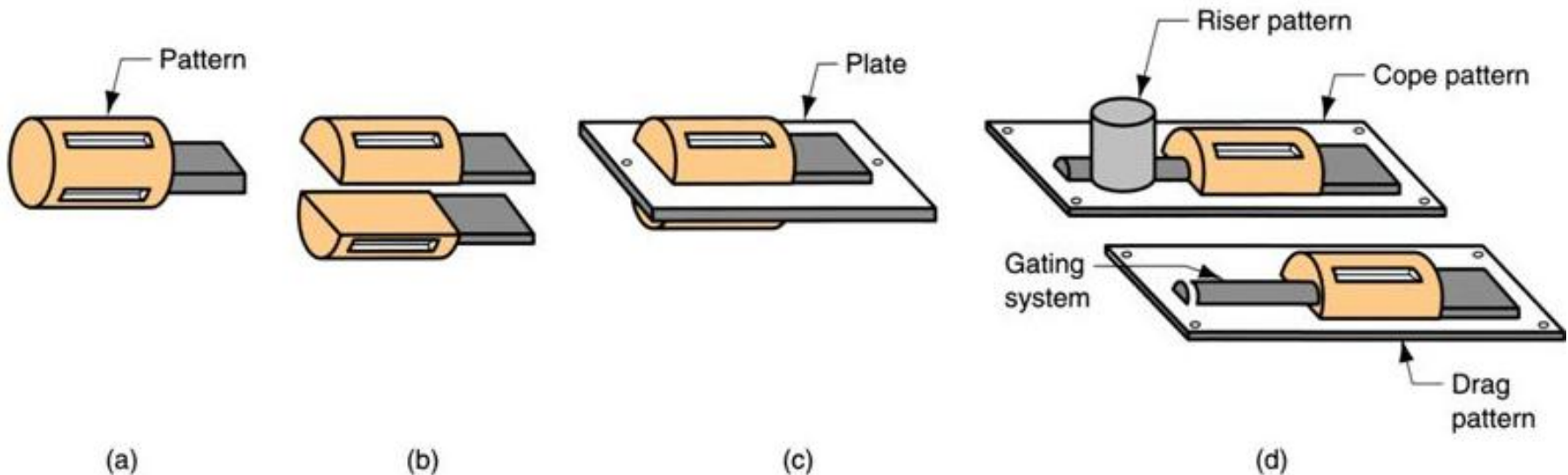
✓ نکته مهمی که در همه مدلها باید رعایت شود، ایجاد راکورد به جای لبه تیز در گوشه های قسمتهای مختلف مدل است.

(a) solid pattern

(b) split pattern

(c) match-plate pattern

(d) cope and drag pattern



مراحل قالبگیری

(a) نقشه قطعه.

(b) صفحه بالایی مدل.

(c) صفحه پایینی مدل.

(d) قالب ساخت نیم ماهیچه.

(e) دو نیم ماهیچه بر روی هم.

(f) صفحه مدل بالایی به همراه

مدلهای راهگاه، تغذیه در داخل

نیمه بالایی قالب قرار داده شده

و آماده برای ماسه ریزی.

(g) نیمه بالایی از ماسه پر شده و

مدلها از قالب خارج می شود.

(h) صفحه پایینی مدل در نیمه

پایینی قالب.

(i) ماسه ریزی و در آوردن مدل

پایینی.

(j) قرار دادن ماهیچه در نیمه

پایینی قالب.

(k) جفت کردن و بستن دو نیمه

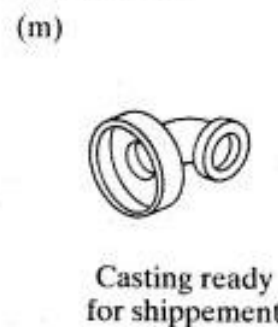
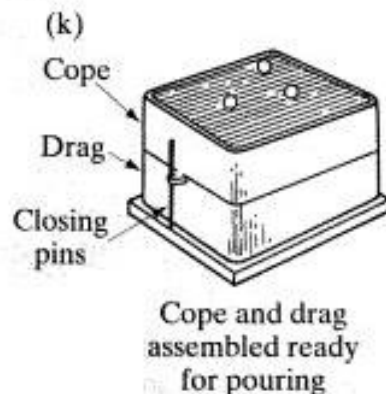
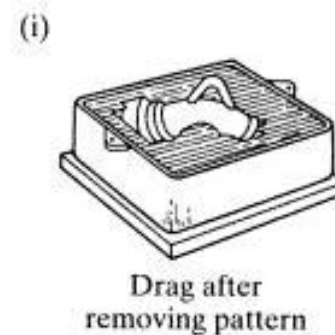
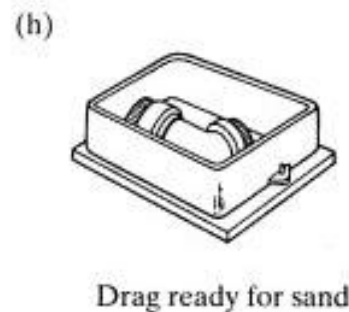
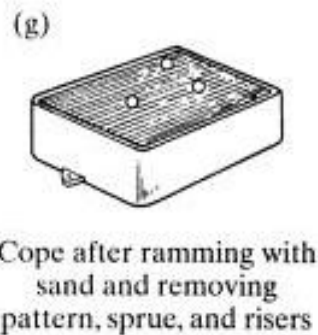
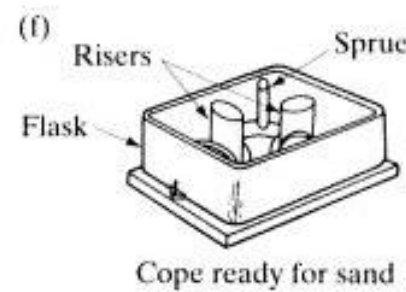
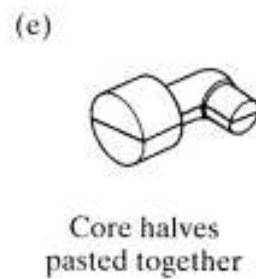
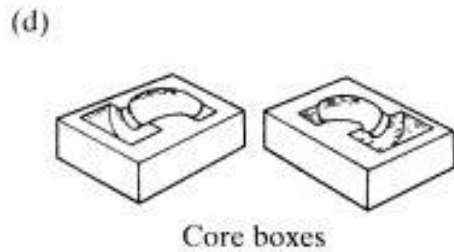
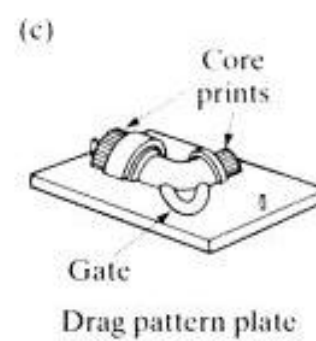
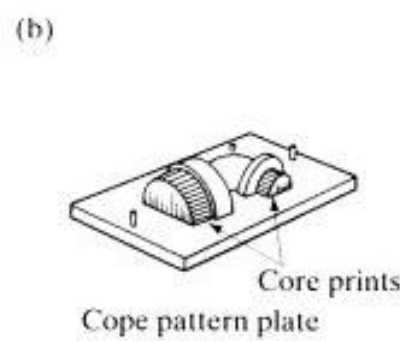
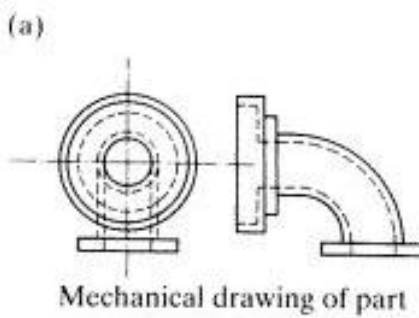
قالب و مذاب ریزی

(l) قطعه تولید شده همراه با

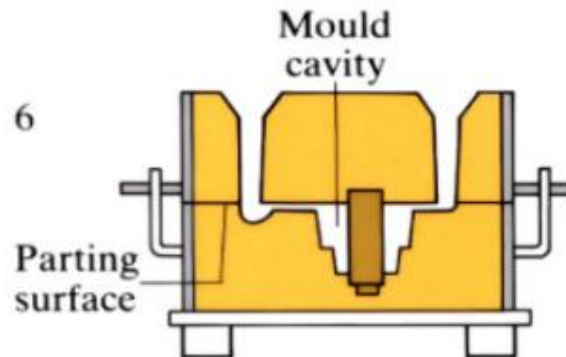
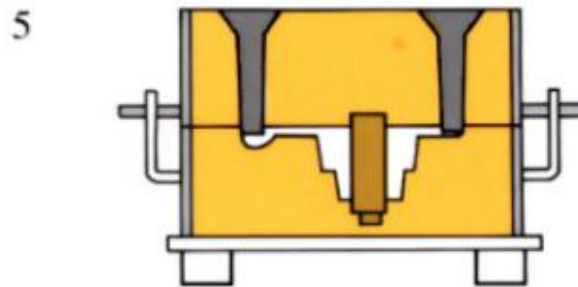
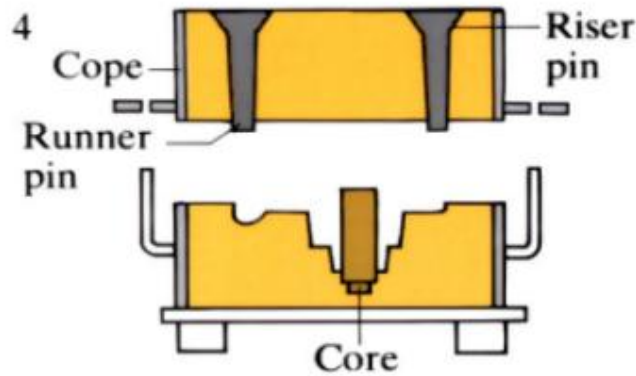
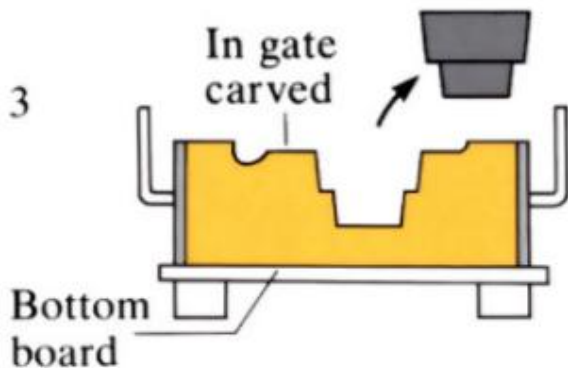
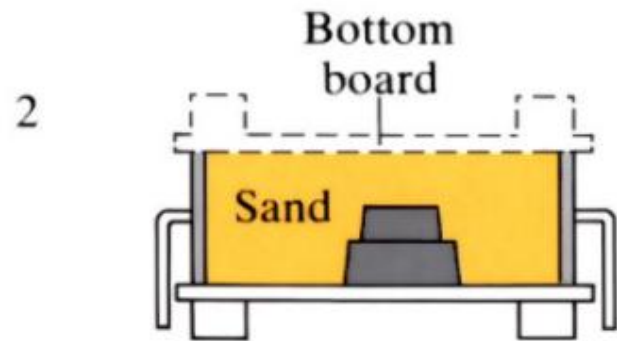
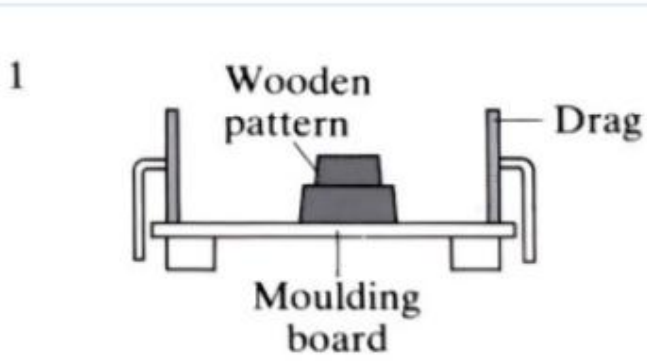
راهگاه و رایزر

(m) راهگاه و رایزر از قطعه جدا و

قطعه تمیزکاری شده



مراحل قالبگیری – خلاصه



۱- قرار دادن مدل در نیمه پایینی قالب (Drag) به صورت وارونه.

۲- ماسه ریزی بر روی مدل در داخل نیمه پایینی قالب و کوبش ماسه و قرار دادن صفحه زیرین قالب بر روی آن.

۳- برگرداندن درگ و خارج کردن مدل از داخل ماسه، ایجاد گیت.

۴- آماده سازی نیمه بالایی قالب (Cope) همراه با مدل رانر و رایزر (به همان صورتی که درگ آماده شد) و همچنین قرار دادن ماهیچه داخل حفره.

۵- قرار دادن نیمه بالایی بر روی نیمه پایینی و بستن قالب.

۶- درآوردن مدل رانر و رایزر.

✓ قالب آماده برای مذاب ریزی است. در طی مراحل فوق، مذاب در کوره در حال آماده سازی بوده است.

مراحل قالب‌گیری و ریخته‌گری

ریخته‌گری در ماسه دارای ۴ عملیات اصلی است.

۱- ماهیچه سازی: ماهیچه (Core) جزئی از قالب است (اگر لازم باشد) و قبل از عملیات قالب‌گیری باید ماهیچه آماده شده باشد.

- ماهیچه برای ایجاد حفره در قطعه ریخته‌گری استفاده می‌شود. همچنین در مواردی که سطح حفره قالب نامنظم است، از ماهیچه به عنوان تکیه‌گاه هم استفاده می‌شود. گاهی برای ساخت حفره‌هایی که ایجاد شکل آن در ماسه مشکل است از ماهیچه استفاده می‌شود.
- ماسه ماهیچه با موادی مخلوط می‌شود تا استحکام آن افزایش یابد و توانایی قرار گرفتن در قالب را بدون ریزش داشته باشد.
- مخلوط ماسه در قالب ماهیچه‌سازی کوبیده می‌شود تا استحکام آن بالاتر رود. سپس با توجه به نوع ماسه ماهیچه، عملیاتی برای افزایش استحکام ماهیچه انجام می‌دهند. مثلاً با عبور گاز مخصوص از درون قالب، ماهیچه را مستحکم‌تر می‌کنند. یا در مواردی، ماهیچه را از قالب ماهیچه‌سازی خارج کرده و در کوره جهت پخت قرار می‌دهند.

• بعد از عملیات مستحکم‌سازی ماهیچه، آنرا در قالب ریخته‌گری قرار می‌دهند تا با توجه به وظیفه‌ای که از آن انتظار دارند عمل کند.

۲- قالب‌گیری: هدف از ساخت قالب ایجاد یک حفره با ابعاد دقیق جهت نگه داشتن مذاب تا رسیدن به نقطه انجماد و تشکیل قطعه است.

• قالب از موادی چون ماسه، گچ یا فلز ساخته می‌شود.

• قالب دارای دو نیمه اصلی بالایی (Cope) و نیمه پایینی (Drag) است. محل قرارگیری دو نیمه قالب بر روی هم را خط جدایش می‌گویند. تمام حفره می‌تواند در نیمه پایینی باشد (خط جدایش بر روی لبه‌های بالایی قطعه) و یا نیمی از آن می‌تواند در نیمه بالایی و بخشی از آن در نیمه پایینی قالب قرار گرفته باشد (خط جدایش جایی در وسط قطعه).

• بعد از برداشتن مدل، معمولاً یک راهگاه فرعی یا دهانه ورودی مذاب (گیت) (Pouring cup, Sprue, Runner & Gate) برای ورود مذاب به داخل حفره ایجاد می‌شود. در بعضی از نمونه‌ها، بخشی از راهگاه فرعی و گیت همراه با مدل ساخته می‌شود.

• مدل‌های مربوط به راهگاه اصلی و رایزر در نیمه بالایی قالب قرار داده شده و پس از ماسه کوبی، این مدل‌ها از نیمه بالایی خارج می‌شود.

• بعد از تهیه نیمه بالایی و نیمه پایینی قالب، دو نیمه را بر روی هم جفت کرده و آنرا آماده برای عملیات مذاب ریزی می‌کنند.

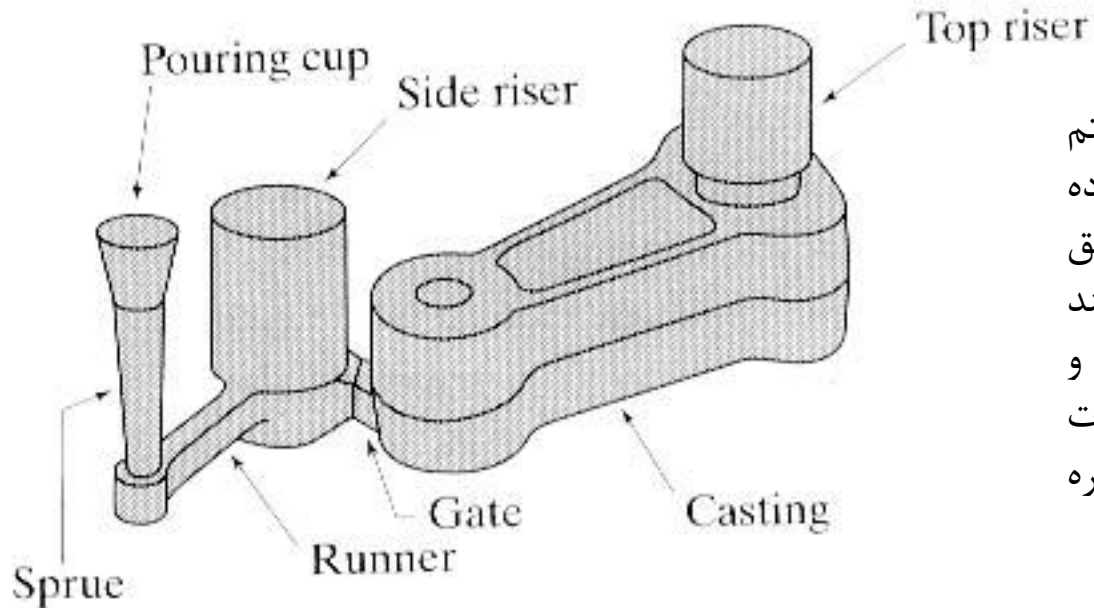
۳- مذاب سازی و ریختن مذاب: قطعات فلز منجمد را داخل کوره ریخته و تا نقطه ذوب حرارت می‌دهند. گاهی افزودنی‌هایی برای بهبود خواص مکانیکی و متالورژیکی محصول، به مذاب اضافه می‌کنند.

• عملیات مذاب‌سازی در کوره‌های نفتی، گازی، ذغالی یا برقی (القایی) انجام می‌شود.

• بعد از برداشتن ناخالصی‌ها از روی مذاب، مذاب را از طریق مدخل قالب در درون حفره قالب می‌ریزند.

۴- تمیز کاری و پرداخت کردن:

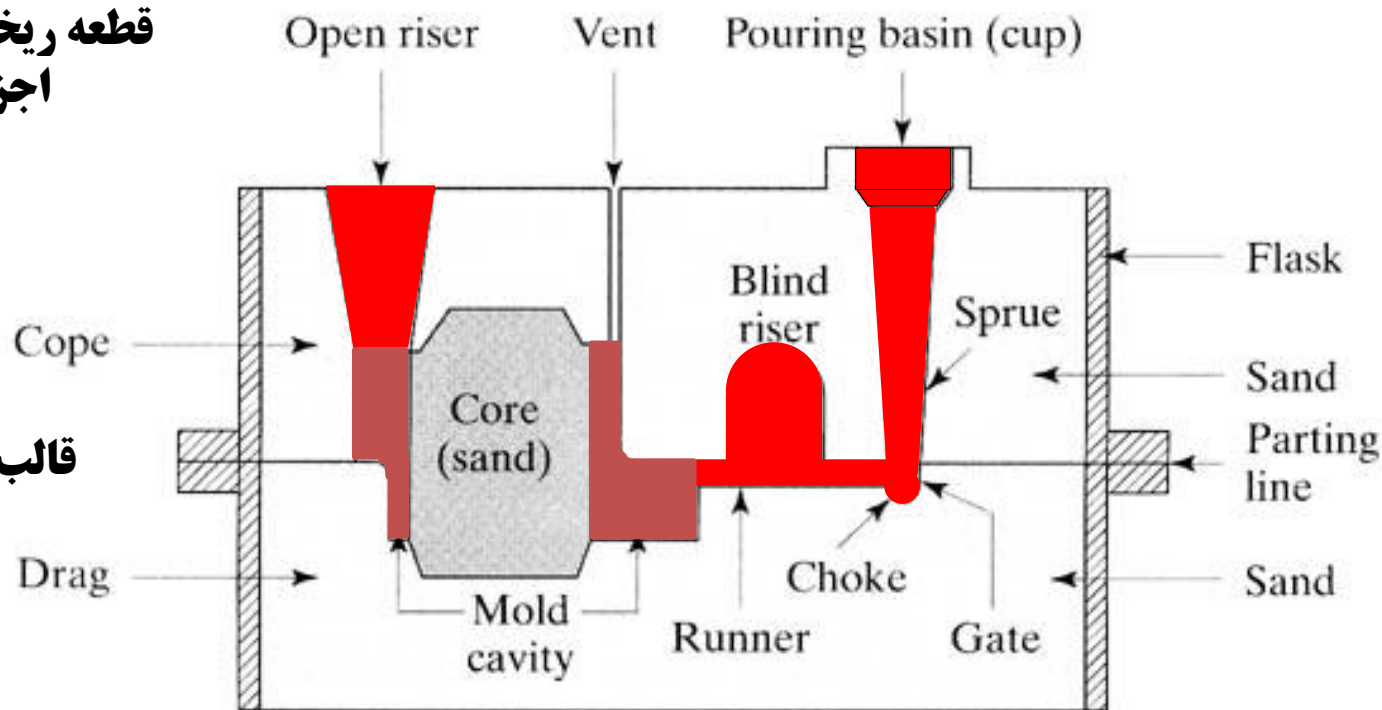
• پس از سرد شدن، قالب را باز کرده و قطعه ریخته‌گری شده را از آن خارج می‌کنند. راهگاه و رایزر را از آن جدا کرده و با عملیات ویژه، آنرا تمیز و پرداخت می‌کنند.



اصولاً قالبهای ریخته‌گری ماسه‌ای دارای یک سیستم راهگاهی ساده هستند اما همین سیستم راهگاهی ساده نقش اساسی در انجام یک عملیات ریخته‌گری موفق دارد. هدایت مذاب به سمت حفره، کنترل فرآیند انجماد، ایجاد یک جریان آرام مذاب بدون اغتشاش و محبوس شدن هوا، به دام انداختن ناخالص‌ها و ذرات آلاینده مانند اکسیدها و جلوگیری از ورود آنها به حفره قالب از وظایف سیستم راهگاهی است.

قطعه ریخته‌گری شده همراه با اجزای قالب‌گیری

قالب ماسه‌ای همراه با اجزای آن



Cope : نیمه بالایی قالب.

Drag : نیمه پایینی قالب.

Parting line : خط جدایش دو نیمه قالب.

Pouring cup : محل ریختن مذاب در قالب.

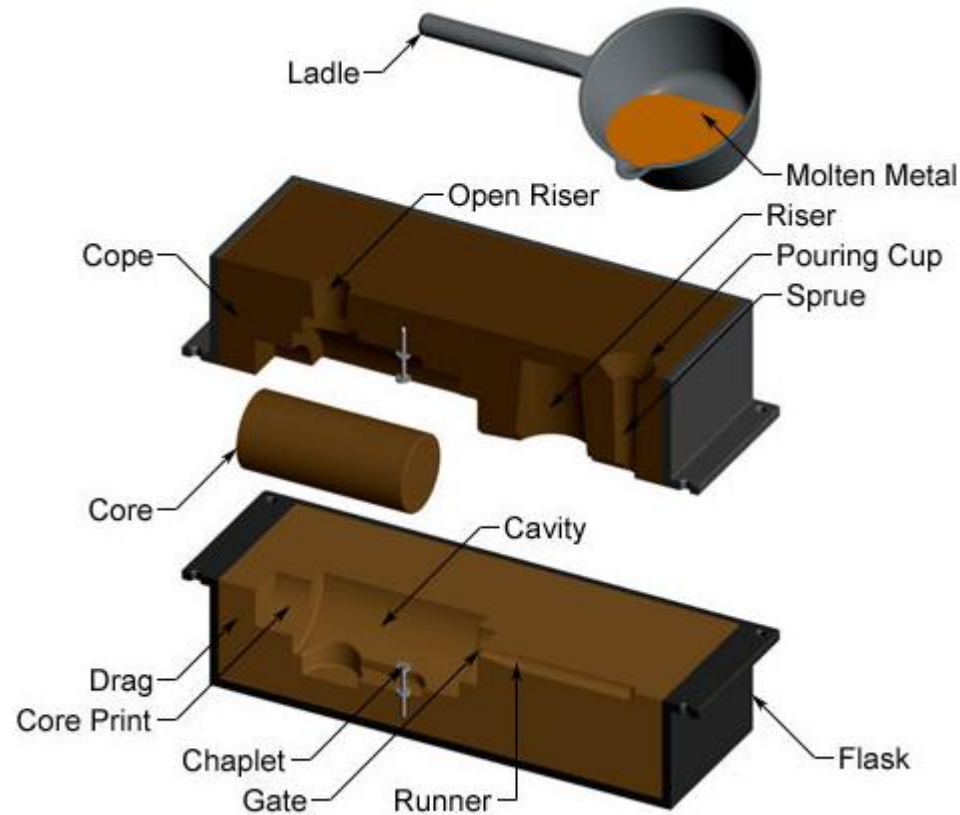
Sprue : سوراخ انتقال مذاب به راهگاه یا به حفره.

Runner : راهگاه - سوراخ انتقال مذاب به گیت یا حفره.

Gate : محل اتصال راهگاه به حفره.

Core : ماهیچه - برای ایجاد قسمتهای توخالی در قطعه.

Chaplet : نگهدارنده ماهیچه درون حفره. پس از مذابریزی داخل قطعه می ماند.

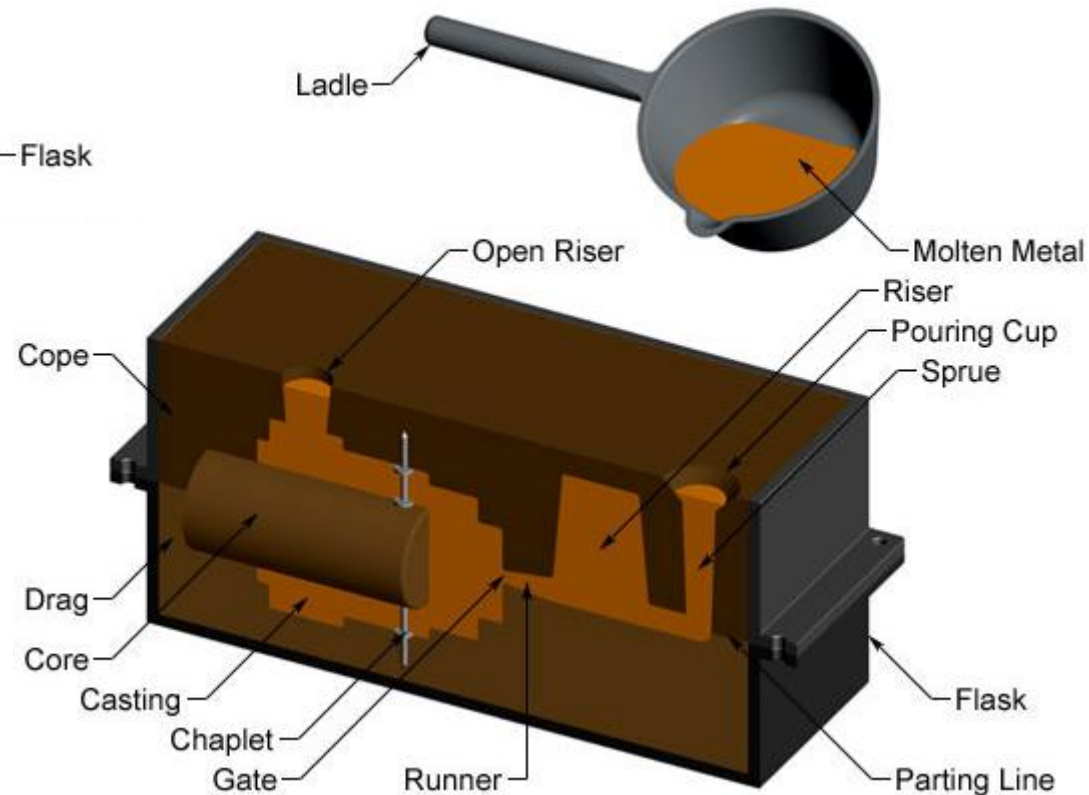


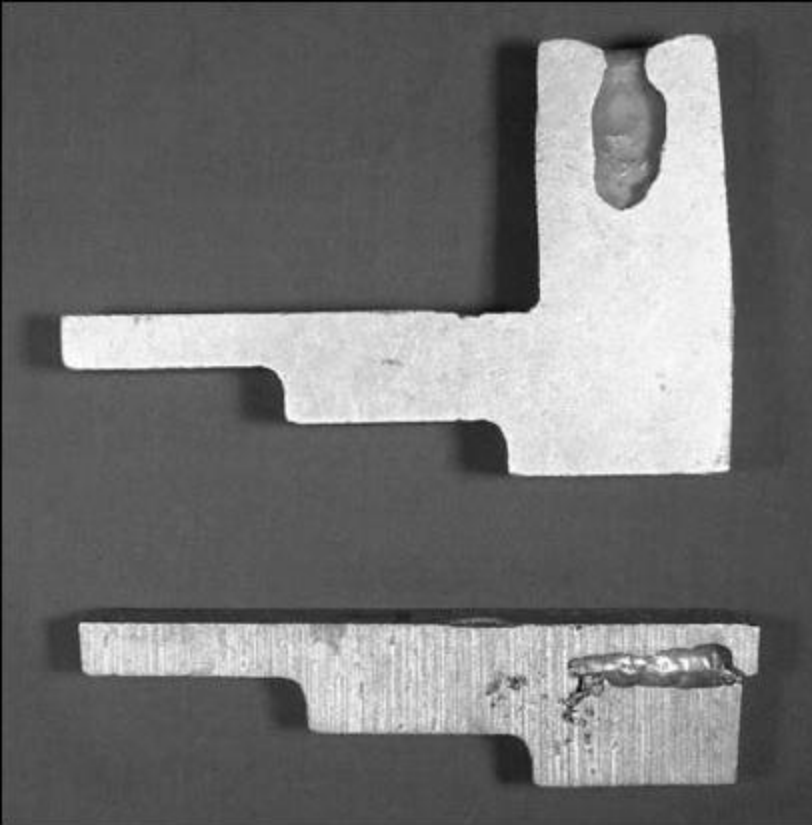
Flask : پوسته فلزی یا چوبی قالب.

Core Print : نشیمنگاه ماهیچه.

Cavity : حفره قالب.

Riser : تغذیه قالب. جبران مذاب در هنگام پر شدن قالب و انجماد.





شکل روبرو تأثیر استفاده یا عدم استفاده از رایزر را نشان می‌دهد. برای فهم بهتر موضوع، قطعه از وسط بریده شده تا مقطع آن دیده شود. در قطعه بالایی از یک رایزر باز استفاده شده است. همانگونه که مشخص است در هنگام انجماد و انقباض قطعه، مقداری از مذاب از سمت رایزر به سمت قطعه اصلی کشیده شده است. به عبارت دیگر جبران انقباض (Shrinkage) قطعه توسط مذاب اضافه‌ای که در رایزر قرار گرفته بود شده است.

اما در قطعه زیری از رایزر استفاده نشده است. همانگونه که مشخص است در وسط قطعه یک حفره پدید آمده که ناشی از انقباض در هنگام انجماد است. قسمتهایی که نزدیک به دیواره قالب هستند زودتر منجمد می‌شوند و وسط قطعه هنوز در حالت مذاب است. آن قسمتهایی که زودتر منجمد شده‌اند مواد مذاب وسط قطعه را برای جبران انقباض به سمت خود کشیده‌اند و بنابراین یک حفره در وسط قطعه به وجود آمده است. این حفره باعث مردود شدن قطعه در مرحله کنترل کیفی می‌شود. مقادیر انقباض برخی از فلزات رایج در جدول زیر برای مقایسه آمده است. این مقادیر باید در هنگام مدلسازی لحاظ شوند.

Aluminum	6.6
Copper	4.9
Magnesium	4.0
Zinc	3.7
Low-carbon steel	2.5–3.0
High-carbon steel	4.0
White cast iron	4.0–5.5
Gray cast iron	–1.9

فرآیند انجماد و شکل گیری قطعه

- قطعه ریخته‌گری شده به طور پیوسته و بصورت بلورهایی از لایه‌های بیرونی قطعه به سمت داخل منجمد شده، و به تدریج قطعه منجمد شکل می‌گیرد.
- آهنگ (سرعت) انجماد قطعه بستگی به جرم قطعه، مساحت سطح مقطع و ضریب انتقال حرارت (مذاب-قالب) دارد.
- با توجه به انقباض قطعه به هنگام انجماد، حجم مذاب‌ریزی باید بیشتر از قطعه مورد نظر باشد.
- مذاب اضافی در تغذیه قالب (Riser) ذخیره می‌شود تا در هنگام انقباض حجمی، کمبود ماده مذاب را تامین کند. همچنین مذاب اضافی می‌تواند یک فشار نسبی متعادل بر روی مذابی که در درون حفره قالب هستند ایجاد کند. این فشار نسبی بر توپر و چگال شدن محصول موثر خواهد بود.
- همچنین در هنگام مدلسازی، این انقباض را در نظر می‌گیرند و با اعمال یک ضریب انقباض، مدل را کمی بزرگتر از محصول می‌سازند. مدل باید انقباض قطعه را جبران کند تا قطعه از اندازه مورد نظر کوچکتر نشود.
- به طور کلی، انقباض قطعه در هنگام گذر از فاز انجماد درون قالب، باعث تنش‌های داخلی در مقاطع مختلف قطعه می‌شود. علت اصلی این مسأله این است که مقاطع ضخیم‌تر در قطعه دیرتر منجمد می‌شوند. تنشهای باقیمانده داخلی در قطعه که به دلیل ناهم‌هنگی در انجماد و انقباض رخ داده، عامل بروز بسیاری از عیوب در محصول خواهد شد که می‌توان به بروز ترک در قطعه اشاره کرد.
- انجماد بیشتر فلزات با تشکیل بلورها همراه است.
- اندازه بلورها به زمان سرد شدن قطعه بستگی دارد.
- ساختار بلورین مقاطع ضخیم‌تر، بدلیل انجماد طولانی، درشت‌تر از ساختار بلوری مقاطع نازک‌تر است و همین تفاوت ساختار بلورین مقاطع، باعث بروز خواص مکانیکی ضعیف در قطعه می‌شود. بنابراین قواعد طراحی قطعه ریخته‌گری باید رعایت شود.
- به طور کلی، عواملی که بر فاز انجماد مذاب درون قالب موثر است عبارتند از: نوع فلز، خواص گرمایی ماده مذاب و قالب، ارتباط هندسی میان حجم و مساحت قطعه ریخته‌گری شده و شکل حفره قالب.

(a) ساختار فلز خالص

(b) ساختار فلز آلیاژی

(c) ساختار فلز عناصر هسته‌ای کننده

به طور کلی، هسته ناهمگن ابتدا بر روی دیواره های خنک قالب اتفاق می‌افتد، با یک آرایه متراکم از دانه‌های کوچک که ناحیه سرد را تشکیل می‌دهند. همچنان که خنک‌کاری ادامه می‌یابد، هسته‌هایی از فلز به سمت داخل رشد می‌کنند تا یک منطقه ستونی شکل به وجود می‌آید. عناصر آلیاژی هسته‌ساز در مرکز قطعه متبلور می‌شوند. ابعاد این سه ساختار به آلیاژ و شرایط خنک شدن بستگی دارد.

۱- هرچه سرعت سرد شدن بیشتر باشد دانه ها با ابعاد ریزتر متبلور می‌شوند.

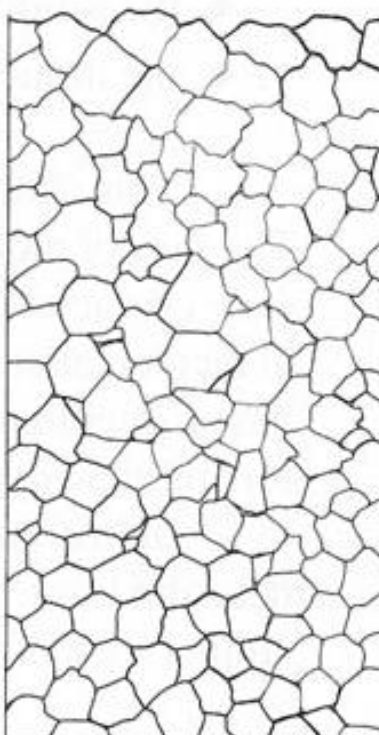
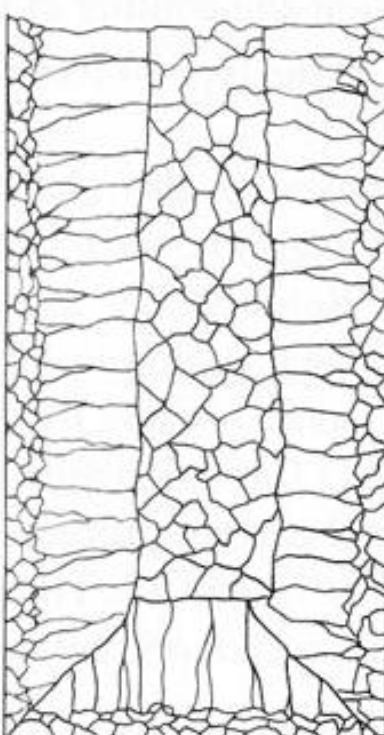
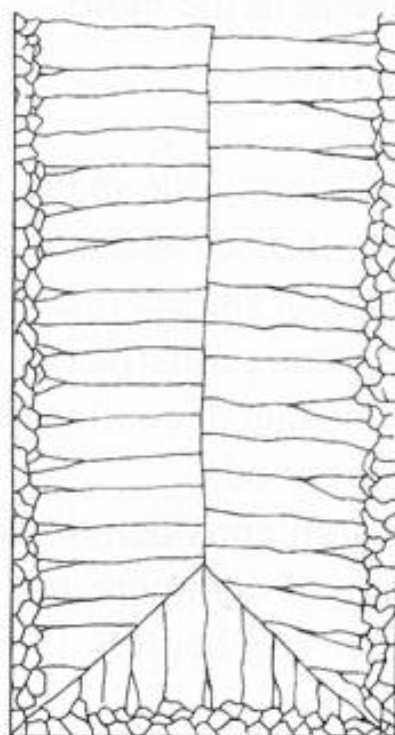
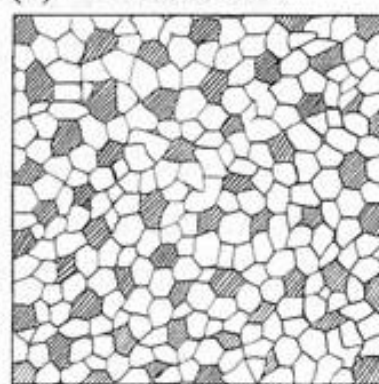
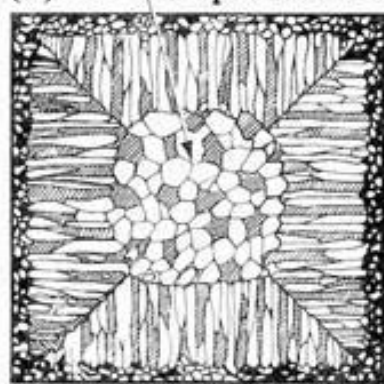
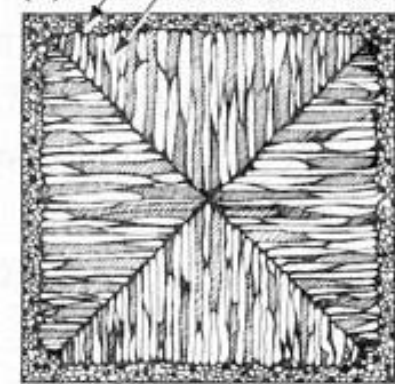
۲- دانه‌های ریزتر دارای استحکام بالاتری هستند.

۳- ضعیف‌ترین منطقه قطعه محلی است که دانه‌های عمودی و افقی با هم تلاقی می‌کنند.

(a) Chill zone
Columnar zone

(b) Equiaxed zone

(c) Equiaxed structure



طراحی قطعات ریخته‌گری

۱- عدم استفاده از زوایای تیز با استفاده از شیب‌های تدریجی. به طور کلی، استفاده از گوشه‌های گرد (راکورد) برای ایجاد ساختار مولکولی و بلوری مناسب‌تر هستند. ضمناً امکان پر نشدن گوشه‌های تیز وجود دارد.

۲- در نظر گرفتن انقباض قطعه در طراحی ابعاد مدل.

۳- ضخامت قطعه به سمت راهگاه و اسپرو زیاد می‌شود. مقاطع بزرگتر و ضخیم‌تر قطعه بهتر است که نزدیک‌تر به رانر و اسپرو باشد. مقاطع بزرگتر یا ضخیم‌تر قطعه باید بصورت شیبدار و به تدریج به مقاطع کوچکتر تبدیل شود.

۴- شیبدار بودن قطعات خاص. قطعاتی که دارای طول زیاد هستند و امکان دسترسی مذاب به مقاطع و نقاط انتهایی قطعه مشکل است باید به شکل شیبدار طراحی شوند.

۵- سطح مقطع یکنواخت. سطح مقاطع مختلف قطعه حتی المقدور یکنواخت باشد تا روند مذاب ریزی هماهنگ باشد و همینطور طول قطعه نباید از حد مجاز تجاوز کند.

۶- مقاطع مختلف قطعه نباید از حد مجاز بزرگتر باشد.

۷- عدم استفاده از زائده‌های همراستا. برای ایجاد قطعه‌ای با جرم یکنواخت در طول قطعه، یا عدم ایجاد جرم زیاد در یک مقطع خاص، باید حتی المقدور زائده‌های قطعه هم راستا نباشند.

۸- بیش از سه اتصال در یک مقطع نداشته باشیم. زیرا باعث مشکلات انقباض ناهمبندی و تخلخل در قطعه می‌شود.

۹- حتی المقدور در اتصالات مقاطع از راکورد (Fillet) استفاده شود. زیرا همانطور که در بالا ذکر شد، ساختار بلوری مذاب در گوشه‌های گرد بهتر شکل می‌گیرند و اطمینان از پر شدن قالب افزایش می‌یابد.

۱۰- در تمام زوایای داخلی مقاطع در کل قطعه باید از راکورد استفاده کرد. اندازه راکورد به عواملی همچون نوع فلز، ضخامت مقطع دیواره، شکل و اندازه قطعه کلی بستگی دارد.

۱۱- شعاع راکورد باید $1/2$ تا $1/3$ ضخامت مقاطع دیواره باشد.

۱۲- عدم استفاده از راکوردهای بزرگ. راکوردهای بزرگ موجب ایجاد ضخامت‌های نامنظم و سرد شدن غیر یکنواخت و نهایتاً باعث کاهش استحکام قطعه ریخته‌گری می‌شود.

۱۳- باید (حتی المقدور) از طراحی برآمدگی‌ها روی قطعه جلوگیری شود. چون این برآمدگی‌ها باعث عدم یکنواختی انجماد و ضخامت بیشتر از نیاز فلز در آن مقطع می‌شوند و در نتیجه آن، ساختار بلورین درشت دانه و ناهمگن از نقاط نزدیک به برآمدگی ایجاد می‌شود. در صورت الزام به طراحی این برآمدگی، باید راکوردها طوری طراحی شوند که شیبدار و به تدریج صاف شوند.

۱۴- در صورت داشتن عملیات ماشینکاری بعد از ریخته‌گری، مقاطع مهم که قرار است ماشینکاری شوند در نیمه پایینی قالب قرار بگیرند.

عیوب قطعات ریخته‌گری

به طور کلی، عواملی مثل نوع مواد مذاب، طراحی قطعه، نوع قالب و تکنیک اجرای فرآیند قالبگیری بر عیوب قطعات ریخته‌گری موثر هستند. برخی از عیوب ظاهری هستند و ظاهر قطعه ریخته‌گری شده را خراب می‌کنند. اما بعضی از عیوب هستند که در زیر سطح یا در عمق قطعه ریخته‌گری شده به وجود می‌آیند و بنابراین یکپارچگی، همگنی و استحکام قطعه را از بین می‌برند.

۱- **ظاهر فلزی (Metallic projection):** ناصافی سطحی، خشن بودن سطحی، برآمدگی و فرو رفتگی‌های ریز سطحی از جمله عیوب ظاهری فلز ریخته‌گری شده است.

۲- **حفره‌ها (Cavities):** این عیوب شامل حفره‌های انقباضی، تخلخل‌ها، مَک‌ها و حفره‌های ناشی از گیر افتادن هوا بین لایه مذاب و سطح حفره است.

۳- **ناپیوستگی‌ها (Discontinuities):** به طور کلی شامل تمام عیوبی می‌شود که موجب ناپیوستگی در قطعه ریخته‌گری شده می‌شوند که می‌توان به خط جوش (Weld line) (پارگی یا ترک سرد)، پارگی یا ترک گرم (Hot tear) اشاره کرد.

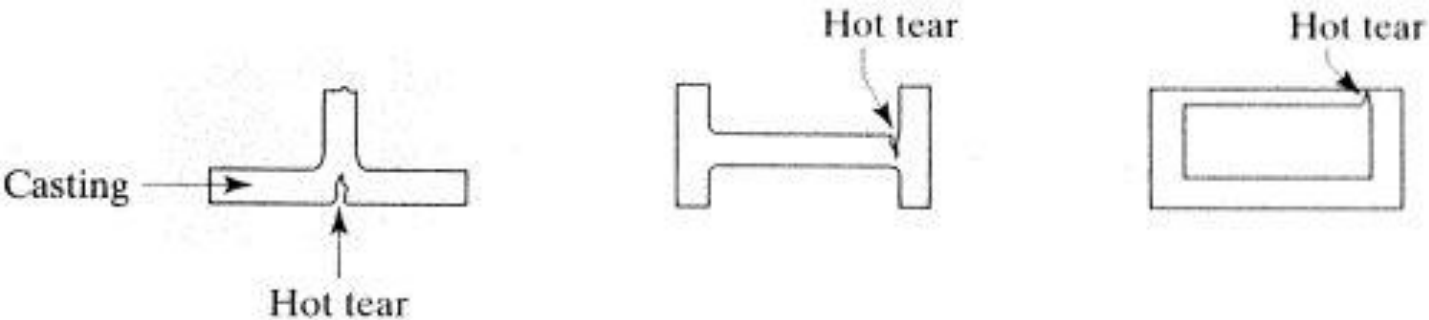
✓ خط جوش: وقتی دو یا چند جبهه پیشروی مواد مذاب از دو یا چند جهت بهم برخورد کنند به دلیل اینکه دمای سطوح مذابی که با هم برخورد می‌کنند افت کرده است نمی‌توانند به طور کامل با یکدیگر ممزوج شوند و بنابراین وقتی بهم می‌رسند روی هم یا در کنار هم منجمد می‌شوند و نوعی ترک شکل می‌گیرد که به خط جوش معروف است. این یکی از عیوب مهم در قطعات ریخته‌گری است زیرا به شدت استحکام محصول را کاهش می‌دهد.

✓ ترک گرم: اگر از انقباض آزاد فلز منجمد شونده جلوگیری شود، ترک و پارگی گرم ممکن است اتفاق بیافتد.

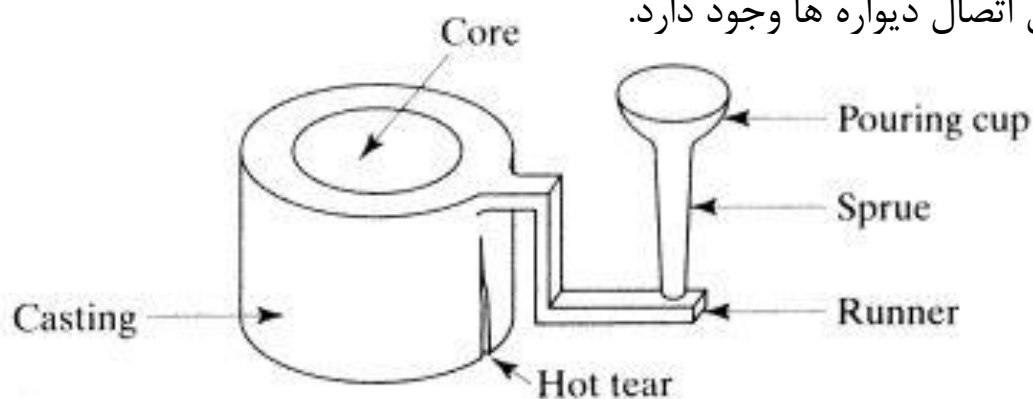
۴- **عیوب سطحی (Defective surface):** به طور کلی عیوبی هستند که در سطح قطعه ریخته‌گری شده بروز می‌کنند. که از آنها می‌توان به تبله کردن فلز (تاول) معمولاً به صورت اکسیدی، چسبیدن ناخالصی‌های اکسیدی به سطح، چسبیدن لایه‌ای نازک از ماسه به سطح اشاره کرد.

۵- **ریخته‌گری ناقص (Incomplete casting):** در صورتیکه مواد کافی برای پر شدن کامل حفره وجود نداشته باشد و یا مواد مذاب به هر دلیل قبل از پر کردن کامل حفره منجمد شده باشد، قطعه ریخته‌گری شده ناقص خواهد بود.

۶- **شکل، هندسه و ابعاد نادرست قطعه (Incorrect dimension or shape):** عواملی مانند طراحی غلط قطعه، عدم رعایت ضریب انقباض در مدل، جایگذاری ناصحیح مدل در قالب، جایگذاری ناصحیح ماهیچه در حفره قالب، انقباض ناهمگن، لحاظ نکردن اضافه تراش برای قطعه موجب می‌شود تا قطعه ریخته‌گری شده از نظر هندسی و ابعادی با آنچه انتظار می‌رود متفاوت باشد.

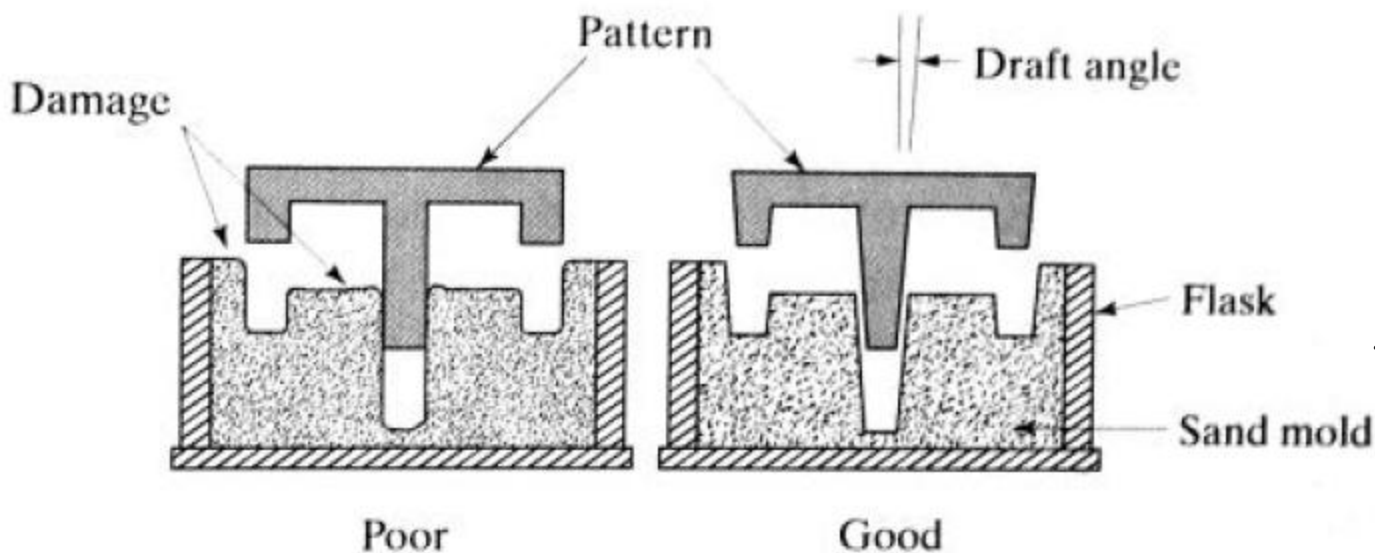


ترک گرم: احتمال بروز ترک گرم در محل اتصال دیواره ها وجود دارد.
دلایل:



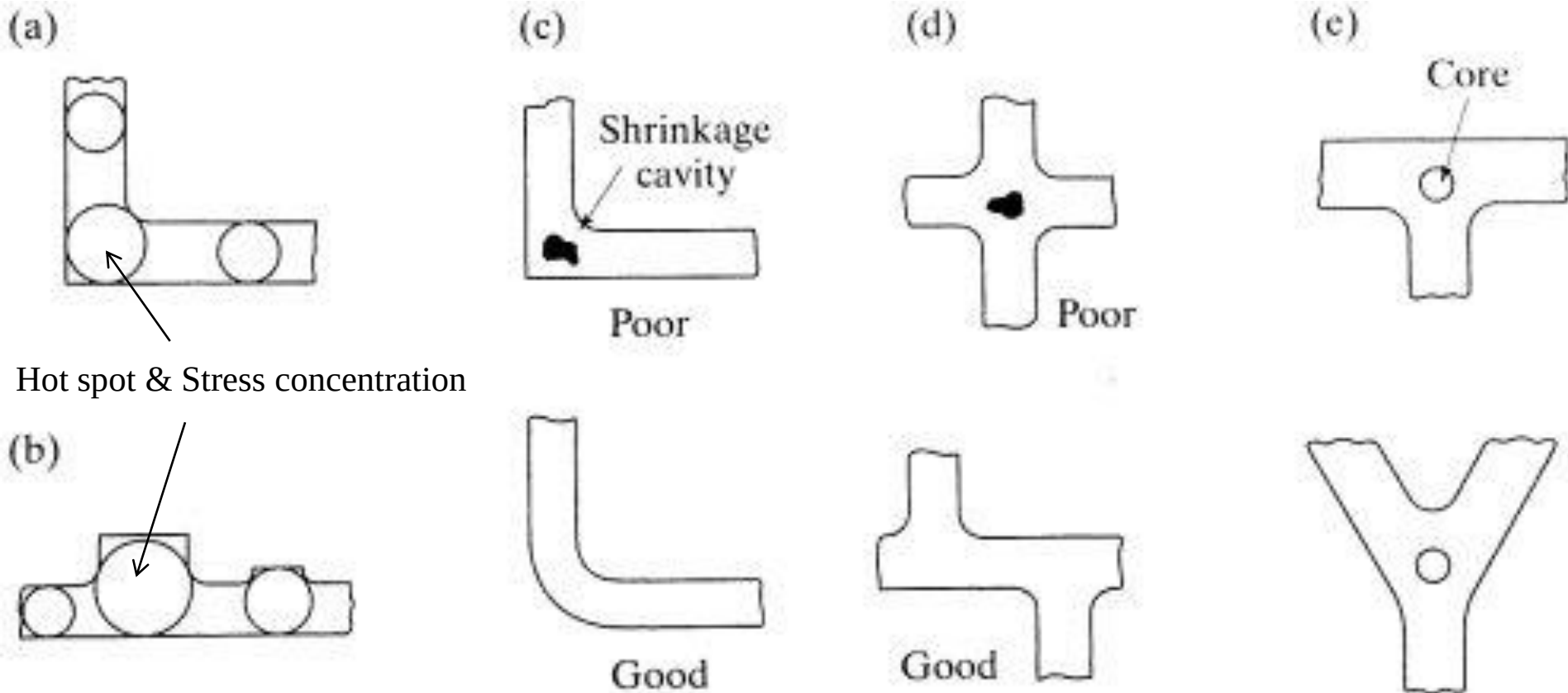
- ۱- انقباض حرارتی غیر یکنواخت
- ۲- جریان حرکتی نامناسب مذاب
- ۳- افت فشار مذاب
- ۴- فضای خالی قابل توجه در دیواره

✓ به طور کلی، اگر از انقباض آزاد فلز منجمد شونده جلوگیری شود، ترک و پارگی ممکن است اتفاق بیافتد.



استفاده از سطح شیبدار ($1-5^\circ$)
برای راحتی در خروج قطعه از قالب.

طراحی برای تولید با کیفیت



در محل تقاطع دو قسمت قطعه دو مشکل به وجود می‌آید. ۱- امکان ایجاد تمرکز تنش که منجر به ترک می‌شود ۲- نقاط داغ که منجر به تخلخل، حفره انقباضی و ترک می‌شود (شکل a و b).
به علت کاهش درجه حرارت و کاهش حجم مواد مذاب در هنگام انجماد حفره‌هایی در وسط قطعه به وجود می‌آید. با طراحی صحیح قطعه می‌توان از ایجاد این حفره جلوگیری کرد (شکل c و d و e).

ریخته گری در ماسه تر

- مخلوط ماسه : 68 تا 86 درصد ماسه + 10 تا 20 درصد خاک رس + 3 تا 6 درصد آب + 1 تا 6 درصد مواد افزودنی دیگر مثل پودر سیلیس و گرافیت و ...
- درصد فوق برای ریخته گری فلزات آهنی و غیر آهنی متفاوت است.
- جنس ماسه : سیلیس (ارزان، کم کیفیت) ، زیرکونیم (شکلگیری خوب، نسوز) ، کرومید (کیفیت خوب، نسوز).
- خصوصیات ماسه: نسوز، قابلیت عبور گازها، شکلگیری خوب، استحکام خوب، قابلیت مصرف دوباره.



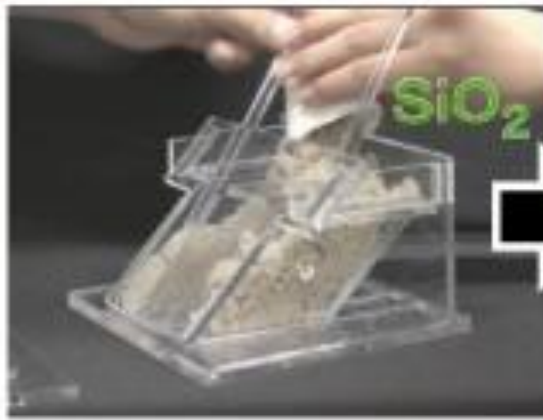
ریخته گری در ماسه خشک

- ماسه: مخلوطی از ماسه و چسب پلیمری است.
- شبیه به قالبگیری ماسه تر است فقط پس قالبگیری آنرا در کوره قرار داده و تا دمای 650°C پخت می دهند. اگر قالب بزرگ باشد با شعله آنرا پخت می دهند.
- نسبت به قالبهای ماسه تر محکمتر هستند.
- سطح و دقت قطعه ریخته گری شده بهتر از نوع ماسه تر است.
- احتمال اعوجاج قالب (به دلیل حرارت پخت) بیشتر است.
- زمان تولید بالاتر است.
- احتمال عیب پارگی گرم (Hot tearing) در قطعه بیشتر است.
- ماسه بدون عملیات شیمیایی قابل بازیافت نیست.



ریخته گری با ماسه CO₂

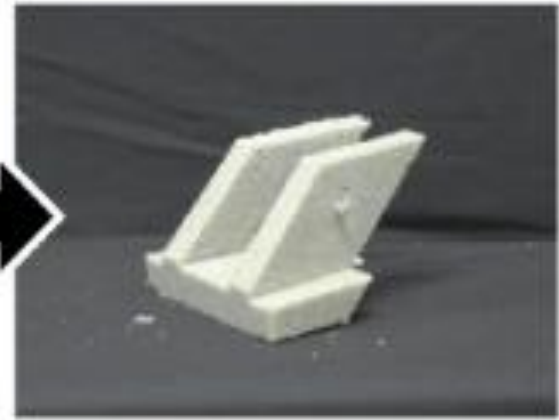
- به جای خاک رس، 1.5 تا 6 درصد سیلیکات سدیم (Na₂O, SiO₂) به ماسه اضافه می شود.
- قالبگیری مشابه ماسه تر است.
- بعد از قالبگیری، گاز CO₂ را از داخل آن عبور می دهند. سیلیکات سدیم در مجاورت گاز CO₂ سخت شده و باعث استحکام قالب می شود.
- زمان لازم برای سفت شدن قالب در حدود چند دقیقه است.
- از این روش برای تولید ماهیچه قالبهای دیگر نیز استفاده می شود.
- اگرچه ماسه سفت شده قابل بازیافت است ولی به راحتی ماسه تر نیست.
- سرعت تولید بیشتر از ماسه تر است.



1



2



3

خصوصیات قطعات ریخته گری شده با ماسه

- جنس: اغلب فلزاتی که قابلیت ریخته گری داشته باشند. فلزات آهنی و غیر آهنی.
- وزن: بستگی به توانایی و یا محدودیتهای کارگاه ریخته گری دارد. از چند گرم تا چند تن.
- تolerانس: بستگی به ابعاد قطعه ریخته گری شده دارد و از رابطه زیر تبعیت می کند:

$$T = \pm \left(1.5 + \frac{6D}{1000} \right) \text{ mm, } D < 250\text{mm}$$

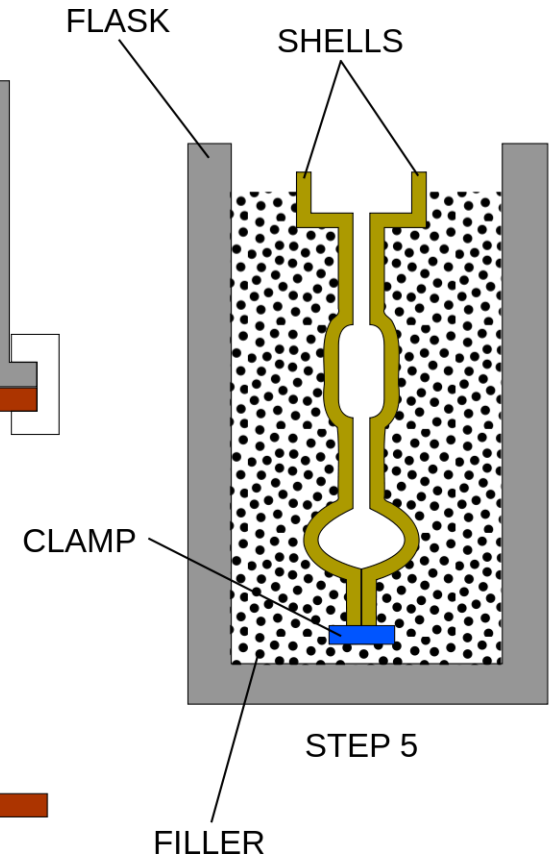
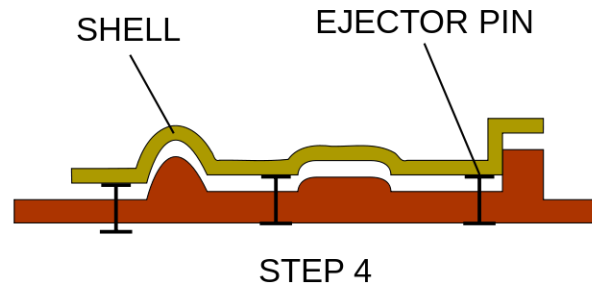
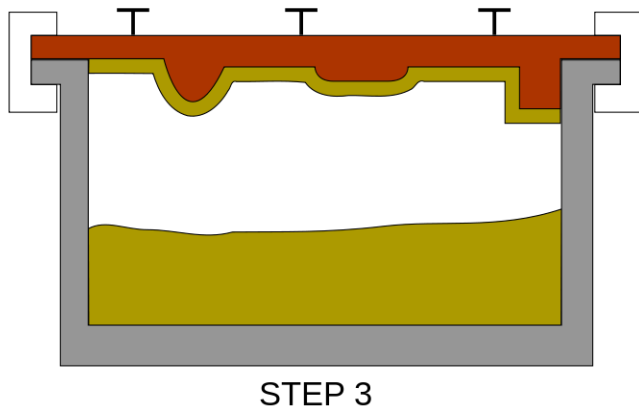
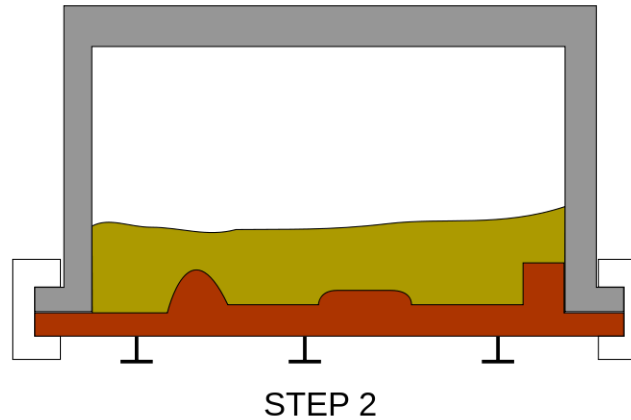
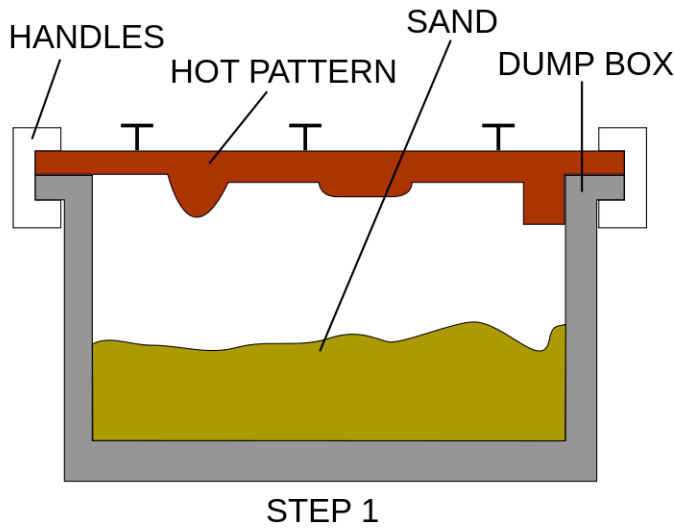
$$T = \pm \left(2.0 + \frac{6D}{1000} \right) \text{ mm, } 250 < D < 1000\text{mm}$$

$$T = \pm \left(2.5 + \frac{6D}{1000} \right) \text{ mm, } D > 1000\text{mm}$$

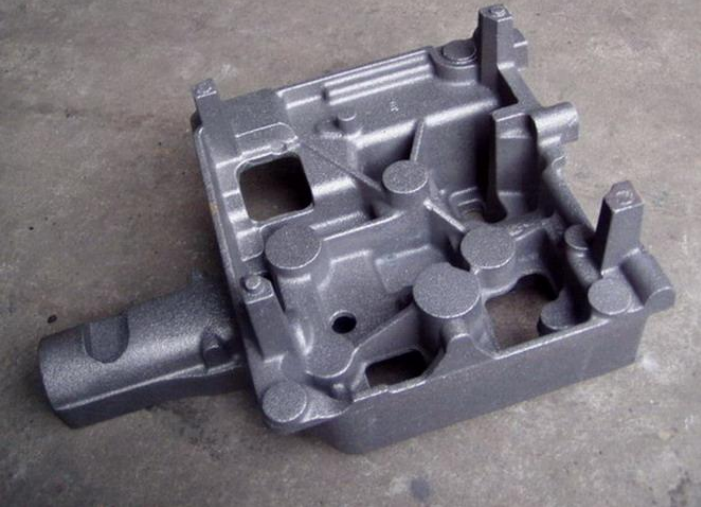
- صافی سطح Ra : 50 – 6 μm
- زاویه سطوح : 5° - 1
- حداقل ضخامت: فلزات غیر آهنی 3 – 6.5mm و فلزات آهنی 6.5 – 9.5mm

ریخته گری در قالبهای پوسته ای

- (1) مدل از جنس آهن یا آلومینیم است و تا دمای $175-370^{\circ}\text{C}$ حرارت داده می شود.
- (2) سطح مدل داغ را به روشی که در شکل نشان داده شده با ماسه + ترموست (فیل فرمالدئید) پوشش داده و برای تقویت استحکام پوسته، آنرا در کوره پخت می دهند. ضخامت این پوسته 5-10mm است.
- (3) پوسته ها را در قالب ماسه قرار داده و اطراف آنرا با ماسه پر کرده سپس فضای خالی بین پوسته ها را مذابریزی می کنند.
نکته: به دلیل کیفیت ریز ماسه، کیفیت سطح قطعه ریخته گری بهتر از ماسه تر است.



قطعات با کیفیت و دقت بالا را می توان تولید کرد.
کاهش هزینه های تمیزکاری و ماشینکاری.
قطعاتی نظیر پوسته ها، سیلندر و سر سیلندر، شیرآلات، سه راهی های صنعتی.



خصوصیات قطعات ریخته گری شده با قالب پوسته ای

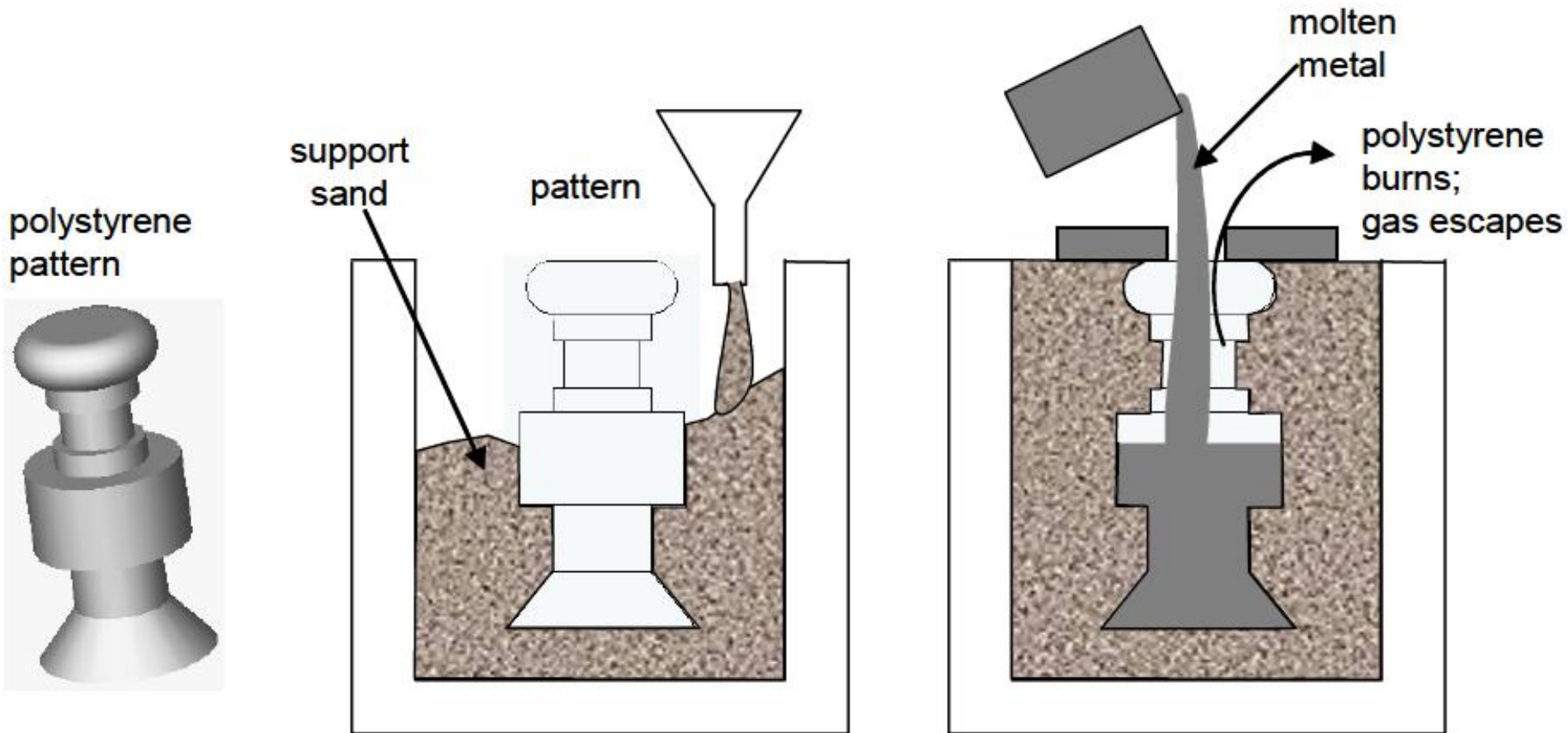
- جنس: انواع فلزات قابل ریخته گری.
- وزن: چند گرم تا چند ده کیلوگرم.
- قطعات با کیفیت و دقت بالا را می توان تولید کرد.
- تلرانس: بستگی به ابعاد قطعه دارد:

$$T = \pm \left(0.13 + \frac{6D}{1000} \right) \text{ mm}$$

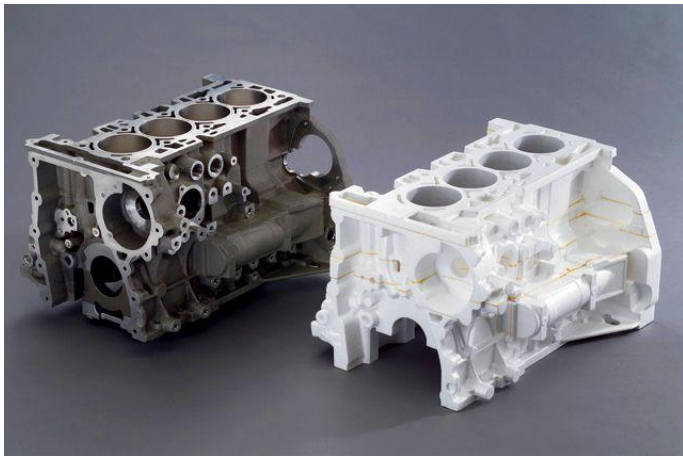
- کاهش هزینه های تمیزکاری و ماشینکاری.
- صافی سطح Ra: 1 – 25 μm

ریخته گری با مدل مصرفی فومی

- (1) مدل از جنس فوم پلی استایرن است که 95% از حجم آنرا حبابهای هوا تشکیل داده است.
- (2) مدل توسط فرآیند تزریق پلاستیک در قالبهای فلزی ساخته می شود.
- (3) سپس مدل را در دوغاب خاک رس فرو برده تا لایه نازکی از گل رس بر روی آن تشکیل شود.
- (4) مدل را در قالب ماسه ای قرار داده و اطراف آنرا با ماسه پر می کنند.
- (5) در هنگام مذاب ریزی، حرارت مذاب باعث تبخیر مدل فومی شده و فضای اشغال شده توسط مدل فومی در قالب جای خود را به مذاب می دهد.



- این روش برای تولید قطعات با کیفیت سطح خوب مناسب است.
- این روش نسبتاً ارزان و بدون نیاز به سیستم راهگاه و تغذیه می باشد.
- این روش برای تولید پوسته ها، بلوک سیلندر، میل لنگ، مانیفولد، پره های توربین و پمپ است.



خصوصیات قطعات ریخته گری شده با مدل مصرفی

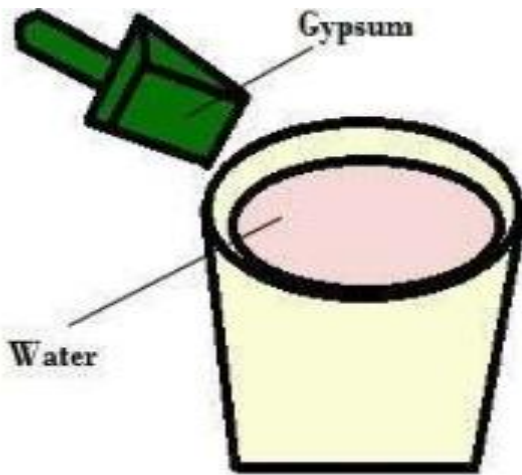
- جنس: تقریباً بیشتر فلزاتی که قابلیت ریخته گری دارند.
- وزن: از چند گرم تا چند ده کیلوگرم.
- تلرانس: بستگی به ابعاد قطعه دارد:

$$T = \pm \left(0.13 + \frac{6D}{1000} \right) \text{ mm}$$

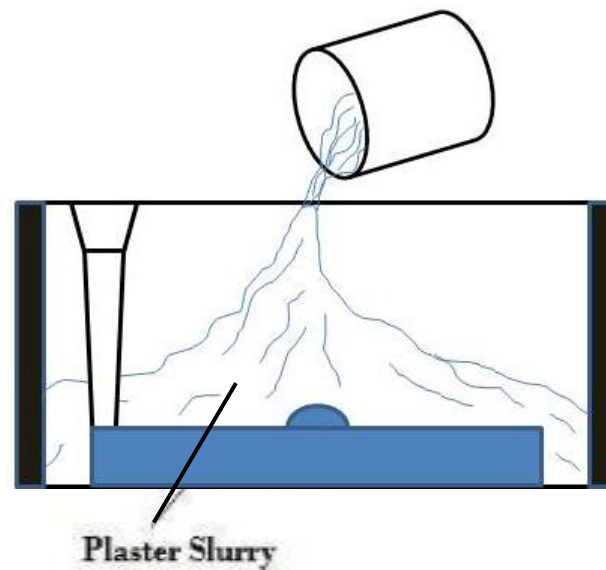
- صافی سطح Ra: 4 – 8 μm
- این روش برای تولید قطعات با کیفیت سطح خوب مناسب است.
- این روش نسبتاً ارزان و بدون نیاز به سیستم راهگاه و تغذیه است.

ریخته گری در قالبهای پلاستر و گچی

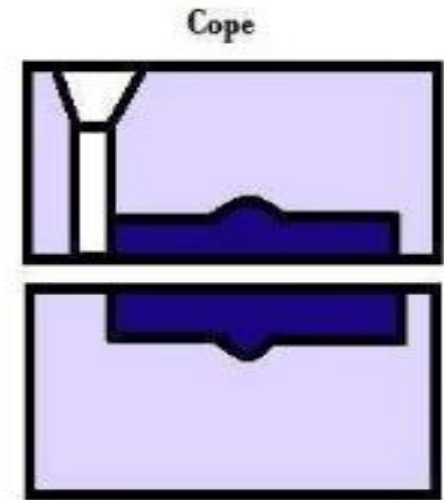
1. جنس پلاستر از نوعی گچ + پودر سیلیس + سولفات کلسیم است که با آب مخلوط شده است. گاهی تا 30% پودر تالک نیز به آن اضافه می شود.
 2. سطح مدل فلزی را روغنی کرده و آنرا درون فلاسک قرار می دهند. مدل از جنس ترموست و چوب نیز ساخته می شود.
 3. پلاستر را درون فلاسک ریخته و به مدت نیم ساعت صبر کرده تا شکل مدل را به خود بگیرد.
 4. مدل را از درون قالب گچی خارج کرده و قالب گچی را تا حدود 200°C حرارت می دهند تا رطوبت آن گرفته شود. دو نیمه قالب گچی را بر روی هم مونتاژ کرده و قالب گچی برای مذاب ریزی آماده است.
- زمان ساخت قالب طولانی است.
 - برای فلزاتی که نقطه ذوب آنها کمتر از 1100°C مثل آلومینیم، برنج، مس و ... مناسب است.
 - به دلیل پایین بودن ضریب انتقال حرارت، زمان انجماد طولانی تر است.
 - به دلیل زمان انجماد طولانی، دانه بندی یکسان شده، جاهای ظریف و مقاطع نازک قطعه (1-2.5mm) کاملاً شکل می گیرد.
 - قطعه با کیفیت سطح خوب ریخته گری می شود و هزینه عملیات تمیزکاری و پرداخت نهایی را کاهش می دهد.



Making of plaster slurry



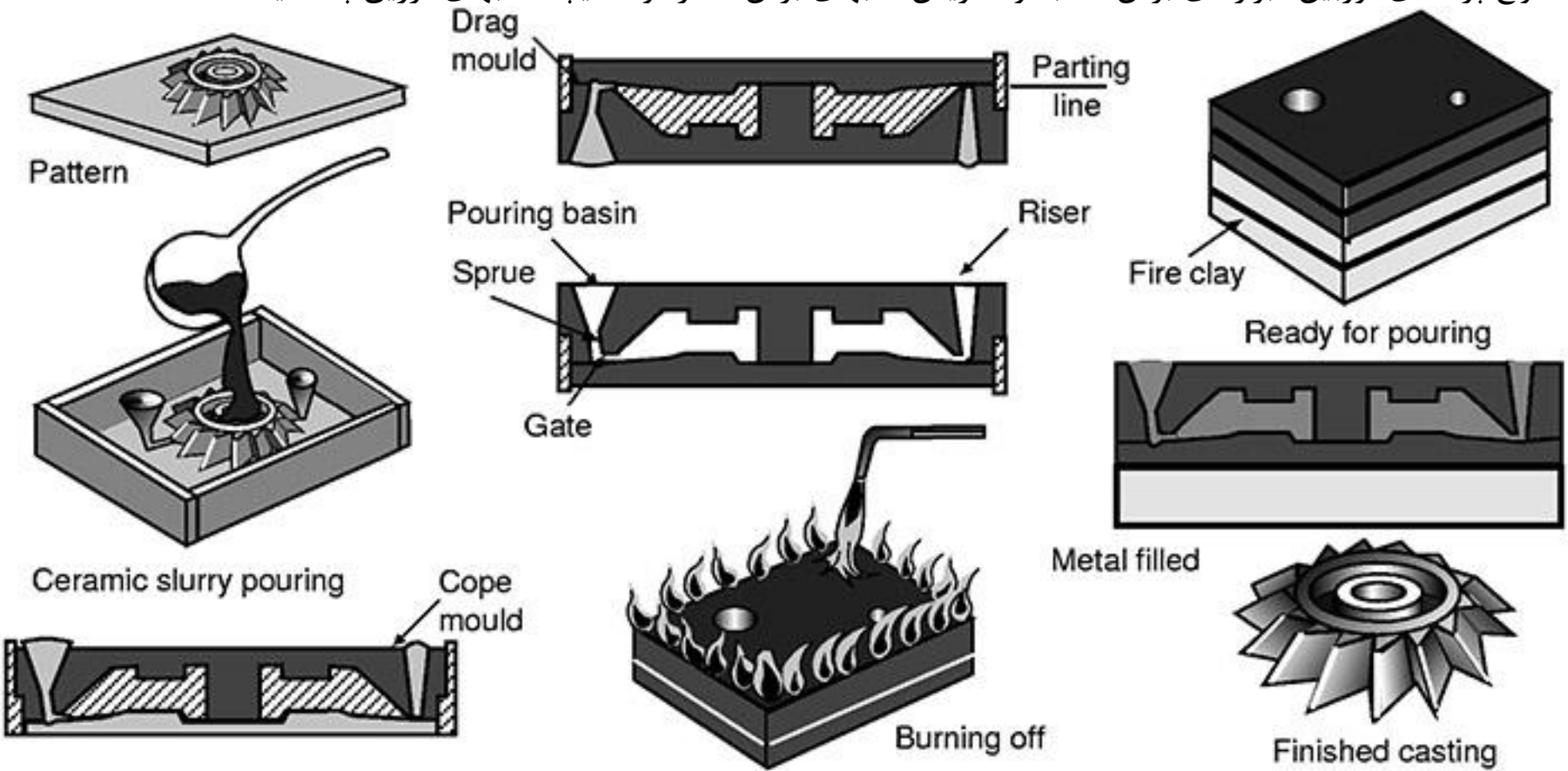
Plaster Mold Making



Final Part Production

ریخته گری در قالبهای سرامیکی

- مشابه قالبگیری گچی و یا پلاستر است با این تفاوت که مواد قالبگیری مخلوطی از پودر مواد سرامیکی (زیرکونیم $ZrSiO_4$) + اکسید آلومینیم + نوعی رزین + آب است.
- پس از قالبگیری، مدل را خارج کرده و قالب حرارت می دهند تا سخت شود. مواظبت از قالب لازم است چون شکننده است.
- مقاومت این قالبها بالاست و برای ریخته گری فولادهای زنگ نزن و آلیاژی (نقطه ذوب بالا) مناسب است.
- قطعه ریخته گری شده دارای کیفیت سطح خوب و دقت بالا است.
- قطعات با اشکال پیچیده را می توان تولید کرد ولی هزینه تولید بالاست.
- انواع پره های توربین، ابزارهای برش، سنبه و ماتریس قالبهای برش، حفره و ماهیچه قالبهای تزریق پلاستیک.



خصوصیات قطعات ریخته گری شده با قالب گچی و سرامیکی

- جنس: قالب گچی برای فلزاتی که نقطه ذوب آنها کمتر از 1100°C مثل آلومینیم، برنج، مس و ... مناسب است. قالب سرامیک برای فلزات آهنی و غیر آهنی، آلیاژهای با حرارت بالا نظیر فولادهای زنگ نزن و فولاد ابزار هم کاربرد دارد.
- وزن: قطعات با وزن چند گرم تا چند صد کیلوگرم.
- تلرانس: بستگی به ابعاد قطعه دارد:

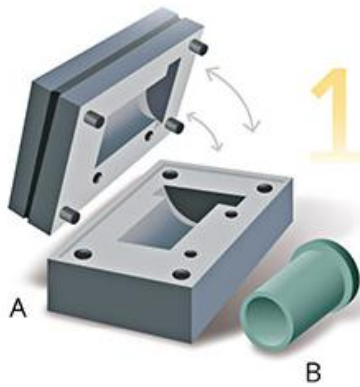
$$T = \pm \left(0.13 + \frac{6D}{1000} \right) \text{ mm}$$

- صافی سطح Ra: $2 - 6 \mu\text{m}$
- قطعات تولیدی دارای دقت ابعادی بالا، پرداخت سطح مرغوب در گستره وسیعی از اندازه‌ها و اشکال پیچیده با ضخامت 1-2.5 میلیمتر.

ریخته گری بسته (دقیق) Investment Casting

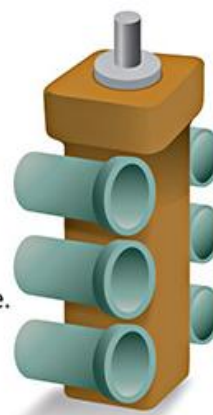
- ابتدا الگوی قطعه ساخته می‌شود. الگو از موم یا پلاستیک (نظیر پلی استایرن) با روشهای مدلسازی (یا مدلسازی سریع) ساخته می‌شود.
- برای بالا بردن تیراژ، تعدادی از مدلها را بر روی یک پایه (از جنس الگو) سوار می‌کنند (درخت مدل).
- درخت مدل را در دوغاب سرامیک (سیلیکا، پودر چسب، آب و سایر افزودنیها) فرو برده تا لایه سرامیکی بر روی آن قرار گیرد. سپس آنرا در ماسه نرم فرو می‌برند تا لایه ای از ماسه نرم به روی لایه سرامیک ایجاد شود. ممکن است چندین بار عملیات لعاب سرامیک و ماسه نرم انجام شود.
- درخت مدل را در کوره قرار داده تا لایه یا لایه های سرامیک پخت شود ($650-1050^{\circ}\text{C}$). در هنگام پخت سرامیک به دلیل حرارت بالا، مدل مومی و یا پلاستیکی ذوب شده و از درخت مدل خارج می‌شود.
- مذاب فلز را در حفره های قالب ریخته و زمان کافی برای انجماد داده می‌شود.
- پس از انجماد، پوسته سرامیکی با ضربه و یا به صورت ارتعاشی شکسته می‌شود.
- قطعات با اره از پایه جدا شده و پس از عملیات پرداخت کمی، آماده استفاده می‌شود.



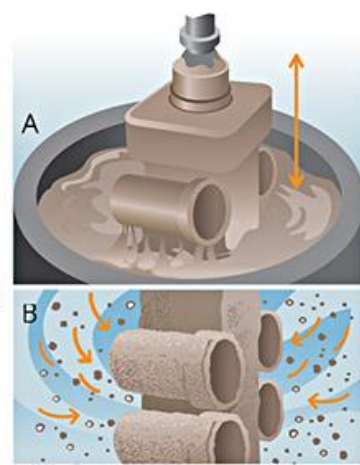


1 Tooling and Pattern Making
A tool is built to customer-provided specifications (A). Cold wax is then injected into the tool to create a wax pattern/prototype (B) that will hold precise dimensional requirements in the final casting.

2 Pattern Assembly
The wax patterns are assembled onto the sprue.



3 Dipping and Coating
Successive layers of ceramic (A) and stucco (B) are applied to the sprue assembly to form a hard shell.



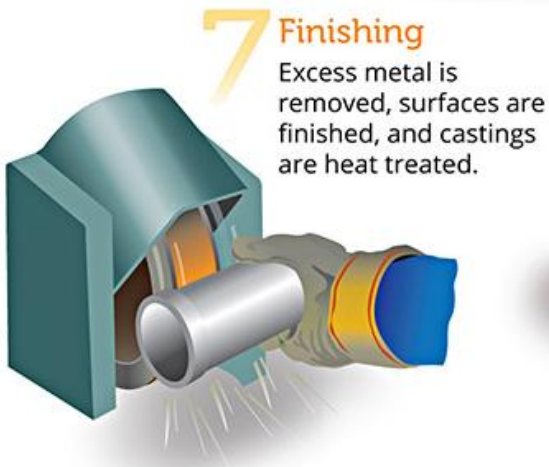
4 De-Waxing and Firing
The molds are flash-fired to remove the wax and sprue materials and then heated to 1,800° and placed on a sand bed, ready for pouring.



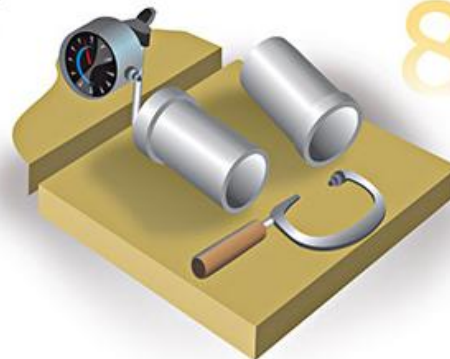
5 Casting
Molten metal, up to 3,000°, is poured into the hollow mold and then cooled.



6 Knockout
The ceramic shell is broken off, and the individual castings are cut away.



7 Finishing
Excess metal is removed, surfaces are finished, and castings are heat treated.



8 Testing and Inspection
Castings undergo thorough testing and inspection to ensure that they meet dimensional tolerances and specifications.



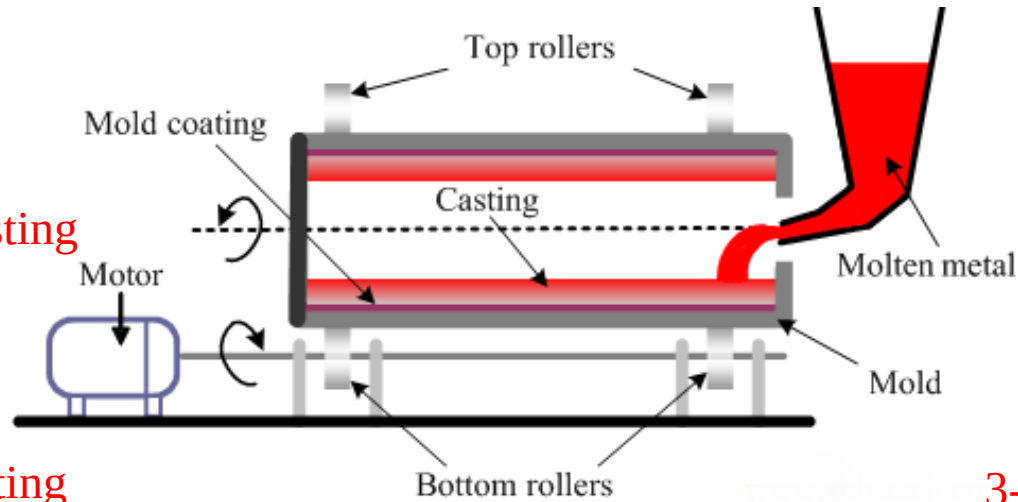
9 Packing and Shipping
Castings are securely packaged for shipping to the customer.

خصوصیات قطعات ریخته گری شده با قالب دقیق

- جنس: انواع فلزاتی که قابلیت ریخته گری شدن داشته باشند
 - وزن: از چند گرم تا چند ده کیلوگرم.
 - قطعات با دقت بالا و کیفیت خوب را می توان تولید نمود.
 - نوشته ها و علائم روی قطعه را با جزئیات دقیق می توان ریخته گری کرد.
 - تolerانس: بستگی به ابعاد قطعه دارد:
- $$T = \pm \left(0.13 + \frac{6D}{1000} \right) \text{ mm}$$
- صافی سطح Ra: 1.6 – 3.2 μm
 - نیاز به شیب دار کردن سطوح قطعه برای خروج از قالب ندارد.
 - حداقل ضخامت: برای سطوح کوچک: 0.8mm و برای سطوح بزرگ: 1.5mm

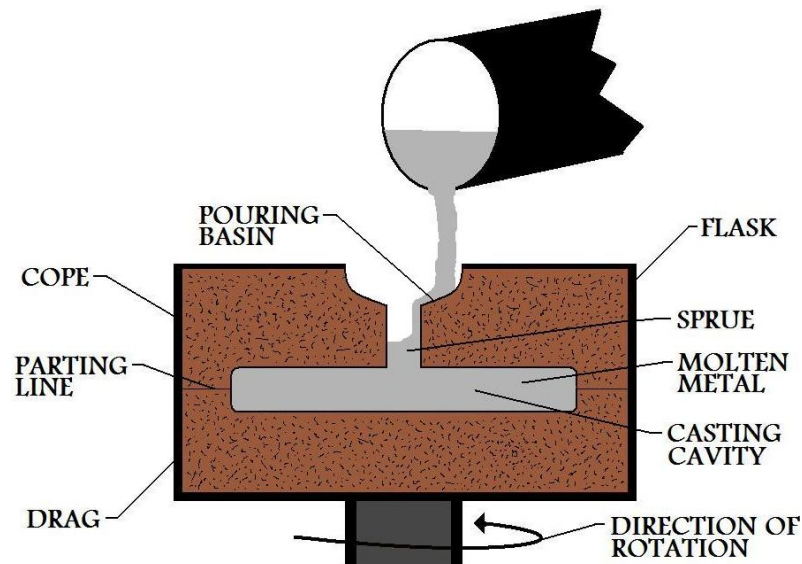
ریخته‌گری گریز از مرکز

در این فرآیند با بهره‌گیری از نیروهای گریز از مرکز ناشی از چرخش قالب، فلز مذاب به درون حفره قالب هدایت می‌شود. در سه نوع: ۱- ریخته‌گری گریز از مرکز حقیقی، ۲- نیمه گریز از مرکز و ۳- میان‌گریز.

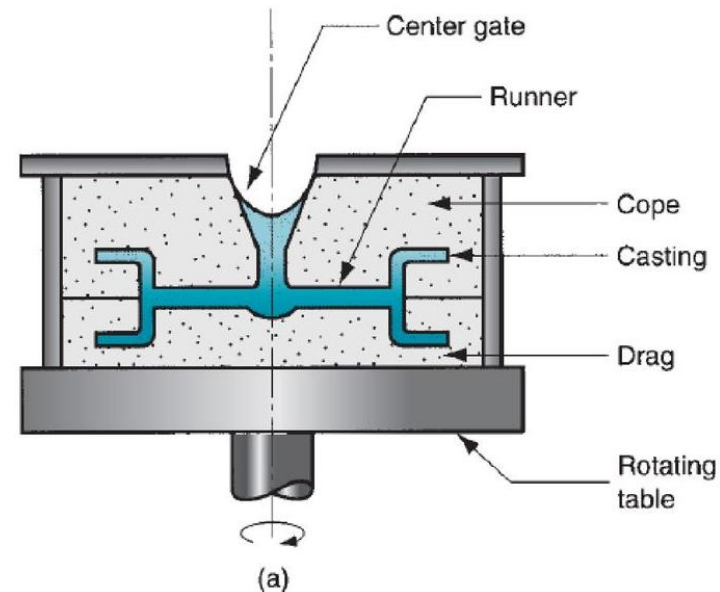


1- True Centrifugal Casting

2- Semi-Centrifuge Casting



3- Centrifuge Casting

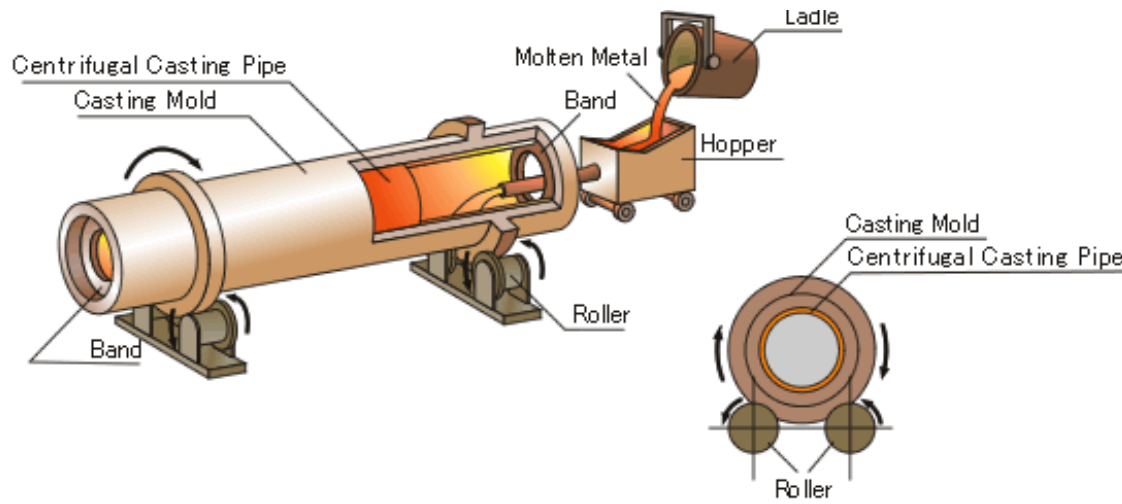
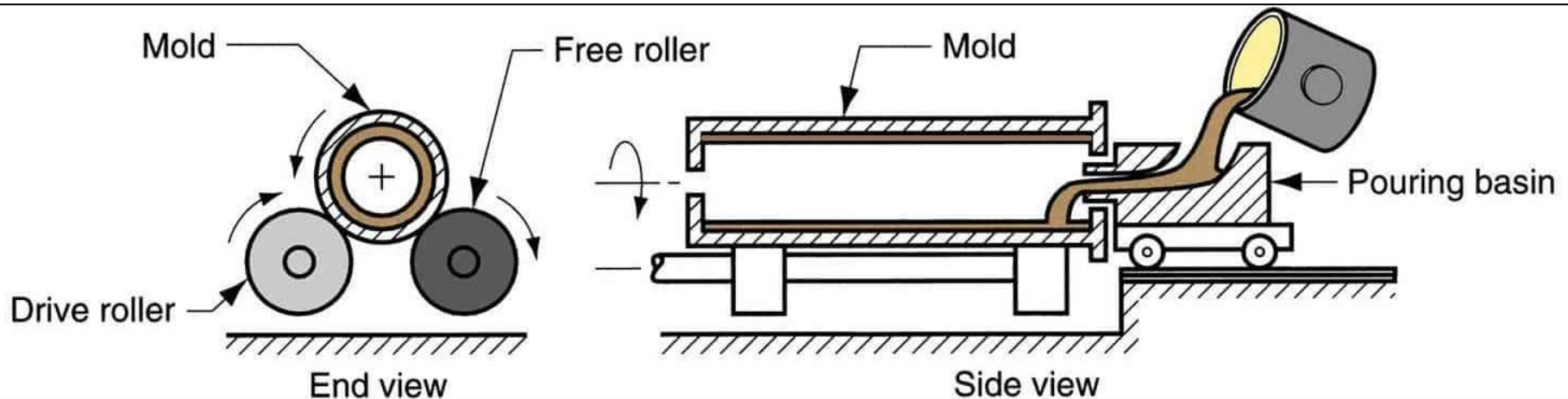


(b)

ریخته‌گری گریز از مرکز

True Centrifugal Casting ریخته‌گری از مرکز حقیقی

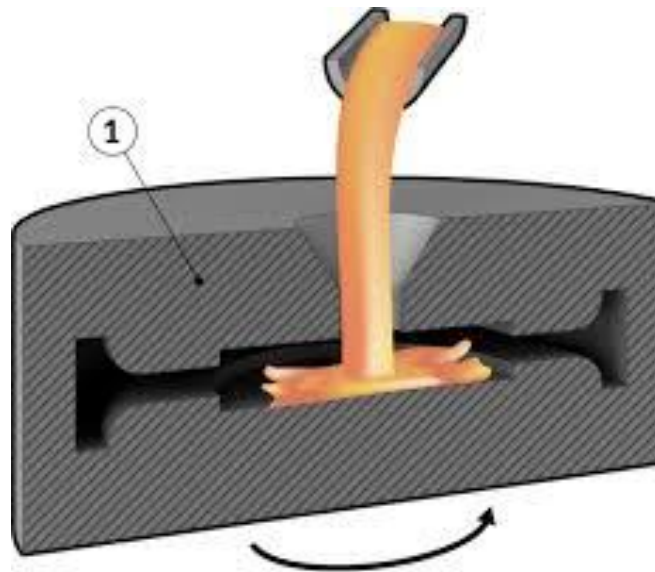
ریخته‌گری گریز از مرکز حقیقی برای تولید لوله، بوش و قطعات متقارن مشابه کاربرد دارد. مذاب درون قالب ریخته می‌شود و با دوران قالب حول محور خود (افقی یا عمودی) با سرعت 300-3000 RPM، مواد مذاب بر اساس نیروی گریز از مرکز در سمت دیواره‌های داخلی قالب قرار می‌گیرد و یک حفره استوانه‌ای داخل مذاب (بدون نیاز به ماهیچه) شکل می‌گیرد. ضخامت جداره لوله با مقدار فلز مذاب ریخته شده کنترل می‌شود. مذاب در هنگام دوران قالب به تدریج از بیرونی‌ترین سطح قطعه منجمد و منقبض شده و لوله یا بوش تولید می‌شود. در چنین محصولاتی، ساختار ریخته‌گری به صورت متراکم همراه با تجمع ناخالصی‌ها در سطح داخلی لوله مشاهده می‌شود.



ریخته‌گری گریز از مرکز

Semi-Centrifugal Casting ریخته نیمه گریز از مرکز

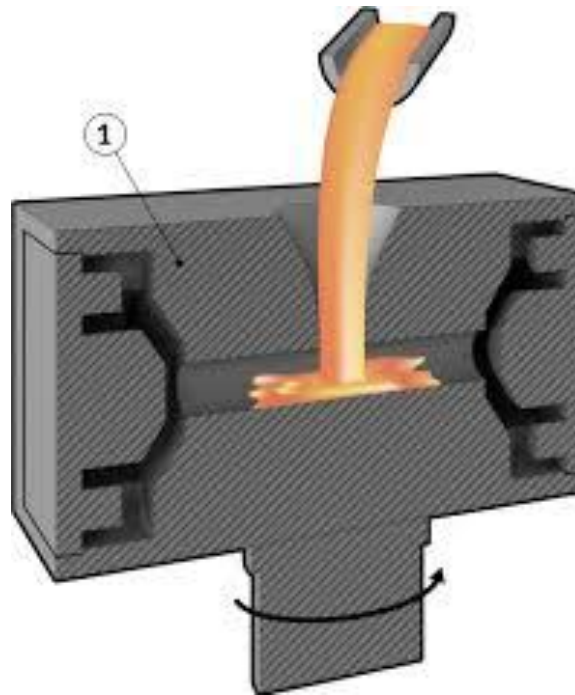
در این روش، یک قالب متقارن ایجاد شده و حول محور عمودی به چرخش واداشته می‌شود. قالب می‌تواند دائمی و یا یکبار مصرف باشد. مواد مذاب پس از ریخته شدن از بالای قالب به علت نیروی گریز از مرکز به طور یکنواخت تمام حفره‌های قالب را پر می‌کند. سرعت چرخش بسیار کمتر از روش گریز از مرکز حقیقی است. مذاب اضافی در محل ریختن مذاب در مرکز می‌تواند همچون یک رایزر (تغذیه) عمل کند. از این روش برای تولید قطعات پهن و دیسکی شکل با تقارن محوری استفاده می‌شود. با توجه به اینکه ناخالصیها در مرکز قطعه (نزدیک به محل ریختن مذاب) جمع می‌شوند این روش برای ریخته‌گری قطعاتی که قسمت مرکزی آنها ماشینکاری می‌شود مناسب است.



ریخته‌گری گریز از مرکز

Centrifuging Casting ریخته‌گری میان‌گریزی

در این روش، تعدادی حفره مشابه یا هم وزن در اطراف قالب با فاصله معینی از محور دوران و به طور متعادل طراحی و ساخته می‌شود و کل مجموعه حول محور عمودی چرخش می‌کند. سرعت دورانی نسبتاً پایین است. مواد مذاب از مجرای منطبق بر محور گردش به داخل قالب ریخته شده و با نیروی گریز از مرکز به سوی حفره‌های قالب هدایت می‌شود. بنابراین با یک قالب می‌توان بیش از یک قطعه تولید نمود. قطعات می‌توانند مستقل از همدیگر باشند. خواص ساختار قطعات ریختگی، با تغییر فاصله آنها از محور دوران، متفاوت است. از این روش برای تولید قطعات ظریف و کوچک استفاده می‌شود. با این روش می‌توان غیر فلزات (پلیمرها) را نیز قالبگیری کرد. این قالبها را نیز می‌توان به صورت چندین طبقه نیز ساخت و معمولاً دائمی هستند. در صورت نیاز می‌توان از ماهیچه‌های CO_2 در حفره‌های قالب استفاده کرد.



ریخته گری با قالبهای دائمی Permanent Mold Casting

- قالبهای دائمی به صورت مکرر مورد استفاده قرار می گیرند.

- این روش معمولاً برای ریخته گری آلیاژهای زودگداز مثل آلومینیم، منیزیم و مس استفاده می شود. برای فولاد و چدن، عمر قالب کاهش می یابد.

- این قالبها به گونه ای طراحی می شوند که قطعه ریخته گری شده را بتوان به آسانی از داخل آن برداشت و دوباره بتوان از قالب برای ریخته گری قطعه بعدی استفاده نمود.

- برای ساخت این قالبها از فلزاتی که در دماهای بالا استحکام دارند استفاده می شود. در قالبهای دائمی، دو نیمه قالب از موادی نظیر فولاد، برنز و گرافیت ساخته می شوند. از قالبهای گرافیتی برای ریخته گری فولاد و چدن در این روش استفاده می کنند.

- از آنجاییکه قالبهای فلزی دارای هدایت حرارتی بهتری نسبت به قالبهای غیردائمی هستند، انجماد قطعه سریعتر انجام می شود که این موضوع بر روی میکروساختار و اندازه دانه ریختگی تاثیر می گذارد و باعث افزایش استحکام قطعه نسبت به قالبهای ماسه ای می شود.

- حفره های قالب و سیستم راهگاهی با ابعاد مناسب در داخل قالب ماشینکاری می شوند.

- معمولاً از چدن خاکستری، فولاد کم کربن و فولاد گرمکار به عنوان ماهیچه استفاده میشود. استفاده از چدن خاکستری به عنوان ماده خام ماهیچه معمول تر است. برای قطعات پیچیده می توان از ماهیچه CO_2 هم استفاده کرد.

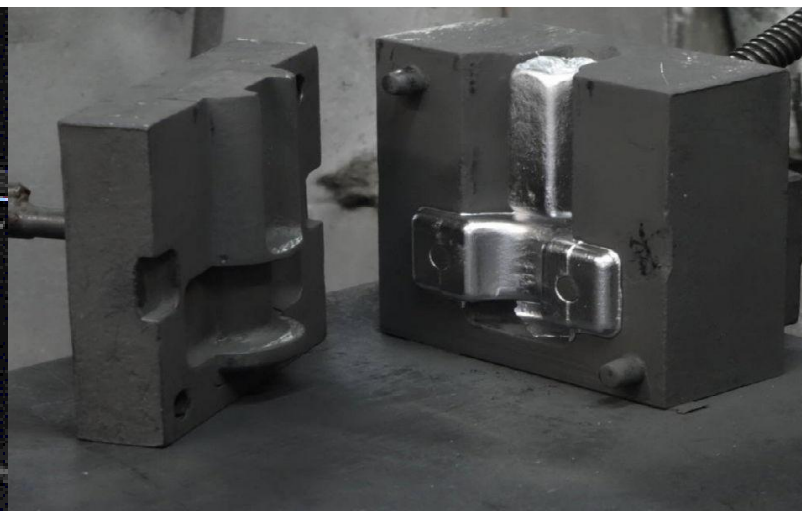
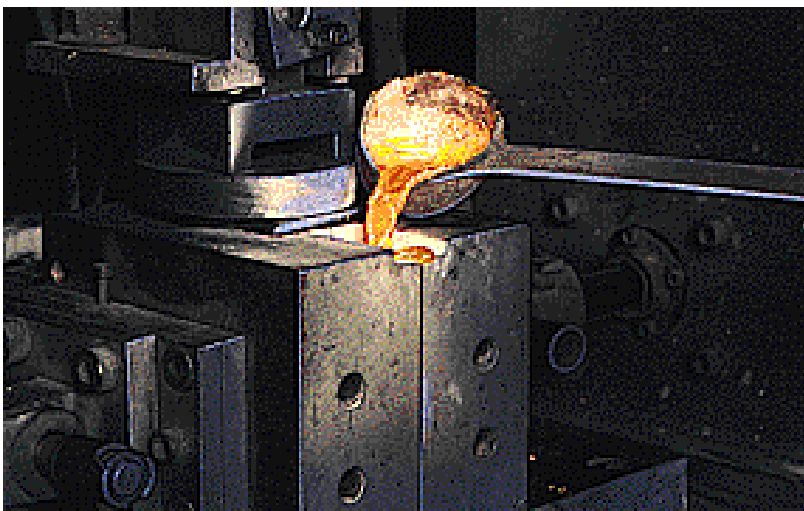
- برای افزایش عمر قالبهای دائمی، سطوح حفره های قالب توسط لایه ای از مواد مقاوم پوشانده می شود (کرومایز).

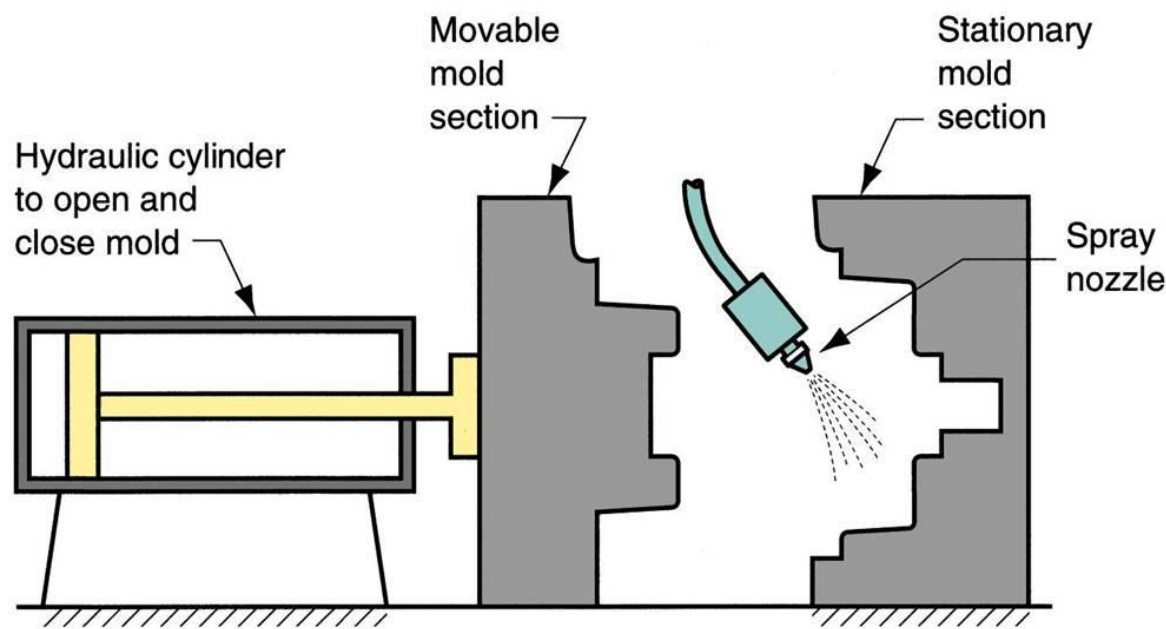
- قبل از ریخته گری، سطوح راهگاه و حفره قالب را با اسپری سیلیکا و یا گرافیت روانکاری می کنند.

- با این فرآیند می توان قطعاتی یکنواخت با کیفیت سطح خوب، تلرانسهای کم و خواص مکانیکی خوب در تیراژ بالا تولید نمود.

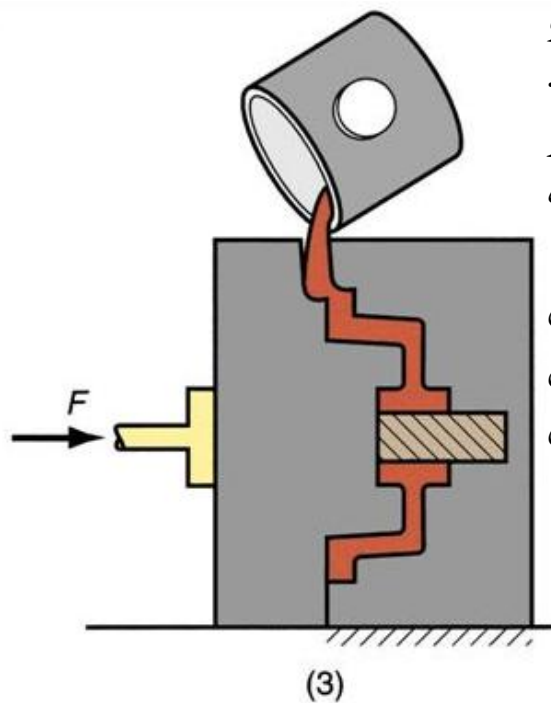
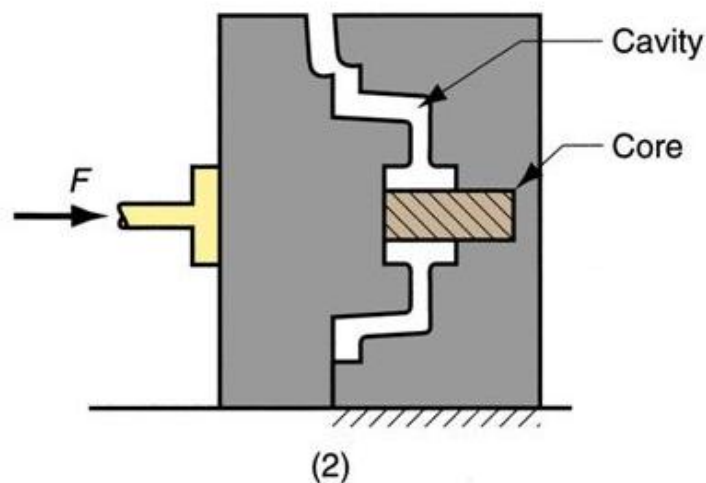
- قطعات معروف تولید شده با این روش پیستونهای موتورهای احتراق داخلی، سرسیلندر و وسایل آشپزخانه هستند.

- پارگی گرم یکی از عیوب معروف این روش است. برای جلوگیری، قالب را پیش گرم کرده و بلافاصله پس از انجماد، قطعه را به صورت گرم از قالب خارج می کنند.





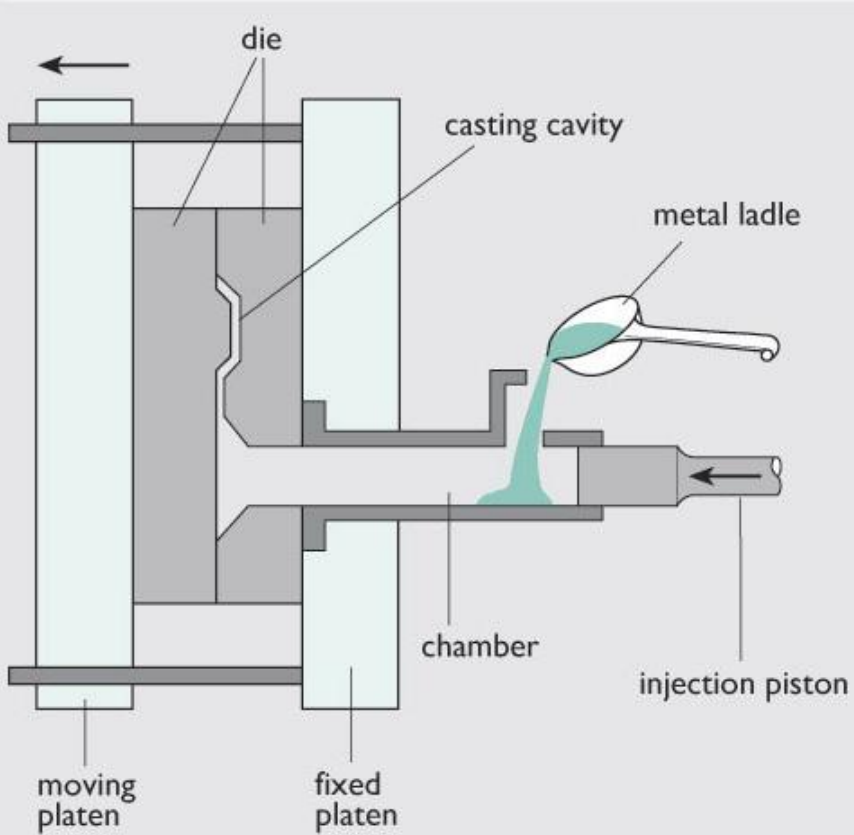
معمولاً مکانیزمی برای باز و بست قالبهای دائمی طراحی و ساخته می‌شود. گاهی از ماشینهای مخصوصی که برای همین کار طراحی و در بازار موجود هستند استفاده می‌شوند (ماشینهای دایکست). این ماشینها دارای یک سیستم گیره‌بندی برای باز و بسته کردن قالب هستند. سیستم گیره‌بندی دارای یک فک ثابت و یک فک متحرک است. فک متحرک بر روی ریلها یا میله‌هایی قرار دارد و به صورت کشویی در مقابل فک ثابت حرکت کرده و موجب باز و بسته شدن قالب می‌شود. برای حرکت فک متحرک معمولاً از سیستم جک هیدرولیکی استفاده می‌شود.



ماشینهای دایکست امروزی، دارای تجهیزات دیگری نیز جهت تسهیل فرآیند ریخته‌گری در قالبهای دائمی هستند.

قالبگیری تحت فشار – Die Cast

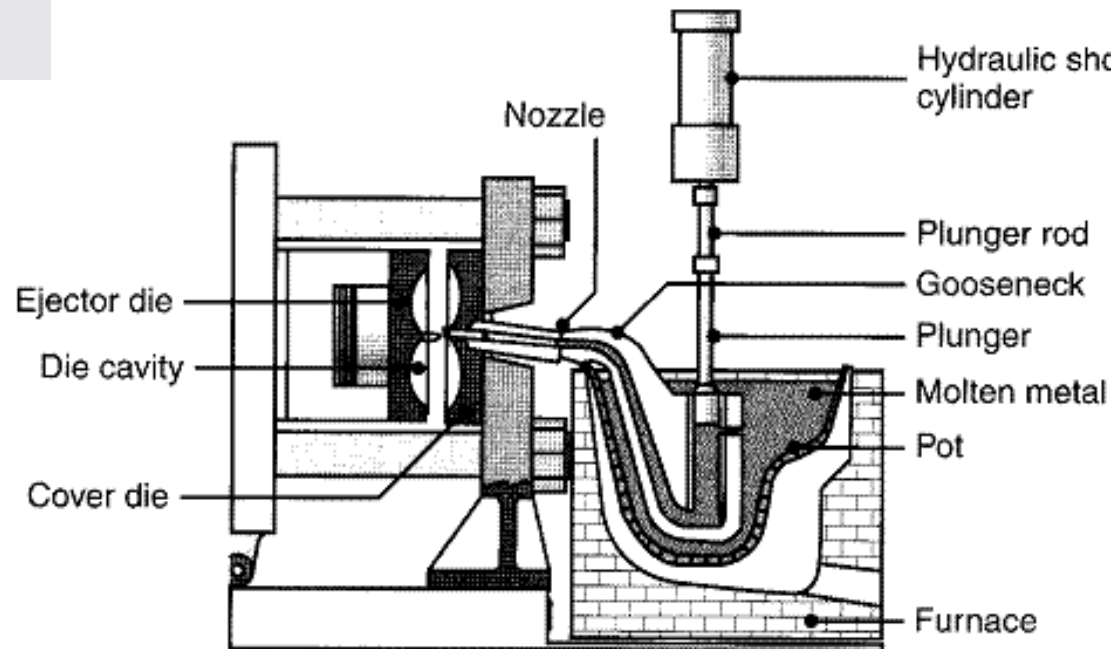
- در این روش، حجم معینی از مواد مذاب توسط یک سیلندر و پیستون به درون قالب تزریق می‌شود.
- قالب از جنس فولاد گرمکار ساخته می‌شود و بر روی ماشین دایکست نصب می‌شود.
- ماشین دایکست دارای سه بخش اصلی مذاب سازی، تزریق و گیره بندی است.
- ابتدا سیستم گیره بندی ماشین دایکست، قالب را می‌بندد. سپس مواد مذاب توسط پیستون با فشار به درون قالب تزریق می‌شود. پس مدت زمان معینی که انجماد کامل شد، سیستم گیره بندی، قالب را باز کرده و قطعه تولید شده، توسط مکانیزمی از درون قالب پران می‌شود. به این مکانیزم، مکانیزم پران گفته می‌شود.
- قطعات تولید شده معمولاً از جنس آلیاژهای آلومینیم، منیزیم و مس هستند و یا آلیاژهایی که دمای ذوب آنها در همین حدود باشد.
- در این فرآیند به دلیل گران بودن قالب، گران بودن دستگاه دایکست و بالا بودن هزینه‌های مرتبط با تولید، تیراژ تولید باید بالا باشد تا تولید با این روش از نظر اقتصادی مقرون به صرفه شود.
- قالب می‌تواند چند حفره‌ای باشد تا در هر ضرب بیش از یک قطعه تولید شود و تیراژ تولید افزایش یابد (کاهش هزینه ضرب برای هر قطعه).
- وزن قطعات از چند گرم تا 25 کیلوگرم قابل تولید است.
- کیفیت سطح قطعات تولید شده نسبتاً خوب است.
- قطعات با ضخامتهای کم را می‌توان در این روش تولید نمود.
- تلرانس قطعات تولید شده نسبتاً بسته و دقت بالاست.
- قطعات تولید شده با این روش، گاهی با یک فرآیند ماشینکاری ساده، آماده برای استفاده در خط مونتاژ می‌شوند.
- دو نوع ماشین دایکست وجود دارد: ماشین دایکست با محفظه سرد و ماشین دایکست با محفظه گرم.

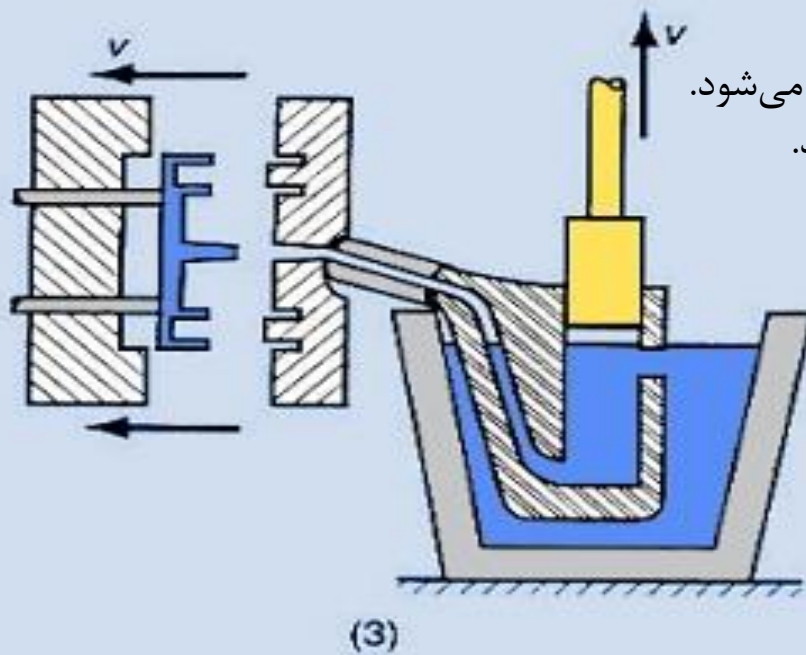
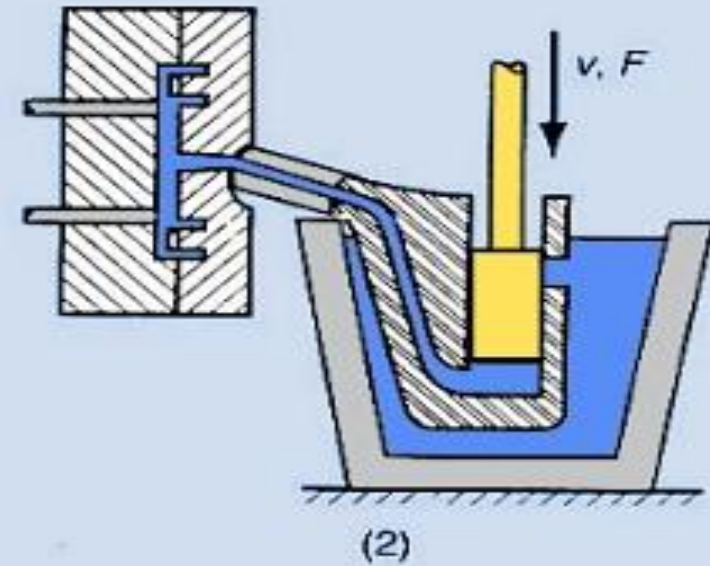
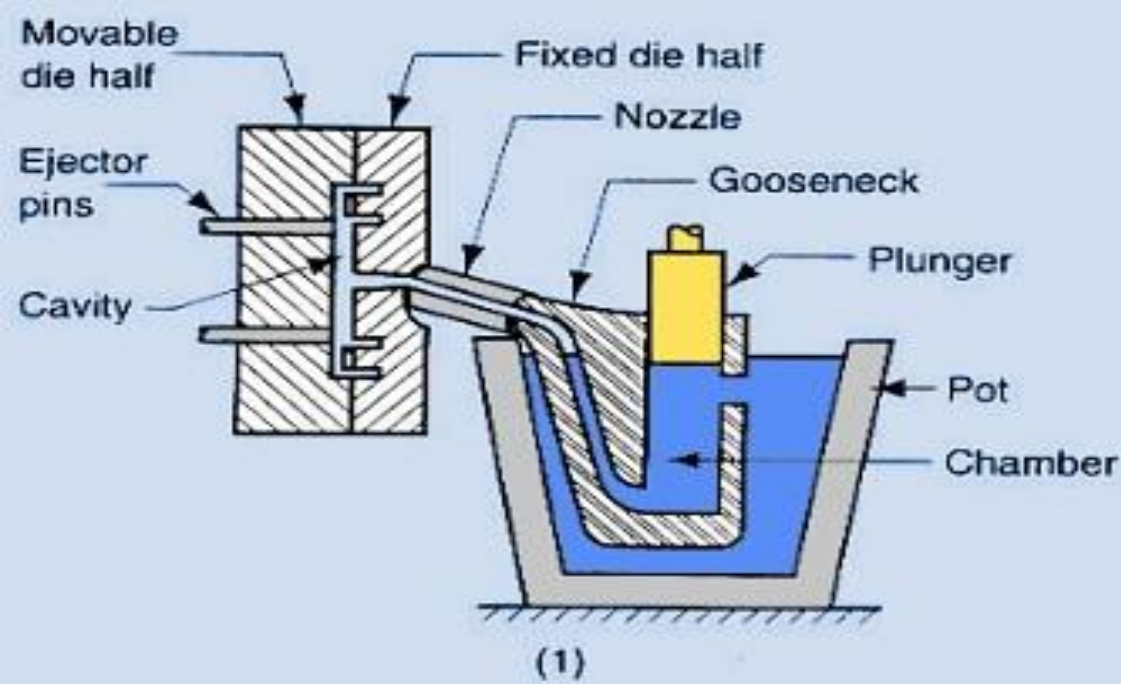


سیستم دایکست با محفظه سرد.

مواد مذاب به صورت دستی داخل سیلندر ریخته شده و پیستون مواد مذاب را با فشار به درون قالب بسته تزریق می‌کند.

سیستم دایکست با محفظه گرم.
قسمت مذاب ساز، مذاب را آماده کرده سپس پیستون مواد مذاب را با فشار به درون قالب بسته تزریق می‌کند.





- (1) قالب بسته می شود.
- (2) تزریق انجام می شود. زمان کافی برای انجماد داده می شود.
- (3) قالب باز می شود و قطعه منجمد شده پران می شود.
- (4) قطعه با کیفیت تولید شده است.

خصوصیات قطعات ریخته گری شده با دایکست

- جنس: آلومینیم، روی، منیزیم و برنج
- اندازه قطعات: قطعات با سطوح کمتر از 300 mm^2
- وزن: قطعات از چند گرم تا 25 kg
- تolerانس قطعات بسته به جنس تغییر می کند به ازای هر میلیمتر:

Al & Mg : $\pm 0.05 \text{ mm}$

Zinc: $\pm 0.04 \text{ mm}$

Brass: $\pm 0.025 \text{ mm}$

- صافی سطح: $0.8 - 1.6 \text{ Ra}$
- حداقل ضخامت قطعات: بستگی به جنس دارد:

Al & Mg: $0.8 - 1.5 \text{ mm}$

Zinc: $0.8 - 1.15 \text{ mm}$

Brass: $0.6 - 1 \text{ mm}$