



بسم الله الرحمن الرحيم

آشنایی با فرآیندهای ساخت

فصل چهارم: ریخته‌گری (۳)

مدرس:

دکتر رضا قنواتی

r_ghanavati@sbu.ac.ir

دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی

پاییز ۱۴۰۴

۹) فرآیندهای ریخته‌گری

فرآیندهای ریخته‌گری عموماً بر اساس مواد قالب‌گیری؛ فرآیندهای قالب‌گیری؛ و روش تغذیه قالب با فلز مذاب طبقه‌بندی می‌شوند.

Casting Process	فرایند ریخته‌گری
Sand mold	قالب ماسه ای
Shell mold	قالب پوسته ای
Plaster mold	قالب گچی
Ceramic mold	قالب سرامیکی
Die casting	دایکست
Centrifugal	گریز از مرکز

یک طبقه بندی معمول:

ریخته‌گری با قالب‌های مصرفی (یکبار مصرف) و ریخته‌گری با قالب دائمی.

قالب‌های مصرفی به طور معمول از **شن و ماسه**، **گچ**، **سرامیک** و مواد مشابه ساخته شده‌اند که عموماً با چسب‌های مختلف یا عوامل اتصال‌دهنده، مخلوط می‌شوند. این مواد نسوز هستند، یعنی در برابر دمای بالای مذاب مقاوم هستند. بعد از انجماد، قالب‌ها **شکسته** می‌شوند.

قالب‌های مصرفی

– ریخته‌گری با قالب ماسه‌ای

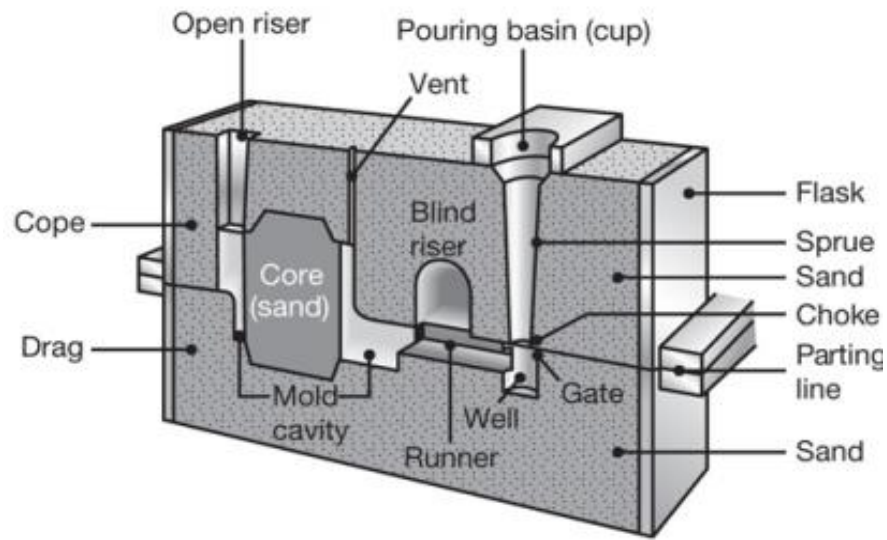


Figure 5.10

Cross section of a typical sand mold showing various features.

فرآیند شامل قرار دادن الگو به شکل قطعه ریخته‌گری مورد نظر در ماسه؛ سیستم راهگاهی؛ پر شدن حفره حاصل با فلز مذاب؛ دادن زمان برای سرد شدن فلز؛ شکستن قالب ماسه؛ و جدا کردن قطعه از آن است.

نمونه‌هایی از اجزای ساخته شده توسط ریخته‌گری با قالب ماسه شامل بلوک‌های موتور، سرسیلندر، پایه ماشین‌ابزار و محفظه‌های پمپ و موتور هستند. در حالی که ریشه‌های تاریخی ریخته‌گری در ماسه به زمان‌های قدیم برمی‌گردد، هنوز متداول‌ترین روش ریخته‌گری است. تنها در ایالات متحده، حدود ۱۵ میلیون تن فلز در هر سال با این روش تولید می‌شود.

مراحل ریخته‌گری با قالب ماسه‌ای

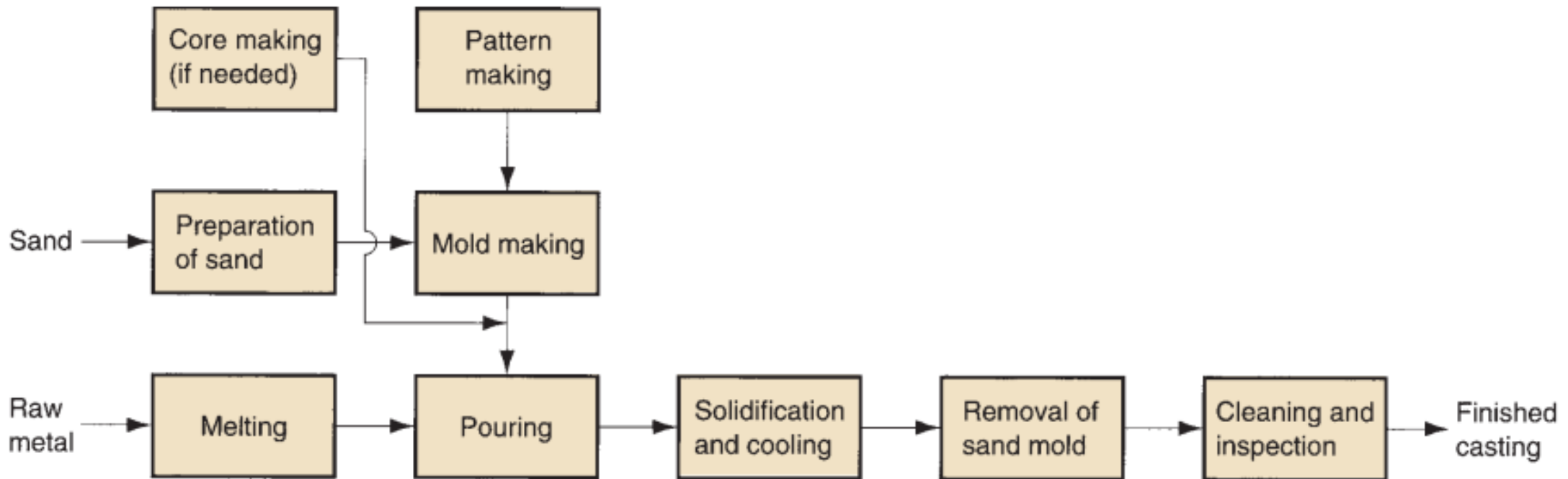


FIGURE 11.2 Steps in the production sequence in sand casting. The steps include not only the casting operation but also pattern making and mold making.

ماسه‌ها. مانند ماسه سیلیسی (SiO_2). دو نوع ماسه وجود دارد: **طبیعی** و **مصنوعی**

از آنجا که ترکیب **ماسه مصنوعی** را می‌توان با دقت کنترل کرد، توسط اکثر ریخته‌گرها ترجیح داده می‌شود. ماسه با دانه‌های خرد شده می‌توانند فشرده شده و یک سطح قالب و در نتیجه قطعه با کیفیت‌تر ایجاد کنند.

در **انتخاب ماسه** برای قالب‌ها چندین عامل در نظر گرفته می‌شود:

- **نفوذپذیری خوب** قالب‌ها اجازه می‌دهد تا گاز و بخار طی ریخته‌گری به راحتی خارج شوند.
 - قالب باید دارای **قابلیت تخریب خوبی** باشد، زیرا ابعاد قطعه طی خنک‌سازی تغییر می‌یابد.
 - ماسه ریز باعث **افزایش استحکام** قالب می‌شود، اما **نفوذ پذیری قالب را کاهش** می‌دهد.
- پیش از استفاده، ماسه معمولاً فرآوری می‌شود. ماشین‌های مخلوط‌کن برای اختلاط یکنواخت ماسه با افزودنی‌ها (آب و چسب) مورد استفاده قرار می‌گیرند. **خاک رس** عموماً به عنوان عاملی برای پیوند ذرات ماسه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

انواع قالب‌های ماسه‌ای: قالب‌های ماسه‌ای بر اساس نوع و روش تولید آنها طبقه بندی می‌شوند

متداول‌ترین مواد قالب از ماسه تر است. اصطلاح تر اشاره به این واقعیت است که ماسه در قالب در حالی که فلز مذاب ریخته می‌شود، مرطوب است. این روش قالبگیری ارزان‌ترین روش قالبگیری است. ماسه ریخته‌گری مخلوطی از ماسه، خاک رس و آب است.

در روش پوسته خشک، سطوح قالب با نگه داشتن قالب در هوا و یا خشک کردن آن با مشعل خشک می‌شوند. این قالب‌ها به طور کلی برای ریخته‌گری قطعات بزرگ به دلیل استحکام بالای آنها استفاده می‌شوند.

قالب‌های ماسه‌ای بعضی مواقع، پخته می‌شوند و از موارد قبلی مستحکم‌ترند و دقت ابعادی بهتری دارند. با این حال، قطعه به ترک داغ، حساس (به دلیل قابلیت تخریب کمتر قالب) و میزان تولید پایین‌تر است زیرا مدت زمان خشک شدن موردنیاز است.

سیستم جعبه سرد COLD BOX: در این سیستم اول ماسه داخل مخلوط کن شده و بعد کاتالیست وارد می‌شود. سپس همزنی مخلوط به

خوبی صورت می‌گیرد تا کاتالیست روی سطوح ماسه توزیع شود. در مرحله آخر، چسب اضافه می‌شود. در اثر گذشت زمان، خودگیری

(Setting) انجام می‌شود. چون خودگیری در دمای محیط صورت می‌گیرد به آن سیستم جعبه سرد Cold Box گویند. این روش بیشتر برای

ساخت ماهیچه استفاده می‌شود. گاهی خودگیری توسط عاملی خارجی، تسریع می‌شود مثل گاز CO_2 برای آب شیشه (سیلیکات سدیم).

الگو یا مدل (pattern)

مدل‌ها برای قالبگیری مخلوط ماسه به شکل قطعه ریخته‌گری استفاده می‌شوند. ممکن است از چوب، پلاستیک یا فلز ساخته شوند. آنها همچنین می‌توانند از تکنیک‌های نمونه‌سازی سریع (**rapid prototyping**) مستقیماً ساخته شوند.

انتخاب مواد مدل به اندازه و شکل قطعه ریخته‌گری، دقت ابعادی، میزان ریخته‌گری مورد نیاز و فرایند ریخته‌گری مورد استفاده بستگی دارد.

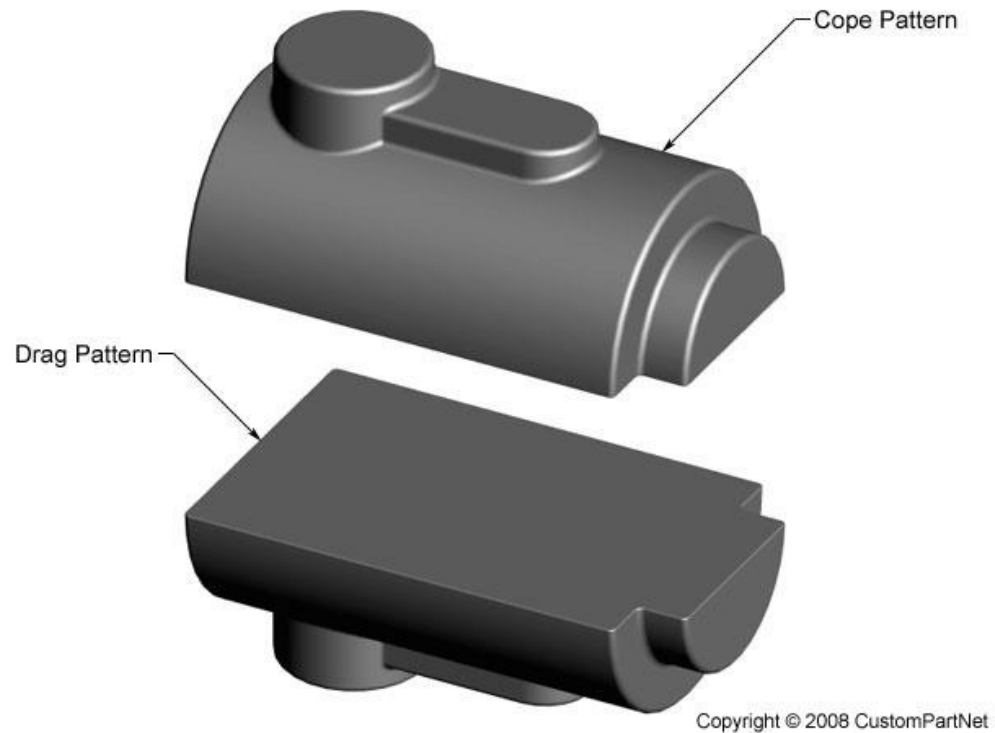
از آنجا که مدل‌ها به طور مرتب برای ساخت قالب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، استحکام و دوام مواد مدل برای ساخت تعداد قطعات مورد نظر، باید مناسب باشد. مدل‌ها معمولاً با یک عامل جداساز (parting agent) پوشانده شده اند تا جداسازی آنها از قالب‌ها تسهیل شود.

مدل‌ها را می‌توان با ویژگی‌های مختلف برای کاربردهای خاص و همچنین ملاحظات اقتصادی طراحی کرد و ۳ دسته هستند:

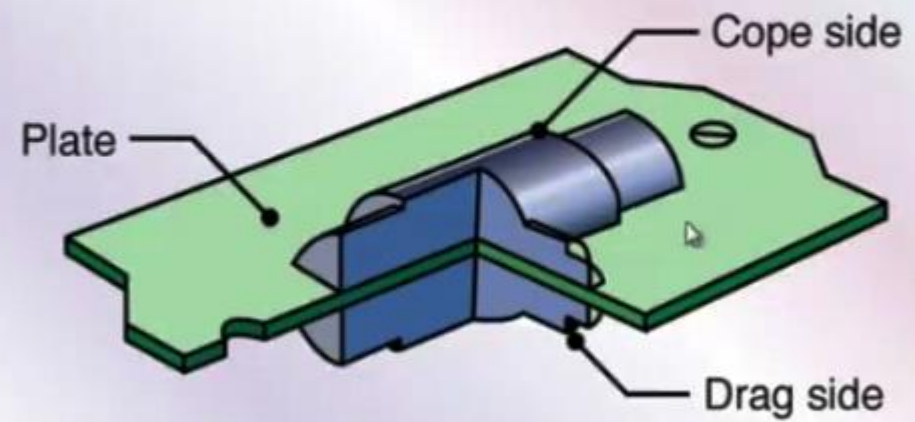
(الف) مدل‌های یکپارچه one-piece به طور کلی برای شکل‌های ساده و تولید کم استفاده می‌شود؛ آنها معمولاً از چوب ساخته شده و ارزان هستند؛

(ب) مدل‌های مجزا split patterns از دو قطعه مدل است و به گونه‌ای ساخته شده است که هر بخش، قسمتی از حفره قالب را برای قطعه ریخته‌گری تشکیل می‌دهد، به این ترتیب ریخته‌گری اشکال پیچیده میسر می‌شود؛

(ج) مدل‌های match-plate (شکل اسلاید بعد) یک نوع مدل هستند که در آن هر طرف قالب در یک طرف مدل ایجاد شده است. در چنین مدل‌هایی، سیستم راهگاهی را می‌توان در قسمت drag (قسمت پایینی) مدل نصب کرد.



Match Plate Pattern



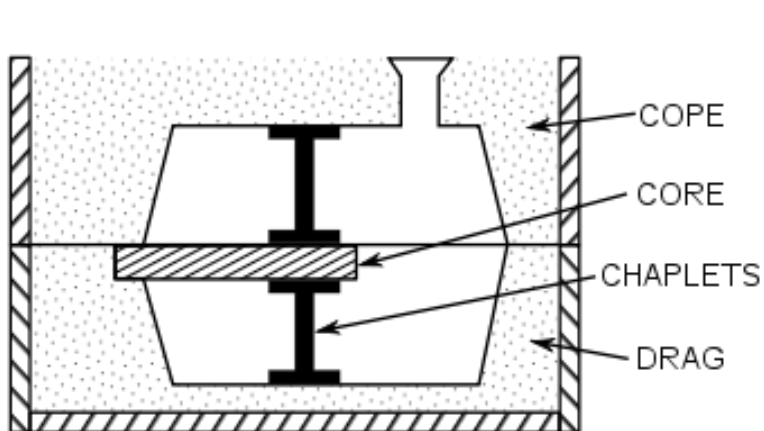
A typical metal match-plate pattern used in sand casting.

ماهیچه‌ها (Cores)

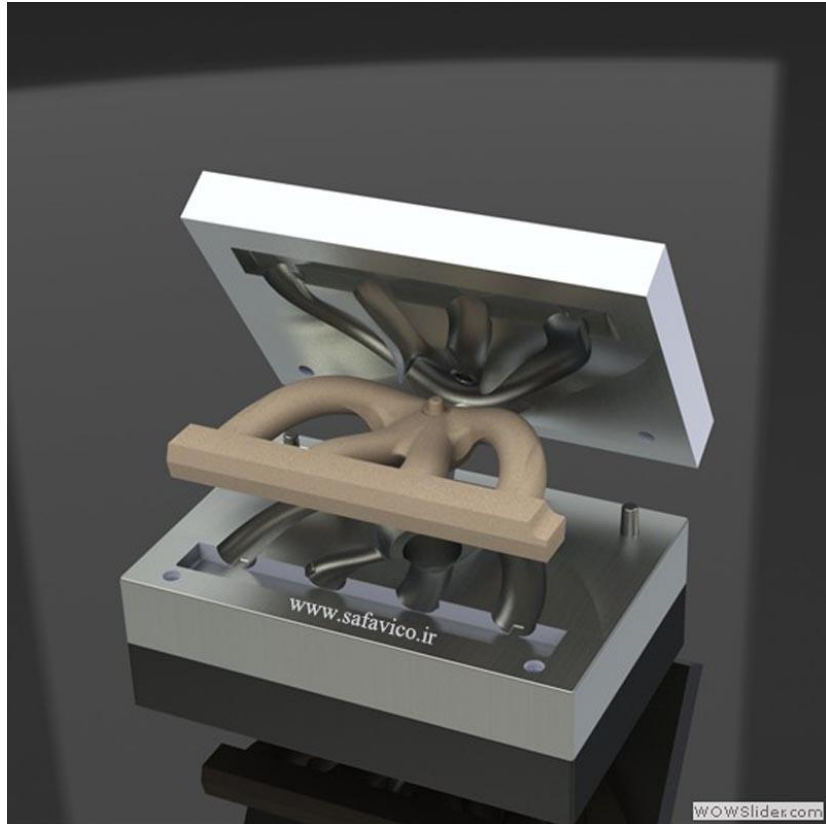
ماهیچه‌ها برای ایجاد **حفره‌های داخلی** در قطعاتی از قبیل بلوک‌های موتور خودرو و یا دریچه‌های شیر استفاده می‌شوند.

آنها **قبل از ریختن مذاب** در حفره قالب قرار گرفته و در انتها خارج می‌شوند و **سطوح داخلی** قطعه را ایجاد می‌کنند. ماهیچه‌ها باید دارای **استحکام خاص**، **نفوذپذیری**، توانایی **مقاومت** در برابر **حرارت** و **تخریب پذیری** مناسب باشند. آنها معمولاً از ماسه ساخته می‌شوند.

ماهیچه روی **تکیه‌گاه** متصل می‌شوند. اینها تورفتگی‌هایی در قالب هستند و برای نگه داشتن ماهیچه به قالب‌ها اضافه می‌شوند. مشکل متداول در ماهیچه‌ها، جایی است که ممکن است حمایت سازه‌ای کافی نباشد. برای جلوگیری از تغییر مکان ماهیچه می‌توان از **سپورت فلزی** به نام **chaplet** استفاده کرد.



روش ساخت ماهیچه‌ها بسیار شبیه به ساخت قالب‌های ماسه‌ای است و با فرآیند **cold-box** و **hot box** ساخته می‌شوند. در جعبه داغ یک محفظه ماسه ریز حاوی ۲.۵-۴٪ **رزین ترموست (ماسه چراغی)** استفاده می‌شود.



عملیات پایانی روی ماهیچه

بعد تهیه ماهیچه، عملیات پایانی شامل موارد زیر باید انجام شود:

۱- تمیزکاری

۲- کنترل ابعادی

۳- پوشش دادن جهت محافظت از ماهیچه در برابر ماسه سوزی و نفوذ مذاب در ماهیچه

۴- بتونه کاری: ماهیچه‌هایی که زدگی کوچک دارند را با بتونه پُر می‌کنند. بتونه معمولاً از گرافیت

یا پودر تالک قرمز است.

۵- استفاده از پیچ و مهره: در قطعات بزرگ بعضی مواقع جهت ثابت کردن ماهیچه‌ها از پیچ و

مهره استفاده می‌شود.

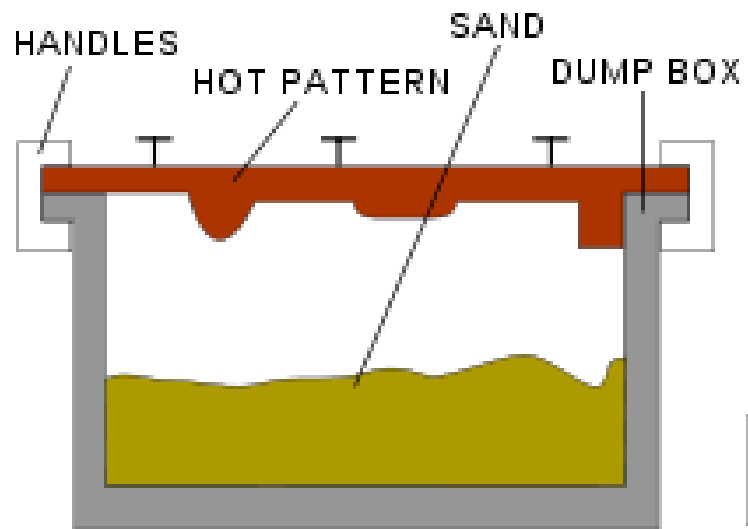
- ریخته‌گری با قالب پوسته‌ای

استفاده از ریخته‌گری با قالب پوسته‌ای به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است، زیرا می‌تواند انواع مختلفی از قطعات را با **تولرانس بسته**، **سطح نهایی خوب** و با **هزینه کم** تولید کند.

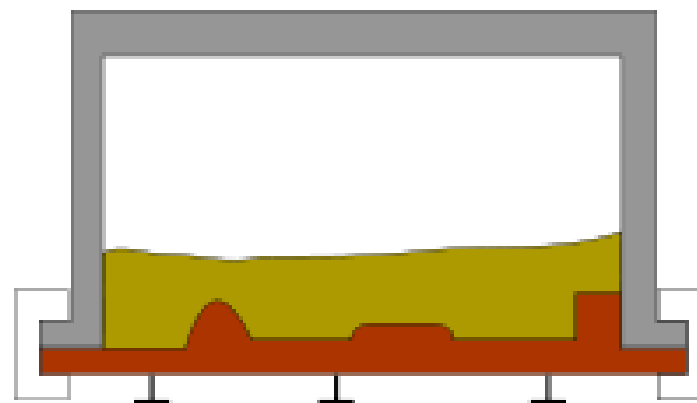
در این فرآیند، الگوی نصب شده از یک **فلز آهنی یا آلومینیومی**، تا دمای ۱۷۵ تا ۳۷۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شود، با یک ماده جدا کننده مانند **سیلیکون** پوشش داده می‌شود.

یک محفظه ماسه ریز حاوی ۲.۵-۴٪ **رزین ترموست** (مانند فنل فرمالدئید) موجود است (**ماسه چراغی**).

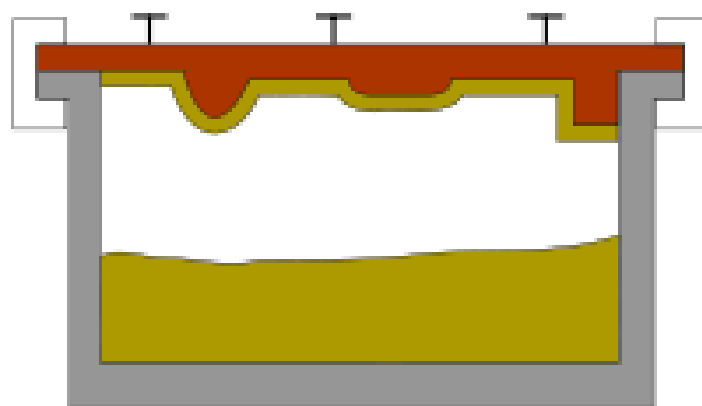
سپس مخلوط ماسه روی الگوی گرم پاشیده می‌شود. این سیستم اغلب برای مدت کوتاهی در یک کوره قرار می‌گیرد تا **چسبندگی رزین** را کامل کند. پوسته در اطراف الگو سخت و سپس با استفاده از پین جدا می‌شود. دو نیمه پوسته ساخته شده به این ترتیب آماده شده و برای ریختن مذاب آن‌ها را به هم می‌بندند.



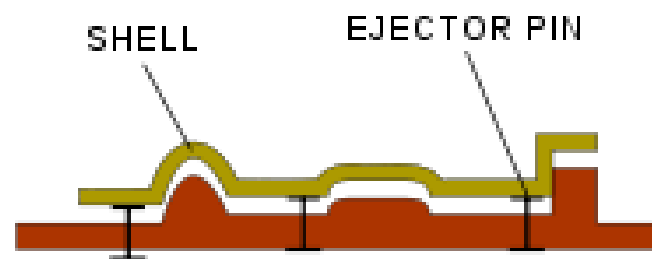
STEP 1



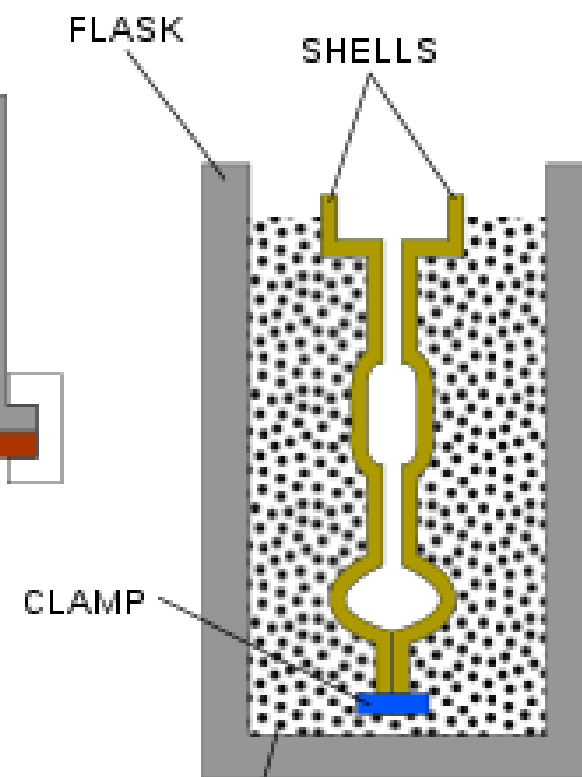
STEP 2



STEP 3



STEP 4



STEP 5

ویژگی های روش:

- پوسته ها سبک و نازک هستند، معمولاً ۵ تا ۱۰ میلی متر، و در نتیجه ویژگی های حرارتی آنها با قالب های ضخیم، متفاوت است.
- پوسته نازک اجازه می دهد که گازها طی انجماد فلز، فرار کنند.
- قالب عمدتاً به صورت عمودی استفاده می شود و با گلوله فولادی در اطراف آن پشتیبانی می شود.
- دیوارهای قالب نسبتاً صاف است و منجر به مقاومت کم در برابر جریان فلز مذاب می شود و تولید قطعات با گوشه های تیزتر و بخش های نازکتر نسبت به قالب های ماسه ای آسان تر است.
- با استفاده از سیستم راهگاه چندگانه می توان چندین قطعه را در یک قالب تکی، ساخت.

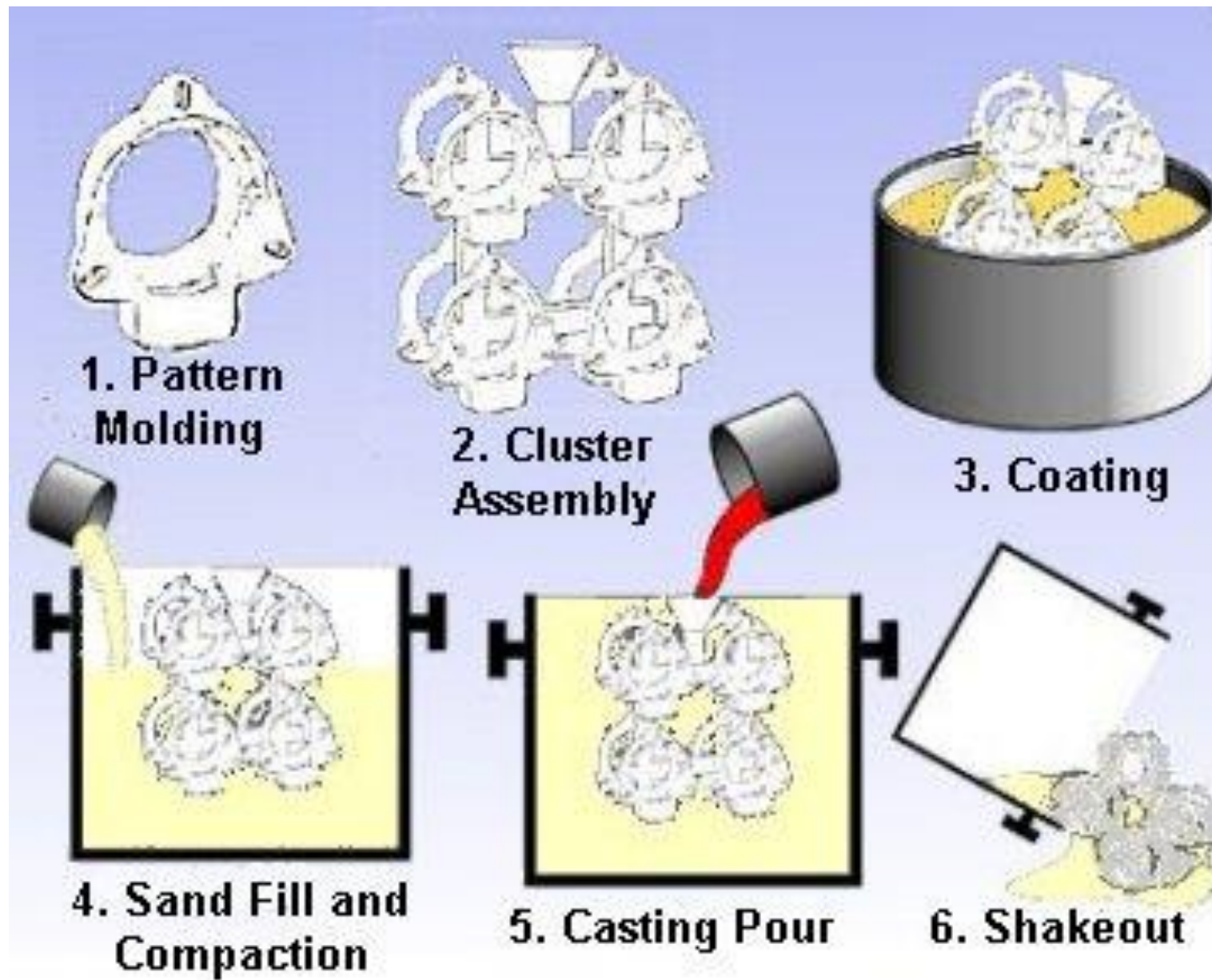
- قطعات با روش قالب پوسته‌ای می‌تواند از سایر فرایندهای ریختگی به صرفه‌تر باشد و به عوامل تولید متعددی بستگی دارد، به ویژه هزینه انرژی.
- هزینه نسبتاً بالای مدل فلزی با افزایش تعداد تولید، قابل توجیه می‌شود.
- کیفیت بالای سطح قطعه به مقدار زیادی نیاز به تمیزکاری و ماشینکاری و سایر هزینه‌ها را می‌کاهد.
- شکل‌های پیچیده با نیروی کار کمتر، قابل تولید بوده و فرآیند به راحتی قابل اتوماسیون است.

– فرآیند ریخته‌گری با الگوی فداشونده (Expendable-Pattern Casting (Lost Foam casting)

در این فرآیند از مدل پلی‌استایرن استفاده می‌شود که در هنگام تماس با فلز مذاب با تبخیر شدن، حفره‌ای برای قطعه ایجاد می‌شود. این فرآیند همچنین به عنوان فرایند تبخیری یا ریخته‌گری فومی شناخته شده و نام تجاری فرآیند Full-Mold است.

این یکی از مهمترین فرایندهای ریخته‌گری برای فلزات آهنی و غیر آهنی، به ویژه برای صنعت خودرو است.

اول، دانه‌های پلی‌استایرن (EPS)، در یک قالب پیش گرم‌شده، معمولاً از آلومینیوم قرار می‌گیرند. پلی‌استایرن منبسط شده و شکل حفره را می‌گیرد؛ گرمای اضافی دانه‌ها را به هم متصل می‌کند. سپس قالب خنک و باز می‌شود و مدل برداشته می‌شود. الگوهای پیچیده نیز ممکن است با پیوند بخشهای مختلف الگوی خاص، با استفاده از چسب ساخته شوند. **سپس الگو با دوغاب نسوز و مقاوم در برابر آب پوشش دهی شده و پس از خشک شدن در یک درجه قرار می‌گیرد. درجه با ماسه شسته و ریز پر** می‌شود که از الگوی اطراف آن پشتیبانی می‌کند. سپس، **بدون برداشتن مدل**، فلز مذاب به قالب ریخته می‌شود. این عمل بلافاصله مدل را تبخیر و حفره قالب را پر می‌کند. **گرما باعث تخریب پلی‌استایرن می‌شود و محصولات تخریب شده به ماسه اطراف نفوذ** می‌کنند. از آنجا که پلیمر به انرژی قابل توجهی برای تخریب نیاز دارد، در نتیجه سیالیت از روش ریخته‌گری با قالب ماسه‌ای کمتر است.



مزایا

- فرآیند نسبتاً ساده است، زیرا هیچ خطوط جدایش، ماهیچه‌ها یا سیستم‌های تغذیه وجود ندارد؛ درجه‌های ارزان برای این فرایند رضایت بخش هستند؛
- پلی استایرن ارزان است و به راحتی می‌تواند به الگوهای با اشکال پیچیده، اندازه‌های مختلف و سطوح با جزئیات تبدیل شود.
- خود قطعه نیاز به حداقل عملیات تمیزکاری و پرداخت دارد؛
- عملیات می‌تواند به صورت اتوماتیک انجام شود.
- برای تولید زیاد به صرفه است.

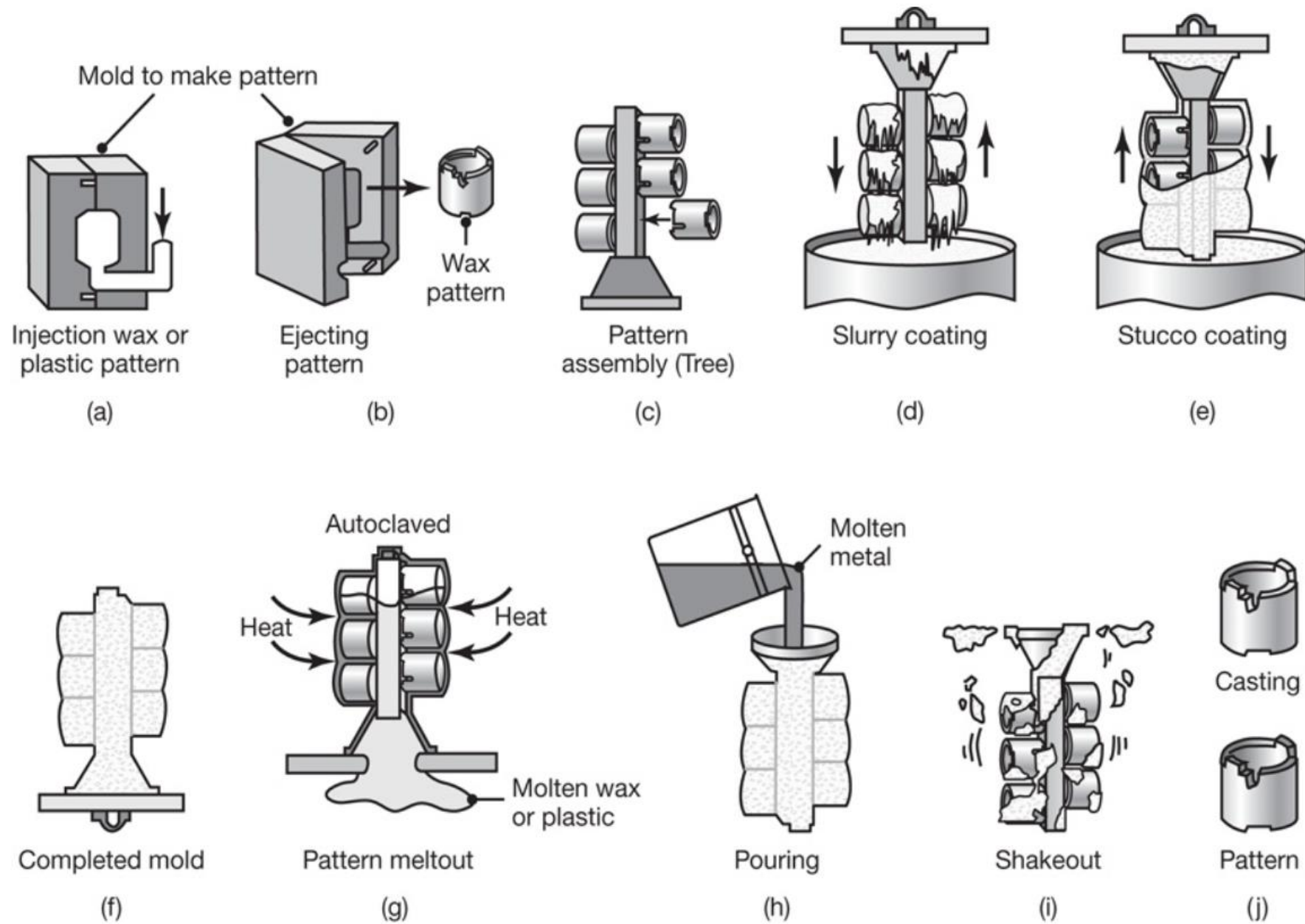
عیب: هزینه قالب استفاده شده برای انبساط دانه‌های پلی استایرن برای ساخت مدل می‌تواند بالا باشد.

– ریخته‌گری دقیق Investment casting

این روش همچنین فرآیند موم فداشونده نیز نامیده می‌شود. مدل از موم یا پلاستیکی مانند پلی‌استایرن ساخته می‌شود. الگو با تزریق موم نیمه جامد یا مایع و یا پلاستیک به داخل قالب فلزی ساخته می‌شود. این مدل سپس از آن برداشته شده و در دوغابی از مواد نسوز، مانند سیلیکا ریز و چسب، اتیل سیلیکات و اسیدها، غوطه‌ور می‌شود. پس از اینکه پوشش اولیه خشک شد، الگوی به طور مکرر پوشش داده می‌شود تا ضخامت آن افزایش یابد. الگوهای موم نیاز به جابجایی دقیق دارند، زیرا آنها به اندازه کافی محکم نیستند که بتوانند از نیروهایی که در طول ساخت قالب ها مقاومت کنند.

قالب یک تکه در هوا خشک می‌شود و در دمای حدود ۹۰ تا ۱۷۵ درجه سانتیگراد برای تقریباً ۴ ساعت (بسته به فلز مورد نظر که ریخته می‌شود) برای بیرون راندن آب حرارت داده می‌شود. پس از ریختن مذاب و انجماد، قالب شکسته شده و قطعه برداشته می‌شود. چندین مدل می‌توانند به یک قالب تبدیل شود، به نام درختواره، که به طور قابل توجهی سرعت تولید افزایش می‌یابد.

هرچند نیروی کار و مواد درگیر می‌تواند این فرآیند را پر هزینه کند، اما این فرایند برای آلیاژهای با دمای ذوب بالا با سطح نهایی خوب و تolerانس پایین مناسب است و پرداخت نهایی کمی لازم دارد. این فرآیند قادر به تولید اشکال پیچیده از طیف گسترده‌ای از فلزات آهنی و غیر آهنی و آلیاژهای با قطعات به طور کلی وزن ۵ تا ۱۰۰ کیلوگرم است. قطعاتی که با این فرایند ساخته می‌شوند، مانند اجزای مکانیکی مانند دنده، cam، ratchet، valves و جواهرآلات است.



فرآیندهای ریخته‌گری در قالب های دائمی

قالب‌های دائمی به طور مکرر مورد استفاده قرار می‌گیرند و طوری طراحی شده‌اند تا قطعه را بتوان به راحتی برداشته و قالب را دوباره استفاده کرد. قالب‌ها از فلزاتی ساخته شده‌اند که استحکام‌شان را در دمای بالا حفظ می‌کنند. از آنجایی که قالب‌های فلزی نسبت به قالب‌های مصرفی، هادی حرارت بهتری هستند، انجماد با سرعت بالاتری رخ می‌دهد و این، به نوبه خود، بر ریزساختار و اندازه دانه قطعه تاثیر می‌گذارد.

جنس قالب: از موادی مانند فولاد، برنز، آلیاژهای نسوز یا گرافیت (قالب نیمه دائم) ساخته می‌شوند. حفره‌های قالب و سیستم راهگاه داخل قالب، ماشینکاری می‌شوند و به همین ترتیب بخشی جدایی ناپذیر از قالب می‌شوند.

ماهیچه: برای ایجاد حفرات داخلی، ماهیچه‌ها از فلز یا ماسه ساخته شده و قبل از ریخته‌گری در قالب قرار می‌گیرند. مواد ماهیچه‌ها از ماهیچه پوسته‌ای یا بدون پخت، چدن خاکستری، فولاد کم‌کربن و فولاد گرم‌کار است البته چدن خاکستری به ویژه برای ریخته‌گری قالب‌های بزرگ آلومینیومی و چدنی، متداول‌ترین ماده ماهیچه است.

اسپری: به منظور افزایش عمر قالب‌های دائمی، سطوح حفره قالب ممکن است با دوغاب نسوز پوشانده شود یا با گرافیت اسپری شود. پوشش‌ها همچنین به عنوان عوامل جداکننده و موانع حرارتی برای کنترل میزان خنک شدن قطعه عمل می‌کنند.

سیستم مکانیکی: بیرون اندازه‌های مکانیکی، مانند پین‌ها در قسمت‌های مختلف قالب قرار می‌گیرند چون ممکن است برای برداشتن قطعه پیچیده لازم باشند. قالب‌ها به وسیله ابزار مکانیکی به هم کلمپ می‌شوند.

برای تسهیل جریان فلزی و کاهش خسارت حرارتی، قالب‌ها پیش‌گرم می‌شوند. سپس فلز مذاب از طریق سیستم راهگاهی جریان داده می‌شود، حفره قالب را پر می‌کند و پس از انجماد، قالب باز و قطعه برداشته می‌شود. روش‌های خاص برای خنک کردن قالب شامل آب یا استفاده از پره‌های خنک‌شونده با هوا سرد، قابل استفاده هستند.

هرچند این عملیات به صورت دستی قابل انجام است، اما برای تولیدات زیاد، عملیات ریخته‌گری در قالب دائمی اتوماتیک است.

به دلیل نقاط ذوب پایین تر قالب، بیشتر برای آلومینیوم، منیزیم و آلیاژهای مس استفاده می شود. فولادها در قالب های گرافیتی یا مقاوم در برابر حرارت قابل ریخته گری هستند.

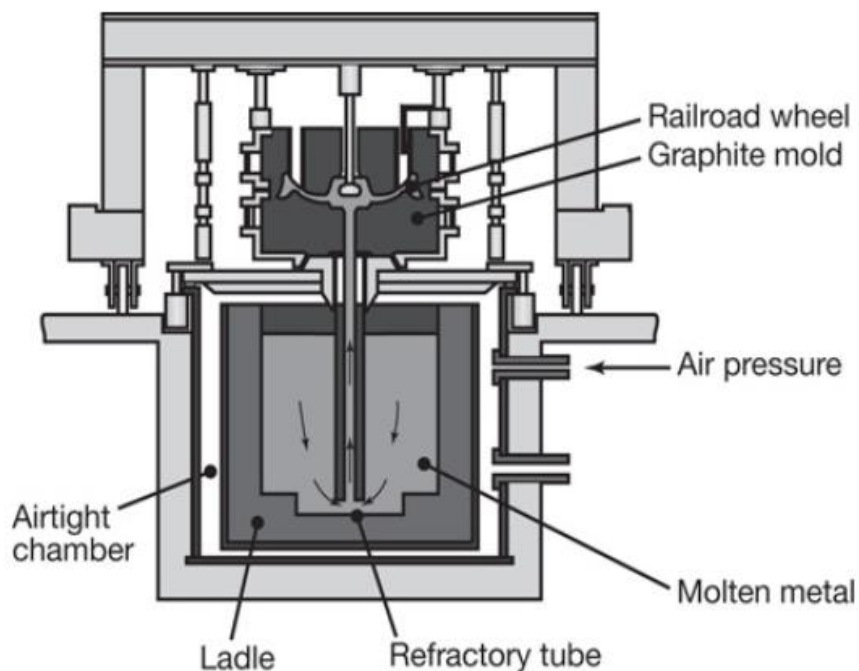
این فرآیند قادر به تولید قطعاتی با سطح نهایی عالی، تolerانس بسته و خواص مکانیکی یکنواخت و خوب با نرخ تولید بالا است.

قطعات عمومی ساخته شده با این فرایند عبارتند از پیستون خودرو، سرسیلندر و وسایل آشپزخانه.

با توجه به هزینه های بالای قالب، ریخته گری در قالب دائمی برای تولیدات کوچک اقتصادی نیست.

علاوه بر این، به علت مشکل در خارج کردن قطعه از قالب، اشکال پیچیده را نمی توان با این فرآیند تولید کرد، اگر چه حفره های داخلی پیچیده را می توان با استفاده از ماهیچه های ماسه ای ایجاد کرد.

– ریخته‌گری تحت فشار پایین Low pressure die casting



در فرآیند ریخته‌گری تحت فشار پایین، فلز مذاب با فشار گاز (در حد یک دهم مگاپاسکال) به داخل قالب گرافیتی یا قالب فلزی فشار داده می‌شود، فشار تا زمانی که فلز به طور کامل در قالب منجمد شود، نگه داشته می‌شود.

در یک سیستم مشابه، فلز مذاب ممکن است با یک خلاء به سمت بالا کشیده شود که گازهای حل شده را حذف می‌کند و قطعه با تخلخل کمتر تولید کند.

Figure 5.21

The pressure casting process, utilizing graphite molds for the production of steel railroad wheels.

- دایکست

فرآیند دایکست، که در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسعه یافت و نمونه‌ای از ریخته‌گری با قالب دائمی است. در آن فلز مذاب با فشار ۰.۷ تا ۷۰۰ مگاپاسکال به درون حفره‌ای رانده می‌شود. دایکست تحت فشار، و یا به طور ساده دایکست، نباید با "ریخته‌گری تحت فشار پایین" که قبلاً توضیح داده شد، اشتباه گرفته شود.

قطعات معمول ساخته شده توسط دایکست: محفظه‌های انتقال، بدنه شیر، کاربراتور، موتور و لوازم خانگی، ابزارالات دستی و اسباب بازی‌ها هستند. وزن بیشتر قطعات از کمتر از ۹۰ گرم تا ۲۵ کیلوگرم است.

دایکست: فرآیند محفظه گرم

فرآیند محفظه گرم شامل استفاده از یک پیستون است که حجم خاصی از فلز مذاب را دارد و آن را از طریق یک لوله گردن غازی و نازل وارد حفره می‌کند. فشار می‌تواند تا ۳۵ مگاپاسکال با میانگین ۱۵ مگاپاسکال باشد. فلز تحت فشار قرار دارد تا آن که در قالب منجمد شود.

برای بهبود عمر قالب و کمک به خنک کردن سریع فلز (بهبود بهره‌وری)، قالب‌ها معمولاً توسط گردش آب و یا روغن از طریق عبور از مسیرهای قرار داده شده در بلوک قالب سرد می‌شوند.

زمان چرخه عمدتاً تا ۹۰۰ شات در هر ساعت برای روی است، هر چند ممکن است برای اجزای بسیار کوچک مانند دندانه‌های زیپ با بیش از ۱۸۰۰۰ شات در ساعت باشد. آلیاژهای دما ذوب پایین، مانند روی، قلع و سرب معمولاً توسط این فرآیند تولید می‌شوند.

دایکست: فرآیند محفظه گرم

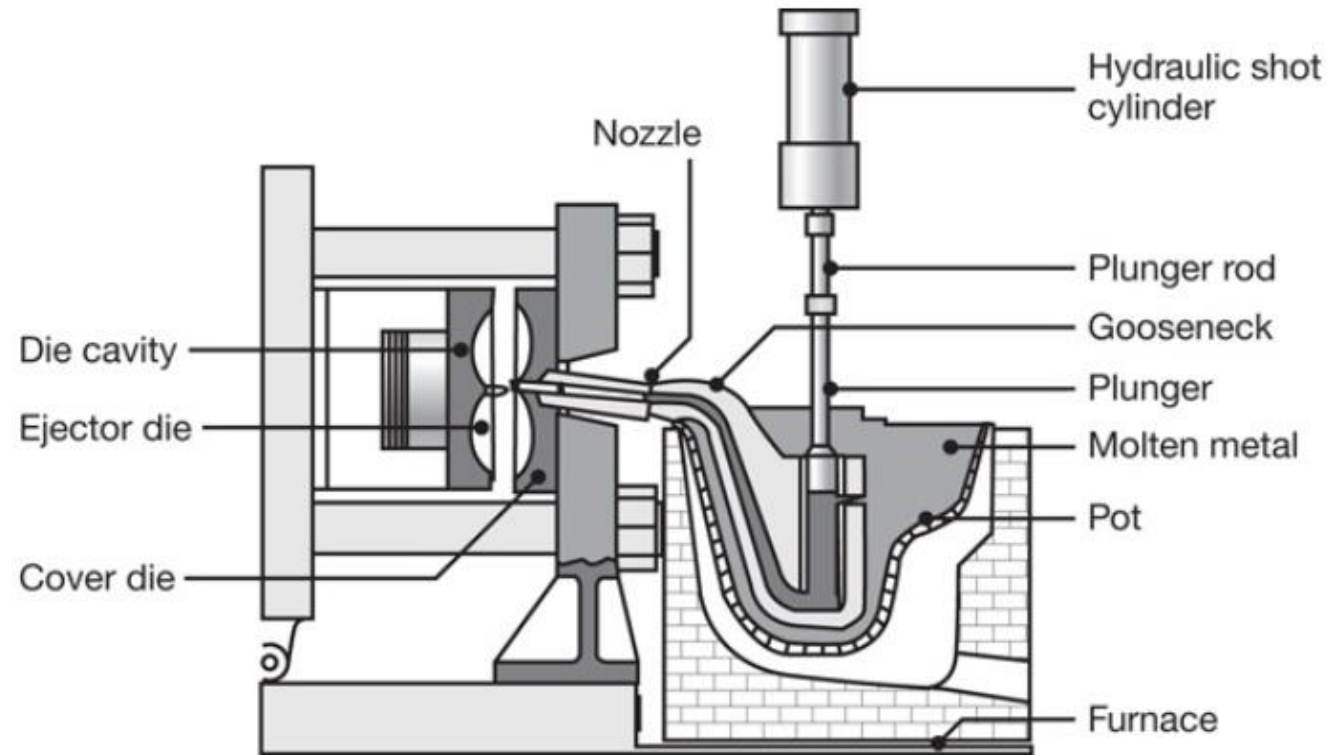


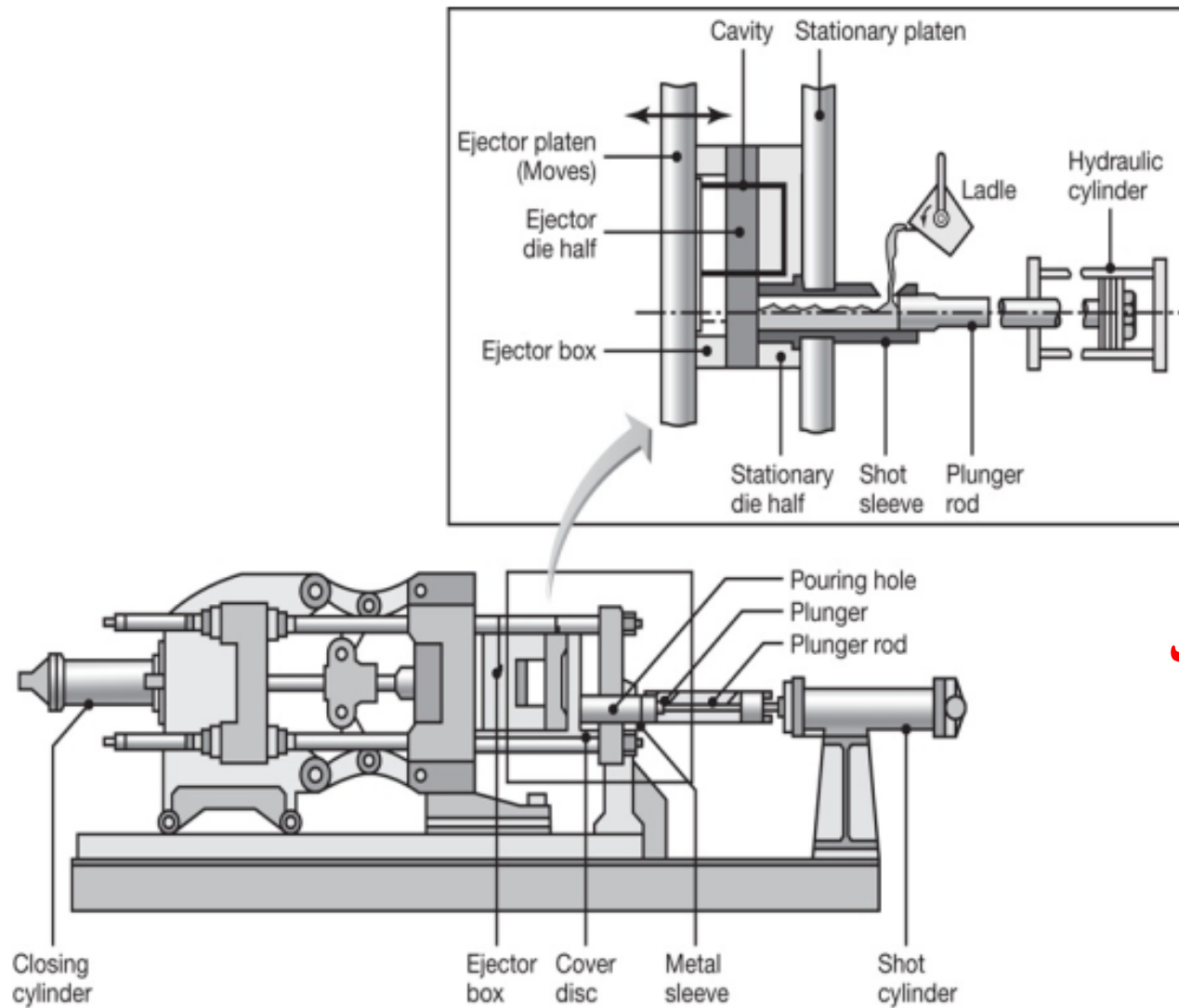
Figure 5.22

Schematic illustration of the hot-chamber die-casting process.

دایکست: فرآیند محفظه سرد

در فرایند محفظه سرد (شکل بعد) فلز مذاب به داخل سیلندر تزریق (اتاق شات) وارد می‌شود. محفظه شات گرم نمی‌شود، به این خاطر اصطلاح "محفظه سرد" بکار می‌رود. فلز معمولاً با ۲۰ تا ۷۰ مگاپاسکال به محفظه فشار داده می‌شود، اگرچه ممکن است تا ۱۵۰ مگاپاسکال نیز باشد. ماشین‌ها ممکن است افقی یا عمودی باشند.

آلومینیوم، منیزیم و آلیاژهای مس اغلب توسط این روش ریخته‌گری می‌شوند، هر چند فلزات دیگر، از جمله فلزات آهنی نیز با این روش قابل ریخته‌گری هستند. درجه حرارت ذوب فلزات در حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد برای آلومینیوم و منیزیم شروع می‌شود و به طور قابل توجهی برای آلیاژهای پایه مس و آهن افزایش می‌یابد.



دایکست: فرآیند محفظه سرد

Figure 5.23

Schematic illustration of the cold-chamber die-casting process. These machines are large compared to the size of the casting, because high forces are required to keep the two halves of the die closed under pressure.

- فرآیند ریخته‌گری گریز از مرکز

فرآیند ریخته‌گری گریز از مرکز، از نیروهای ناشی از چرخش استفاده می‌کند تا فلز مذاب را به حفره‌های قالب برساند. این روش برای اولین بار در اوایل ۱۸۰۰ پیشنهاد شد.

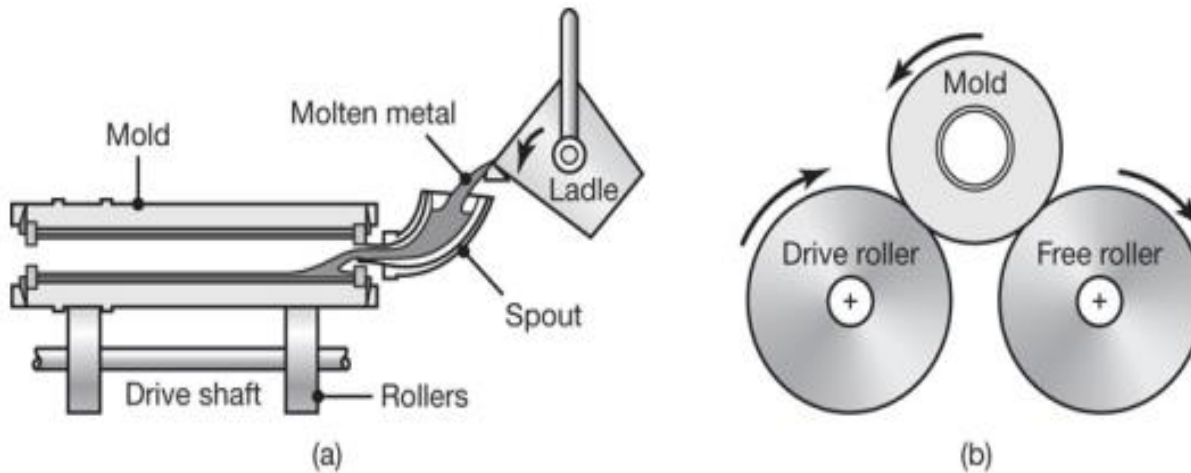


Figure 5.24

Schematic illustration of the centrifugal casting process. Pipes, cylinder liners, and similarly shaped hollow parts can be cast by this process.



این روش‌ها برای ریختن قطعات با **تقارن محوری**، مانند یک چرخ پره‌دار، استفاده می‌شود.

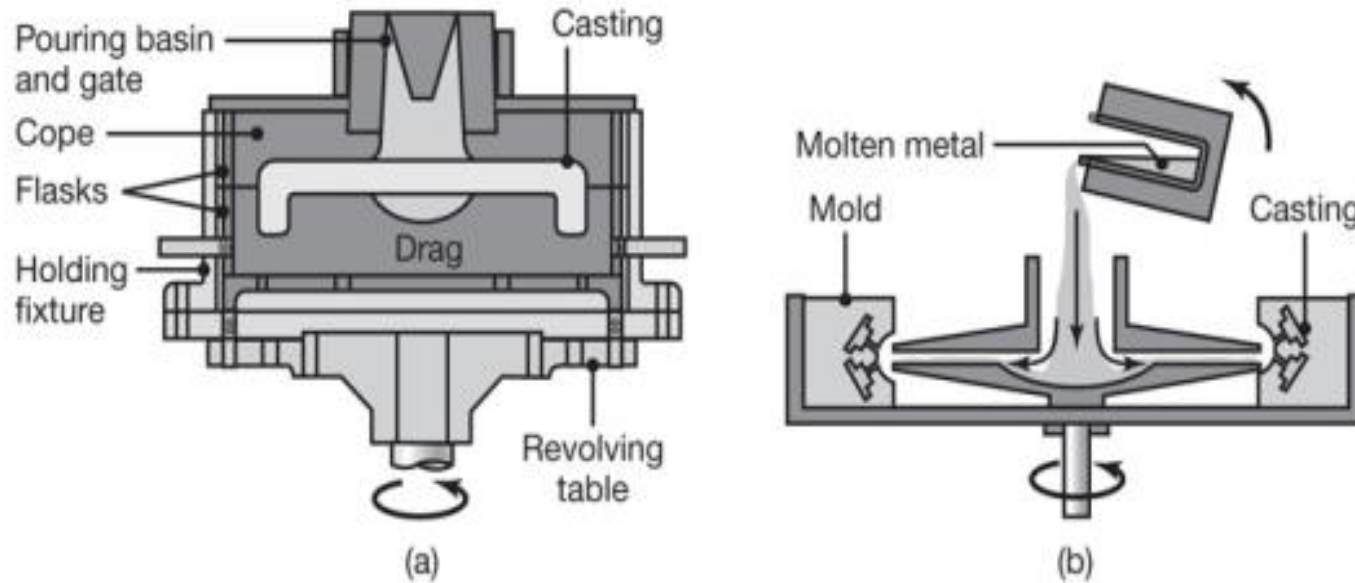
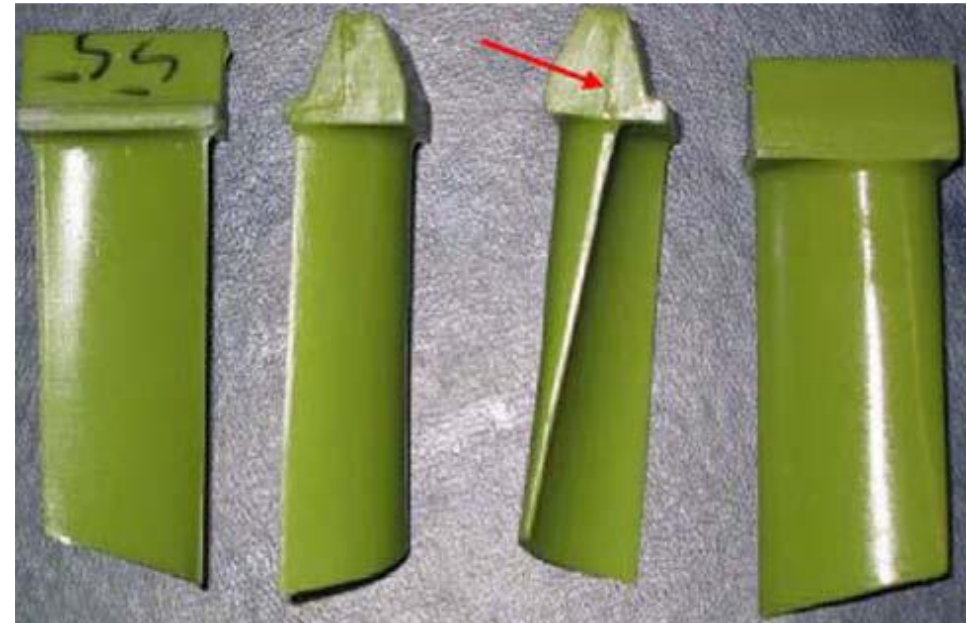


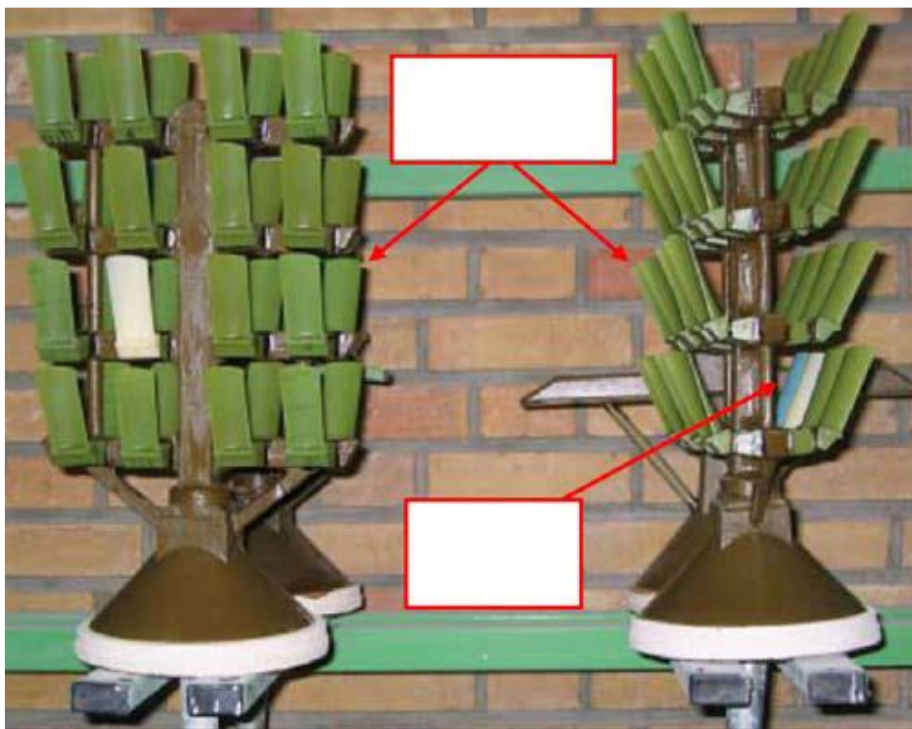
Figure 5.25

(a) Schematic illustration of the semicentrifugal casting process. Wheels with spokes can be cast by this process. (b) Schematic illustration of casting by centrifuging. The molds are placed at the periphery of the machine, and the molten metal is forced into the molds by centrifugal forces.

روش‌های ریخته‌گری پره‌های توربین

۱- روش‌های ریخته‌گری متداول: ریخته‌گری دقیق با استفاده از قالب سرامیکی است. فلز مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود و در دیواره‌های سرامیکی شروع به انجماد می‌کند. ساختار دانه به صورت پلی کریستالی است و حضور مرزهای دانه، این ساختار را مستعد خزش و ترک خوردگی در امتداد مرزها تحت نیروهای گریز از مرکز در دمای بالا قرار می‌دهد.





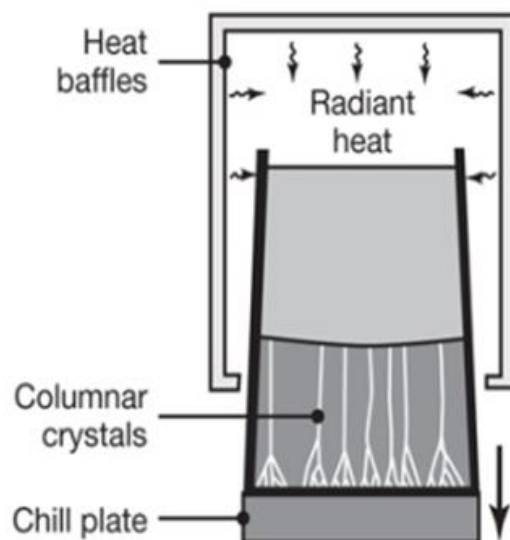
۲- **انجماد جهت‌دار (DS) پره‌ها.** در فرآیند انجماد جهت‌دار (شکل چپ)، که در سال ۱۹۶۰ توسعه یافت، قالب

سرامیکی توسط تکنیک‌های **ریخته‌گری دقیق** و با **حرارت‌دهی تابشی گرم** می‌شود. قالب توسط یک **خنک‌کننده**

آبگرد از **زیر سرد** می‌شود. بعد از ریختن مذاب به قالب، سیستم به آرامی سرد شده و کریستال‌ها از صفحه مبرد به

سمت بالا شروع به رشد می‌کنند. پره‌ها با **مرزهای طولی بدون مرزدانه‌های عرضی**، به صورت جهت‌دار منجمد

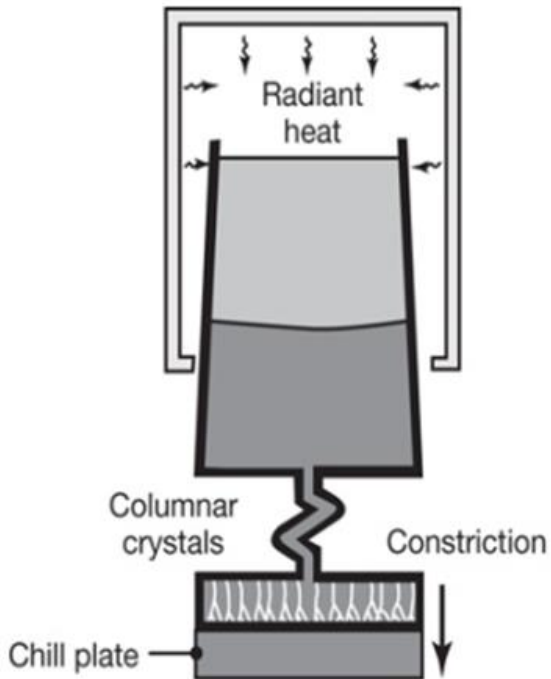
می‌شوند. در نتیجه پره‌های توربین در جهت نیروی گریز از مرکز مستحکم خواهند بود.

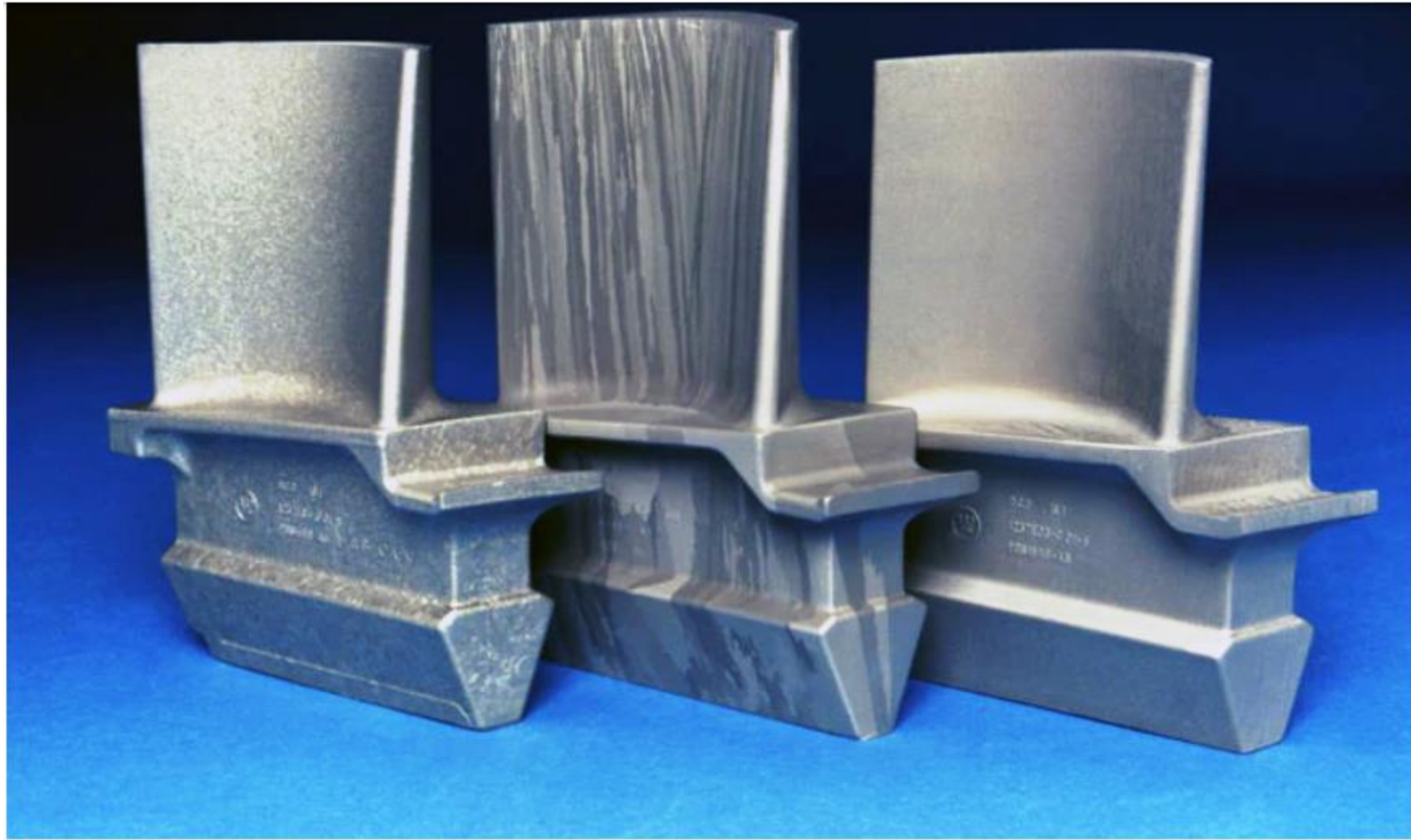


۳- پره‌های تک کریستال. فرآیندهای ریخته‌گری پره‌های تک

کریستال توربین در سال ۱۹۶۷ توسعه یافتند. در اینجا نیز قالب سرامیکی با روش‌های ریخته‌گری دقیق ساخته می‌شود. وقتی سیستم به آرامی سرد می‌شود، تک کریستال در قالب به سمت بالا رشد می‌کند. کنترل شدیدی بر سرعت حرکت لازم است. جسم منجمد شده در قالب، پره تک کریستال است.

هرچند بسیار گران است ولی عدم وجود مرزهای دانه پره‌ها را در برابر خزش و شوک حرارتی مقاوم می‌کند و عمر سرویس و قابلیت اطمینان بالایی دارند.





Turbine blades progressed (left to right) from equiaxed, to directional solidified, to single crystal. (Photo courtesy of Howmet Corp.)

رشد تک کریستال در مواد نیمه هادی

با ظهور صنعت نیمه هادی، رشد تک کریستال در تولید ابزارهای میکروالکترونیک فعالیتی بسیار مهم شد. اساساً دو روش رشد کریستال وجود دارد.

روش اول روش کشیدن کریستال که فرآیند چکراسکی نام دارد (شکل بعد)، یک هسته کریستالی در داخل ماده مذاب غوطه ور می‌شود و به آرامی با سرعتی حدود ۱۰ میکرومتر بر ثانیه بیرون کشیده می‌شود و با سرعت ۱ دور در ثانیه چرخانده می‌شود. مذاب ماده روی هسته شروع به انجماد می‌کند و **ساختار کریستالی دانه ادامه می‌یابد.** **Dopants** نیز ممکن است به فلز مذاب افزوده شود تا خواص الکتریکی خاصی ایجاد شوند. تک کریستال سیلیکا، ژرمانیوم و سایر عناصر با این روش رشد می‌یابند. شمش تک کریستال ۵۰-۱۵۰ میلیمتر قطر و طولی بالای ۱ متر عموماً با این روش قابل تولید است.

روش دوم رشد تک کریستال روش ناحیه شناور نام دارد (شکل ب). ابتدا یک **میله پلی کریستال سیلیکونی روی یک تک کریستال** قرار داده می‌شود و یک کویل القایی دور قطعه را حرارت می‌دهد و به آرامی به جلو می‌رود. تک کریستال رو به سمت پلی کریستال رشد می‌کند. سپس ویفرهای نازک از میله بریده و تمیز و پولیش شده و برای تولید ابزارهای الکترونیکی استفاده می‌شوند.

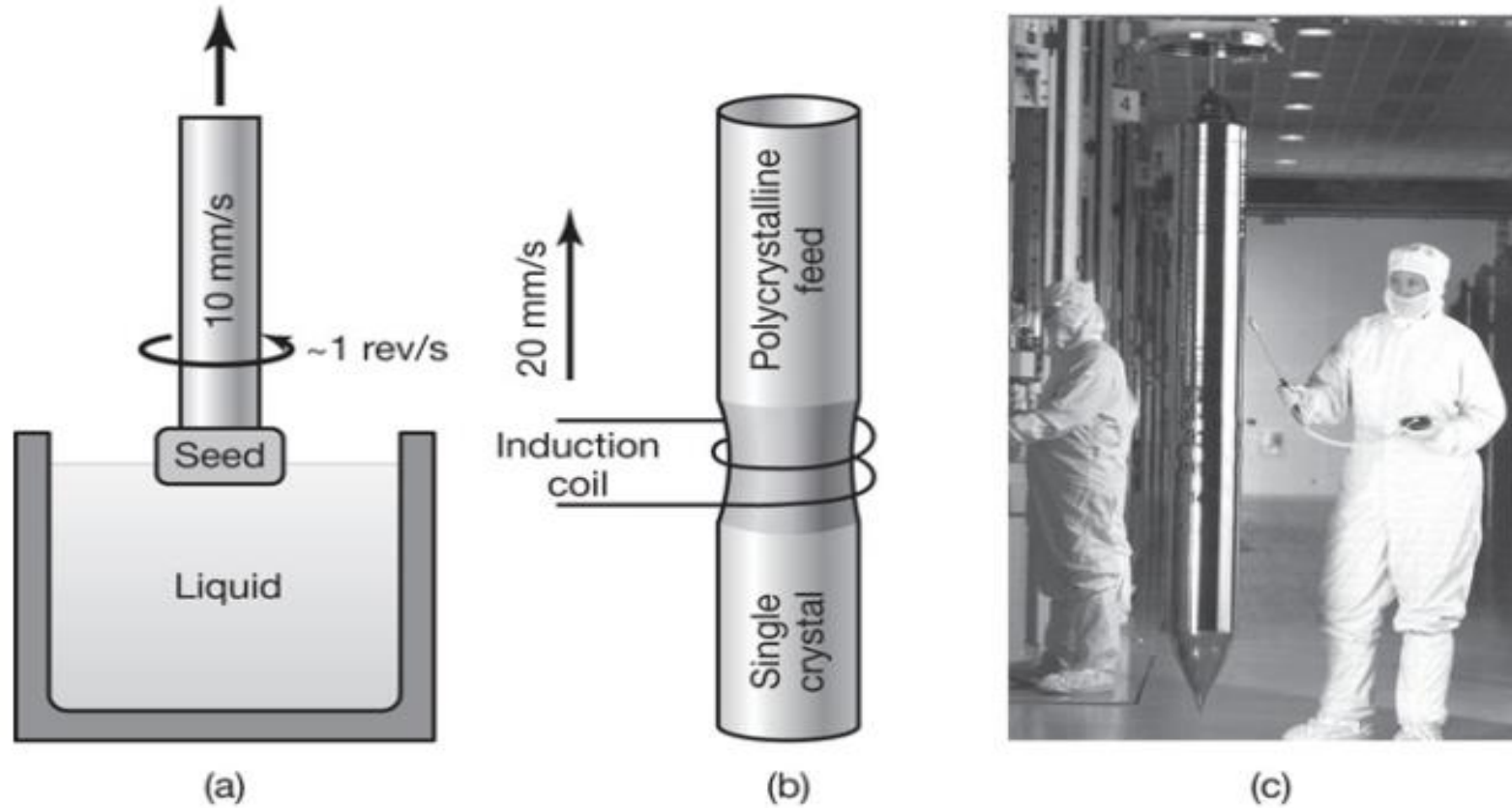


Figure 5.28

Two methods of crystal growing: (a) crystal pulling (Czochralski process) and (b) floating-zone method. Crystal growing is especially important in the semiconductor industry. (c) A single-crystal silicon ingot produced by the Czochralski process.

انجماد سریع

در دهه ۱۹۶۰ توسعه یافت و فلز مذاب با سرعتی در حدود 10^6 K/s سرد می‌شود و فلز زمان کافی برای کریستال شدن ندارد. این آلیاژها، **آلیاژهای آمورف** یا **شیشه‌های فلزی** نامیده می‌شوند، زیرا آنها دارای ساختار کریستالی دامنه بلندی نیستند. آنها معمولاً دارای آهن، نیکل و کروم هستند که با کربن، فسفر، بور، آلومینیوم و سیلیکون آلیاژ می‌شوند. انجماد سریع باعث گسترش قابل توجه حد حلالیت جامد و ریزدانگی می‌شود و ریزجدایش کاهش می‌یابد.

آلیاژهای آمورف دارای **مقاومت زیاد در برابر خوردگی**، خواص **داکتیلیته خوب و استحکام بالایی** هستند. علاوه بر این، آنها **اتلاف هیستریزیس مغناطیسی خیلی کم**، **مقاومت بالا در برابر جریان‌های گردابی و نفوذپذیری بالا** دارند. خواص دومی که اشاره شد در **ساخت فولاد مغناطیسی** برای هسته ترانسفورماتور، ژنراتور، موتور، تقویت‌کننده‌های مغناطیسی، و شتاب دهنده‌های خطی، با بهره‌وری بسیار بهبود یافته به کار می‌رود. این آلیاژها در **شکل سیم، نوار، تسمه یا پودر تولید می‌شوند**.

در یک روش دیگر که **melt spinning** نام دارد (شکل زیر) آلیاژ در یک بوتۀ سرامیکی توسط القای حرارتی ذوب شده و تحت فشار گاز بالا روی یک **دیسک مسی چرخان** پاشیده می‌شود و سریعاً سرد می‌شود.

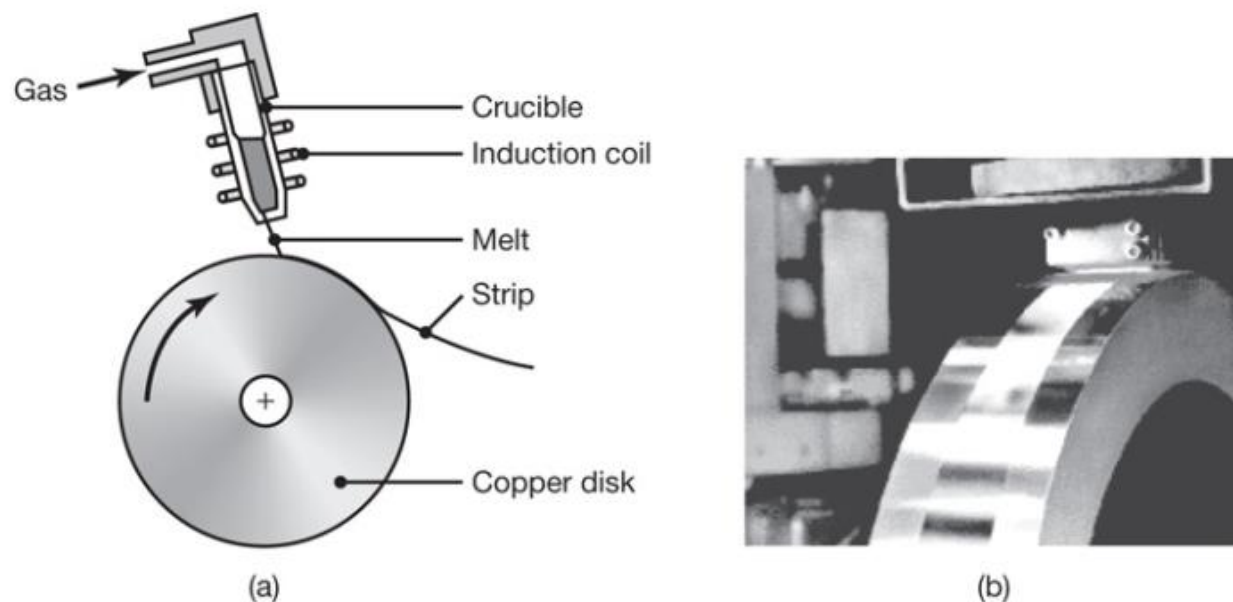


Figure 5.29

(a) Schematic illustration of the melt-spinning process to produce thin strips of amorphous metal. (b) Photograph of nickel-alloy production through melt-spinning.

Source: Courtesy of Siemens AG.

۱۰- اقتصاد ریخته‌گری

برخی از فرآیندهای ریخته‌گری نیاز به **نیروی کار بیشتر** دارند، برخی از آنها نیاز به **ماشین‌آلات و قالب‌های گران** دارند و در برخی از آنها، انجام **عملیات بسیار طولانی‌تر** است. هر یک از این عوامل که در جدول زیر نشان داده شده است و هزینه‌های کلی عملیات ریخته‌گری را در درجات مختلف تحت تاثیر قرار می‌دهند.

General cost characteristics of casting processes

Process	Die/mold cost	Equipment cost	Labor cost	Production rate (Pieces/h) ¹
Sand casting	L	L	L-M	< 20
Shell casting	L-M	M-H	L-M	< 50
Plaster casting	L-M	M	M-H	< 10
Investment casting	M-H	L-M	H	< 1000
Permanent casting	M	M	L-M	< 60
Die casting	H	H	L	< 200
Centrifugal casting	M	H	L-M	< 50

L, low; M, medium; H, high

¹ Depends greatly on casting size.

هزینه کل محصول شامل هزینه‌های قالب‌ها، ذوب، تمیزکاری و بازرسی، نیروی کار و تیراژ است.

هزینه قالب: قالب‌های ریخته‌گری ماسه نسبتاً کم هزینه است. از طرف دیگر قالب‌های دایکست نیاز به مواد گران قیمت و مقدار زیادی ماشینکاری و آماده سازی دارد.

هزینه ذوب: هزینه‌های امکانات لازم برای ذوب کردن و ریختن فلز مذاب به قالب‌ها، از جمله **کوره** و تجهیزات مربوطه، به میزان **اتوماسیون** بستگی دارد.

هزینه‌های تمیزکردن و بازرسی قطعات

هزینه نیروی کار: می‌تواند بطور قابل توجهی متفاوت باشد و بستگی به نوع فرآیند و سطح **اتوماسیون** دارد. برای مثال، **ریخته‌گری دقیق**، به دلیل تعداد زیادی از مراحل، به تعداد زیادی نیروی انسانی نیاز دارد. در مقابل، عملیاتی مانند **دایکست** می‌تواند میزان تولید بالایی را با نیروی انسانی کم داشته باشد.

تیراژ: هزینه تجهیزات در هر قطعه (هزینه واحد) با افزایش تعداد قطعات کاهش می‌یابد (شکل زیر)؛ پس نرخ بالای تولید می‌تواند هزینه‌های بالای ماشین‌آلات را توجیه کند. با این حال اگر تقاضا نسبتاً کوچک باشد، هزینه به سرعت افزایش می‌یابد و استفاده از روش‌های ساده مثل ریخته‌گری با قالب ماسه، اقتصادی‌تر می‌شود.

