

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت Metallurgical Principles of Manufacturing Processes

دانشجویان گرامی توجه داشته باشند که همه مطالب گفته شده در درس در این فایل وجود ندارد و ارزشیابی بر اساس کل مطالب مورد بحث در کلاس در ترم جاری انجام خواهد شد.

88

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱۳۹۸

سایت درس: <https://niroumand.iut.ac.ir/fa/>
اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت → درس →

دکتر بهزاد نیرومند
استاد دانشکده مهندسی مواد



درس اصول است
✓

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت
ویرایش | نمایش

۱۱۱۰۴۰۶

کد درس: 1110406
اجباری برای دانشجویان مقطع کارشناسی مهندسی مواد
پیش نیازها:
علم مواد
سهامت نمره دهی:
ارزشیابی: تکالیف (25%)، کویز (20%)، پایان ترم (55%)

زمان بندی کلاس:
روزهای فرد، ساعت 9/5 تا 11 صبح، کلاس 18 مواد
امتحان پایان ترم:
فایل ها:

- 📄 مرجع اول درس (Groover)، برای باز کردن فایل از رمز اعلام شده در کلاس استفاده کنید.
- 📄 مرجع دوم درس (DeGarmo)، برای باز کردن فایل از رمز اعلام شده در کلاس استفاده کنید.
- 📄 مرجع سوم درس (Bralla)، برای باز کردن فایل از رمز اعلام شده در کلاس استفاده کنید.

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت

Metallurgical Principles of Manufacturing Processes

The word **manufacture** is derived from two Latin words:

✓ **manus = hand**

✓ **factus = make**

➔ **manufacture = made by hand**

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومندی، ۱-۱۳۹۸

History of manufacturing depends on

1- Discovery and invention of **materials** (more than 3000 years B.C., Bronze age,...)

2- Invention of **manufacturing processes** (melting, hammering, joining, ...)

3- Development of the **production systems**

✓ Industrial revolution

✓ ...

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومندی، ۱-۱۳۹۸

Manufacturing:

- A technical process
- An economic process

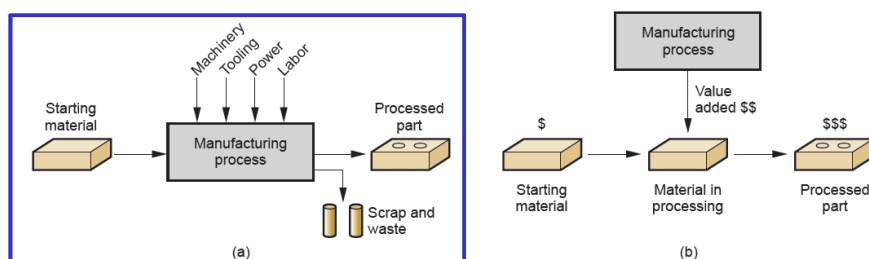


FIGURE 1.1 Two ways to define manufacturing: (a) as a technical process, and (b) as an economic process.

• پوشک در مقابل موشک!

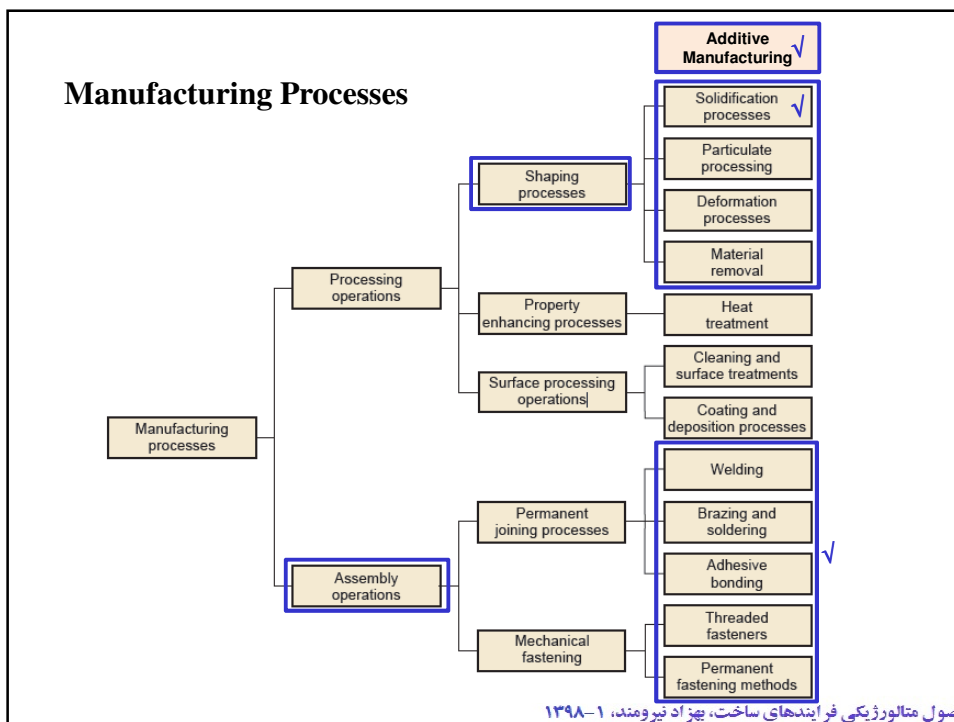
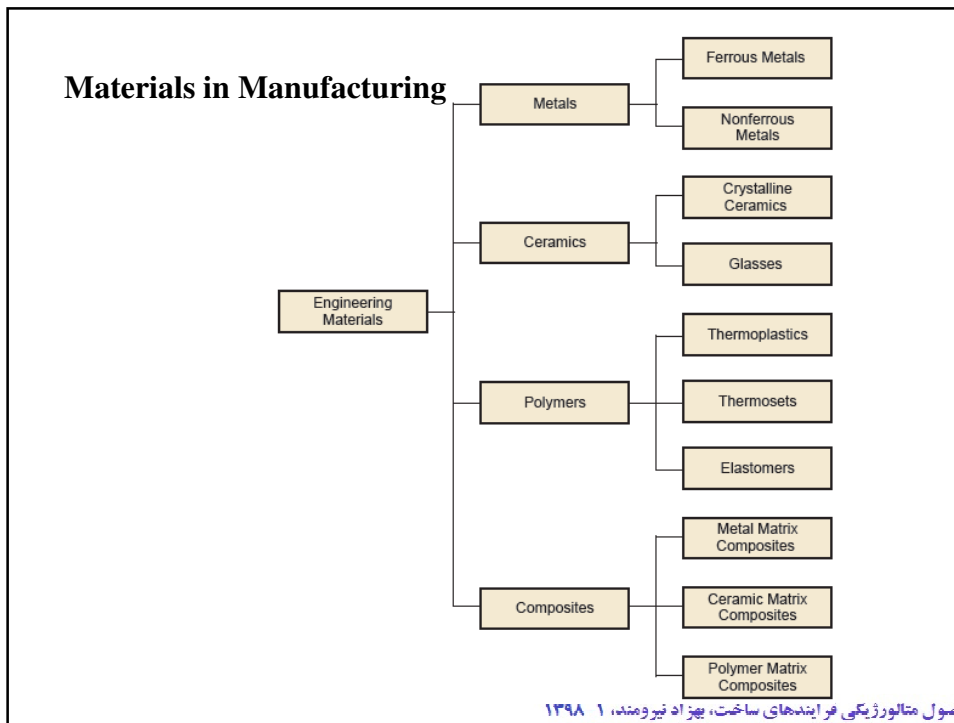
• تولید سوزن خیاطی!

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

Manufacturing:

- Application of mechanical, physical, thermal, chemical, joining, ... **processes** to alter the geometry, properties, and/or appearance of a given starting **material** to make parts or products.

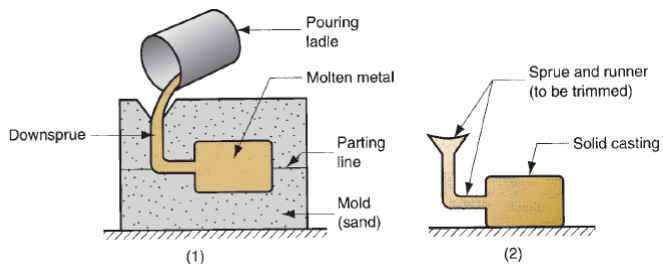
اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸



Shaping Processes

Solidification processes: Casting/Molding

FIGURE 1.6 Casting and molding processes start with a work material heated to a fluid or semifluid state. The process consists of (1) pouring the fluid into a mold cavity and (2) allowing the fluid to solidify, after which the solid part is removed from the mold.

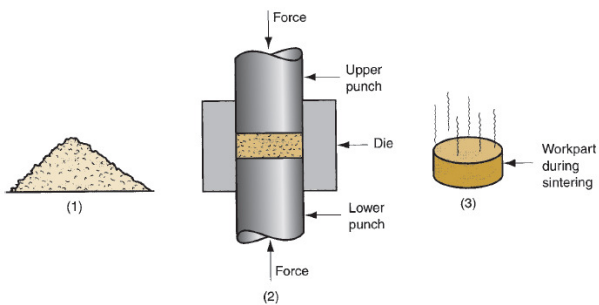


اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومندی، ۱-۱۳۹۸

Shaping Processes

Particulate processing

FIGURE 1.7 Particulate processing: (1) the starting material is powder, the usual process consists of (2) pressing and (3) sintering.

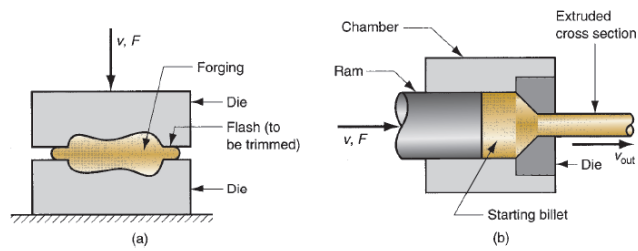


اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومندی، ۱-۱۳۹۸

Shaping Processes

Deformation processes

FIGURE 1.8 Some common deformation processes: (a) **forging**, in which two halves of a die squeeze the work part, causing it to assume the shape of the die cavity; and (b) **extrusion**, in which a billet is forced to flow through a die orifice, thus taking the cross-sectional shape of the orifice.



اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

Shaping Processes

Material removal processes (Subtractive manufacturing)

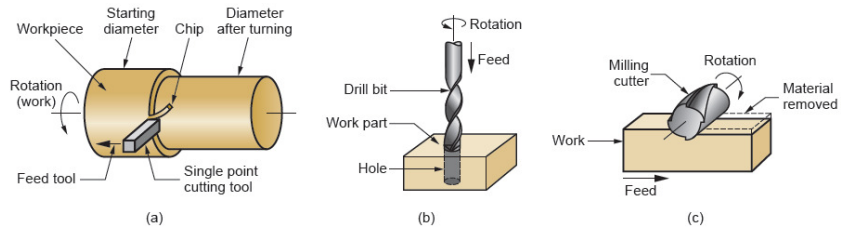


FIGURE 1.9 Common machining operations: (a) **turning**, in which a single-point cutting tool removes metal from a rotating workpiece to reduce its diameter; (b) **drilling**, in which a rotating drill bit is fed into the work to create a round hole; and (c) **milling**, in which a work part is fed past a rotating cutter with multiple edges.

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

Shaping Processes

Additive Manufacturing (AM)

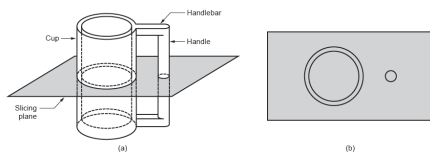


FIGURE 32.1 Conversion of a solid model of an object into layers (only one layer is shown).

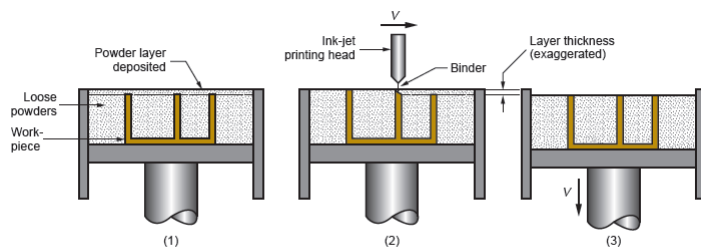


FIGURE 32.6 Three-dimensional printing: (1) powder layer is deposited, (2) ink-jet printing of areas that will become the part, and (3) piston is lowered for next layer (key: v = motion).

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱۳۹۸

Shaping Processes

Joining processes

FIGURE 28.1 Basics of arc welding: (1) before the weld; (2) during the weld (the base metal is melted and filler metal is added to the molten pool); and (3) the completed weldment. There are many variations of the arc-welding process.

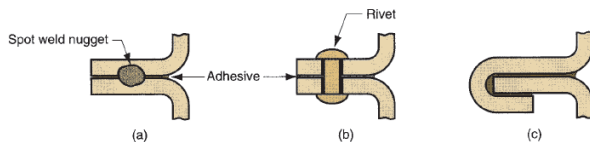
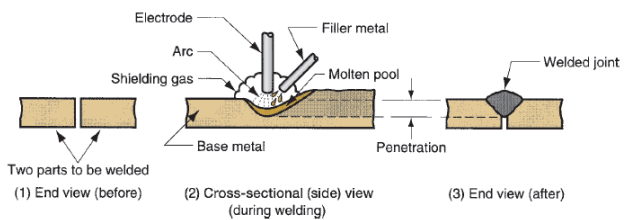


FIGURE 30.12 Adhesive bonding combined with other joining methods: (a) weldbonding—spot welded and adhesive bonded; (b) riveted (or bolted) and adhesive bonded; and (c) formed plus adhesive bonded.

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱۳۹۸-۱

سرفصل مطالب نیمه اول درس

•مقدمه و دسته بندی فرایندهای ساخت و تولید قطعات

•معرفی انواع مدل و قالب، قالب های تخریب شدنی و دائمی، روش های اصلی ریخته گری، تجهیزات مورد استفاده شامل انواع کوره ها، سیستم های راهگامی و تغذیه گذاری، ... و اصول متالورژیکی آنها

•معرفی اصول فرایندهای اتصالی شامل انواع فرایندهای اتصال موقت و دائم در فلزات و خواص آنها شامل روش های جوشکاری، لحیم کاری، اتصالات مکانیکی، ... و اصول متالورژیکی آنها

•معرفی اصول ساخت افزایشی و انواع فرایندهای ساخت افزایشی شامل SLS، SLM، DMD، ... و اصول متالورژیکی آنها

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

ارزشیابی نیمه اول درس:

تکالیف (۳۰٪)، امتحان اول (۳۵٪)، امتحان دوم (۳۵٪)

مرجع اصلی درس:

1- M.P. Groover, **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems**, 5th Ed., John Wiley & Sons, Inc., 2013.

مراجع دیگر درس:

2- J.T. Black and R.A. Kohser, **DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing**, 11th ed., John Wiley & Sons, Inc., 2012.

3- J.G. Bralla, **Handbook of Manufacturing Processes: How Products, Components and Materials are Made**, Industrial Press Inc., 2007.

۴- مواد و فرایندهای تولید (۵ جلد)، ترجمه حائریان اردکانی، ۱۳۸۵ (ترجمه نسخه های قدیمی تر مرجع ۲).

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

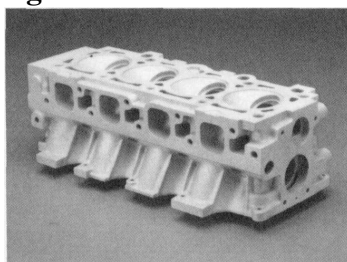
Casting Processes



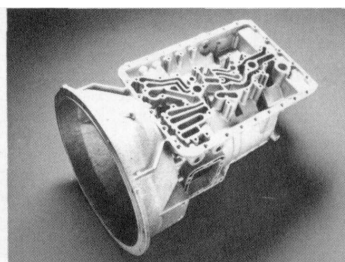
تصویری بر دیوار معبد "رخمیرا" در مصر، ۱۵۰۰ قبل از میلاد

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

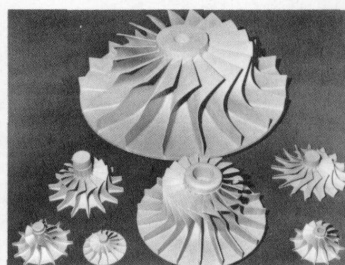
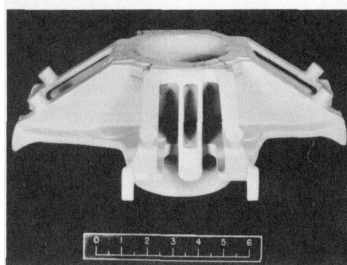
Casting Processes



(a)

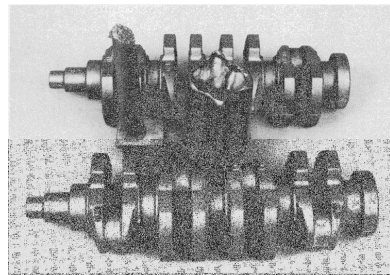


(b)

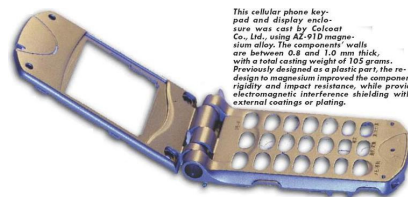


اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

Casting Processes



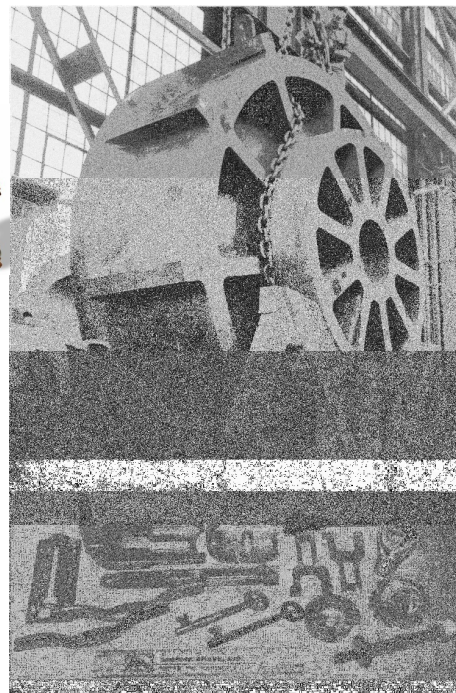
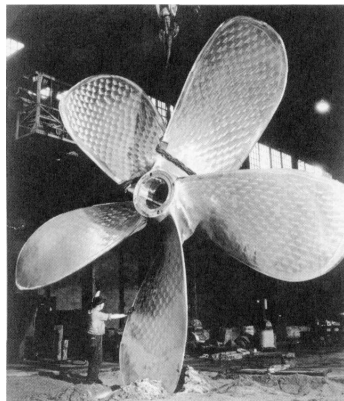
The Sharp VL-PD1 video camera features a thixomolded magnesium thin wall (<1.0 mm) external case.



This cellular phone keypad and display enclosure was cast by Colcoat Co. Ltd. using AZ-91D magnesium alloy. The component's walls are between 0.8 and 1.0 mm thick, with a total casting weight of 105 grams. Previously designed as a plastic part, the redesign to magnesium improved the component's rigidity and impact resistance, while providing electromagnetic interference shielding without external coatings or plating.

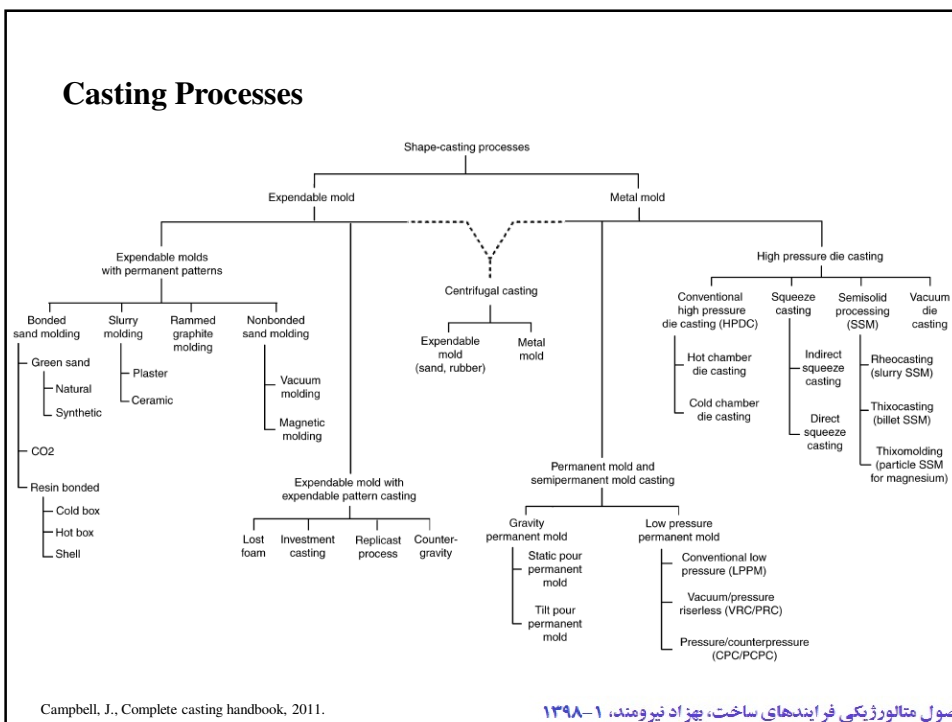
اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بیژاد نیرومند، ۱۳۹۸

Casting Processes



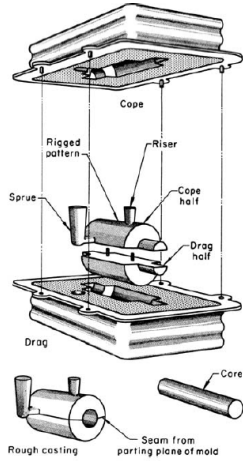
600 tones of liquid steel to make a 340 tone finished weight

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومندی، ۱۳۹۸



Sand Casting Processes

- Sand Casting Clip

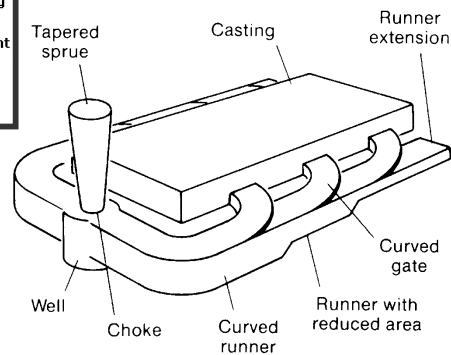
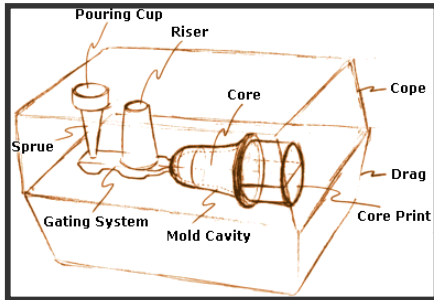


ساخت یک قطعه با دو به شکل مختلف مستطیل از روی یک ریخته‌کار با سه مرحله: ابتدا با این گانه، مخازن مناسب از جنس مناسب و در شکل مورد نیاز ساخته و در آن ریخته‌کار ریخته می‌شود. ۱- ساخت مخازن از جنس مناسب ۲- قرار دادن مخازن در یک محفظه یا قالب و قرار دادن درجه زیری درون آن ۳- ریختن ماسه در مخازن و فیل کردن آن ۴- قراردادن درجه در مخازن آن ۵- پوشش پودر درازش روی سطح ماسه در درجه زیری ۶- سوراختن درجه درونی و جهت کردن درجه ۷- تهیه بود راگنه (راگنه یا ریخته) توسط یک بود (مخزن) در درجه ۸- ریختن ماسه درون درجه درونی آن ۹- در آوردن راگنه را بر روی درجه و ریخته کردن ماسه با ریخته روی سطح درجه ۱۰- برداشتن درجه درونی ۱۱- در آوردن درون درجه و ایجاد کانال برای ریخته کردن جهت هدایت ماسه به داخل مخزن ۱۲- ایجاد لوراچه‌ها در درجه درونی ۱۳- ریخته کردن ماسه در درجه درونی هم در درجه درونی ۱۴- ریختن ماسه در درجه درونی با ریخته ۱۵- باز کردن درجه پس از پایان ایجاد و خارج کردن قطعه ۱۶- برداشتن درجه درونی ۱۷- انجام مراحل بعدی شامل عملیات حرارتی و ماشینکاری

Parting line (Surface)
خط (سطح) جدا کردن

Cope flask درجه درونی
Drag flask درجه زیری

Sand Casting Processes



اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

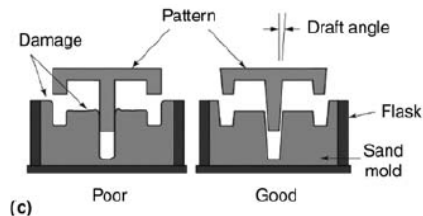
Sand Casting Processes

- The main steps to sand casting:
 - Pattern (and core box) making
 - Molding and core making
 - Melting and pouring
 - Shake out and cleaning
 - Quality control

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

Main pattern making allowances

1. Drafts
2. Contraction allowances
3. Machining allowances
4. Core prints



درصد اعیان تثیری	جنس فلز
	چدن ها:
۱	چدن خاکستری
۱/۲	چدن باگرافیت گروی بدون عملیات حرارتی
۰/۵	چدن با گرافیت گروی با عملیات حرارتی
۲	فولاد ریختگی
۲/۳	فولاد سنگز
۱/۶	چدن تمپر سفید (GTW)
۰/۵	چدن تمپر سیاه (GIS)
۱/۲	آلیاژ آلومینیم
۱/۲	آلیاژ منیزیم
۱/۴	مس الکترولیت
۱/۵	آلیاژ مس قلع (برنز)
۱/۳	آلیاژ مس و قلع و روی (برنج قرمز)
۱/۲	آلیاژ مس و روی (برنج)
۲	آلیاژ مس مخصوص (Cu-Zn-Mn (Fe-Al))
۲/۱	چدن آلیاژهای آلومینیم برنز
۱/۳	آلیاژ روی
۰/۵	فلزات سفید (آلیاژ سرب و قلع)

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸



Table 7.17 Machining allowances for various casting alloys and locations*

Alloy group	Dimension (mm)														
	<150			150-300			300-500			500-900			900-1500		
	N	B	T	N	B	T	N	B	T	N	B	T	N	B	T
Non-ferrous	1.6	2.4	2.4	1.6	2.4	3.2	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	4.0	3.2	4.0	4.8
Cast iron	2.4	3.2	4.8	3.2	3.2	6.4	4.0	4.8	6.4	4.8	6.4	6.4	4.8	8.0	8.0
Steel	3.2	3.2	6.4	4.8	6.4	6.4	6.4	6.4	8.0	6.4	7.1	9.5	6.4	8.0	12.7

*Adapted from Reference 66.
 Locations: N: Normal surfaces, general allowance
 B: Bore
 T: Topmost surface

Beeley, P., Foundry technology, 2nd ed., 2001.

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱۳۹۸

Core and core print

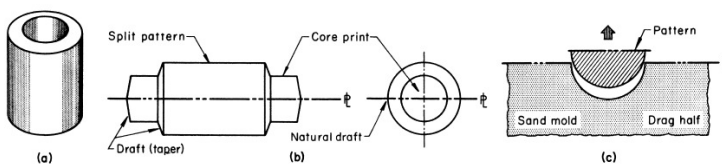
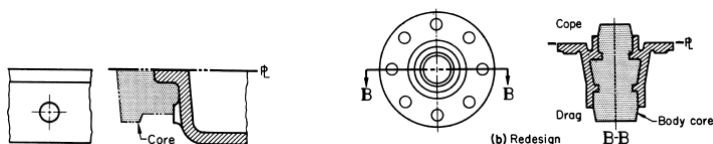
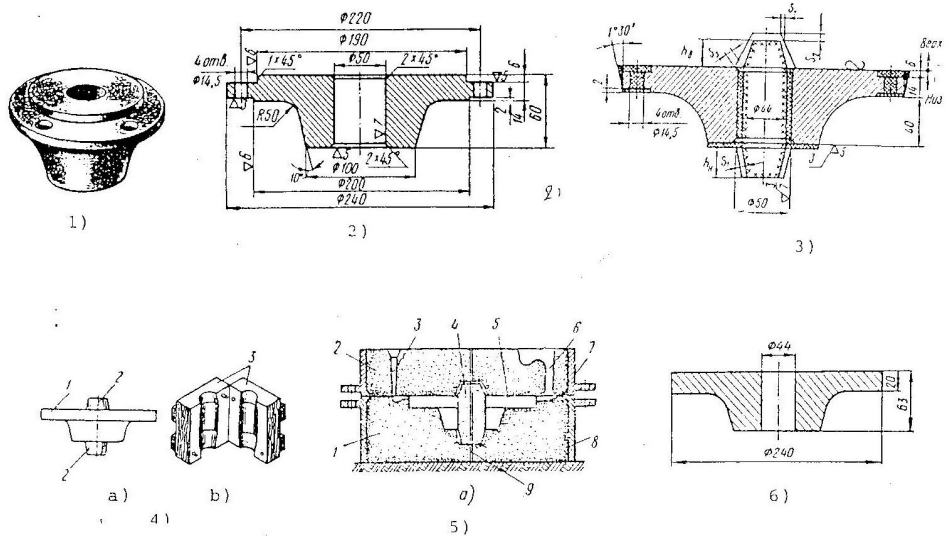


Fig. 1 A simple casting that illustrates the principle of molding a pattern and withdrawing it from a sand mold

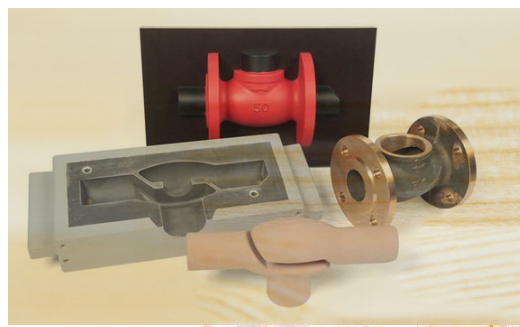


اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱۳۹۸-۱

Pattern making



اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸



اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸



Molding


قالب:

قطعه ای از جنس مواد شکل پذیر که درون آن محفظه ای تقریباً به شکل قطعه مورد نظر ایجاد شده است، به نحوی که پس از ریختن مذاب و پایان انجماد، قطعه ای بدون عیب و با اندازه، شکل، خواص و ترکیب شیمیایی مورد نظر به دست آید.

خواص عمومی مواد قالبگیری:

- قابلیت شکل پذیری (Formable)
- استحکام مکانیکی (Proper strength, hardness, ...)
- دیرگدازی (Refractory)
- پایداری حرارتی (Thermally stable)
- عدم واکنش با مذاب (Non reactive, Inert)
- قابلیت انتقال حرارت مناسب (Proper heat transfer)
- ارزش اقتصادی (Economically viable)
- ترجیحاً قابلیت استفاده مجدد (Reusable)

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸



Hot tear

خواص مورد نیاز دیگر برای قالب های مصرفی

- استحکام تر، خشک، گرم و باقیمانده مناسب
- نفوذپذیری بالا
- قابلیت تخریب بالا

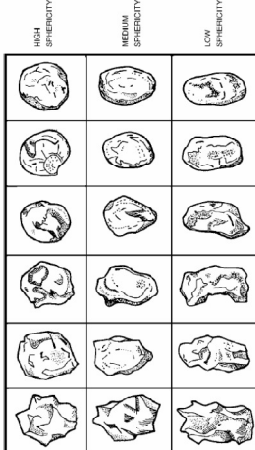
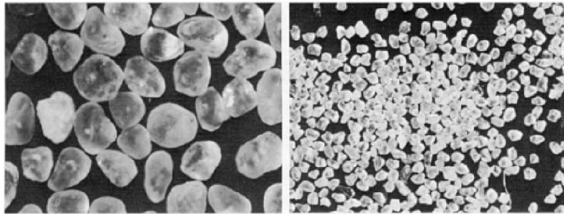


Figure 12.1 Classification of grain shapes.

مواد ساخت قالب های موقت (مصرفی) (Molding mixture)

- ذرات یک ماده دیرگداز (Refractory particles)
- چسب (Binder)
- سایر مواد افزودنی (Other additives)

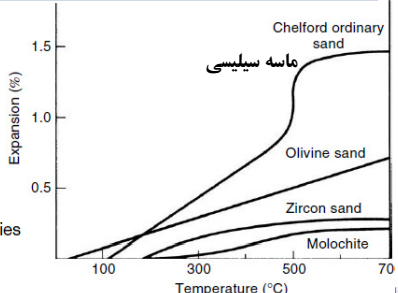


اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بیژاد نیرومند، ۱ ۱۳۹۸

ذرات یک ماده دیرگداز

نام	فرمول شیمیایی	نقطه ذوب، °C
سیلیس (Silica sand)	SiO ₂	۱۷۱۰
زیرکون (Zircon)	ZrO ₂ .SiO ₂	۲۶۵۰
کرومیت (Chromite)	(FeO.Cr ₂ O ₃)	۱۹۰۰-۱۷۸۰
اولیوین (Olivine)	(Mg, Fe) ₂ .SiO ₂	۱۸۹۰-۱۷۵۰
شاموت (Chamotte)	Al ₂ O ₃ .SiO ₂	۱۷۸۰-۱۶۵۰
کاربید سیلیسیم (Silicon carbide)	SiC	۲۷۰۰-۲۲۰۰
گرافیت (Graphite)	C	۴۲۰۰-۳۲۰۰

Figure 4.19 Thermal expansion of mould refractories
tesy of Institute of British Foundrymen)



اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بیژاد نیرومند، ۱ ۱۳۹۸

چسب ها:

- **معدنی (Inorganic):**
 - ✓ خاک رس (Clay)
 - ✓ سیمان (Cement)
 - ✓ سیلیکات ها (Silicates)
 - ✓ گچ (Plaster)
 - ✓ ...
- **آلی (Organic):**
 - ✓ پودر غلات (Cereals)

✓ چسب های روغنی (Oil binders) } چسب سرد (Cold set, Air set, No bake)
 چسب گرم (Hot box, Heat cured, Thermo-set)

✓ چسب های رزینی (Resins) } چسب سرد
 چسب گرم
 چسب جعبه سرد (Cold box)

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بیژاد نیرومند، ۱ ۱۳۹۸

سایر مواد افزودنی

در مخلوط فلزکاری سواد دیگری نیویزوددها رنگه برای اصلاح برخی از خواص مانده در صورت لزوم آن اضافه میشود این مواد عبارتند از:

- ۱- آفرایشیوات: آفرایش تا ۲ درصد از حجم مواد است که بصورت پودر نازک با زنگه درخت و ... مصرف میشود با نیت آفرایشی استخکام در مواد لیترومیکه خسته و همچنین قابلیت فروریسی مانده را افزایش میدهد.
- ۲- پودر قیر: آفرایش تا ۳ درصد پودر قیر که محلول در روغن کاکه با زی است با نیت آفرایشی استخکام گرم مانده و ابتدا در مخلوط با ف در نقطه ریخته خسته خواهد شد.
- ۳- پودر زغال: در روغن قیری قطعات چسبی بکار میروند مقدار آن در مخلوط مخلوط قابلگیری از ۱ تا ۲ درصد است بر اساس نوع مواد با نیت بلوغ را فراهم میکند.
- ۴- کرافیت: از این ماده نیز جهت نای سواج قطعات ریختهگری بصورت آفرایشی ۲ تا ۳ درصد در جعبه متالورجیک مانده اضافه میشود در ضمن آفرایشی پوشش قابلب تزیینکاری بر روی آنکه در این صورت مانده سوخته شده دیگر نه فایده بدنی کشته خواهد شد.
- ۵- سیلیسیومیت: برای ساقی مخلوط ریختهگری بکار گرفته میشود.
- ۶- موخنیهای ممتدی: برای با آفرینش قابلیت فلزکاری سیلیسیومیت در جعبه آفریشی آلی ۱ تا ۲ درصد در جعبه مانده اضافه میشود. نکته این مواد آنکه شدن سریع مانده نیز جلوگیری میکند.
- ۷- خاک آره چوب: آفرایش ۵ تا ۱۰ درصد خاک آره چوب مانده ریختهگری (سیلیسیومیت) مخلوط فلزکاری که در آن ساقی مانده تسهیل در آفرایشی مانده و با آفرینش قابلیت فروریسی و آفرایشی مخلوط ریختهگری میکند.
- ۸- اکسید آهن: این ماده جعبه رگم به مخلوط اضافه میشود و اثر آن با آفرینش ظرفیتی استخکام در آفرینش در مانده فلزکاری و جلوگیری از ترک خوردن مانده قبل از انجماد قطعه است.
- ۹- مگن: این ماده سیلیسیومیت مانده ساقی سوراخ مانده مانده آفرایشی و جلوگیری از خوردگی کلنی سراق با آفرینش استخکام و چنگه قابلیتها مورد مصرف قرار میگیرد.
- ۱۰- پرلیت: این ماده جعبه رگم در زمان آفرینش در روغن به مخلوط مانده برای بسال (سیلیکات) بودن پایدار، حرارتی آن اضافه میشود. نکته دیگر این مانده آفرینش جهت آفرینش کردن بعضیها است.
- ۱۱- دکترین: این ماده برای آفرایشی استخکام چنگ مانده مانده جعبه مانده سوراخ استفاده قرار میگیرد.
- ۱۲- سیلیسیومیت: برای جلوگیری از واکنش بین فلزات با آفرینش در آفرینش منفریسیومیت در مصرف میشود.
- ۱۳- پودر سیلیسیومیت: این ماده منفریسیومیت ۳۵ درصد در روغن به مخلوط مانده جعبه مانده استخکام گرم آن اضافه شود.

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بیژاد نیرومند، ۱ ۱۳۹۸

برخی روش های ساخت قالب های مصرفی

قالبگیری در ماسه

- ✓ ماسه تر (Green sand molding)
- ✓ ماسه خشک (Dry sand molding)
- ✓ ماسه با سطح خشک شده (Skin dried sand mold)

• مخلوط مواد قالبگیری:

✓ انواع ماسه (معمولا سیلیسی) ← ماسه: قطر متوسط بین ۲۰-۲۰۰ میکرومتر
 خاک رس: قطر متوسط کمتر از ۲ میکرومتر

• ماسه طبیعی و ماسه مصنوعی
 • تکلیف ۱-الف: تفاوت ها از نظر
 منشأ، شکل ذرات، درصد خاک
 رس، خواص و استفاده در ساخت
 قالب؟

- ✓ خاک رس: بین ۳-۲۰٪ بسته به نوع و منبع ماسه
- ✓ آب: ۳-۸٪ بسته به نوع ماسه و درصد خاک رس
- ✓ سایر مواد

• مراحل قالبگیری:

- ✓ مخلوط کردن کامل مواد قالبگیری (دستی یا ماشینی)
- ✓ فشردن سازی مخلوط روی مدل در درون درجه ها (دستی یا ماشینی) ← تکلیف ۱-ب:
روش
- ✓ خشک کردن قالب (تمام یا سطوحی که در تماس با مذاب قرار می گیرند) دیزاماتیک؟

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

قالبگیری به روش چسب سیلیکات سدیم- CO_2 (روش ماسه CO_2)

• مخلوط مواد قالبگیری:

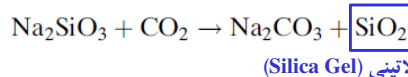
$Na_2SiO_3 \cdot xH_2O$
 آب شیشه (Water glass)، چسب شیشه

- ✓ انواع ماسه تمیز و خشک (معمولا سیلیسی)
- ✓ چسب سیلیکات سدیم (۳-۶٪ وزنی) ←
- ✓ سایر مواد

تکلیف ۱-ج: آزمون بومه (Baume test)
 برای کنترل گرانی چسب؟

• مراحل قالبگیری:

- ✓ مخلوط کردن کامل مواد قالبگیری
- ✓ فشردن سازی نسبی مخلوط روی مدل در درون درجه ها
- ✓ گذراندن گاز CO_2 از درون مواد قالبگیری



خودگیری و استحکام یافتن قالب

- ✓ استحکام فشاری بالا ولی استحکام کششی پایین ← فاجاق گذاری قالب/ماهیچه ها
- ✓ استحکام باقیمانده بالا ← افزودن مواد خرد کننده به مواد قالبگیری
- ✓ عمر مفید (Bench life) محدود ← مدیریت زمان قالبگیری/ماهیچه سازی

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

روش های گذراندن گاز CO₂ از درون مواد قالبگیری

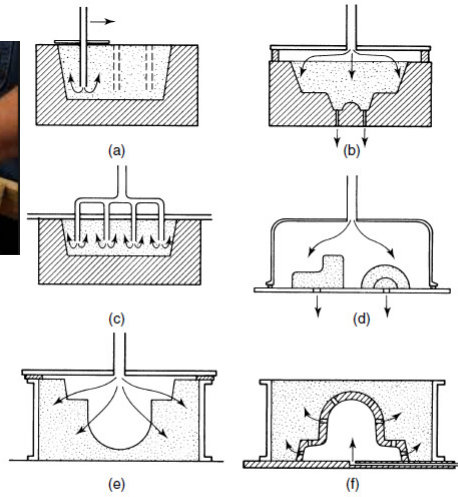


Figure 8.33 Examples of systems for carbon dioxide hardening of cores and mould parts: (a) progressive treatment using single probe, (b) cover board or hood, (c) multiple probe and manifold, (d) hood over previously stripped cores, (e) treatment of mould after pattern draw, (f) passage of gas through hollow pattern

قالبگیری پوسته ای (Shell molding)، ماسه چراغی

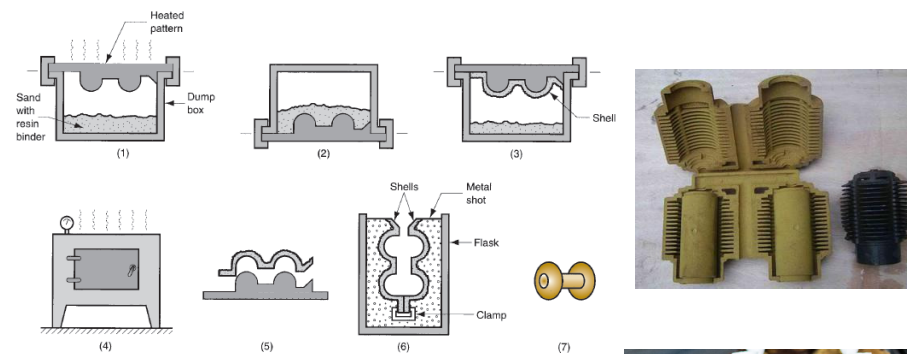


FIGURE 11.5 Steps in shell-molding: (1) a match-plate or cope-and-drag metal pattern is heated and placed over a box containing sand mixed with thermosetting resin; (2) box is inverted so that sand and resin fall onto the hot pattern, causing a layer of the mixture to partially cure on the surface to form a hard shell; (3) box is repositioned so that loose, uncured particles drop away; (4) sand shell is heated in oven for several minutes to complete curing; (5) shell mold is stripped from the pattern; (6) two halves of the shell mold are assembled, supported by sand or metal shot in a box, and pouring is accomplished. The finished casting with sprue removed is shown in (7).



اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

قالبگیری پوسته ای (Shell molding)، ماسه چراغی

- مخلوط مواد قالبگیری:
 - ✓ انواع ماسه تمیز و خشک با دانه های نسبتا کروی (معمولا سیلیسی)
 - ✓ یک چسب گرم مثل فنل فرم آلدئید یا اوره فرم آلدئیدها (۲-۵٪ وزنی)
 - ✓ یک مواد روان کننده مثل استیرات کلسیم و روی (۲-۵٪ وزنی نسبت به چسب)
- مراحل قالبگیری:
 - ✓ مخلوط کردن مواد قالبگیری (تهیه مواد از قبل مخلوط شده)
 - ✓ ریختن روی مدل فلزی پیشگرم شده (روش مخزنی - Dump method)
 - ✓ جداسازی پوسته های سخت شده ماسه ای از روی مدل فلزی و مونتاژ آنها
 - ✓ پخت نهایی قالب در گرمخانه

مزایا:	معایب:
<ul style="list-style-type: none"> ✓ دقت ابعادی و کیفیت سطح بالا ✓ فروبازی آسان قالب ✓ عمر مفید بالای مواد قالبگیری 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ محدودیت وزن و ابعاد قطعات ✓ محدودیت آلیاژی (با فولادها و آلیاژهای نقطه ذوب بالا) ✓ قیمت بالاتر مواد

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

قالبگیری پوسته ای



<http://www.aluminum-parts.com/shell-casting5.html>

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

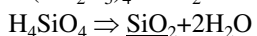
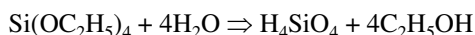
ریخته گری/قالبگیری دقیق با موم هدر رونده

Investment casting (molding) process

Precision casting (molding) process

Lost wax process

- مخلوط مواد قالبگیری:
- مواد دیرگداز با دانه بندی ریز (ماسه سیلیسی، زیر کونی، آلومینا، سیلیکات های آلومینا، ...)
- ✓ یک چسب (معمولا سیلیکات اتیل یا سیلیس کلونیدی)
- ✓ آب
- ✓ سایر مواد افزودنی
- مخلوط مواد قالبگیری به صورت **دوغابی** روی یک **مدل مومی** پوشش داده و خشک می شود.



خودگیری و استحکام یافتن قالب

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱۳۹۸

• مراحل قالبگیری:

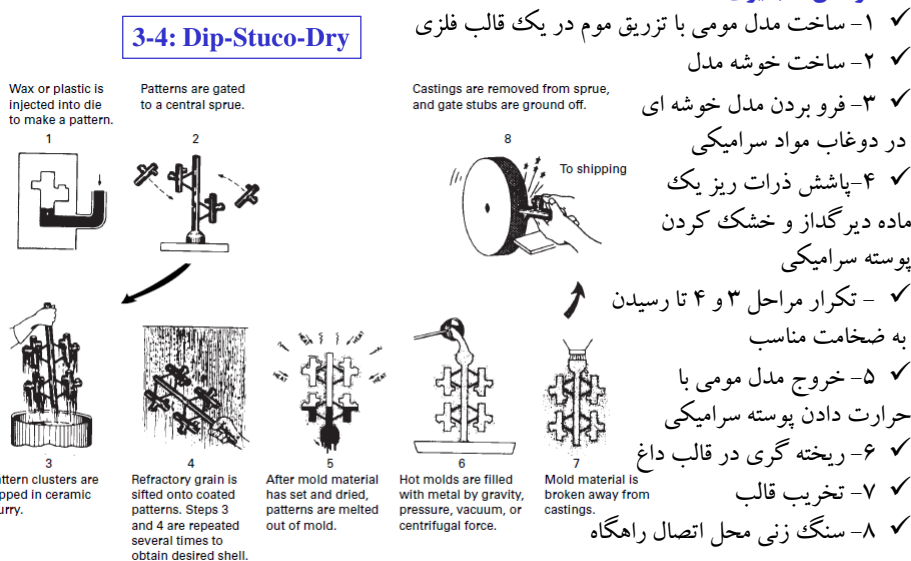


FIGURE 12-28 Investment casting steps for the shell-casting procedure. (Courtesy of Investment Casting Institute, Dallas, TX)

DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing, 2012.

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

Technology.matthey.com/article/39/3/117-126/ Fibro3d.com/services/investment-casting-wax-models/

ریخته‌گری دقیق با موم هدر رونده



FIGURE 9-7 Ceramic investment-casting mold for casting gas turbine engine rotor blades. The positioned cores create intricate internal cooling passages. (Photo courtesy of Alcoa Howmet)

Ceramicindustry.com/articles/96263-lithography-based-ceramic-manufacturing
اصول متالورژیکی فرآیندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing, 2012.

ریخته‌گری به روش قالب پر

Full mold process Expanded Polystyrene (EPS) process

- مخلوط مواد قالبگیری: ماسه سیلیسی تمیز، خشک و بدون چسب!
- مراحل قالبگیری:
 - ✓ a- ساخت مدل (همراه با سیستم راهگاهی) از جنس پلی استایرین
 - ✓ b- پوشش دهی مدل با یک لایه نسوز نازک با دیگدازی و قابلیت عبور گاز مناسب
 - ✓ c, d- قرار دادن مدل درون یک درجه و پر کردن درجه با ماسه بدون خشک و چسب
 - ✓ e- ریختن مستقیم مذاب روی مدل
 - ✓ f- تخلیه قالب پس از انجماد قطعه

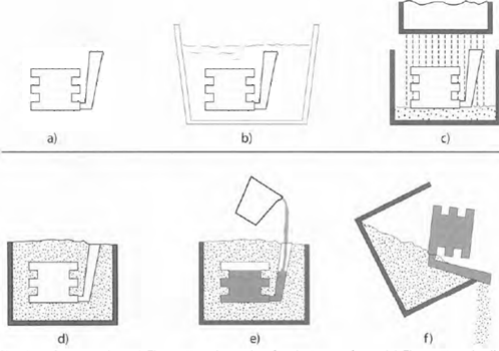


Fig. 183b Lost foam casting. a) The pattern is made of polystyrene foam. b) The pattern is dipped in a refractory slurry. c) The pattern is placed in a flask and surrounded with unbonded sand. d) The filled flask is vibrated to compact the sand. e) Molten metal is poured onto the pattern, vaporizing and replacing it. f) The solidified casting is removed from the flask; the sand is recycled.

اصول متالورژیکی فرآیندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

Bralla, Handbook of Manufacturing Processes, 2007.

ریخته‌گری به روش قالب پر

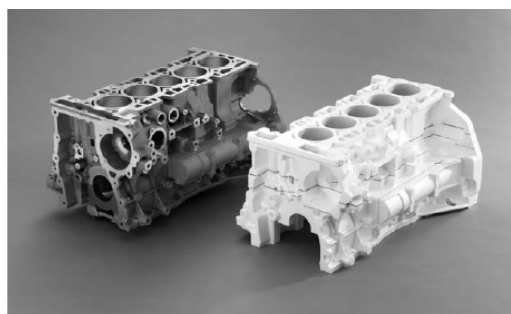


FIGURE 12-32 The Styrofoam pattern and the finished casting of a five-cylinder engine block produced by lost foam casting. (Courtesy General Motors Corporation, Detroit, MI)

DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing, 2012.

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومندی، ۱۳۹۸

ریخته‌گری به روش قالب پر

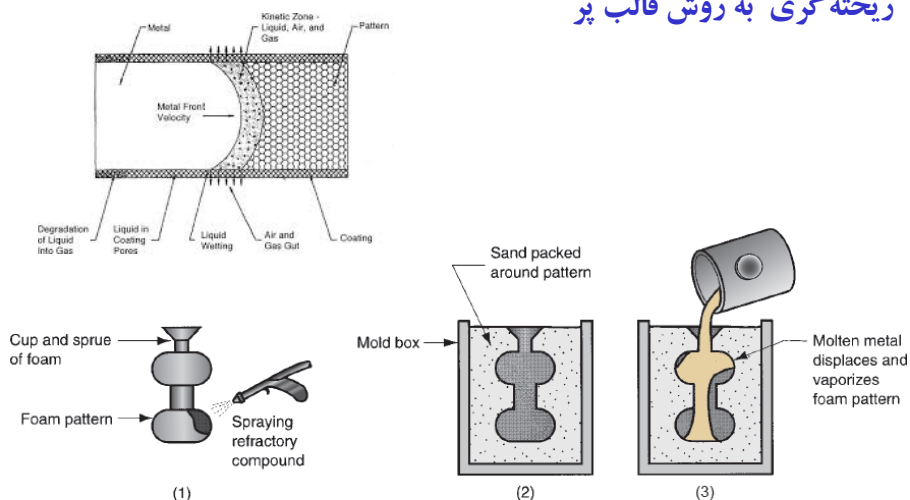


FIGURE 11.7 Expanded polystyrene casting process: (1) pattern of polystyrene is coated with refractory compound; (2) foam pattern is placed in mold box, and sand is compacted around the pattern; and (3) molten metal is poured into the portion of the pattern that forms the pouring cup and sprue. As the metal enters the mold, the polystyrene foam is vaporized ahead of the advancing liquid, thus allowing the resulting mold cavity to be filled.

Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing و 2013.

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومندی، ۱۳۹۸-۱

قالب های دائمی

جنس قالب ها:

- ✓ معمولاً چدن خاکستری یا داکتیل
- ✓ فولادهای کم آلیاژ و آلیاژی
- ✓ آلیاژهای مس یا آلومینیوم
- ✓ گرافیت
- ✓ آلیاژهای دیرگداز (آلیاژهای تنگستن یا مولیبدن)

آلیاژی که در قالب دائم ریخته گری می شوند:

- ✓ آلیاژهای آلومینیوم، منیزیم، روی، سرب، مس (برنز و برنج)، چدن
- ✓ فولاد (قالب های گریز از مرکز)
- ✓ تیتانیوم (قالب های گرافیتی)

- برخی تفاوت ها با قالب های مصرفی:
- ✓ سطح جدایش عمودی
 - ✓ پیچیدگی کمتر شکل قطعات نسبت به روش های قالب مصرفی
 - ✓ شیب بیشتر دیواره های قالب
 - ✓ پوشش سطح قالب (پوشش های عایق و پوشش های روانکار)
 - ✓ پیشگرم قالب

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

قالب های دائمی

چرخه عملیاتی:

- ۱- تمیز کردن سطح قالب
- پوشش دهی سطح قالب
- تنظیم دمای قالب
- ۲- ماهیچه گذاری در صورت نیاز (ماهیچه ها: موقت یا دائمی)
- بستن نیمه های قالب
- ۳- ریختن مذاب
- ۴- باز کردن نیمه های قالب و خروج قطعه

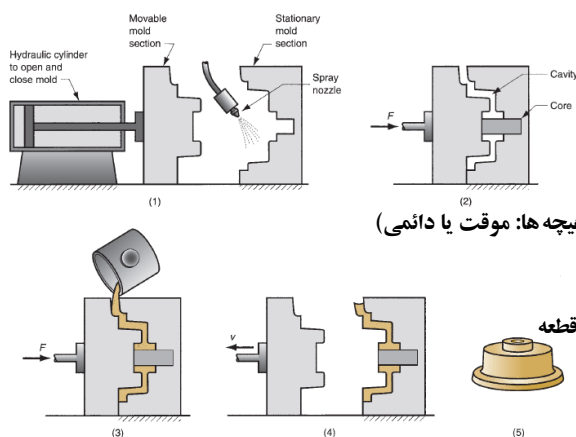
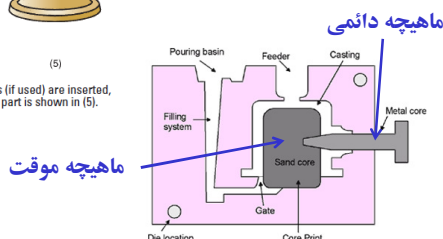


FIGURE 11.11 Steps in permanent-mold casting: (1) mold is preheated and coated; (2) cores (if used) are inserted, and mold is closed; (3) molten metal is poured into the mold; and (4) mold is opened. Finished part is shown in (5).



Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing و 2013.

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

قالب های دائمی

روش های ریخته گری در قالب دائم:

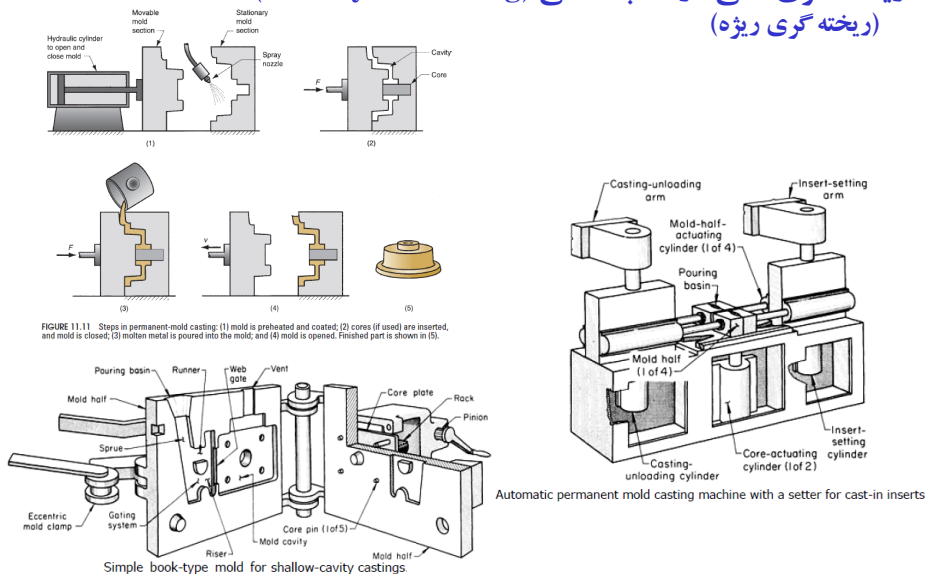
- ✓ ریخته گری ثقیلی (Gravity die casting)
- ✓ ریخته گری تحت فشار بالا (High Pressure Die Casting- HPDC)
- ✓ ریخته گری تحت فشار کم (Low Pressure Die Casting- LPDC)
- ✓ ریخته گری گریز از مرکز (Centrifugal casting)

- ✓ ریخته گری تیلت (Tilt casting)
- ✓ ریخته گری کوبشی (Squeeze casting)
- ✓ ریخته گری نیمه جامد (Semisoild casting)
- ✓ ریخته گری خلاف جاذبه (Counter gravity casting)
- ✓ ریخته گری پیوسته (Continuous casting)
- ✓ ریخته گری تبرید مستقیم (نیمه پیوسته) (Direct chill casting)

تکلیف ۲: در مورد حداقل ۳ روش از این ۶ روش مطالعه کنید: ■ روش انجام
 ■ نوع آلیاژهای مورد استفاده
 ■ مزایا و کاربردها

اصول متالورژیکی فرآیندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

ریخته گری ثقیلی در قالب دائمی (Gravity die casting) (ریخته گری ریژه)



Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing و 2013. Metals Handbook, Vol. 15, ASM.

اصول متالورژیکی فرآیندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

ریخته گری ثقی در قالب دائمی

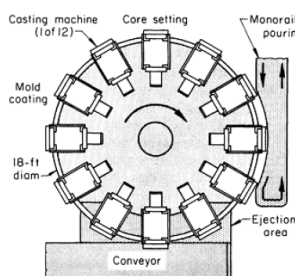
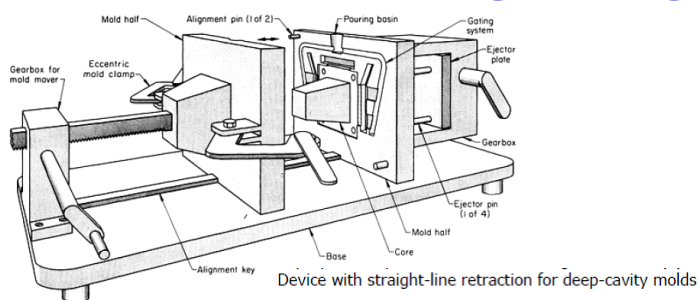
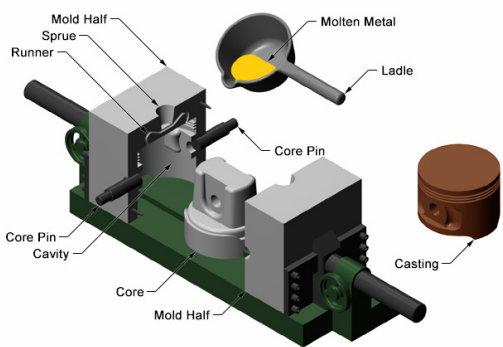


Fig. 4 Schematic of a 12-machine turntable for automatic permanent mold casting

Metals Handbook, Vol. 15, ASM.

ریخته گری ثقی در قالب دائمی



Copyright © 2008 CustomPartNet



<https://www.custompartnet.com>

<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/>

اصول متالورژیکی فرآیندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

ریخته گری ثقیلی در قالب دائمی



<http://4.imimg.com>

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱۳۹۸

ریخته گری ثقیلی در قالب دائمی

Table 7.14 Recommendations for minimum wall thickness of cast metal*

Product	Wall thickness
Sand castings: Steel	4.8–12.7 mm ($\frac{3}{16}$ – $\frac{1}{2}$ in)
Grey cast iron	3.2–6.3 mm ($\frac{1}{8}$ – $\frac{1}{4}$ in)
Malleable cast iron	3.2 mm ($\frac{1}{8}$ in)
Copper alloy	2.4 mm ($\frac{3}{32}$ in)
Aluminium alloy	3.2–4.8 mm ($\frac{1}{8}$ – $\frac{3}{16}$ in)
Magnesium alloy	4.0 mm ($\frac{5}{32}$ in)
Gravity die castings: Grey cast iron	4.8 mm ($\frac{3}{16}$ in)
Aluminium alloy	3.2 mm ($\frac{1}{8}$ in)
Pressure die castings: Copper alloy	1.5–2.5 mm (0.060–0.100 in)
Aluminium alloy	1.1–1.9 mm (0.045–0.075 in)
Magnesium alloy	1.3–2.0 mm (0.050–0.080 in)
Zinc alloy	0.4–1.1 mm (0.015–0.045 in)
Plaster moulded castings	1.0–1.5 mm (0.040–0.060 in)
Investment castings	0.6–1.3 mm (0.025–0.050 in)

*Data from Reference 4, courtesy of Castings Development Centre

Beeley, P., Foundry technology, 2nd ed., 2001.

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱۳۹۸-۱

ریخته گری تحت فشار بالا (High Pressure Die Casting- HPDC)

۱- ریخته گری تحت فشار بالا با محفظه گرم (Hot chamber) ✓

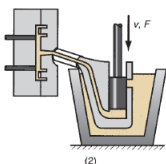
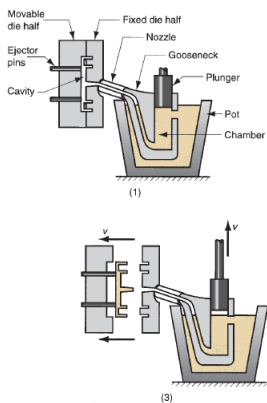
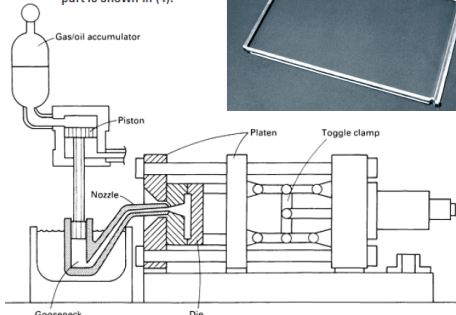
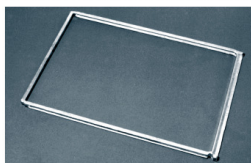
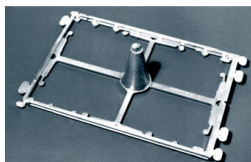


FIGURE 11.14 Cycle in hot-chamber casting: (1) with die closed and plunger withdrawn, molten metal flows into the chamber; (2) plunger forces metal in chamber to flow into die, maintaining pressure during cooling and solidification; and (3) plunger is withdrawn, die is opened, and solidified part is ejected. Finished part is shown in (4).

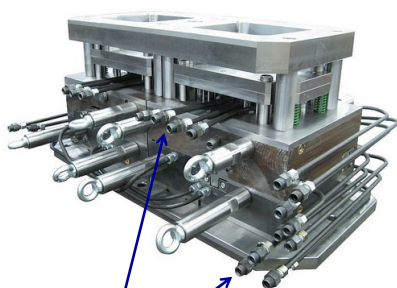


The CWM Die Casting Design and Specification Guide, 2011.
Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing 2013.
Metals Handbook, Vol. 15, ASM.

اصول متالورژیکی Schematic showing the principal components of a hot chamber die casting machine

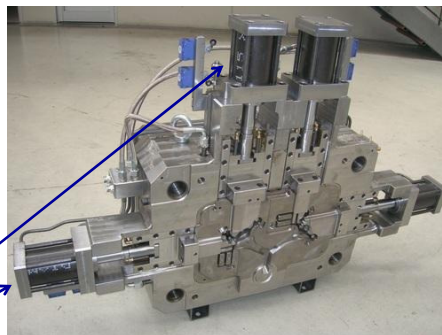
ریخته گری تحت فشار بالا با محفظه گرم

- آلیاژهای با دمای ذوب کمتر از 500°C : روی، سرب، قلع، ...
- فشار تزریق مذاب: تا 35 MPa و بیشتر
- نیروی قفل قالب ها: تا 100 تن و بیشتر
- سرعت ورود مذاب: تا 40 m/s و بیشتر
- ماهیچه های ثابت یا متحرک فلزی



لوله های آبگرد

مکانیزم های ورود و خروج ماهیچه های فلزی



<https://www.indiamart.com>

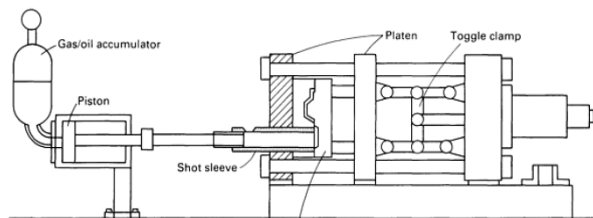
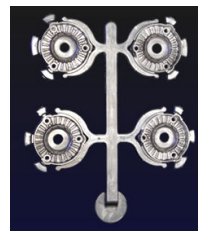
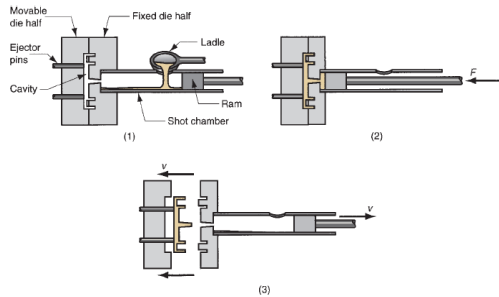
اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

<http://4.imimg.com>

ریخته گری تحت فشار بالا (High Pressure Die Casting- HPDC)

۲- ریخته گری تحت فشار بالا با محفظه سرد (Cold chamber)

FIGURE 11.15 Cycle in cold-chamber casting: (1) with die closed and ram withdrawn, molten metal is poured into the chamber; (2) ram forces metal to flow into die, maintaining pressure during cooling and solidification; and (3) ram is withdrawn, die is opened, and part is ejected. (Gating system is simplified.)



Schematic showing the principal components of a cold chamber die casting machine

<http://www.alphacraft.in>
<http://4.imimg.com>

Metals Handbook, Vol. 15, ASM.

اصول متالورژیکی فرآیندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

ریخته گری تحت فشار بالا با محفظه سرد

- آلیاژهای با دمای ذوب کمتر از ۱۲۰۰°C: آلومینیوم، منیزیم، روی، مس، ...
- فشار تزریق مذاب: تا ۴۰۰ MPa و بیشتر
- سرعت ورود مذاب: تا ۴۰ m/s و بیشتر
- نیروی قفل قالب ها: تا ۲۵۰۰ تن و بیشتر
- ماهیچه های ثابت یا متحرک فلزی

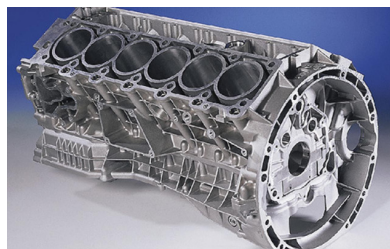
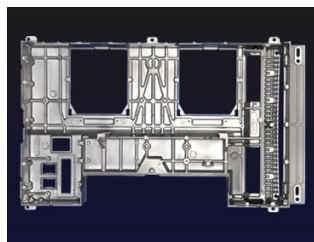
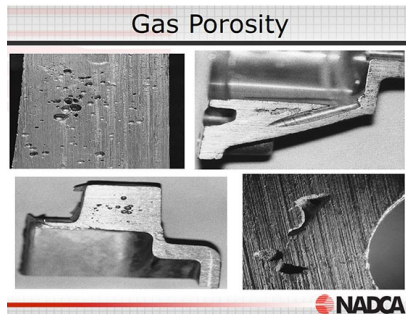


FIGURE 11.16 A large die casting measuring about 400 mm diagonally for a truck cab floor. (Courtesy of George E. Kane Manufacturing Technology Laboratory, Lehigh University)

<https://www.foundrymag.com>
<https://imimg.com>
<http://www.alphacraft.in>

اصول متالورژیکی فرآیندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

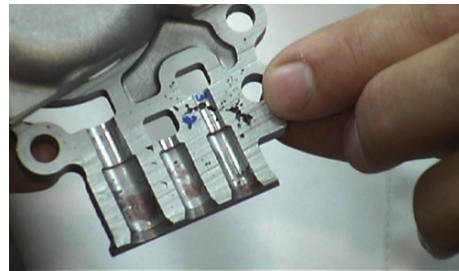
محدودیت های اصلی روش های ریخته گری تحت فشار بالا



۱- عدم امکان استفاده از ماهیچه های موقت

۲- تخلخل های گازی زیر سطحی

- سرعت بالای ورود مذاب به قالب
- اغتشاش شدید و به دام افتادن هوا درون مذاب

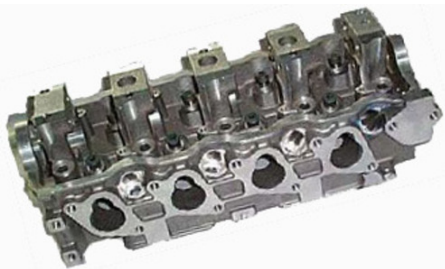
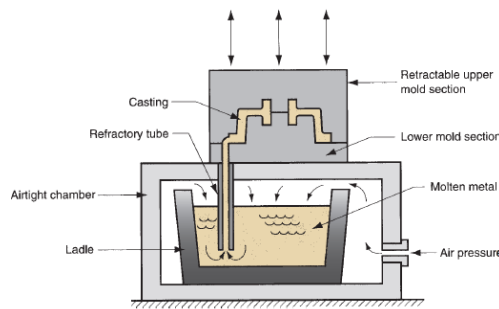


<https://www.hillandgriffith.com>

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

• ریخته گری تحت فشار کم (Low Pressure Die Casting- LPDC)

FIGURE 11.12 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.



- فشار تزریق مذاب: حدود ۰/۱ MPa
- سرعت ورود مذاب به قالب: کمتر از ۰/۵ m/s
- قالب و ماهیچه های دائم یا موقت
- محدودیت کم آلیاژی
- خواص مکانیکی بالاتر
- سرعت تولید کمتر

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

ریخته گری از مرکز (Centrifugal casting)

• استفاده از نیروی گریز از مرکز برای شکل دهی مذاب و مذاب رسانی به محفظه قالب

• سه روش کلی:

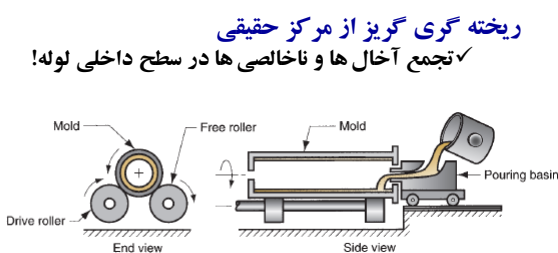
✓ ۱- ریخته گری گریز از مرکز حقیقی (True centrifugal casting)

✓ ۲- ریخته گری نیمه گریز از مرکز (Semi-centrifugal casting)

✓ ۳- ریخته گری گریز از مرکز ظاهری (Centrifuged/ Centrifuging casting)
(ریخته گری خارج مرکز)



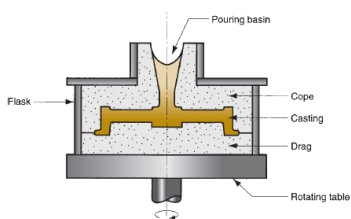
FIGURE 11.17 Setup for true centrifugal casting.



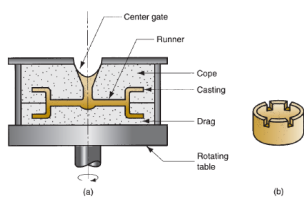
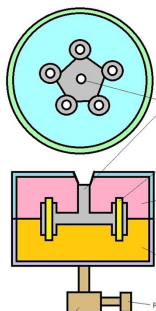
اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بیژاد نیرومند، ۱۳۹۸

ریخته گری گریز از مرکز

ریخته گری نیمه گریز از مرکز



ریخته گری گریز از مرکز ظاهری (ریخته گری خارج مرکز)



اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بیژاد نیرومند، ۱۳۹۸-۱

ذوب فلزات

- سوخت ها:
 - جامد: ذغال سنگ، کک، ...
 - فسیلی } مایع: گازوئیل، مازوت، نفت، ...
 - گاز: گاز طبیعی، مخلوط های H_2 و CO ، ...
- الکتریکی } مقاومتی
القایی
قوس الکتریک
- ذرات پر انرژی: لیزر، پلاسما، اشعه الکترونی، ...
- نوع ذوب:
 - ✓ مستقیم (ساده)
 - ✓ همراه با تصفیه

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

کوره ها (Furnaces)

• کوره بوته ای (Crucible furnace)

✓ جنس بوته: گرافیت-خاک رس، کاربید سیلیسیم (SiC)، آلومینا (Al_2O_3)، چدن و فولادهای آلیاژی

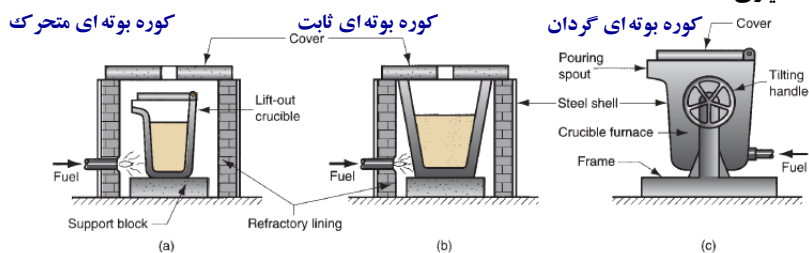


FIGURE 11.21 Three types of crucible furnaces: (a) lift-out crucible, (b) stationary pot, and (c) tilting-pot furnace.

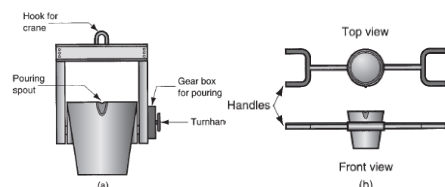


FIGURE 11.23 Two common types of ladles: (a) crane ladle and (b) two-man ladle.

حمل مذاب

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

کوره ها

• کوره بوته ای

- ✓ مزایای اصلی: قیمت پایین، انعطاف پذیری از نظر نوع آلیاژ و دمای مذاب
- ✓ محدودیت های اصلی: ظرفیت کم، راندمان حرارتی پایین، آلودگی محیطی

• کوره کوپل (Cupola furnace)

- ✓ بر اساس جریان متقابل شارژ و گازهای گرم حاصل از احتراق (Counter current)
- ✓ عمدتاً برای ذوب چدن
- ✓ ظرفیت از ۱ تا ۳۵ تن در ساعت و بیشتر
- ✓ هزینه پایین تجهیزات و ذوب
- ✓ ظرفیت بالای ذوب
- ✓ محدودیت در نوع آلیاژ و ترکیب شیمیایی
- ✓ آلودگی مذاب و محیط زیست

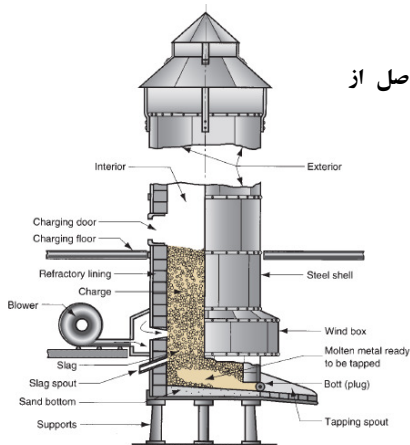


FIGURE 11.20 Cupola used for melting cast iron. Furnace shown is typical for a small foundry and omits details of emissions control system required in a modern cupola.

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومندی، ۱

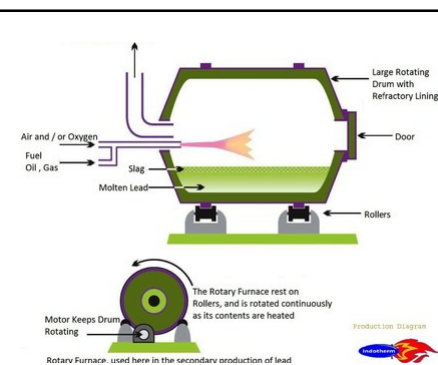
کوره ها

• کوره دوار (Rotary furnace)

- ✓ عموماً برای ذوب چدن، برنج و برنز
- ✓ ۵۰۰ کیلوگرم تا ۱۵ تن و بیشتر
- ✓ قیمت پایین

✓ مزایا:

- ✓ اختلاط خوب مذاب
- ✓ بازایی حرارتی از دیواره های نسوز کوره
- ✓ افزایش عمر نسوز کوره



اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومندی، ۱-۱۳۹۸

کوره ها

• کوره مقاومتی (Resistance furnace)

$$Q=RI^2t \checkmark$$

✓ عموماً برای آلیاژهای با دمای ریخته‌گری کمتر از 1200°C



اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

کوره ها

• کوره قوس الکتریک (Electric Arc Furnace, EAF)

- ✓ بیشتر برای فولاد سازی
- ✓ در مواردی برای ریخته‌گری فولادهای آلیاژی
- ✓ ظرفیت از ۱ تا ۱۰۰ تن فولاد
- ✓ سرباره گرم ← امکان عملیات تصفیه در کوره

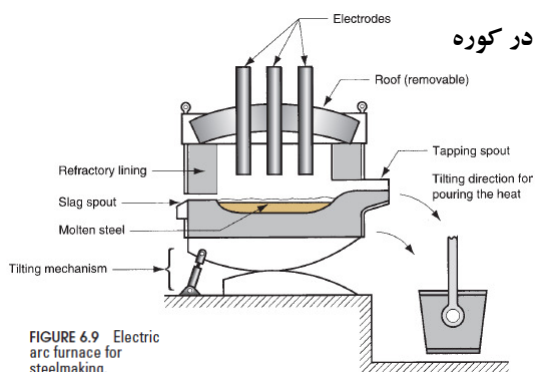


FIGURE 6.9 Electric arc furnace for steelmaking.

- ✓ آلودگی صوتی
- ✓ تلاطم و اختلاط کم مذاب
- ✓ مصرف برق بالا
- ✓ قیمت بالا

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

کوره ها

• کوره القایی (Induction Furnace)

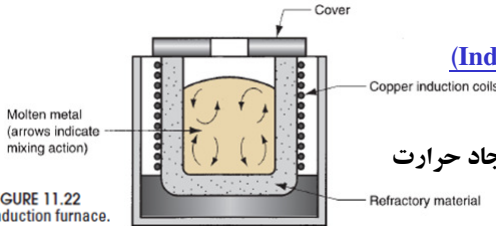




FIGURE 11.22
Induction furnace.

✓ اعمال میدان مغناطیسی بر شارژ فلزی
← ایجاد جریان الکتریکی در شارژ ← ایجاد حرارت

✓ کنترل دقیق دما و ترکیب شیمیایی
✓ عدم محدودیت آلیاژی
✓ آلودگی های صوتی و محیط زیستی کم
✓ تلاطم و اختلاط خوب مذاب
✓ امکان ذوب تحت خلا (VIM) یا گاز خنثی
✓ ظرفیت تا ۶۰ تن و بیشتر

✓ سرباره سرد ← مشکلات عملیات تصفیه در کوره
✓ قیمت بالا

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸

مباحث دیگر مرتبط با ذوب

- آلیاژسازی
- گاز زدایی
- جوانه زایی
- اصلاح سازی
- انواع سرباره ها: بازی، اسیدی، خنثی
- انواع جداره کوره ها: بازی، اسیدی، خنثی
- انواع روانسازها
- دمای ریخته گری
- ...

اصول متالورژیکی فرایندهای ساخت، بهزاد نیرومند، ۱-۱۳۹۸