

### روش های ریخته گری (۱)

#### ریخته گری در قالب های موقت

هدف های رفتاری: از فراگیر انتظار می رود پس از پایان این فصل بتواند :

- ۱- روش های ساخت و ریخته گری انواع قالب های موقت را توضیح دهد.
- ۲- مزایا و محدودیت های روش های ریخته گری در قالب های موقت را شرح دهد.

#### ۱-۶- مقدمه

فراآیندهای ریخته گری متنوع بوده و متناسب با نحوه ی کاربرد تقسیم بندی های مختلف در آن ها صورت گرفته است. به طور کلی در یک نوع تقسیم بندی کلاسیک می توان روش های ریخته گری را به دو گروه اصلی تقسیم نمود.

الف - ریخته گری در قالب های موقت که در این روش قالب یک بار استفاده می شود و پس از هر بار ریخته گری بایستی قالبی نو ساخته شود.

ب - ریخته گری در قالب های دائم که قالب در آن به طور مکرر و برای تولید انبوه قطعه ها مورد استفاده قرار می گیرد.

در این فصل و فصل بعدی این دو گروه، روش های ریخته گری مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

#### ۲-۶- ریخته گری در قالب های ماسه ای تر

در میان روش های ریخته گری در قالب های موقت، ریخته گری در قالب های ماسه ای تر بیشترین کاربرد را دارد. اجزای تشکیل دهنده این قالب ها عبارتند از : ماسه، چسب، آب و دیگر افزودنی های لازم. (اصطلاح ماسه ی تر به این مفهوم است که قالب دارای رطوبت می باشد.) کلیه آلیاژهای آهنی

و غیرآهنی را می‌توان توسط این روش تولید نمود.

۱-۲-۶- مزایا و محدودیت‌ها : فرآیند ریخته‌گری در قالب ماسه‌ی تر برای تولید قطعه‌های مختلف و متنوع به کار می‌رود. این روش در مقایسه با سایر روش‌های ریخته‌گری دارای مزیت‌ها و محدودیت‌هایی است که اهم آن‌ها از این قرارند :

#### مزیت‌ها

- ۱- پایین بودن هزینه ساخت قالب نسبت به روش‌های دیگر.
- ۲- در این روش به عملیات خشک کردن عمقی نیاز نبوده لذا نسبت به روش‌های ماسه خشک پیچیدگی قالب کمتر اتفاق می‌افتد.
- ۳- در این روش قابلیت انعطاف زیاد است.
- ۴- در این روش امکان تولید قطعه‌های نسبتاً بزرگ وجود دارد.
- ۵- در صورت استفاده از مدل‌های صفحه‌ای دقت ابعادی نسبتاً خوب است.
- ۶- نسبت به سایر روش‌ها، عیب ترک خوردن در قالب کمتر است.
- ۷- تولید قطعه‌ها در تعداد کم یا زیاد امکان‌پذیر می‌باشد.
- ۸- امکان تولید قطعه‌های پیچیده، که توسط روش‌های دیگر امکان‌پذیر نمی‌باشد.
- ۹- در بسیاری از موارد نسبت به روش‌های دیگر اقتصادی‌تر می‌باشد.

#### محدودیت‌ها

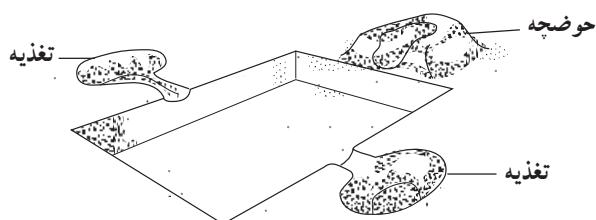
- ۱- کنترل ماسه نسبت به روش ماسه‌ی خشک از حساسیت بیشتری برخوردار است.
  - ۲- صافی سطح در این روش نسبت به روش‌های دیگر کمتر است.
  - ۳- برآمدگی‌های نازک و طویل توسط مذاب شسته می‌شود.
  - ۴- در این روش استحکام قالب جهت تولید قطعه‌های بسیار بزرگ کافی نمی‌باشد.
  - ۵- در این روش عیب‌های سطحی قطعه‌های ریخته‌گری زیاد است.
  - ۶- با افزایش وزن قطعه‌های ریخته‌گری دقت ابعادی کاهش می‌یابد.
- ۲-۲-۶- روش‌های قالب‌گیری با ماسه‌ی تر : معمولاً روش‌های قالب‌گیری با ماسه‌ی تر به دو گروه روش‌های دستی و روش‌های ماشینی تقسیم می‌شود :

#### الف - روش‌های قالب‌گیری دستی

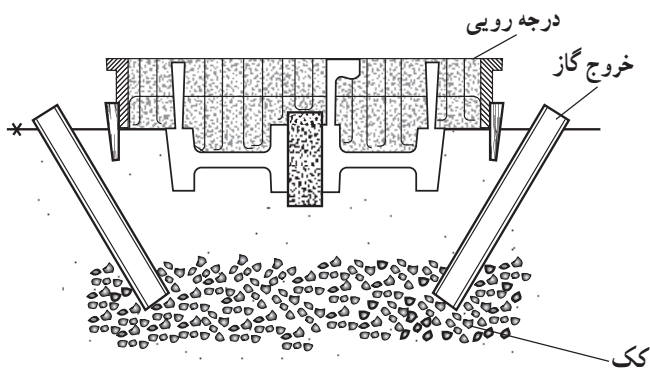
تعریف: در این روش کلیه مراحل قالب‌گیری که عبارتند از کوبیدن ماسه، خارج کردن مدل و تخلیه‌ی قالب تماماً توسط دست انجام می‌شود.

ویژگی‌ها: این روش عموماً برای ساخت قطعه‌ها با تعداد محدود به کار می‌رود و نسبت به سایر فرآیندها نیاز به امکانات کمتری دارد. در کارگاه‌های ریخته‌گری بهترین کاربرد را دارد. از طرف دیگر تولید انبوه به این روش اقتصادی نبوده و دقت ابعادی در آن کم است.

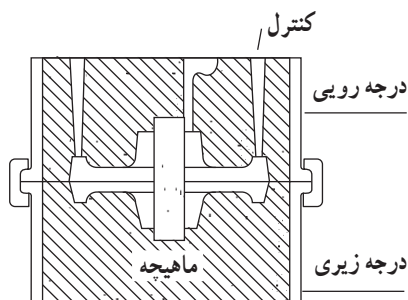
تقسیم‌بندی: قالب‌گیری دستی به چند روش تقسیم می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: قالب‌گیری روباز (شکل ۶-۱)، قالب‌گیری یک درجه‌ای (یک تا زمین)، (شکل ۶-۲)، قالب‌گیری دو درجه‌ای (شکل ۶-۳)، سه درجه‌ای (شکل ۶-۴)، چند درجه‌ای، قالب‌گیری شابلونی (شکل ۶-۵)، قالب‌گیری با مدل اسکلتی (شکل ۶-۶).



شکل ۶-۱- قالب‌گیری روباز

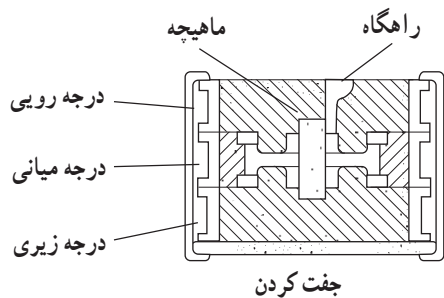


شکل ۶-۲- قالب‌گیری یک درجه‌ای (یک تا زمین)

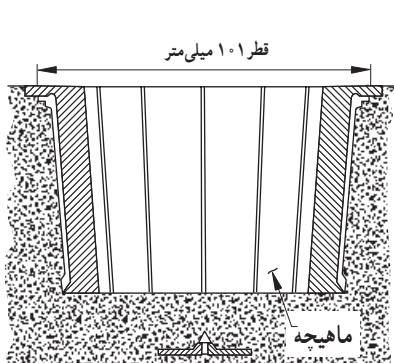


جفت کردن

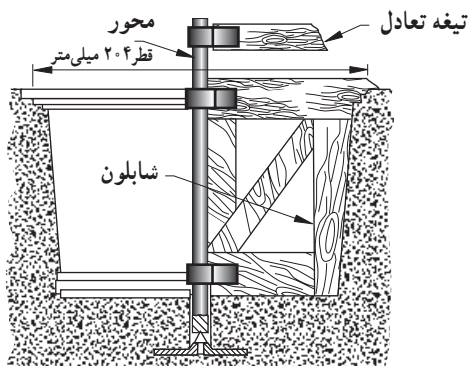
شکل ۶-۳- قالب‌گیری دو درجه‌ای



شکل ۴-۶- قالب گیری سه درجه ای

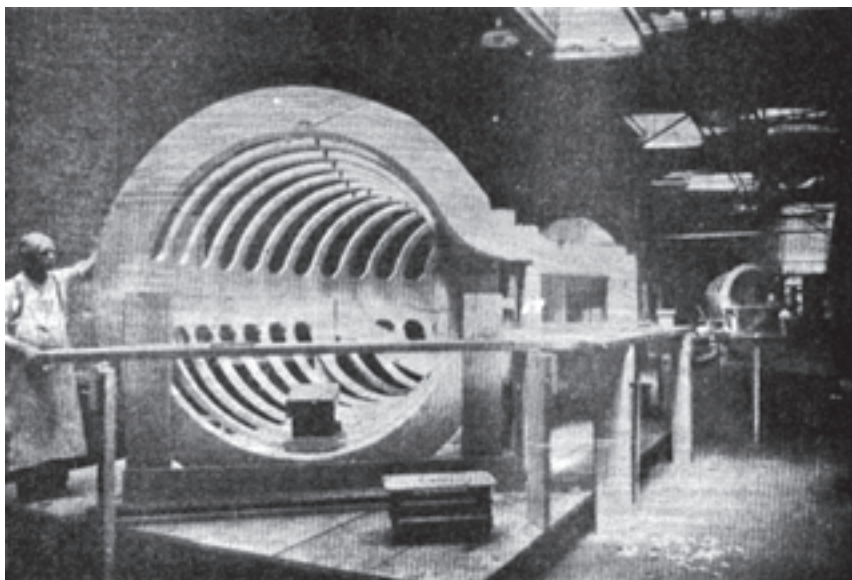


الف- قالب گیری شابلونی



ب- ماهیچه گذاری و ریخته گری

شکل ۵-۶- قالب گیری شابلونی



شکل ۶-۶- قالب گیری با استفاده از مدل اسکلتی برای تولید قطعات بزرگ

## ب - روش های قالب گیری ماشینی

تعریف: در این روش کلیه مراحل قالب گیری که عبارتند از، کوبیدن ماسه، خارج کردن مدل و تخلیه قالب تماماً، یا قسمتی از آن توسط ماشین انجام می شود.

**اهداف:** اصولاً قالب گیری دستی یک روش قدیمی بوده و سرعت تولید در آن پایین است. از طرف دیگر تولید قطعات یکنواخت به صورت تولید انبوه به این روش امکان پذیر نبوده و کیفیت قطعه بستگی زیادی به مهارت کارگر دارد. استفاده از روش های ماشینی می تواند تا حدودی عیب های فوق را برطرف نماید.

به طور کلی می توان گفت هدف اصلی قالب گیری ماشینی، متراکم کردن ماسه ی قالب گیری به طور یکنواخت با سختی مورد نظر و سرعت زیاد می باشد.

**روش کار:** اساس کار قالب گیری ماشینی از این قرار است :

– فشردن ماسه در داخل درجه و اطراف مدل به وسیله نیروهای ضربه ای، فشاری، ارتعاشی، پرتابی و یا ترکیب هم زمان چند نیرو.

– لق کردن مدل توسط سیستم های ارتعاشی.

– خارج کردن مدل.

– برگرداندن و چرخاندن درجه ها.

ماشین های قالب گیری دارای طرح های مختلف هستند و با توجه به نحوه عمل کوبیدن و فشردن ماسه در قالب، لق کردن و خارج کردن مدل از قالب، مکانیزم چرخاندن درجه ها متفاوت می باشند.

انواع ماشین های قالب گیری عبارتند از : ماشین های قالب گیری ضربه ای ساده، فشاری ساده، ضربه ای - فشاری و ماسه بران.

**ماشین های قالب گیری ضربه ای ساده:** در شکل (۷-۶) یک نوع از این ماشین ها نشان داده شده است. در این ماشین ها مدل صفحه ای روی صفحه ی میز ماشین محکم می شود. آن گاه روی این صفحه یک لنگه درجه قرار می گیرد سپس درجه کاملاً از ماسه پر می شود. شیر متصل به هوای فشرده باز شده و با فشار زیاد پیستون را همراه با صفحه ی میز و مدل و درجه چند سانتی متر به بالا می برد. در ارتفاع معینی راه هوای متراکم به خارج باز می شود. پیستون همراه با میز، صفحه مدل، درجه و ماسه ی داخل آن تحت تأثیر نیروی وزن به پایین برمی گردد. این عملیات چندین بار و با سرعت زیاد تکرار می شود تا ماسه به اندازه ی کافی در اطراف مدل فشرده و متراکم شود. در پایان

یک سیستم ارتعاشی مدل را از ماسه آزاد می‌کند و بین‌های خارج‌کننده، درجه همراه با ماسه را از سطح مدل خارج می‌کنند. اصولاً فشردن و متراکم کردن ماسه در این گونه ماشین‌ها توسط نیروی جنبشی انجام می‌شود. فشردگی ماسه در اطراف مدل نسبت به روش‌های دستی بیشتر است.

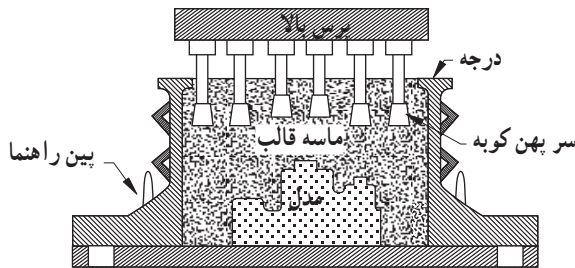


شکل ۶-۷- ماشین قالب‌گیری ضربه‌ای

در این روش تولید قالب به تعداد انبوه و به صورت یکنواخت و تکرارپذیر صورت می‌گیرد. نکته قابل توجه در این نوع ماشین‌ها این است که به دلیل این که فشردگی ماسه فقط به وسیله نیروی وزن خود ماسه انجام می‌شود، لذا در قسمت‌های پایین فشردگی نسبت به قسمت‌های بالا بیشتر است و سختی ماسه از پایین به بالا کاهش می‌یابد.

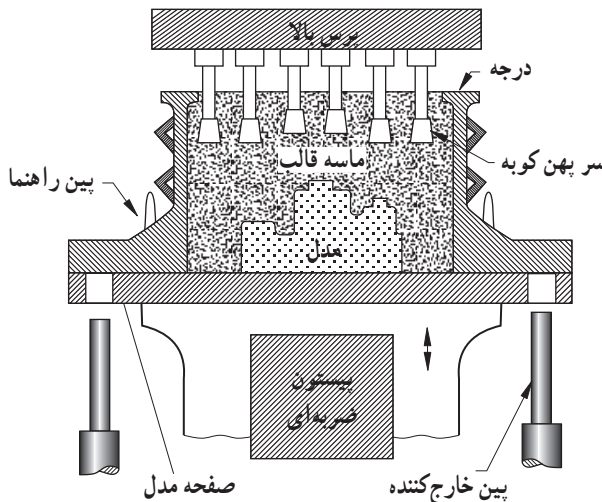
**ماشین‌های قالب‌گیری فشاری:** شکل (۸-۶) به طور شماتیک طرز کار این ماشین را نشان می‌دهد. روش کار در این نوع ماشین همانند ماشین‌های ضربه‌ای بوده با این تفاوت که به جای استفاده از سیستم ضربه در صفحه‌ی پایین، از سیستم فشار در صفحه‌ی بالا استفاده می‌شود. به این ترتیب که پس از پرسیدن درجه از ماسه توسط پرس فشاری مطابق شکل، ماسه در اطراف مدل فشرده می‌شود. چنانچه فرض می‌شد که ماسه حالت کاملاً سیالی داشته باشد (خشک باشد) در این صورت فشار به تمام نقاط درجه و سطح‌های مدل به صورت یکنواخت توزیع می‌گردید ولی با توجه به این که ماسه‌ی قالب‌گیری از مخلوط ذرات ماسه و چسب و آب تشکیل یافته است لذا قادر نیست انرژی دریافت شده را به صورت مساوی و یکنواخت به تمام قسمت‌های درجه منتقل نماید در نتیجه در قسمت‌های کناری مدل و نزدیک صفحه مدل فشردگی ماسه کم بوده و برعکس در قسمت‌های سطح قالب، فشردگی بیشتر می‌باشد. به هر حال ماشین‌های فشاری ساده معمولاً برای قالب‌گیری قطعه‌های

کم ارتفاع و یکنواخت به کار می رود.



شکل ۸-۶- قسمتی از یک ماشین قالب گیری فشاری

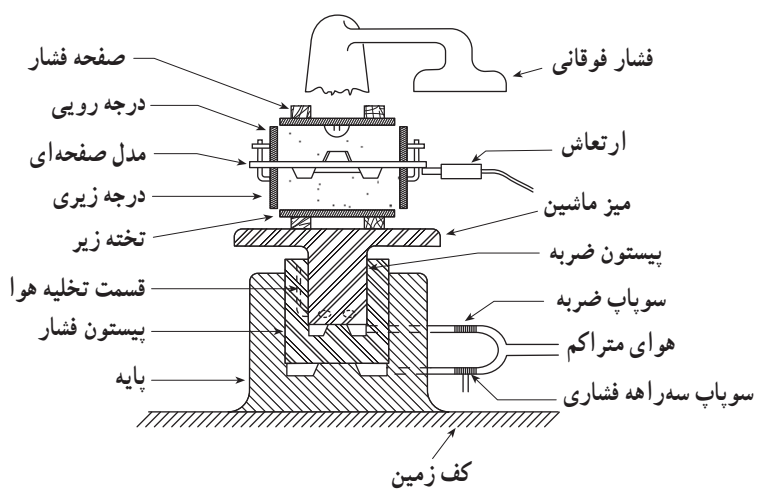
**ماشین های قالب گیری ضربه ای - فشاری:** تجهیزات و ضمایم مدل و صفحه و درجه در این نوع ماشین کاملاً شبیه ماشین های قالب گیری ضربه ای است، با این تفاوت که پس از عملیات فشردن ماسه به طریق ضربه ای یک سیستم فشاری همانند ماشین های فشاری مورد استفاده قرار می گیرد. به این ترتیب معایی که در هر کدام از ماشین های ضربه ای و فشاری وجود دارد برطرف شده و با ترکیب دو مکانیزم ضربه ای و فشاری می توان استحکام و سختی یکنواختی را در تمام قسمت های قالب و مجاور مدل ایجاد نمود. شکل های (۹-۶ و ۱۰-۶) دو نوع ماشین ضربه ای و فشاری را نشان می دهد. سرعت تولید در این نوع ماشین ها بالا بوده و به ۳۰۰ قالب در ساعت می رسد این نوع ماشین ها در اندازه های مختلف ساخته شده است.



شکل ۹-۶- قسمتی از یک ماشین ضربه ای - فشاری



(الف)



(ب)

شکل ۱۰-۶- ماشین ضربه ای فشاری      الف- تصویر واقعی      ب- شکل شماتیک



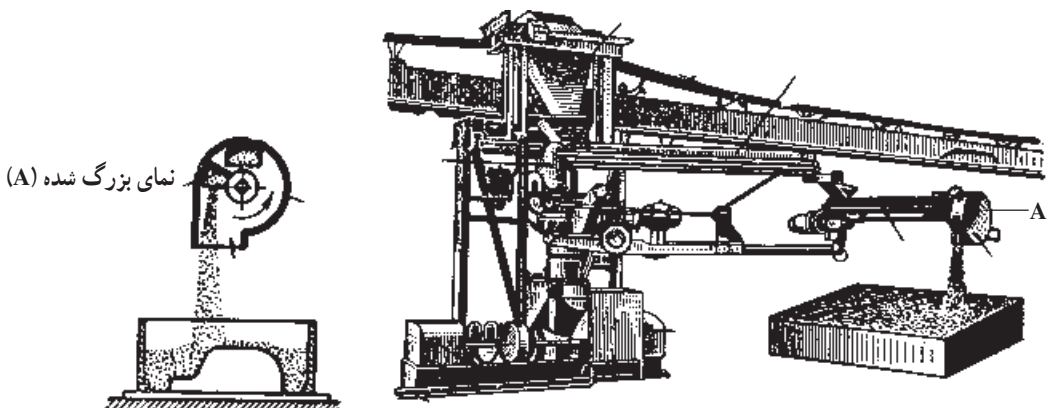
**ماشین ماسه پرتاب‌کن:** در این نوع ماشین ماسه به وسیله دستگاه ماسه پرتاب‌کن با سرعت زیاد داخل درجه در اطراف مدل فشرده می‌شود. شدت پرتاب ماسه گاه به  $30^\circ$  هزار سانتی‌متر مکعب در دقیقه می‌رسد و چنین شدتی باعث فشردگی زیاد ماسه می‌شود. در این فرآیند ماسه به وسیله نقاله به دستگاه پرتاب‌کن با قطر محفظه ۵ الی ۵۵ سانتی‌متر و پره‌هایی به اندازه  $10^\circ$  تا  $15^\circ$  سانتی‌متر منتقل می‌شود و با سرعت زیاد به طرف درجه پرتاب می‌شود. این ماشین‌ها معمولاً دو نوع هستند، ثابت برای تولید با حجم زیاد و متحرک برای قطعه‌های کوچک (شکل ۱۱-۶). نوع متحرک این ماشین‌ها روی ریل حرکت می‌کنند. اصولاً ماشین‌های ماسه پرتاب‌کن برای تولید قطعه‌های متوسط و بزرگ به کار می‌رود. عمل خارج کردن مدل از ماسه توسط جرثقیل انجام می‌شود.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۱۱-۶- ماشین قالب‌گیری ماسه پرتاب‌کن  
الف - نوع متحرک      ب - نوع ثابت      ج - شکل شماتیک

### ۳-۶- ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای خشک

قالب‌های تهیه شده به روش ماسه‌ای تر را به منظور تولید قطعه‌های بزرگ و نیز بهبود بخشیدن به برخی خاصیت‌های قطعه‌های ریخته‌گری خشک می‌کنند. در صنعت قالب‌ها را براساس میزان خشک کردن به دو صورت خشک شده‌ی سطحی و کاملاً خشک تقسیم می‌کنند.

#### ۱-۳-۶- قالب‌های خشک شده سطحی

تعریف: قالب‌های خشک شده سطحی قالب‌هایی هستند که فقط لایه‌ای از سطح قالب به عمق کم خشک شده باشد.

قالب‌های بزرگ و قالب‌های یک تا زمین معمولاً به صورت سطحی خشک می‌شوند. در لایه‌ی خشک شده، رطوبت ماسه برای مدت معینی گرفته می‌شود و چنان‌چه قالب برای مدت طولانی بدون استفاده باقی بماند و بار ریزی انجام نشود، لایه خشک شده قالب رطوبت را به تدریج از قسمت‌های عمیق‌تر جذب می‌نماید، لذا توصیه می‌شود در این روش عملیات بار ریزی بلافاصله پس از خشک کردن قالب انجام شود تا از نفوذ مجدد رطوبت جلوگیری گردد.

در این روش، معمولاً قالب‌ها توسط مشعل خشک می‌شوند و عمق لایه‌ی خشک شده کمتر از ۱۲ میلی‌متر می‌باشد.

#### ۲-۳-۶- قالب‌های ماسه‌ای کاملاً خشک

تعریف: قالب‌های ماسه‌ای کاملاً خشک که به آن اختصاراً «قالب‌های خشک» نیز گفته می‌شود، به قالبی اطلاق می‌گردد که حداقل عمق ماسه‌ی خشک شده‌ی آن از ۱۲ میلی‌متر بیشتر باشد و عموماً این قالب‌ها کاملاً خشک شده و عاری از رطوبت می‌باشند.

ویژگی‌ها: در این روش اصولاً قالب‌ها با همان شرایط روش ماسه‌ای تر تهیه می‌شوند و سپس در کوره‌های مخصوص در درجه‌ی حرارت  $15^{\circ}\text{C}$  تا  $37^{\circ}\text{C}$  به مدت ۸ تا ۴۸ ساعت خشک می‌شوند. زمان و درجه‌ی حرارت خشک کردن بستگی به چسب، رطوبت قالب و نیز عمق لایه خشک شده دارد. با کمک این روش می‌توان قطعه‌های ریخته‌گری متوسط تا بزرگ نظیر غلتک‌های بزرگ، چرخ‌دنده‌ها و پوسته‌ی قطعات بزرگ ماشین را تولید نمود.

مزیت‌ها: مهم‌ترین مزیت‌های فرآیند ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای خشک عبارتند از:

۱- استحکام قالب نسبت به روش ماسه‌ای تر بیشتر بوده و بنابراین در موقع حمل و نقل کمتر آسیب می‌بیند.

۲- نسبت به روش ماسه‌ای تر قطعه‌ها از دقت ابعادی بهتری برخوردار می‌باشند.

۳- سطح تمام شده‌ی قطعه‌های ریختگی به‌ویژه هنگامی که قالب پوشش داده می‌شود بهتر است.

۴- عیب‌هایی مانند مک‌های سطحی و چسبیدن ذرات ماسه به سطح قطعه‌ها کمتر مشاهده می‌شود.

**محدودیت‌ها و عیب‌ها:** این روش دارای محدودیت‌ها و عیب‌هایی است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- ۱- به دلیل نیاز به کوره‌های خشک‌کن، تجهیزات و لوازم بیشتری مورد لزوم است.
- ۲- برای تولید تعداد معینی قطعه به دلیل این که سیکل عملیات طولانی‌تر است، نسبت به روش ماسه‌ی تر به درجه و تجهیزات بیشتری نیاز است.
- ۳- سرعت تولید در این روش کم است.
- ۴- سرعت انجماد این روش نسبت به روش ماسه‌ی تر کمتر می‌باشد.

#### ۴-۶- ریخته‌گری در قالب‌های $CO_2$ (دی اکسید کربن)

در فرآیند دی اکسید کربن، به جای استفاده از خاک (بنتونیت، ...) به عنوان چسب از سیلیکات سدیم استفاده شده و قالب و ماهیچه را توسط گاز  $CO_2$  خشک و مستحکم می‌نمایند.

۱-۴-۶- ویژگی‌ها: توسط این روش می‌توان قالب یا ماهیچه را با سرعت زیاد و در عرض چند دقیقه تولید نمود. قالب‌ها از استحکام بالایی برخوردار بوده و نیازی به خشک کردن ندارند. بیشتر قطعه‌هایی که در روش‌های دیگر به تجهیزات و درجه‌های مخصوص نیاز دارند، به منظور حذف این تجهیزات با این روش تولید می‌شوند. استحکام نسبتاً بالای این روش، این امکان را به وجود می‌آورد تا در برخی موارد بتوان حتی قالب‌های بدون درجه و پشت‌بند تهیه و استفاده نمود. در این صورت در مواردی که خط جدایش قالب افقی باشد با بهره‌گیری از وزنه‌ی روی قالب و در صورتی که خط جدایش قائم باشد با استفاده از گیره، دو نیمه‌ی قالب را به هم محکم نموده و عملیات بار ریزی انجام می‌گیرد.

روش دی اکسید کربن برای تمام آلیاژهای معمول ریختگی نظیر آلومینیم، منیزیم و به‌طور وسیع فولادها، چدن‌ها و آلیاژهای مس مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین این روش جهت تولید قطعه‌های با وزن کمتر از یک کیلوگرم تا چندین تن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۴-۶- روش کار: مراحل تهیه قالب به روش  $CO_2$  به این شرح است:

الف - ماسه‌ی خشک (ماسه‌ی سیلیسی) و چسب سیلیکات سدیم (آب شیشه) به نسبت معین توسط مخلوط کن کاملاً مخلوط می‌شوند.

ب - با استفاده از مخلوط تهیه شده، قالب یا ماهیچه با استحکام کم تهیه می‌شود.

ج - توسط دمیدن گاز دی‌اکسید کربن قالب‌ها کاملاً مستحکم می‌شوند به گونه‌ای که استحکام خشک قالب به حدود  $200 \text{ PSI}$  می‌رسد.

عملیات فوق را می‌توان توسط روش‌های دستی و یا کاملاً ماشینی انجام داد. در ادامه‌ی این فصل جزئیات عملیات فوق مورد بررسی قرار گرفته می‌شود.

### ۳-۴-۶- مزیت‌ها و محدودیت‌ها

الف - مزیت‌ها: مهم‌ترین مزیت‌های روش سیلیکات سدیم نسبت به روش‌های دیگر به‌ویژه ماسه‌ی تر از این قرارند:

۱- قالب‌گیری و ماهیچه‌سازی با این روش شبیه عملیات قالب‌گیری و ماهیچه‌گیری به روش ماسه‌ی تر و خشک می‌باشد، لذا با تجهیزات موجود در کارگاه عملی است.

۲- به دلیل بالا بودن استحکام، نیاز به تقویت نمودن قالب (آرماتوربندی و قانجاق‌گذاری) ندارد.

۳- این روش نیاز به تجهیزات گران‌قیمت ندارد. سیلیکات سدیم را توسط دستگاه‌های مخلوط‌کن معمولی با ماسه مخلوط می‌کنند از طرف دیگر دی‌اکسید کربن در دسترس بوده و تجهیزات گازدهی نیز ارزان‌قیمت می‌باشد.

۴- ماهیچه‌ها و قالب‌ها بلافاصله پس از ساخت قابل استفاده می‌باشند و نیازی به خشک کردن ندارند.

۵- فضای لازم کارگاهی حداقل می‌باشد.

۶- هزینه‌های غیرمستقیم کارگری کم است.

۷- دقت ابعادی قالب‌ها و ماهیچه‌ها نسبت به روش‌های دیگر زیاد است.

ب - محدودیت‌ها: مهم‌ترین محدودیت‌ها و عیب‌های این روش عبارتند از:

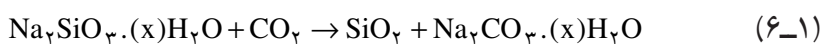
۱- قالب‌ها و ماهیچه‌های مورد نیاز نسبت به روش ماسه‌ی تر گران‌تر است.

۲- عمر مفید مخلوط ماسه و دی‌اکسید کربن نسبت به سایر مخلوط ماسه‌ی قالب و ماهیچه کمتر است.

۳- قالب‌ها و ماهیچه‌های تهیه شده از مخلوط ماسه و سیلیکات سدیم اگر بیش از ۲۴ ساعت انبار شوند به مرور استحکام و کیفیت خود را از دست می‌دهند.

۴- در مقایسه با دیگر ماهیچه‌ها و قالب‌ها، قابلیت از هم پاشیدگی پس از ریخته‌گری آن کمتر است.  
 ۴-۴-۶ واکنش سیلیکات سدیم و دی‌اکسیدکربن: سیلیکات سدیم (آب شیشه) به‌صورت مایع غلیظ بوده که توسط مخلوط‌کن‌های معمولی می‌توان آن را به‌طور یکنواخت در اطراف ذرات ماسه پخش نمود. ذرات ماسه‌ی پوشیده شده از سیلیکات سدیم، در داخل درجه و اطراف مدل کوبیده می‌شود (مانند عملیات کوبیدن در روش ماسه‌ی تر). در این حالت مخلوط ماسه از استحکام کمی برخوردار است.

در این مرحله گاز دی‌اکسیدکربن به داخل مخلوط ماسه دمیده می‌شود. این عمل باعث می‌شود استحکام ماسه چندین برابر افزایش یابد. واکنش انجام شده بدین قرار است:



که در آن x می‌تواند ۳، ۴ یا ۵ باشد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود محصول تولید شده در واکنش ۶-۱ کربنات سدیم هیدراته می‌باشد و به این ترتیب استحکام ماسه افزایش می‌یابد.

نکته مهم در این‌جا این است که شبیه به همین عملیات ممکن است بین مخلوط ماسه و گاز  $\text{CO}_2$  موجود در هوا انجام شود البته سرعت فعل و انفعال بسیار کند است. به هر حال همان‌گونه که در قسمت ۳-۴-۶ گفته شد عمر مفید مخلوط ماسه و سیلیکات سدیم کم است چرا که در مدت چند ساعت به تدریج مخلوط ماسه با دی‌اکسیدکربن موجود در محیط واکنش ۶-۱ را انجام داده و مخلوط ماسه خود به خود سخت شده و بلااستفاده می‌گردد.

۵-۴-۶- مخلوط ماسه‌ی قالب‌گیری: مخلوط ماسه‌ی قالب‌گیری و ماهیچه‌سازی در روش سیلیکات سدیم معمولاً شامل ماسه‌ی سیلیسی، سیلیکات سدیم و دو یا چند افزودنی می‌باشد. ماسه: ماسه‌ی مورد استفاده در فرآیند سیلیکات سدیم سیلیس با عدد ریزی حدود ۵۵ تا ۸۵ (AFS) می‌باشد. البته ماسه‌های دیگر مانند ماسه‌ی زیرکنی و اولوینی نیز ممکن است استفاده شود. در مورد مشخصات ماسه‌ی قالب‌گیری در فصل سوم بحث شد در این‌جا به چند نکته‌ی مهم در مورد ماسه‌ی مورد استفاده در روش سیلیکات سدیم اشاره می‌شود.

الف - ماسه‌ی مورد استفاده بایستی همیشه خشک و عاری از رطوبت باشد حداکثر رطوبت مجاز ۲۵/۰ درصد است.

ب - باید ماسه تا حد امکان تمیز باشد چرا که در غیر این‌صورت مصرف چسب (سیلیکات سدیم) افزایش می‌یابد.

ج - ماسه بایستی عاری از ناخالصی‌ها به‌خصوص مواد آهکی باشد؛ زیرا آهک می‌تواند با سیلیکات سدیم واکنش داشته باشد و اثرات آن را کاهش دهد.

د - مانند دیگر فرآیندهای قالب‌گیری و ماهیچه‌سازی با گوشه‌دار شدن ماسه و نیز کاهش اندازه‌ی ماسه، مقدار مصرف چسب (سیلیکات سدیم) افزایش می‌یابد. به عنوان مثال ماسه با عدد ریزی ۵۵ نیاز به ۳ درصد وزنی سیلیکات سدیم دارد در حالی که ماسه‌ای با عدد ریزی ۸۵ (AFS)، ۴/۵ درصد وزنی سیلیکات سدیم نیاز دارد.

سیلیکات سدیم: ترکیب اصلی سیلیکات سدیم که به‌عنوان چسب در روش  $\text{CO}_2$  استفاده می‌شود، در فرمول ۲-۶ آمده است.

$$(۲-۶) \quad ۲۶ \text{ تا } ۶۴ \text{ درصد سیلیس } (\text{SiO}_2) + ۱۷ \text{ تا } ۶۷ \text{ درصد آب } (\text{H}_2\text{O})$$

۷ تا ۲۸ درصد اکسید سدیم ( $\text{Na}_2\text{O}$ )

معمولاً مشخصه‌ی سیلیکات سدیم به‌وسیله‌ی نسبت وزنی سیلیس به اکسید سدیم نشان داده

می‌شود. پرمصرف‌ترین سیلیکات سدیم در محدوده‌ی نسبت‌های وزنی بین  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{1}{2}$  تا

$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{1/2}{2}$  می‌باشد. بیشتر فلزات در برابر خوردگی توسط سیلیکات سدیم مقاوم می‌باشند لذا

به راحتی می‌توان سیلیکات سدیم را در بشکه‌های فولادی نگهداری نمود. در صورت باز بودن سر بشکه، به منظور جلوگیری از ایجاد یک پوسته‌ی ضخیم در سطح سیلیکات سدیم بهتر است یک لایه‌ی فیلم نازک روغنی در سطح ایجاد نمود.

افزودنی‌ها: به منظور بهبود بخشیدن به خواص مخلوط ماسه و سیلیکات سدیم از مواد افزودنی مختلف استفاده می‌شود. به عنوان نمونه می‌توان خاک رس کائولن، اکسید آلومینیم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ملاس چغندر قند را نام برد.

خاک کائولن: باعث تغییر نقطه ذوب مخلوط  $\text{SiO}_2$  و  $\text{Na}_2\text{O}$  به  $81^\circ\text{C}$  شده و نیز پایداری ماسه را افزایش می‌دهد.

اکسید آلومینیم: سبب افزایش استحکام چسب در درجه‌ی حرارت حدود  $81^\circ\text{C}$  می‌شود. ملاس چغندر خاصیت از هم پاشیدگی ماسه پس از ریخته‌گری را بهبود می‌بخشد. در صورت عدم استفاده از ملاس مشکلات زیادی در هنگام تخلیه‌ی قالب و ماهیچه به‌وجود می‌آید. یک نمونه مخلوط ماسه برای قالب و ماهیچه به این شرح می‌باشد:

سیلیکات سدیم	۳/۳ درصد
خاک رس کائولن	۱/۷ درصد
اکسید آلومینیم (۳۲۵ تا ۶۰۰ مش)	۱/۷ درصد
ملاس چغندر	۲ درصد
ماسه با عدد ریزی ۷۰	باقیمانده

ترکیب ذکر شده در بالا یکی از چندین نوع ترکیب مخلوط ماسه است که مورد استفاده ریخته‌گری به خصوص آلیاژهای آهنی می‌باشد.

**۶-۴-۶- آماده سازی ماسه:** در روش  $\text{CO}_2$ ، ماسه، سیلیکات سدیم و افزودنی‌ها را توسط مخلوط‌کن‌های معمولی با هم مخلوط می‌کنند. درجه‌ی حرارت در مخلوط شدن مناسب مؤثر است. در درجه‌ی حرارت پایین گرانروی سیلیکات سدیم افزایش می‌یابد بنابراین با افزایش درجه‌ی حرارت مخلوط شدن بهتر انجام می‌شود. عملیات مخلوط کردن معمولاً بین ۳ تا ۵ دقیقه به طول می‌انجامد. در این عملیات معمولاً در ابتدا ماسه و مواد افزودنی با هم مخلوط شده و سپس سیلیکات سدیم به مخلوط فوق اضافه شده و عملیات مخلوط کردن ادامه می‌یابد. یک سیکل مخلوط کردن از این قرار است. الف - ملاس چغندر به ماسه اضافه می‌شود و به مدت یک دقیقه با هم مخلوط می‌شوند.

ب - خاک رس کائولن و اکسید آلومینیم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) به مخلوط اضافه می‌شود و به مدت ۲ دقیقه مخلوط می‌شود.

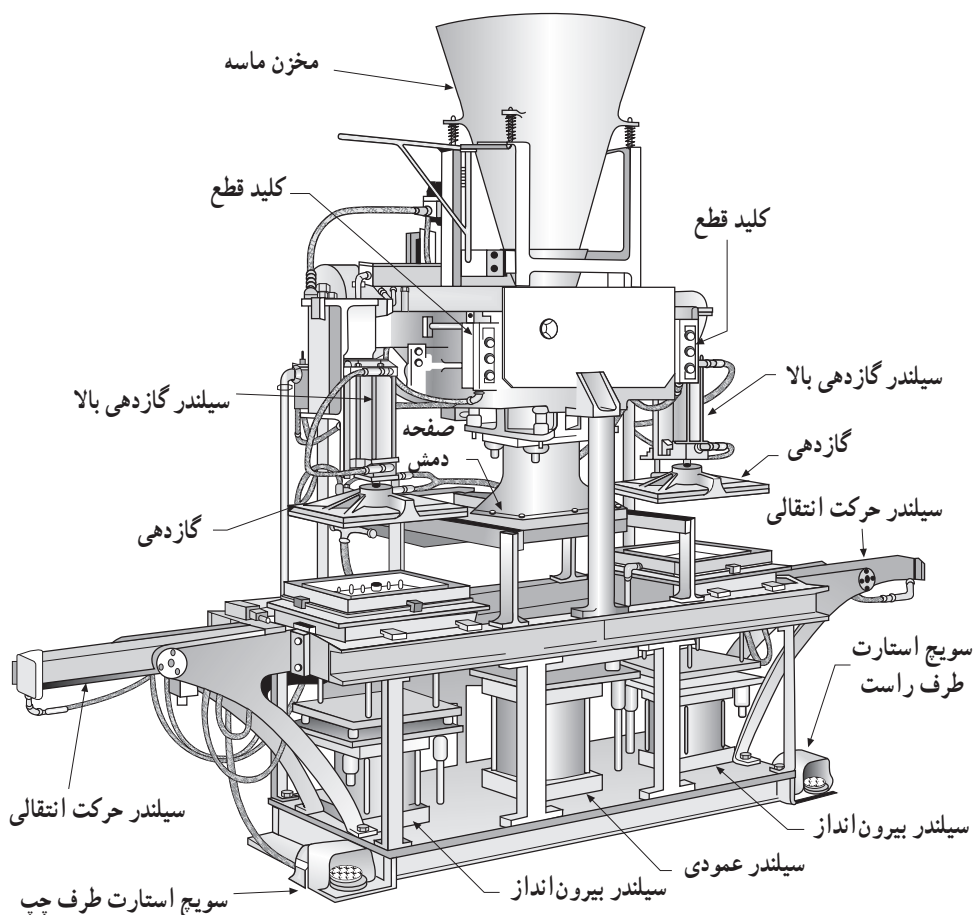
ج - سیلیکات سدیم به مخلوط فوق اضافه شده و به مدت یک دقیقه مخلوط می‌شوند. لازم به تذکر است که هر مقدار بتوان زمان مخلوط کردن را کاهش داد بدون این که در کیفیت مخلوط اثر بگذارد، نتایج مطلوب‌تر خواهد بود. برعکس با افزایش زمان مخلوط کردن ماسه خشک شده و کیفیت کاهش می‌یابد.

راندمان خوب در روش  $\text{CO}_2$  به مقدار زیادی بستگی به برنامه‌ریزی دقیق در نحوه‌ی مخلوط کردن و قالب‌گیری دارد. در صورتی که مخلوط آماده شده مدت طولانی بلااستفاده انبار شود، به تدریج خود به خود سخت شده و کیفیت آن کاهش می‌یابد. بنابراین بایستی سعی کرد که مخلوط ماسه را پس از آماده شدن بلافاصله استفاده نموده و اگر بنا به دلایلی نیاز به نگهداری ماسه در زمان‌های نسبتاً طولانی باشد، مخلوط ماسه باید با یک پارچه‌ی نم‌دار پوشانده شود تا بتوان کیفیت آن را تا حدودی حفظ نمود.

**۶-۴-۷- روش تولید و تجهیزات مورد استفاده برای ساخت قالب و ماهیچه:** فرآیند قالب‌گیری و ماهیچه‌سازی به روش  $\text{CO}_2$ ، همانند روش‌های توضیح داده شده در ۶-۲-۲ می‌باشد

(روش‌های قالب‌گیری دستی، ماشینی ضربه‌ای، ضربه‌ای فشاری، ماسه‌پران و...) از طرف دیگر مدل و ماهیچه مورد استفاده مانند روش ماسه‌ی تر می‌باشد و در نتیجه همان عامل‌ها در انتخاب مدل و ماهیچه مؤثر می‌باشد.

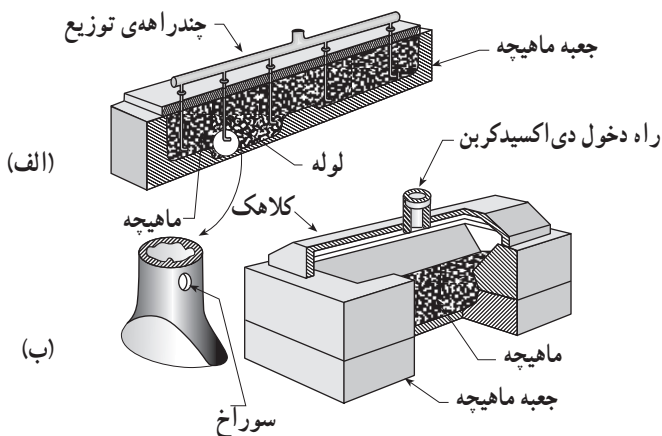
به‌طور کلی مخلوط ماسه‌ی سخت شده به مدل نمی‌چسبد و در صورت نیاز به مواد جدایش می‌توان از آب استفاده نمود. اگر چه به‌دلیل سادگی روش  $CO_2$  در کارگاه‌های کوچک و برای تعداد کم قطعات قابل استفاده است، در عین حال جهت تولید انبوه کاربرد زیادی دارد. شکل (۶-۱۲) یک ماشین اتوماتیک که شامل مراحل پرتاب ماسه، کوبیدن ماسه، گازدهی و خارج‌کننده‌ی قالب و ماهیچه است را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱۲- ماشین اتوماتیک دمیدن ماسه و گازدهی برای تولید قالب و ماهیچه‌ی کوچک به تعداد زیاد

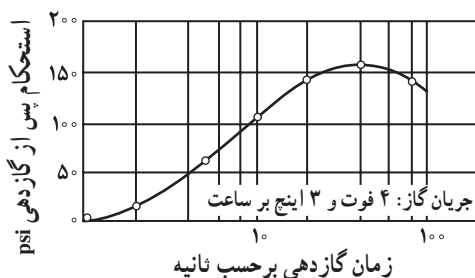


در این نوع ماشین به دلیل این که زمان گازدهی بیشتر از زمان قالب گیری است، لذا یک جایگاه برای قالب گیری و دو جایگاه برای گازدهی در آن در نظر گرفته شده است. هنگامی که هدف تولید قطعه ها به تعداد کم و یا قطعه های بزرگ و یا هر دوی آنها باشد، روش های گازدهی متفاوت است. شکل (۶-۱۳) تجهیزات گازدهی را نشان می دهد.



شکل ۶-۱۳- دو روش جهت گاز دهی ماهیچه  
الف - گازدهی توسط لوله ی چند شاخه      ب - استفاده از کلاهک گازدهی ماهیچه های کوچک

فشار گاز در داخل بین ۲۰ تا ۴۰ PSI می باشد که بستگی به ضخامت سطح مقطعی دارد که باید گازدهی شود. در هر صورت موضوع مهم زمان تماس گاز و مخلوط ماسه است بنابراین از فشار جهت نفوذ بهتر گاز و تماس گاز و ماسه استفاده می شود. دمیدن گاز بیش از اندازه نیز باعث کاهش استحکام ماسه می شود. منحنی ۶-۱۴ اثر زمان دمیدن گاز را روی استحکام ماسه نشان می دهد.



نمونه مورد آزمایش گازدهی از مخلوط ماسه ای با ترکیب زیر می باشد:  
۳۳ درصد سیلیکات سدیم، ۱/۷ درصد اکسید آلومینیم، ۱/۷ درصد خاک کانولین، ۲ درصد ملاس جفندر

شکل ۶-۱۴- تأثیر زمان گازدهی بر استحکام ماهیچه

مقدار گاز مورد استفاده همیشه از مقدار قابل محاسبه در فرمول (۶-۱) کمتر است چرا که واکنش هرگز کامل نمی‌شود. از طرف دیگر در برخی موارد گاز تلفات زیادی دارد که به هر حال محاسبه مقدار لازم مشکل می‌باشد. به طور کلی تجربه ثابت کرده که هر کیلوگرم دی‌اکسید کربن جهت گازدهی ۵۰ الی ۱۰۰ کیلوگرم ماسه کافی است.

درجه‌ی حرارت در میزان مصرف گاز نقش مهمی دارد و معمولاً در فصل زمستان میزان مصرف بالا می‌رود و از طرف دیگر گاز  $CO_2$  هنگام خروج باعث سرد و یخ‌زدن سیستم گازدهی می‌شود. بنابراین بایستی از یک سیستم گرم‌کننده استفاده نمود تا درجه‌ی حرارت گاز خروجی به درجه حرارت محیط برسد.

## ۵-۶- ریخته‌گری در قالب‌های پوسته‌ای

تعریف: ریخته‌گری در قالب‌های پوسته‌ای به فرآیندی اطلاق می‌شود که در آن قالب از مخلوط ماسه با یک چسب رزینی (گرماسخت) به روی مدل فلزی گرم شده شکل می‌گیرد. هنگامی که مخلوط ماسه در اثر تماس با مدل فلزی گرم شد، رزین ذوب شده و اطراف ذرات ماسه را می‌گیرد و باعث چسبیدن ذرات ماسه به یکدیگر می‌شود. بدین طریق یک نیمه‌ی قالب کاملاً سخت و مستحکم، تهیه می‌شود. در این مرحله عملیات ماهیچه‌گذاری در داخل قالب انجام شده و دو نیمه قالب توسط نگهدارنده به هم محکم می‌شوند.

۵-۶- مزایا و محدودیت‌ها: روش قالب‌گیری پوسته‌ای به منظور تولید انبوه قطعات آهنی و غیرآهنی، از چند گرم تا ۲۰۰ کیلوگرم به کار می‌رود، حتی در برخی موارد محدود قطعاتی تا وزن ۵۰۰ کیلوگرم نیز به این روش تولید شده است. مهم‌ترین مزایا و محدودیت‌های این روش عبارتند از:

### الف - مزایا

- دقت ابعادی قطعات تولید شده به این روش در مقایسه با فرآیند ماسه‌ی تر بیشتر بوده لذا عملیات ماشین‌کاری کاهش می‌یابد.

- صافی سطح نسبت به روش ماسه‌ی تر بهتر است.

- مصرف ماسه در این روش نسبت به فرآیند ماسه‌ی تر کمتر است.

### ب - محدودیت‌ها و معایب

- در اندازه و وزن قطعات ریخته‌گری محدودیت وجود دارد.

- هزینه ساخت مدل در این روش زیاد بوده چرا که بایستی حتماً از فلز تهیه و ماشین کاری شود.
- قیمت چسب (رزین) در این روش بالا است.
- در سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری در این روش محدودیت وجود دارد. حداقل باید قسمتی از سیستم راهگاه و تغذیه در قالب تعبیه شود.
- این روش نیاز به تجهیزات گران قیمت دارد.

۲-۵-۶- اجزای مخلوط ماسه و خواص آن: مخلوط ماسه‌ی قالب‌گیری در روش پوسته‌ای همانند روش‌های دیگر از چند جزء تشکیل شده است که ماسه، چسب (رزین‌ها) و مواد روان کننده اجزای اصلی آن می‌باشند.

الف- ماسه: ماسه‌ی مورد استفاده در فرآیند پوسته‌ای سیلیسی و یا زیرکونی با درجه‌ی خلوص زیاد و مواد آلی و خاک رس کم می‌باشد. در صورت لزوم ماسه به منظور کاهش درصد مواد آلی و خاک رس شسته می‌شود. این عمل سبب کم شدن مصرف چسب (رزین) می‌شود. در صورتی که مواد آلی و خاک رس در ماسه زیاد باشد به منظور دستیابی به استحکام کافی، مقدار مصرف رزین افزایش می‌یابد.

به جز در مورد آلیاژهای آلومینیم بهترین نتیجه هنگامی به دست می‌آید که اندازه‌ی دانه‌های ماسه یکنواخت‌تر باشد. در مورد قطعات ریختگی آلومینیم، اندازه‌ی دانه‌های ماسه بایستی چهار نوع باشد. ماسه در روش رزین سرد بایستی کاملاً خشک شده باشد زیرا رطوبت باعث باد کردن رزین شده و در نتیجه خاصیت پوششی رزین بر ماسه کاهش می‌یابد. در روش استفاده از رزین گرم، رطوبت مشکل بزرگی نبوده چرا که به هنگام گرم شدن ماسه، رطوبت گرفته می‌شود.

ب- رزین‌ها: رزین‌های مصنوعی که در روش قالب‌گیری پوسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد از نوع رزین‌های ترموپلاستیک بوده که به آن موادی اضافه می‌شود تا مشخصات گرما سخت را پیدا نماید.

رزین‌های فنل فرمالدئید با افزایش مقدار کمی هگزامین به آن‌ها حالت گرما سخت می‌یابند، این رزین‌ها در فرآیند قالب‌گیری پوسته‌ای بیشترین کاربرد را دارند، زیرا هنگامی که با ماسه مخلوط شوند، بیشترین استحکام، مقاومت به حرارت و رطوبت را دارا می‌باشند.

ج- مواد روان‌کننده: از مواد روان‌کننده به منظور تسهیل در جدا شدن قالب از مدل و نیز بهبود بخشیدن به خاصیت روانی ماسه، استفاده می‌شود. مواد روان‌کننده همچنین باعث افزایش استحکام کششی قالب می‌شوند، زیرا مخلوط ماسه دارای چگالی بالاتری خواهد شد. این مواد

معمولاً استئارات کلسیم<sup>۱</sup> و روی می‌باشند.

مقدار موردنیاز مواد روان‌کننده معمولاً بین ۲ تا ۵ درصد مقدار رزین است. البته در حالت‌های خاص ممکن است مقدار آن به ۹ درصد مقدار رزین هم برسد.

۳-۵-۶- تهیه مخلوط ماسه و رزین: مخلوط ماسه و رزین برای قالب‌های پوسته‌ای به دو روش تهیه می‌شود.

الف- مخلوط کردن ماسه و رزین: در این روش ماسه و رزین را به طریق معمول مخلوط‌کن‌ها به صورت خشک با هم مخلوط می‌کنند. اگرچه این روش ساده و در دسترس می‌باشد ولی امکان جدا شدن رزین و ماسه در آن وجود دارد و به همین دلیل استفاده از مخلوط ماسه و رزین برای روش‌هایی که در آن توسط دمیدن ماسه، قالب پر می‌گردد، امکان‌پذیر نبوده و فقط برای تهیه قالب‌های dump-box استفاده می‌شود.

ب- پوشش دادن ماسه با رزین: در این روش ماسه توسط رزین پوشش داده می‌شود. این پوشش با مخلوط کردن ماسه، رزین، کاتالیست (هگزامین) و مواد روان‌کننده توسط مخلوط‌کن انجام می‌شود. نحوه‌ی مخلوط کردن متفاوت است، ممکن است بعضی از اجزای مخلوط به صورت مایع باشند اما هنگامی که از مخلوط‌کن ماسه‌ی پوشش داده شده خارج می‌شود، بایستی کاملاً خشک و عاری از رطوبت باشد. لازم به یادآوری است که خشک بودن ماسه باعث روانی و تسهیل در قالب‌گیری می‌شود. پوشش دادن ماسه ممکن است به دو روش سرد و گرم انجام شود.

روش پوشش سرد: در این روش ماسه همراه با رزین مایع در درجه‌ی حرارت محیط با اجزای دیگر مخلوط می‌شوند. مهم‌ترین مزیت این روش حذف تجهیزات مربوط به گرم کردن ماسه و نیز امکان کنترل ساده‌تر استحکام و نقطه‌ی ذوب ماسه‌ی پوشش داده شده می‌باشد، و از معایب آن نیاز به حمل مقدار زیادی رزین مایع و نیاز به خارج کردن مایعات از مخلوط ماسه‌ی تهیه شده و نیز امکان آتش‌سوزی می‌باشد.

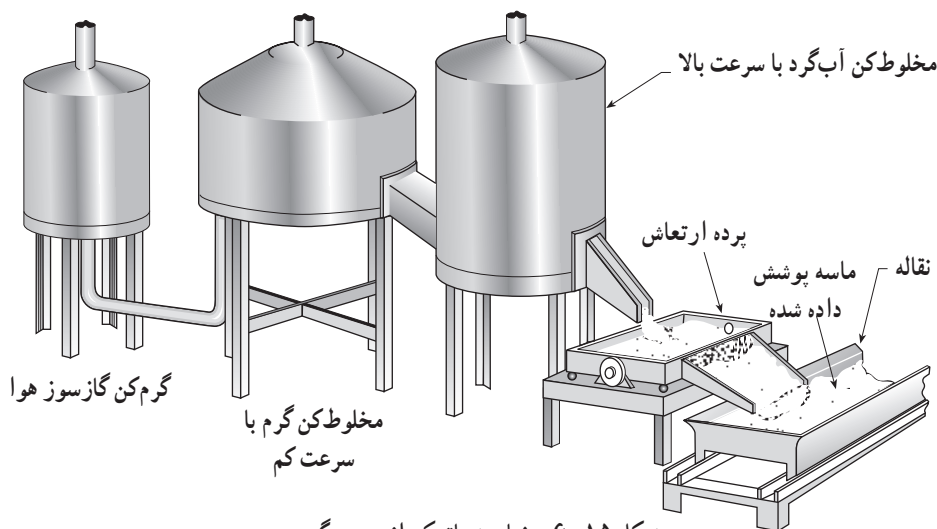
در این فرآیند تمام اجزای ماسه هنگامی که به مخلوط‌کن اضافه می‌شوند در درجه‌ی حرارت محیط قرار دارند اگر به هر صورت ماسه یا رزین خیلی سرد شده باشند، امکان تهیه ماسه‌ی پوشش داده شده‌ی مناسب کاهش می‌یابد و برعکس اگر درجه‌ی حرارت مواد خیلی بالا رفته باشد، رزین قبل از این که بتواند ماسه را پوشش بدهد سخت می‌شود.

روش پوشش گرم: در این روش ماسه و رزین در درجه حرارت بین ۱۲۰ تا ۱۳۵ درجه‌ی

<sup>۱</sup>- Calcium Stearate

سانتی گراد با هم مخلوط می شوند (شکل ۱۵-۶). این روش حداقل سه مزیت نسبت به روش سرد دارد.

- اول این که استحکام کششی ماسه‌ی پوشش داده شده حدود ۲۵ درصد افزایش می یابد.
- دوم این که گرد و غبار در این روش کمتر است.
- سوم این که به دلیل عدم استفاده از الک امکان آتش سوزی در آن کمتر است.



شکل ۱۵-۶- نمای شماتیک از روش گرم

۴-۵-۶- عملیات تهیه‌ی قالب و ماهیچه: به منظور تولید قالب و ماهیچه‌ی پوسته‌ای ماشین‌های مختلفی وجود دارد که از نظر جزئیات عملیاتی و درجه‌ی اتوماسیون با هم تفاوت دارند. در تمام این ماشین‌ها طراحی به گونه‌ای انجام یافته که دو عامل مهم «درجه‌ی حرارت» و «زمان» تحت کنترل دقیق باشد.

بدون توجه به نوع ماشین و درجه‌ی اتوماسیون، چند مرحله‌ی اصلی در تهیه‌ی قالب در تمامی آن‌ها وجود دارد که به ترتیب عملیات عبارتند از:

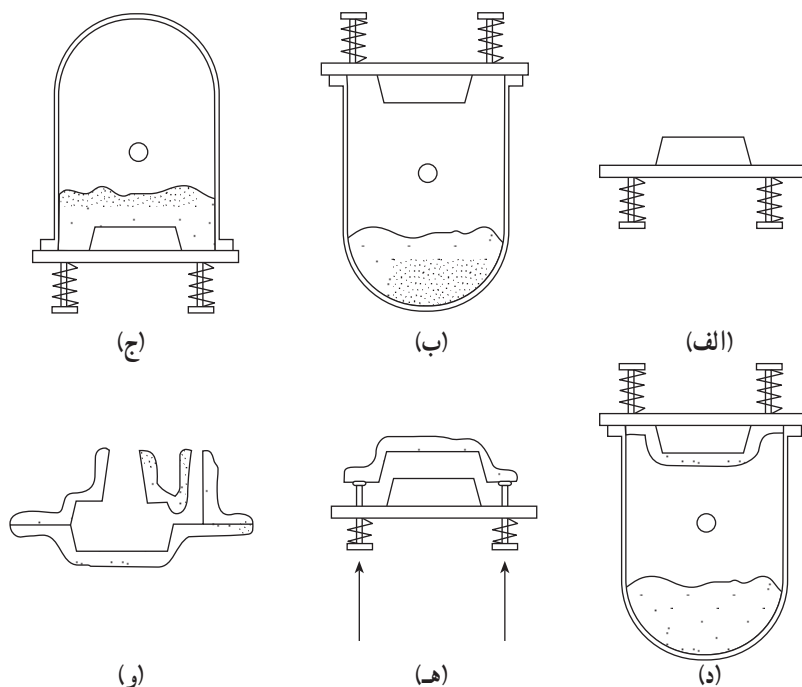
الف - مخلوط ماسه، رزین و دیگر مواد با مدل فلزی گرم شده در تماس قرار می گیرند. این عمل ممکن است توسط روش مخزن جعبه‌ای و یا روش دمیدن انجام شود. در این روش مقدار مخلوط ماسه خیلی بیشتر از مقدار مورد نیاز می باشد (شکل ۱۶-۶). رزین‌ها در تماس با مدل گرم، ذوب شده و باعث چسبیدن ذرات ماسه به هم و نیز به مدل می شوند. درجه‌ی حرارت و زمان با توجه به ضخامت پوسته‌ی مورد نیاز تنظیم می شود (شکل ۱۶-۶c).

ب- هنگامی که ضخامت پوسته به اندازه‌ی مورد نظر رسید، مدل  $18^{\circ}$  می‌چرخد (شکل d-  
۶-۱۶) و مخلوط ماسه‌ی اضافی به داخل مخزن برمی‌گردد.

ج- در این مرحله عملیات پختن ماسه انجام می‌شود. پوسته روی مدل گرم مدتی باقی می‌ماند تا پختن کامل شود.

د- پس از پایان عملیات پخت، قالب پوسته‌ای توسط سیستم بیرون انداز از مدل جدا می‌شود (شکل e-۶-۱۶).

ه- در عملیات پایانی، ماهیچه‌ها در داخل قالب قرار می‌گیرند و سپس نیمه‌های قالب پوسته‌ای به وسیله‌ی چسب مناسب دقیقاً به هم متصل می‌شوند. در این حالت قالب آماده‌ی بارریزی است.



شکل ۶-۱۶- عملیات اصلی در قالب‌گیری پوسته‌ای

(الف) مدل صفحه‌ای (ب) مدل صفحه‌ای مونتاژ شده روی مخزن جعبه‌ای (ج) عملیات چسباندن ذرات ماسه به هم و به مدل (د) عملیات برگرداندن مدل و ریختن قالب (ه) عملیات جدا کردن قالب از مدل (و) عملیات جفت کردن قالب.

۵-۶- روش‌های قالب‌گیری پوسته‌ای: به طور کلی در قالب‌گیری پوسته‌ای دو روش وجود دارد. روش مخزن جعبه‌ای<sup>۱</sup>، روش دمشی<sup>۲</sup>.

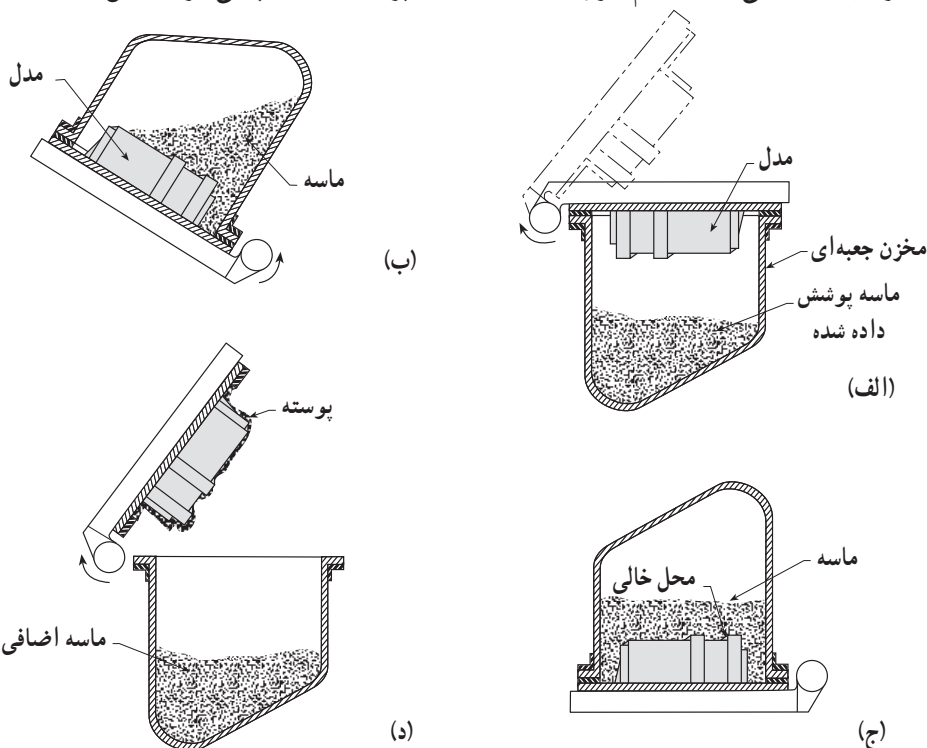
۱- Dump - Box Molding

۲- Molding Blowing

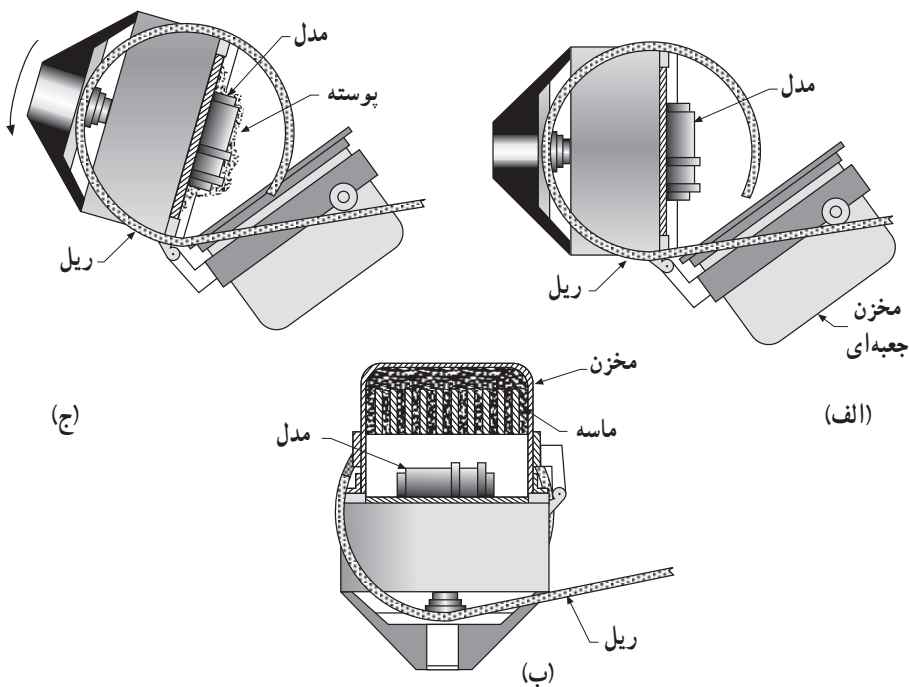
الف - قالب‌گیری مخزن جعبه‌ای: روش مخزن جعبه‌ای کاربرد وسیعی دارد. مهم‌ترین مزایای مخزن جعبه‌ای عبارتند از:

- ساده بودن عملیات
- ارزان‌تر بودن تجهیزات
- کمتر بودن مواد دورریز قالب
- کنترل بهتر سختی قالب
- عیوب ریختگی در آن کمتر است.

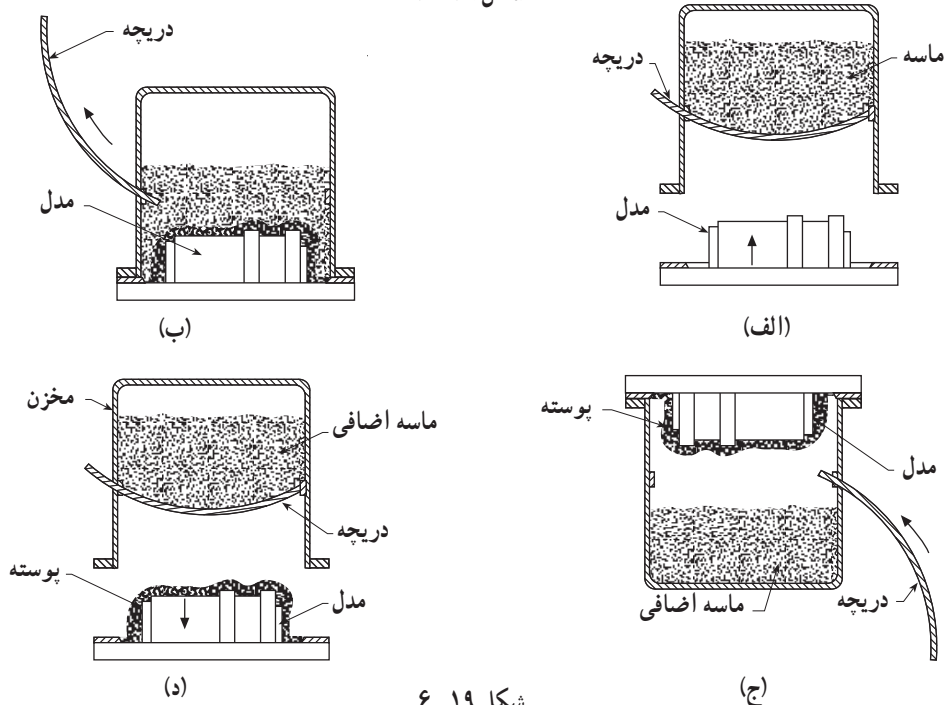
شکل‌های (۶-۱۷، ۶-۱۸، و ۶-۱۹) سه نوع فرآیند مختلف از روش مخزن جعبه‌ای را نشان می‌دهند. اگر مانند شکل (۶-۱۷) مدل و مخزن جعبه‌ای  $180^\circ$  حول محور خود بچرخند (۶-۱۷-الف)، ماسه روی مدل به تدریج لغزیده و آن را پر می‌کند (۶-۱۷-ب)، (۶-۱۷-ج) در صورتی که مدل دارای گوشه‌های تیز باشد ممکن است در گوشه‌ها جای خالی ایجاد شود. این پدیده در شکل (۶-۱۷-د) نشان داده شده است. این عیب به دلیل نحوه‌ی حرکت و نیز سرعت کم ماسه است. وجود جاهای خالی باعث به هم خوردن دقت ابعادی و پوسته شدن قالب می‌شود (شکل ۶-۱۷-د).



شکل ۶-۱۷



شکل ۱۸-۶

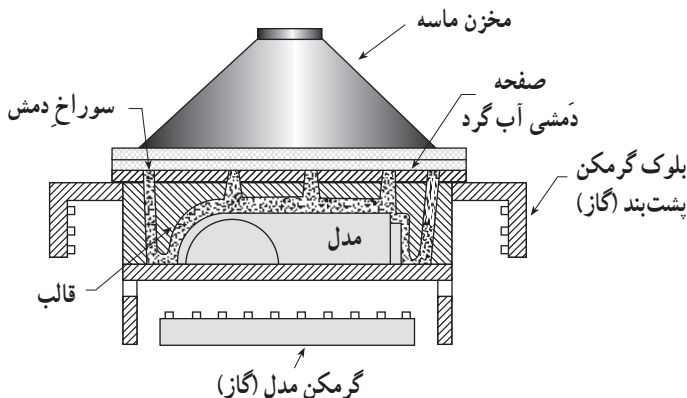


شکل ۱۹-۶

شکل‌های ۱۷-۶، ۱۸-۶ و ۱۹-۶ روش‌های ریخته‌گری در قالب پوسته‌ای



ب- روش دمشی قالب: قالب‌های پوسته‌ای را همچنین می‌توان با دمیدن ماسه روی سطح گرم شده به‌دست آورد. شکل (۶-۲۰) به‌طور شماتیک نوعی از این‌گونه ماشین‌ها را نشان می‌دهد. مخلوط ماسه از منافذ مخصوص روی قالب گرم شده، دمیده می‌شود.



شکل ۶-۲۰- روش دمشی ریخته‌گری پوسته‌ای

مهم‌ترین مشکل این روش بالا رفتن وزن قالب است به‌گونه‌ای که قالب‌های تهیه شده دو تا سه برابر قالب‌های روش مخزن جعبه‌ای است. بالا رفتن هزینه‌های ساخت و تعمیر و نگهداری قالب، مسدود شدن منافذ عبور ماسه به دلیل مرطوب بودن ماسه و نیاز به مواد افزودنی از دیگر محدودیت‌های این روش است.

## ۶-۶- روش ریخته‌گری دقیق<sup>۱</sup>

تعریف: ریخته‌گری دقیق به روشی اطلاق می‌شود که در آن قالب با استفاده از پوشاندن مدل‌های از بین‌رونده توسط دوغاب سرامیکی ایجاد می‌شود. مدل (که معمولاً از موم یا پلاستیک است) توسط سوزاندن یا ذوب کردن از محافظه‌ی قالب خارج می‌شود.

ویژگی: در روش‌های قالب‌گیری در ماسه، مدل‌های چوبی یا فلزی به‌منظور تعبیه‌ی شکل قطعه در داخل مواد قالب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این‌گونه روش‌ها مدل‌ها قابلیت استفاده مجدد را دارند ولی قالب فقط یک بار استفاده می‌شود. در روش دقیق هم مدل و هم قالب فقط یک بار استفاده می‌شود.

<sup>۱</sup> - Investment casting

## ۱-۶-۶- مزایا و محدودیت‌ها

**الف - مزایا:** مهم‌ترین مزایای روش ریخته‌گری دقیق عبارتند از :

- تولید انبوه قطعات با اشکال پیچیده که توسط روش‌های دیگر ریخته‌گری نمی‌توان تولید نمود توسط این فرآیند امکان‌پذیر می‌شود.

- مواد قالب و نیز تکنیک بالای این فرآیند، امکان تکرار تولید قطعات با دقت ابعادی و صافی سطح یکنواخت را می‌دهد.<sup>۱</sup>

- این روش برای تولید کلیه فلزات و آلیاژهای ریخته‌گری به کار می‌رود. همچنین امکان تولید قطعاتی از چند آلیاژ مختلف وجود دارد.

- توسط این فرآیند امکان تولید قطعاتی با حداقل نیاز به عملیات ماشین‌کاری و تمام‌کاری وجود دارد. بنابراین محدودیت استفاده از آلیاژهای با قابلیت ماشین‌کاری بد از بین می‌رود.

- در این روش امکان تولید قطعات با خواص متالورژیکی بهتر وجود دارد.

- قابلیت تطابق برای ذوب و ریخته‌گری قطعات در خلأ وجود دارد.

- خط جدایش قطعات حذف می‌شود و نتیجتاً موجب حذف عیوبی می‌شود که در اثر وجود خط جدایش به وجود می‌آید.

**ب - مهم‌ترین محدودیت‌های روش ریخته‌گری دقیق عبارتند از :**

- اندازه و وزن قطعات تولید شده توسط این روش محدود بوده و عموماً قطعات با وزن کمتر از ۵ کیلوگرم تولید می‌شود.

- هزینه تجهیزات و ابزارها در این روش نسبت به سایر روش‌ها بیشتر است.

**۲-۶-۶- انواع روش‌های ریخته‌گری دقیق:** در این فرآیند دو روش متمایز در تهیه قالب وجود دارد که عبارتند از روش پوسته‌ای<sup>۲</sup> و روش توپیر<sup>۳</sup>. به طور کلی این دو روش در تهیه مدل با هم اختلاف ندارند بلکه در نوع قالب‌ها با هم تفاوت دارند.

**۳-۶-۶- فرآیند قالب‌های پوسته‌ای سرمایه‌ی در ریخته‌گری دقیق:** برای تولید قطعات ریخته‌گری فولادی ساده‌ی کربنی، فولادهای آلیاژی، فولادهای زنگ‌نزن، مقاوم به حرارت و دیگر آلیاژهایی با نقطه ذوب بالای  $1100^{\circ}\text{C}$  این روش به کار می‌رود، شکل‌های (۲۱-۶ و ۲۲-۶) به طور

۱- «تکرار تولید یکنواخت» خاصیت مهمی در تولید انبوه قطعات ریخته‌گری می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی تولید یکنواخت قطعات از لحاظ خواص مختلف مکانیکی، متالورژیکی و دقت ابعادی می‌باشد.

۲- Shell investment Process

۳- Solid investment Process

شماتیک روش تهیه‌ی قالب را در این فرآیند نشان می‌دهند که به ترتیب عبارتند از :

الف — تهیه‌ی مدل‌ها : مدل‌های مومی یا پلاستیکی توسط روش‌های مخصوص تهیه می‌شوند.

ب — مونتاژ مدل‌ها: پس از تهیه‌ی مدل‌های مومی یا پلاستیکی معمولاً تعدادی از آن‌ها (این تعداد بستگی به شکل و اندازه دارد) حول یک راهگاه به صورت خوشه‌ای مونتاژ می‌شوند (شکل‌های (۶-۲۱) و (۶-۲۴ - ب). در ارتباط با چسباندن مدل‌ها به راهگاه بار ریز روش‌های مختلف وجود دارند که سه روش معمول‌تر است و عبارتند از :

روش اول: محل اتصال در موم مذاب فرو برده می‌شود و سپس به محل تعیین شده چسبانده می‌شود (شکل ۶-۲۳).

روش دوم: این روش که به جوشکاری مومی معروف است بدین ترتیب است که محل‌های اتصال ذوب شده به هم متصل می‌گردند.

روش سوم: روش سوم استفاده از چسب‌های مخصوص است که محل اتصال توسط چسب‌های مخصوص موم یا پلاستیکی به هم چسبانده می‌شود.

روش اتصال مدل‌های پلاستیکی نیز شبیه به مدل‌های مومی می‌باشد.

ج — مدل خوشه‌ای و ضمايم آن در داخل دوغاب سرامیکی فرو برده می‌شود. در نتیجه یک لایه‌ی دوغاب سرامیکی روی مدل را می‌پوشاند (شکل‌های ۶-۲۱ - ج و ۶-۲۲ - مرحله ۴).

د — در این مرحله مدل خوشه‌ای در معرض جریان باران ذرات ماسه‌ی نسوز قرار می‌گیرد، تا یک لایه‌ی نازک در سطح آن تشکیل شود (شکل‌های ۶-۲۱ - د و ۶-۲۲ - مرحله ۵).

ه — پوسته‌ی سرامیکی ایجاد شده در مرحله‌ی قبل کاملاً خشک می‌شود تا سخت و محکم شود و مراحل «ج»، «د»، «ه» مجدداً برای چند بار تکرار می‌شود. تعداد دفعات این تکرار بستگی به ضخامت پوسته‌ی قالب مورد نیاز دارد. معمولاً مراحل اولیه از دوغاب‌هایی که از پودرهای نرم تهیه شده، استفاده شده و به تدریج می‌توان از دوغاب و نیز ذرات ماسه‌ی نسوز درشت‌تر استفاده نمود. صافی سطح قطعه‌ی ریختگی بستگی مستقیم به ذرات دوغاب اولیه و نیز ماسه‌ی نسوز اولیه دارد.

و — مدل مومی یا پلاستیکی توسط ذوب یا سوزاندن از محفظه قالب خارج می‌شوند، به این عملیات موم‌زدایی می‌گویند (شکل‌های ۶-۲۱ - ه و ۶-۲۲ - مرحله ۷). در عملیات موم‌زدایی بایستی توجه نمود که انبساط موم سبب تنش و ترک در قالب نشود.

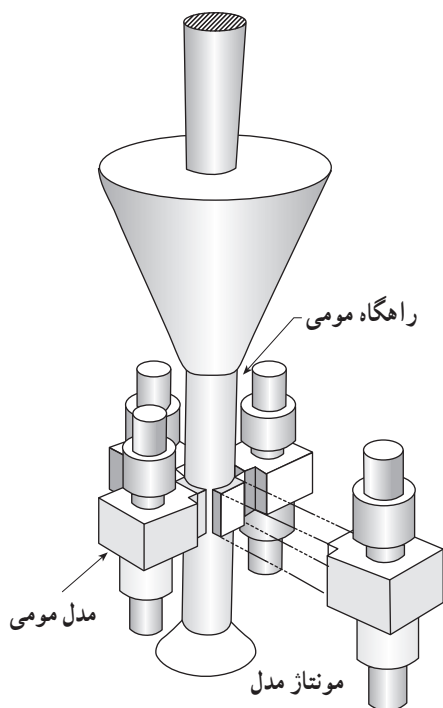
ز — در قالب‌های تولید شده عملیات بارریزی مذاب انجام می‌شود (شکل‌های ۶-۲۱ - و ۶-۲۲ - مرحله ۹).

ح- پس از انجماد مذاب، پوسته سرامیکی شکسته می شود (شکل های ۶-۲۱- ز و ۶-۲۲- مرحله ۱۰).

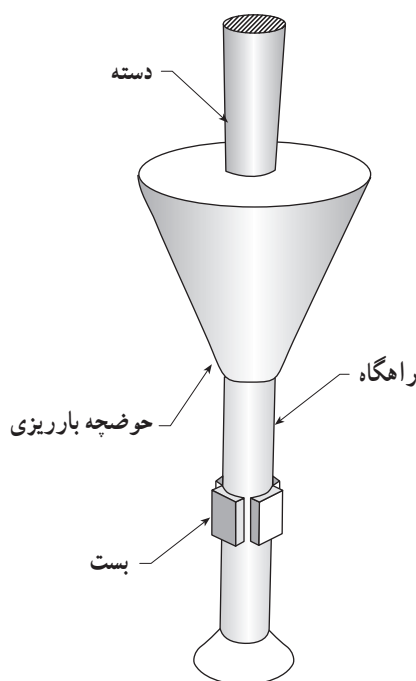
ط- در آخرین مرحله قطعات از راهگاه جدا می شوند (شکل های ۶-۲۱ ح و ۶-۲۲ مرحله ۱۱). مواد نسوز در فرآیند پوسته ای دقیق: نوعی سیلیس به دلیل انبساط حرارتی کم به طور گسترده به عنوان نسوز در روش پوسته ای دقیق مورد استفاده قرار می گیرد. این ماده ی نسوز برای ریخته گری آلیاژهای آهنی و آلیاژهای کبالت مورد استفاده قرار می گیرد.

زیرکنیم شاید بیشترین کاربرد را به عنوان نسوز در فرآیند پوسته ای دارد. این ماده بهترین کیفیت را در سطوح قطعه ایجاد نموده و در درجه ی حرارت های بالا پایدار بوده و نسبت به خوردگی توسط مذاب مقاوم است.

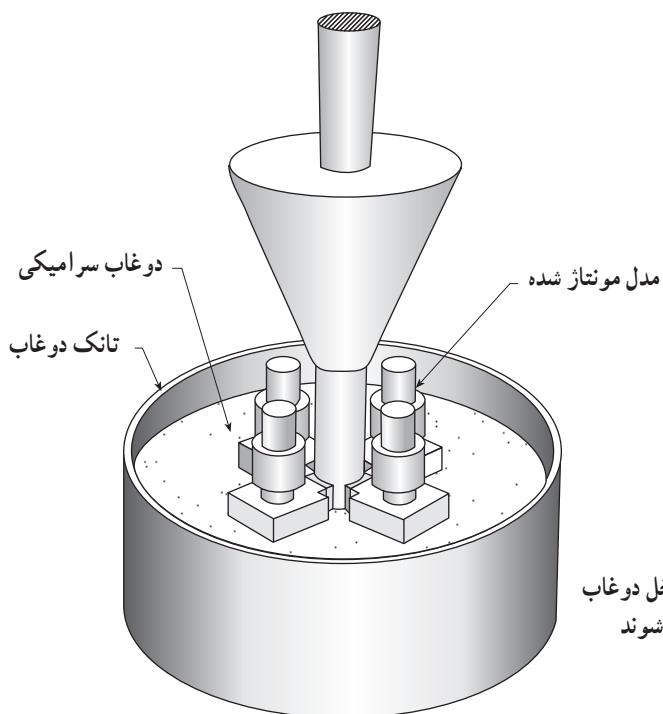
آلومین به دلیل مقاومت کم در برابر شوک حرارتی کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. به هر حال در برخی موارد به دلیل مقاومت در درجه ی حرارت بالا (تا حدود  $1760^{\circ}\text{C}$ ) مورد استفاده قرار می گیرد.



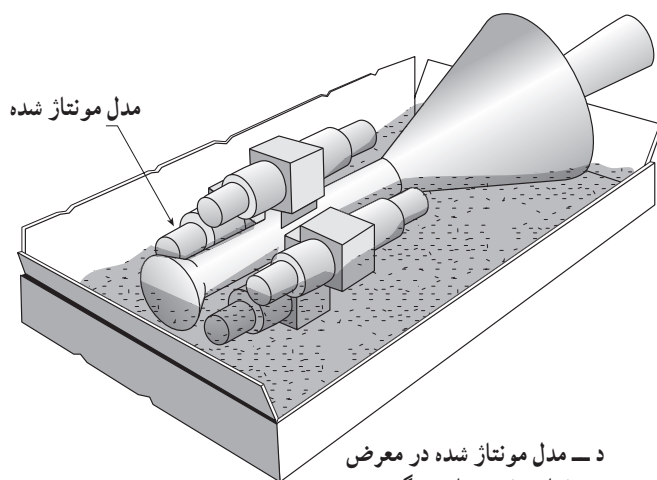
ب- مدل های مومی به راهگاه مومی چسبانده می شوند



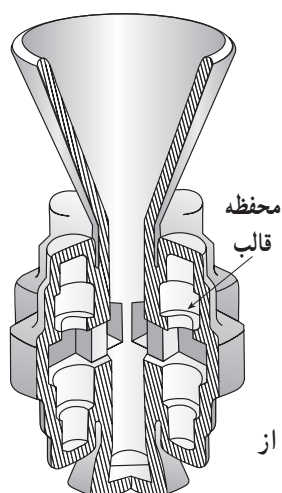
الف- مدل راهگاه مومی



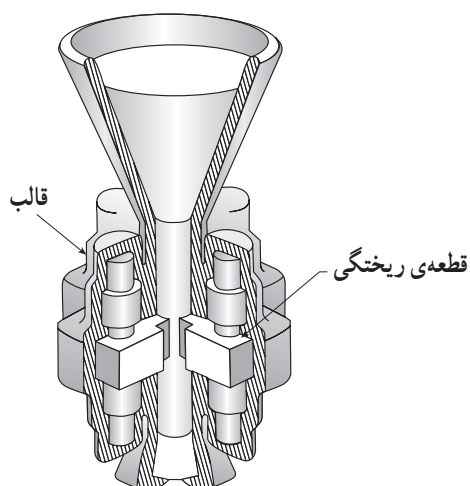
ج — مدل مونتاژ شده به داخل دو غاب سرامیکی غوطه‌ور می‌شوند



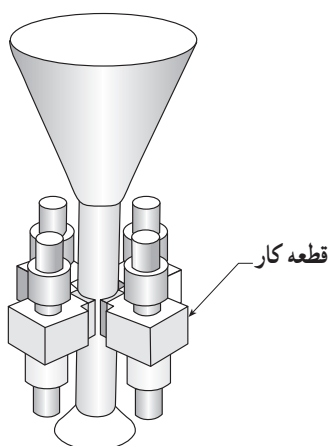
د — مدل مونتاژ شده در معرض باران ماسه قرار می‌گیرد



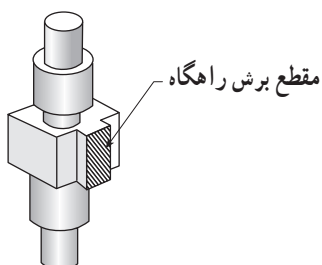
هـ — قالب آماده شده بعد از موم‌زدایی



و - قالب پس از بارریزی

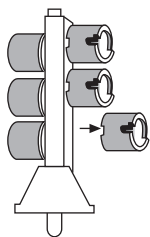


ز - قطعه‌ی جامد پس از شکستن پوسته‌ی قالب

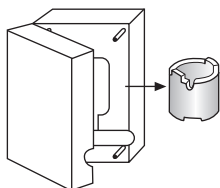


ح - یک قطعه‌ی ریخته شده پس از جداسازی از راهگاه

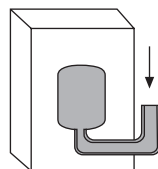
شکل ۲۱-۶ - مراحل تولید قطعات در فرآیند قالب‌های پوسته‌ای سرامیکی دقیق



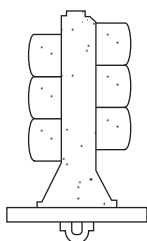
مونتاژ مدل  
مرحله ۳



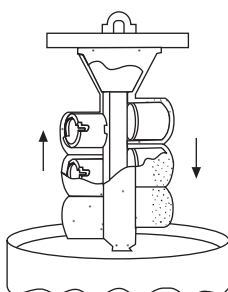
خارج کردن مدل  
مرحله ۲



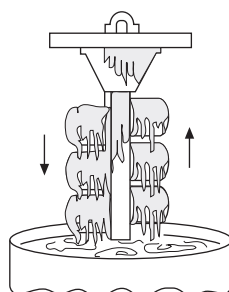
تزریق مواد مدل  
مرحله ۱



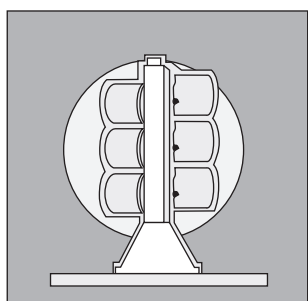
قالب کامل شده  
مرحله ۶



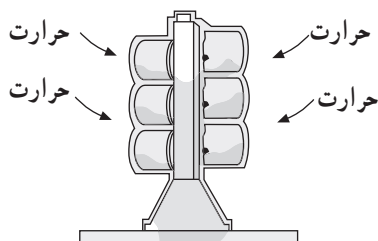
پوشش ماسه  
مرحله ۵



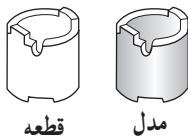
پوشش دو غاب  
مرحله ۴



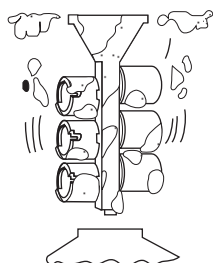
گرم کردن قالب  
مرحله ۸



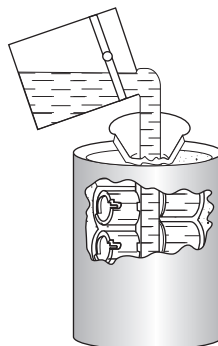
موم زدایی  
مرحله ۷



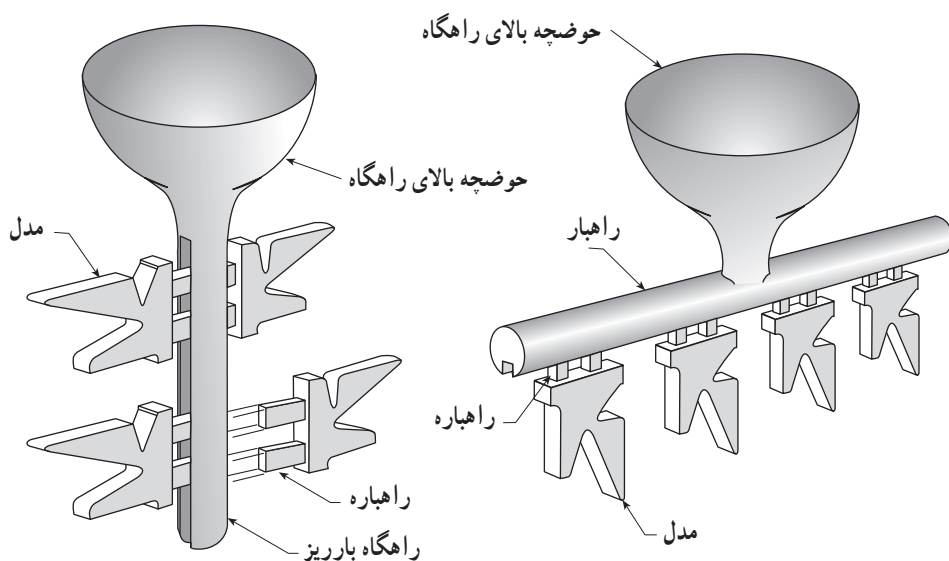
محصول تمام شده  
مرحله ۱۱



تخلیه  
مرحله ۱۰



بارریزی مذاب  
مرحله ۹



شکل ۲۳-۶- عملیات مونتاژ و سوار کردن مدل‌های مومی روی سیستم راهگاهی

چسب‌ها: مواد نسوز به وسیله‌ی چسب‌ها به یکدیگر می‌چسبند این چسب‌ها معمولاً شیمیایی می‌باشند مانند سیلیکات اتیل، سیلیکات سدیم و سیلیس کلئیدی. سیلیکات اتیل باعث پیدایش سطح تمام شده بسیار خوب می‌شوند. سیلیس کلئیدی نیز باعث به‌وجود آمدن سطح تمام شده‌ی عالی می‌شود.

اجزای دیگر: یک ترکیب مناسب علاوه بر مواد فوق شامل مواد دیگری است که هر کدام به منظور خاصی استفاده می‌شود. این مواد به این شرح است:

- مواد کنترل‌کننده‌ی ویسکوزیته.
  - مواد ترک‌کننده جهت کنترل سیالیت دوغاب و قابلیت مرطوب‌سازی مدل.
  - مواد ضد کف جهت خارج کردن حباب‌های هوا.
  - مواد ژلاتینی جهت کنترل در خشک شدن و تقلیل ترک‌ها.
- ۴-۶-۶- فرآیند تهیه قالب‌های توپر در ریخته‌گری دقیق: شکل‌های (۲۴-۶ و ۲۵-۶) به طور شماتیک مراحل تهیه‌ی قالب به روش توپر را نشان می‌دهد که عبارتند از:
- الف - تهیه‌ی مدل‌های ذوب شونده (شکل ۲۴-۶ الف).
- ب - مونتاژ مدل‌ها: این عملیات در قسمت ۳-۶-۶ ج توضیح داده شده (شکل ۲۴-۶ ب).

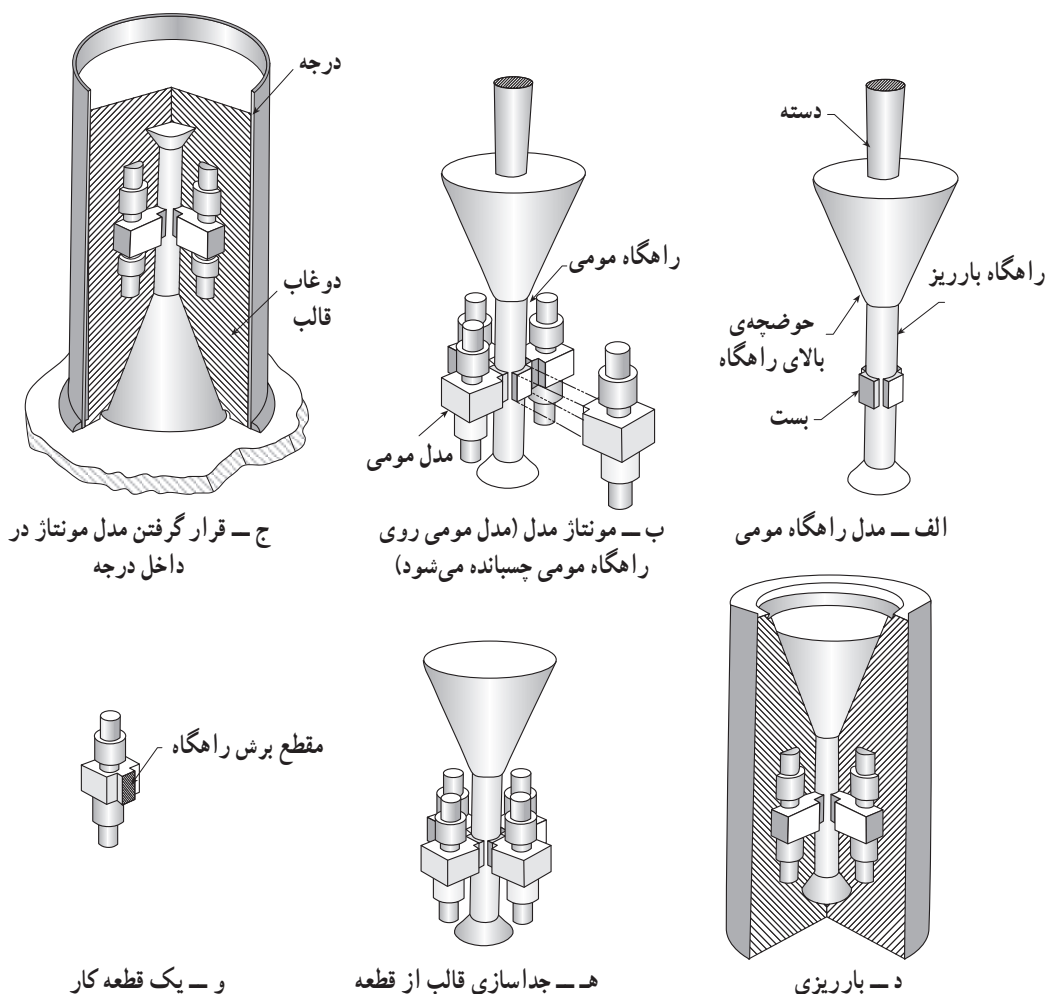


ج - مدل های خوشه ای و ضمائ آن در داخل درجه ای قرار می گیرند و دوغاب سرامیکی اطراف آن ریخته می شود تا درجه با دوغاب دیرگداز پر شود. به این دوغاب، دوغاب پشت بند نیز گفته می شود. این دوغاب در هوا سخت می شود و بدین ترتیب قالب به اصطلاح توپر تهیه می شود (شکل ۶-۲۴ - ج).

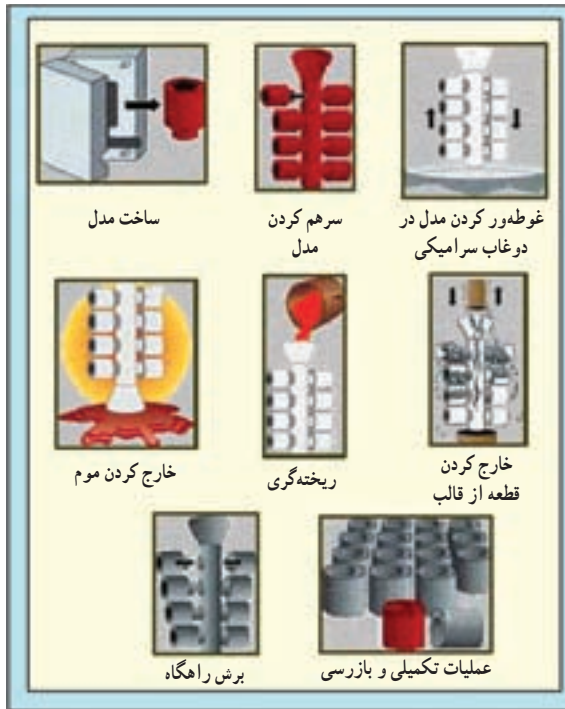
د - عملیات بارریزی انجام می شود (شکل ۶-۲۴ - د).

ه - قالب سرامیکی پس از انجماد مذاب شکسته می شود (شکل ۶-۲۴ - ه).

و - قطعات از راهگاه جدا می شوند (شکل ۶-۲۴ - و).



شکل ۶-۲۴ - مراحل تولید قطعات در روش قالب های توپر ریخته گری دقیق



شکل ۲۴-۶- مراحل شماتیک تولید قطعات در روش قالب‌های توپر ریخته‌گری دقیق

## پرسش‌ها

- ۱- ریخته‌گری در قالب‌های موقت را تعریف نمایید.
- ۲- مزایا و محدودیت‌های روش ریخته‌گری در ماسه‌ی تر را نام ببرید.
- ۳- روش قالب‌گیری دستی را تعریف نموده و ویژگی‌های آن را بیان نمایید.
- ۴- اساس کار روش قالب‌گیری ماشینی را به‌طور خلاصه توضیح دهید.
- ۵- ویژگی‌های ماشین‌های قالب‌گیری ضربه‌ای ساده را توضیح دهید.
- ۶- ویژگی‌های ماشین‌های قالب‌گیری فشاری را توضیح دهید.
- ۷- ویژگی‌های ماشین‌های قالب‌گیری ضربه‌ای - فشاری را توضیح دهید.
- ۸- ویژگی‌های ماشین ماسه پرتاب‌کن را توضیح دهید.
- ۹- قالب‌های خشک شده‌ی سطحی را تعریف نموده و ویژگی‌های آن را بیان نمایید.
- ۱۰- قالب‌های کاملاً خشک را تعریف نموده و ویژگی‌های آن را بیان نمایید.

- ۱۱- مزایا و محدودیت‌های روش قالب‌گیری خشک را توضیح دهید.
- ۱۲- ویژگی‌های روش  $\text{CO}_2$  را توضیح دهید.
- ۱۳- مراحل تولید قالب به روش  $\text{CO}_2$  را شرح دهید.
- ۱۴- مزایا و محدودیت‌های روش ریخته‌گری در قالب  $\text{CO}_2$  را نام ببرید.
- ۱۵- واکنش سیلیکات سدیم و دی‌اکسید کربن را در روش  $\text{CO}_2$  توضیح دهید.
- ۱۶- ویژگی ماسه در روش  $\text{CO}_2$  را توضیح دهید.
- ۱۷- روش آماده‌سازی ماسه را در فرآیند  $\text{CO}_2$  توضیح دهید.
- ۱۸- ریخته‌گری در قالب‌های پوسته‌ای را تعریف نمایید.
- ۱۹- مزایا و محدودیت‌های روش پوسته‌ای را نام ببرید.
- ۲۰- اجزای ماسه در روش پوسته‌ای را نام ببرید.
- ۲۱- روش‌های تهیه مخلوط ماسه و رزین را توضیح دهید.
- ۲۲- روش‌های فرآیند پوسته‌ای را نام برده و در مورد آن‌ها مختصراً توضیح دهید.
- ۲۳- روش ریخته‌گری دقیق را تعریف نموده و در مورد ویژگی آن‌ها توضیح دهید.
- ۲۴- مزایا و محدودیت‌های فرآیند دقیق را نام ببرید.
- ۲۵- روش تهیه قالب را در قالب‌های پوسته‌ای سرامیکی ریخته‌گری دقیق توضیح دهید.