

درس روش های ساخت  
جلسه ششم: روش های ماشینکاری نوین 2-لیزر،  
اولتراسونیک

## LASER

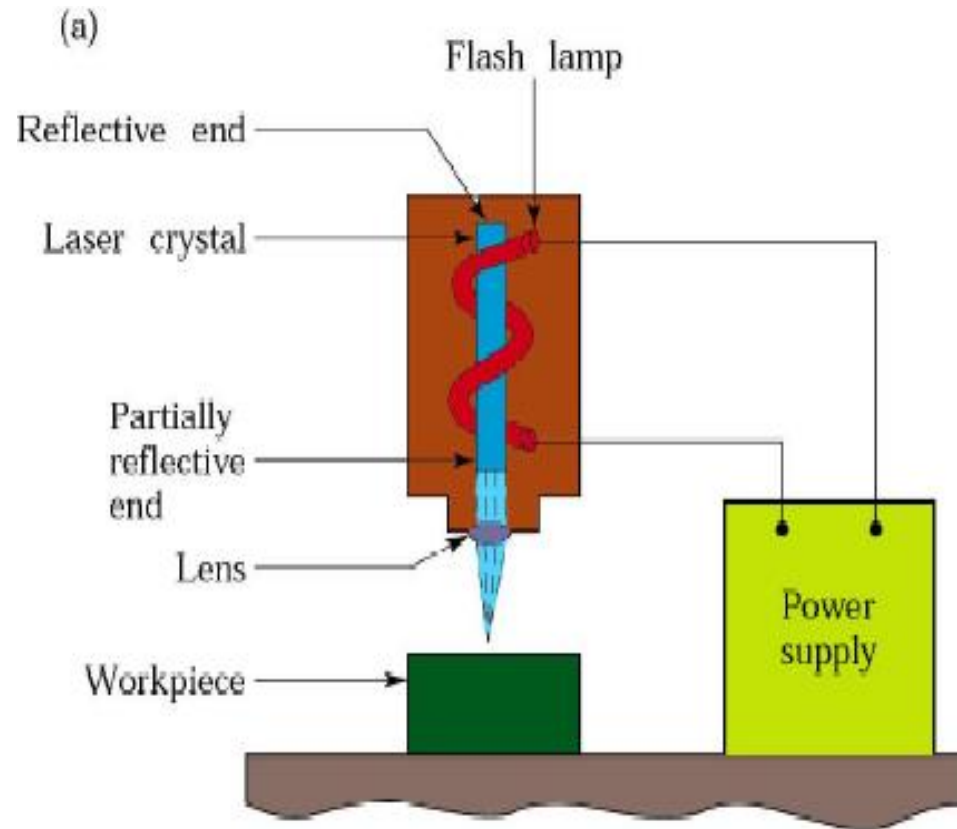
light amplification by stimulated emission of radiation

تقویت نور با انتشار برانگیخته تابش

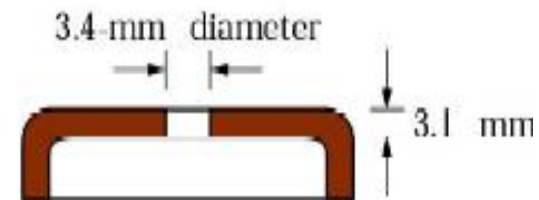
### ● کاربردها

- ماشینکاری فلزات سخت و با مقاومت حرارتی بالا (کاربایدها، سرامیک ها و ...)
- ماشینکاری غیر فلزات (لاستیک، پلاستیک)

# تجهيزات ماشینکاری لیزر



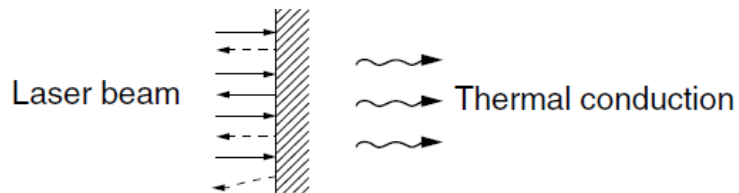
(b) Rubber



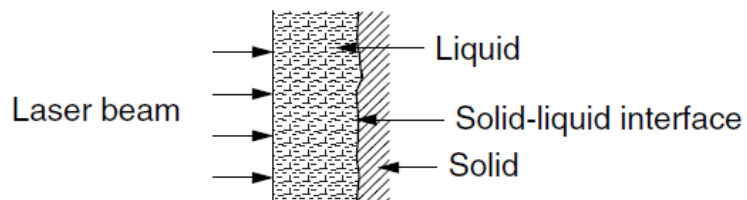
(c) Plastic



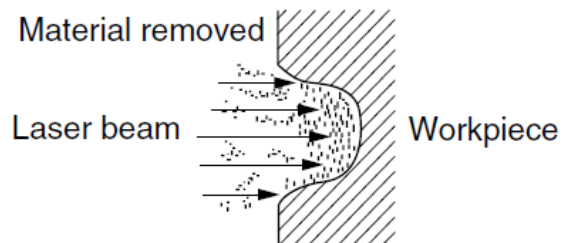
# مکانیزم ماشینکاری



(a) Absorption and heating



(b) Melting



(c) Vaporization

عامل تعیین کننده در نرخ براده برداری بازتابش نور از سطح فلز است. هر چه بازتابش بیشتر باشد سرعت براده برداری کمتر است.



## کاربردها-سوراخکاری

● مزیت

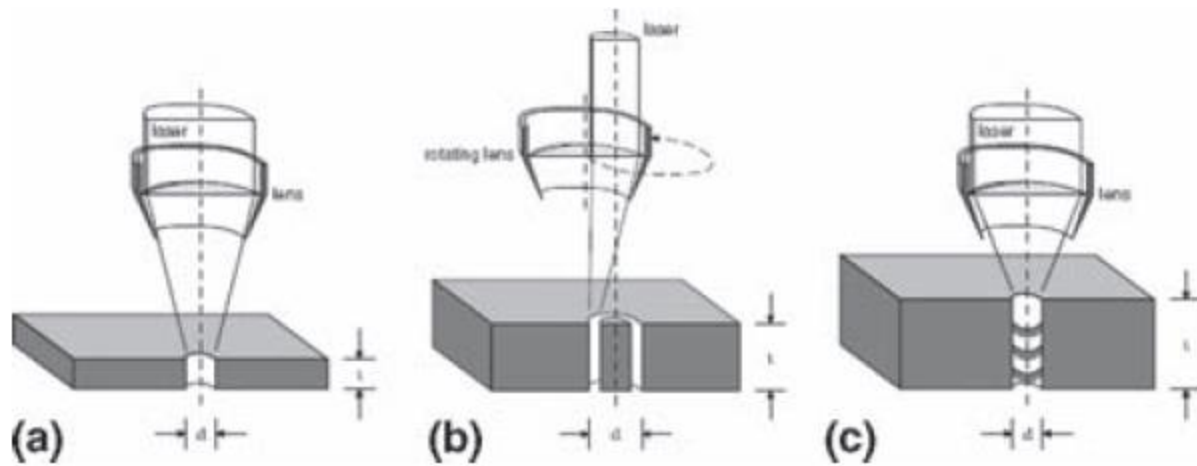
- زمان تنظیم کوتاه
- هزینه ابزار در مقایسه با روش های دیگر کم

A. Single pulse drilling

B. Trepanning

C. percussion

# روش های سوراخکاری



Single pulse drilling

Trepanning drilling

Percussion drilling

# روش های سوراخکاری

## Single pulse drilling

با استفاده از یک پالس سوراخ ایجاد می شود. برای سوراخ های با قطر زیر 1 میلی متر و ضخامت زیر 1 میلی متر مورد استفاده قرار می گیرد. انرژی پالس مورد استفاده باید قابل توجه باشد تا سوراخ ایجاد شود.

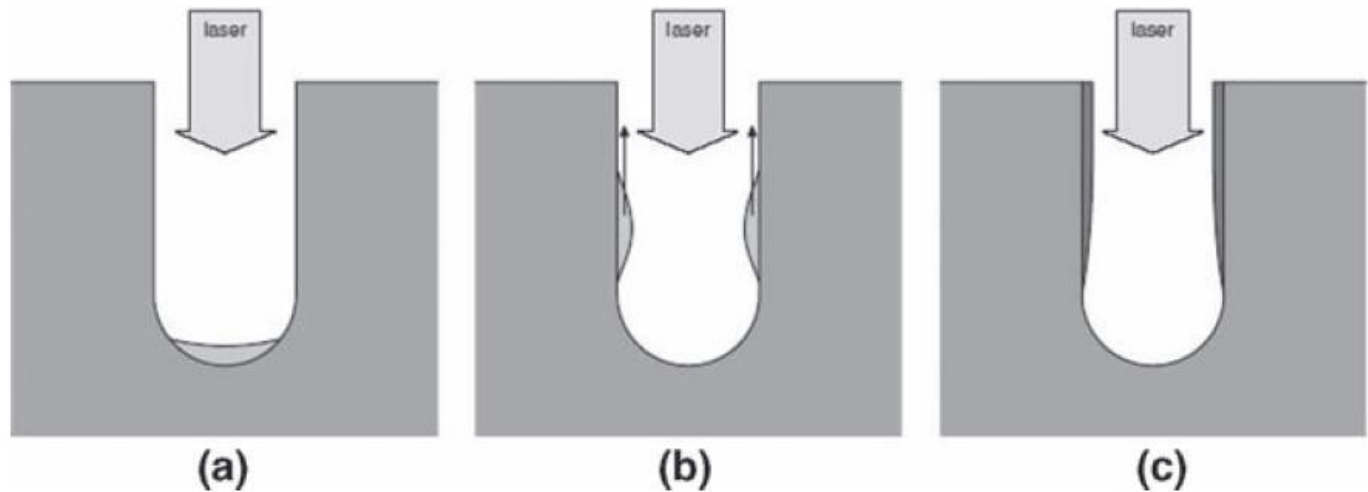
## Trepanning drilling

برای ایجاد سوراخ های با قطر بزرگتر (کمتر از 3 میلی متر) و ضخامت کمتر از 10 میلی متر مورد استفاده قرار می گیرد و شامل ایجاد سوراخ با حرکت دور سوراخ و ایجاد سوراخ های متقاطع برای ایجاد سوراخ اصلی می باشد. معمولاً لیزر CO<sub>2</sub> و Nd:YAG مورد استفاده قرار می گیرد.

## Percussion drilling

برای ایجاد سوراخ های با عمق بزرگ (تا 25 میلی متر) مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش پالس هایی با طول  $10^{-12}$  تا  $10^{-3}$  ثانیه و با فاصله زمانی  $10^{-2}$  ثانیه مورد استفاده قرار می گیرد. از لیزر Nd:YAG به دلیل انرژی بالا در هر پالس استفاده می شود.

## مراحل روش Percussion

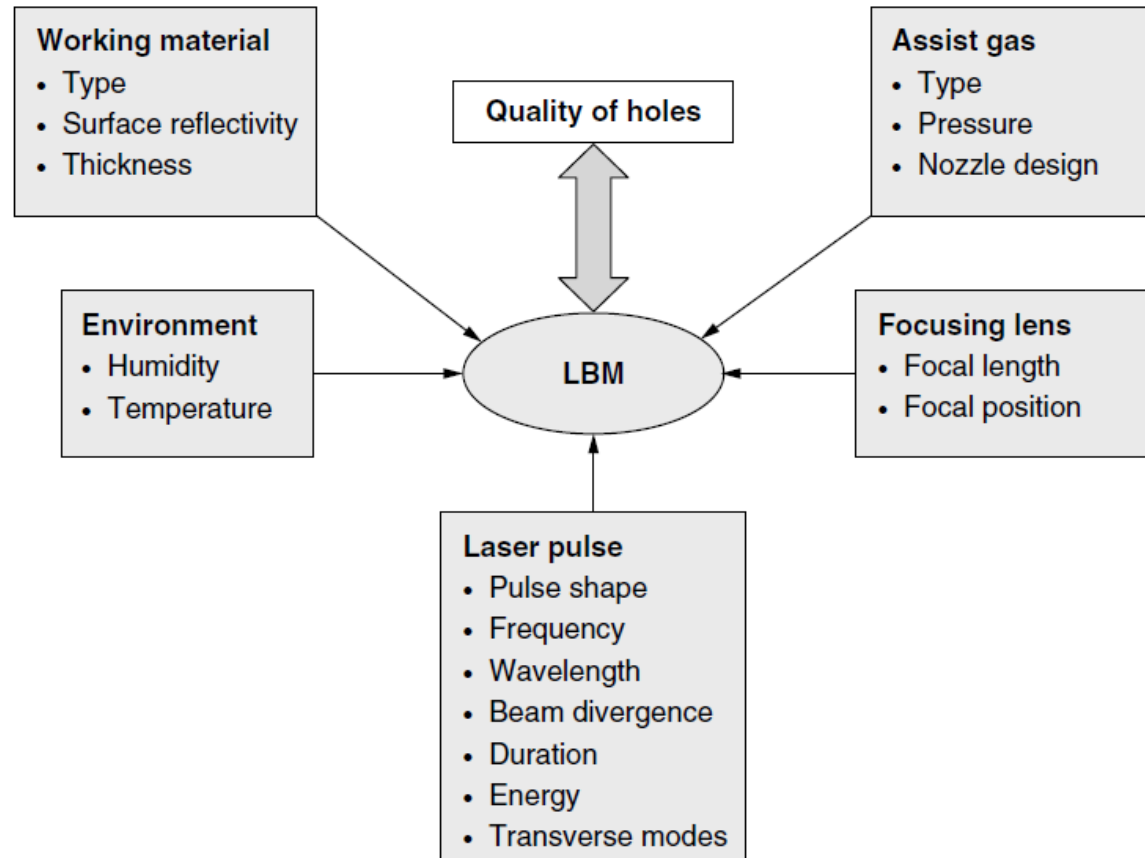


(a) ایجاد حوضچه مذاب در اثر جذب انرژی لیزر

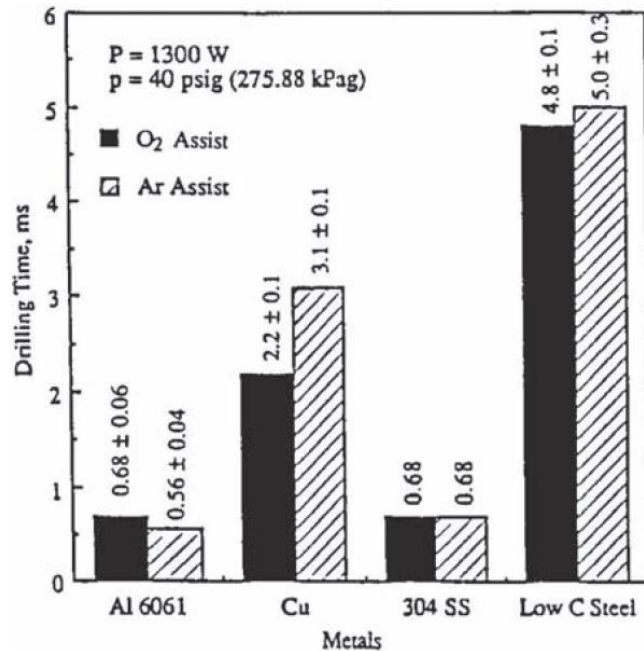
(b) بخار شدن سطح حوضچه باعث پخش شدن مذاب و  
نشستن قسمتی از آن روی دیواره می شود

(c) بخشی از مذاب روی دیواره، تخلیه شده و بخشی مجددا  
جامد می شود

# عوامل موثر بر کیفیت سوراخ



## تأثير نوع غاز محافظ روى سرعت ماشينكارى

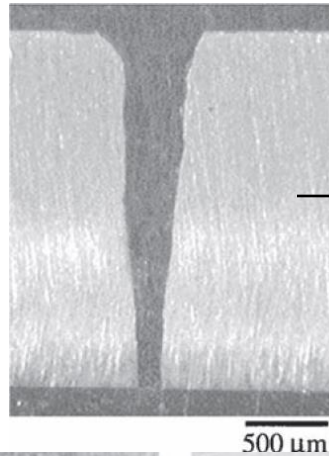


**Table 4.2** Absorptivity values for metallic materials (Patel and Brewster 1991)

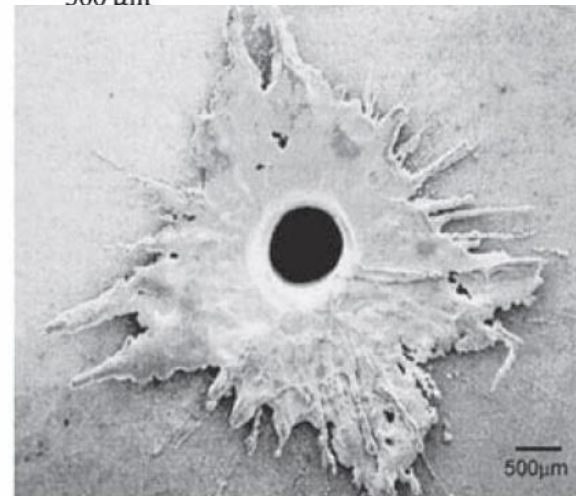
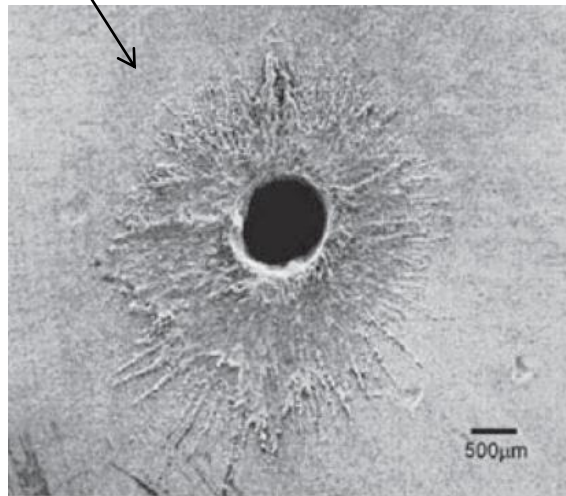
| Material            | Room temperature value | Oxidation-enhanced value |
|---------------------|------------------------|--------------------------|
| Al6061              | 0.28                   | 0.4                      |
| Cu                  | 0.02                   | 0.2                      |
| 304 stainless steel | 0.32                   | 0.32                     |
| Low C steel         | 0.45                   | 0.6                      |

# عیوب سوراخکاری

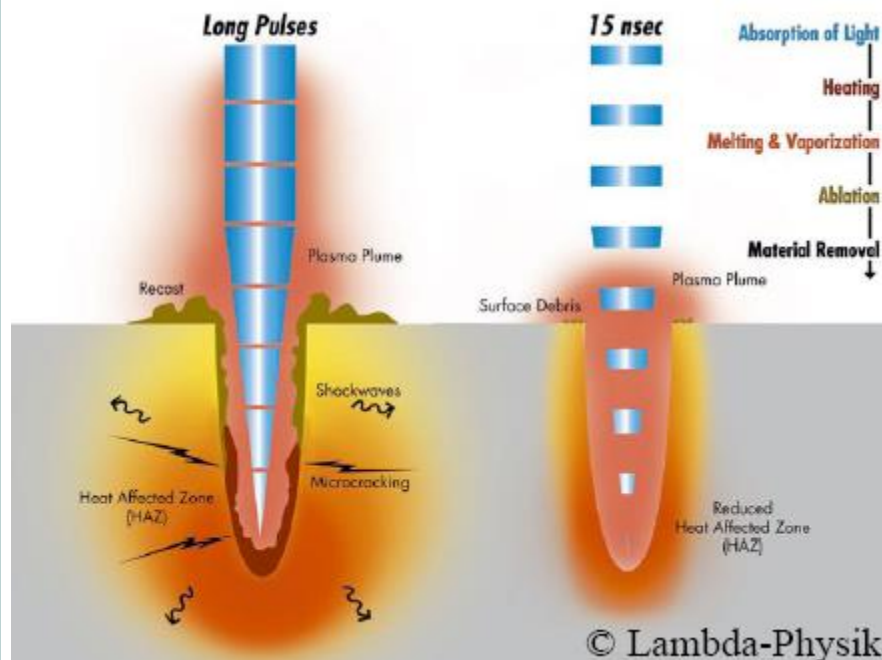
ترشحات حاصل از سوراخکاری لیزر  
برای الیاژ نیمونیک برای گاز محافظ  
اکسیژن (چپ) و آرگون (راست)



مخروطی شدن در سوراخی به عمق  
4 میلی متر در قطعه IN718



## اثر طول پالس روی خصوصیات سوراخ



ویژگی های پالس لیزر برای ایجاد سوراخ افشانه:

- زمان کوتاه پالس
- توان بزرگ به ازای هر پالس
- طول موج کم لیزر

■ معمولاً از لیزرهای Nd:YAG استفاده می شود چون حداکثر توان در عملکرد پالسی را دارا هستند.



# مشکلات روش سوراخکاری

- پروفیل های غیر استوانه ای سوراخ
  - در اثر ایجاد پدیده پمپاژ نوری که باعث پراکنده شدن نور لیزر می شود، اشعه پس از ورود به سوراخ واگرا می شود و سوراخ در انتها قطر کمتری پیدا می کند
  - تولید ابر بخار در حفره نیز بخش عمده ای از انرژی سوراخ را جذب می کند
- ناحیه تحت تاثیر حرارت
- محدود بودن حداکثر عمق سوراخ

# کاربردها-برش لیزر

- در این روش به کمک حرکت میز ماشین و یا کله گی دستگاه لیزر، با استفاده از CNC می توان برای برش جنس های مختلف استفاده نمود.
- محدوده توان لیزر مورد استفاده 200 وات تا 1 کیلو وات می باشد.

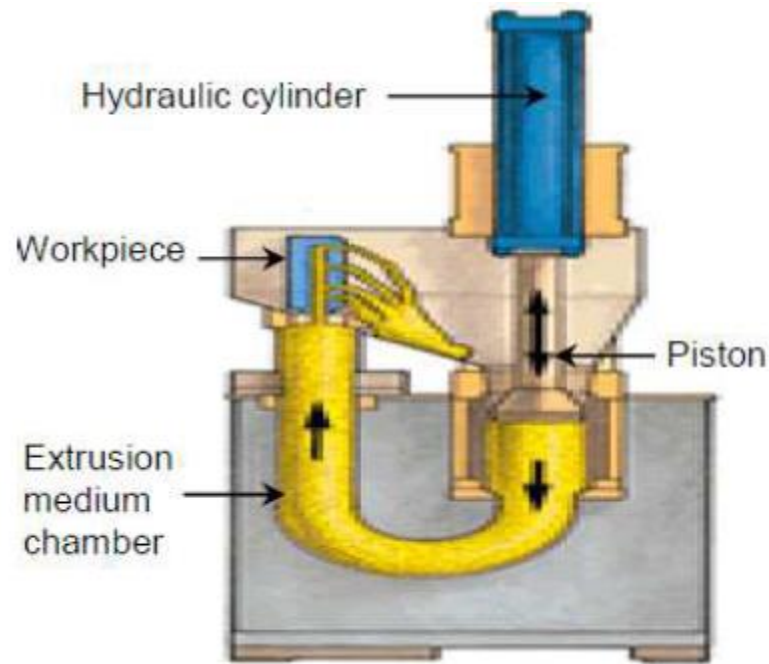


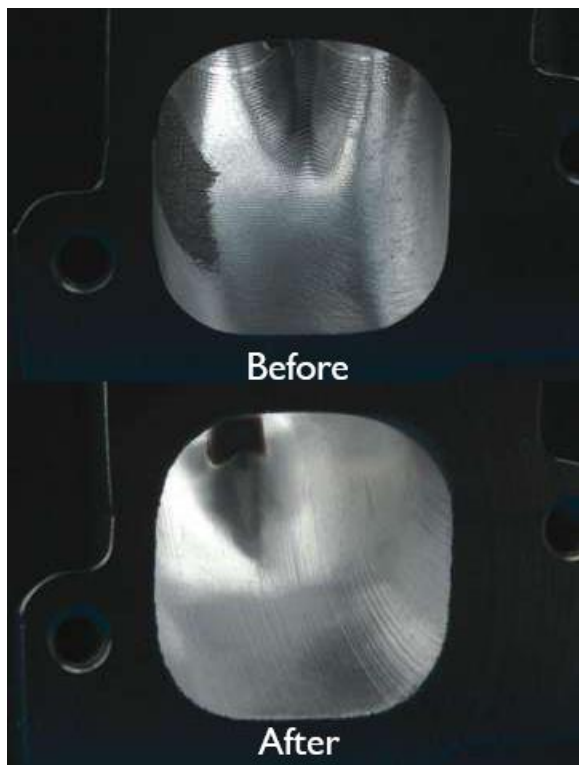


**Superior Joining Technologies INC.**

● Precision Welding ● Laser Applications ● Special Processes

## پلیسه گیری به روش جریان گل ساینده (Abrasive Flow Machining)





ویدیوی فرآیند

## اولتراسونیک چیست؟

- اولتراسونیک علم بررسی امواج صوتی است که فرکانس بالاتر از محدوده شنوایی انسان دارند.
- فرکانس امواج صوتی آهنگ یا زیر و بم بودن آن ها را مشخص می کند. فرکانس های بالا صداهای زیر تولید می کنند و فرکانس های پایین صداهای بم.
- فرکانس های بالاتر از 18kHz معمولا اولتراسونیک هستند.

# انواع ترانسدیوسرهای اولتراسونیک

- **ترانسدیوسرهای مگنتواستریکتیو**

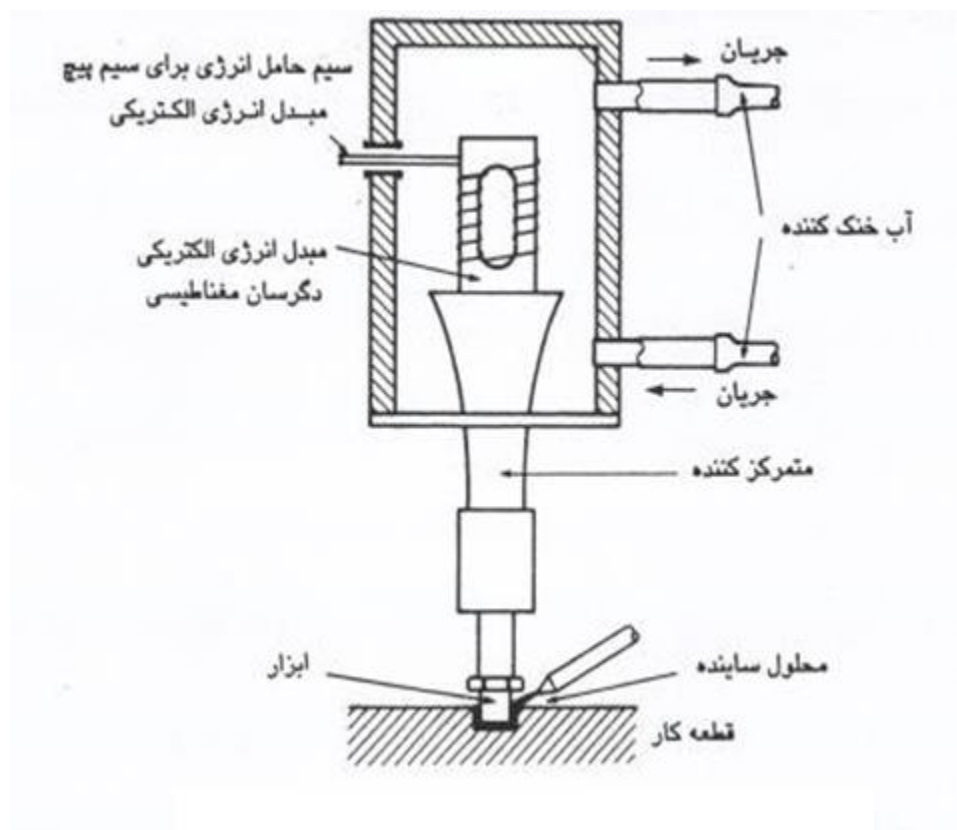
- ترانسدیوسرهای مگنتواستریکتیو از فلز فرو مغناطیس که با سیم های الکتریکی احاطه شده اند، تشکیل شده اند در هنگام کارکرد چنین ترانسدیوسرهایی میدان مغناطیسی متناوب ایجاد شده باعث ایجاد حرکت ارتعاشی می شود.

- **ترانسدیوسرهای الکترواستریکتیو**

ترانسدیوسرهای الکترواستریکتیو (پیزوالکتریک) از کریستال های سرامیک تشکیل شده اند که به راحتی در اثر میدان الکتریکی تغییر طول می دهند.



# فرایند ماشینکاری اولتراسونیک

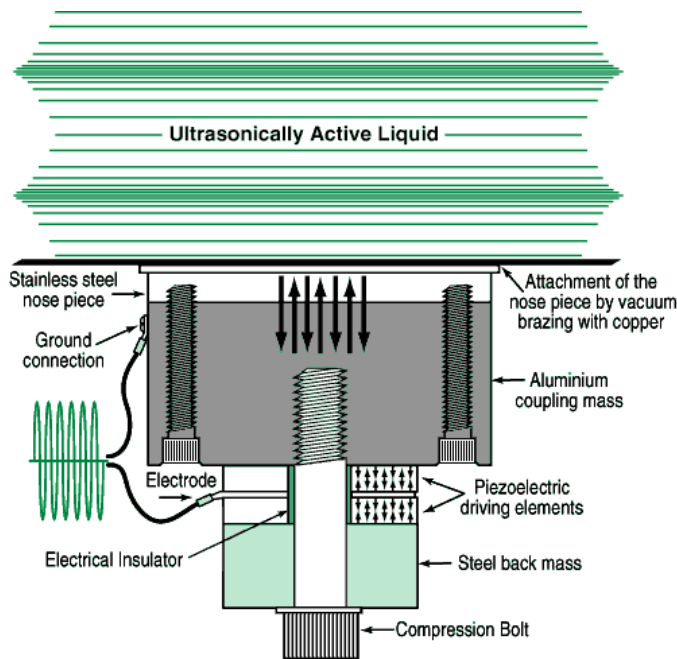




# شستشوی اولتراسونیک

شستشوی آلتراسونیک در بخش های گوناگون مانند صنعت قطعات اتومبیل سازی، نیمه هادی ها، الکترونیک، دیسک گردان های کامپیوتر، تولیدات پزشکی و دارویی، آماده کاری سطح برای روکش دهی دقیق و آبکاری، هوافضا، تمیزکاری عمومی فلزات، بلبرینگ های دقیق و بسیاری از تولیدات مصرفی از جواهر آلات تا تفنگ کاربرد دارد.

تمیزی نسبتاً کامل، سرعت شستشوی فوق العاده زیاد، همزمانی شستشوی قطعات زیادی با هم، قابلیت شستشوی قطعات با مقاومت سطحی گوناگون، کاهش فوق العاده زیاد هزینه شستشو، مصرف کمتر مواد حلال و شوینده و از همه مهمتر ، ضرر کمتر برای محیط زیست از مزایای این روش شستشوی قطعات می باشد



پایان

به نام خدا

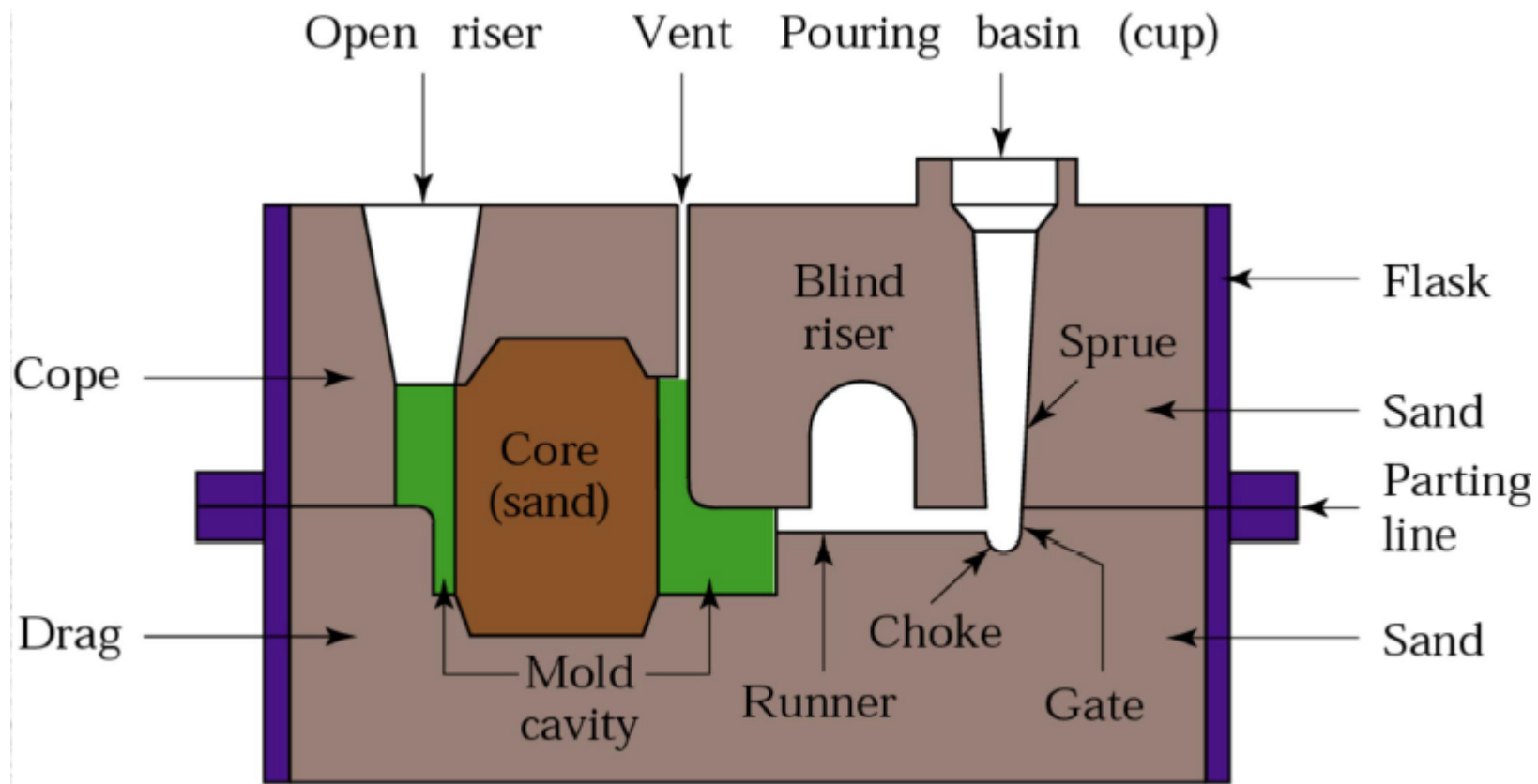
# درس روش های ساخت

**جلسه هفتم: فرآیندهای ریخته گری**

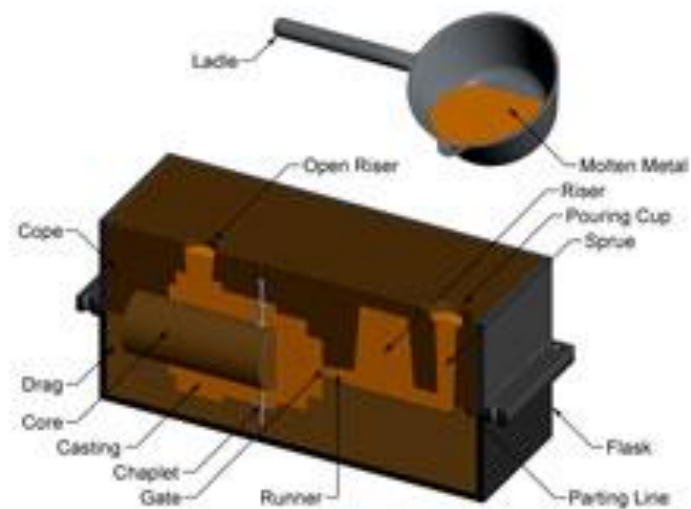
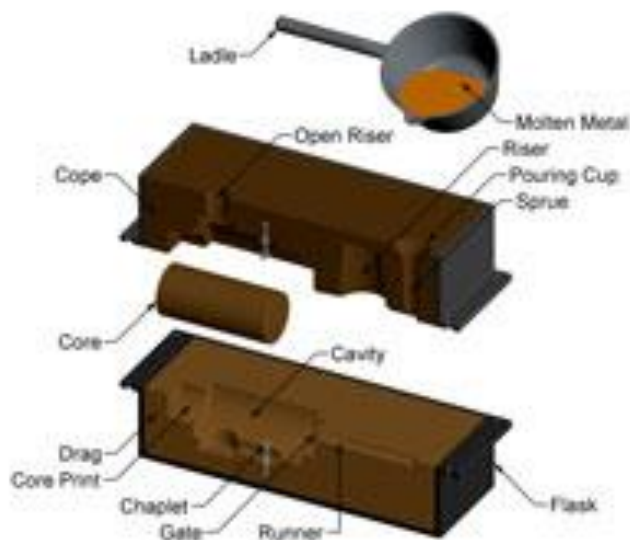
# انواع روش های ریخته گری

- ❑ ریخته گری در قالب ماسه ای
- ❑ ریخته گری در قالب دائمی بدون فشار
- ❑ ریخته گری ثقلی
- ❑ ریخته گری در قالب دائمی تحت فشار (دایکاست)
- ❑ ریخته گری گریز از مرکز
- ❑ ریخته گری بامدل های ذوب شدنی
- ❑ ریخته گری پوسته ای
- ❑ ریخته گری به روش فوم فناشونده

# ریخته گری در قالب ماسه ای

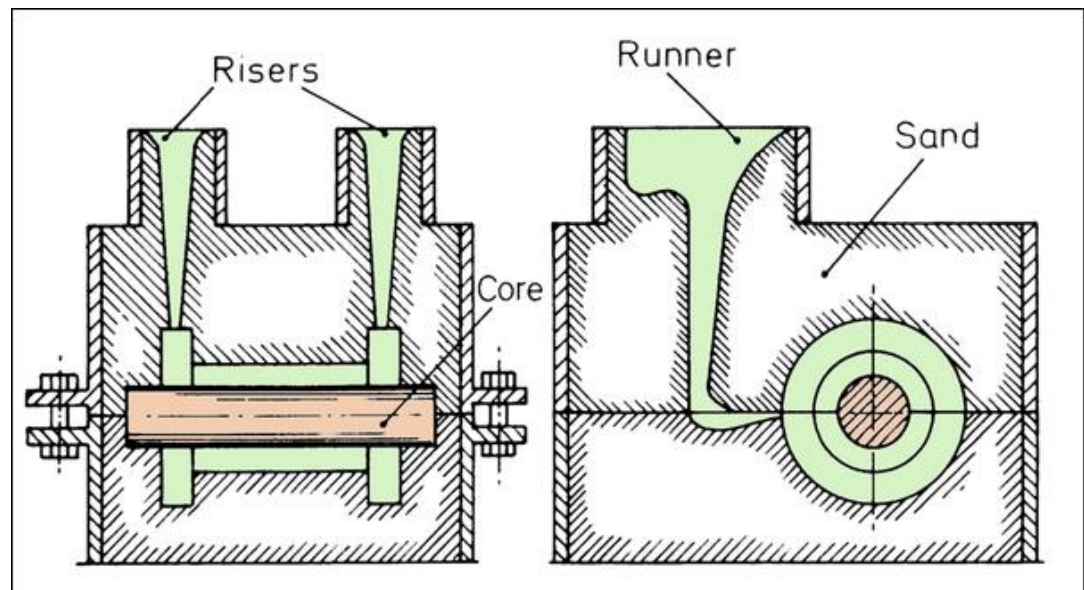
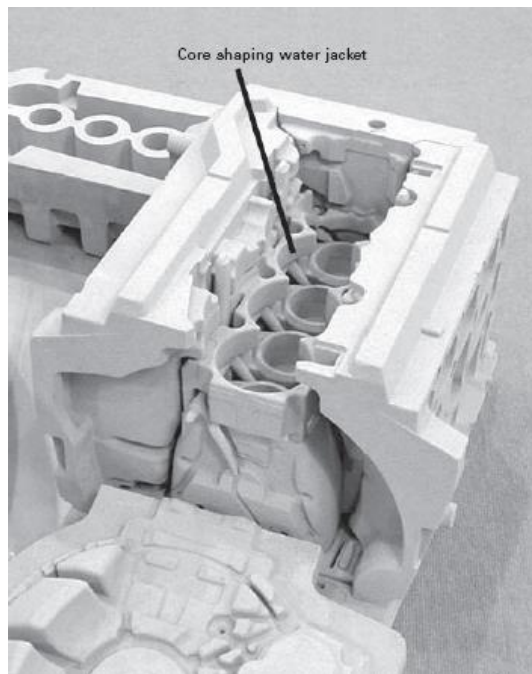


❑ **درجه:** یک قاب صلب فلزی یا چوبی است که ماسه قالب و ماهیچه های داخل آن را نگه می دارد.



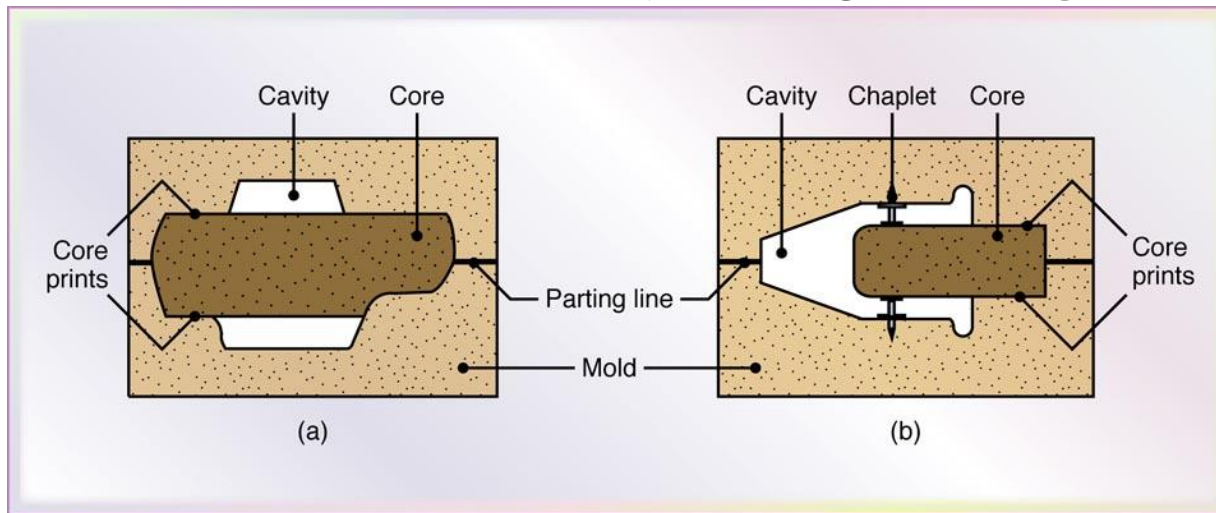
# اجزای قالب

□ ماهیچه (Core): از ماسه یا فلز ساخته شده و با قرار گرفتن در قالب، موجب ایجاد سطوح داخلی مانند سوراخ یا گذرگاه مایع خنک کننده می شود. از موارد بسیار پرکاربرد ماهیچه ها ایجاد محفظه ی سوراخ در قالب ها است .



# اجزای قالب

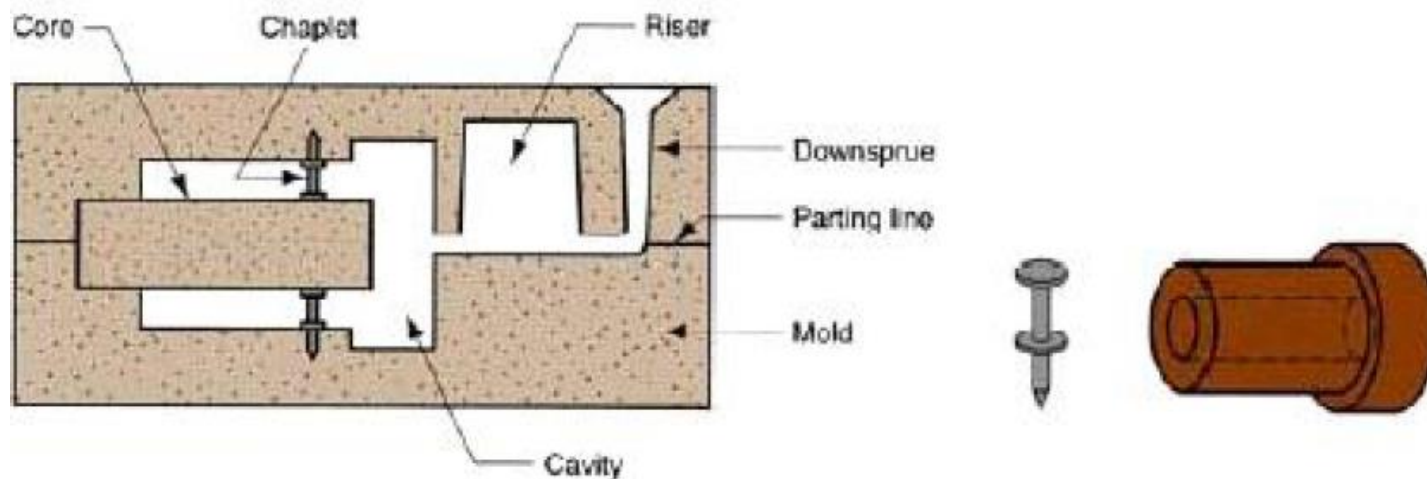
- **تکیه گاه ماهیچه:** قسمتی اضافی است که برای قراردادن و حفظ ماهیچه درون قالب، در مدل ماهیچه و یا قالب ایجاد می شود. سپس از ترکیب قالب و مجموعه ماهیچه، حفره قالب بدست می آید که در حفره شکل یافته فلز مذاب ریخته می شود و پس از انجماد به شکل مطلوب در می آید .
- **تغذیه کننده: (Riser)** حفره اضافی که در قالب تعبیه و با فلز مذاب پر می شود. وظیفه آن جبران انقباض قطعه می باشد. تغذیه کننده باید آخرین قسمتی باشد که منجمد می شود. هرچه میزان انقباض کمتر باشد، عیوبی مانند اعوجاج و حفره هم کمتر خواهد بود .





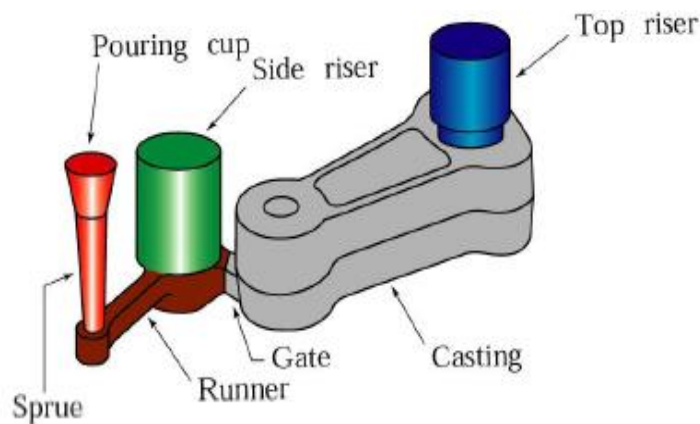
# اجزای قالب

- پایه ماهیچه (Chaplet) در جایی به کار می رود که ماهیچه بزرگ بوده و پای آن قابلیت نگهداری آن را ندارد.



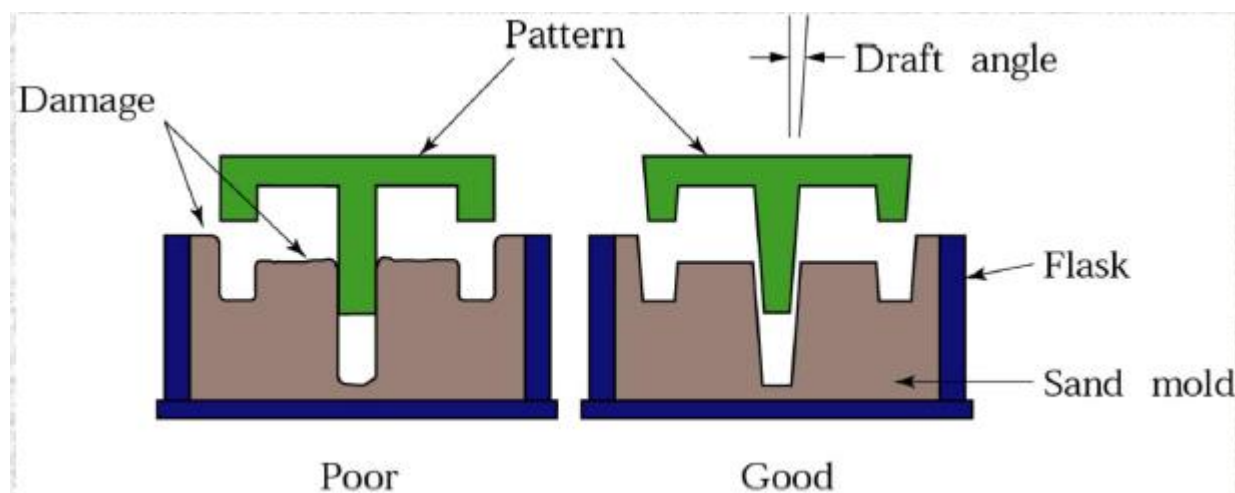
## اجزای قالب

- سیستم راهگاهی: شبکه ای از کانالهای به هم پیوسته است که برای انتقال فلز مذاب به حفره قالب و گرفتن ناخالصی هایی مثل اکسید و سرباره استفاده می شود .
- حوضچه مذاب: قسمتی از سیستم راهگاهی است که در ابتدای ورود ماده مذاب به قالب قرار دارد و ماده مذاب از پاتیل (یا چمچه) به داخل آن ریخته می شود .

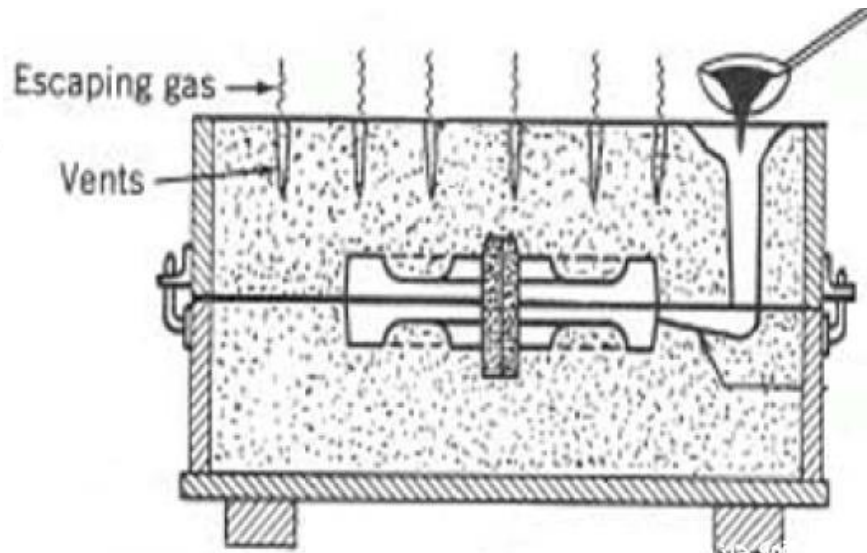


# اجزای قالب

□ شیب: حالت مخروطی مدل یا قطعه که امکان خروج آن را از قالب فراهم می سازد .



- در صورت خارج نکردن گاز و بخار تشکیل شده در فرایند ریخته گری، ممکن است در اثر میعان بخار، قطرات آب روی سطح قطعه برمی گردند.
- فشار گازهای محبوس شده ممکن است درجه ها را از جای خود بلند کنند



• **خط یا سطح جدایش** : (Parting Line) سطح مشترک جداکننده دو نیمه درجه قالب یا مدل و دو نیمه ماهیچه

## قطعه بلافاصله پس از ریخته گری

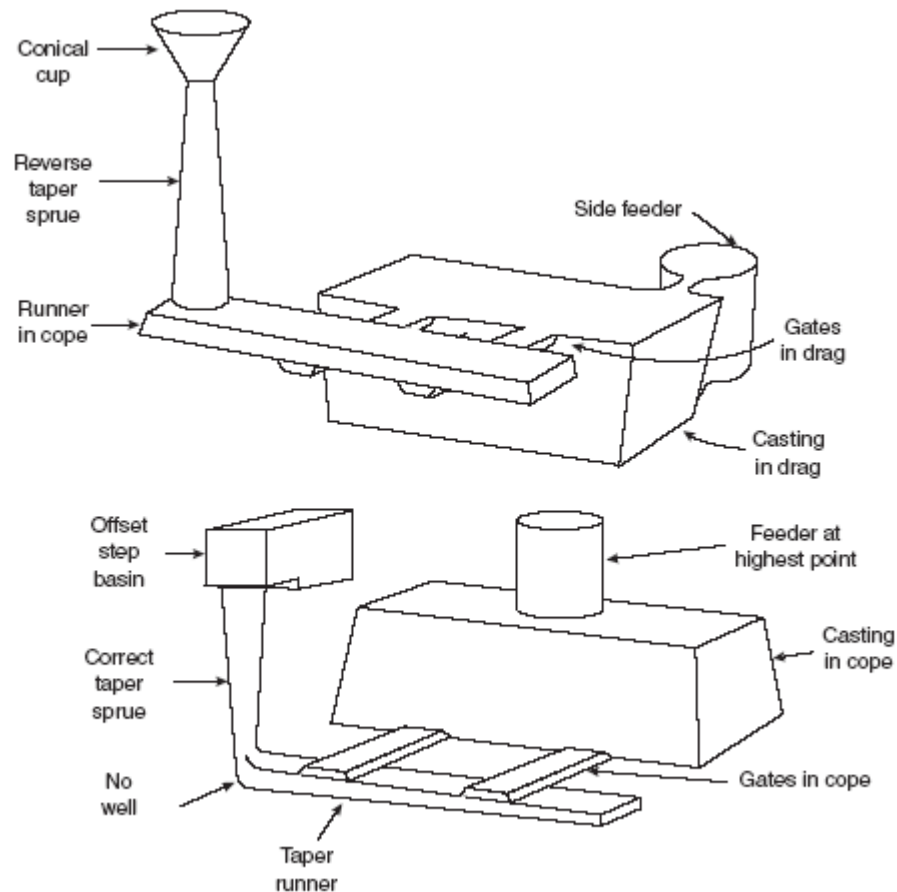


## قطعات بلافاصله پس از ریخته گری



# طراحی سیستم راهگاهی

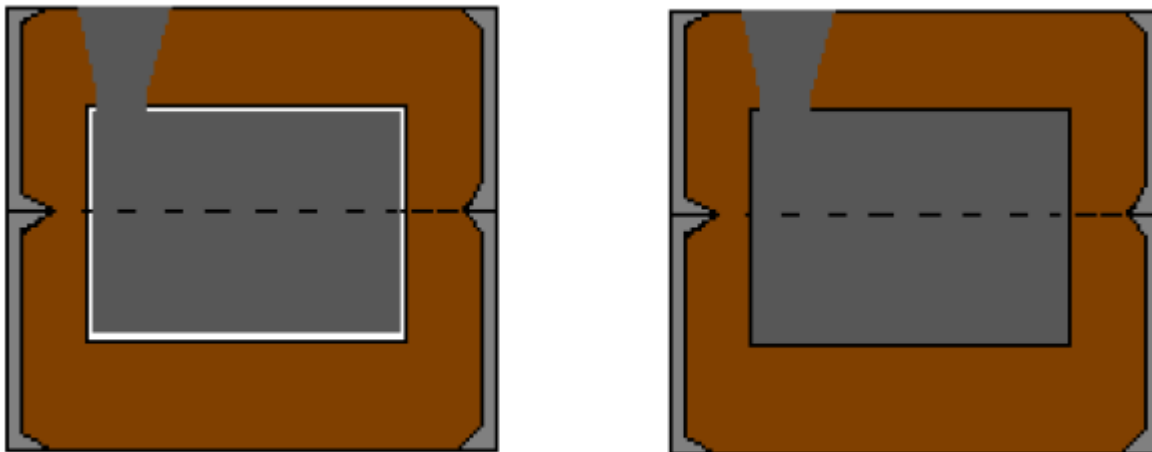
• حتی الامکان باید از ایجاد حرکت گردابی سطحی مخصوصا در مراحل اولیه جلوگیری کرد.

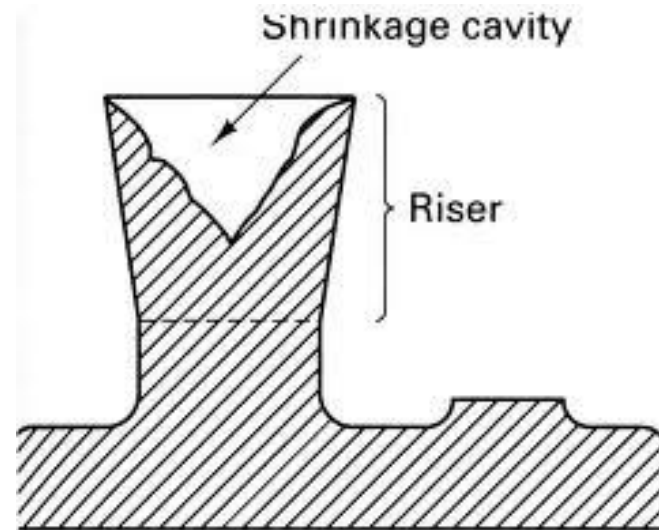
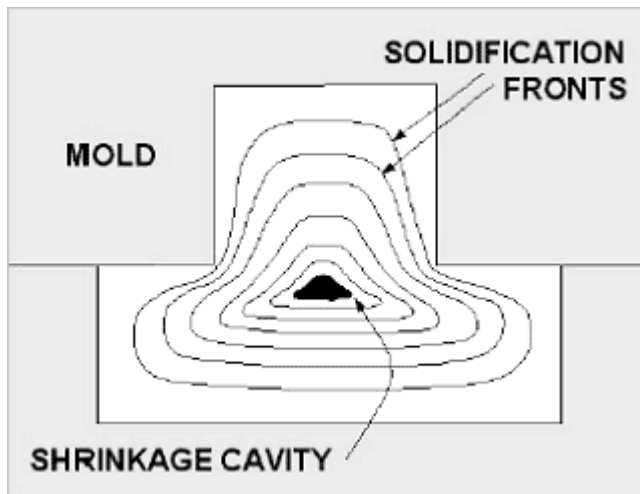




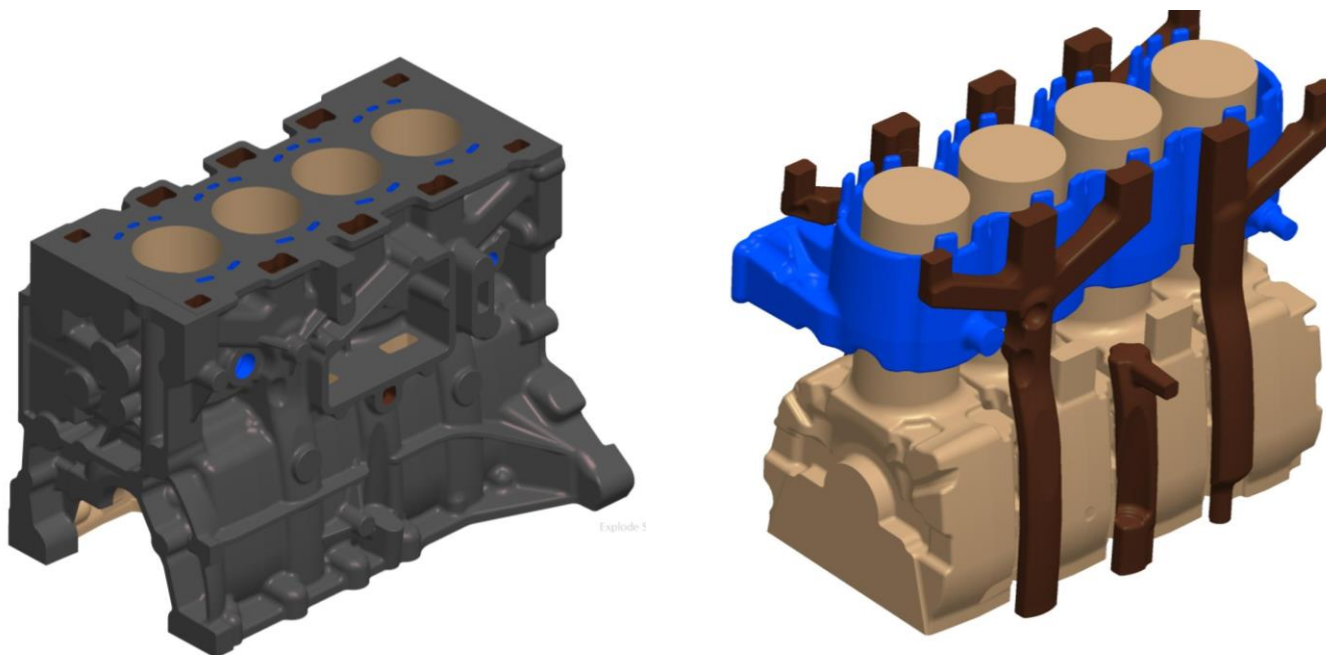
## انقباض (Shrinkage)

- کاهش حجم مذاب در هنگام ریخته گری، انقباض گفته می شود.
  - کاهش حجم مذاب تا دمای انجماد
  - کاهش حجم در هنگام انجماد (گرمای نهان انجماد)
  - کاهش حجم قطعه جامد در هنگام سرد شدن تا دمای محیط (بیشترین میزان انقباض)

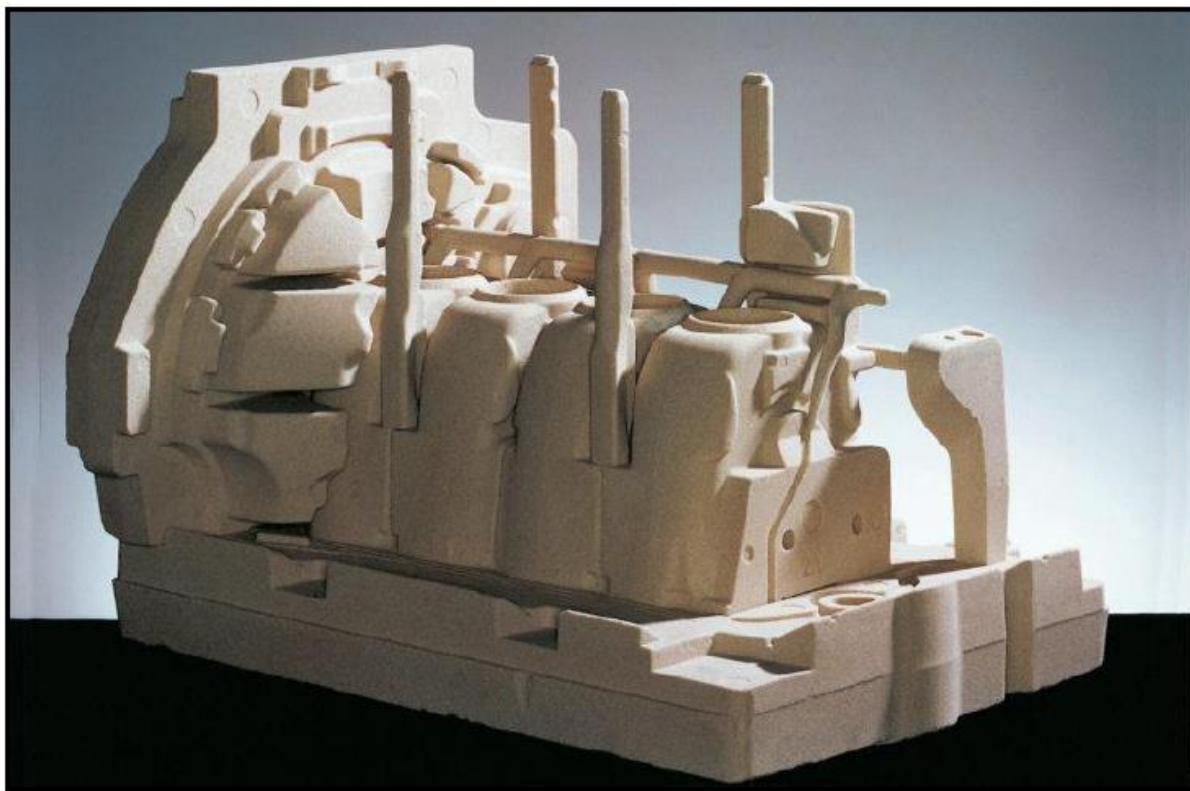




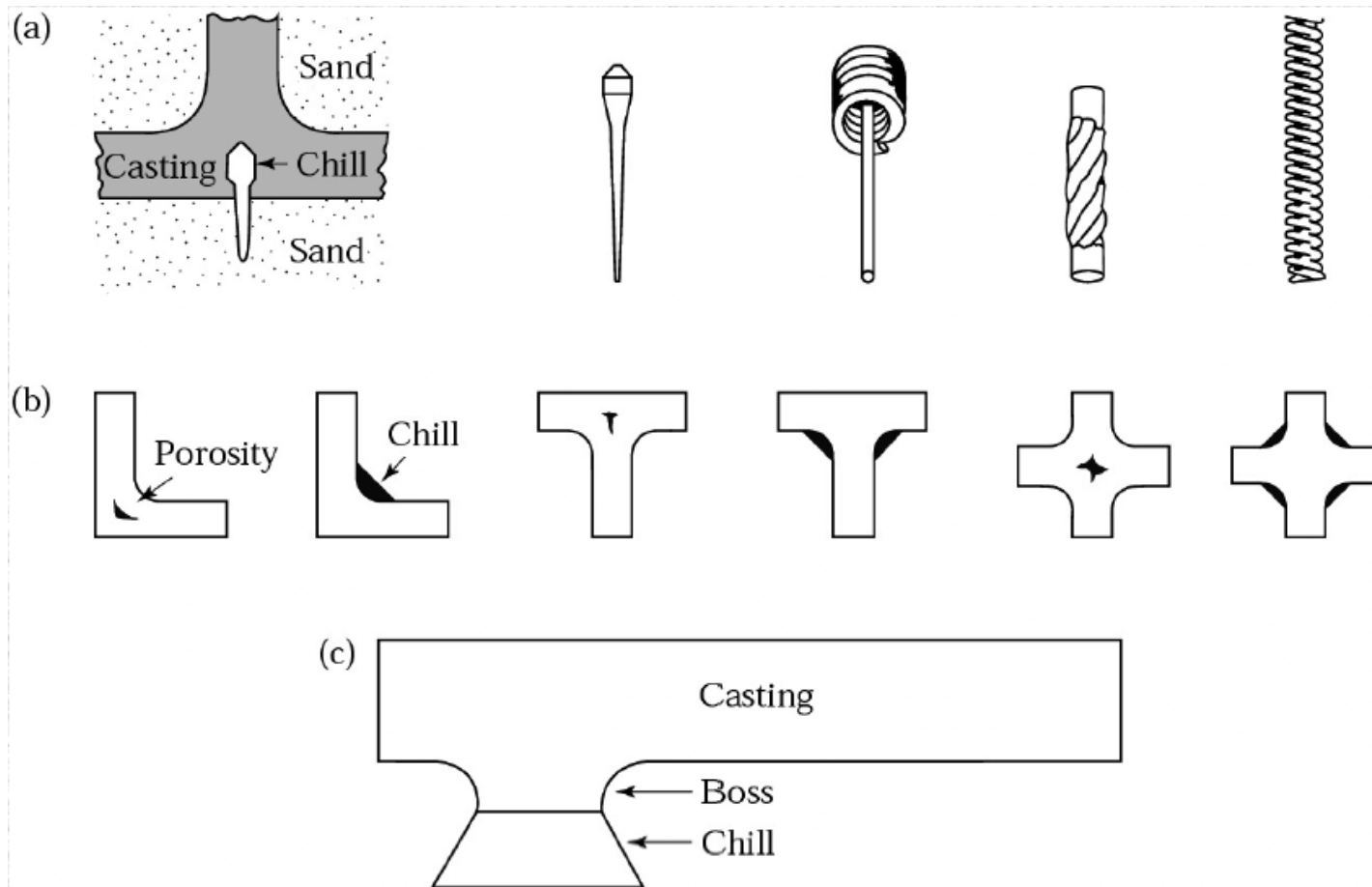
## اجزای قالب ریخته گری بدنه موتور



## پیچیدگی ماهیچه بدنه موتور



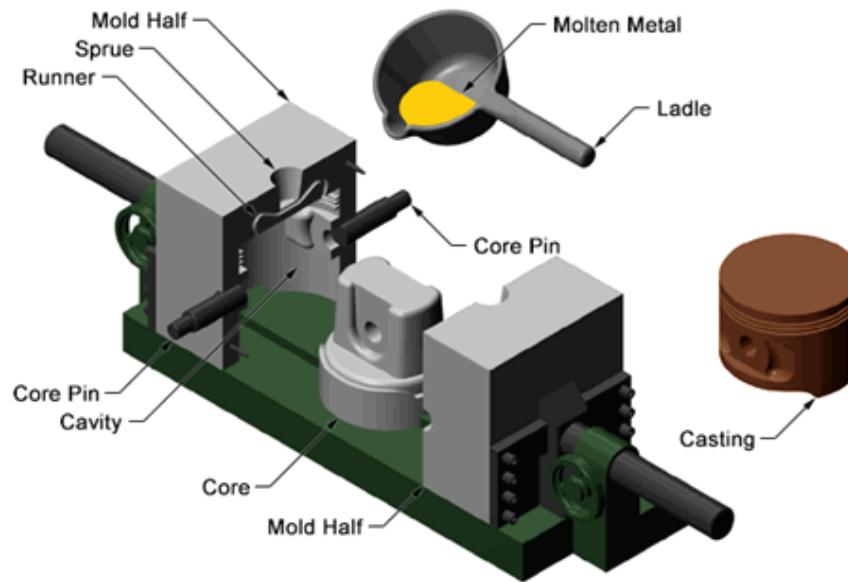
## بهبود فرآیند انجماد در نقاط بحرانی با استفاده از مبرد های داخلی و خارجی



## روش های مختلف ریخته گری

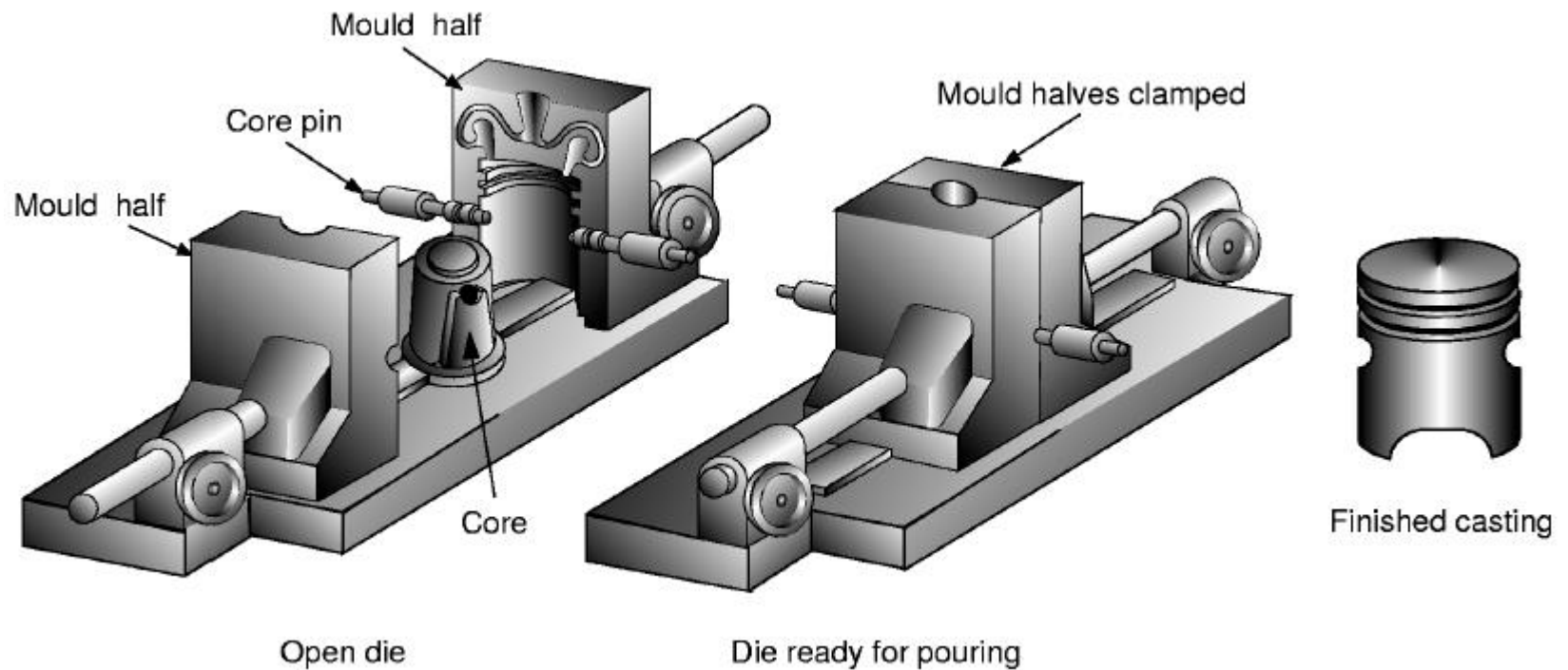
## ریخته گری در قالب های ریژه (روش ثقلی)

در این روش قالب فلزی به منظور تولید قطعه ای مکررا مورد استفاده قرار گیرد و مذاب بر اساس وزن (نیروی ثقل) قالب را پر نماید. در این روش ماهیچه های ساده از فلز ساخته می شود ولی ماهیچه های پیچیده تر از ماسه یا گچ تهیه می گردند. در مواردی که از ماهیچه های ماسه ای یا گچی در قالب ویژه استفاده شود به آن روش نیمه دائمی نیز می گویند.



Copyright © 2008 CustomPartNet

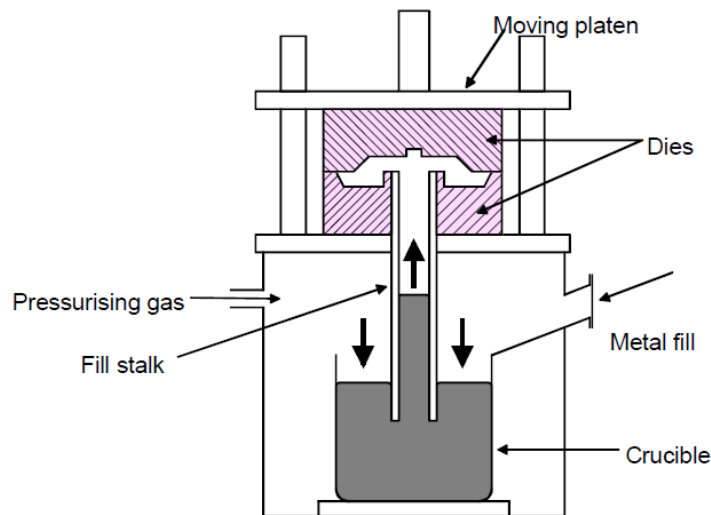
## ریخته گری در قالب های ریژه (روش ثقلی)





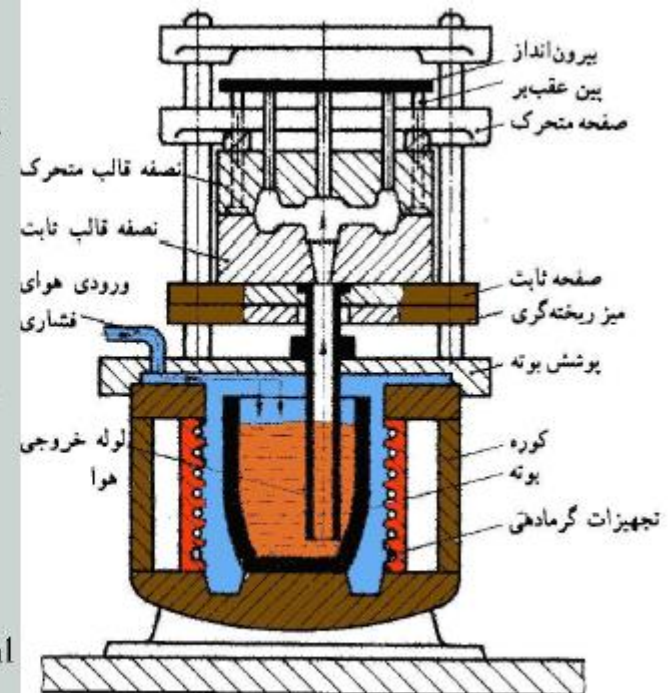
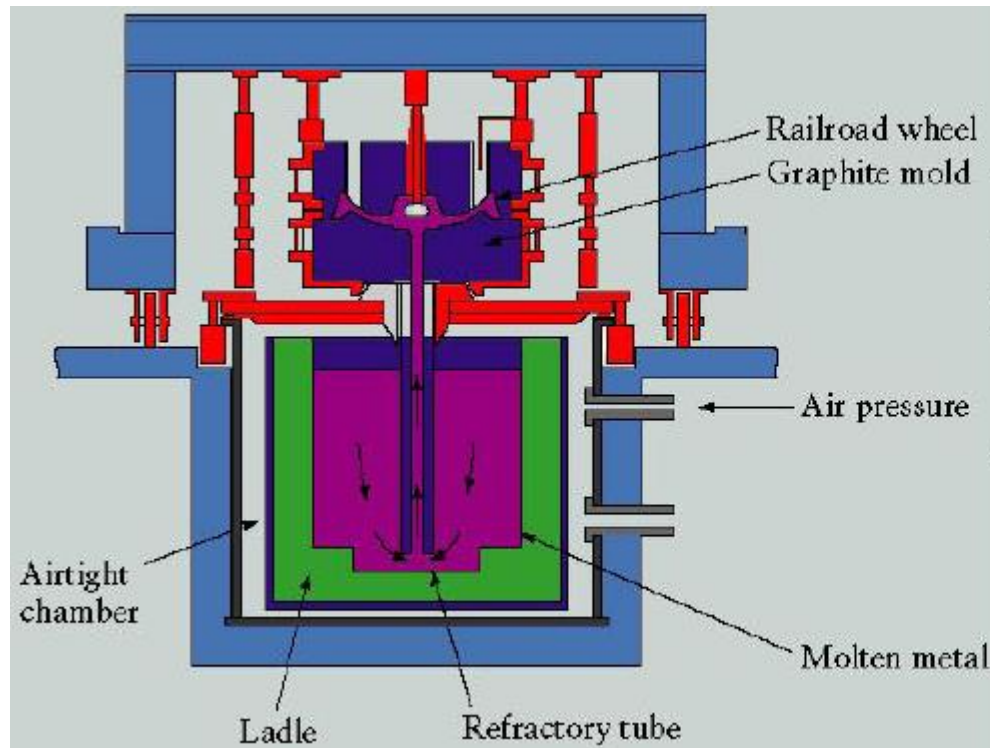
## ریخته گری کم فشار در قالب های دائمی

- در این روش از فشار گاز برای پر کردن قالب استفاده می شود.
- جنس قالب در این روش از فلز یا گرافیت است.

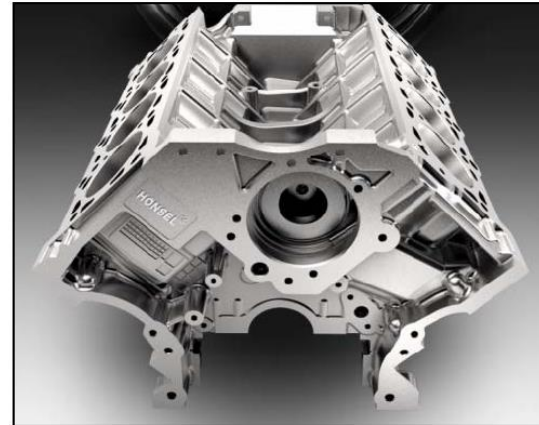
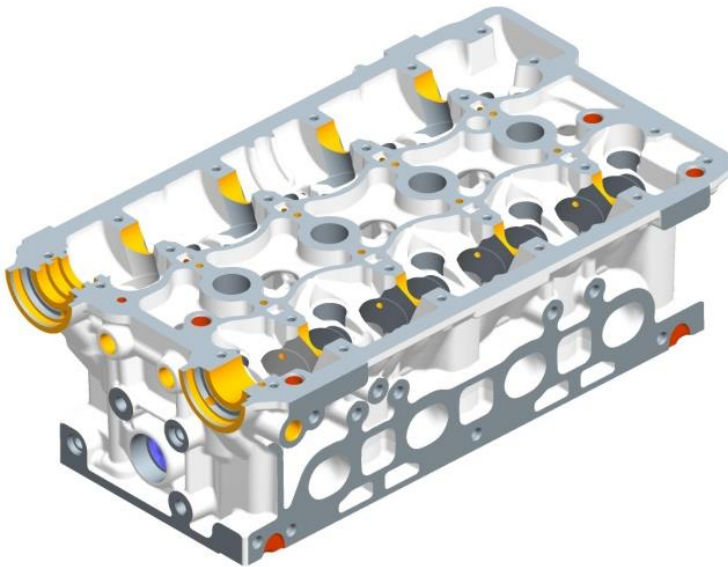


LPDC casting machine and furnace

## ریخته گری کم فشار در قالب های دائمی

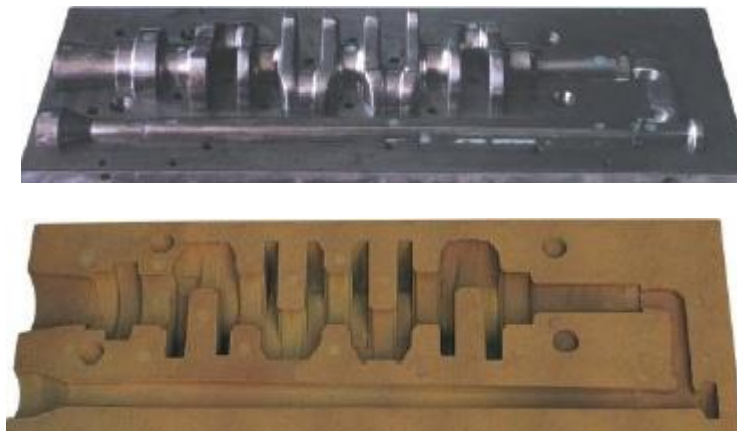


## ریخته گری کم فشار در قالب های دائمی

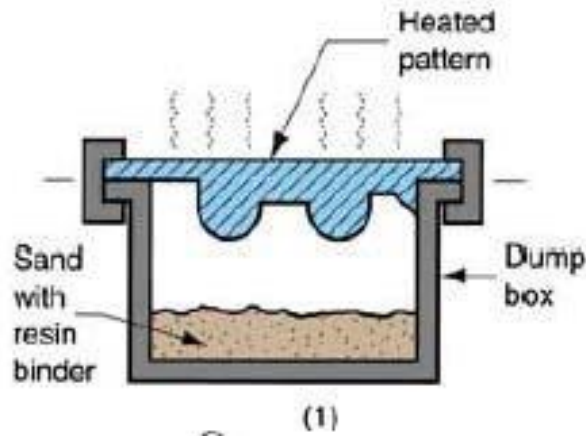


Engine block for the Ford Mustang Shelby GT500 car produced by Honsel in its patented low-pressure sand casting and a new, innovative cylinder bore coating process  
Source: Honsel

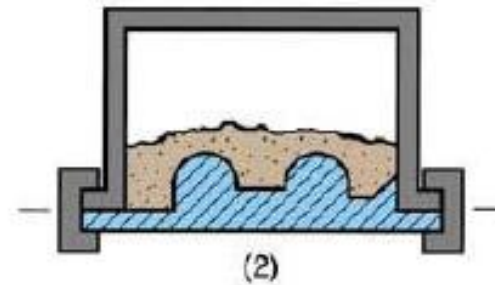
- این روش برای قطعاتی که دقت ابعادی و صافی سطح زیادی نیاز دارند مورد استفاده قرار می گیرد. هزینه ساخت قالب با استفاده از این روش کاهش می یابد.
- با توجه به اینکه در این روش سطح حفره قالب صاف تر از قالب ماسه ای است. مذاب بهتر داخل حفره جریان می یابد و دقت ابعادی و صافی سطح بهتری حاصل می شود.
- این روش معمولاً برای میل لنگ و دسته سمبه مورد استفاده قرار می گیرد.



## مراحل روش ریخته گری پوسته ای

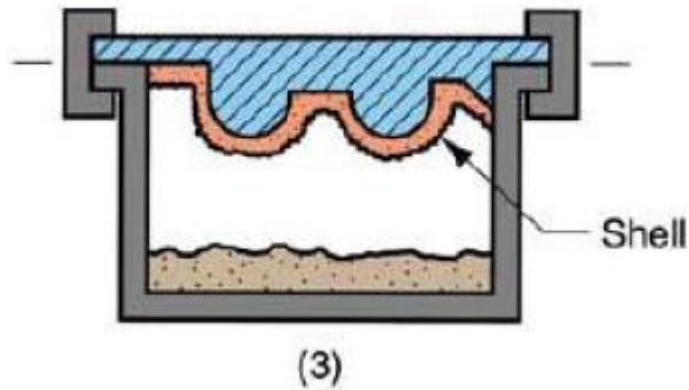


• قرار گیری الگوی پیش گرم شده  
روی محفظه حاوی ماسه مخلوط  
شده با چسب حرارتی

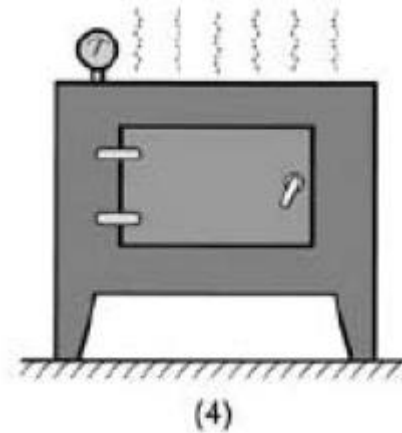


• چرخش محفظه برای قرار گیری  
لایه ای از ماسه روی الگو

## مراحل روش ریخته گری پوسته ای



• برگرداندن محفظه به حالت عادی خود



• گرما دادن به پوسته ماسه ای جهت تکمیل فرایند شکل گیری

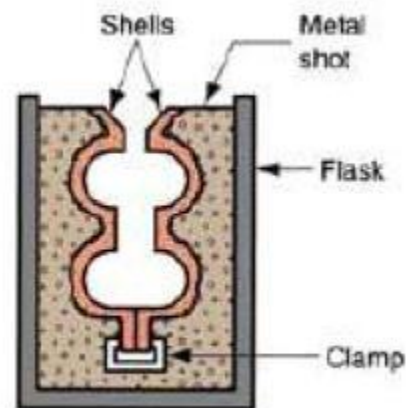


## مراحل روش ریخته گری پوسته ای



(5)

• جداسازی پوسته از الگو



(6)

• نصب دو پوسته در درجه ها

## مراحل روش ریخته گری پوسته ای میل لنگ

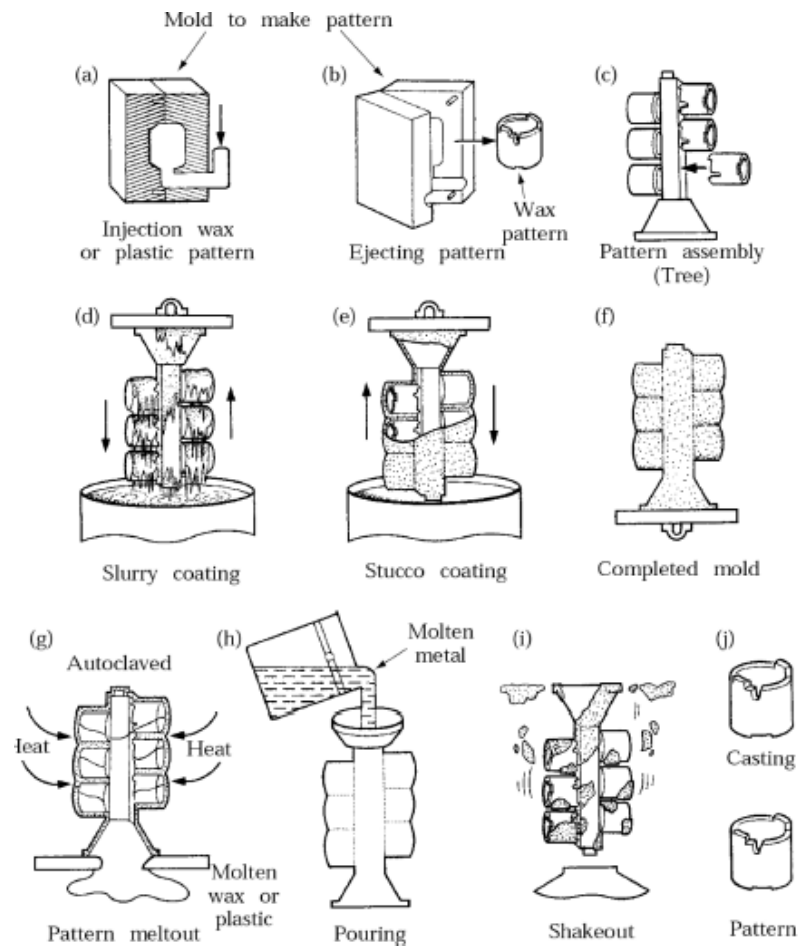




## مراحل روش ریخته گری پوسته ای میل لنگ

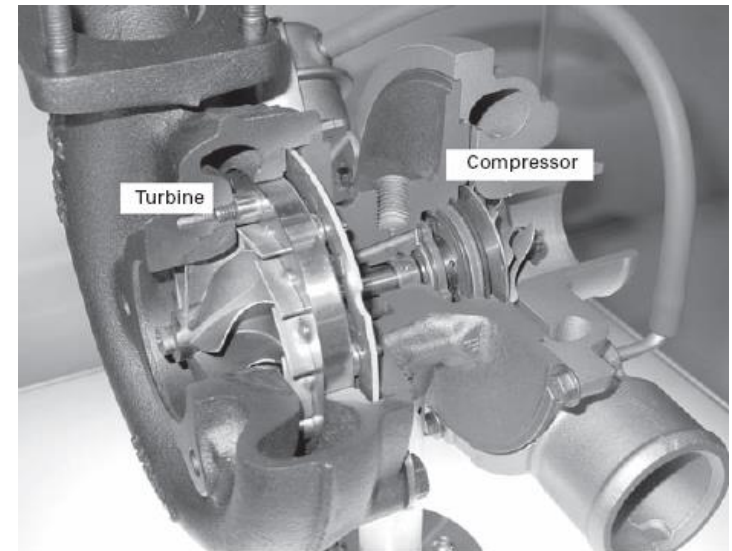
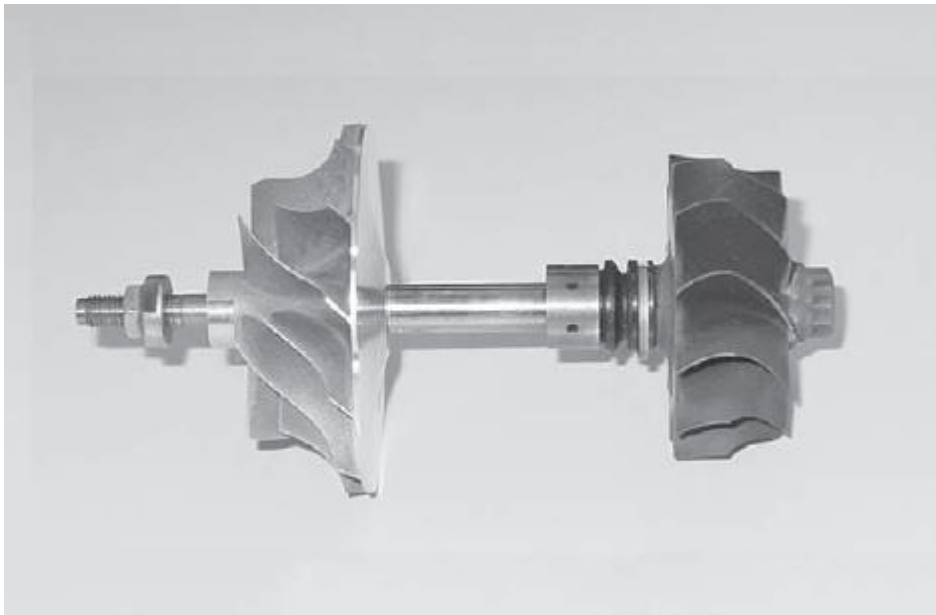


# ریخته گری دقیق (Investment casting)

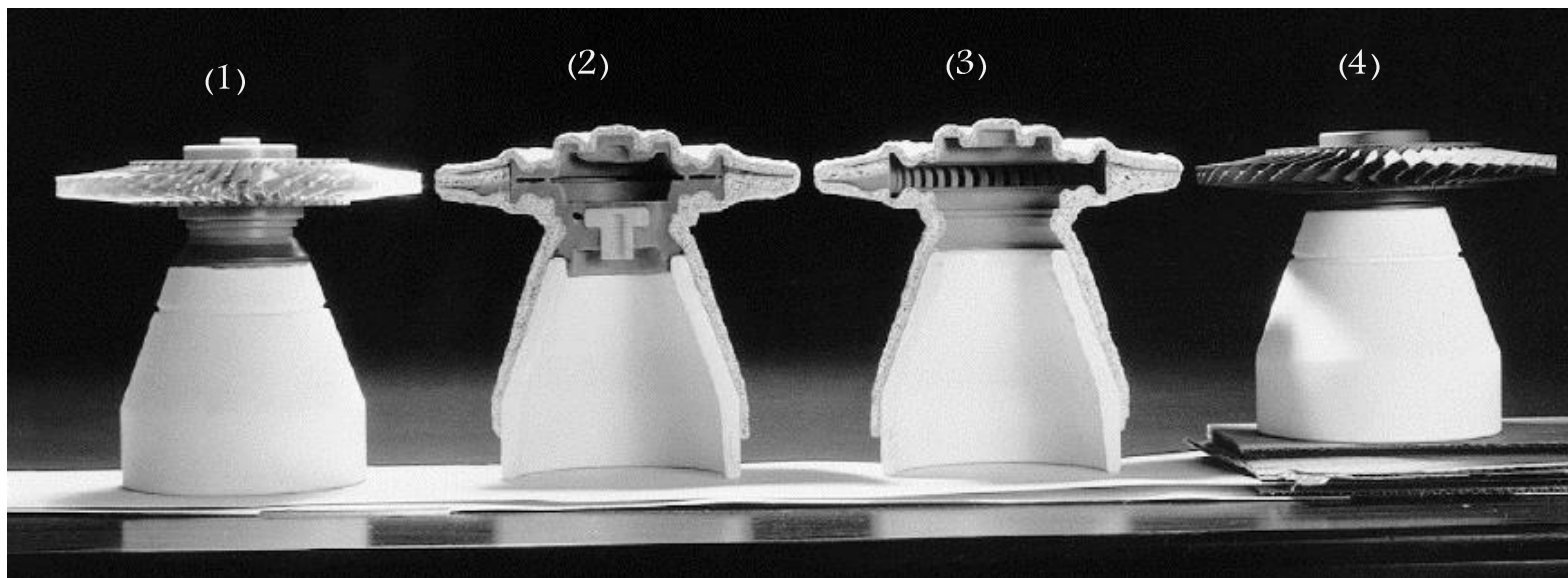


# ریخته گری دقیق (Investment casting)

- برای ساخت پره های گردا که از جنس Inconel 713C هستند و همچنین پره های آلومینیومی گردا از روش ریخته گری دقیق استفاده می شود.
- این روش برای ساخت قطعاتی استفاده می شود که دقت ابعادی و صافی سطحی زیادی دارند.

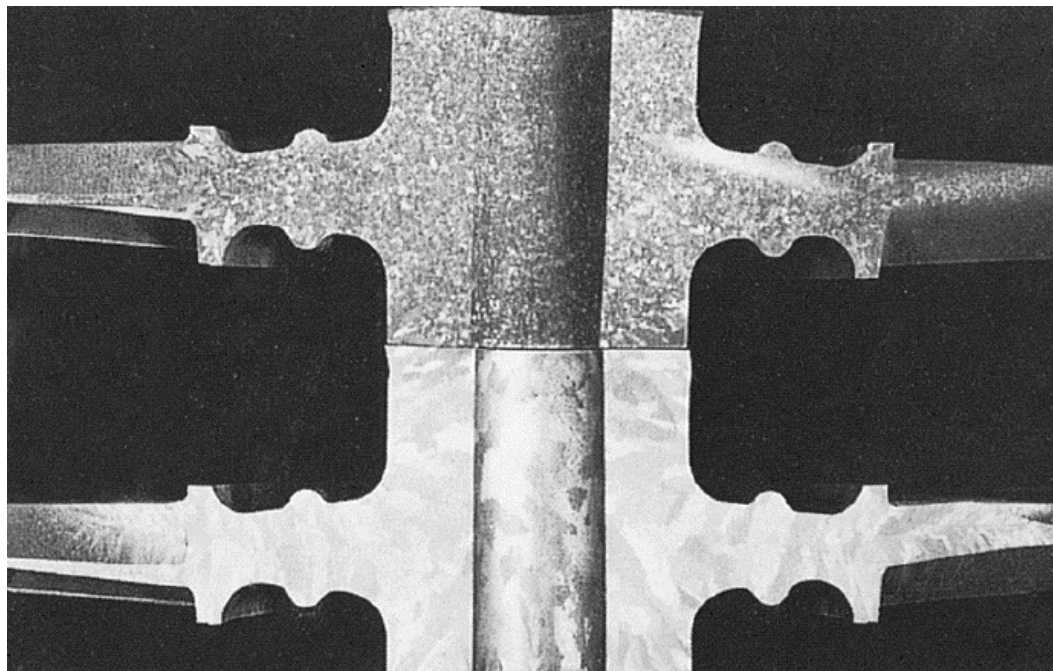


## مراحل ساخت چرخ توربین گاز

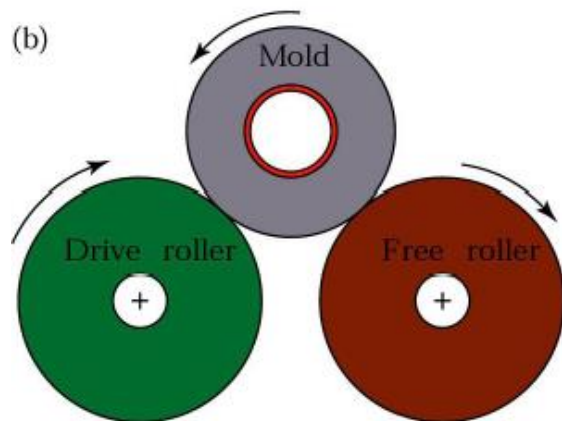
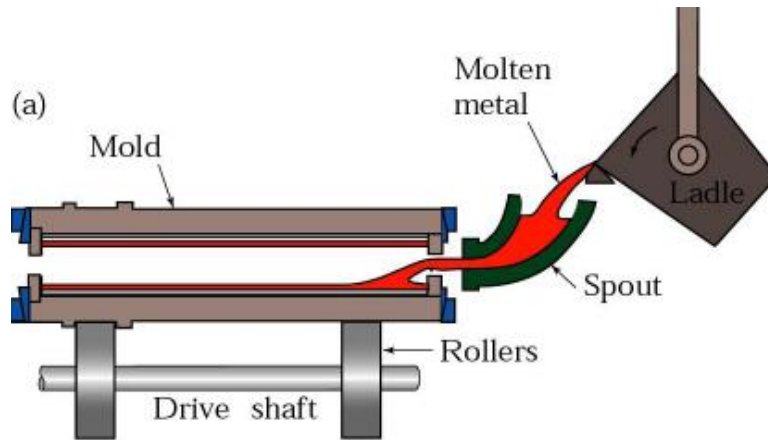


1. مجموعه الگوی مومی
2. پوسته سرامیکی به دور الگوی مومی
3. موم ذوب شده و ماده مذاب تحت خلا داخل قالب ریخته می شود
4. ساخت چرخ (پره)

## مقایسه چرخ های ساخته شده به روش ریخته گری سنتی و دقیق







• در این روش مذاب در اثر نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخش قالب (با سرعت 300-3000 دور بر دقیقه) به دیواره قالب می چسبد.

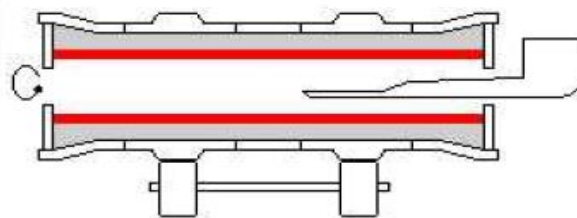
• دانه بندی ریزی از این روش حاصل می شود و قطعات تولید شده خواص مکانیکی بهتری نسبت به روش های ایستای ریخته گری دارند.

• آستری بدنه به این روش تولید می شود.

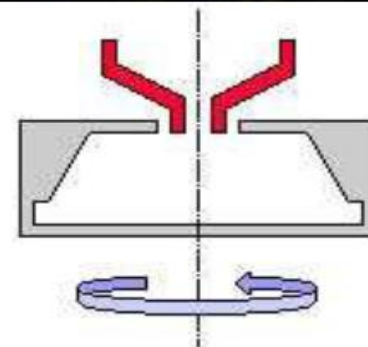
## Centrifugal Casting



horizontal

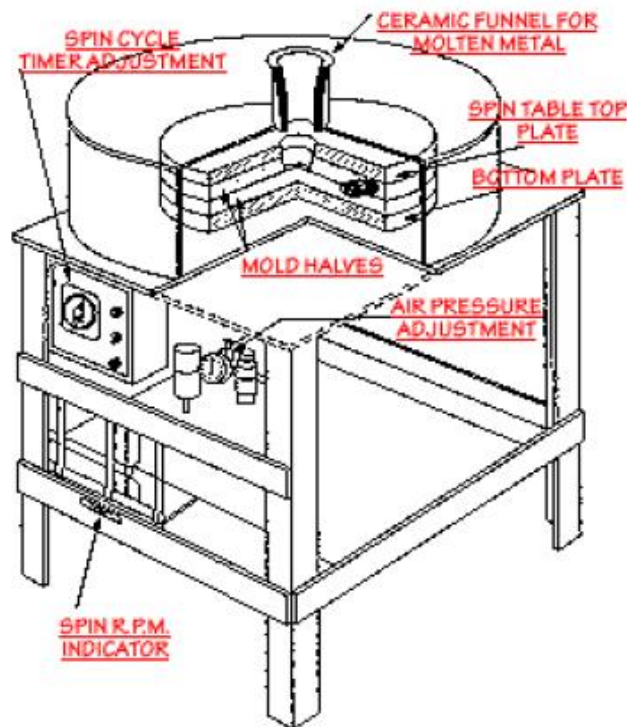


sand-lined mold  
casting

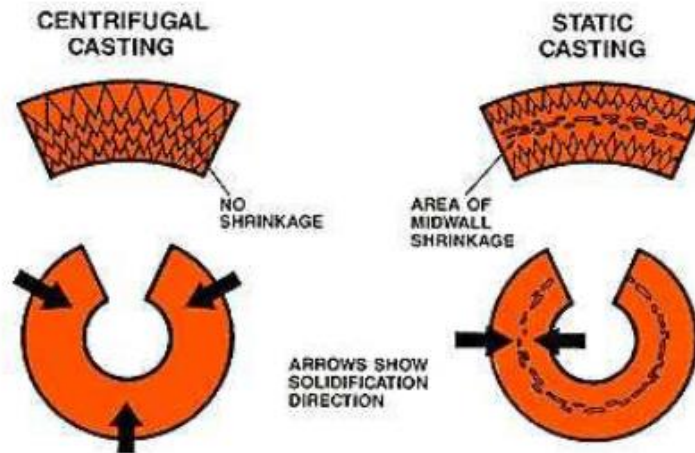


vertical

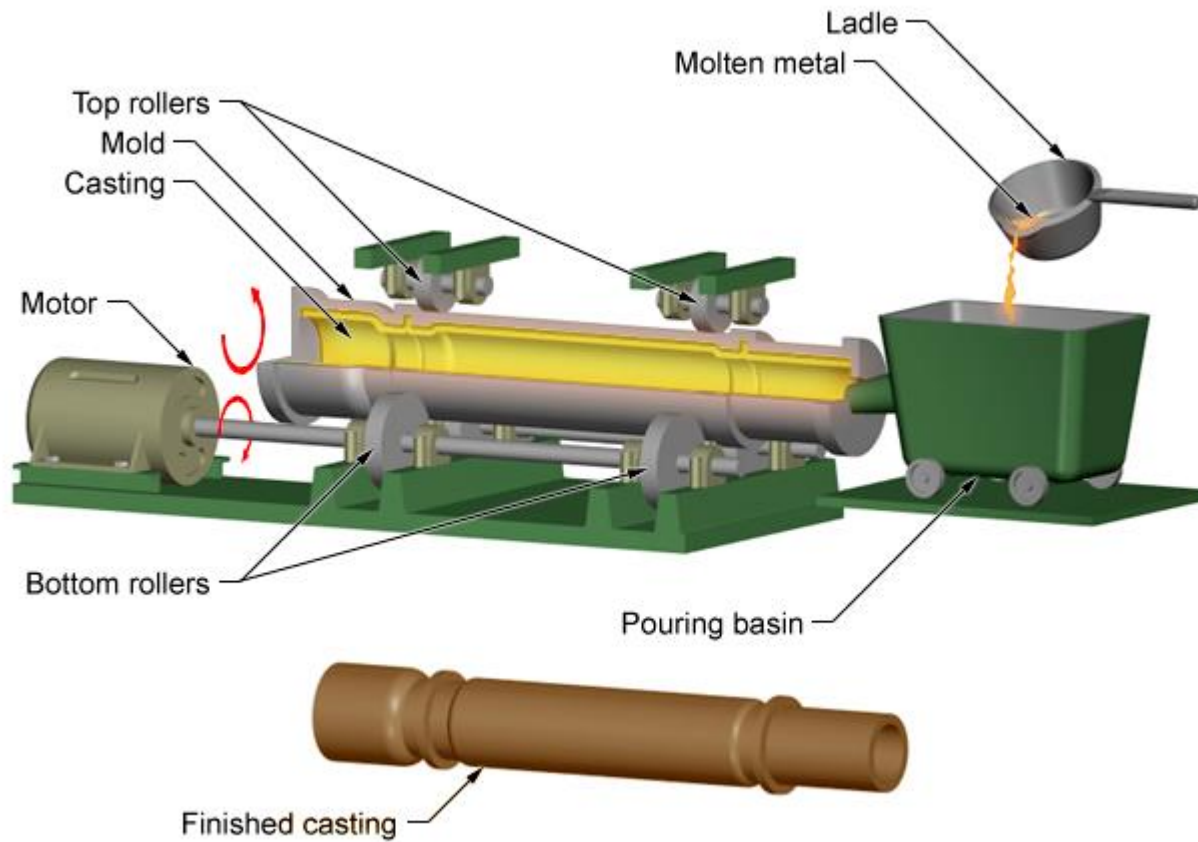
# Centrifugal Casting



## Casting Soundness Comparison







Copyright © 2009 CustomPartNet

# ریخته گری به روش فوم فنا شونده

## Lost foam casting



# فرآیند تولید

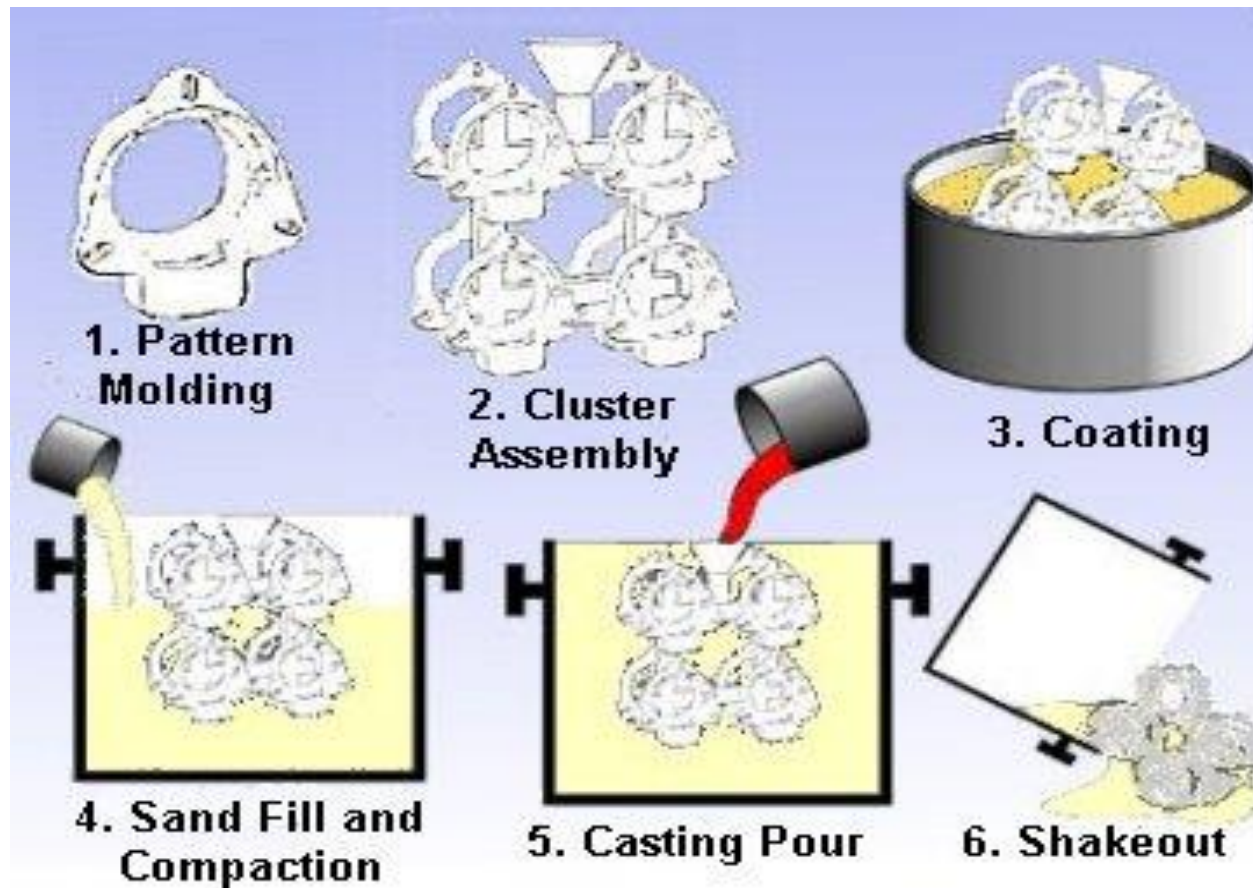
- ❖ روش لاست فوم یکی از روشهای ریخته گری توپر در تولید قطعات ریخته گری است.
- ❖ در ریخته گری به روش لاست فوم از مدل قطعات مختلف از پلی استایرن منبسط شده (فوم) استفاده می گردد و پس از اتصال ضمام ، سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری توسط ماسه بدون چسب قالبگیری شده و پس از ریختن مذاب در داخل محفظه ، که هنوز مدل پلی استایرن در آن قرار دارد ، این مواد تجزیه و تبخیر گشته و کاملاً توسط مذاب جایگزین می گردد.
- ❖ هنگامی که قطعات بزرگ و تکی باشند ، بکارگیری این روش کاملاً مقرون به صرفه و آسان است.

- مراحل تولید مدل فومی:

- ورود دانه های منبسط شده به قالب و انبساط آنها توسط دمش بخار آب.
- خنک شدن فوم تولیدی توسط آب.
- خروج مدل از قالب.

- در این روش به دلیل آنکه مدل پلی استایرن در قالب مدفون شده و خارج نمی گردد ، مشکلاتی از قبیل نحوه قالبگیری ، شیب مدل و خط جدایش حذف شده و مسایل دیگری مانند تشکیل و خروج گازهای حاصل از تجزیه و سوختن مواد پلی استایرن مطرح می گردد.

- در این روش از ماسه بدون چسب برای قالبگیری استفاده می شود و این خود از مزایای عمده این روش به شمار می رود ، زیرا هزینه مصرف چسب و همچنین بازیابی ماسه به حداقل می رسد.



# پوشش فوم

- هنگامی که مذاب در قالب ریخته می شود ، شروع به تجزیه پلی استایرن می کند و جایگزین آن می شود ، اما از آنجاییکه حرارت ماسه توسط تشعشع به مدل منتقل می شود ، پلی استایرن قبل از رسیدن مذاب به آن تجزیه شده و به گاز تبدیل می شود. بنابراین در حد فاصل بین جبهه مذاب و مدل پلی استایرن ، فاصله ای به وجود می آید که تنها توسط گازهای حاصل از تجزیه پر شده است. برای جلوگیری از ریختن ماسه در این حد فاصل معمولاً پلی استایرن را توسط یک پوشش دیرگداز پوشش می دهند. این پوشان همانند یک پل مانع از فروریزی ماسه در این حد فاصل می شود.
- پوشان ها از اختلاط یک پودر دیرگداز مانند گرافیت ، آلومینا یا سیلیس در یک ماده حمال مانند آب و افزودن سایر مواد لازم جهت معلق نگاه داشتن پودر دیرگداز در مایع حمال و ... تولید می شوند.
- پوشان ها توسط غوطه ور کردن پلی استایرن در آن یا اعمال آن توسط اسپری با برس بر روی پلی استایرن پوشش داده می شود و سپس در دمای ۵۰ درجه برای چند ساعت حرارت داده می شود تا خشک گردد.

## 10 مزایای لاست فوم:

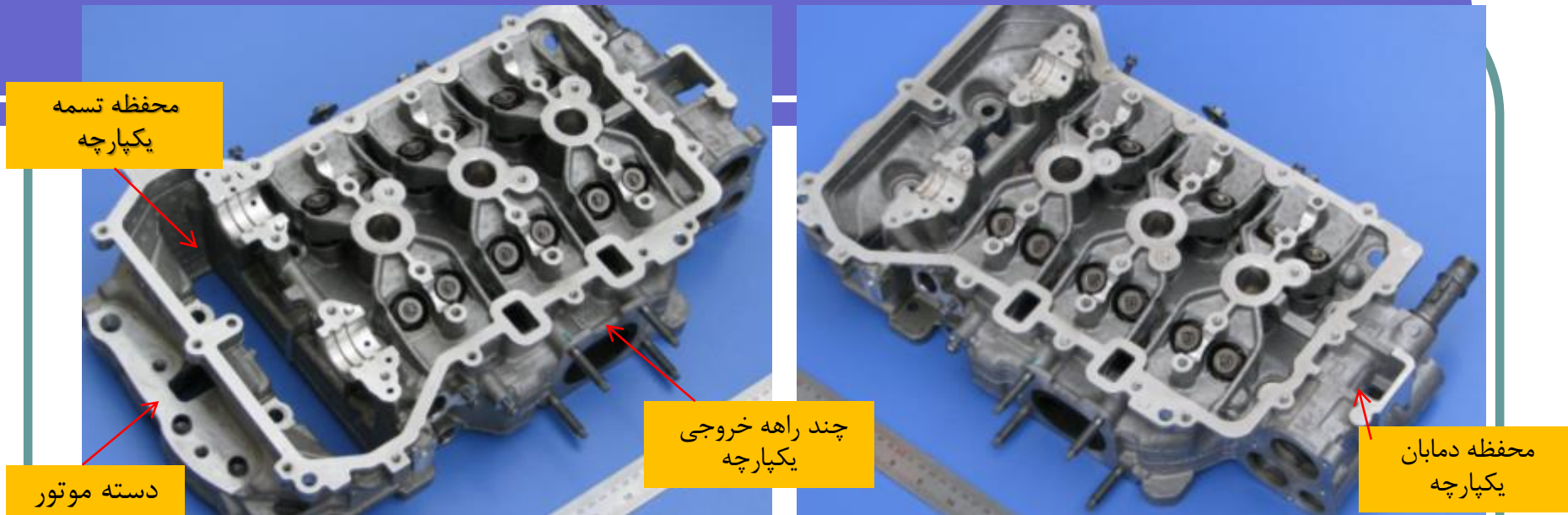
- قابلیت تولید قطعات پیچیده
- توجه اقتصادی در اثر کاهش مراحل , پیچیدگی و زمان تولید
- حذف ماهیچه و در نتیجه عدم شکست و جابجایی ماهیچه و عدم نیاز به تمیز کاری کانال های قطعه
- عدم سرمایه گذاری در تجهیزات ماهیچه گیری , بازیافت ماسه و تجهیزات پیچیده تخلیه ماهیچه
- سهولت تولید قطعه با شیب های منفی (عدم نیاز به خارج کردن مدل)
- کاهش اتلاف مواد اولیه
- کاهش تولید مواد آلوده کننده محیط زیست (در این روش نیازی به چسب کاری نبوده و تمام ماسه مصرف شده به سهولت و بدون هیچ قرآیند اضافی قابل بازیابی می باشد).
- افزایش دقت ابعادی قطعات ناشی از پوشش روی سطح فوم
- کاهش مراحل ماشین کاری
- به کارگیری برای تولید نمونه سریع قطعات (rapid prototyping)

### ❖ معایب:

- خواص مکانیکی پایین ( از قبیل استحکام و سختی و ..)
- ایجاد تخلخل ناشی از گاز متصاعد شده سوختن فوم
- کیفیت پایین سطوح ریخته گری
- افزایش قیمت تجهیزات ریخته گری



# بستار موتور سه استوانه PSA EB2-NA



بستار تولید شده به روش لاست فوم / طرح یکپارچه با چند راهه خروجی , محفظه دمایان , قاب تسمه و دسته موتور



پایان

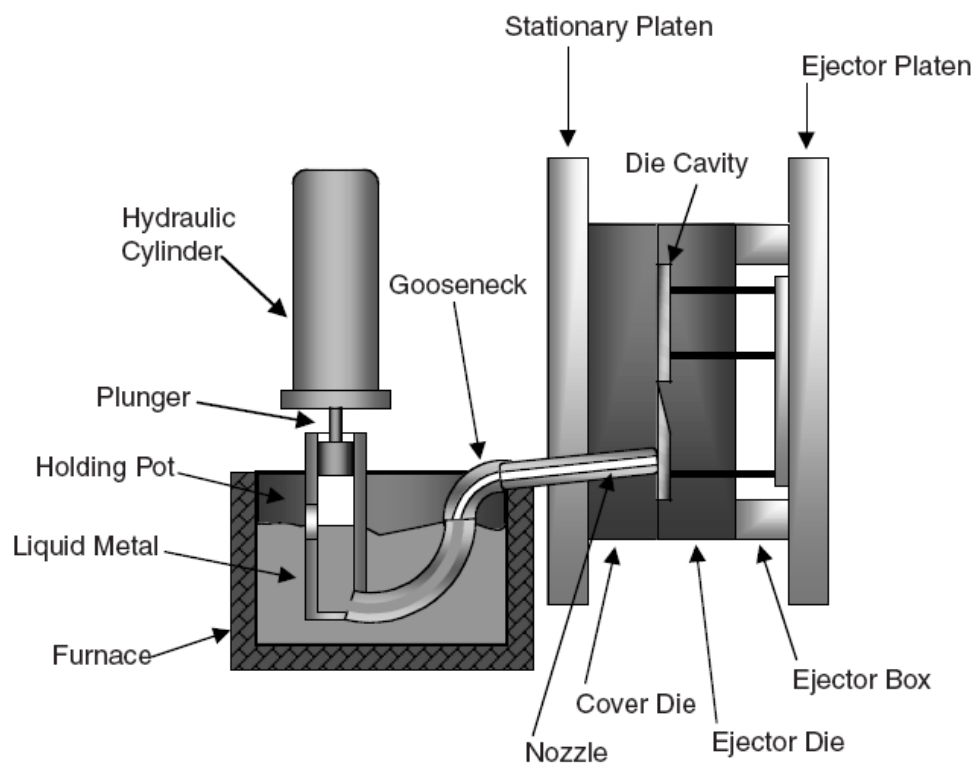
به نام خدا

# درس روش های ساخت

جلسه هشتم: ریخته گری پرفشار

# ریخته گری پرفشار در محفظه داغ

□ در این روش قسمت اصلی تزریق مذاب در سراسر فرایند توسط کوره گرم می شود.



# ریخته گری پرفشار در محفظه داغ

□ چون مذاب دائماً داغ نگه داشته می شود و مسیر آن تا حفره قالب خیلی کوتاه است، زمان چرخه های ریخته گری در این فرایند کوتاه است.

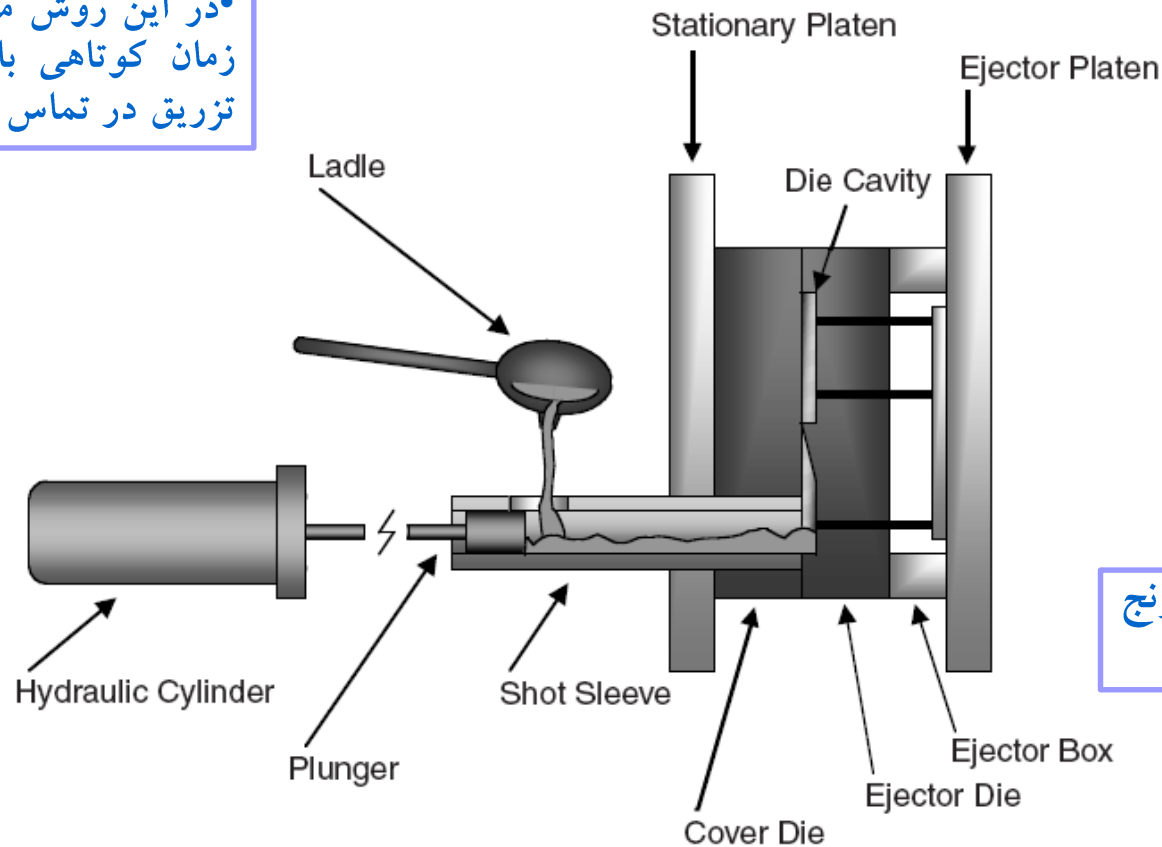
□ زمان پر شدن قالب 40-5 میلی ثانیه است. زمان کاری بسته به وزن قطعه 1-30 ثانیه است.

□ این روش بیشتر برای فلزات با نقطه ذوب کم مانند سرب و آلیاژهای روی مورد استفاده قرار می گیرد.

□ برای فلزات با نقطه ذوب بیشتر مانند آلومینیوم از این روش نمی توان استفاده نمود چون دمای زیاد مذاب ممکن است لوله های انتقال دهنده مذاب را خراب کند.

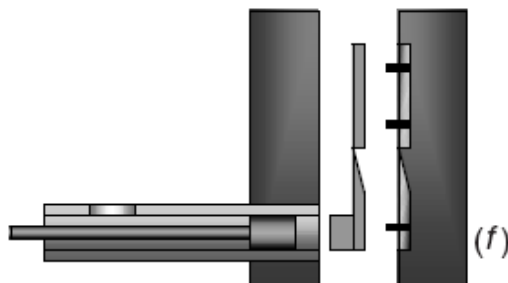
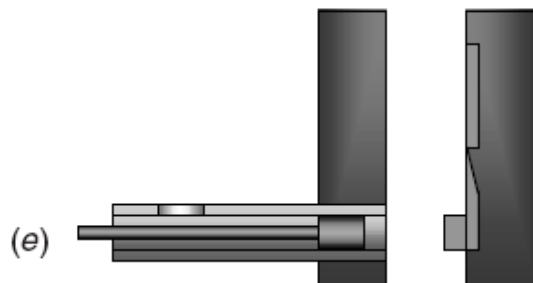
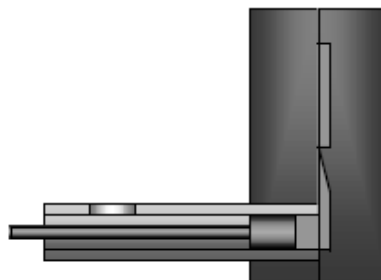
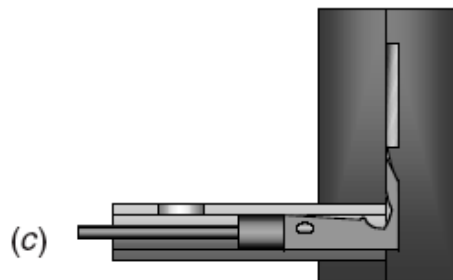
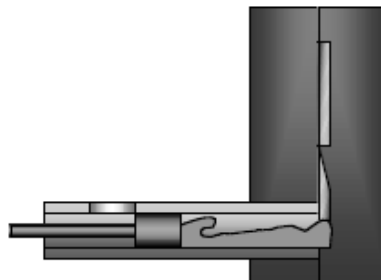
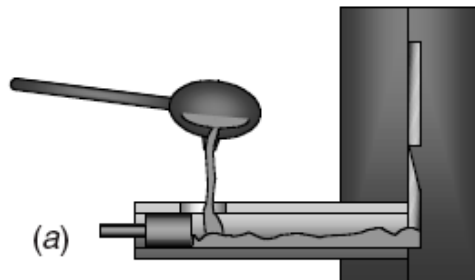
# ریخته گری پرفشار در محفظه سرد

• در این روش مذاب در زمان کوتاهی با سیستم تزریق در تماس است.



• برای آلومینیوم و برنج استفاده می شود.

## مراحل ریخته گری پرفشار در محفظه سرد



❑ مذاب با استفاده از یک سمبه که به صورت هیدرولیکی کار می کند فشرده می شود.

❑ فشار زیاد در هنگام انجماد نیز روی قالب نگه داشته می شود.

❑ جدا شدن قطعه نهایی با استفاده از پران انجام می گیرد.

## ویژگی های ریخته گری پرفشار

❑ چون ریخته گری در فشار زیاد انجام می شود، نیازی به استفاده از دمای قالب گرم مانند ریخته گری کم فشار و ثقلی نیست. در نتیجه در این روش دمای قالب کم نگه داشته می شود (تقریباً 200 درجه سانتی گراد)

❑ کوچک بودن دمای قالب باعث کاهش زمان سرد شدن می شود.

❑ در روش های دیگر از لایه ضخیم محافظ پوششی روی سطح قالب استفاده می شود.

❑ دقت ابعادی و صافی سطح قطعات تولیدی به این روش بسیار مطلوب است.

❑ قطعات تولید شده به این روش نیازی به ماشینکاری و عملیات پرداخت کاری کمی دارند.



## محدودیت اصلی ریخته گری پرفشار

❑ قطعات تولید شده با استفاده از این روش مشکل وجود تخلخل (porosity) را دارند و این تخلخل در اثر انقباض و گازهای موجود در مذاب به وجود می آیند.

❑ انقباض در اثر این بوجود می آید که چگالی اکثر آلیاژها در حالت جامد بیش از چگالی آن ها در هنگام مذاب است.

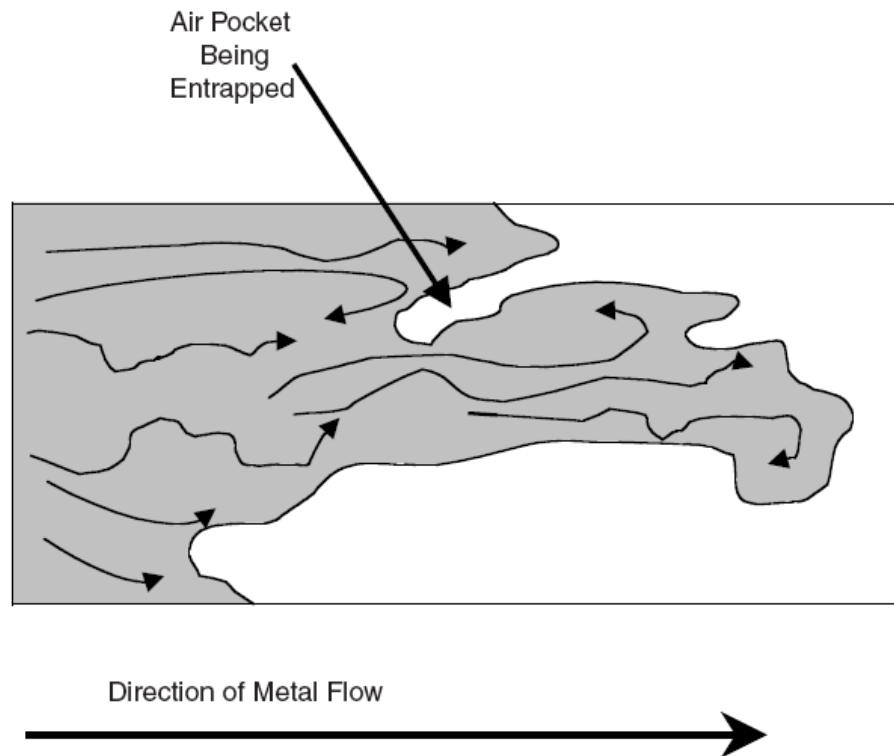
❑ جریان گردابی باعث حبس و ورود گاز به مذاب و ایجاد تخلخل می شود. گازها در اثر سه عامل ایجاد می شوند: 1- هوای گیر افتاده داخل مذاب 2- گازهای حاصل از تجزیه روانکارهای قالب 3- گازهای حل شده در مذاب

❑ تخلخل باعث تمرکز تنش و ایجاد ترک می شود.

## انواع جبهه جریان مذاب در قالب

2. جبهه جریان غیر صفحه ای

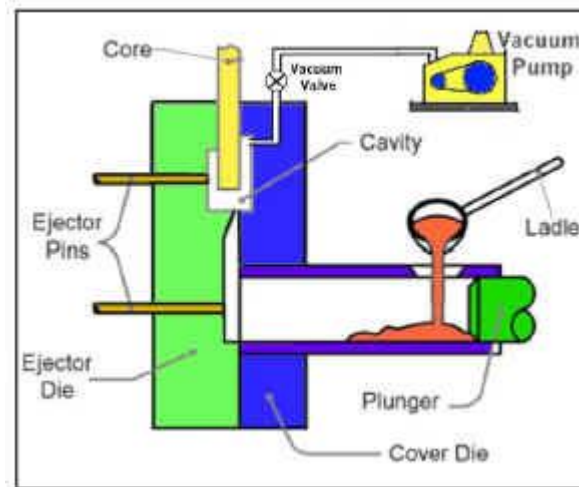
□ در این نوع جبهه جریان، که در بیشتر فرآیندهای ریخته گری پرفشار اتفاق می افتد، جبهه جریان به صورت غیر مشخصی حرکت می کند.



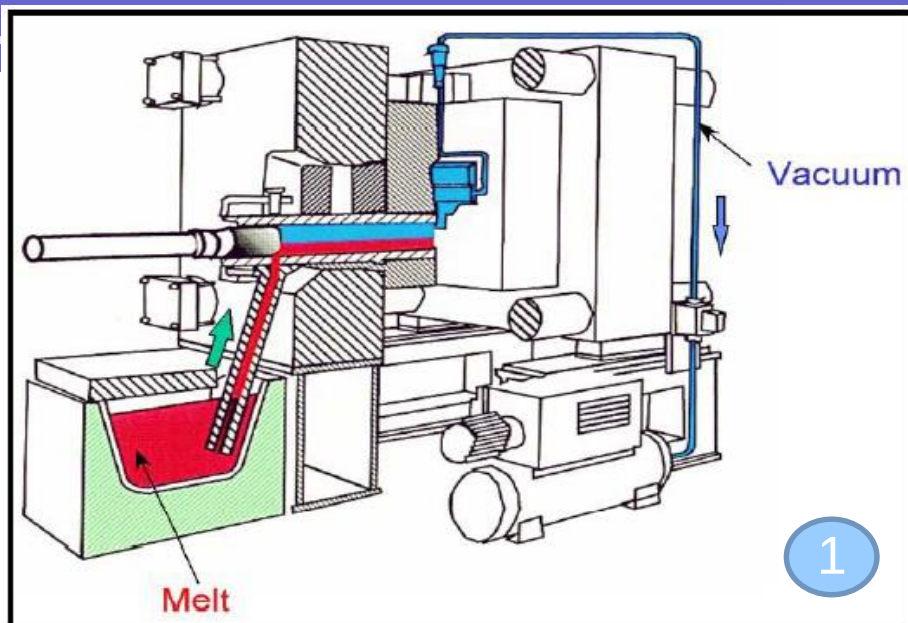
# 1. ریخته گری تحت فشار به کمک خلا

با توجه به اینکه مشکل اصلی ریخته گری تحت فشار، بحث گازهای موجود در حفره قالب است از کمک خلا برای خارج کردن گازها استفاده می شود.

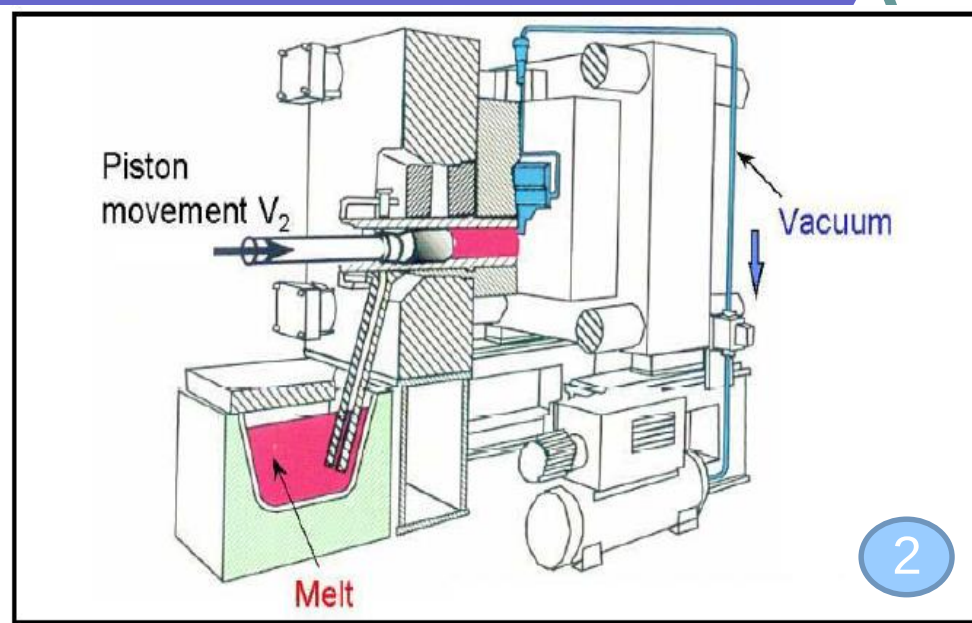
در بسیاری از فرایندهای ریخته گری مانند ریخته گری با قالب دائمی، ریخته گری دقیق و ریخته گری با فوم از خلا برای خروج گازها ممکن است استفاده شود.



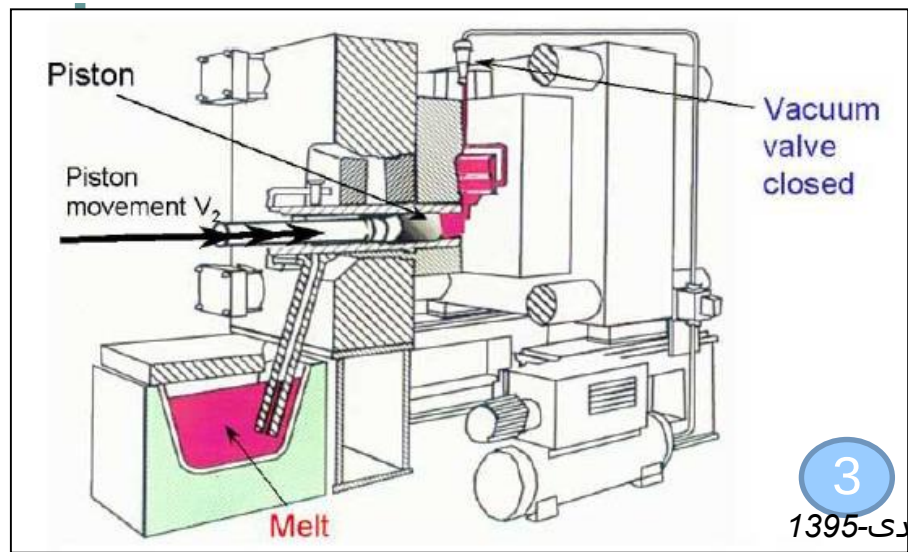
# مراحل ریخته گری تحت فشار به کمک خلا



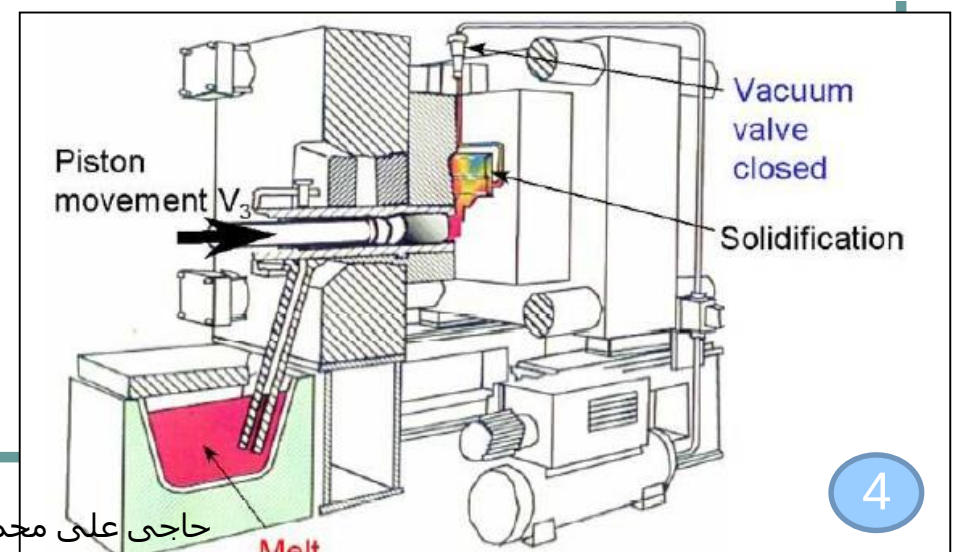
1



2



3



4

## ریخته گری تحت فشار به کمک خلا

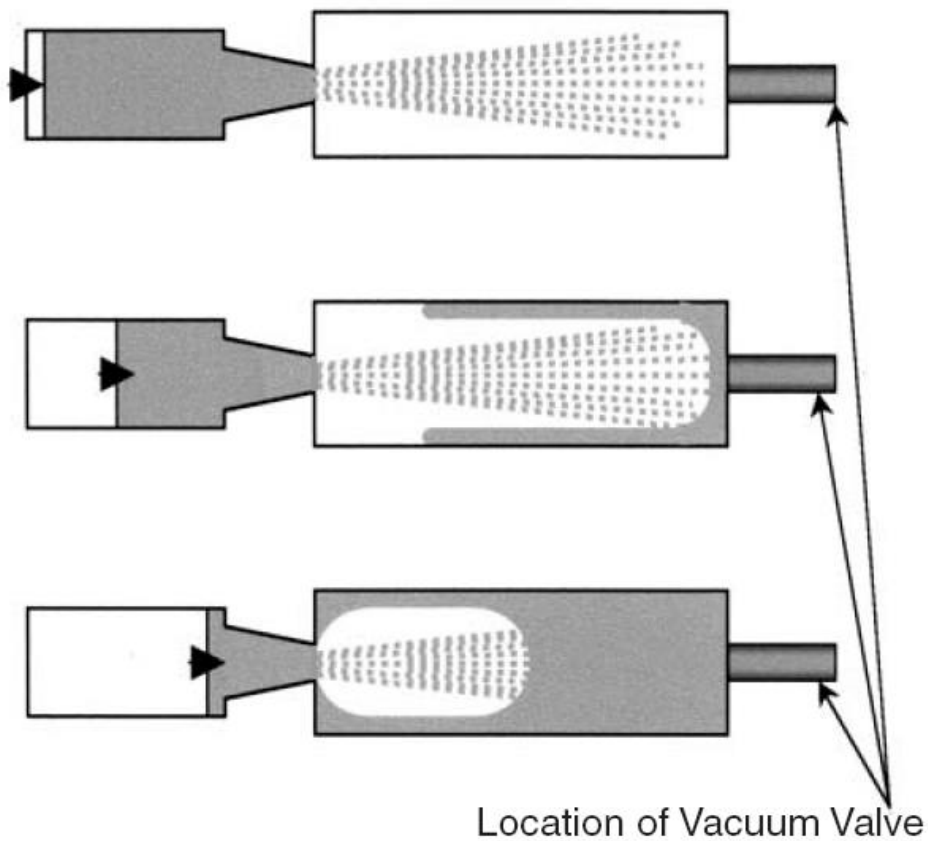
❑ با اعمال خلا 750 میلی متر جیوه (1 اتمسفر) 95٪ گازهای موجود در ورودی قالب، سیستم راهگاهی و حفره قالب تخلیه خواهند شد.

❑ زمان بندی اعمال خلا و محل اعمال آن در کارایی روش بسیار تاثیرگذار است.

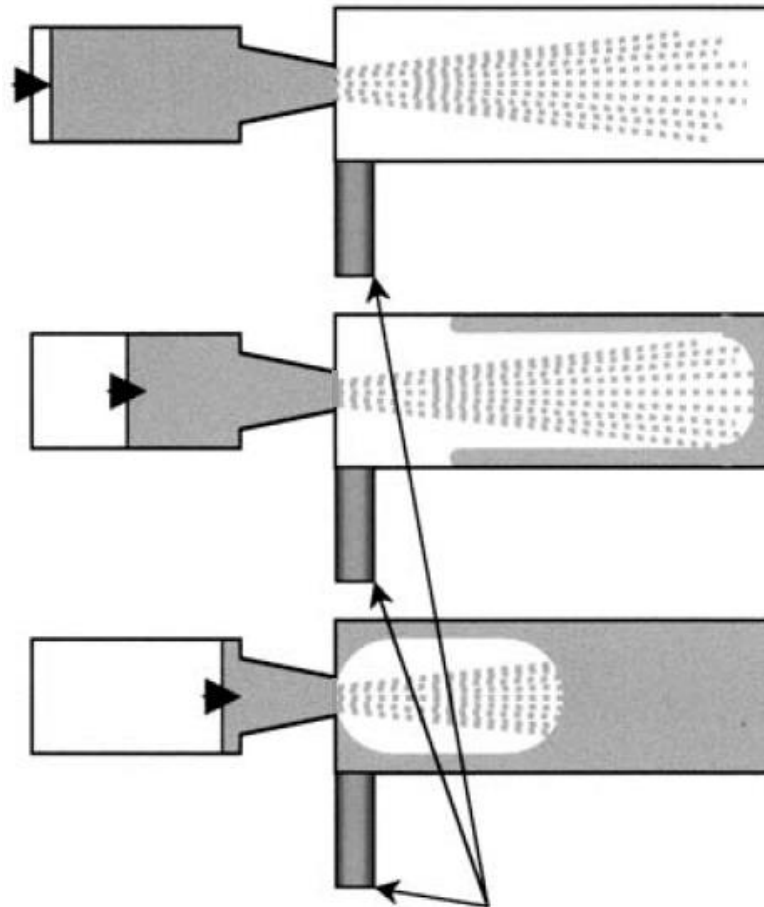
❑ محل شیر قطع و وصل خلا (shut-off valve) باید در آخرین نقطه ای باشد که مذاب به آن می رسد تا خلا بتواند در حداکثر زمان ممکن به قالب اعمال شود.

❑ شیر خلا اگر دیر بسته شود ممکن است مذاب به داخل تجهیزات خلا نفوذ کند، زود بسته شدن آن نیز ممکن است بازدهی اعمال خلا را کاهش دهد.

## قرار دادن شیر خلا در محل نامناسب



## قرار دادن شیر خلا در محل مناسب

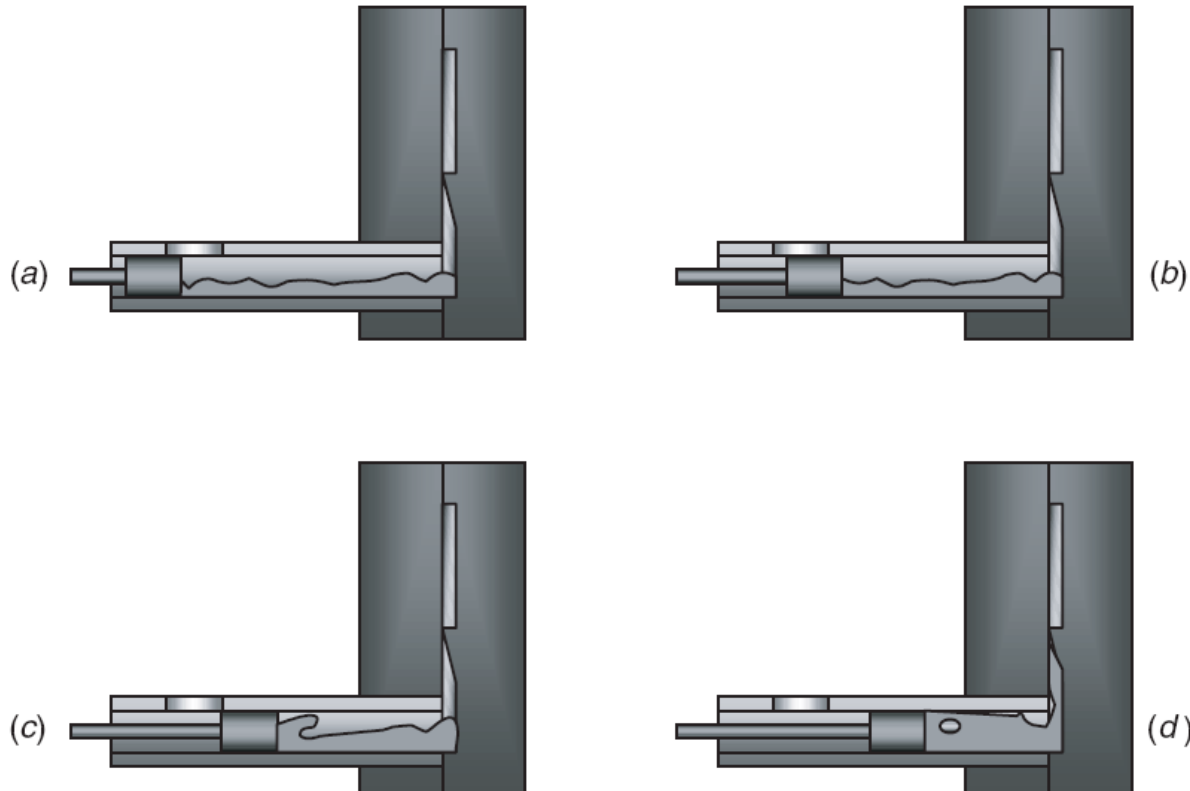


• با استفاده از نرم افزار می توان محل مناسب قرار دادن شیر خلا را مشخص نمود.

Location of Vacuum Valve

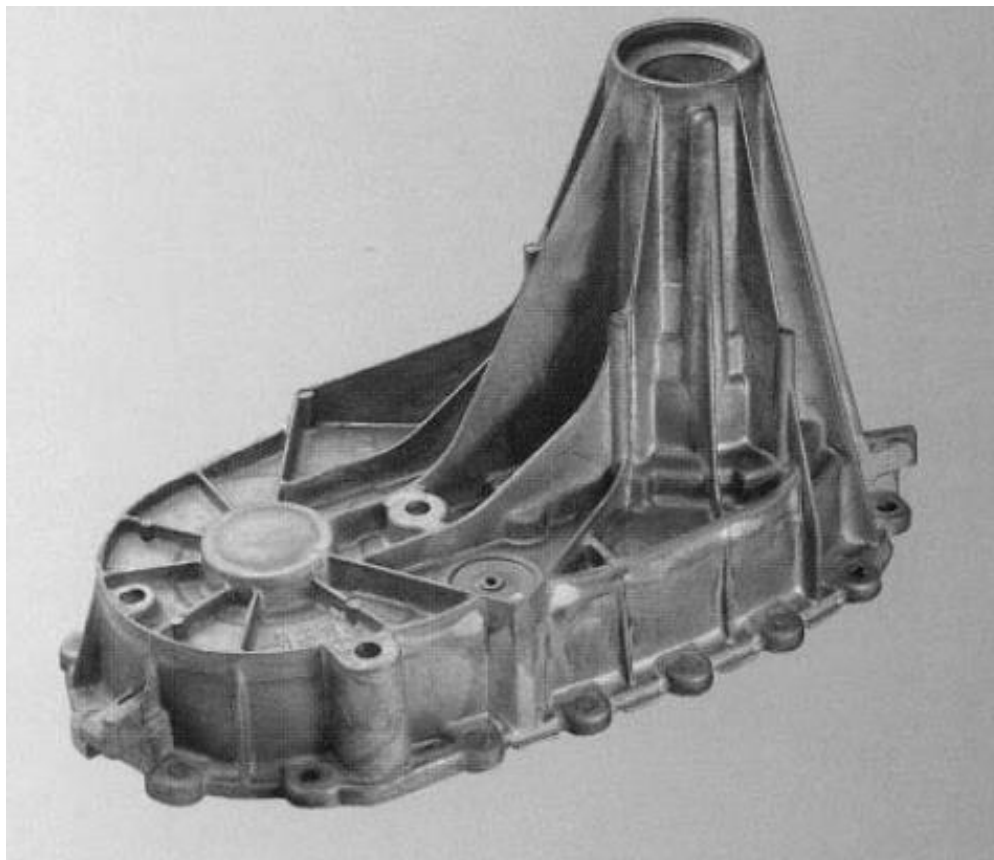
## زمان بندی اعمال خلا

• زمان شروع اعمال خلا باید حتما بعد از بسته شدن سوراخ ریختن مذاب باشد، چون اگر قبل از این زمان شیر باز شود هوای محیط در اثر خلا وارد مذاب می شود.





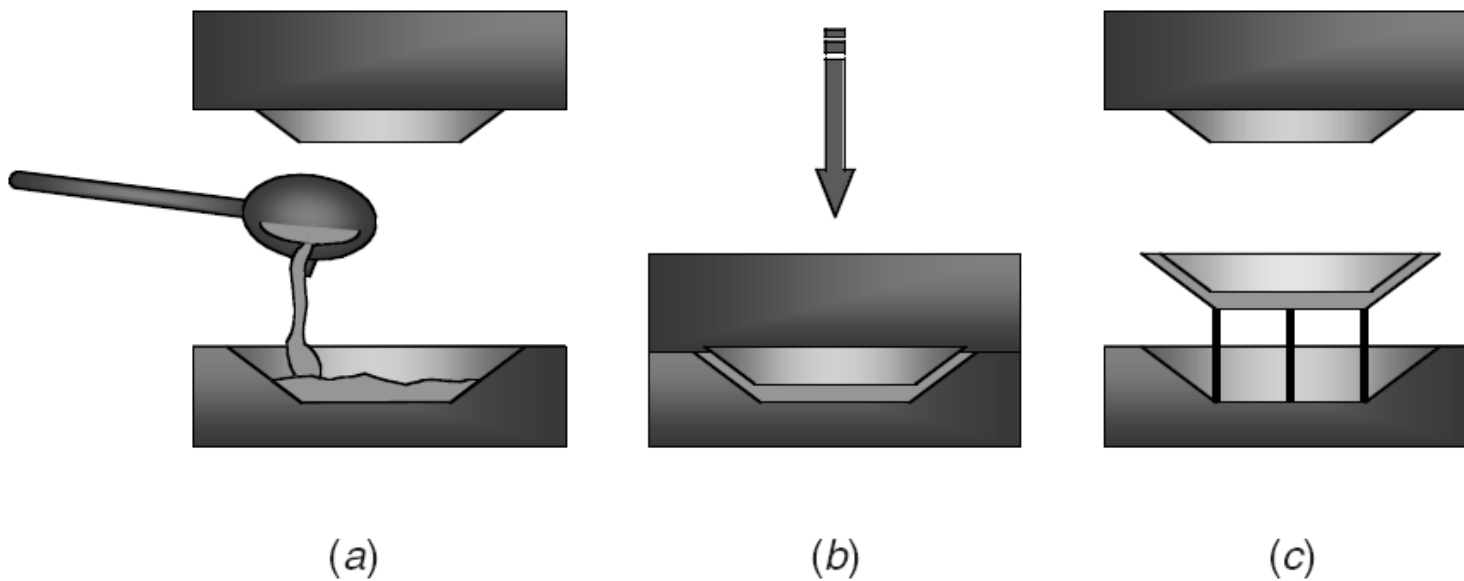
## کاربردهای روش ریخته گری پرفشار به کمک خلا



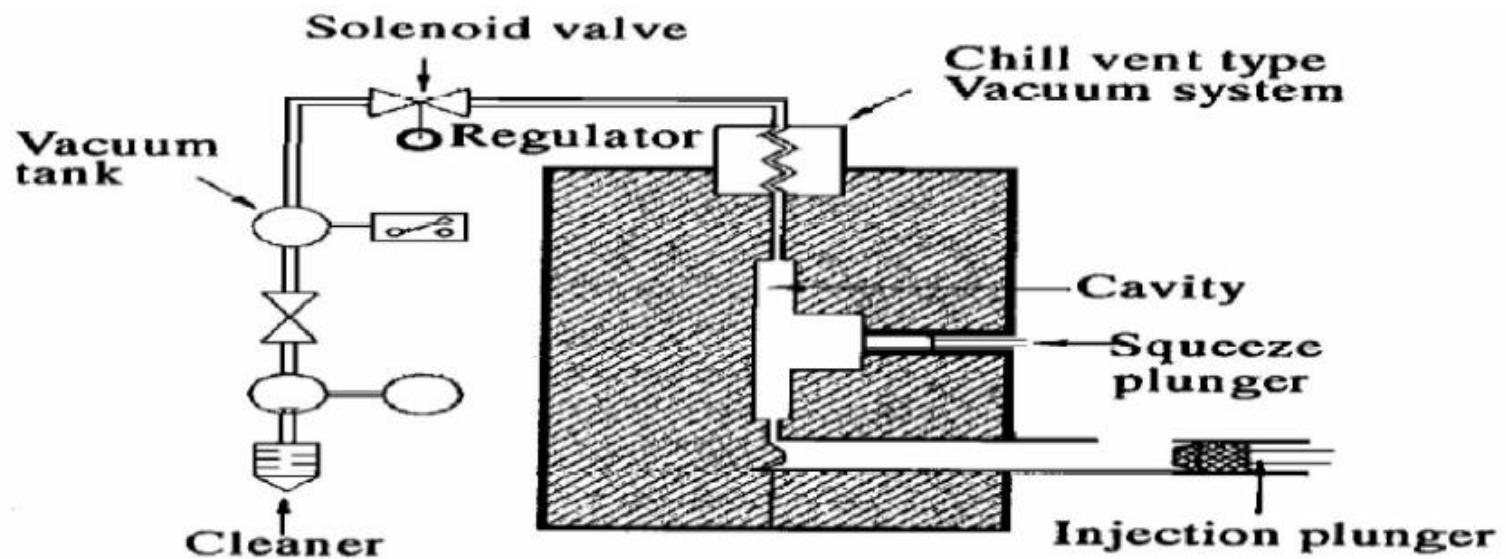
پوسته جعبه دنده

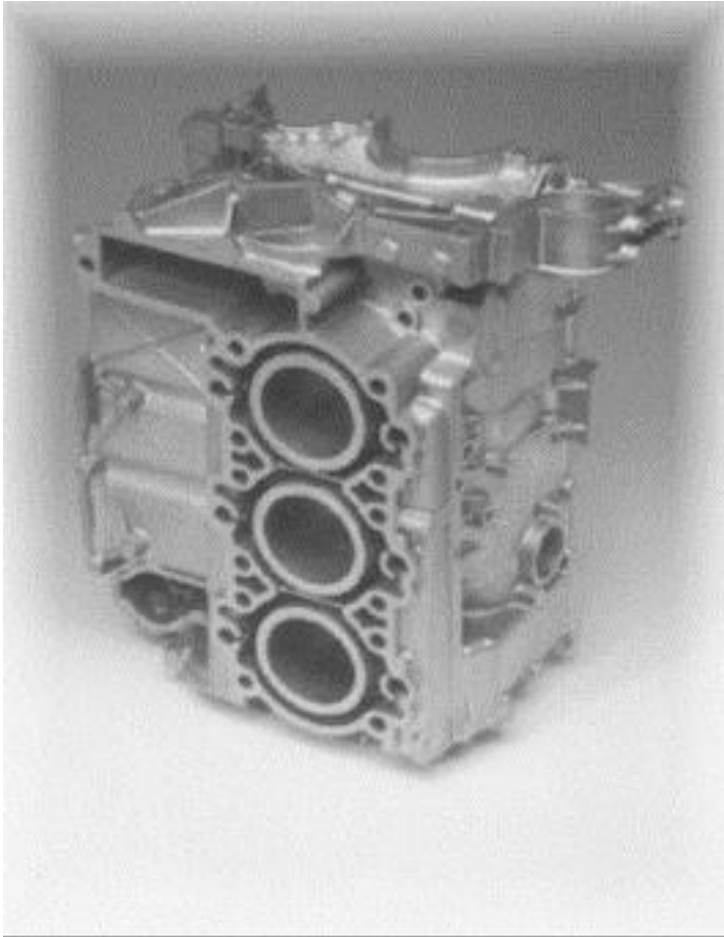
## 2. ریخته گری فشاری (Squeeze casting)

- در این روش پرشدن قالب و انجماد تحت فشار صورت می پذیرد.
- این روش می تواند برای رفع تخلخل ناشی از گازها و انقباض ناشی از انجماد مناسب باشد.



## تلفیق دو روش فشاری و خلأی





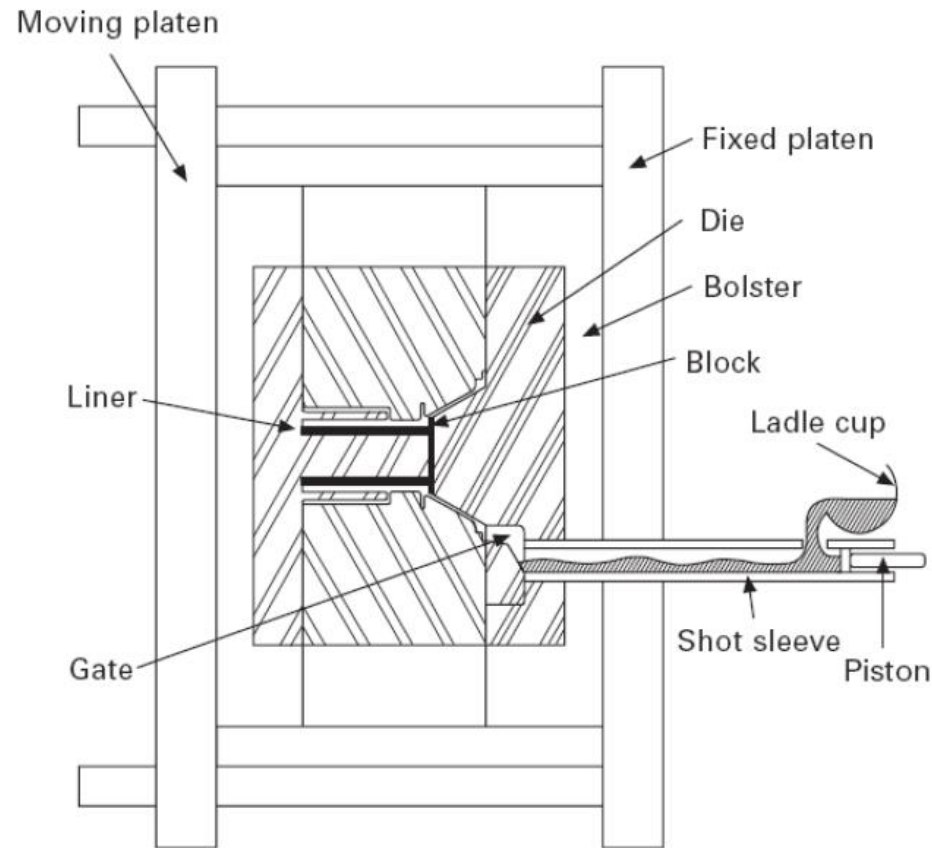
□ بدنه آلومینیومی چدنی:

□ با توجه به مشکلی که بدنه های آلومینیومی خالص در سایش سمبه و استوانه دارند از بدنه های اینسرتی استفاده می شود.

□ بدنه نشان داده شده در شکل مربوط به موتور **Porsche Boxter** می باشد.

□ با توجه به سرعت های کند پر شدن قالب در روش فشاری زمان کافی برای ایجاد اتصال بین آستری چدنی اینسرتی و آلومینیوم مذاب وجود دارد.

## استفاده از ریخته گری تحت فشار برای تولید بدنه موتور



## ریخته گری دوجنسی بدنه

### • روش های مرسوم:

• استفاده از آستری با دیواره بیرونی متخلخل برای چسبیدن بهتر به بدنه آلومینیومی و افزایش سطح تماس و انتقال حرارت

• استفاده از پوشش آلومینیومی روی دیواره بیرونی آستری برای چسبیدن بهتر دو جنس هنگام ریخته گری (به روش فرو بردن در مذاب آلیاژ آلومینیوم-سیلیسیم و یا استفاده از اسپری آلومینیوم-سیلیسیم)



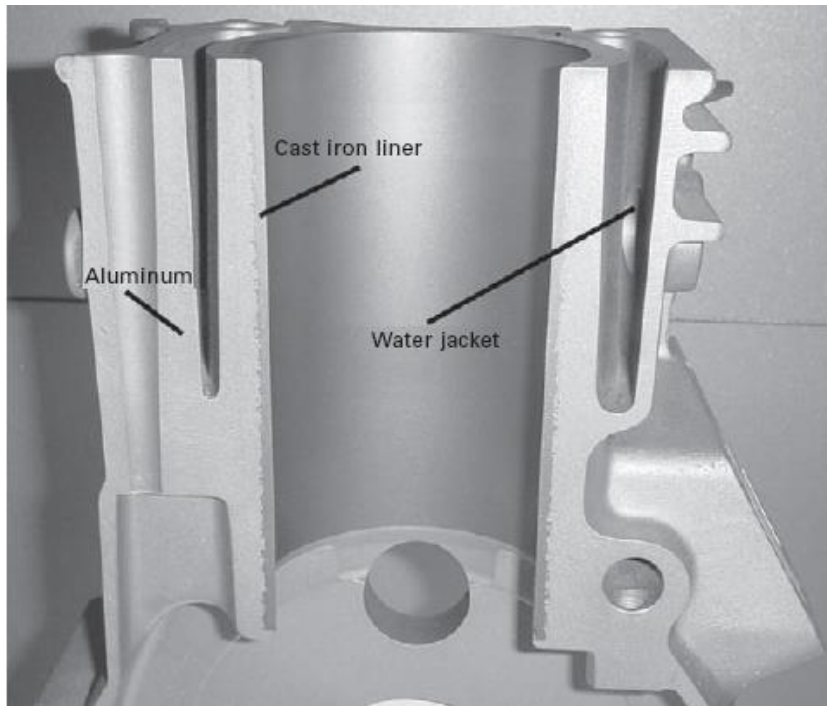
## ریخته گری دوجنسی بدنه

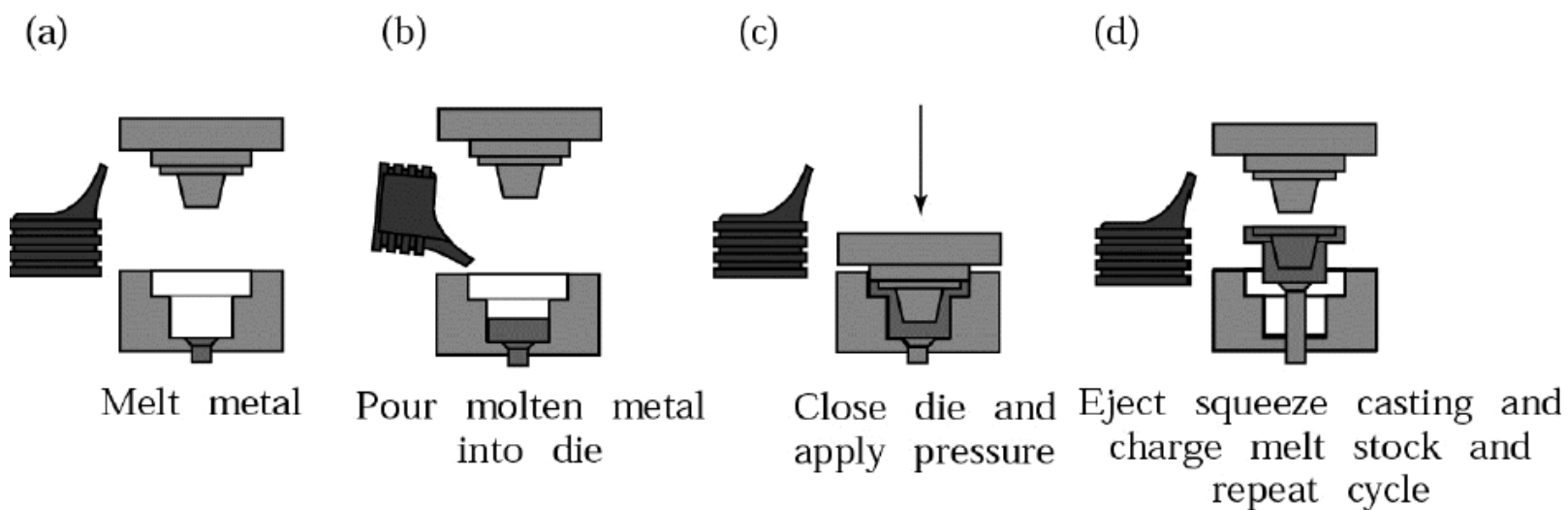
• روش های تولید آستری:

• ریخته گری ماسه ای

• ریخته گری گریز از مرکز (برای بدنه های با قطر استوانه بزرگ)

• شکل دهی با استفاده از اسپری







### 3. ریخته گری نیمه جامد

□ در این روش به جای مذاب از حالت نیمه جامد فلز برای ریخته گری استفاده می شود.

□ مزیت ها:

□ کاهش گازهای گیر افتاده در مذاب

□ کاهش تخلخل حاصل از انقباض

□ اصلاح ریزساختار فلز (آلیاژ)



## ریخته گری نیمه جامد

این روش برای آلومینیوم، منیزیم، روی، تیتانیوم، مس و آلیاژهای آهنی مورد استفاده قرار گرفته است.

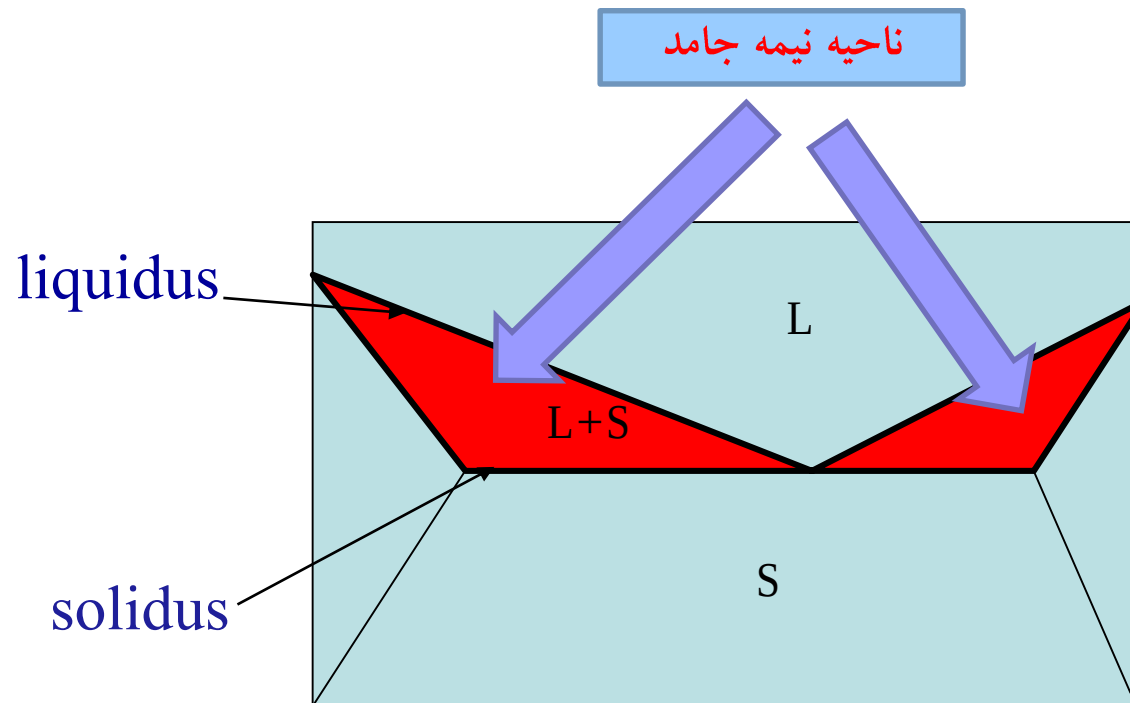
محدوده دمایی انجماد در این آلیاژها وسیع است.

| Aluminum Alloy Designation | Approximate Solidification Range (°C) |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 319                        | 604–516                               |
| 356                        | 613–557                               |
| 357                        | 613–557                               |
| 380                        | 593–538                               |
| 383                        | 582–516                               |
| 390                        | 649–507                               |

## ویژگی های حالت نیمه جامد

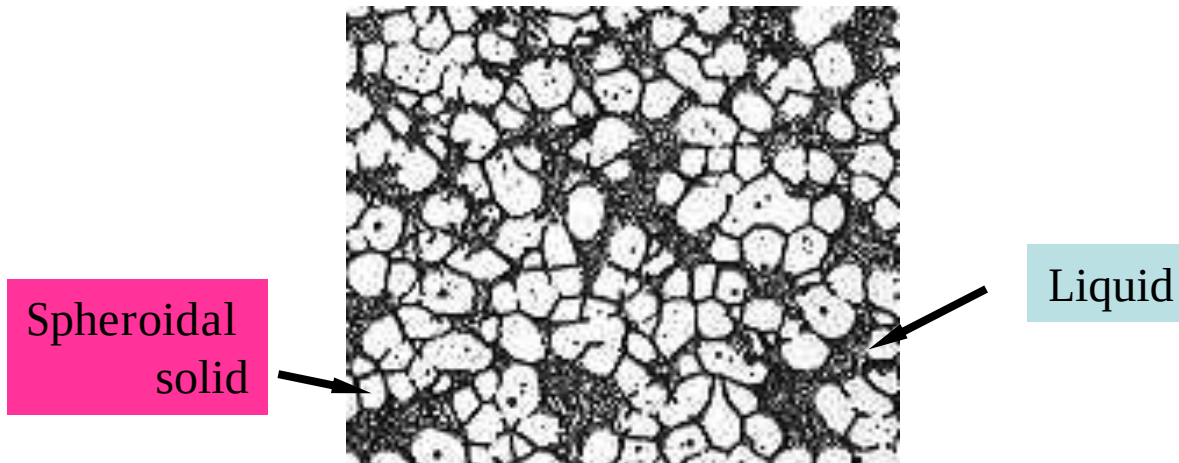
❑ محدوده دمایی آن بین ناحیه مایع (liquidus) و جامد (solidus) است.

❑ معمولاً ماده نیمه جامد حاوی 30-65 درصد فاز جامد است.



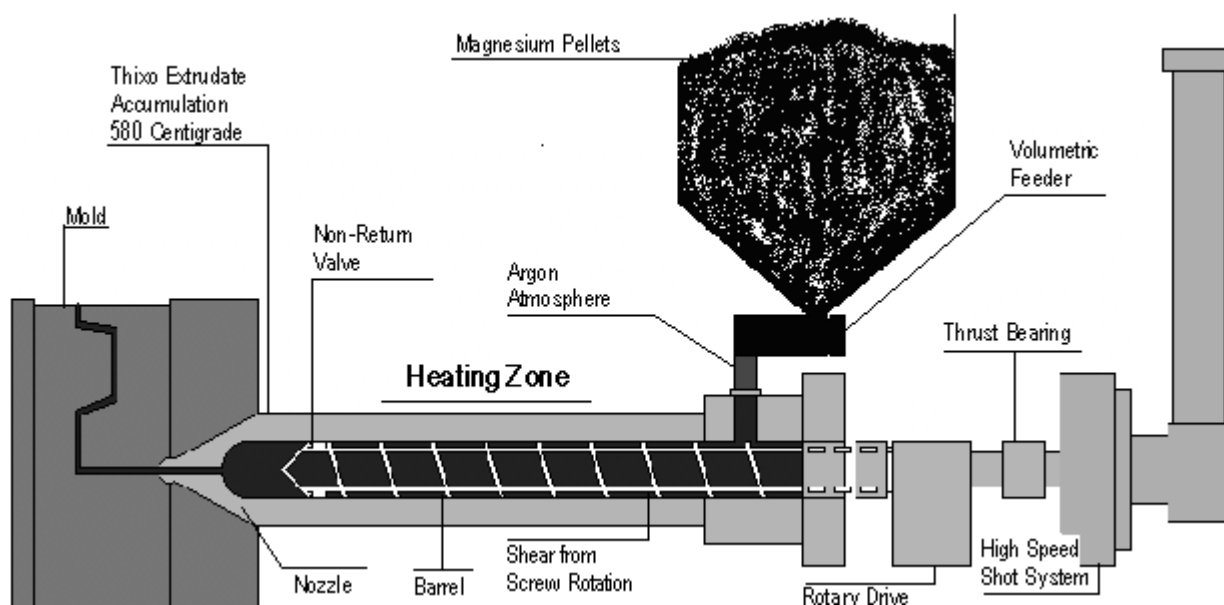
## ویژگی های حالت نیمه جامد

- این روش مزیت های دو روش ریخته گری و آهنگری را به همراه دارد.
- ریز ساختار ماده در این روش حاوی فاز جامد کروی معلق در مذاب است و مانند فرآیندهای دیگر ریخته گری ساختار دندریتی که باعث کاهش خصوصیات مکانیکی قطعه کار می شود بوجود نمی آید.



## ریخته گری نیمه جامد مستقیم

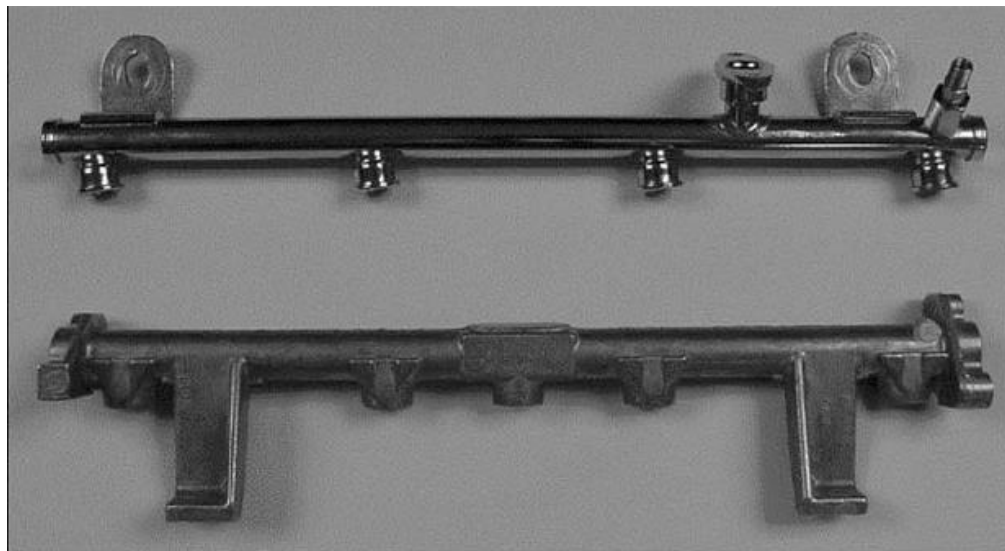
□ در این روش ماده نیمه جامد مستقیماً تولید شده و در قالب ریخته می شود.

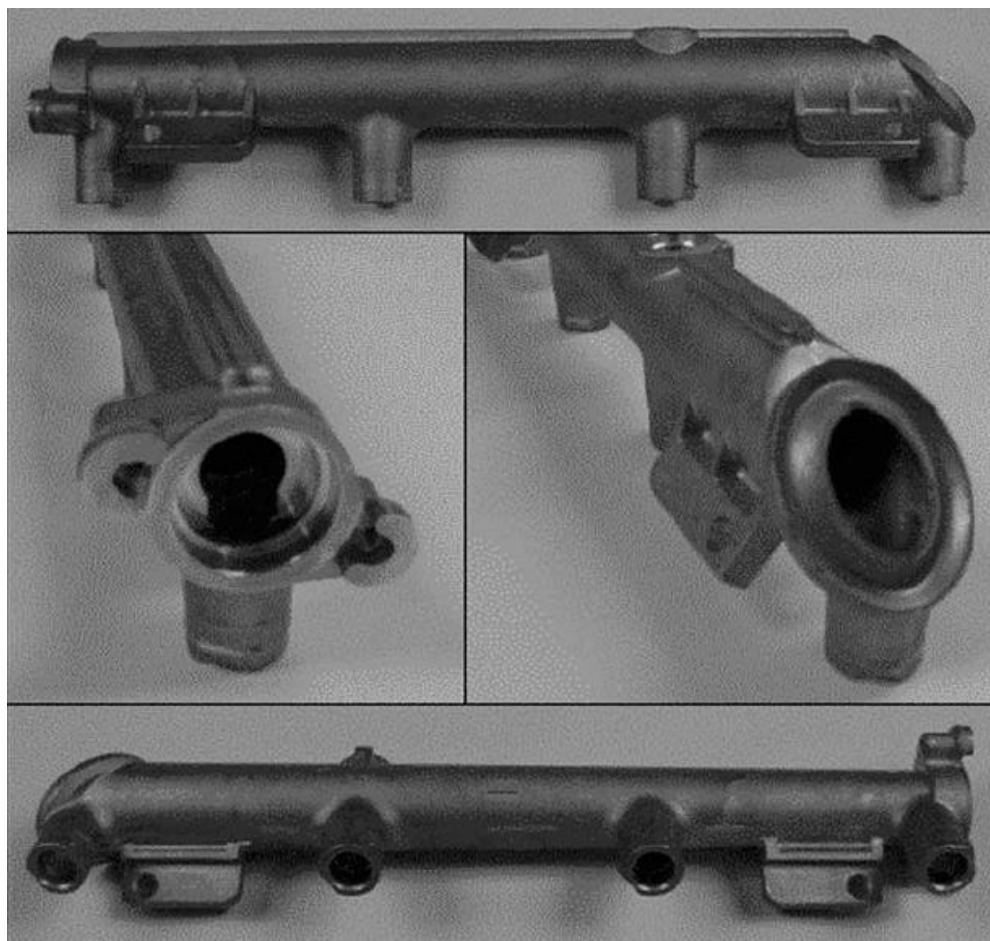


□ چندراهه سوخت موتور:

□ در سال های اخیر چندراهه یکپارچه در برخی از موتورها جایگزین چند راهه لحیم کاری شده شده است.

□ چند راهه یکپارچه تولید شده (مربوط به موتور 2 لیتری) به روش ریخته گری نیمه جامد توانست آزمون های ضربه خودرویی را پشت سر بگذارد در حالی که چند راهه جوشکاری این قابلیت را نداشت





# مقایسه روش های مختلف ریخته گری

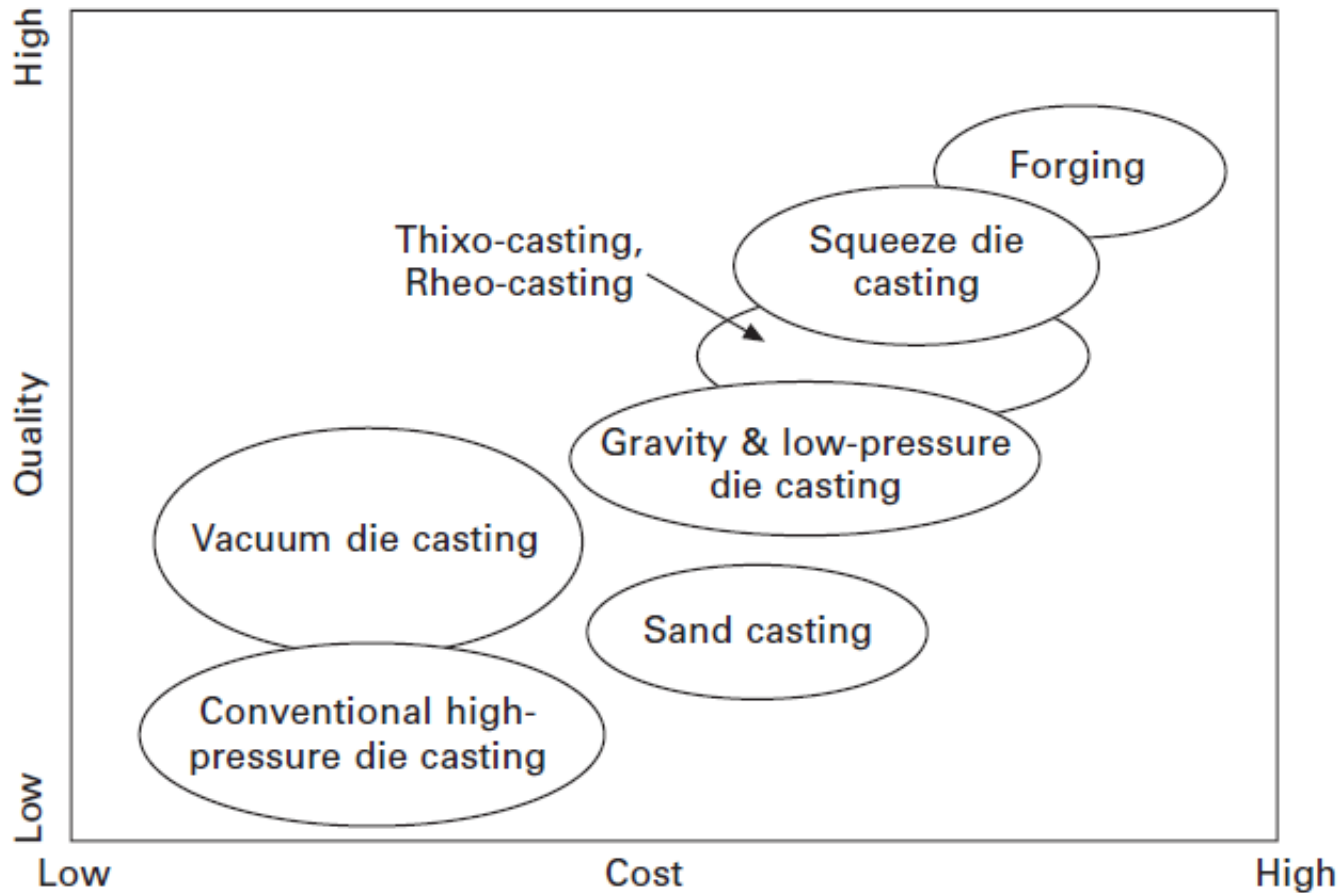
Table J.1 Casting methods for aluminum alloys

|                                                                   | Sand casting               | Gravity die casting (permanent mold casting) | Low-pressure die casting | High-pressure die casting             |                                                       |                     |                              |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
|                                                                   |                            |                                              |                          | Conventional high-pressure diecasting | Vacuum die casting under the cavity pressure of 5 kPa | Squeeze die casting | Semi-solid metal die casting |
| Pressure (MPa)                                                    | Gravity                    | Gravity                                      | 20                       | 100                                   | 100                                                   | 70–150              | 100                          |
| Dimensional accuracy                                              | Low                        | Medium                                       | Medium                   | High                                  | High                                                  | High                | High                         |
| Minimum thickness (mm)                                            | 3                          | 3                                            | 3                        | 2                                     | 2                                                     | 4                   | 3                            |
| Quality                                                           |                            |                                              |                          |                                       |                                                       |                     |                              |
| Primary Si size in case of hyper-eutectic Al-Si ( $\mu\text{m}$ ) | 30–100                     | 30–50                                        | 30–50                    | 5–20                                  | 5–20                                                  | 10–50               | 10–50                        |
| Gas content ( $\text{cm}^3/100\text{ g}$ )                        | 0.2–0.6                    | 0.2–0.6                                      | 0.2–0.6                  | 10–40                                 | 1–3                                                   | 0.2–0.6             | 0.2–0.6                      |
| Blow holes                                                        | Medium                     | Few                                          | Few                      | A lot                                 | Few                                                   | Few                 | Few                          |
| Shrinkage defects                                                 | Less than a few            | Less than a few                              | Less than a few          | A lot at thick portion                | A lot                                                 | Few                 | Few                          |
| T6 treatment                                                      | Possible                   | Possible                                     | Possible                 | Impossible                            | Possible                                              | Possible            | Possible                     |
| Welding                                                           | Possible                   | Possible                                     | Possible                 | Impossible                            | Possible                                              | Possible            | Possible                     |
| Pressure tight                                                    | Low                        | Good                                         | Good                     | Good after resin impregnation         | Good                                                  | Excellent           | Excellent                    |
| Productivity*                                                     | 100                        | 50                                           | 40                       | 100                                   | 100                                                   | 50                  | 100                          |
| Life time of the mold*                                            | Mold pattern has long life | 150                                          | 150                      | 100                                   | 100                                                   | 70                  | 100                          |
| Cost*                                                             | 150                        | 150                                          | 200                      | 100                                   | 110                                                   | 130–170             | 110                          |

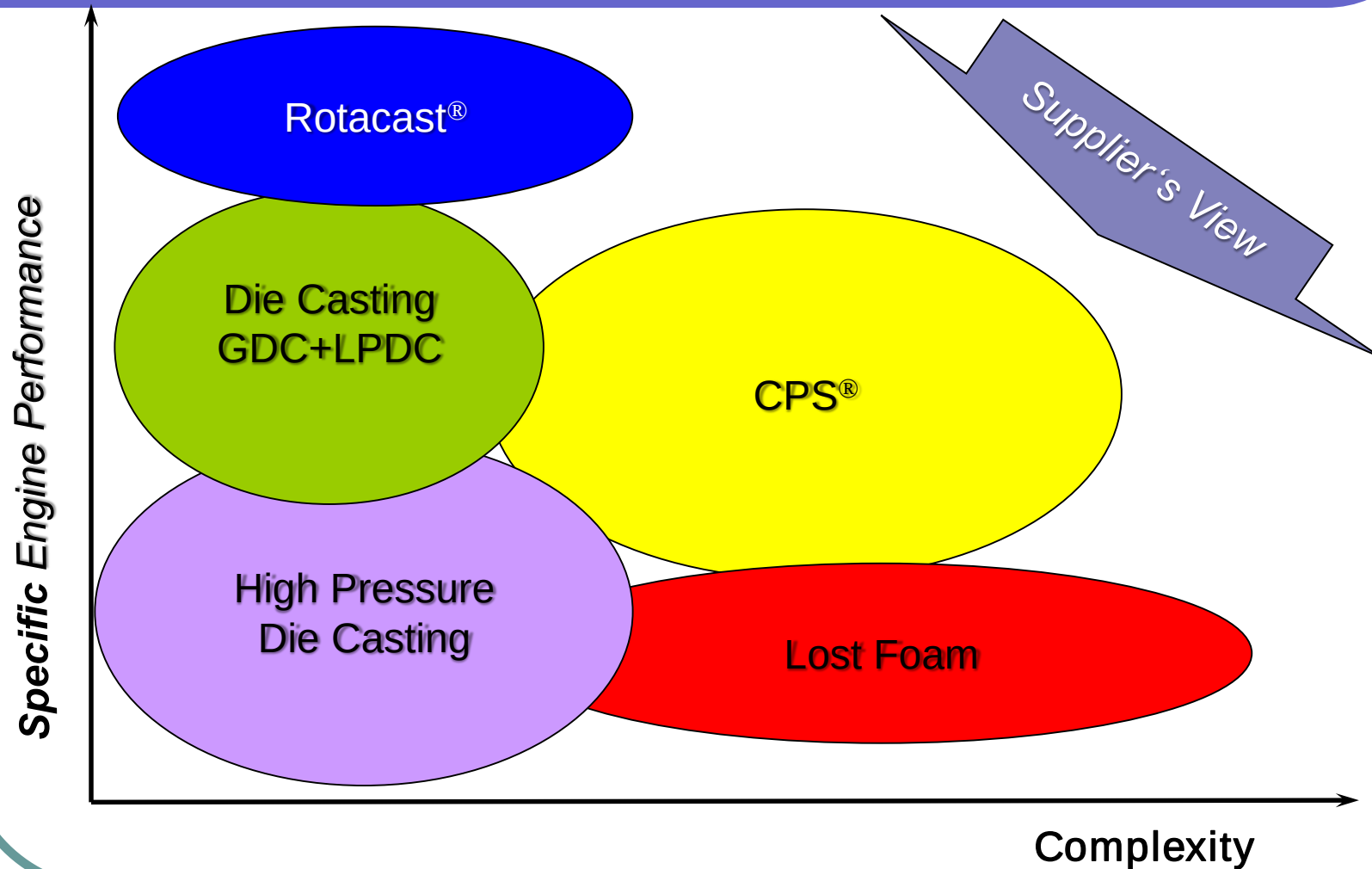
\*The ratio where conventional high-pressure die casting is 100.



## مقایسه هزینه ای و کیفیتی فرایندهای ریخته گری



# Casting Processes for Engine Components



پایان

به نام خدا

# درس روش های ساخت

جلسه نهم: آهنگری

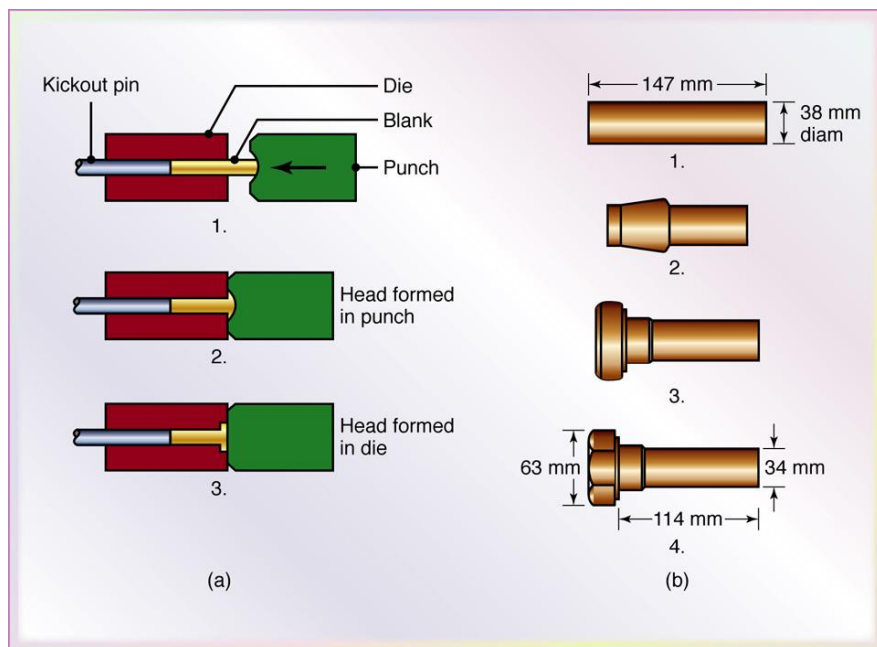
□ آهن‌گری فرآیندی است که در آن قطعه کار داغ در قالب با استفاده از نیروهای فشاری یا ضربه ای به شکل مورد نیاز درمی آید. نیروهای فشاری و ضربه ای باعث تغییر شکل پلاستیک قطعه می شود.

□ فرآیند آهن‌گری ممکن است در یک یا چند مرحله انجام گیرد.



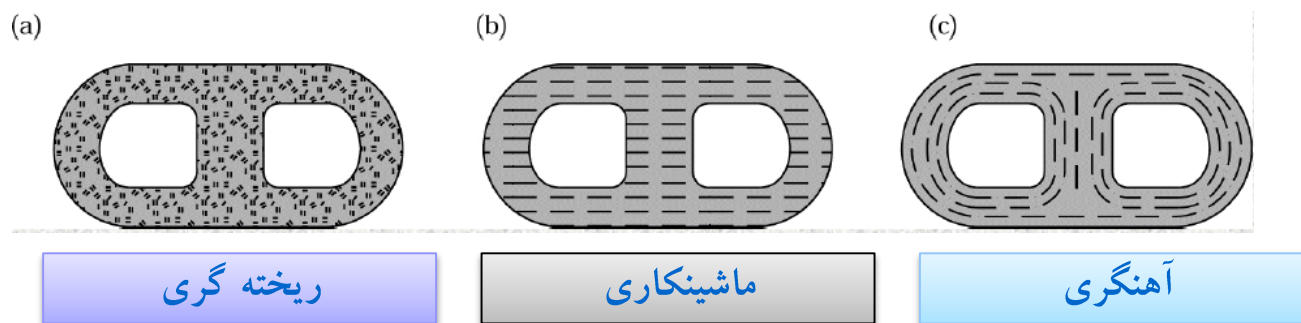
# آهنگری داغ، آهنگری سرد

□ آهنگری داغ عبارتست از تغییر شکل گرم فلزات در دمای بالاتر از درجه حرارت تبلور مجدد فلز که با استفاده از فشار یا ضربه صورت می گیرد و جریان فلز در یک یا چند جهت اتفاق می افتد. چنانچه عمل شکل دهی در درجه حرارت محیط صورت گیرد به آن آهنگری سرد و اگر زیر درجه حرارت تبلور مجدد انجام شود به آن آهنگری گرم میگویند.

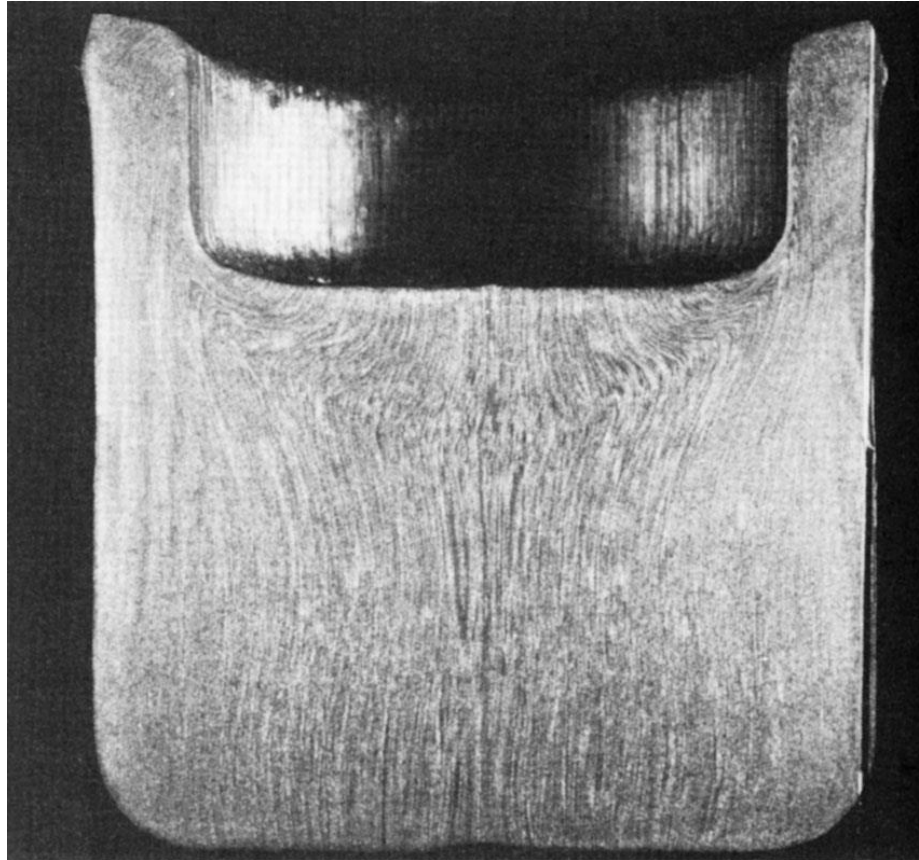


# مزیت آهنگری

بسیاری از قطعات فولادی توسط آهنگری ساخته می شوند . برتری که آهنگری نسبت به سایر فرآیندها دارد این است که ساختمان رشته ای با چقرمگی بیشتر تولید می کند . ساختمان رشته ای بصورت جریان دانه های (Grain Flow) پیوسته در امتداد بوجود می آید .



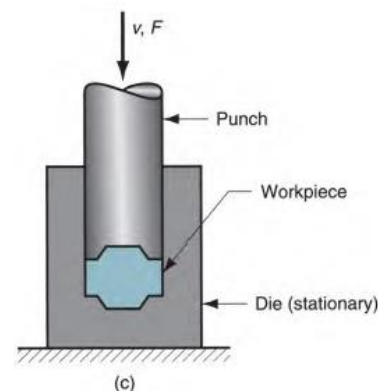
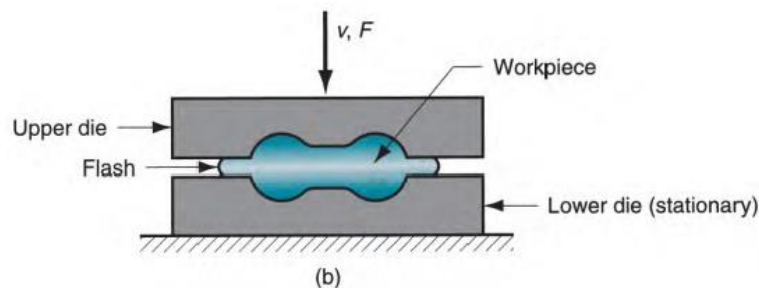
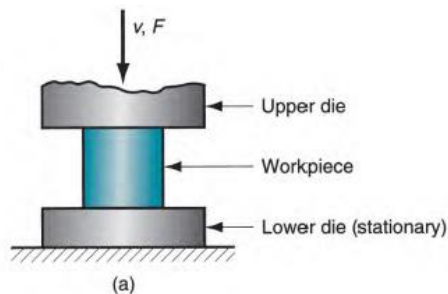
# جریان فلز در آهنگری



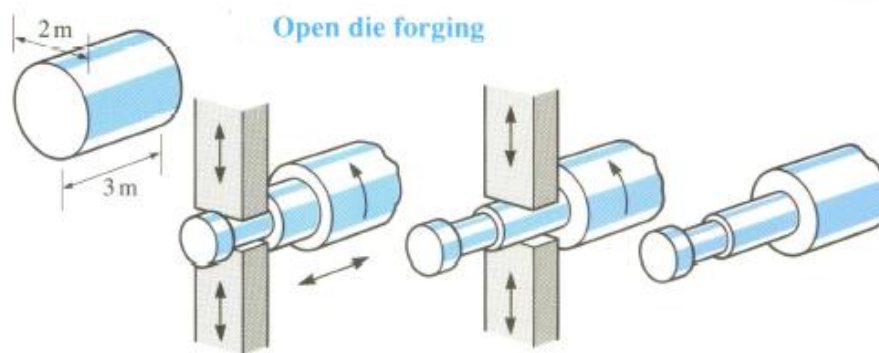


# انواع فرآیندهای آهنگری

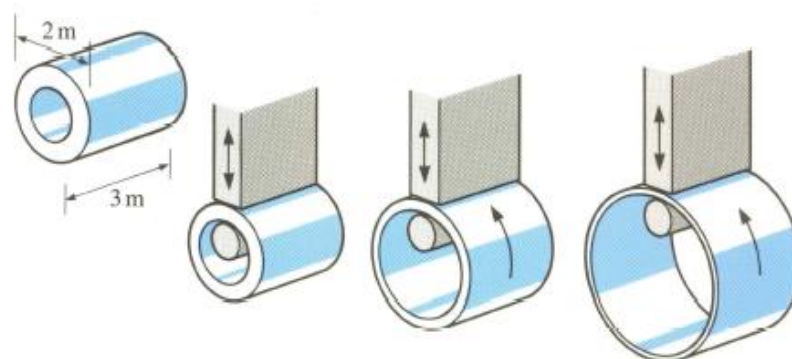
- آهنگری در قالب باز (Upsetting-open die forging):
- آهنگری در قالب بسته (Close die forging):
- آهنگری بدون سرریز



## نمونه کاربردهای آهنگری قالب باز



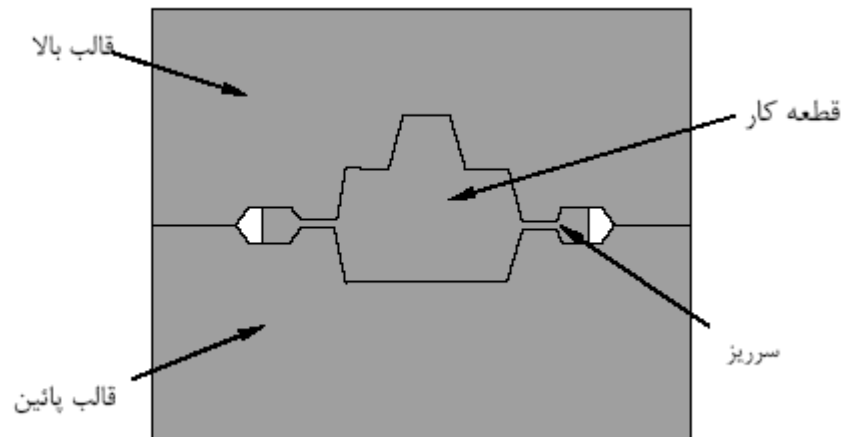
Forging large turbine shaft



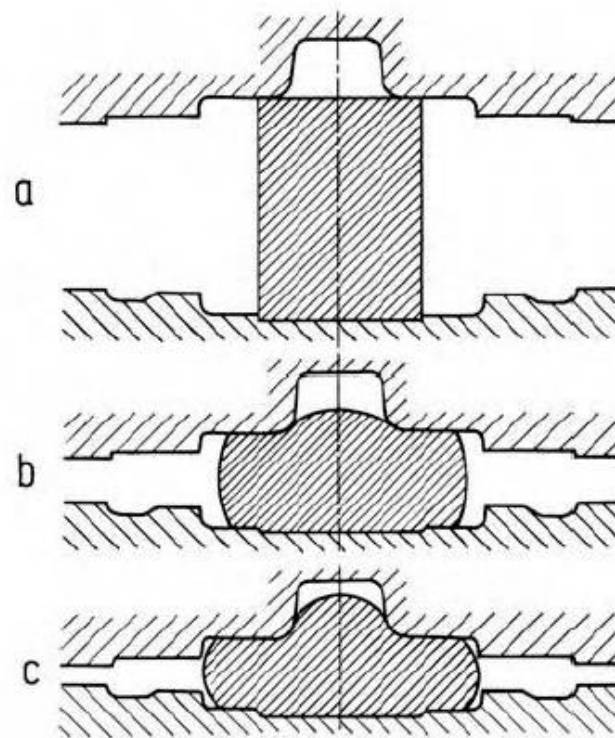
Forging pressure vessel cylinder

## آهنگری در قالب بسته

• در این فرآیند قطعه کار در یک قالب بسته شکل می گیرد.



## مراحل آهنگری در قالب بسته



## مراحل آهنگری در قالب بسته

A: آهنگری در قالب باز: در این مرحله تنها ارتفاع قطعه کاهش می یابد و مانند آهنگری در قالب باز قطعه در راستای دیواره های قالب جریان نمی یابد.

B: جریان جانبی: در این مرحله قطعه در راستای عمود بر جهت حرکت قالب جریان می یابد. چون مسیر جریان ماده طولانی است نیروهای اصطکاکی زیاد، نیروهای تغییر شکل زیادی را اعمال می کند.

C: جریان عمودی: این جریان قطعه آخرین مرحله از جریان قطعه کار است و برای اینکه قطعه در این جهت جریان یابد، لازم است مقاومت در مقابل حرکت در منطقه سرریز بزرگتر از مقاومت در مقابل حرکت در جهت عمودی باشد. ماده نباید پیش از پر شدن کامل قالب به منطقه فلش وارد شود. مقاومت به حرکت در منطقه فلش به نسبت عرض به ارتفاع حفره فلش بستگی دارد.

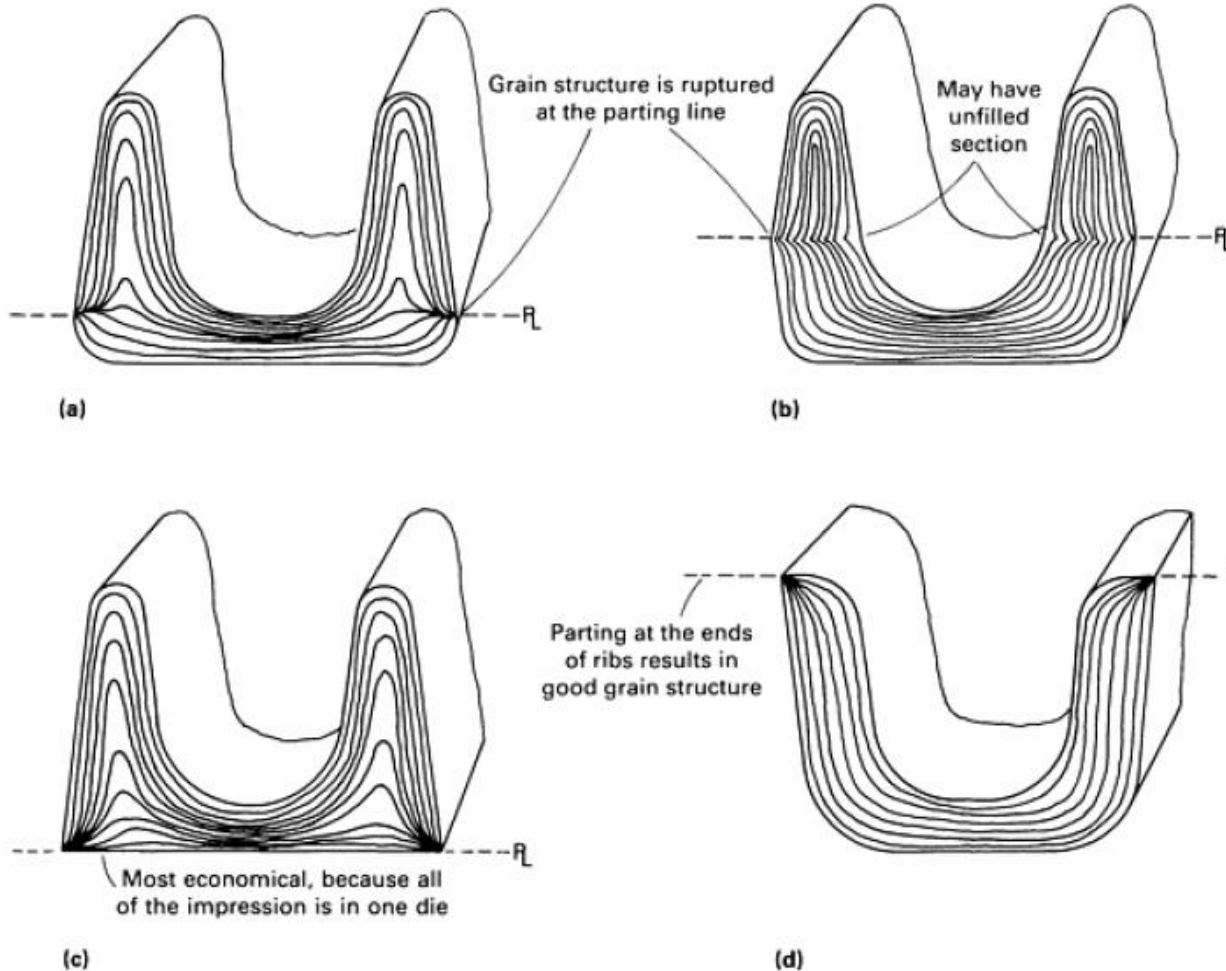
## خط جدایش (Parting Line)

خط جدایش قالب روی سطح قطعه آهنگری نشان دهنده محل و شکل سطح جدایش دو نیمه قالب آهنگری نسبت به وضعیت قرارگیری قطعه در داخل قالب است. بعبارت دیگر عملیات برش سرریز (Flash) در محل سطح جدایش دو نیمه قالب باعث بوجود آمدن خطی روی سطح قطعه آهنگری می‌شود.

• در بسیاری از فرایندهای آهنگری خط جدایش دورتادور بزرگترین سطح مقطع قطعه کار ایجاد می‌گردد چون پخش فلز در راستای عرضی راحت تر از حرکت آن در عمق قالب است.

• اگر بتوان خط جدایش را در یک سطح تخت قرار داد، می‌توان کل حفره قالب را در یکی از نیمه های قالب جا داد و نیمه دیگر یک سطح تخت می‌شود که در کاهش هزینه ها کمک می‌کند.

## طراحی خط جدایش (Parting Line)



نا مطلوب

مطلوب

## قطعه تولید شده به روش آهنگری

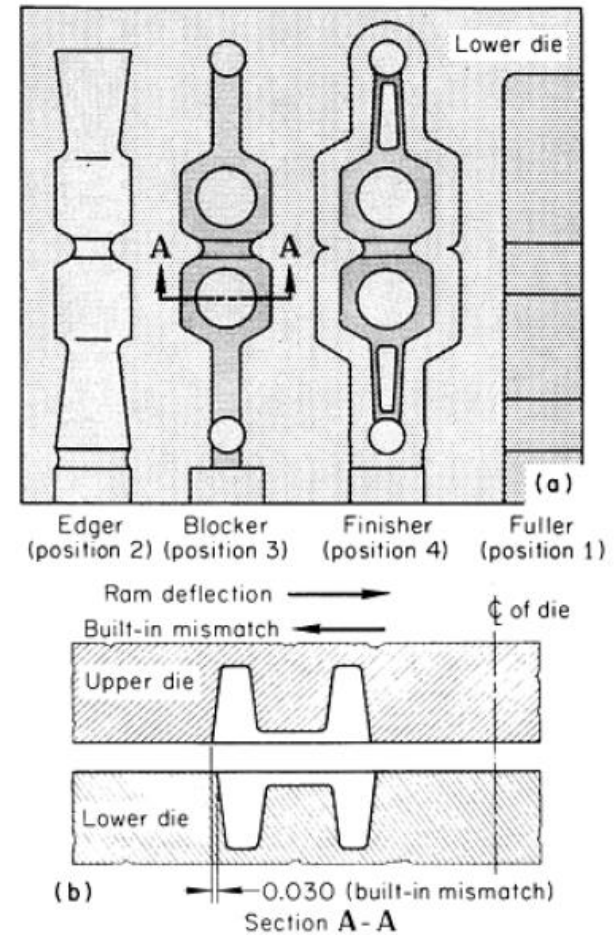
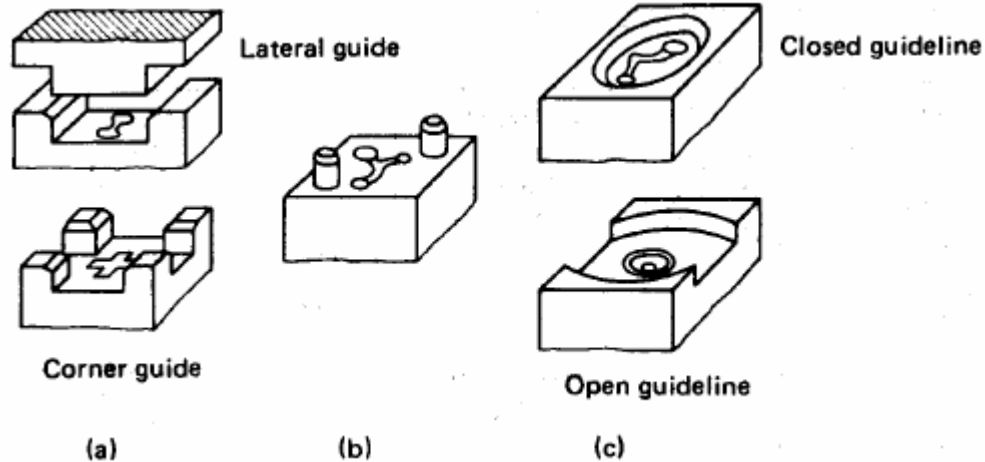
کلمپ انژکتور مونو  
دیزل



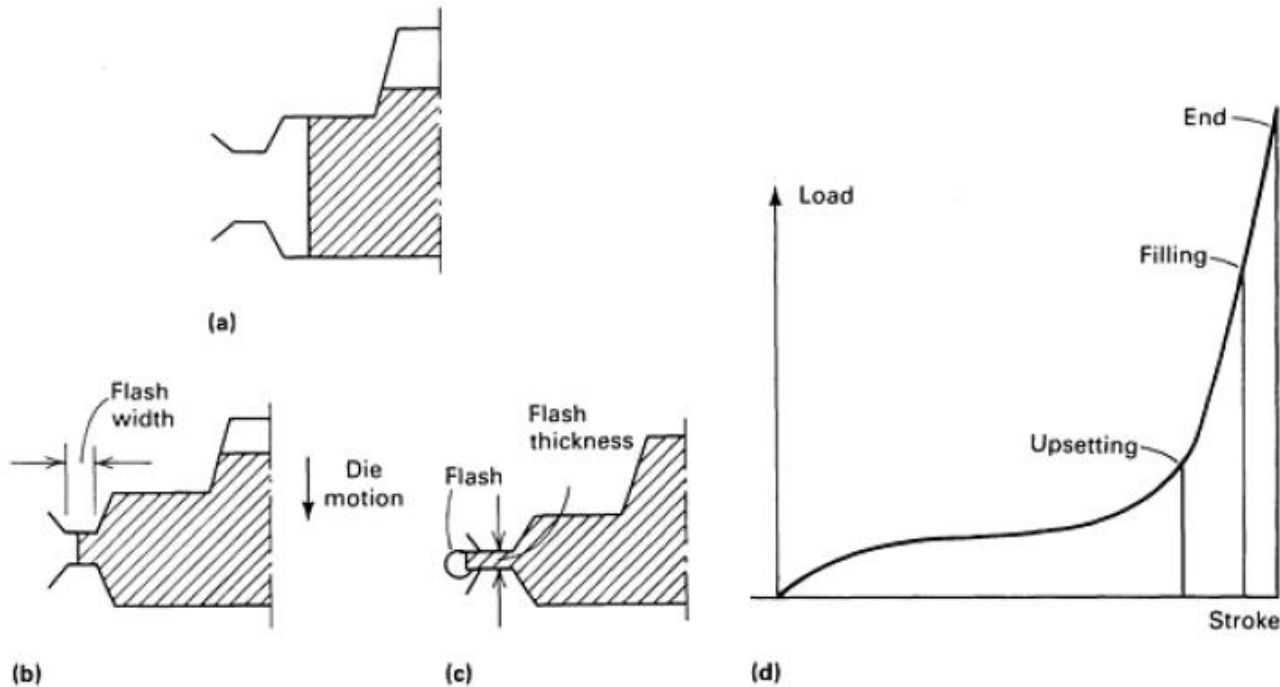
خط جدایش در پایین ترین نقطه قرار گرفته است

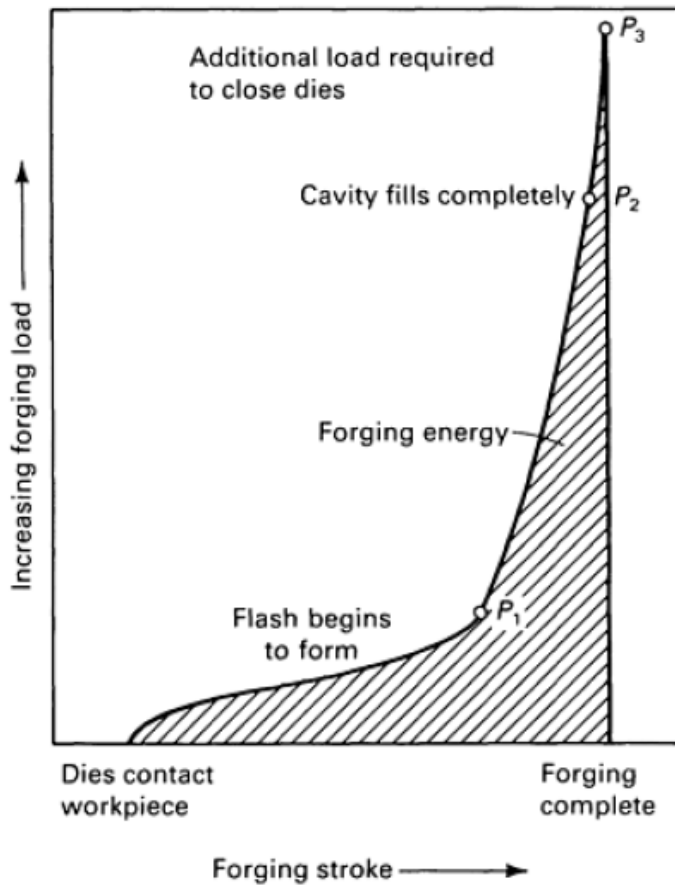


## انحراف جانبی و جفت نشدن دو نیمه قالب



□ دلیل استفاده از سرریز در اطراف حفره قالب بسته آهنگری، جلوگیری از وارد آمدن فشار زیاد به قالب به هنگام استفاده از فلز اضافی در حفره قالب و حصول اطمینان از پر شدن حفره قالب می باشد.





□ تا شروع شکل گیری سرریز نیروها کم هستند تا نقطه  $P_1$ . در این نقطه باید فلز کافی برای پر کردن تمام قالب وجود داشته باشد و جریان یافتن فلز در حفره سرریز سخت تر از جریان یافتن آن در جزئیات قالب باشد.

□ همزمان با ادامه بسته شدن قالب نیرو به سرعت افزایش می یابد تا در نقطه  $P_2$  حفره قالب به طور کامل پر شده است.

□ نقطه  $P_3$  نقطه ای است که در آن بارنهایی جهت پر شدن کامل قالب اعمال می شود. ابعاد سرریز تعیین کننده نیروی نهایی مورد نیاز برای بسته شدن قالب می باشند.

□ توانمندی جنس قطعه کار برای آهنگری بدون ترک قابلیت آهنگری گفته می شود.

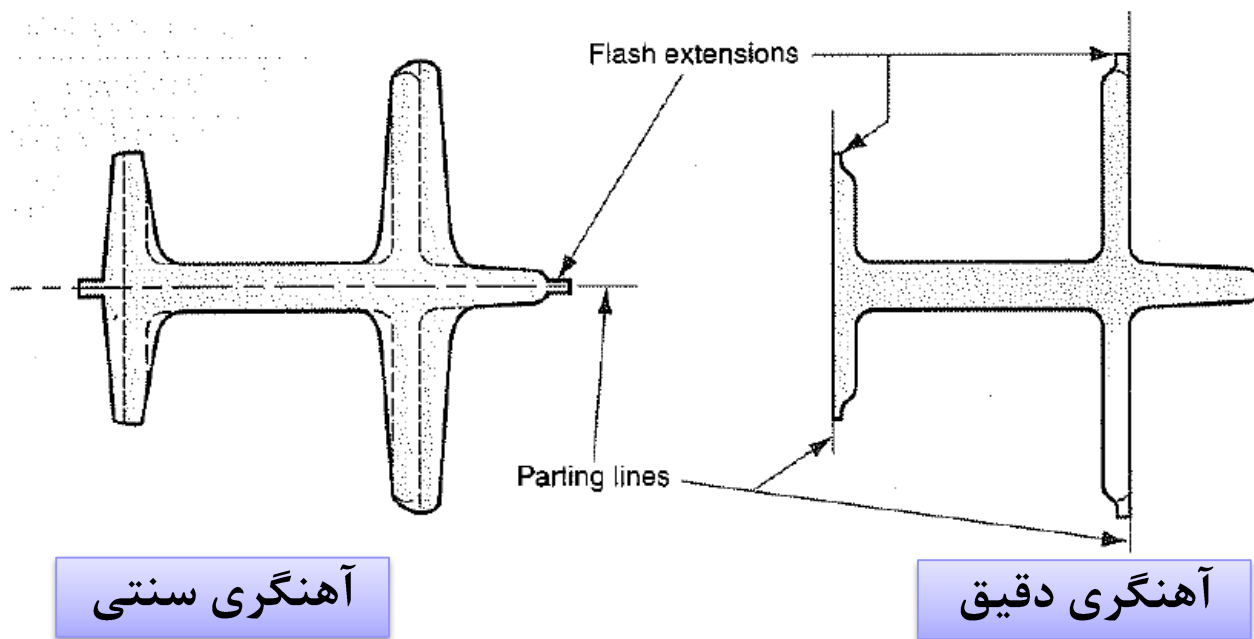
TABLE 14.3

| Metal or alloy               | Approximate range of hot forging temperature (°C) |
|------------------------------|---------------------------------------------------|
| Aluminum alloys              | 400–550                                           |
| Magnesium alloys             | 250–350                                           |
| Copper alloys                | 600–900                                           |
| Carbon and low-alloy steels  | 850–1150                                          |
| Martensitic stainless steels | 1100–1250                                         |
| Austenitic stainless steels  | 1100–1250                                         |
| Titanium alloys              | 700–950                                           |
| Iron-base superalloys        | 1050–1180                                         |
| Cobalt-base superalloys      | 1180–1250                                         |
| Tantalum alloys              | 1050–1350                                         |
| Molybdenum alloys            | 1150–1350                                         |
| Nickel-base superalloys      | 1050–1200                                         |
| Tungsten alloys              | 1200–1300                                         |

کاهش قابلیت آهنگری

## آهنگری دقیق (Precision Forging)

□ با توجه به پیشرفت های انجام گرفته در طراحی قالب های آهنگری، تولید قطعاتی با ضخامت های کم، هندسه پیچیده، شیب قالب و اضافه ماشینکاری کم و تolerانس های بسته ممکن شده است. آهنگری با چنین خصوصیات، آهنگری دقیق نامیده می شود.



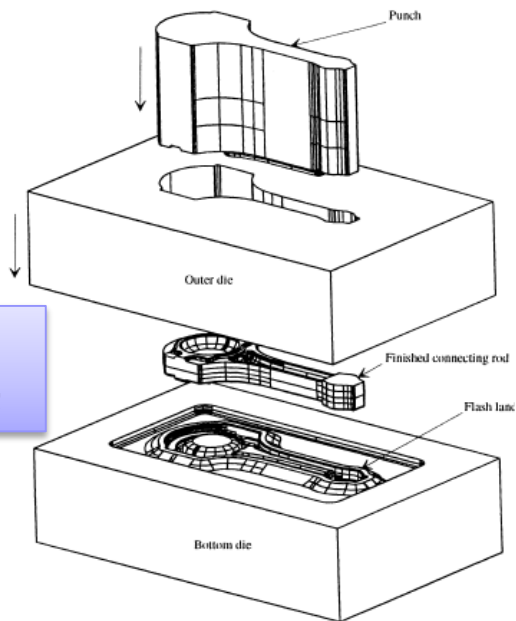
## آهنگری بدون سرریز (Flashless Forging)

□ حدوداً 20-40 درصد ماده خام اولیه به صورت سرریز در آهنگری با سرریز باید بریده شود.

□ برش سرریز نیازمند طراحی و ساخت قالب های برش است که خود هزینه های زیادی را به سازنده اعمال می کند.

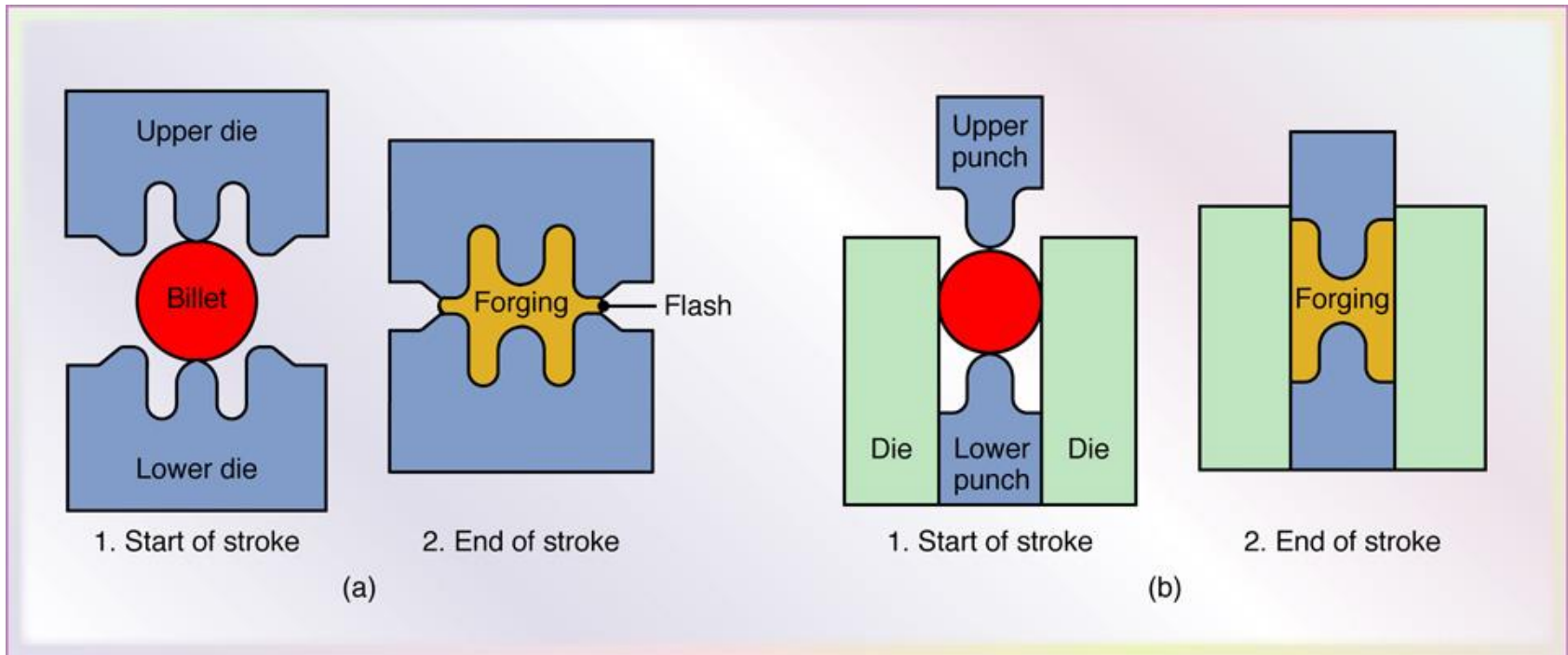
□ استفاده از روش بدون سرریز می تواند ماشینکاری های پس از ساخت را کاهش دهد.

□ بنابراین آهنگری بدون سرریز به عنوان فناوری جدیدی در آهنگری قطعات با رواداشت های بسته مورد توجه قرار گرفته است.



نمونه قالب  
برش سرریز

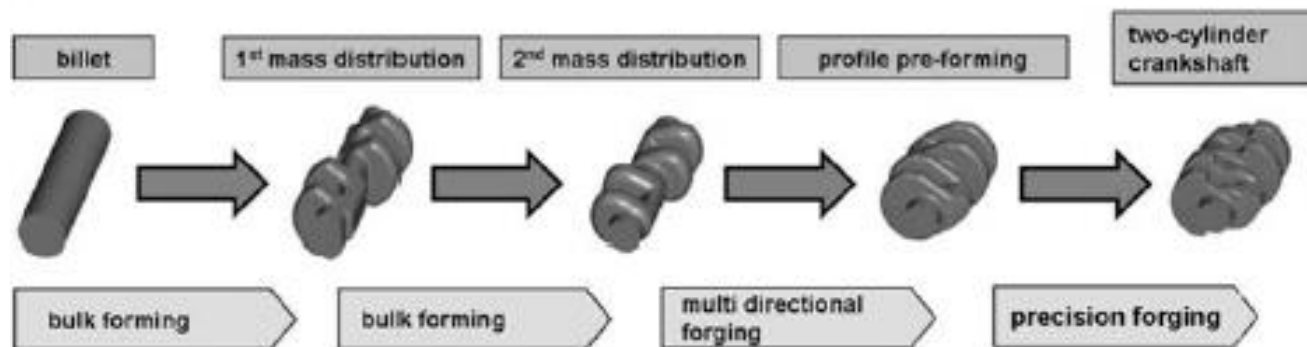
## آهنگری بدون سرریز (Flashless Forging)



ساده شدن ساختمان قالب در اثر استفاده از آهنگری  
بدون سرریز

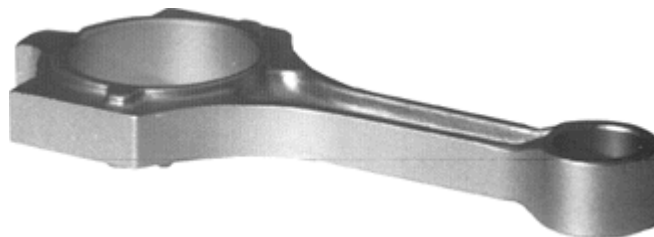


# آهنگری بدون سرریز (Flashless Forging)



## مراحل آهنگری بدون سرریز میل لنگ

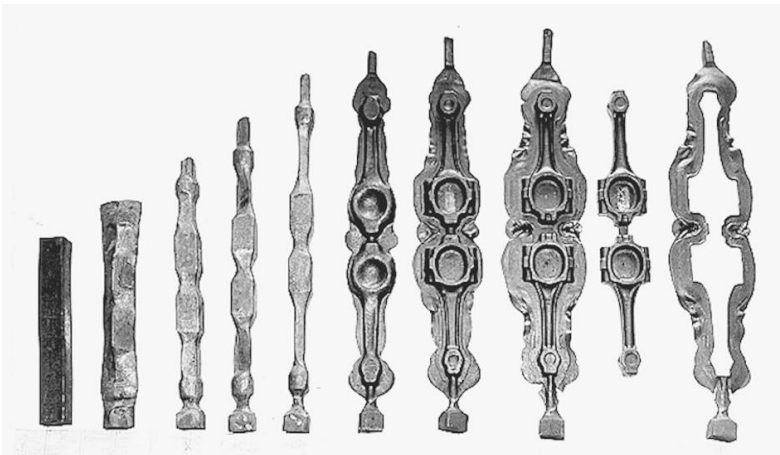
- ❑ 45 درصد وزن میل لنگ در فرایند آهنگری با سرریز به صورت سرریز جدا می شود.
- ❑ در طراحی قطعه خام اولیه باید توجه شود که حجم قطعه باید برابر حجم حفره قالب در نظر گرفته شود.



دسته سمبه ساخته شده به روش  
آهنگری بدون سرریز



## مراحل آهنگری دسته سمبه

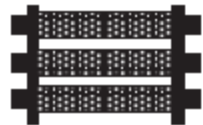


# آهنگری پودری

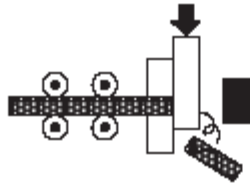


- آهنگری پودری ( Powder Forging ) تلفیقی ازدو فرآیند متالوژی پودر و آهنگری با هدف استفاده از مزایای هر دو فرآیند، می باشد.
- قطعاتی که به روش متالوژی پودر ساخته می شوند بخاطر درصدی از تخلخل، مقاومت در مقابل ضربه و خستگی پائینی دارند. بهمین علت برای از بین بردن منافذ و خلل و فرج ها این قطعات آهنگری می شوند.
- آهنگری پودر عبارت است از تراکم سریع مواد پودری گرم شده ، فشردن و آهنگری آنها برا رسیدن به قطعه ای کاملاً متراکم و نزدیک به شکل نهایی.

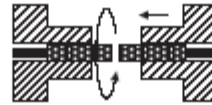
# مراحل ساخت دريچه



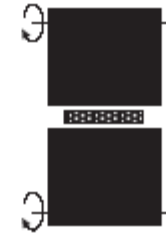
(1) Material



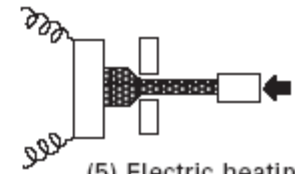
(2) Bar shearing



(3) Friction weld



(4) Bar grinding



(5) Electric heating followed by upsetting



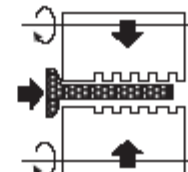
(6) Die forging



(7) Face hard facing



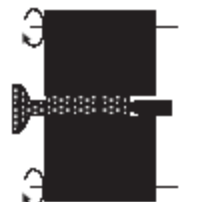
(8) Heat treatment



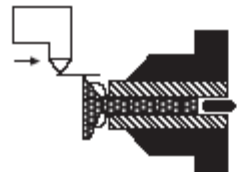
(9) Correcting bend



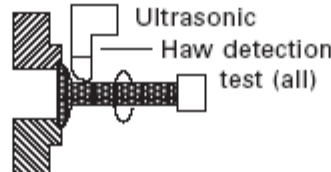
(10) Stem end first grinding



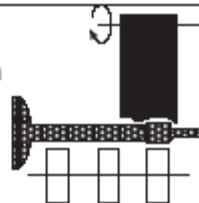
(11) Stem first grinding



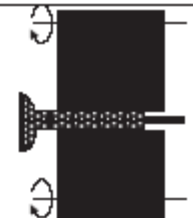
(12) Crown outer diameter lathing



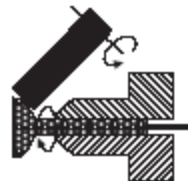
(13) Face slope grinding



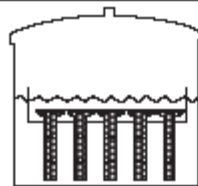
(14) Cotter groove grinding



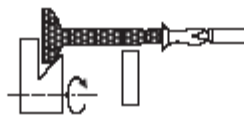
(15) Stem finish grinding



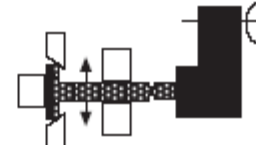
(16) Face finish grinding



(17) Salt bath nitriding



(18) Stem end quenching



(19) Stem end plane finish grinding

Fluorescent penetration inspection (all)



(20) Packing/shipping

## مراحل مختلف ساخت دریچه (سوپاپ)



میلگرد خام



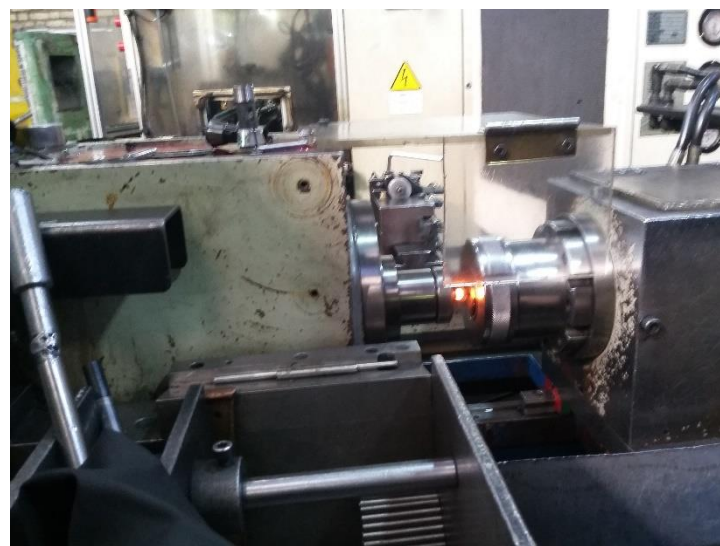
آهنگری داغ بشقابی دریچه



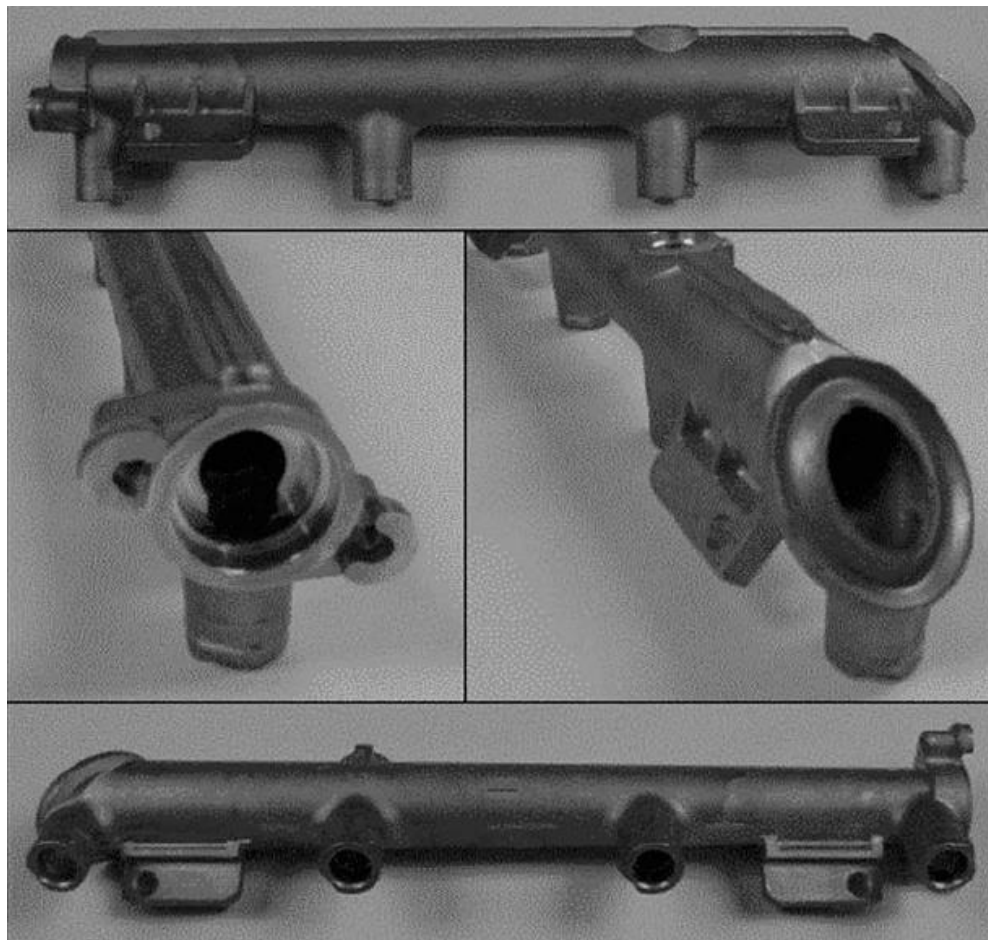
## مراحل مختلف ساخت دریچه (سوپاپ)



قطعات پس از آهنگری



جوش اصطکاکی



پایان

به نام خدا

# درس روش های ساخت

جلسه دهم: روش های شکل دهی پلاستیک ها



□ پلاستیک یکی از انواع پلیمرهاست که از زنجیره های طولانی مولکولی تشکیل شده است.

□ پلاستیک از یک واژه یونانی به معنی ماده ای که می توان آن را قالب گیری کرد و شکل داد گرفته شده است.

□ نسبت به فلزات پلاستیک ها با چگالی، استحکام و سفتی کمتر شناخته می شوند.

# تعریف پلاستیک و الاستومر

□ ماده پلیمری که می تواند در دمای اتاق تا حداقل دو برابر طول اولیه خود یا بیشتر افزایش طول یابد و با آزاد شده تنش سریعا به حالت اولیه خود برگردد **الاستومر** گفته می شود.

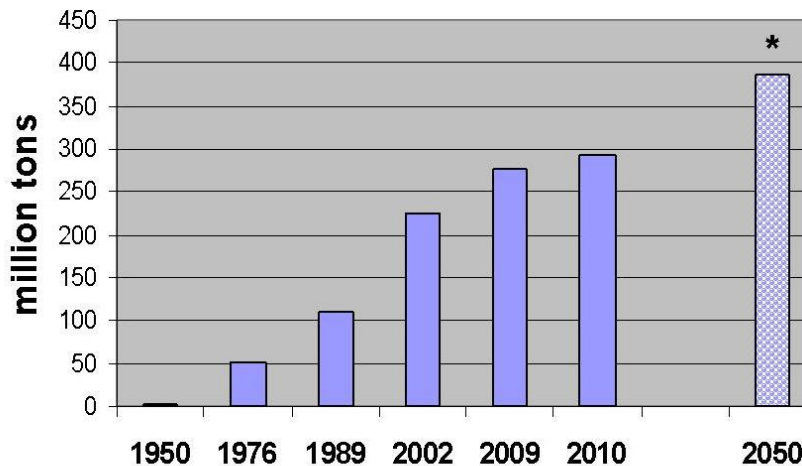
□ هر ترکیبی از گروه بزرگ و متنوع مواد که تماما یا قسمتی دارای پیوندی از کربن با عناصری چون اکسیژن، نیتروژن، هیدروژن و سایر عناصر آلی یا معدنی بوده و در حالت نهایی به صورت جامد و در برخی مراحل ساخت مایع است. بنابراین غالبا در طی کاربرد دارای قابلیت تغییر شکل به طور مختلف بر اثر حرارت یا فشار به تنهایی یا توأم باشد **پلاستیک** گفته می شود.

# توسعه کاربرد پلاستیک ها

❑ کاربرد پلاستیک ها، با سرعت بیشتری نسبت به فلزات و سرامیک ها طی 50 سال اخیر رشد کرده است.

❑ امروزه مصرف پلیمرها (لاستیک ها و پلاستیک ها) از مصرف فلزات بیشتر است.

**Annual World Plastics Production**



Source: PlasticsEurope Market Research Group



# انواع پلاستیک ها

## □ ترموپلاستیک ها:

- ساختار شیمیایی آن ها در اثر گرم کردن تغییر نمی کند.
- استفاده تجاری زیادی دارند و 70 درصد پلاستیک هایی که امروزه مورد استفاده قرار می گیرند ترموپلاستیک ها هستند.

## □ ترموست ها:

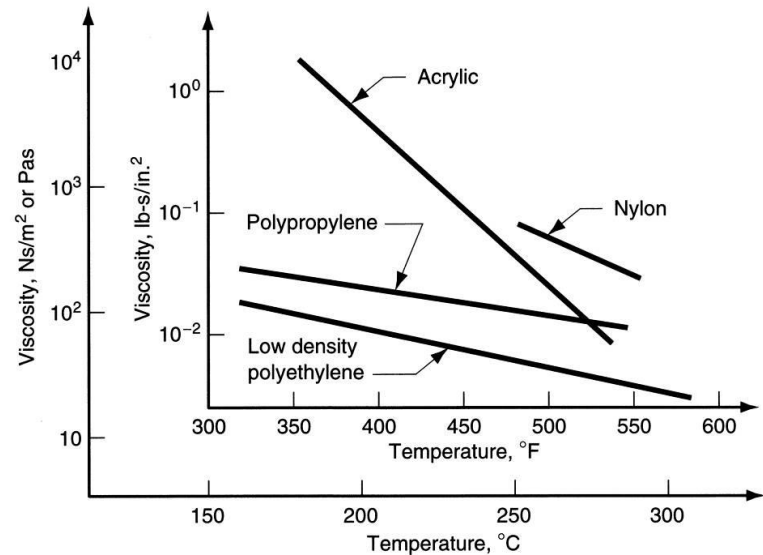
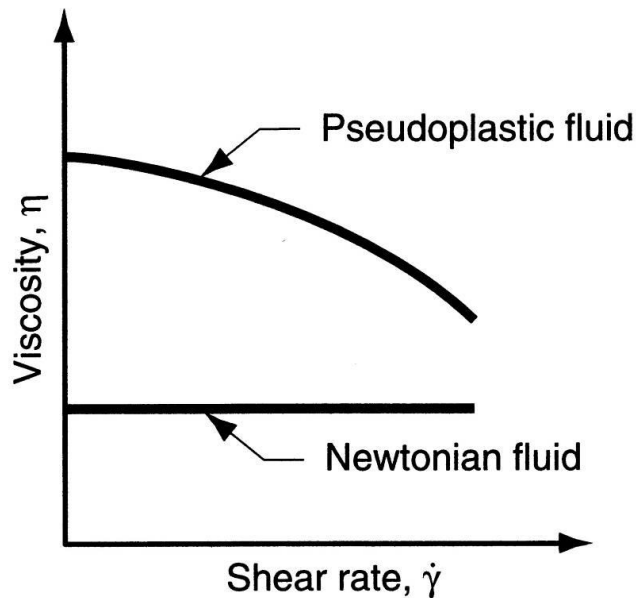
- در اثر گرم شدن و تغییر شکل، ساختار مولکولی آن ها به صورت دائمی عوض می شود.
- وقتی اصطلاحاً Cure شدند، نمی توان آن ها را دوباره ذوب کرد و مورد استفاده قرار داد.
- نمونه ترموست ها فنولیک است که به عنوان دسته ظروف مورد استفاده قرار می گیرد.

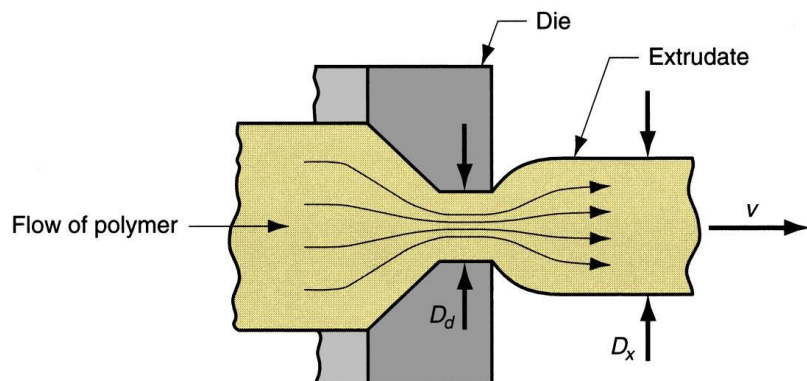
# مزیت های استفاده از پلاستیک ها

- تقریباً هر هندسه ای را می توان با استفاده از پلاستیک ایجاد نمود.
- شکل دهی پلاستیک با استفاده از انواع روش های شکل دهی، فرایندی نزدیک شکل نهایی است و نیازی به عملیات ماشینکاری بعد از ساخت ندارد.
- انرژی کمتری برای تغییر شکل مورد نیاز است چون دمای ذوب پلاستیک ها کم است.
- معمولاً نیازی به پوشش دهی و رنگ ندارند.
- مشکل خوردگی مانند فلزات ندارند.

# خصوصیات پلاستیک ها در مقایسه با فلزات

❑ گرانیروی پلاستیک ها با افزایش نرخ برش و دما کاهش می یابد. بر خلاف سیالات نیوتنی که گرانیروی آن ها به نرخ برش بستگی ندارد.





این ویژگی پلیمرها در دو حالت جامد و مایع وجود دارد و تلفیقی از خواص گرانروی و مومسان است.

در فرآیند روزن رانی پس از خروج از قالب، پلاستیک تمایل دارد به حالت اولیه خود برگردد، بنابراین قطرش پس از خروج از قالب افزایش می یابد. نسبت باد کردگی به صورت زیر تعریف می شود:

$$r_s = \frac{D_x}{D_d}$$

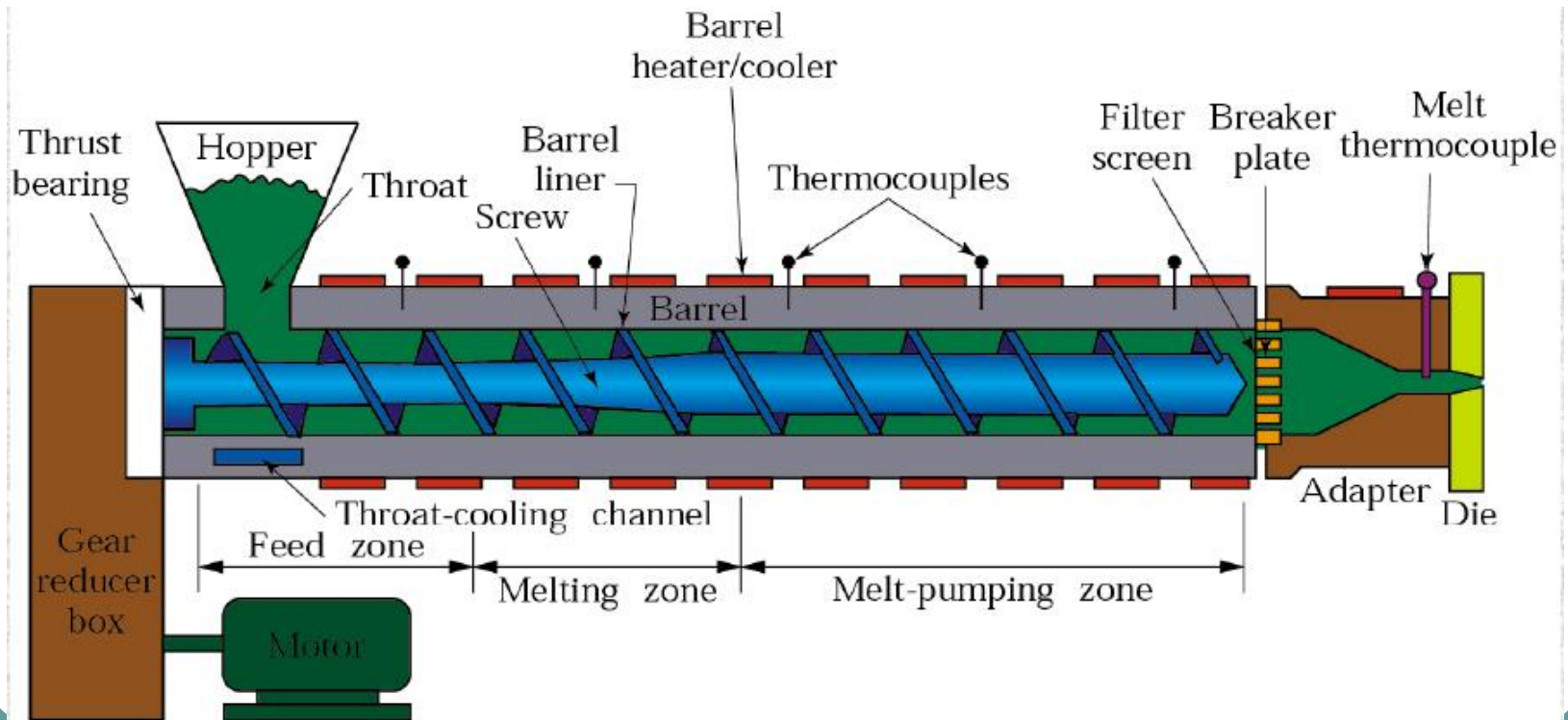
## فرایندهای شکل دهی پلاستیک - روزنرانی (Extrusion)

- روزنرانی فرایندی است که در آن پلاستیک با فشار از یک روزنه عبور داده می شود و محصول آن قطعه طولانی با سطح مقطع روزنه قالب می باشد.
- بیشتر برای ترموپلاستیک ها و الاستومرها برای ساخت قطعات زیر مورد استفاده قرار می گیرد:
- پروفیل ها (میله ها، الیاف و لوله ها)
- فیلم ها و ورق ها
- پوشش روی سیم و کابل
- قطعه طولانی با سطح مقطع یکسان که ساخته می شود بعدا به اندازه های مورد نیاز بریده می شود و مورد استفاده قرار می گیرد.



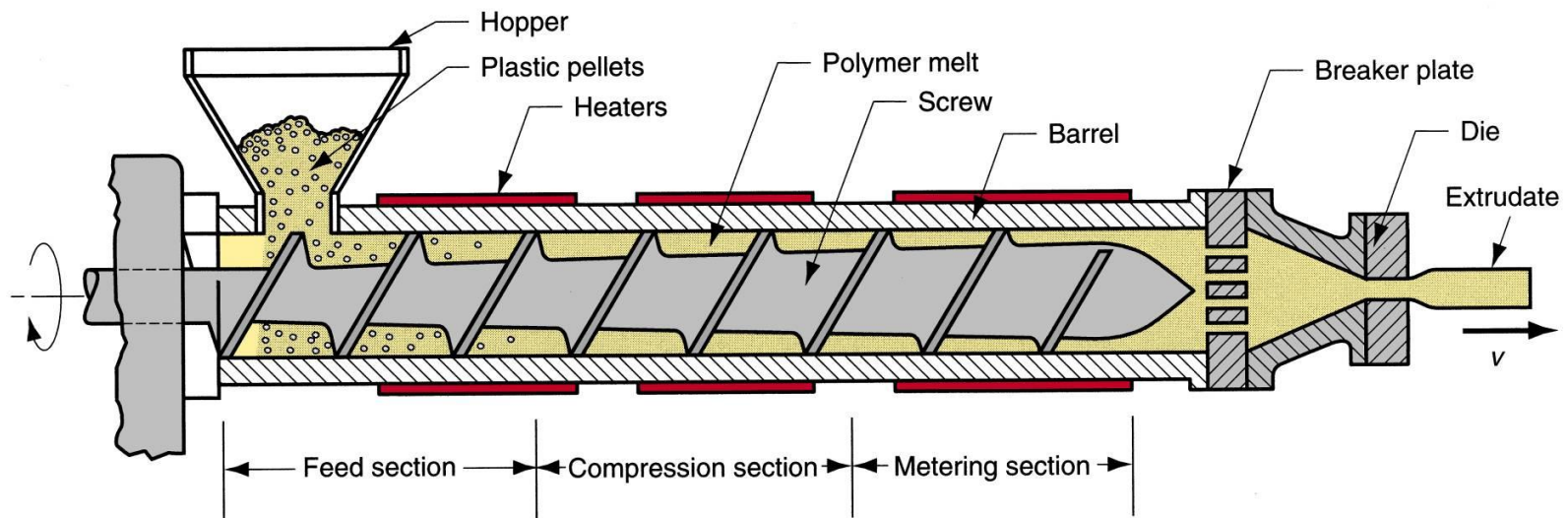
## تجهیزات فرایند روزنرانی (Extrusion)

□ در این فرایند، تجهیزات از دو بخش قالب و تجهیزات ایجاد و هدایت مذاب تشکیل شده است.



## تجهيزات فرایند روزنرانی (Extrusion)

- محفظه حاوی مارپیچ:
- قطر داخلی آن بین 25 تا 150 میلی متر تغییر می کند.
- نسبت طول به قطر بین 10 تا 30 می باشد. مقادیر بزرگتر برای ترموپلاستیک ها و مقادیر کوچکتر برای ترموست ها
- ماده خام با نیروی جاذبه وارد آن می شود

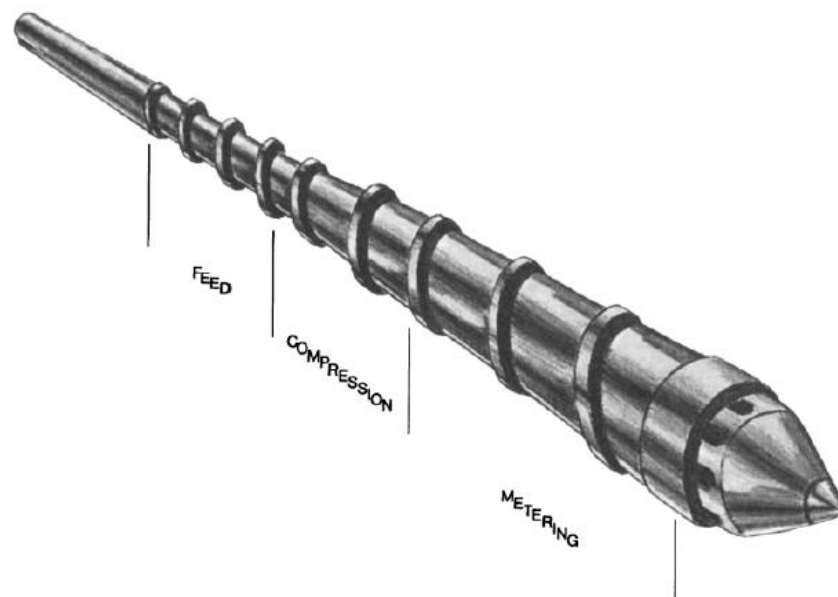


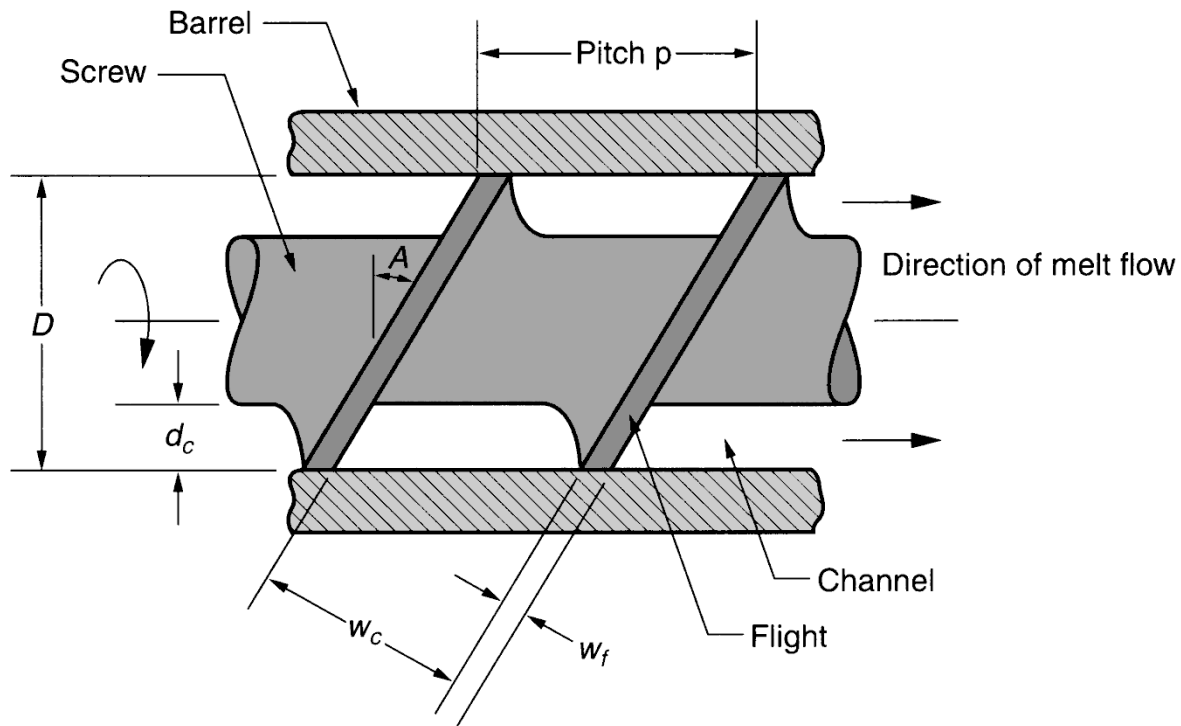
□ مارپیچ از سه قسمت اصلی تشکیل شده است:

□ تغذیه: یا استفاده از این قسمت پلاستیک از قیف به ناحیه مرکزی محفظه مارپیچ منتقل می شود.

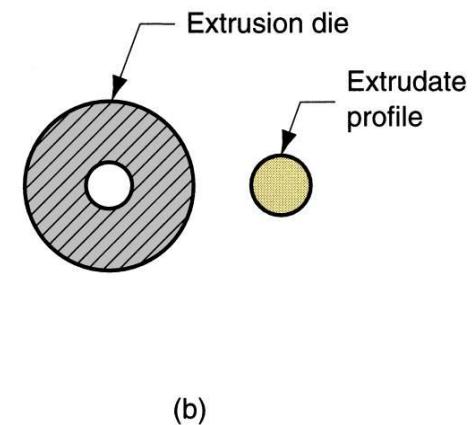
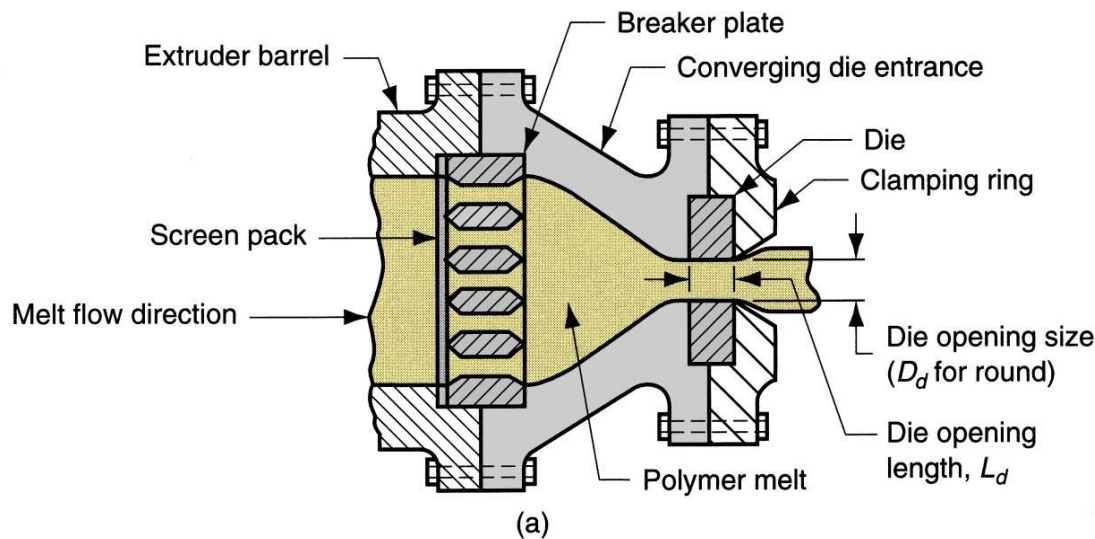
□ فشرده سازی: با عبور پلاستیک از این ناحیه به دلیل افزایش فشار ناشی از کاهش حجم، پلاستیک ذوب می شود.

□ ناحیه تنظیم: در این مرحله، فشار لازم برای یکنواخت تر شده ساختار مذاب و تزریق آن به درون قالب اعمال می شود.



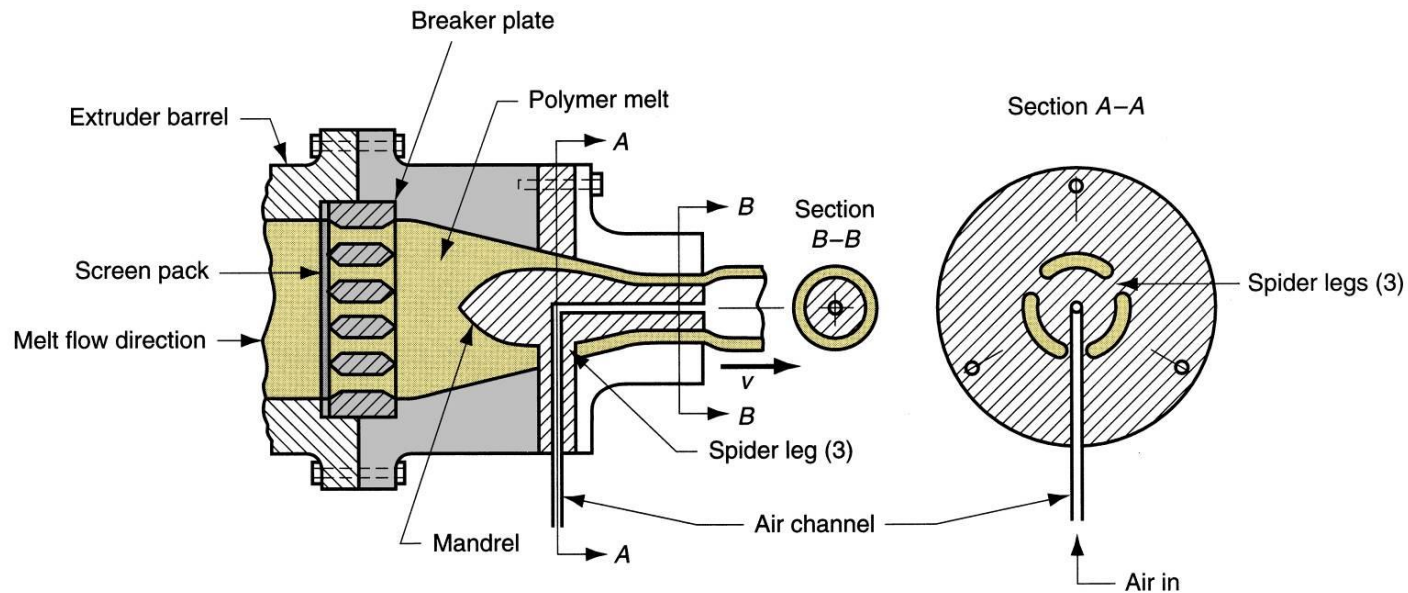


- انتهای محفظه مارپیچ به یک صفحه مشبک می رسد که اعمال زیر را انجام می دهد:
- ناخالصی ها را فیلتر می کند.
- در ناحیه تنظیم ایجاد فشار می کند.
- جریان پلاستیک را مستقیم می کند و حافظه جریان قبلی چرخشی را از بین می برد



## روزنرانی قطعات توخالی

- ❑ در این فرایند از ماندربل استفاده می شود.
- ❑ مسیر هوای برای این تعبیه شده است که بعد از خروج از روزنه قالب قطعه کار توخالی شکل خود را حفظ کند.
- ❑ خنک کاری قطعه بعد از عملیات در آب انجام می شود. در حین خنک کاری فشار هوا حفظ می شود.





# تولید شلنگ های فرم دار پس از روزنرانی



## تولید شلنگ با استفاده از قالب



مواد خام



عبور مواد از غلتک در چندین مرحله برای تولید لقمه



## تولید شلنگ با استفاده از قالب

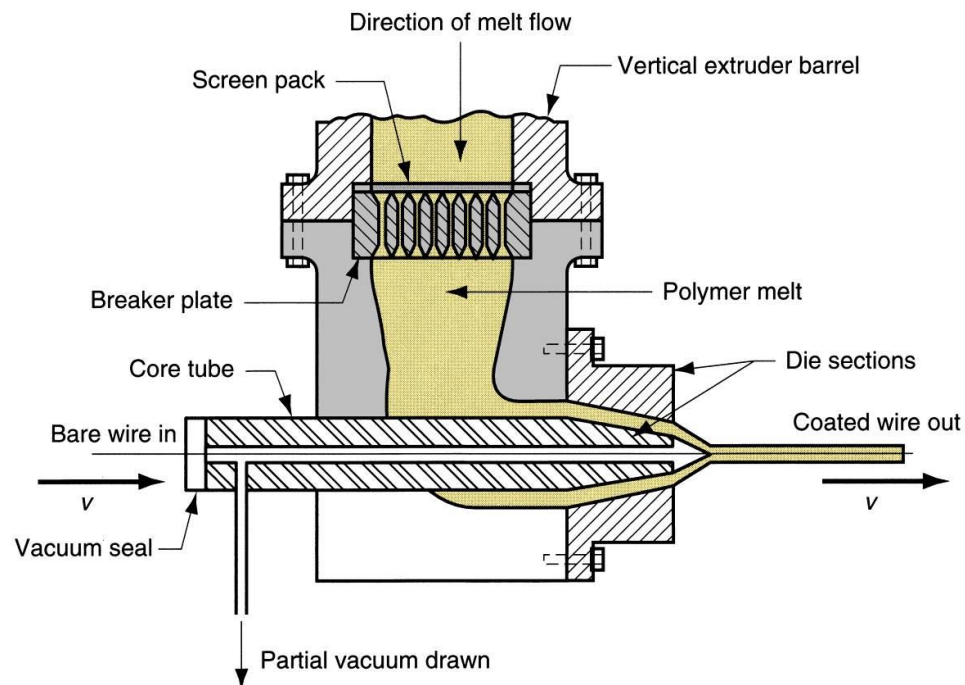


برش و سرد کردن لقمه ها



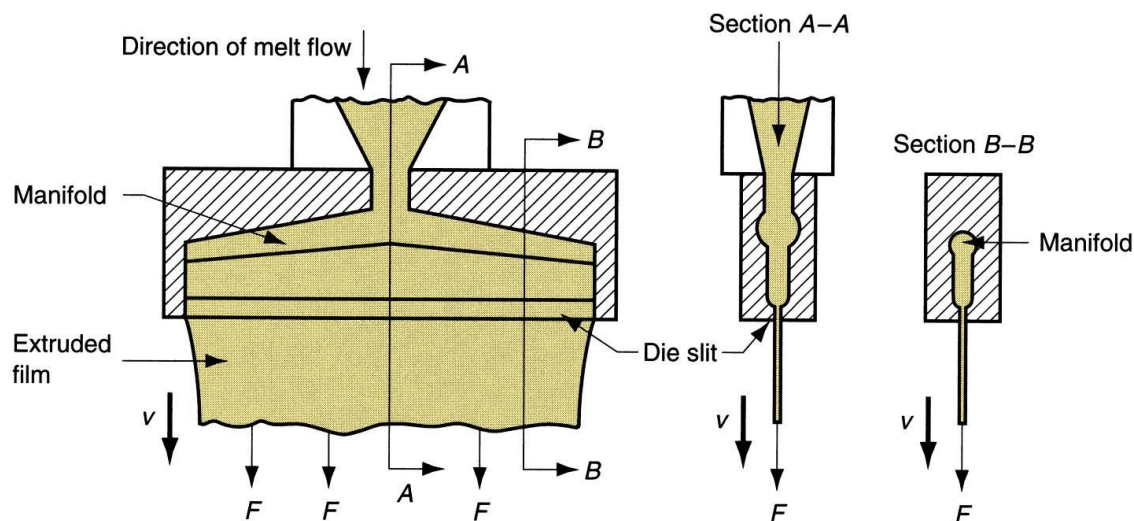
قالب گیری لقمه و تولید شلنگ

- در این فرایند از محفظه نگهدارنده مارپیچ عمودی استفاده می شود.
- سیم لخت با سرعت زیاد از مجرای خود کشیده می شود و پلیمر مذاب هم در اثر خلا اعمال شده به سطح سیم می چسبد.

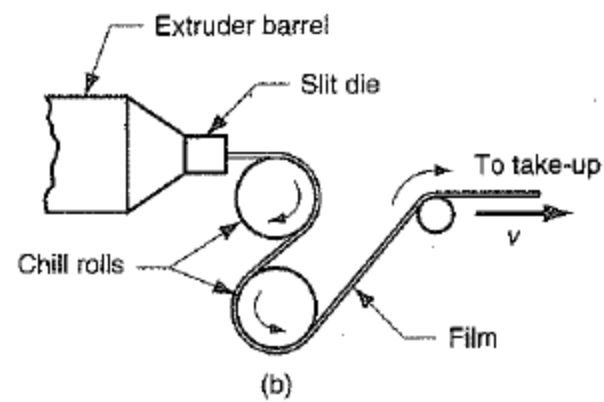
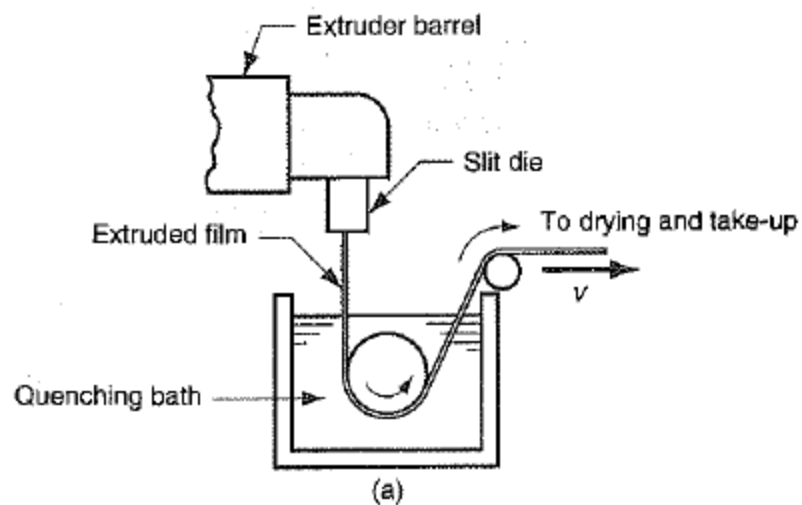


با استفاده از یک چندراهه مذاب به سمت روزنه شیار شکل قالب جریان داده می یابد.

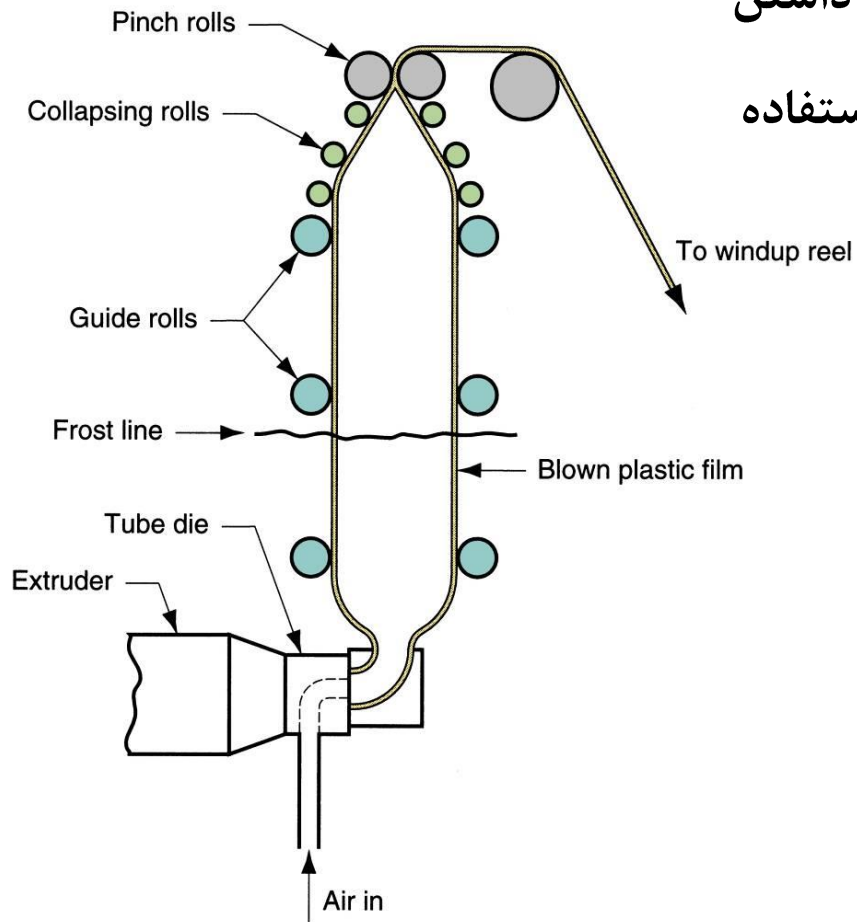
این روش برای تولید ورق های پلاستیک به قطر کمتر از 0.5 میلی متر مورد استفاده قرار می گیرد.



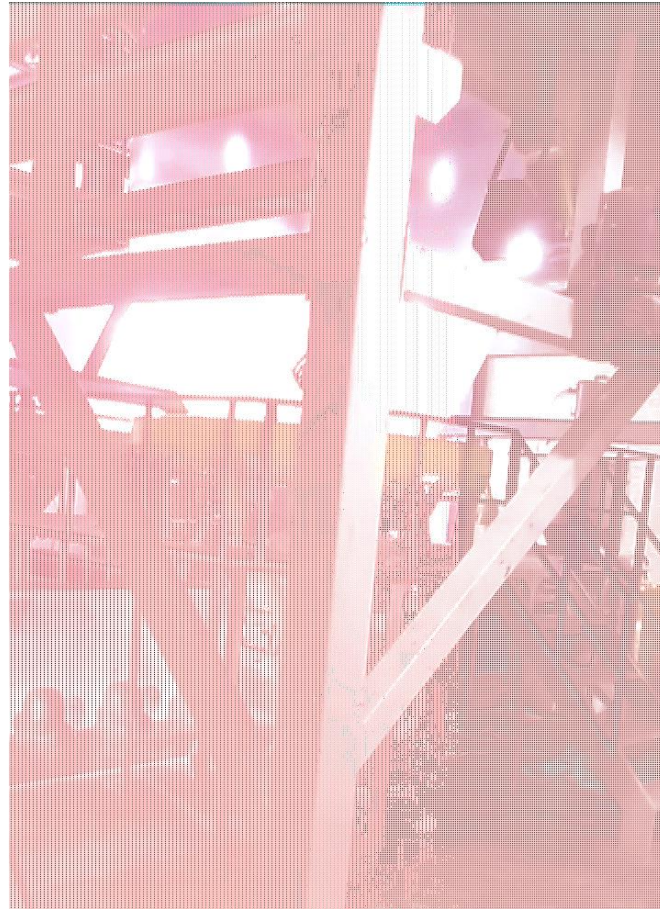
## انواع روش های خنک کردن



❑ در این روش از فشار هوا برای ثابت نگه داشتن ضخامت ورق استفاده می شود.  
❑ غلتک های مختلفی برای هدایت ورق استفاده می شوند.



## روش فیلم دمش برای تولید نایلون پلیمری





## روش فیلم دمشی برای تولید نایلون پلیمری



فیلم دمشی



مکش مواد خام به درون قالب

## روش فیلم دمش برای تولید نایلون پلیمری



ورق نهایی

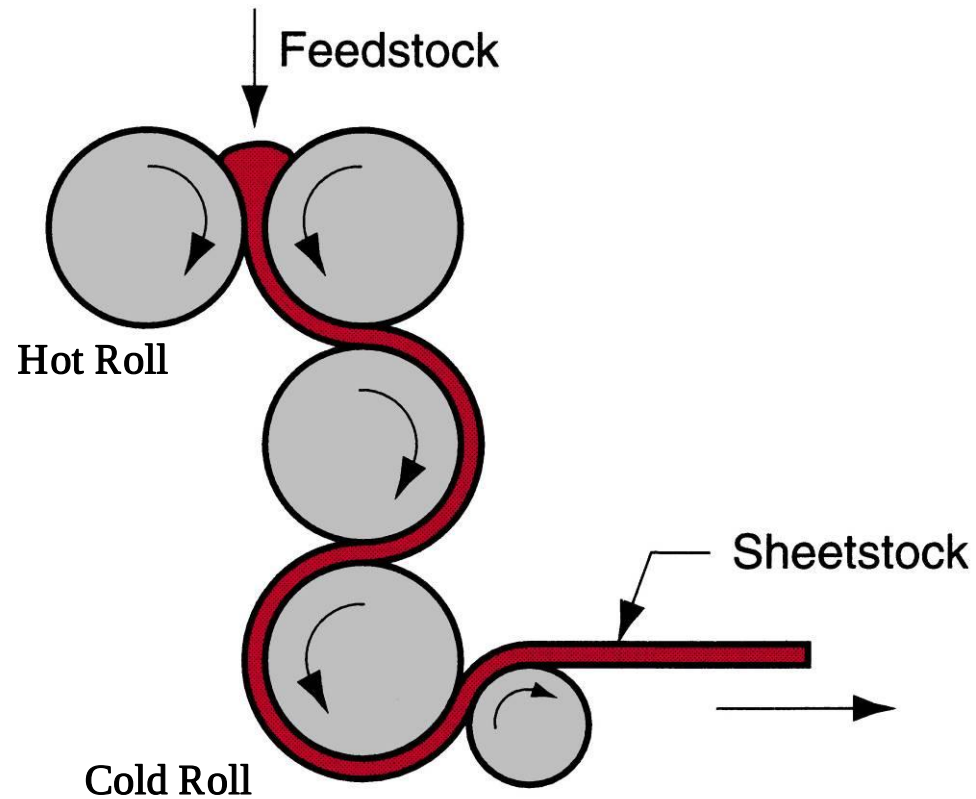


قالب



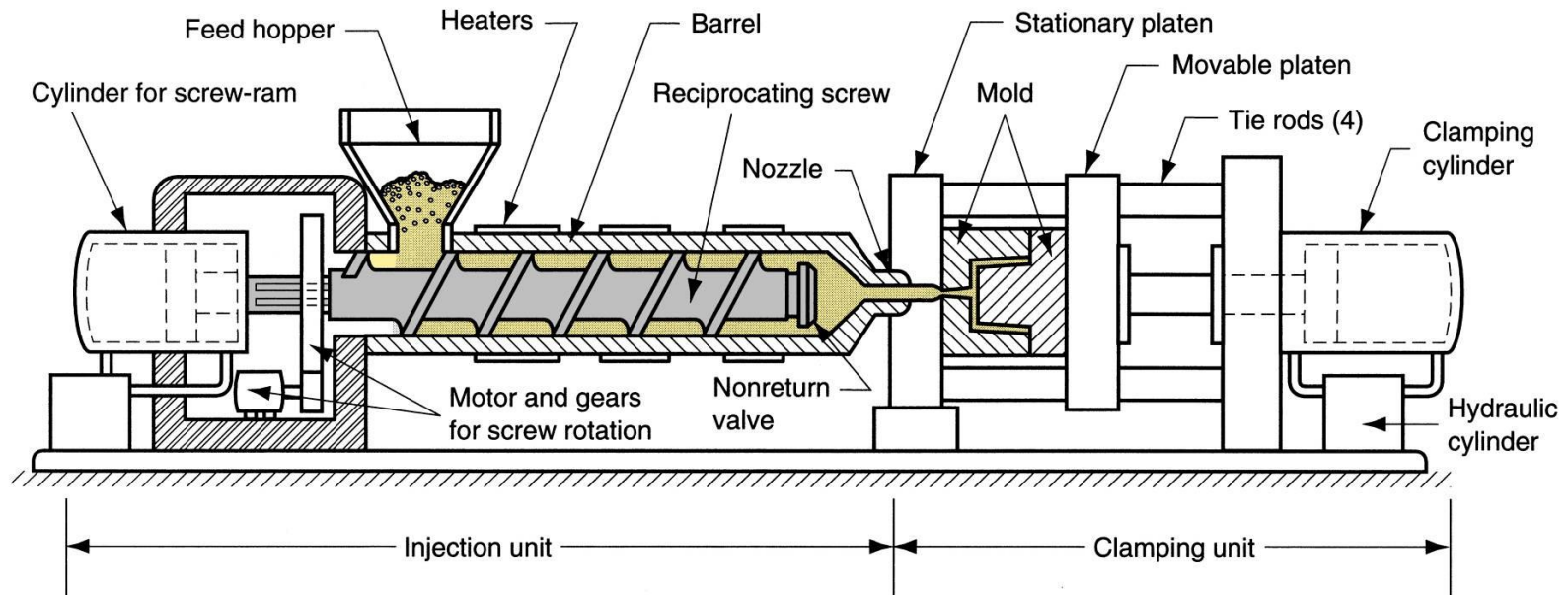
## روش فیلم دمش برای تولید نایلون پلیمری





## تزریق پلاستیک (Injection Molding)

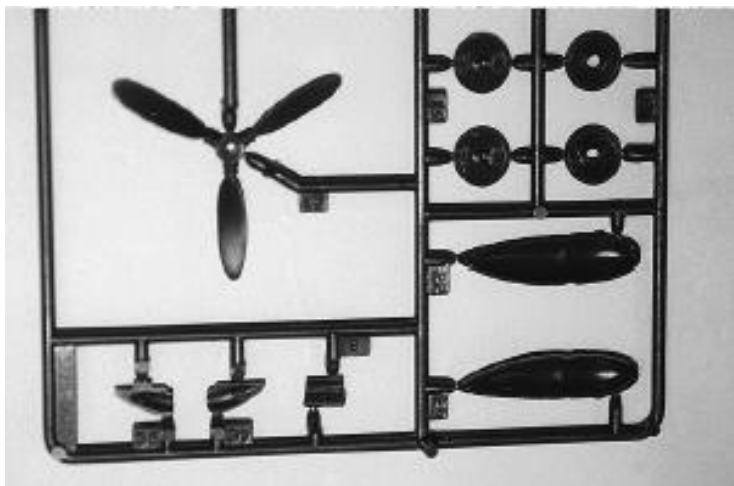
□ در این روش با استفاده از یک مارپیچ که هم حرکت چرخشی و هم حرکت خطی دارد مذاب مورد نیاز قالب تامین می شود.



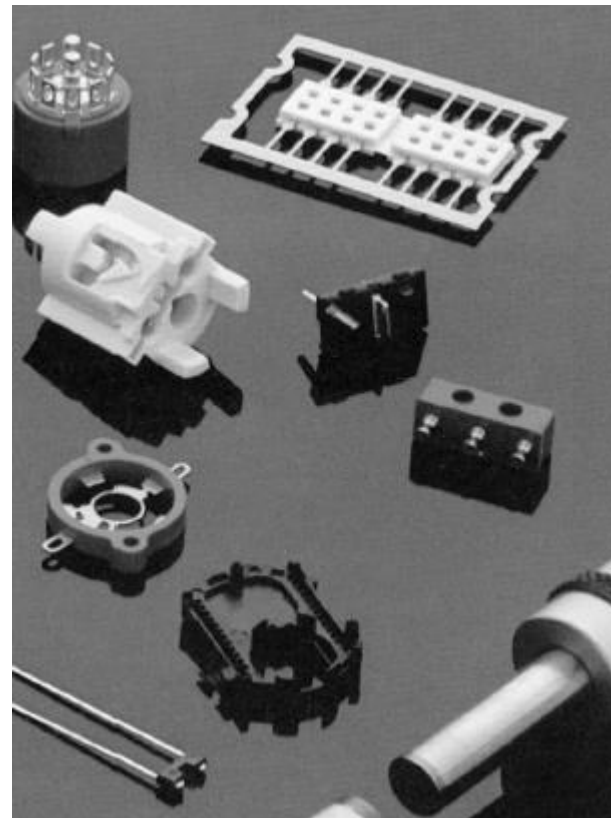
## تزریق پلاستیک (Injection Molding)

- ❑ چرخه کاری برای تولید قطعه بین 10 تا 30 ثانیه است. و در برخی قطعات به 1 دقیقه یا بیشتر هم می رسد.
- ❑ قالب ممکن است حاوی یک یا چند حفره باشد بنابراین چند قطعه می توانند در هر چرخه تولید شوند.
- ❑ وزن قطعات از 50 گرم تا 25 کیلوگرم برای قطعات بزرگتر از جمله سپر خودرو می باشد.
- ❑ چون قیمت تجهیزات و قالب زیاد است، این روش فقط برای تعداد زیاد قطعات صرفه اقتصادی دارد.
- ❑ این روش به طور گسترده برای ترموپلاستیک ها کاربرد دارد.

## تزریق پلاستیک (Injection Molding)



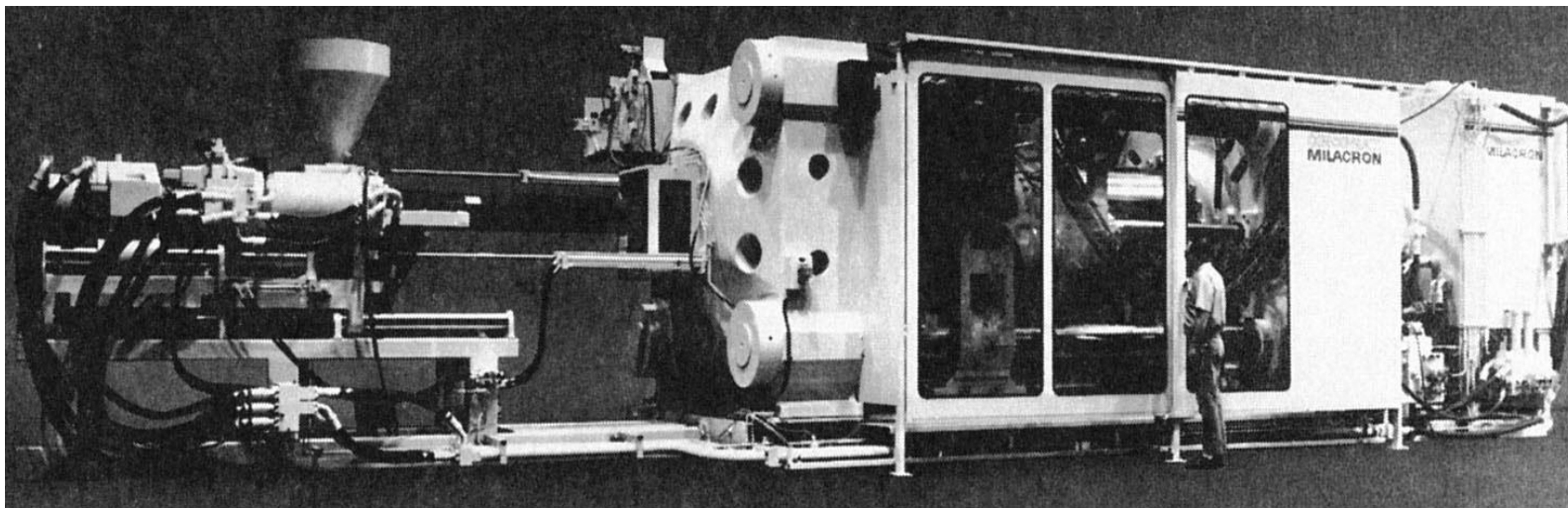
نمونه ای از قالب با چند حفره برای ساخت چندین قطعه مختلف



قطعات مختلف ساخته شده به روش تزریق پلاستیک

## تزریق پلاستیک (Injection Molding)

□ ماشین تزریق پلاستیک از دو واحد تزریق و قالب تشکیل شده است .



ماشین تزریق پلاستیک 3000 تنی

□ این واحد از یک محفظه و مارپیچ تشکیل شده است. مارپیچ با چرخش خود وظیفه مخلوط کردن و گرم کردن گرانول ها را به عهده دارد. مارپیچ همچنین به عنوان یک چکش عمل می کند و با حرکت خطی خود عمل تزریق را انجام می دهد.

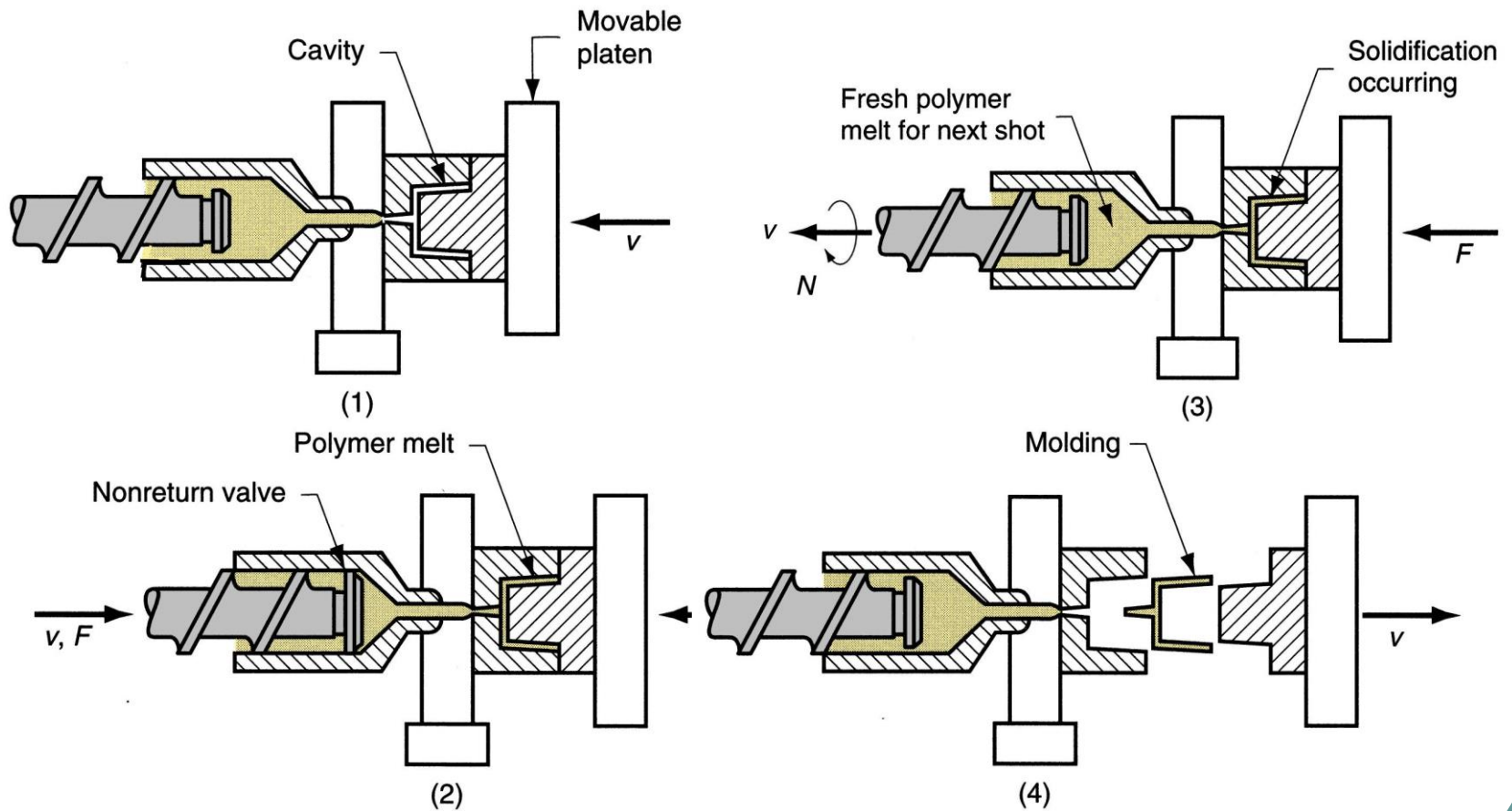
□ شیر یک طرفه ای در نوک مارپیچ از برگشت مذاب جلوگیری می کند.

□ فشار کاری در تزریق پلاستیک 700 تا 2000 اتمسفر می باشد.

- ❑ دو نیمه قالب را با همراستایی دقیقی نسبت به هم نگه می دارد.
- ❑ با اعمال نیروی گیره بندی کافی مانع از جدا شدن دو نیمه قالب در اثر نیروهای تزریق می شود.
- ❑ در زمان های مناسب در چرخه تولید، قالب را باز و بسته می کند.



# مراحل فرایند تزریق پلاستیک

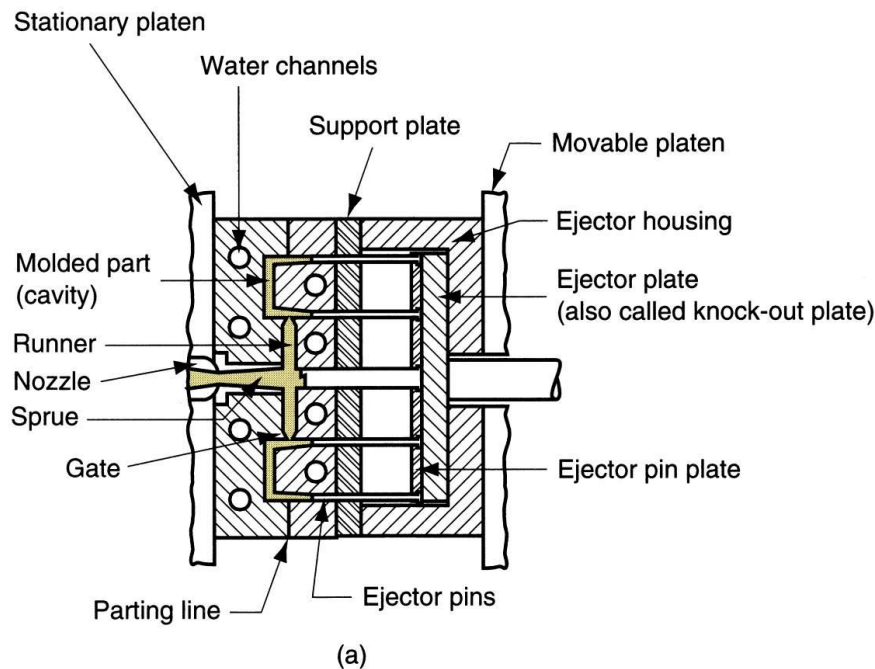


## انواع قالب های تزریق پلاستیک-قالب دو صفحه ای

□ قالب از دو صفحه تشکیل شده است. در مثالی که در شکل زیر نشان داده شده است برای ساخت دو قطعه فنجانی شکل مشابه مورد استفاده قرار می گیرد.

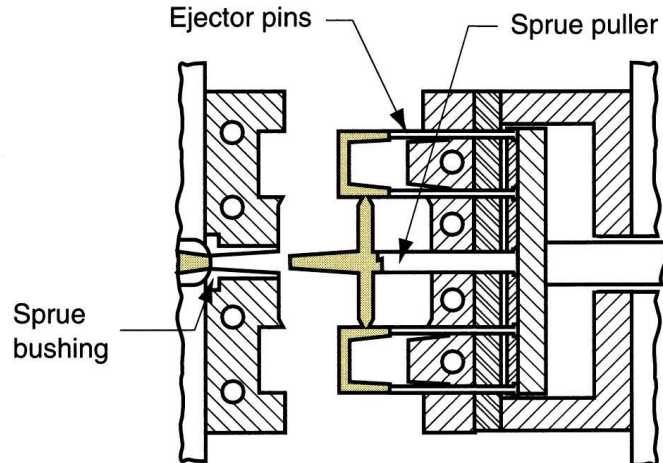
□ اجزای قالب عبارتند از : حفره، راهگاه، دریچه و ورودی

□ در محل اتصال دو نیمه قالب خط جدایش در قطعه نهایی به وجود می آید



## انواع قالب های تزریق پلاستیک-قالب دو صفحه ای

- ❑ خارج شدن قطعه نهایی با استفاده از پران ها انجام می گیرد.
- ❑ حفره در دونیمه قالب باید طوری تقسیم شود که انقباض طبیعی قطعه باعث شود، قطعه به نیمه متحرک قالب بچسبد.
- ❑ خنک کاری قالب با استفاده از مسیرهای آب تعبیه شده در ساختمان آن ها انجام می شود.
- ❑ در قالب هواکش هایی نیز برای خروج هوای داخل مذاب تعبیه می شود.

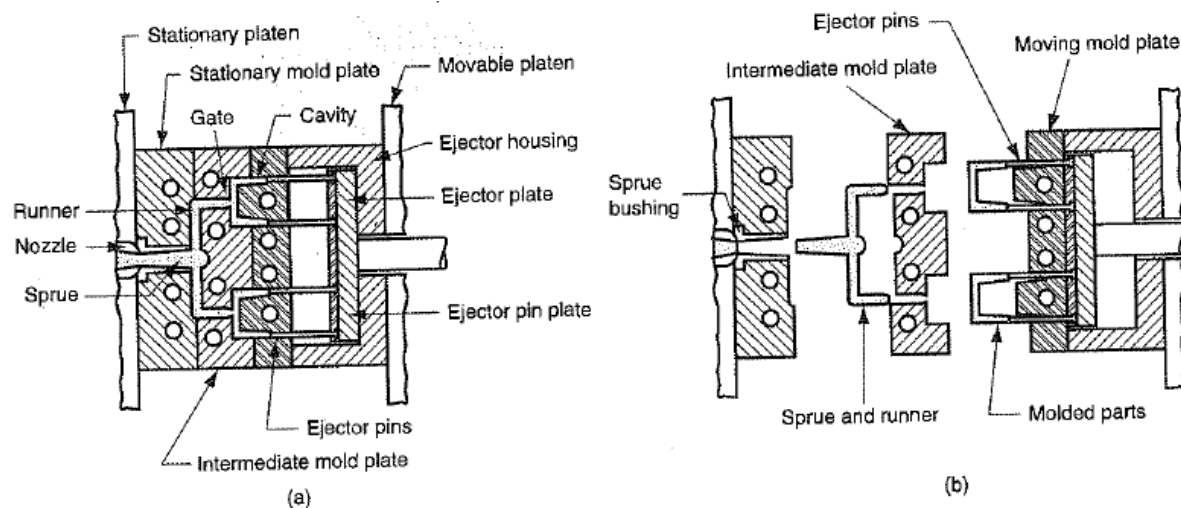


(b)

## انواع قالب های تزریق پلاستیک-قالب سه صفحه ای

این روش قابلیت بیشتری برای ماشینی کردن فرآیند تزریق پلاستیک دارد. چون پس از جدایش قالب 3 تکه می شود و قطعه کار از ملحقاتش (ورودی و راهگاه) جدا می شود.

برای قطعه نشان داده شده دریاچه ها میتوانند در محل پایه قطعه قرار بگیرند و جریان یکنواخت تری از مذاب ایجاد شود و قطعه حاصل استحکام بیشتری نسبت به حالت دوصفحه ای داشته باشد.



به دلیل ضرایب انبساط حرارتی بزرگ پلاستیک ها، این مواد در اثر سرد شدن تا دمای محیط انقباض قابل ملاحظه ای پیدا می کنند.

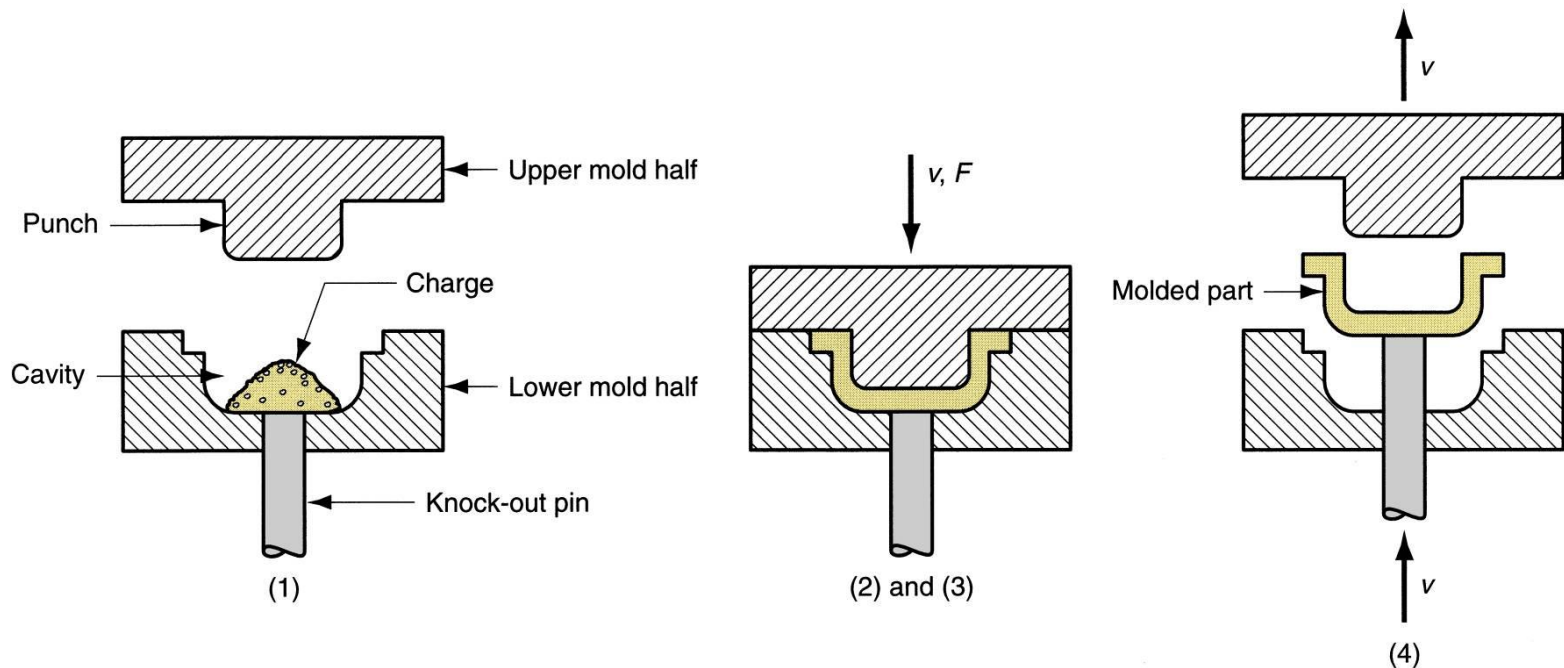
| <u>Plastic</u> | <u>Shrinkage, mm/mm (in/in)</u> |
|----------------|---------------------------------|
| Nylon-6,6      | 0.020                           |
| Polyethylene   | 0.025                           |
| Polystyrene    | 0.004                           |
| PVC            | 0.005                           |

$$D_c = D_p + D_p S + D_p S^2$$

قطر حفره قالب

قطر قطعه

این روش بیشتر برای ترموست ها مورد استفاده قرار می گیرد. برای ساخت لاستیک های خودرو از این روش استفاده می شود.  
 ماده اولیه می تواند به صورت جامد (پودر یا گرانول) و یا مذاب و یا پیش فرم باشد.

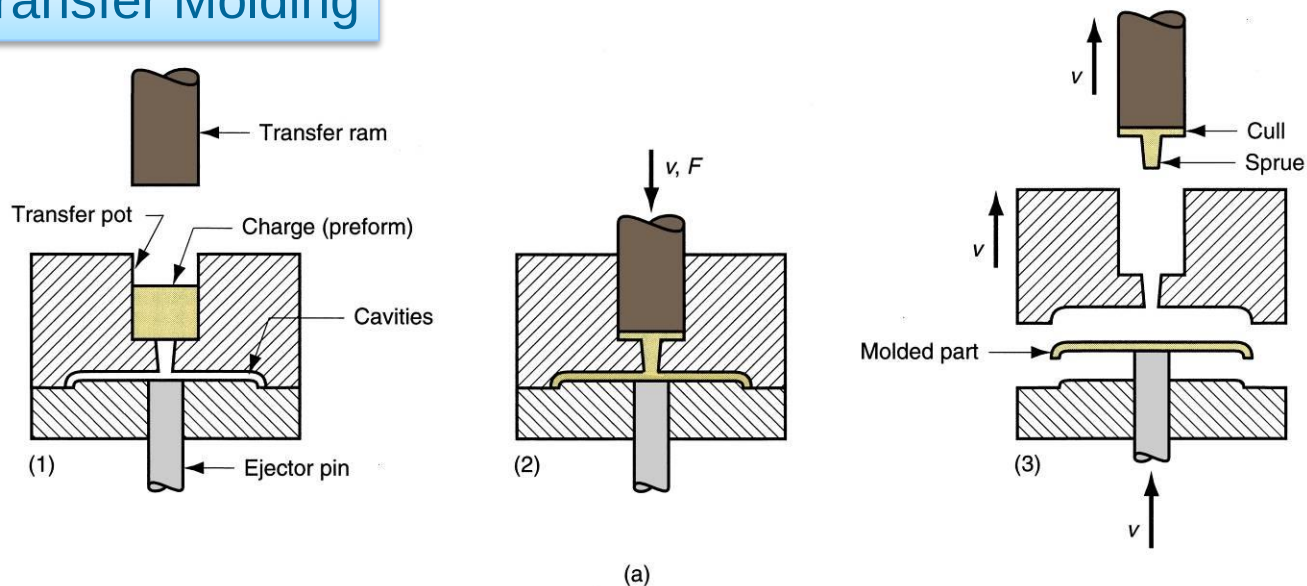


## ویژگی های فرایند قالب گیری فشاری

- ساده تر از تزریق پلاستیک است.
- اضافه ماشینکاری مانند تزریق ندارد.
- چون ترموست ها قابلیت جریان ضعیفی دارند این روش برای هندسه های محدودی می تواند مورد استفاده قرار بگیرد.
- برای گرم کردن قالب معمولا از جریان برق، بخار و یا چرخش روغن داغ استفاده می کنند.
- جنس های مورد استفاده معمول عبارتند از:
  - ملامین، فنولیک، اورافرمالدهید، اپوکسی، اورتان و الاستومر
  - قطعاتی که به این روش تولید می شوند عبارتند از:
    - دوشاخه های برق، بست های الکتریکی و دسته های قوری

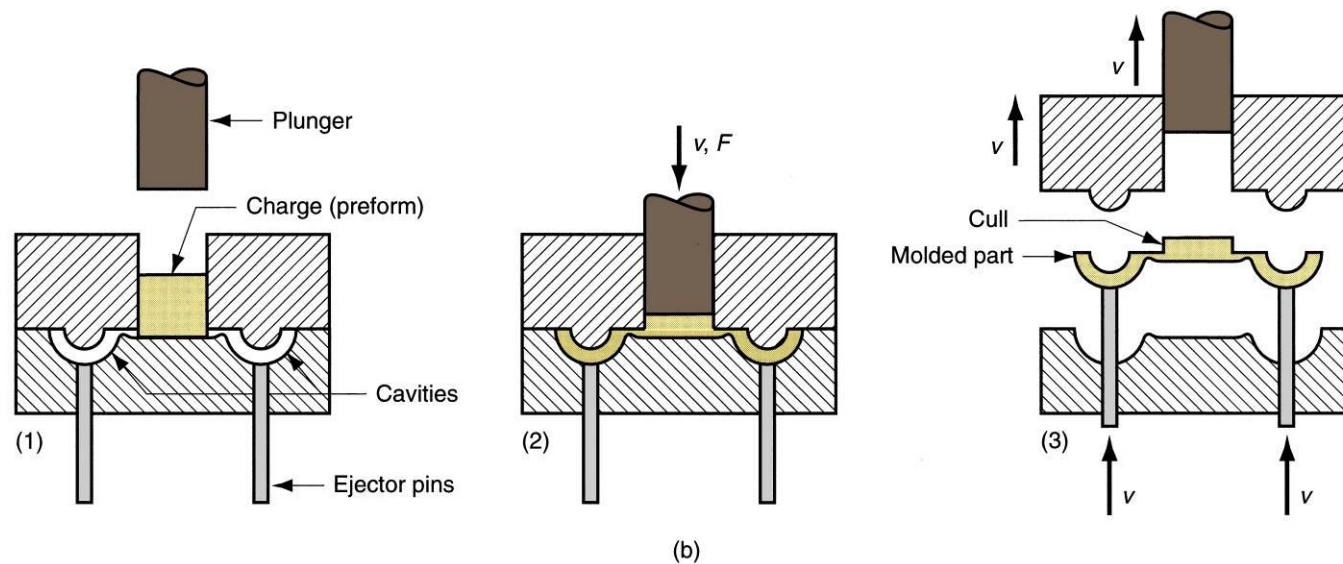
- این روش برای ترموست ها و الاستومرها مورد استفاده قرار می گیرد و قابلیت این را دارد که قطعات پیچیده تری تولید کند.
- مزیت این روش به قالب گیری فشاری این است که ماده ترموست به صورت مذاب وارد قالب می شود و می تواند بهتر جریان بیابد.

## Pot Transfer Molding



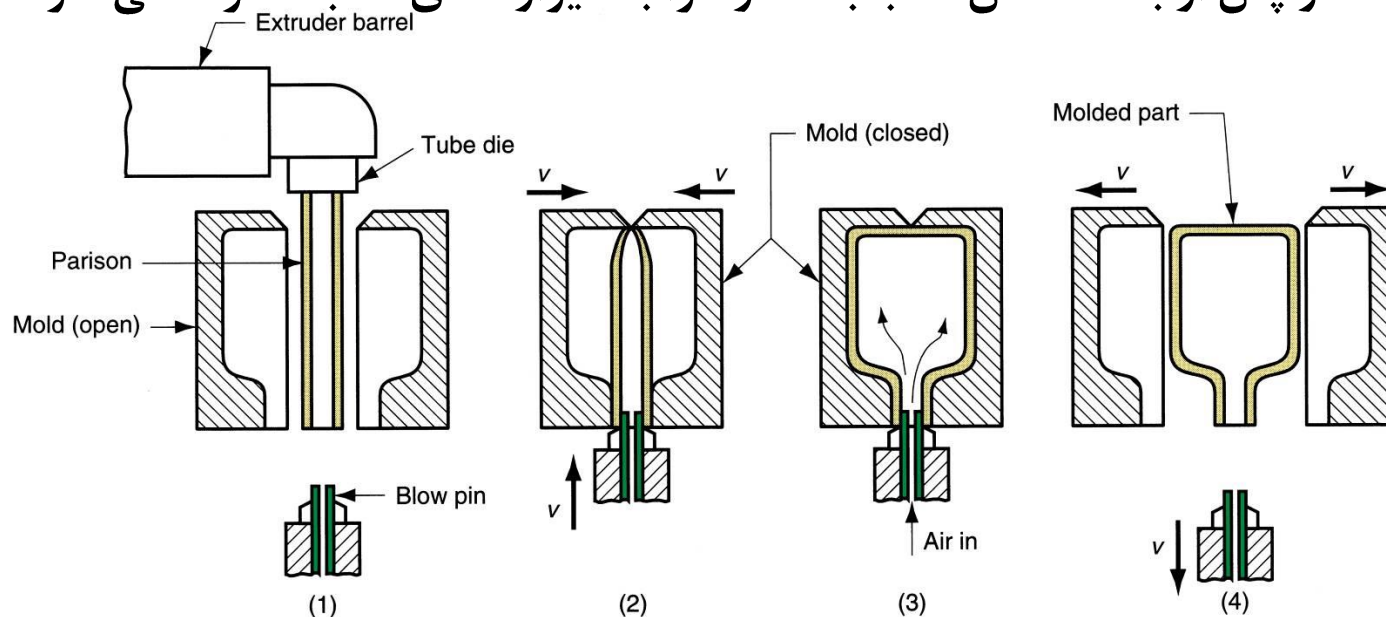


## Plunger Transfer Molding



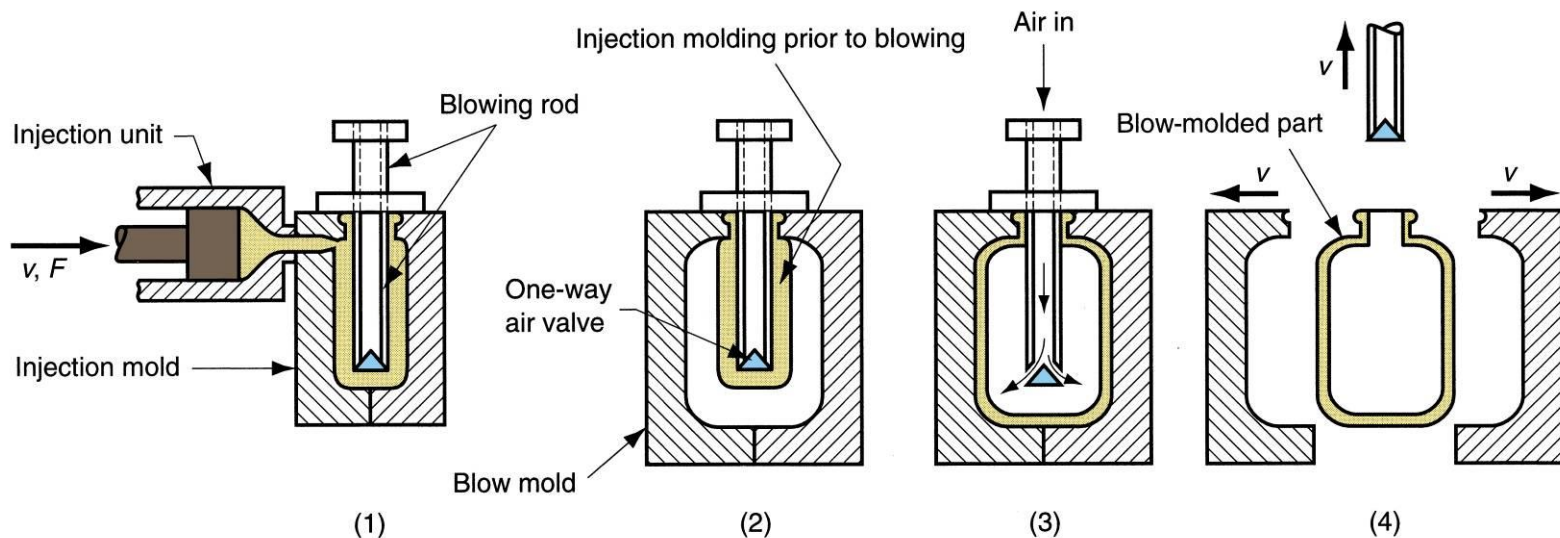
## روش اول: Extrusion Blow Molding

قالب گیری بادی تکنیکی است که از صنعت شیشه گری اقتباس شده است. در این فرایند یک لوله توخالی که قبلاً به روش تزریق یا روزنرانی تولید شده است در قالب قرار گرفته و پس از بسته شدن قالب با فشار هوا به دیواره های قالب فشرده می شود.



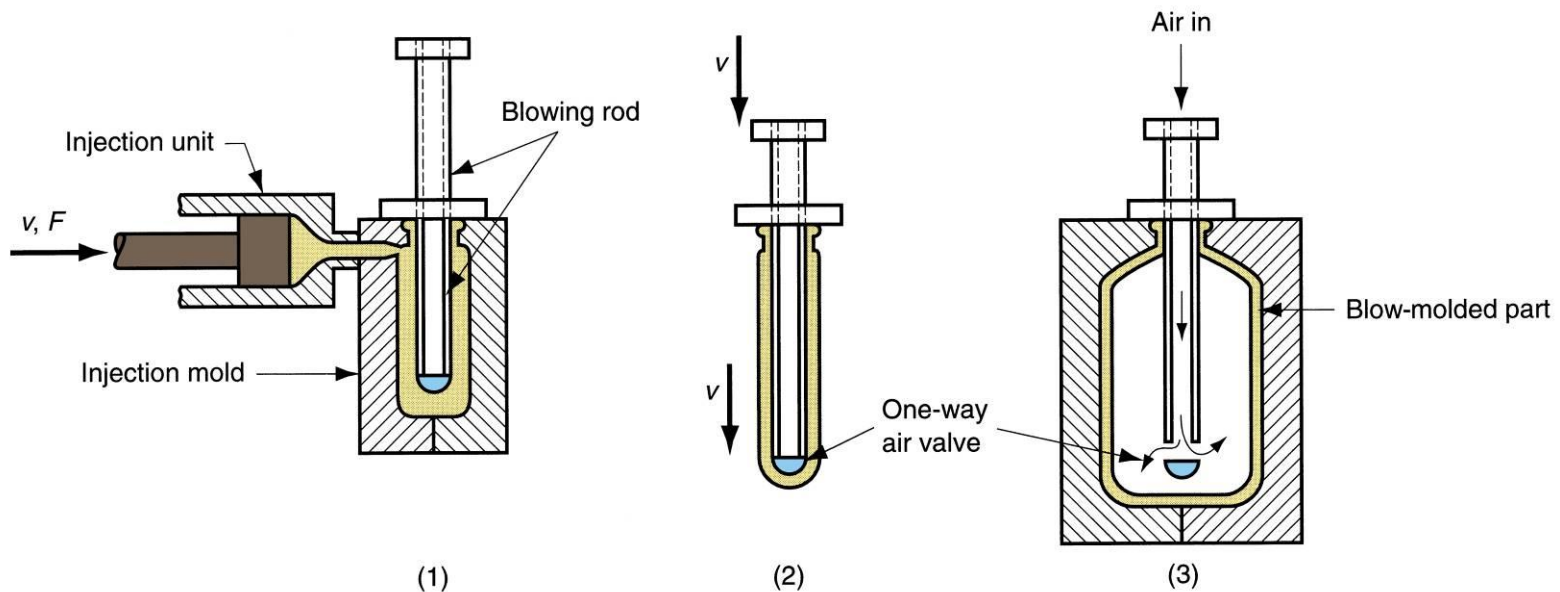
## Injection Blow Molding: روش دوم

عیب اصلی این روش این است که نیاز به دو محفظه یکی برای شکل دهی پاريسون مذاب و دیگری قطعه نهایی نیاز است.



## روش سوم: Stretch Blow Molding

□ قطعه پلاستیکی حاصل از این روش سفتی بیشتری دارد و نسبت به روش روزنرانی معمول خواص بهتری از خود نشان می دهد.



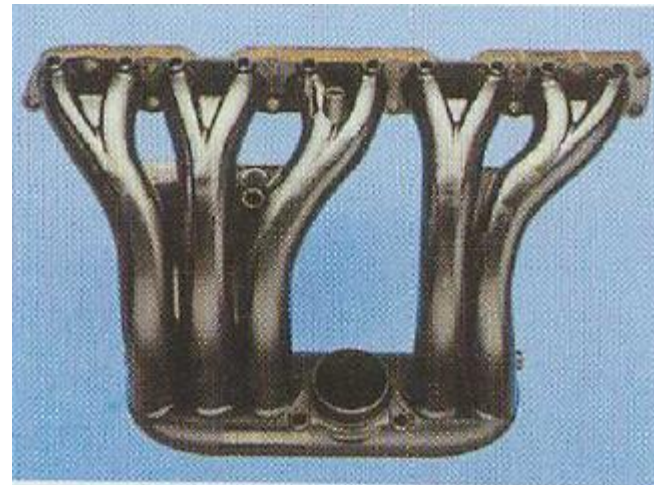
❑ ماشینکاری قطعه از بیلت خام از جنس PA66GF30

- ❑ operating temperature of the material for longer use is  $110^{\circ}\text{C}$
- ❑ operating temperature of the material for a short use is  $180^{\circ}\text{C}$
- ❑ melting temperature of the material is  $254^{\circ}\text{C}$



Valve Cover EFD engine

## چندراهه هوای پلاستیکی





## چندراهه سوخت پلاستیکی



**پایان**



به نام خدا

# درس روش های ساخت

جلسه یازدهم: گردکاری فلزات

# فلزکاری گرد

❑ گردکاری فلزات 3000 سال پیش از میلاد توسط مصریان باستان برای تولید ابزارها مورد استفاده قرار می گرفت.

❑ روش گردکاری در عصر جدید برای سیم تنگستنی لامپ توسط ادیسون مورد استفاده قرار گرفت.

❑ قطعات ساخته شده به این روش ممکن است از جنس فلز خالص، آلیاژ یا ترکیبی از مواد فلزی و نافلزی باشند.

❑ جنس های معمول عبارتند از : آلومینیوم، مس، آهن، نیکل، تیتانیوم، برنج، برنز و فولاد  
❑ قطعاتی از قبیل چرخ دنده ها، بوش ها، بادامک ها، ابزارهای برشی، حلقه سمبه، دسته سمبه و پره ها به این روش تولید می شوند.

❑ برای تولید قطعاتی از جنس سرامیک که ماشینکاری آن ها به دلیل تردی ساختار به سادگی امکان پذیر نیست، روش گردکاری گزینه مناسبی است.

## فلزکاری گرد

این فرایند با فرایندهایی نظیر ریخته گری، آهنگری و ماشینکاری قابلیت رقابت دارد و به دلیل قابلیت هایی که این فرایند دارد بسیاری از قطعات خودرو به این روش تولید می شوند.

این روش وقتی استفاده می شود که:

فلز دمای ذوب زیادی داشته باشد مثل تنگستن و کبالت

در هنگام ذوب واکنش دهد مانند زیرکونیوم

به سختی بتوان آن را ماشینکاری کرد

قطعه خیلی بزرگ باشد

تقریباً 70 درصد قطعات گردکاری شده مربوط به صنعت خودروسازی هستند

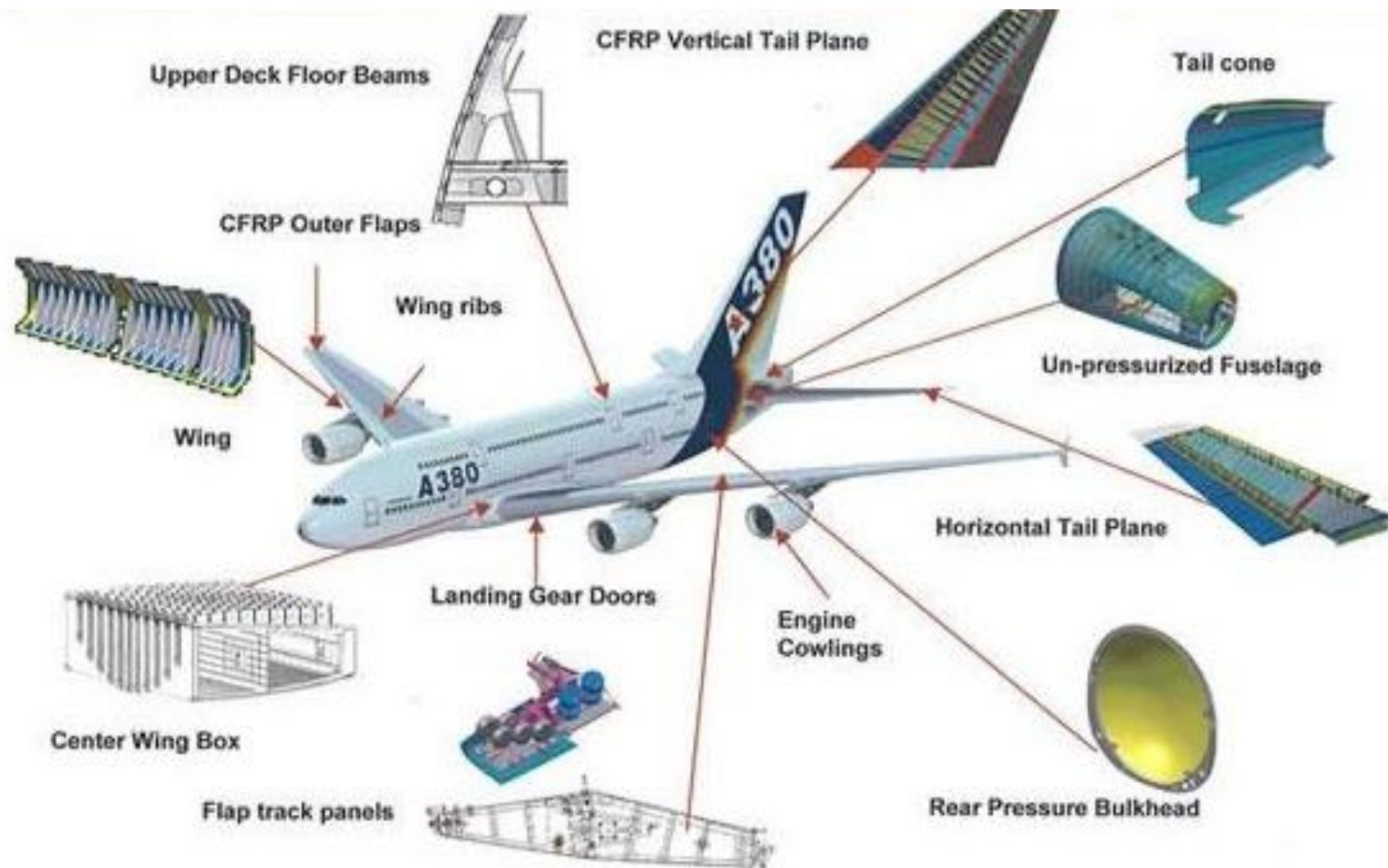
قطعات تولید شده به این روش دقت ابعادی مناسبی دارند.

# فلزکاری گرد

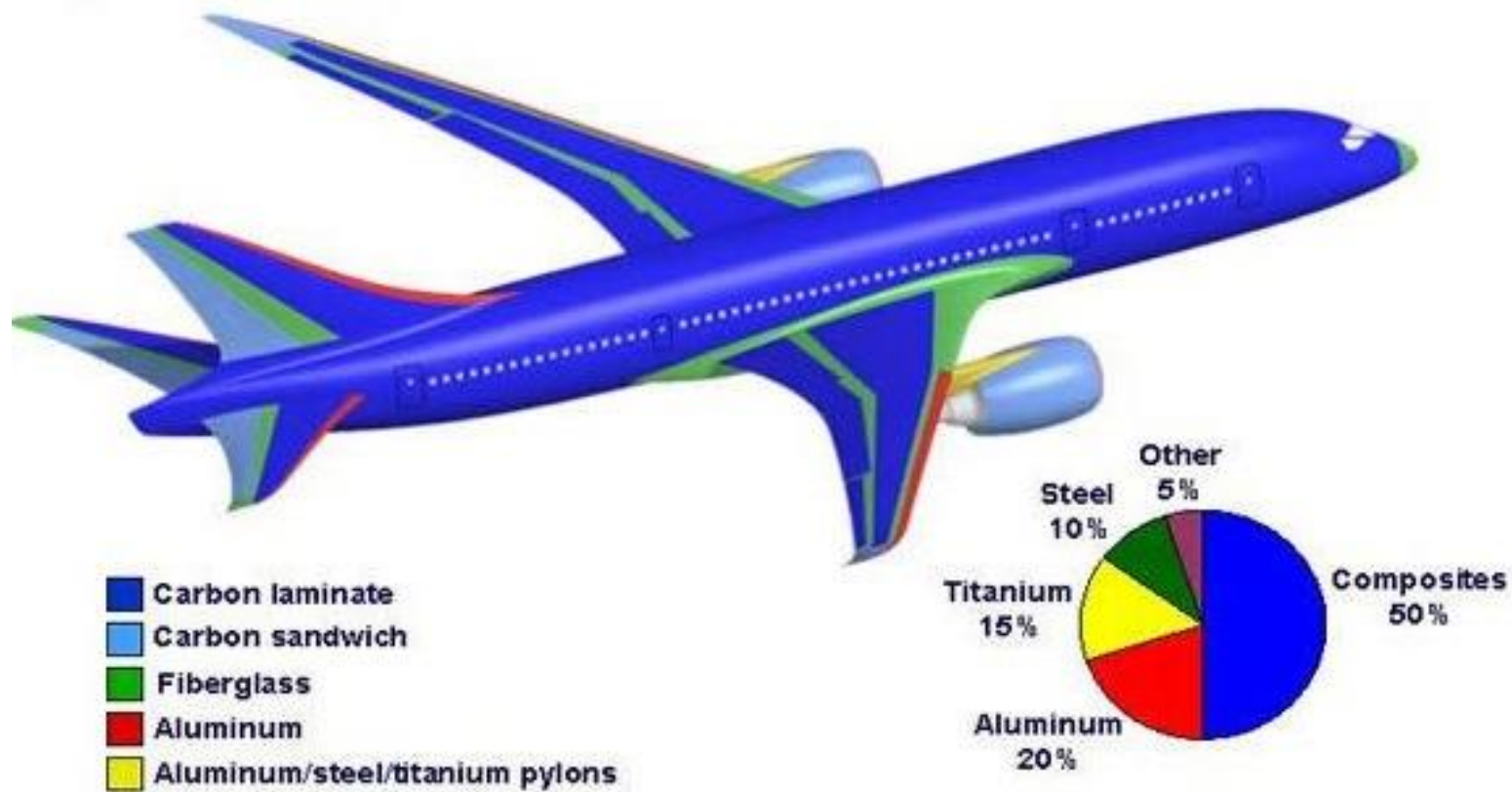
❑ در این روش دور ریز بسیار کمی وجود دارد. تقریباً 97 درصد ماده خام اولیه مصرف می شود.

❑ می توان تخلخل قطعاتی که به این روش ساخته می شوند را کنترل نمود. و قطعات متخلل را به این روش تولید نمود.





# صنعت هواپیمایی







# ابزارهای برشی









## محدودیت های روش گردکاری فلزات

- ❑ تجهیزات گران قیمتی دارد.
- ❑ گرد فلزات گران قیمت هستند.
- ❑ چون گرد فلزات در قالب به راحتی در راستای عرضی جریان نمی یابد، در هندسه قطعاتی که به این روش تولید می شوند محدودیت وجود دارد.
- ❑ در نگهداری و حمل و نقل گرد فلزات مشکلاتی از قبیل احتمال انفجار وجود دارد.
- ❑ چگالی قطعه ساخته شده ممکن است در هندسه آن یکنواخت نباشد.

# گرد فلزات

❑ گرد فلزات از ذرات جامد فلزی با اندازه های مشخصی تشکیل شده است.

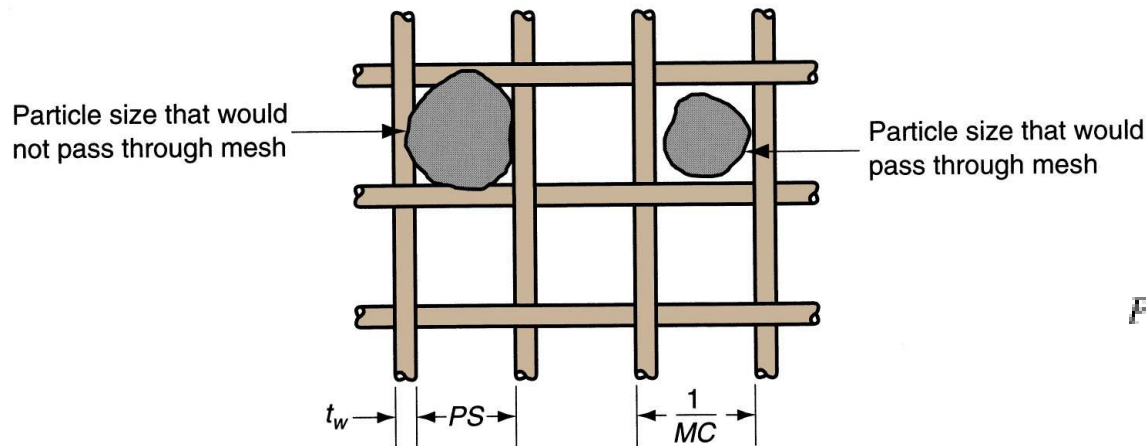
❑ گردهای مهندسی از جنس فلزات و سرامیک ها هستند.

❑ مشخصه های هندسی گردها عبارتند از:

❑ اندازه و توزیع ذرات (معمولا قطر ذرات از 0.1 تا 1000 میکرون است)

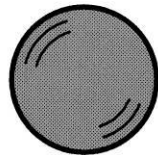
❑ شکل ذرات و ساختار داخلی

❑ سطح مقطع

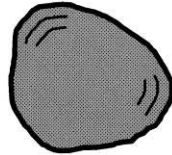


$$PS = \frac{1}{MC} - t_w$$

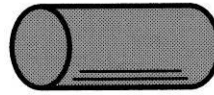
## شکل های مختلف گرد فلزات



Spherical



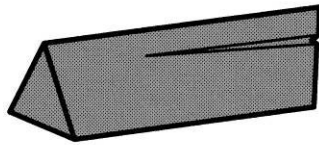
Rounded



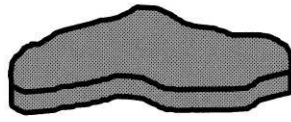
Cylindrical



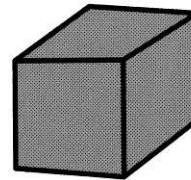
Spongey



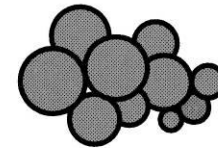
Acicular



Flakey



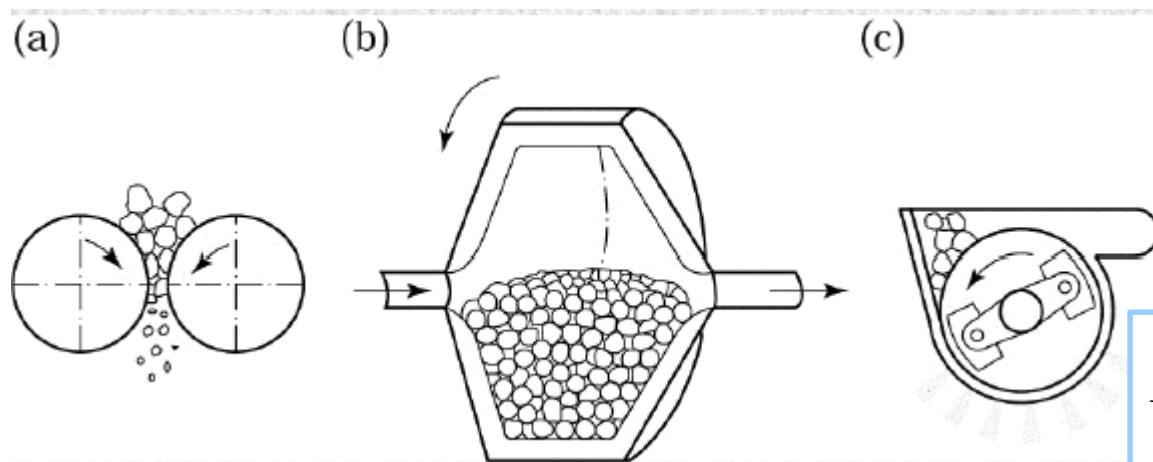
Cubic



Aggregated

# روش های تولید گرد فلزات

- اتمیزه کردن مذاب
- احیای اکسیدهای فلزی
- رسوب الکترولیتی
- تجزیه کربونیل های فلزی
- روش آسیاب مکانیکی



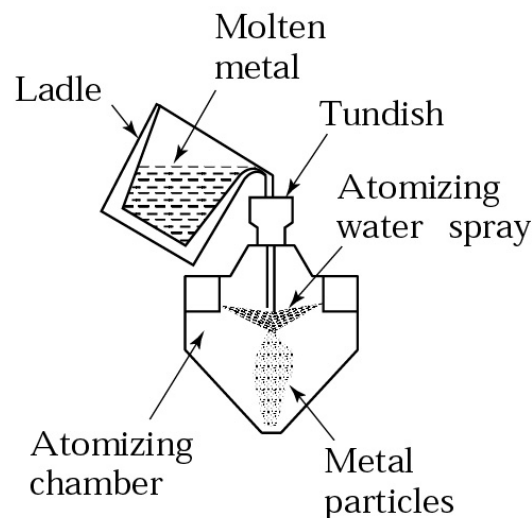
- a. Roll Crushing
- b. Ball Mill
- c. Hammer milling

انواع روش های آسیاب کردن

## روش های تولید گرد فلزات

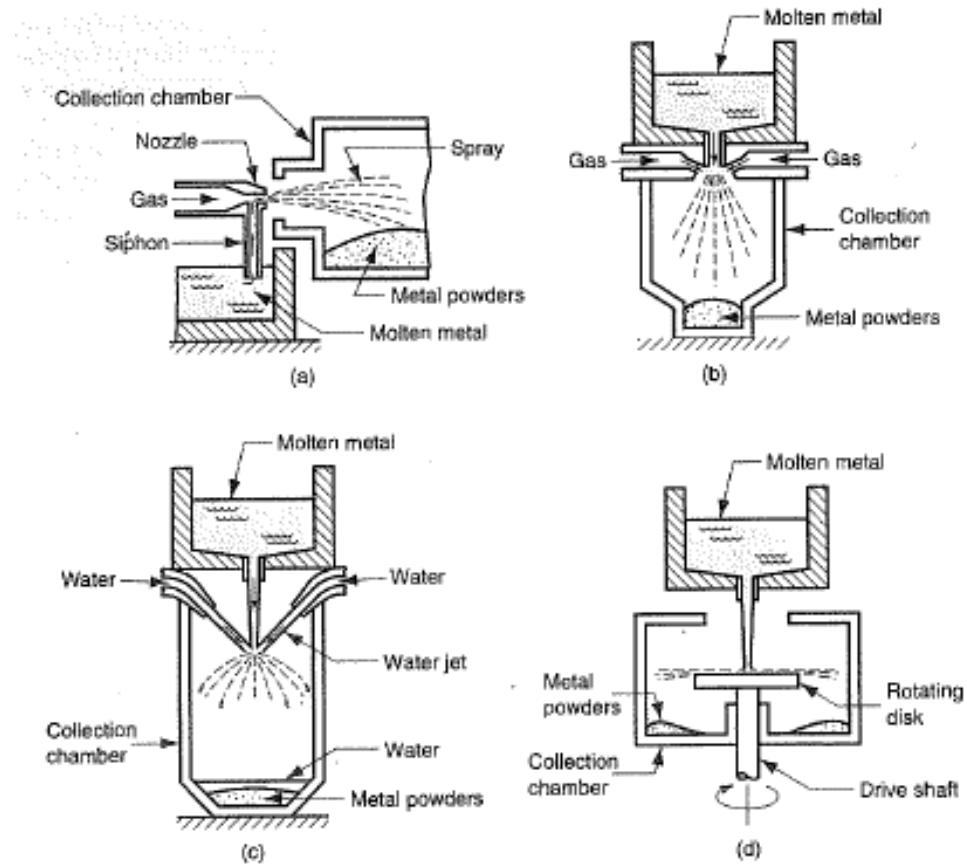
□ اتمیزه کردن مذاب: در این روش پودر از تزریق مذاب از طریق یک ارفیس ریز تولید می شود. جریان مذاب با استفاده از جریان گاز بی اثر، هوا یا آب شکسته شده و به پودر تبدیل می شود.

(a)



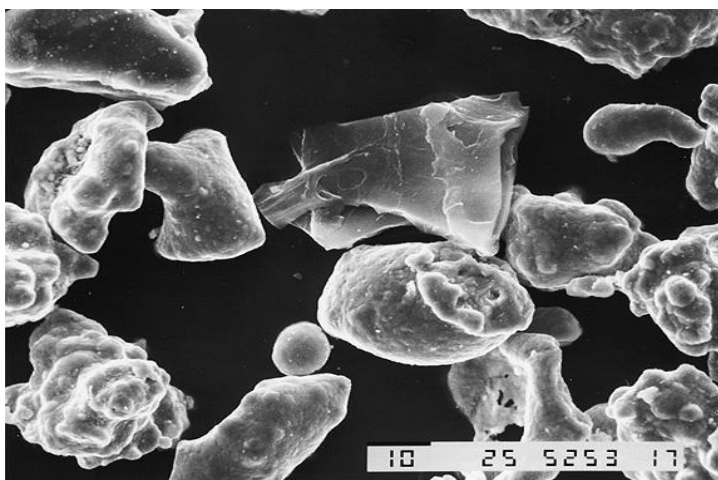
# انواع روش های اتمیزه کردن

FIGURE 16.5 Several atomization methods for producing metallic powders: (a) and (b) two gas atomization methods; (c) water atomization; and (d) centrifugal atomization by the rotating disk method.

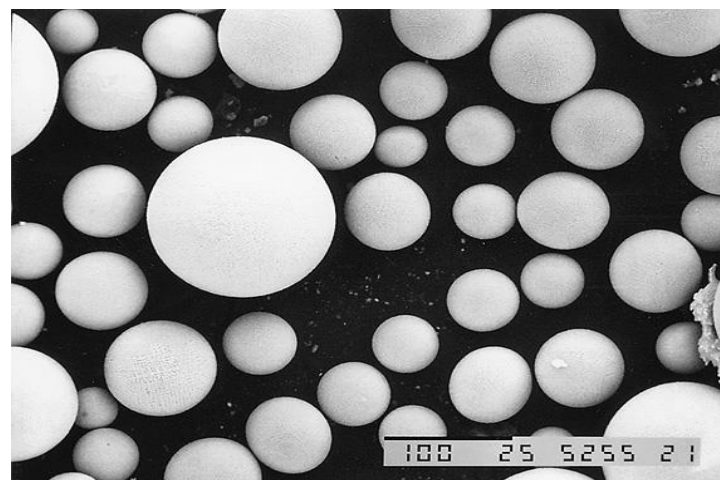




## شکل های مختلف گرد فلزات

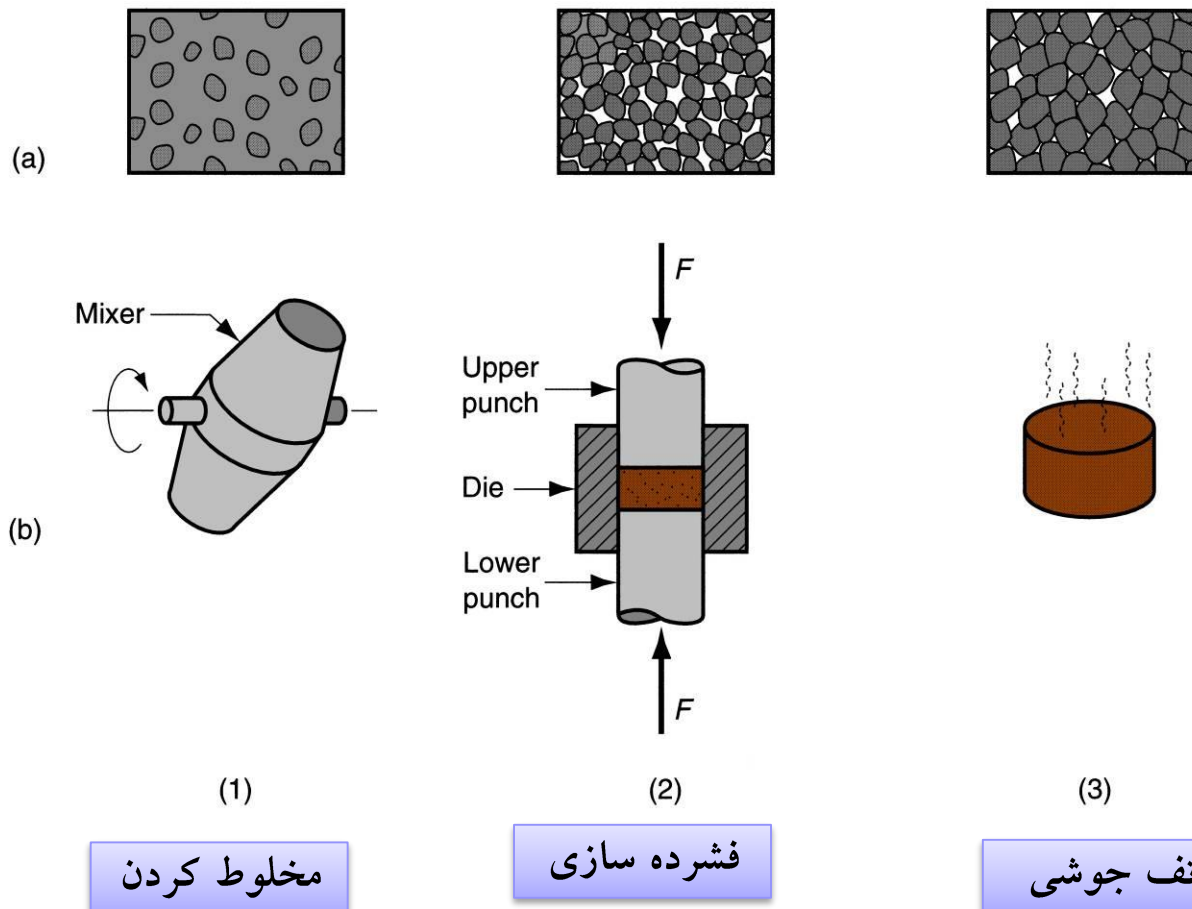


گرد آهن تولید شده به روش اتمیزه کردن مذاب



گرد سوپر آلیاژ پایه نیکل تولید شده به روش گریز از مرکز

# مراحل مختلف روش گرد فلزکاری

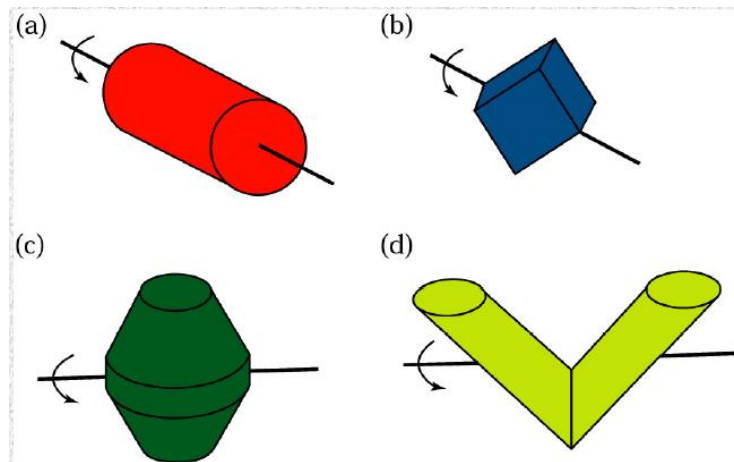


## مراحل مختلف روش گرد فلزکاری-مخلوط کردن

❑ برای یکنواخت سازی گردهای مختلف مورد استفاده برای گردکاری یک آلیاژ از مخلوط کردن استفاده می شود.

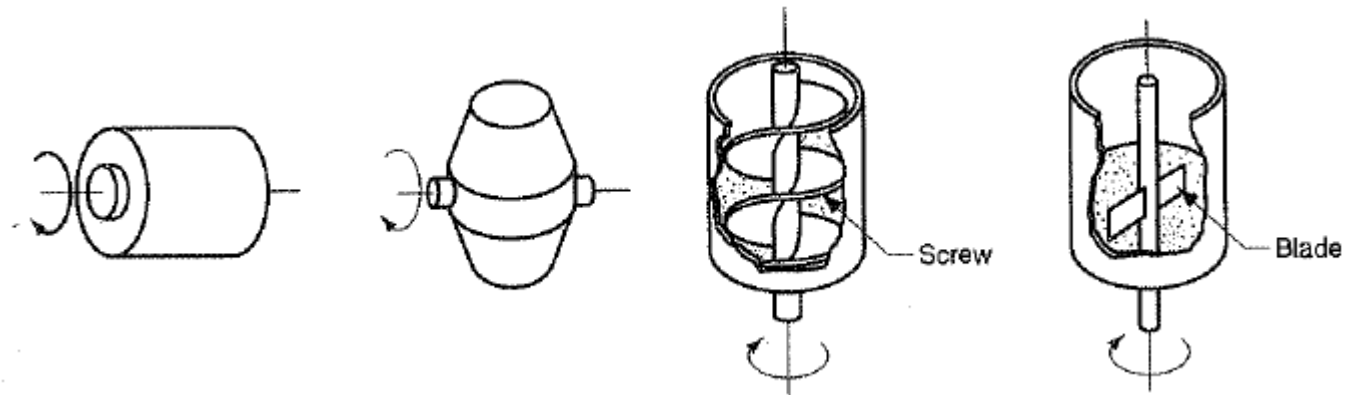
❑ از روانکار برای کاهش اصطکاک بین ذرات گرد و جریان یافتن بهتر آن ها استفاده می شود.

❑ اختلاط گردها ممکن است در هوا، خلاء (برای جلوگیری از اکسید شدن) و یا در سیال که به عنوان روانکار هم عمل می کند، انجام شود.



انواع روش های اختلاط

## مراحل مختلف روش گرد فلزکاری-مخلوط کردن



انواع مخلوط کن

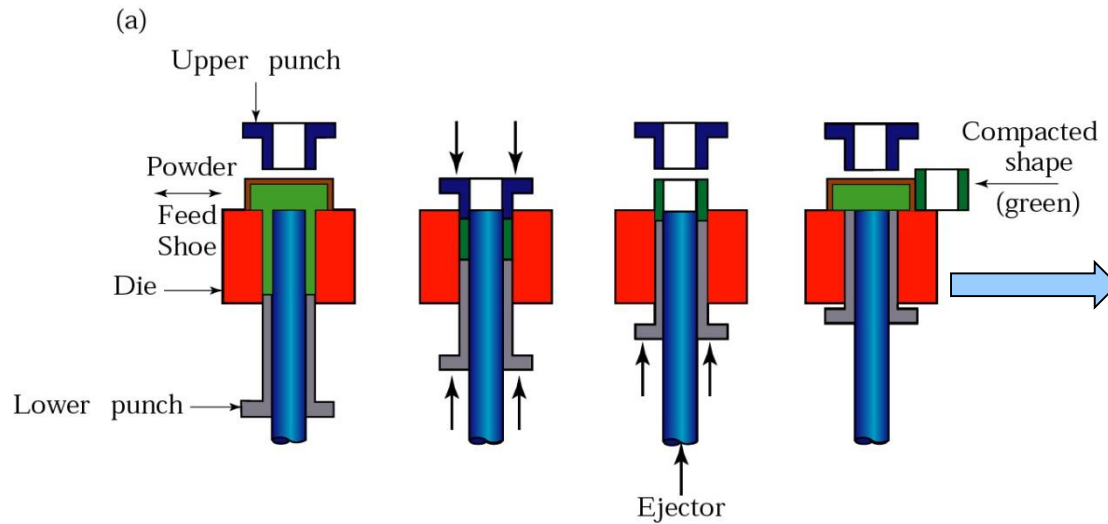
## مراحل مختلف روش گرد فلزکاری-فشرده سازی

❑ در مرحله فشرده سازی به گرد فلز فشار زیاد اعمال می شود تا به شکل دلخواه درآید.

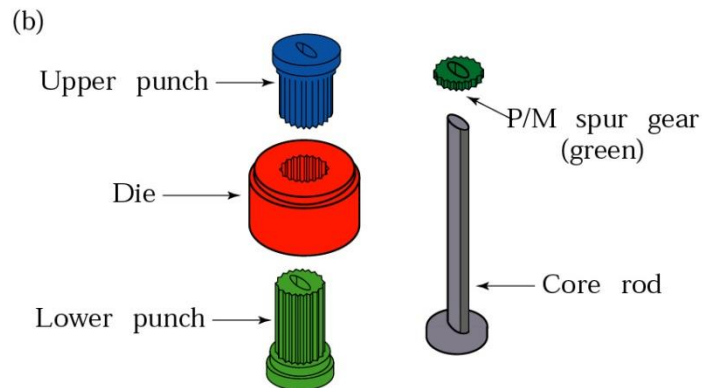
❑ روش سنتی اعمال فشار است که با استفاده از نیروی اعمالی به یک (Single Action) یا دو (Double Action) نیمه قالب تامین می شود.

❑ به قطعه به دست آمده از این مرحله فشرده خام (Green Compact) گفته می شود چون فرایند شکل دهی آن هنوز کامل نشده.

## مراحل مختلف روش گرد فلزکاری-فشرده سازی

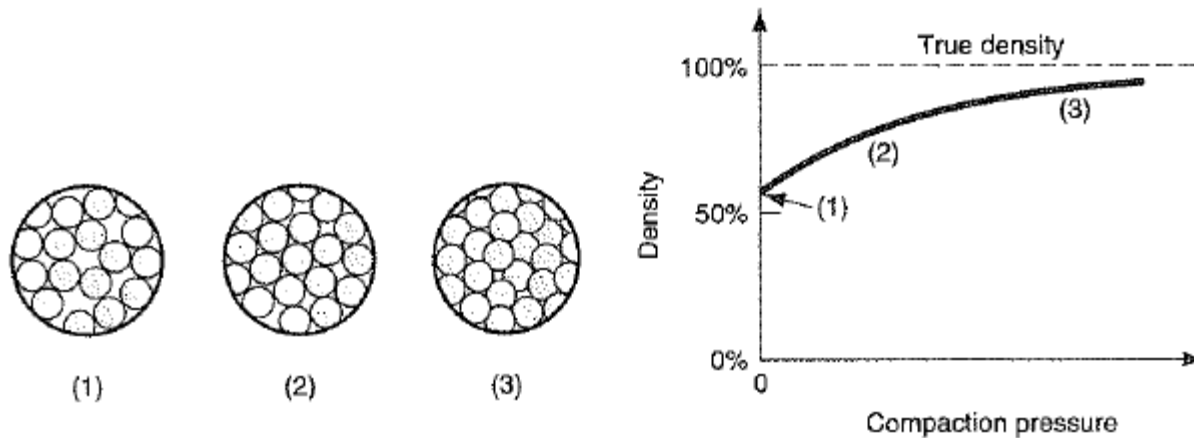


مراحل فشرده سازی



اجزای قالب فشرده سازی

## مراحل مختلف روش گرد فلزکاری-فشرده سازی



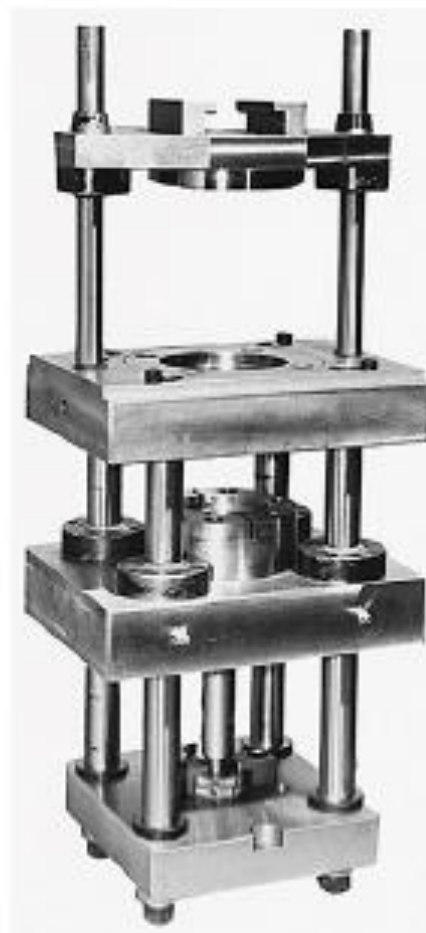
تغییرات چگالی در حین فشرده سازی

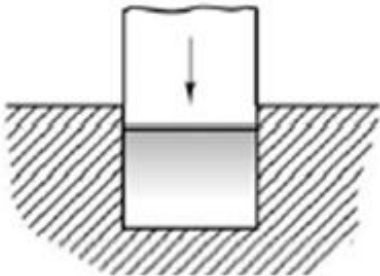
## فشار معمول مورد استفاده برای فشرده سازی

TABLE 17.2

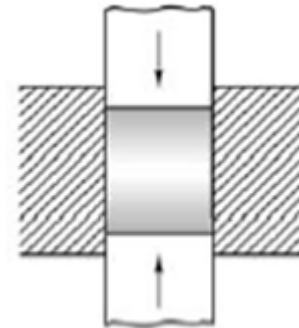
| <b>Metal</b>           | <b>Pressure<br/>(MPa)</b> |
|------------------------|---------------------------|
| Aluminum               | 70–275                    |
| Brass                  | 400–700                   |
| Bronze                 | 200–275                   |
| Iron                   | 350–800                   |
| Tantalum               | 70–140                    |
| Tungsten               | 70–140                    |
| <b>Other materials</b> |                           |
| Aluminum oxide         | 110–140                   |
| Carbon                 | 140–165                   |
| Cemented carbides      | 140–400                   |
| Ferrites               | 110–165                   |



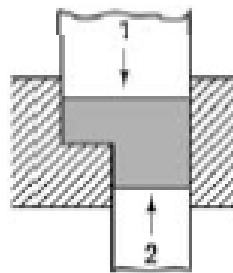




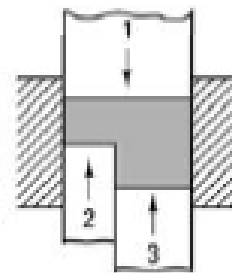
توزیع چگالی به دست آمده از روش یک حرکت یکنواخت نیست و در مناطقی که بیشتر با پرس در تماس است بیشتر است. سایه ها نشان دهنده توزیع چگالی هستند.



توزیع چگالی به دست آمده از روش دو حرکت یکنواخت تر است.



Single lower punch



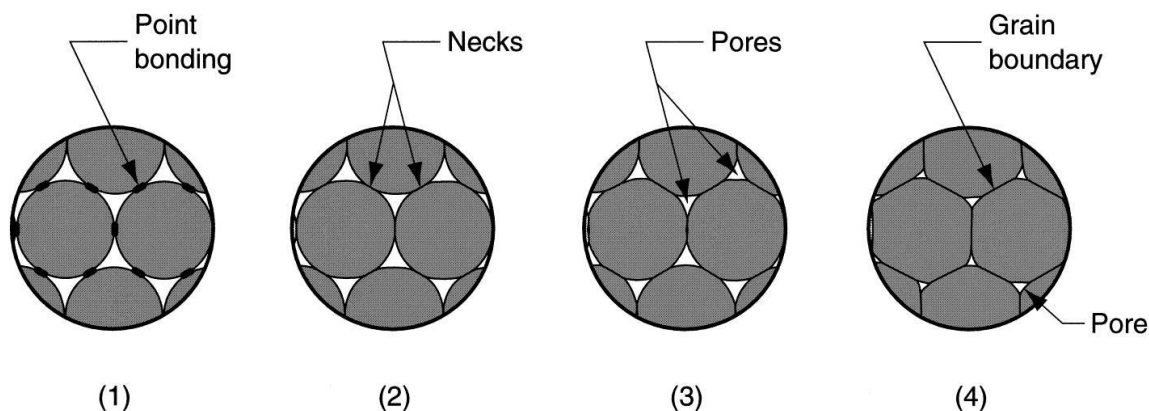
Double lower punch

## مراحل مختلف روش گرد فلزکاری-تف جوشی

□ قطعه به دست آمده از مرحله فشرده سازی شکننده است و با نیروی کمی خرد می شود. در این مرحله از حرارت برای چسباندن گردها و افزایش استحکام قطعه نهایی استفاده می شود.

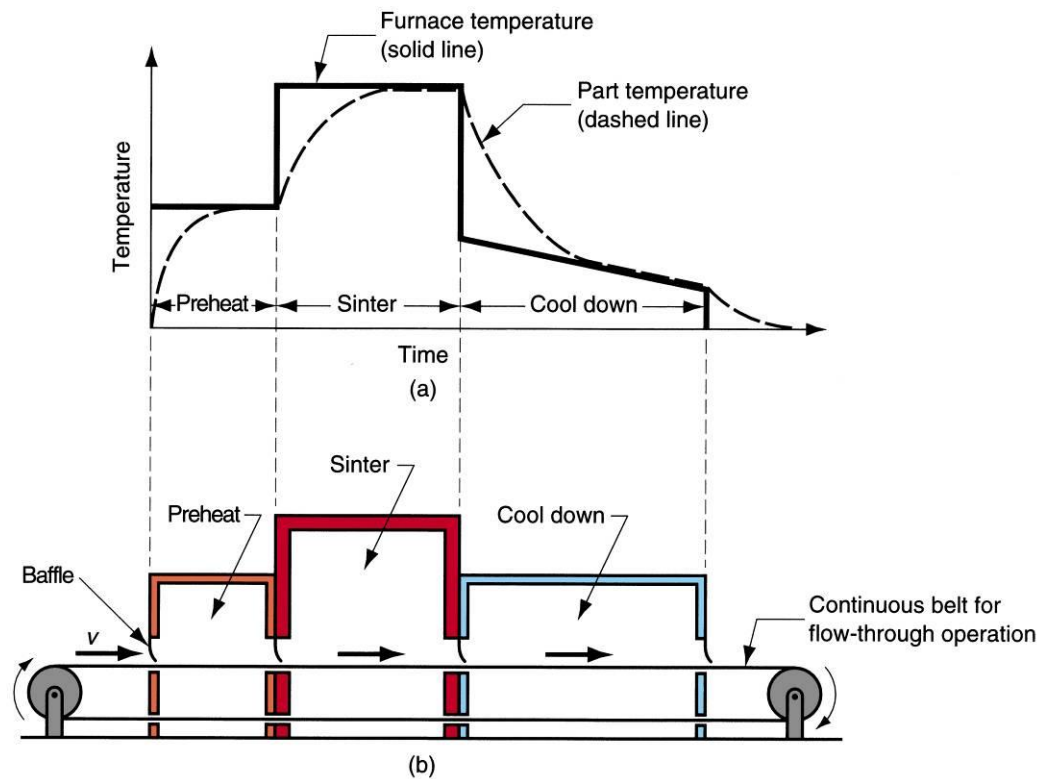
□ این مرحله در دمایی بین 0.7 تا 0.9 دمای ذوب فلز انجام می شود.

□ نیروی محرکه این فرایند از انرژی سطح ذرات تامین می شود. در اثر حرارت و ایجاد پیوندها، سطح مقطع ذرات کاهش پیدا می کند.

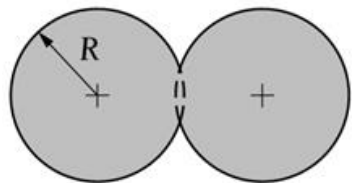
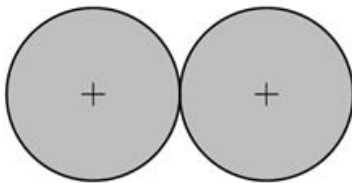


## مراحل مختلف روش گرد فلزکاری-تف جوشی

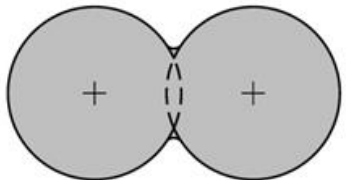
مرحله پیش گرم برای سوزاندن و خارج کردن روانکارها و چسب های موجود درقطعه انجام می شود.



(a)

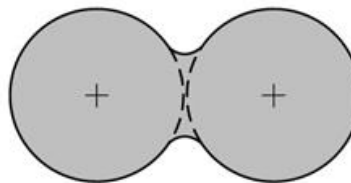
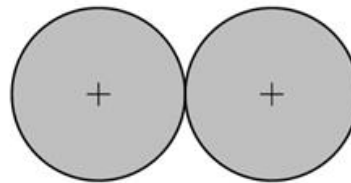


Neck formation  
by diffusion

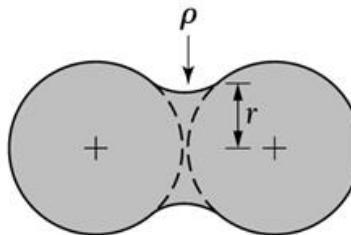


Distance between  
particle centers  
decreased, particles  
bonded

(b)



Neck formation  
by liquid phase  
material transport



Particles bonded,  
no shrinkage (center  
distances constant)

□ در این روش گردها در قالب گرافیتی قرار می گیرند و در معرض انرژی الکتریکی قرار گرفته، فشرده می شوند. استفاده از این روش در اثر اعمال انرژی ناخالصی ها و پوشش های اکسیدی از بین می روند و اتصال مناسبی بین ذرات در دماهای زیاد برقرار می شود.

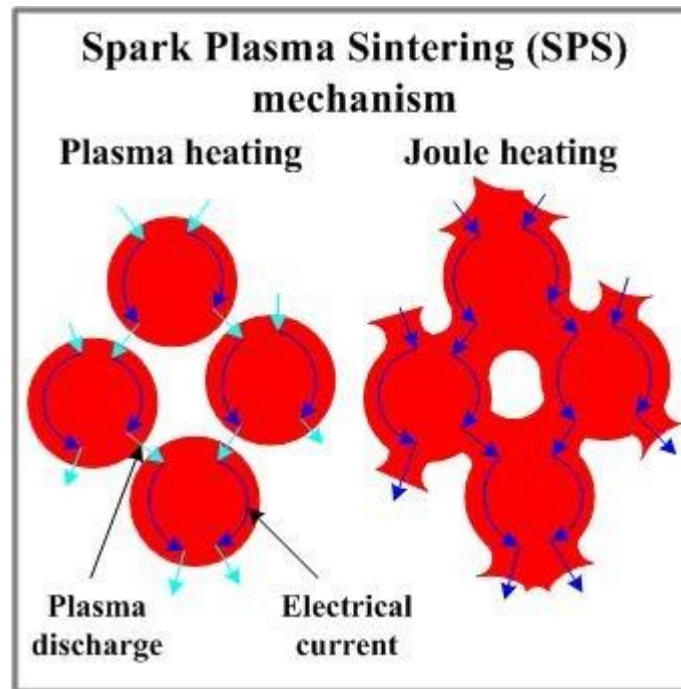
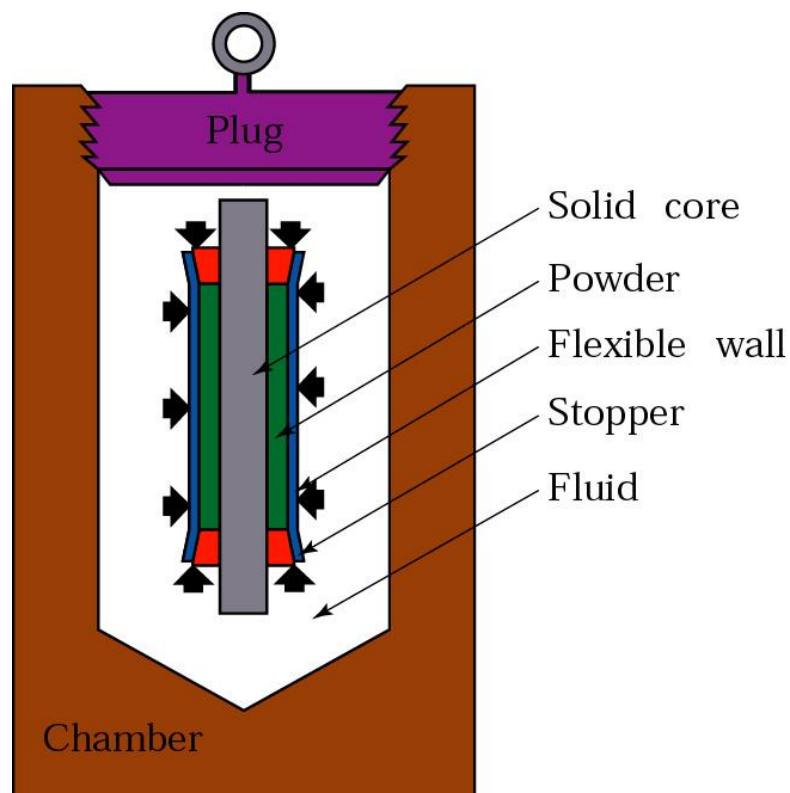


TABLE 11.4

| <i>Material</i>                                  | <i>Temperature<br/>(° C)</i> | <i>Time<br/>(Min)</i> |
|--------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| <i>Copper, brass, and bronze</i>                 | <i>760–900</i>               | <i>10–45</i>          |
| <i>Iron and iron-graphite</i>                    | <i>1000–1150</i>             | <i>8–45</i>           |
| <i>Nickel</i>                                    | <i>1000–1150</i>             | <i>30–45</i>          |
| <i>Stainless steels</i>                          | <i>1100–1290</i>             | <i>30–60</i>          |
| <i>Alnico alloys<br/>(for permanent magnets)</i> | <i>1200–1300</i>             | <i>120–150</i>        |
| <i>Ferrites</i>                                  | <i>1200–1500</i>             | <i>10–600</i>         |
| <i>Tungsten carbide</i>                          | <i>1430–1500</i>             | <i>20–30</i>          |
| <i>Molybdenum</i>                                | <i>2050</i>                  | <i>120</i>            |
| <i>Tungsten</i>                                  | <i>2350</i>                  | <i>480</i>            |
| <i>Tantalum</i>                                  | <i>2400</i>                  | <i>480</i>            |

## فناوری های نوین گردکاری-فشرده سازی هم فشار سرد



□ در این فرایند گرد فلز در قالبی از جنس لاستیک قرار می گیرد. سیال معمولاً آب در اطراف این قالب انعطاف پذیر ایجاد فشار می کند.

□ فشار ایجاد شده برابر 4000 تا 10000 اتمسفر می باشد.

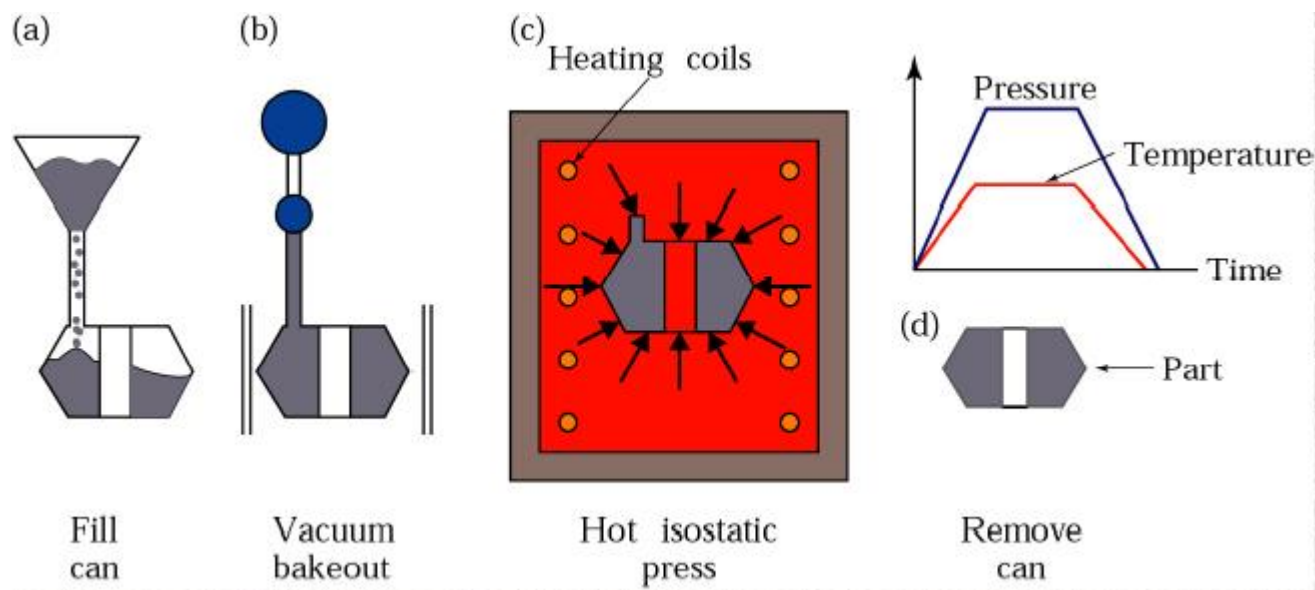
□ مزیت این فرآیند این است که فشار عمود بر سطح وارد می شود و فشار وارد شده در تمام نقاط قطعه کار یکسان است.



## فناوری های نوین گردکاری-فشرده سازی هم فشار گرم

□ در این فرایند قالب ورقه ای از جنسی با دمای ذوب زیاد می باشد. فشار از طریق گاز بی اثر (معمولا آرگون) یا سیال (شیشه ای شکل) اعمال می شود.

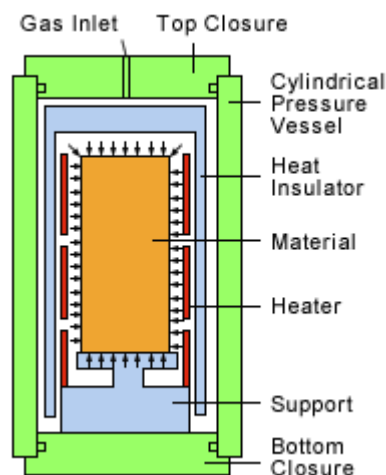
□ فشار و دمای معمول کاری 1000 اتمسفر و 1100 درجه سانتی گراد می باشند.



## فناوری های نوین گردکاری-فشرده سازی هم فشار گرم

❑ مزیت اصلی این روش، قابلیت ساخت قطعاتی با چگالی 100 درصد، اتصال متالورژیکی خوب بین ذرات گرد و خواص مکانیکی مناسب می باشد.

❑ تجهیزات این روش گران هستند و برای ساخت سوپراآلیاژهای صنعت هواپیمایی از آن استفاده می شود.



ENGINE PARTS / Oil Pump Sprocket, Water Pump Pulley, Impeller etc.



■ ROTORS



TRANSMISSION PARTS / Synchronize Ring, Hub Clutch, Key etc.



## قطعات جاذب شوک

SHOCK ABSORBER PARTS / Piston, Rod Guide, Piston Nut, Valve Stopper, Collar Rod, Bearing, B.V.C etc.



☐ OTHER AUTO PART / Spline hub, Plate, Sprocket, Gear etc.



GEARS

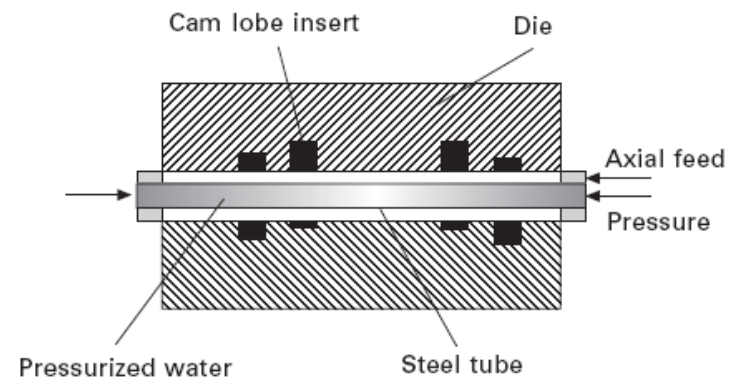




## کاربردها-میل بادامک سرهم بندی شده

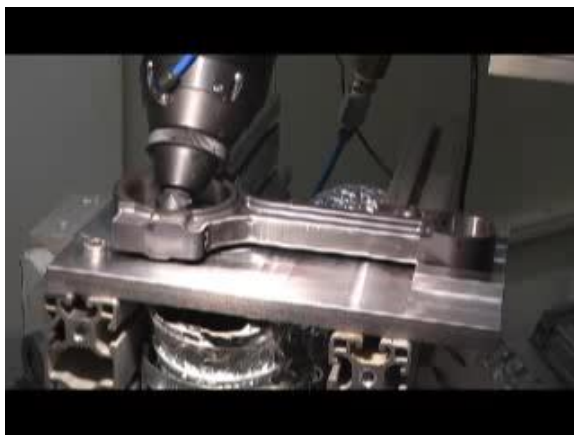
❑ بادامک ها به روش فلزکاری گرد تولید شده و به روش شکل دهی با استفاده از فشار سیال سرهم می شوند.

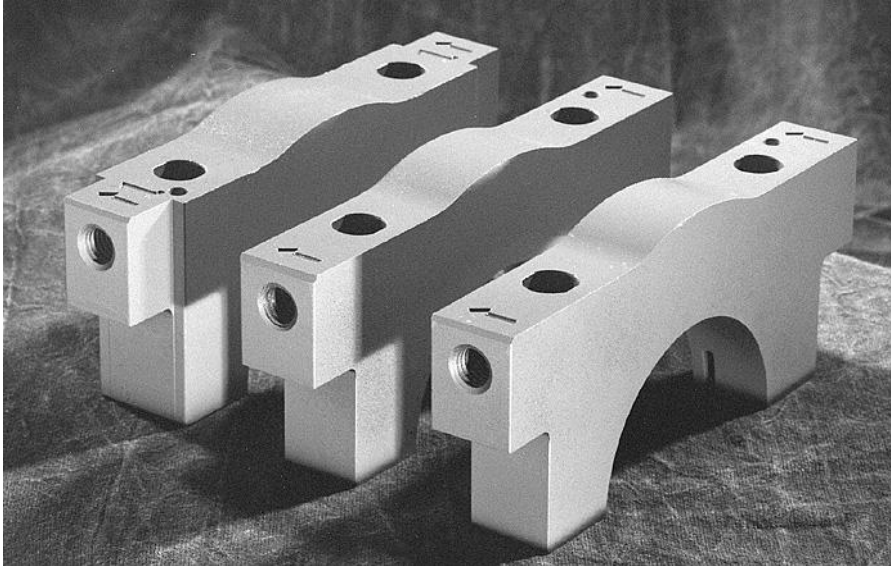
❑ جنس میل بادامک از فولاد کروم مولیدن است.





آهنگری گرد (Powder Forging)





Main-bearing powder metal caps for 3.8 and 3.1 liter General Motors automotive engines



## کاربردها-قطعات سازوکار دریچه





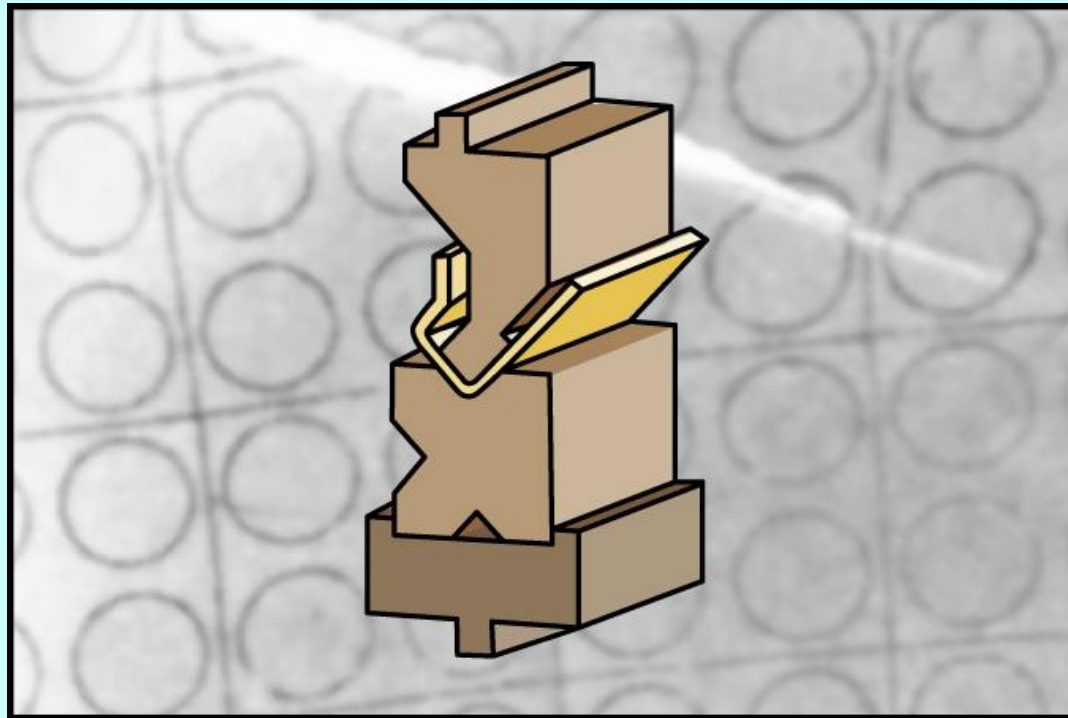
rotor and the housing

**پایان**

به نام خدا

## درس روش های ساخت

جلسه دوازدهم: شکل دهی ورق





## شکل دهی ورق

□ شکل دهی ورق یکی از روش های قدیمی تولید است که قدمت آن به 5000 سال پیش از میلاد برمی گردد.

□ در این روش شکل دهی در دمای محیط انجام می شود.

□ برای ورق ضخامت های 0.4 تا 6 میلی متر مورد استفاده قرار می گیرند.



# مزایای شکل دهی ورق

□ استحکام زیاد

□ دقت ابعادی مناسب

□ صافی سطح خوب

□ هزینه کم تولید



## فرآیندهای اصلی شکل دهی ورق

برش

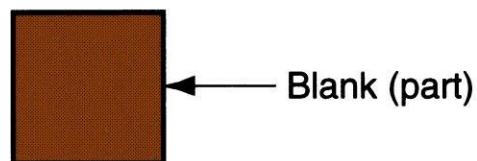
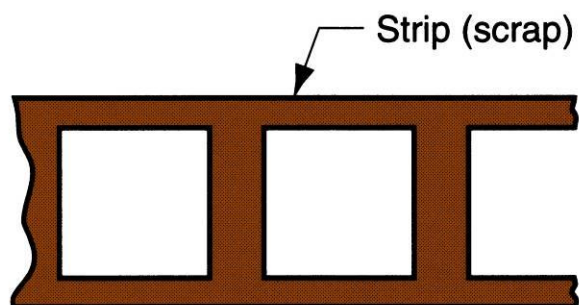
برش ورق های بزرگ به اندازه های مورد نیاز

سوراخکاری در ورق با استفاده از قالب برش (Punching)

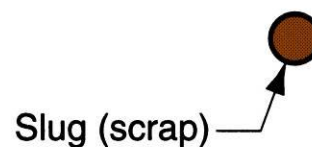
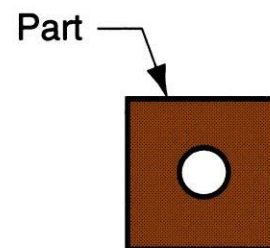
برش پروفیل دلخواه از ورق (Blanking)

خمکاری

کشش



(a)



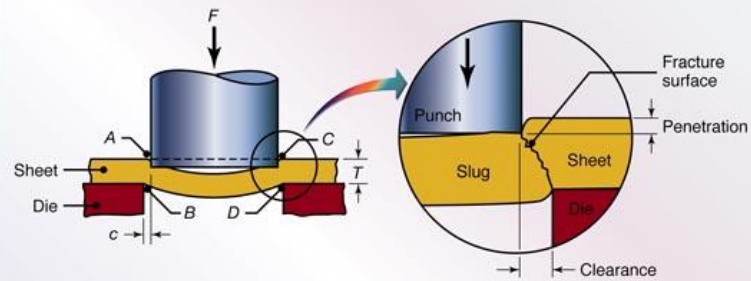
(b)

(a) Blanking and (b) punching

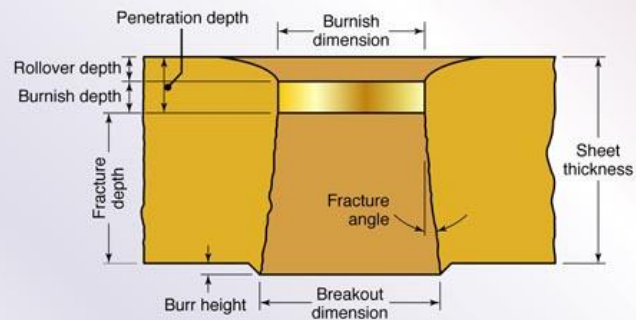
## فرآیندهای اصلی شکل دهی ورق



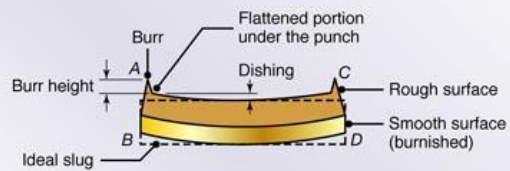
برش اضافه سرریز قالب آهنگری دسته سمبه



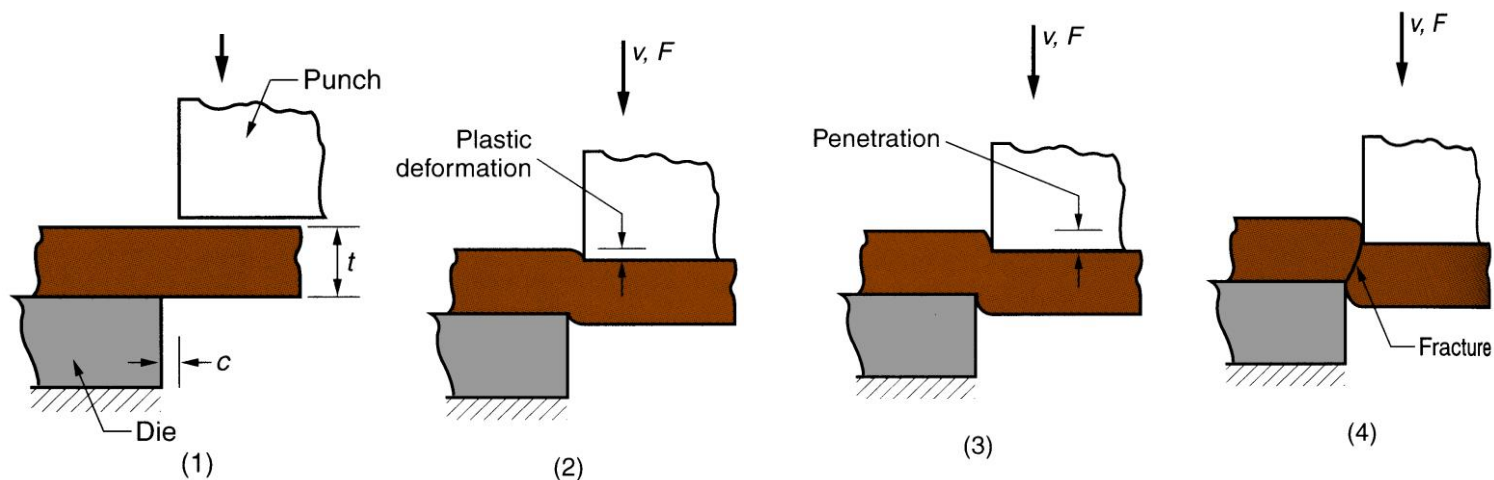
(a)



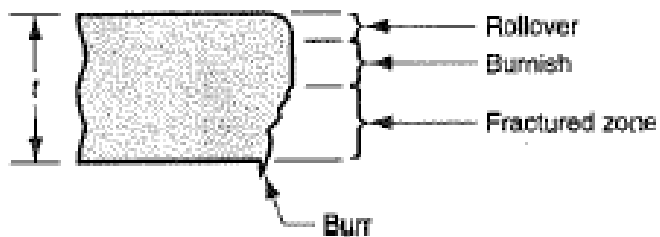
(b)



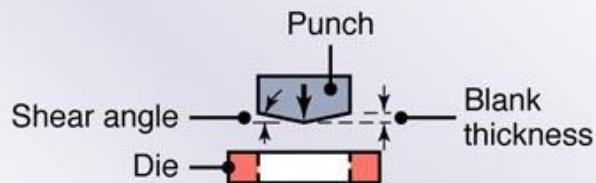
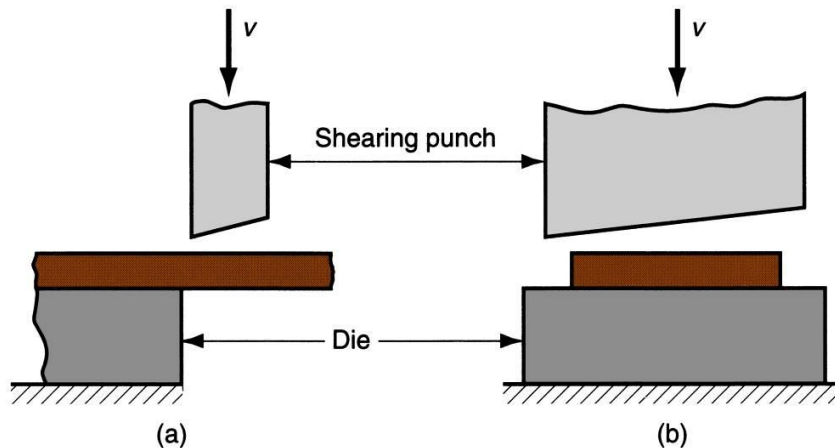
(c)



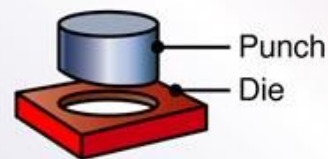
## مراحل برش



معمولا سمبه و ماتریس به صورت زاویه دار ساخته می شوند تا نیروهای برشی کاهش یابد.



(a)



Bevel shear

(b)



Double-bevel shear

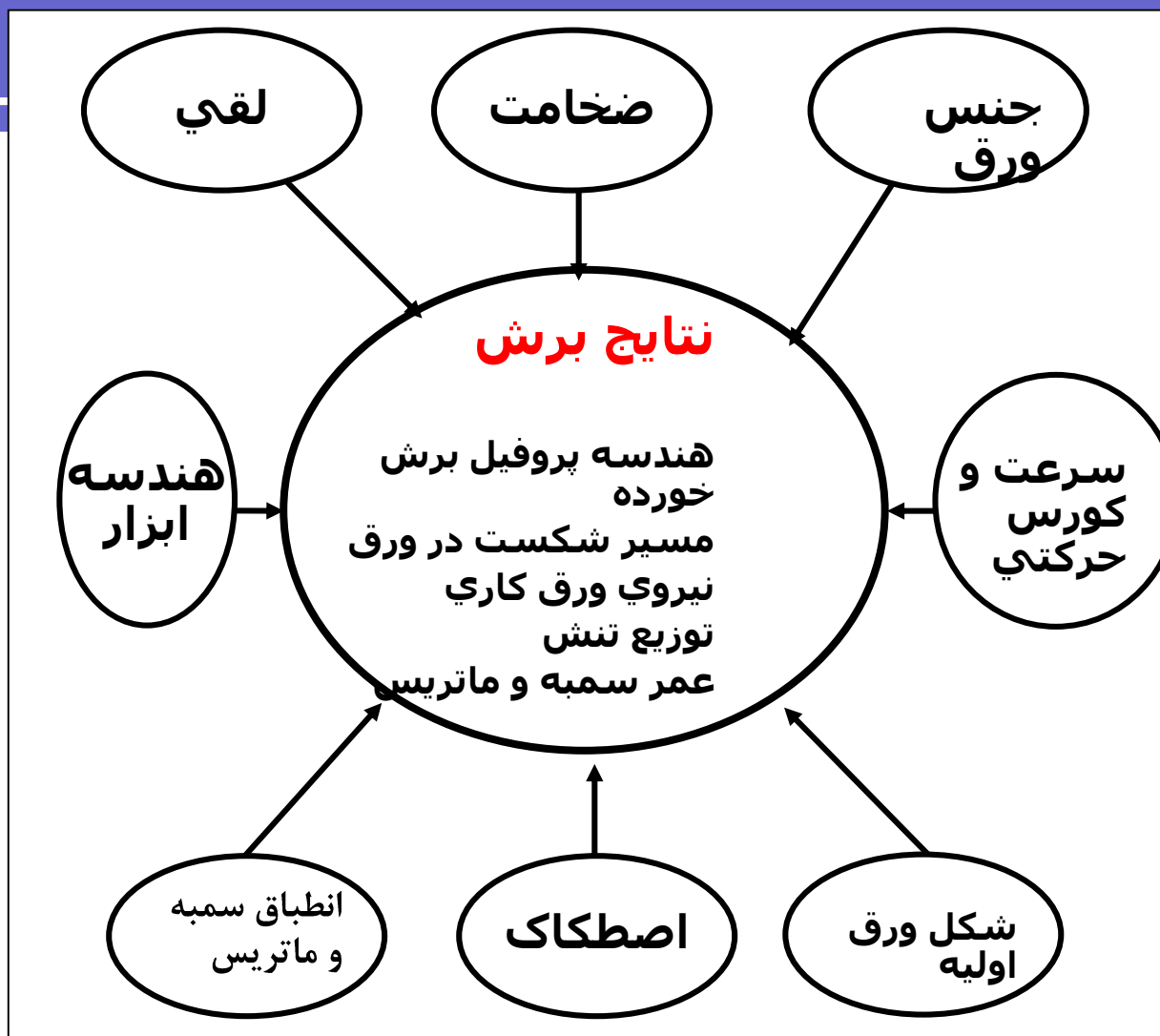
(c)



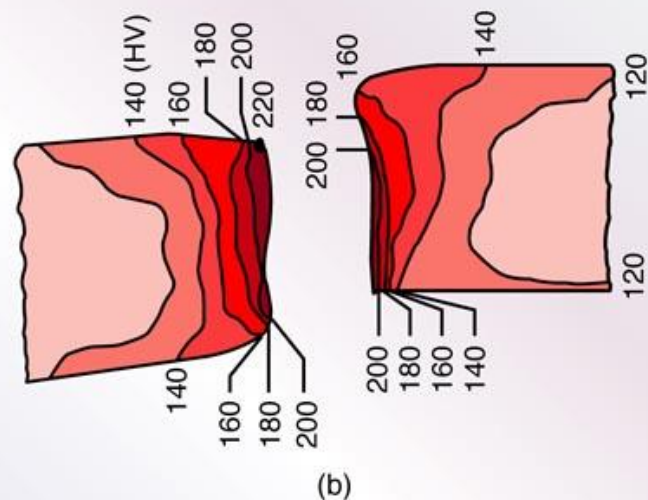
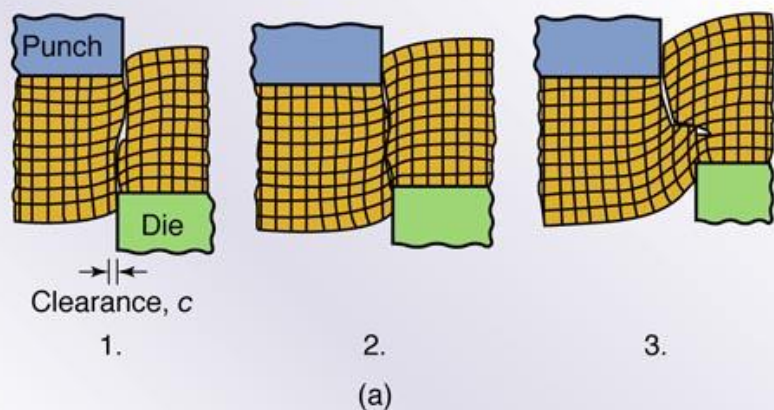
Convex shear

(d)





□ یک متغیر مهم در طراحی قالب های برش لقی است. اختلاف قطر بین سمبه و ماتریس لقی نامیده می شود.  
 □ معمولا لقی 2 تا 10 درصد ضخامت ورق در نظر گرفته می شود.

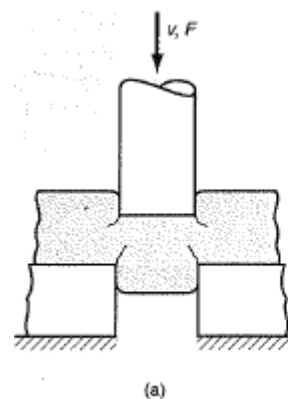


$$c = A_c t$$

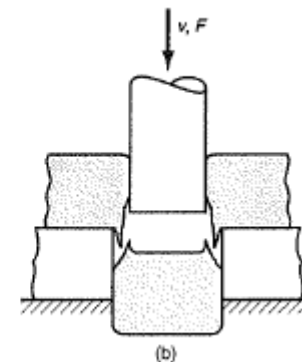
لقی

مقدار مجاز

ضخامت ورق



لقی کم

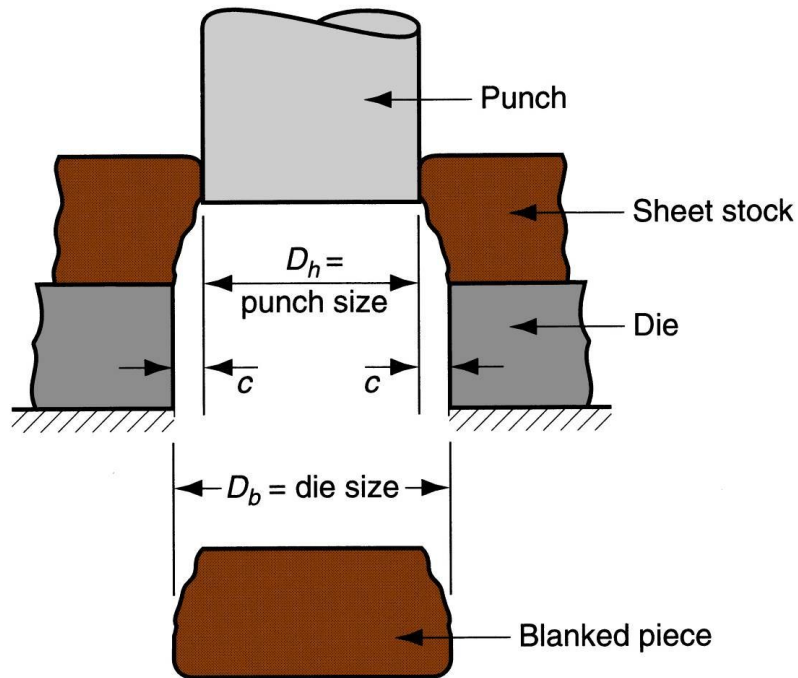


لقی زیاد

TABLE 20.1 Clearance allowance value for three sheet-metal groups.

| Metal Group                                                                                             | $A_c$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1100S and 5052S aluminum alloys, all tempers.                                                           | 0.045 |
| 2024S1 and 6061S1 aluminum alloys; brass, all tempers;<br>soft cold-rolled steel, soft stainless steel. | 0.060 |
| Cold-rolled steel, half hard; stainless steel, half-hard and full-hard.                                 | 0.075 |

□ اندازه سمبه تعیین کننده اندازه سوراخ ایجاد شده در ورق و اندازه ماتریس تعیین کننده اندازه ورق اولیه مورد نیاز هستند.

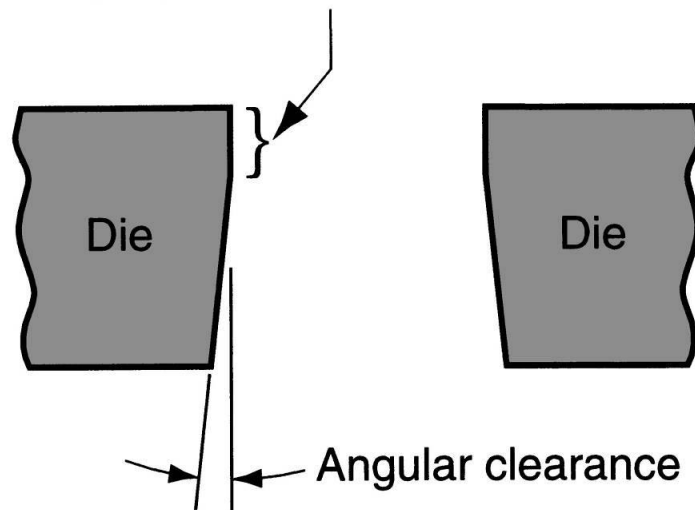


نیروی برش

$$F = 0.7tL(UTS)$$

- برای راحتی جدا شدن قطعه یا دورریز، ماتریس به صورت زاویه دار ساخته می شود.
- مقادیر معمول 0.25 تا 1.5 درجه در هر طرف هستند.

Straight portion (for resharpening)

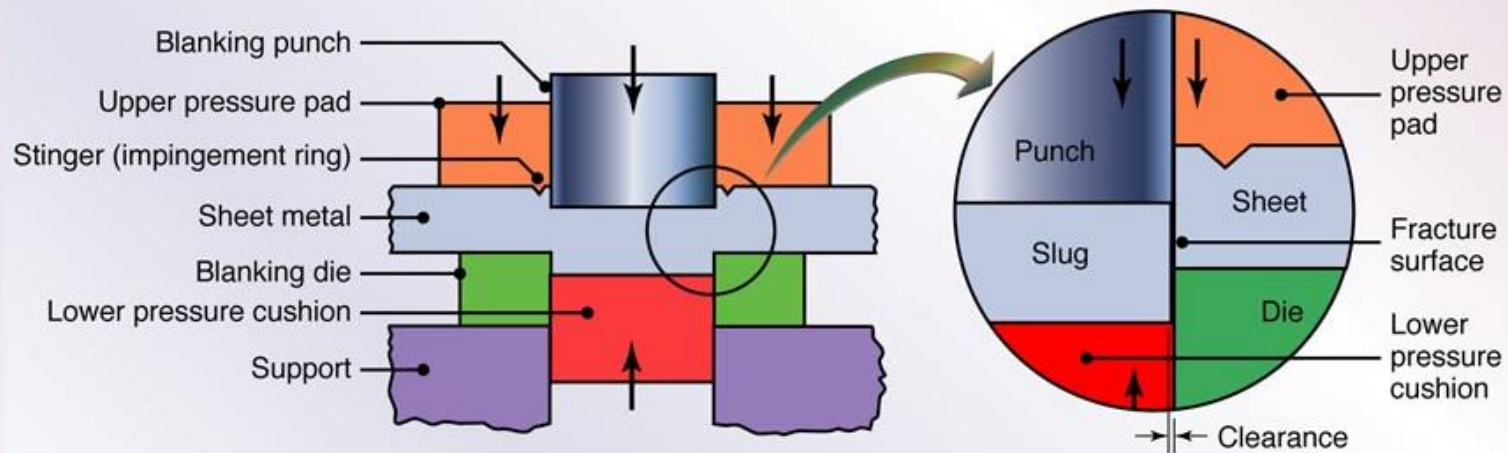


## برش دقیق (Fine Blanking)

- برای برش قطعات با سطوح تخت از این روش استفاده می شود.
- نیروی وارد شده از طرف ورق گیر به ورق از پیچش و تغییر شکل ورق به هنگام برش جلوگیری می کند.
- سمبه با سرعت کمتری نسبت به روش برش معمول حرکت می کند و لقی کمتری بکار می رود تا ابعاد دقیق به دست آیند.

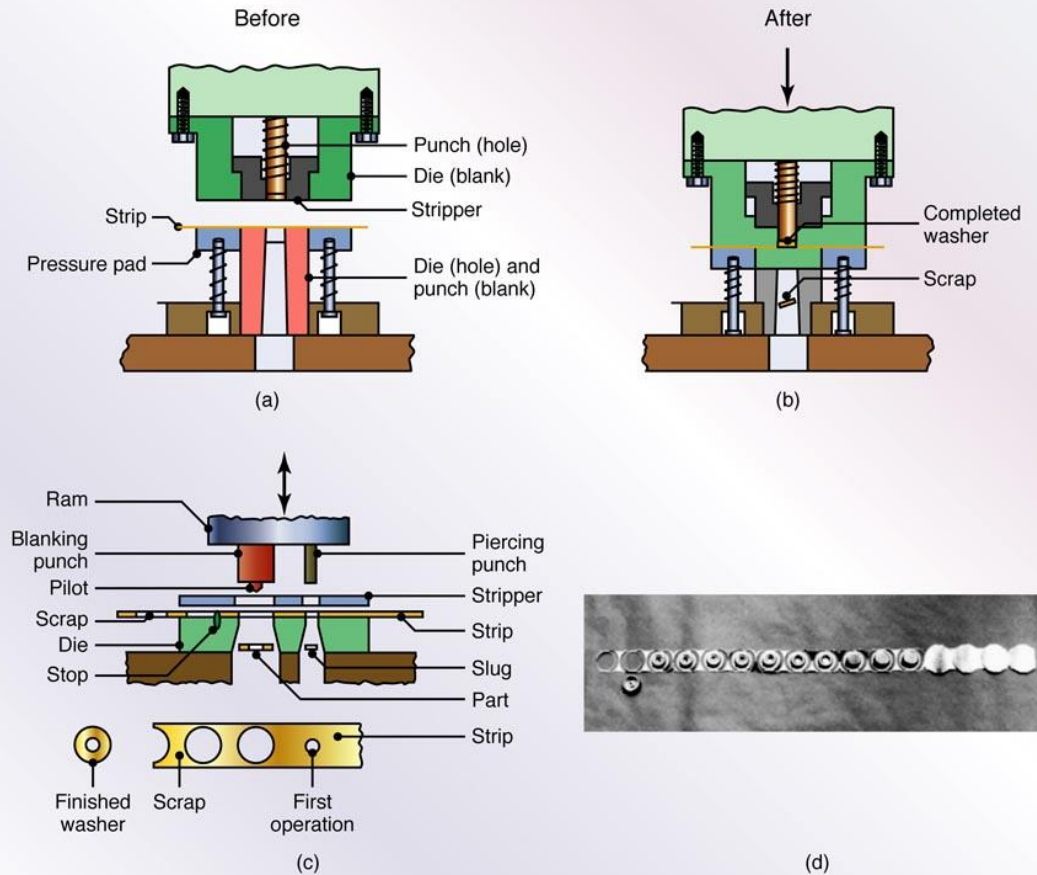


## برش دقیق (Fine Blanking)



(b)

## قالب های چند مرحله ای



## قالب ترکیبی (Compound die)

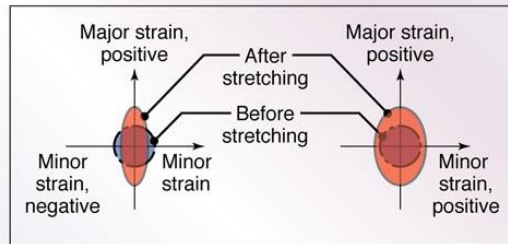
## قالب مرحله ای (Progressive die)



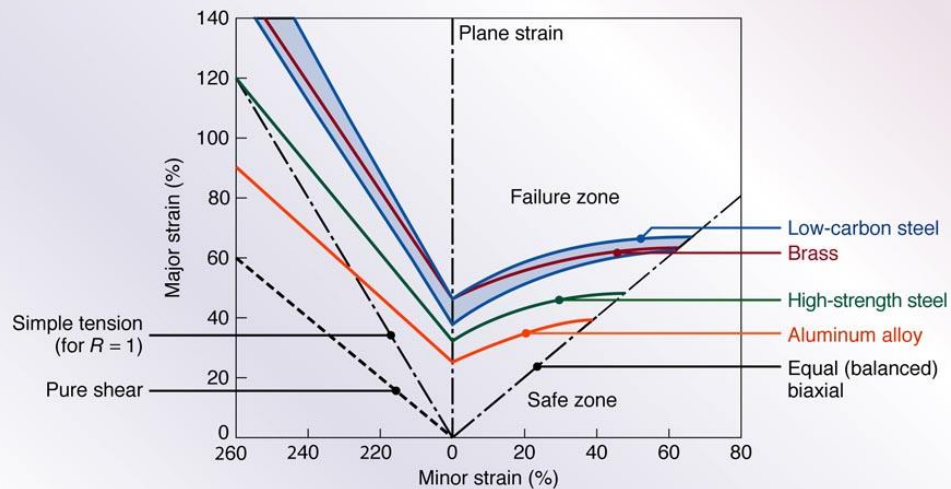
**TABLE 16.2**

**Characteristics of Metals Important in Sheet-Forming Operations**

| Characteristic             | Importance                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elongation                 | Determines the capability of the sheet metal to stretch without necking and failure; high strain-hardening exponent ( $n$ ) and strain-rate sensitivity exponent ( $m$ ) are desirable                                                                                                                                        |
| Yield-point elongation     | Typically observed with mild-steel sheets (also called Lüder's bands or stretcher strains), flamelike depressions on the sheet surface, can be eliminated by temper rolling but sheet must be formed within a certain time after rolling                                                                                      |
| Anisotropy (planar)        | Exhibits different behavior in different planar directions, present in cold-rolled sheets because of preferred orientation or mechanical fibering, causes earing in deep drawing, can be reduced or eliminated by annealing but at lowered strength                                                                           |
| Anisotropy (normal)        | Determines thinning behavior of sheet metals during stretching, important in deep drawing                                                                                                                                                                                                                                     |
| Grain size                 | Determines surface roughness on stretched sheet metal, the coarser the grain—the rougher the appearance (orange peel), also affects material strength.                                                                                                                                                                        |
| Residual stresses          | Typically caused by nonuniform deformation during forming, results in part distortion when sectioned, can lead to stress-corrosion cracking, reduced or eliminated by stress relieving.                                                                                                                                       |
| Springback                 | Due to elastic recovery of the plastically deformed sheet after unloading, causes distortion of part and loss of dimensional accuracy, can be controlled by techniques such as overbending and bottoming of the punch                                                                                                         |
| Wrinkling                  | Caused by compressive stresses in the plane of the sheet, can be objectionable, depending on its extent, can be useful in imparting stiffness to parts by increasing their section modulus, can be controlled by proper tool and die design                                                                                   |
| Quality of sheared edges   | Depends on process used; edges can be rough, not square, and contain cracks, residual stresses, and a work-hardened layer, which are all detrimental to the formability of the sheet; edge quality can be improved by fine blanking, reducing the clearance, shaving, and improvements in tool and die design and lubrication |
| Surface condition of sheet | Depends on sheet rolling practice; important in sheet forming as it can cause tearing and poor surface quality                                                                                                                                                                                                                |



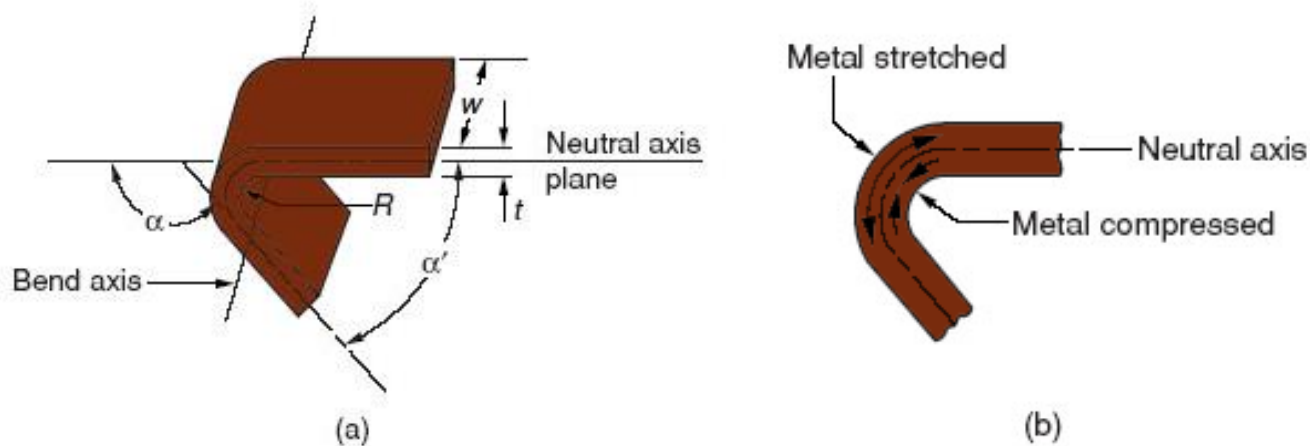
(a)

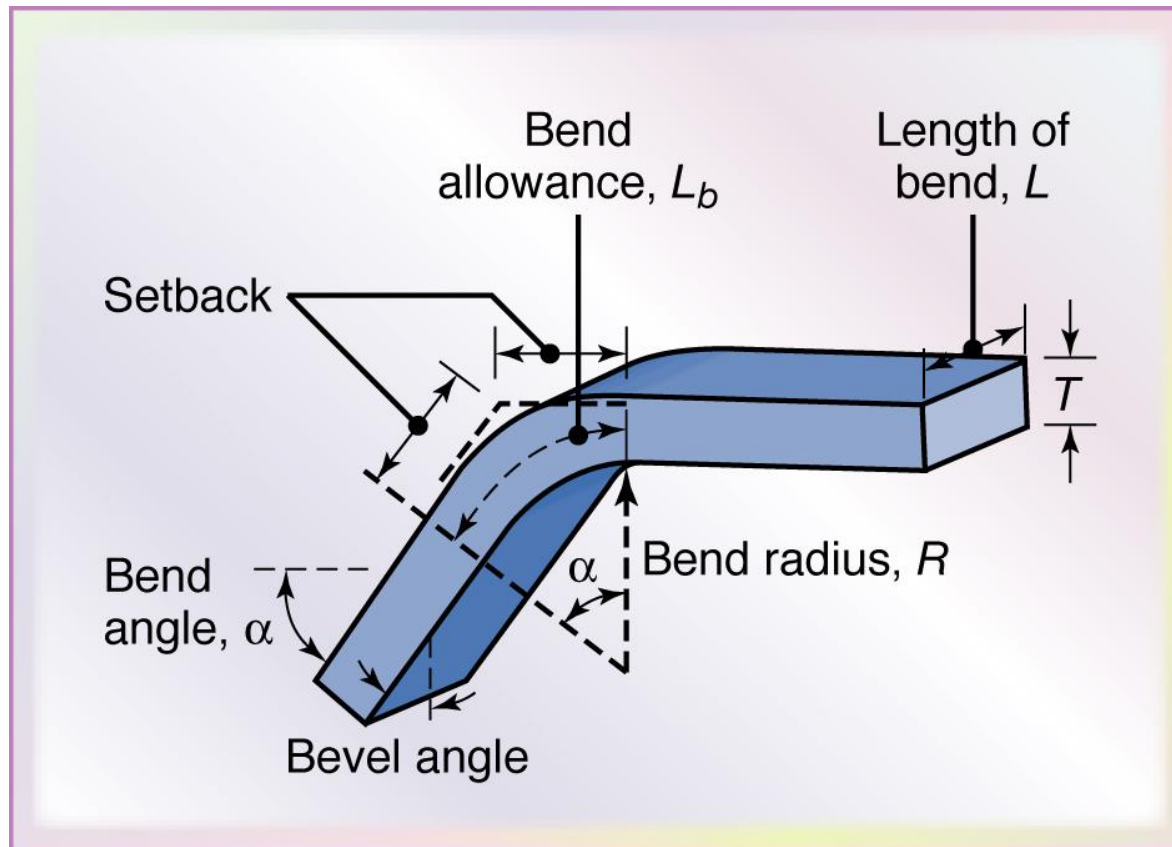


(b)

## نمودار FLD

- خمکاری عبارتست از ایجاد تغییر شکل پلاستیک در ورق با ایجاد یک خم با زاویه مشخص
- در جریان خمکاری فلز بیرون لایه خنثی کشیده شده و فلز داخل لایه خنثی فشرده می شود.

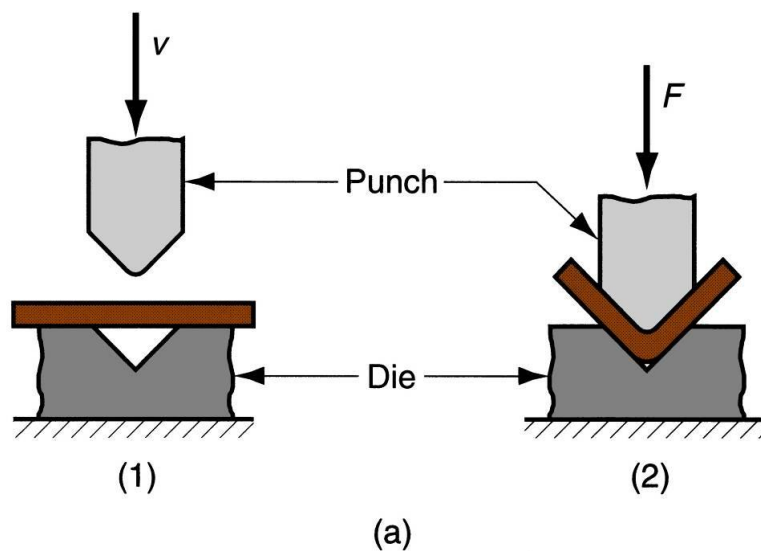




## انواع روش های خمکاری

### خمکاری با قالب V شکل

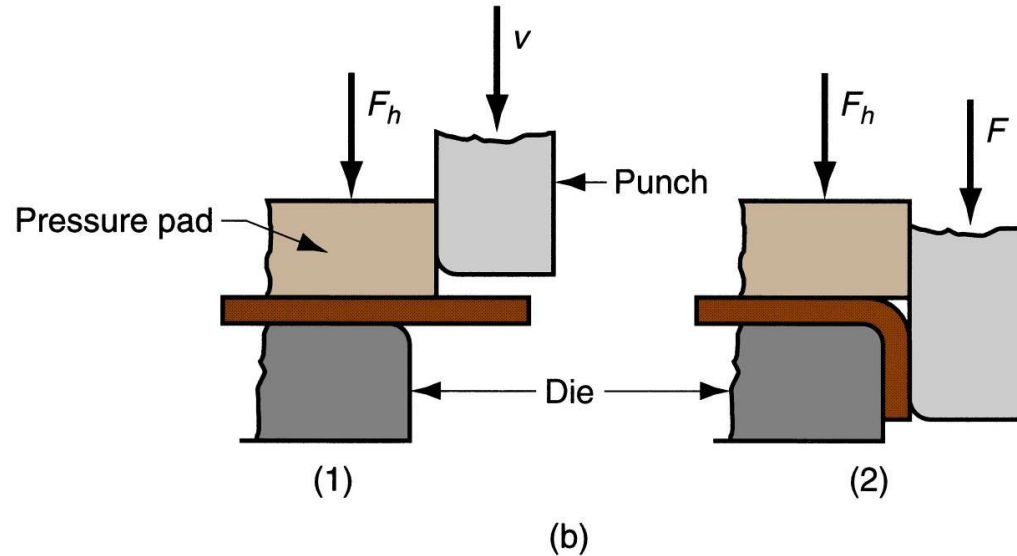
- برای تولید تعداد کم ورق استفاده می شود
- تجهیزات ارزانی دارد
- ورق گیر مورد نیاز نیست.



## انواع روش های خمکاری

### خمکاری لبه ای

- برای تولید تعداد زیاد ورق استفاده می شود
- تجهیزات گرانی دارد
- ورق گیر مورد نیاز است.

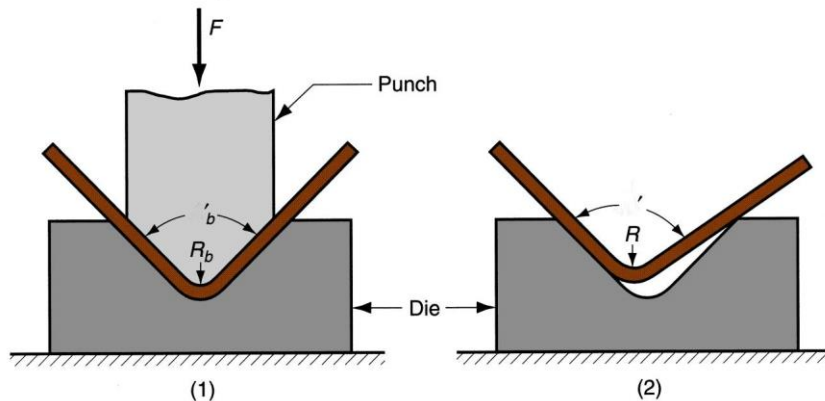


□ برای محاسبه طول ورق اولیه مقداری اضافه طول مورد نیاز است که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$A_b = 2\pi \frac{\alpha}{360} (R + K_{ba}t)$$

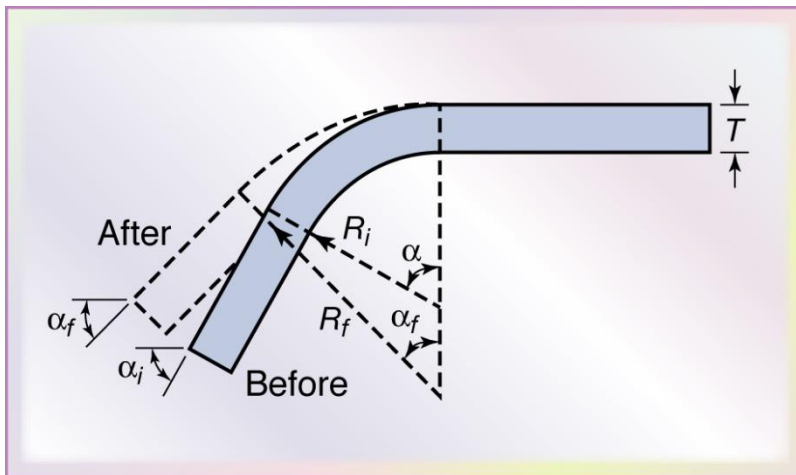
$A_b$  = اضافه طول;  $\alpha$  = زاویه خم;  $R$  = شعاع خم;  $t$  = ضخامت ورق اولیه;  $K_{ba}$  ثابتی است که به صورت زیر تعیین می شود

- If  $R < 2t$ ,  $K_{ba} = 0.33$
- If  $R \geq 2t$ ,  $K_{ba} = 0.50$



□ بر اثر برگشت قسمت هایی از محل خم شده در اثر تغییر شکل الاستیک برگشت فنری بوجود می آید.

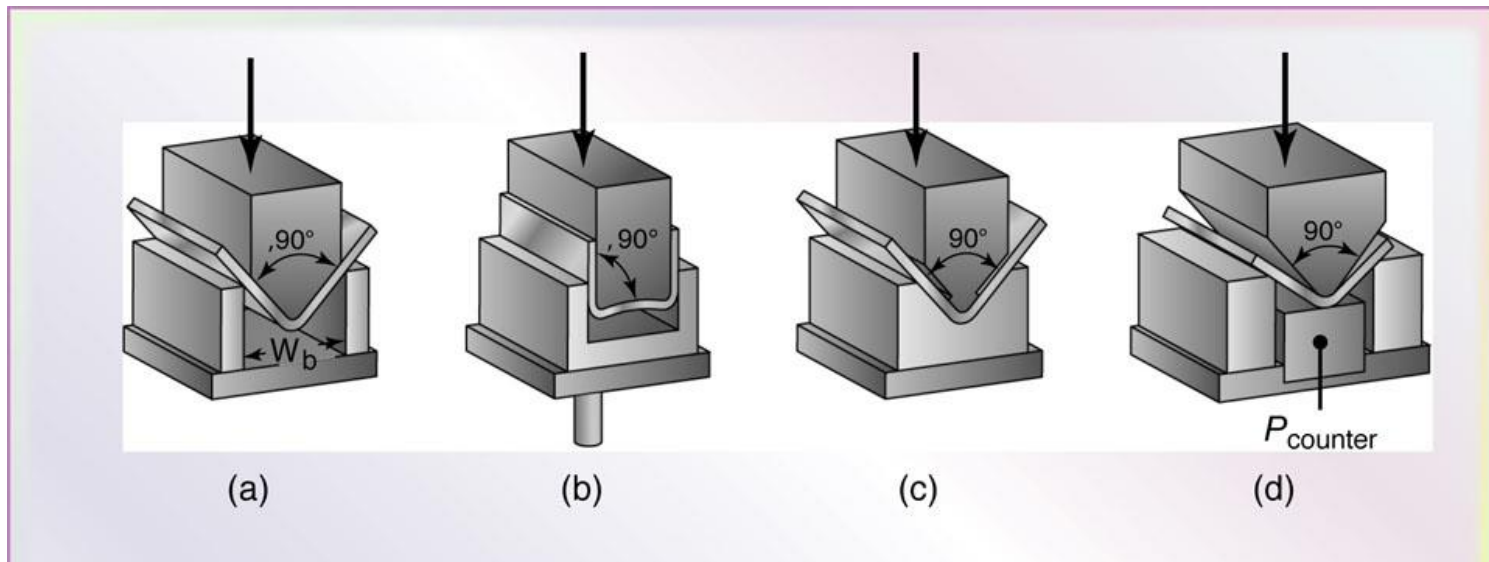
□ برگشت فنری باعث می شود زاویه خم نهایی کوچکتر از زاویه شکل داده شده در قالب شود.



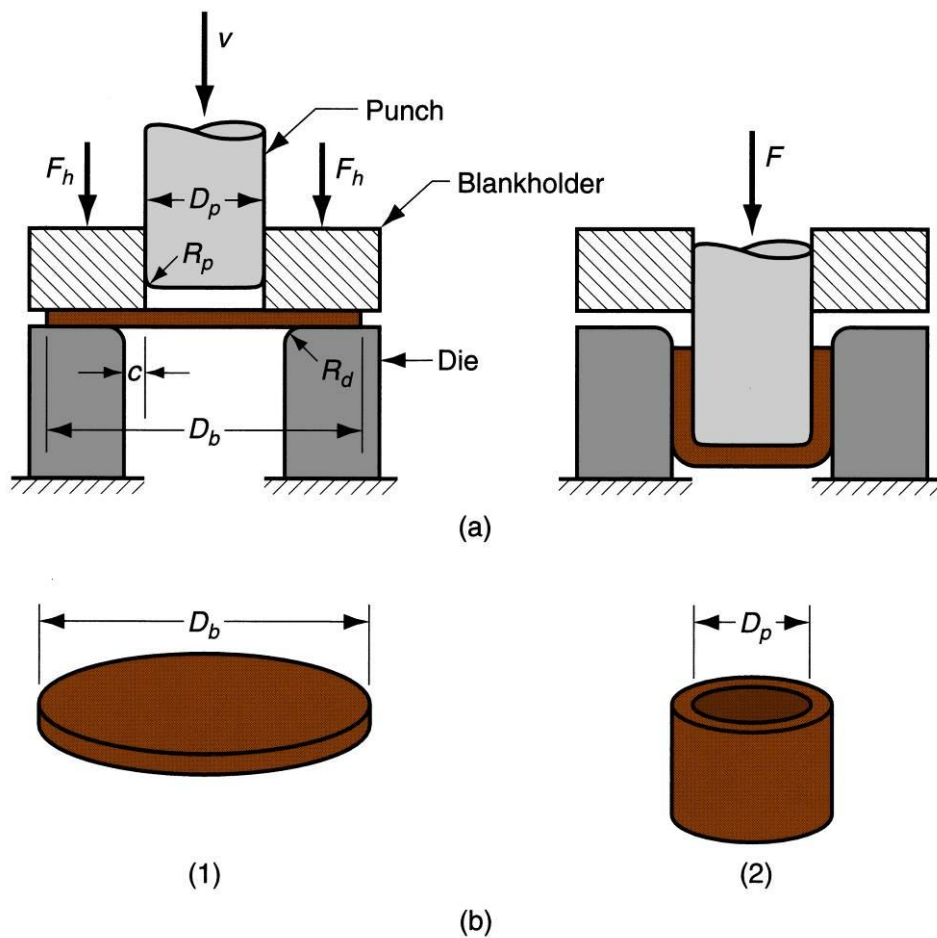
$$\frac{R_i}{R_f} = 4 \left( \frac{R_i Y}{ET} \right)^3 - 3 \left( \frac{R_i Y}{ET} \right) + 1$$



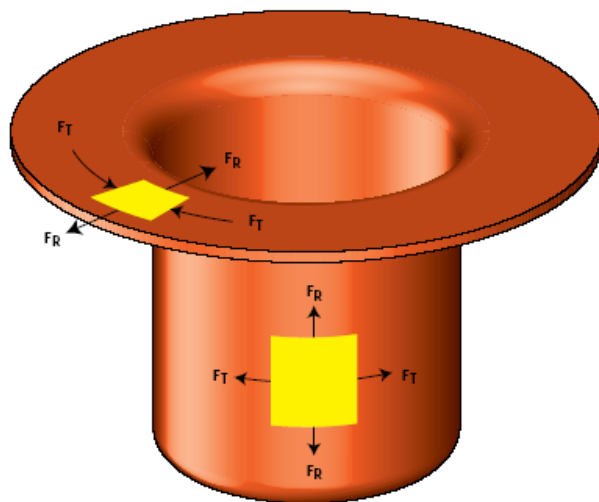
□ a و b: محاسبه برگشت فنری و انتخاب زاویه کمتر از آن  
 □ C و d: اعمال فشار از زیر و کناره های قالب برای افزایش تغییر شکل پلاستیک



□ فرایندی که برای ساخت قطعاتی توخالی (فنجان، جعبه و سایر اشکال پیچیده دیگر) مورد استفاده قرار می گیرد.

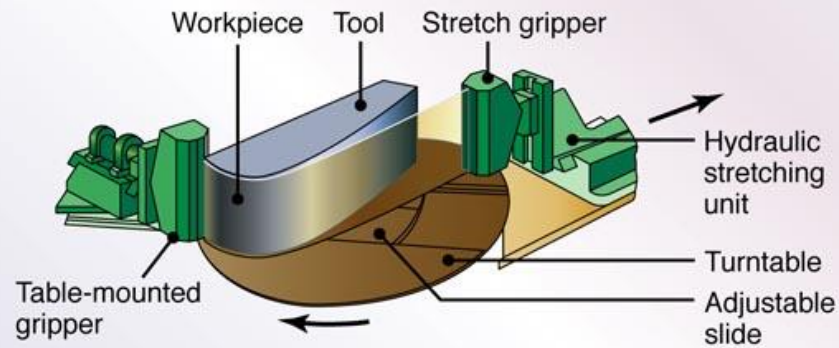


- نیروی ورق گیر از هرگونه چروک خوردگی جلوگیری می کند.
- در این فرایند ضخامت ورق تغییری نمی کند. در فرایند کشش ارتجاعی ضخامت ورق تغییر می کند.
- با تغییر نیروی ورق گیر می توان جریان ماده در فرایند را کنترل نمود.

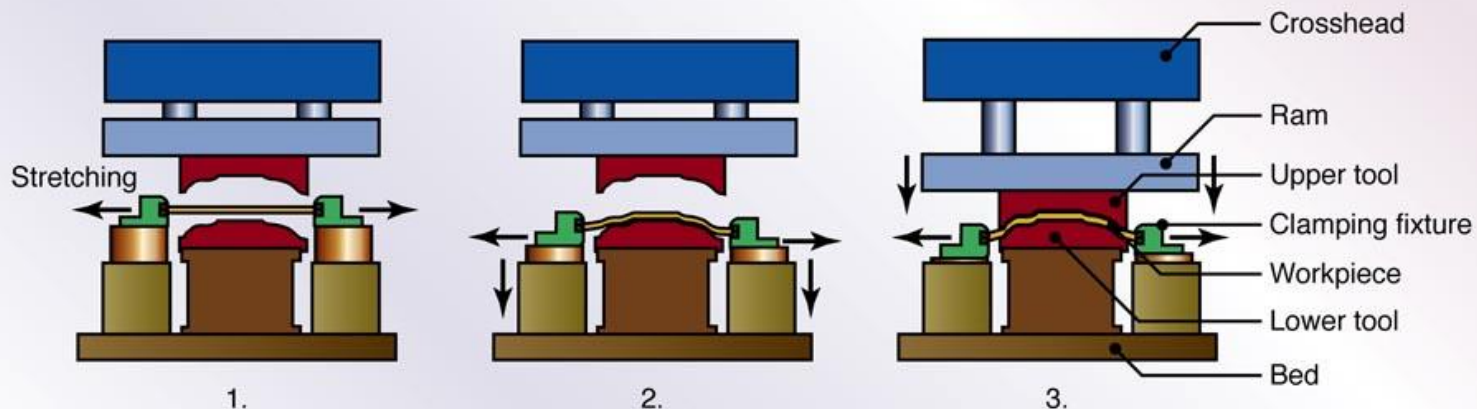


جهت تنش های وارد به ورق در  
حین کشش عمیق

# کشش ارتجاعی (Stretch Drawing)



(a)



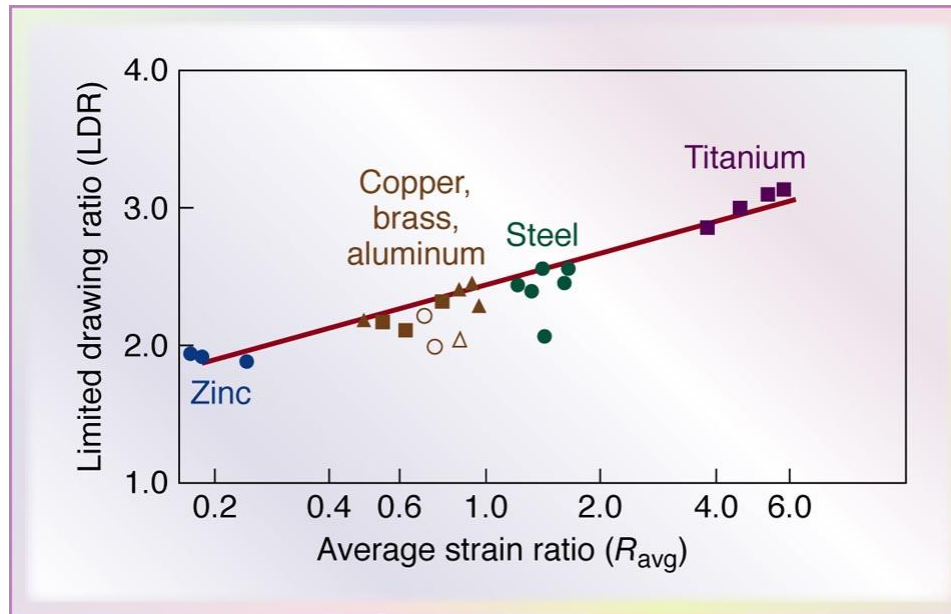
(b)

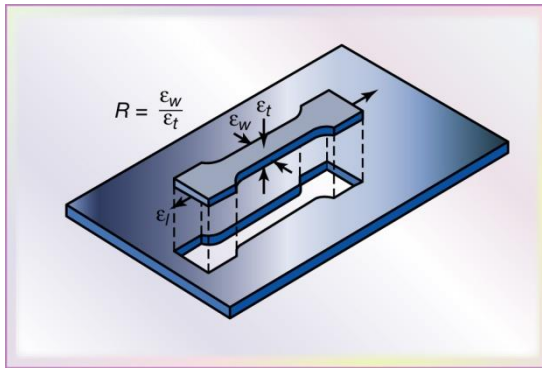
## کشش ارتجاعی (Stretch Drawing)



$$LDR = \frac{\text{Maximum blank diameter}}{\text{Punch diameter}} = \frac{D_o}{D_p}$$

نسبت کشش





$$\text{Normal anisotropy, } R = \frac{\text{Width strain}}{\text{Thickness strain}} = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t}$$

$$\text{Average anisotropy, } R_{avg} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4}$$

TABLE 16.4

**Typical Ranges of Average Normal Anisotropy,  $R_{avg}$ , for Various Sheet Metals**

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| Zinc alloys                        | 0.4–0.6 |
| Hot-rolled steel                   | 0.8–1.0 |
| Cold-rolled, rimmed steel          | 1.0–1.4 |
| Cold-rolled, aluminum-killed steel | 1.4–1.8 |
| Aluminum alloys                    | 0.6–0.8 |
| Copper and brass                   | 0.6–0.9 |
| Titanium alloys ( $\alpha$ )       | 3.0–5.0 |
| Stainless steels                   | 0.9–1.2 |
| High-strength, low-alloy steels    | 0.9–1.2 |

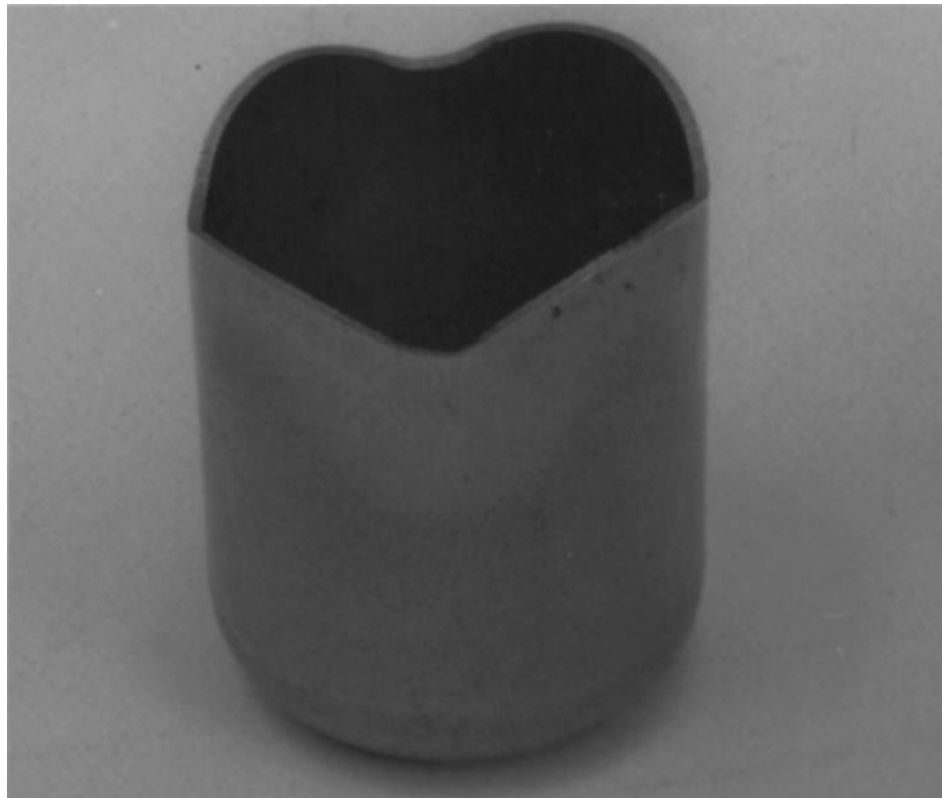


❑ کشش عمیق ممکن است در چند مرحله انجام گیرد. برای نسبت کشش بیشتر از 2 کشش عمیق در بیش از یک مرحله انجام می شود.



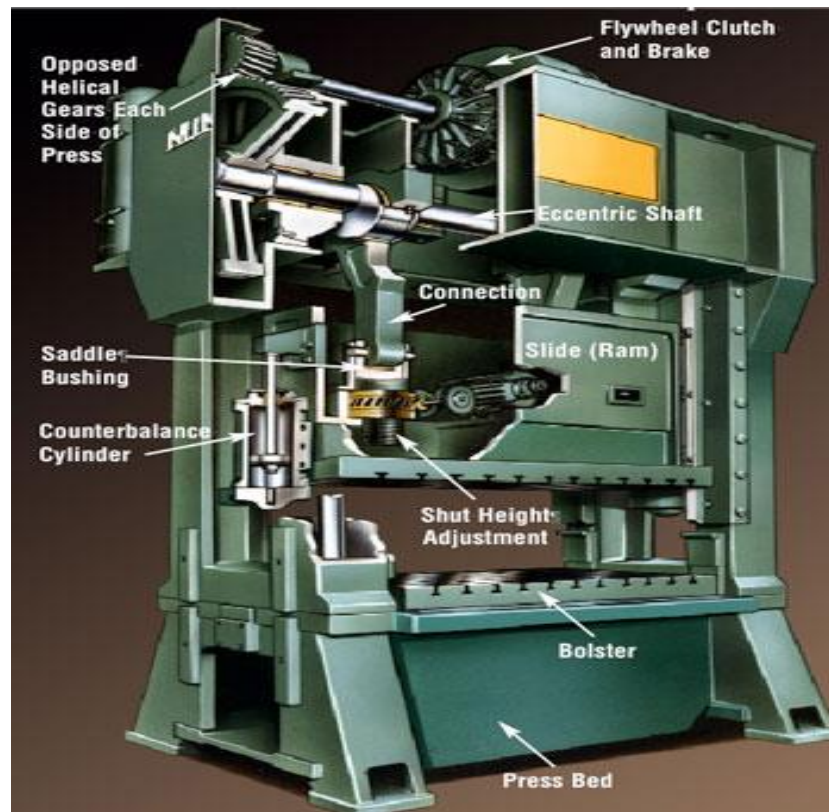


## گوشواره ای شدن در اثر غیر همسانگردی



## پرس های شکل دهی ورق

• **پرس مکانیکی:** این نوع پرس ها در قالب های برش مورد استفاده قرار می گیرند. چرخ طیار در این پرس ها برای ذخیره انرژی مورد استفاده قرار می گیرد. بیشترین انرژی در انتهای کورس اعمال می شود.



## پرس های شکل دهی ورق

• **پرس هیدرولیکی:** این نوع پرس ها برای کشش عمیق مورد استفاده قرار می گیرند طول مسیر بزرگتری نسبت به پرس های مکانیکی دارند. حرکت پرس یکنواخت است و حداکثر نیرو در تمام طی مسیر یکنواخت است.

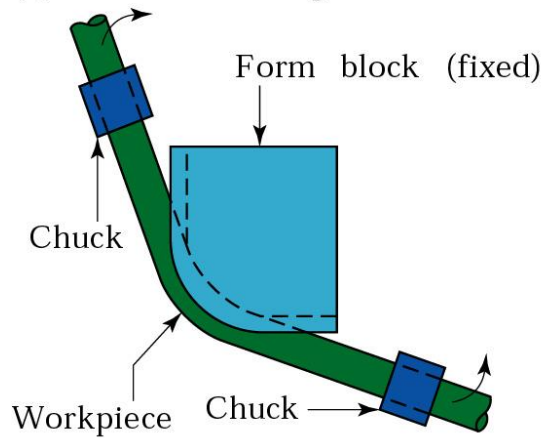


## خمکاری لوله

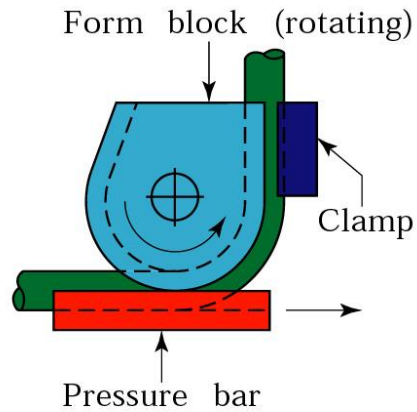
- برای خم کاری لوله و قطعات توخالی نیاز به تجهیزاتی است که مانع از کمانش و چروک خوردگی لوله شود. روش سنتی پر کردن لوله از ماسه در هنگام خم کردن و استفاده از قید و بند برای این کار است.
- روش دیگر استفاده از ماندل های انعطاف پذیر داخل لوله هنگام خمکاری است.



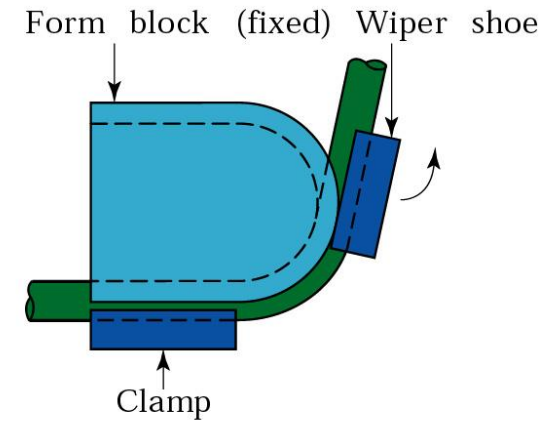
(a) Stretch bending



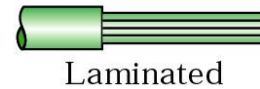
(b) Draw bending



(c) Compression bending



(d) Mandrels for tube bending

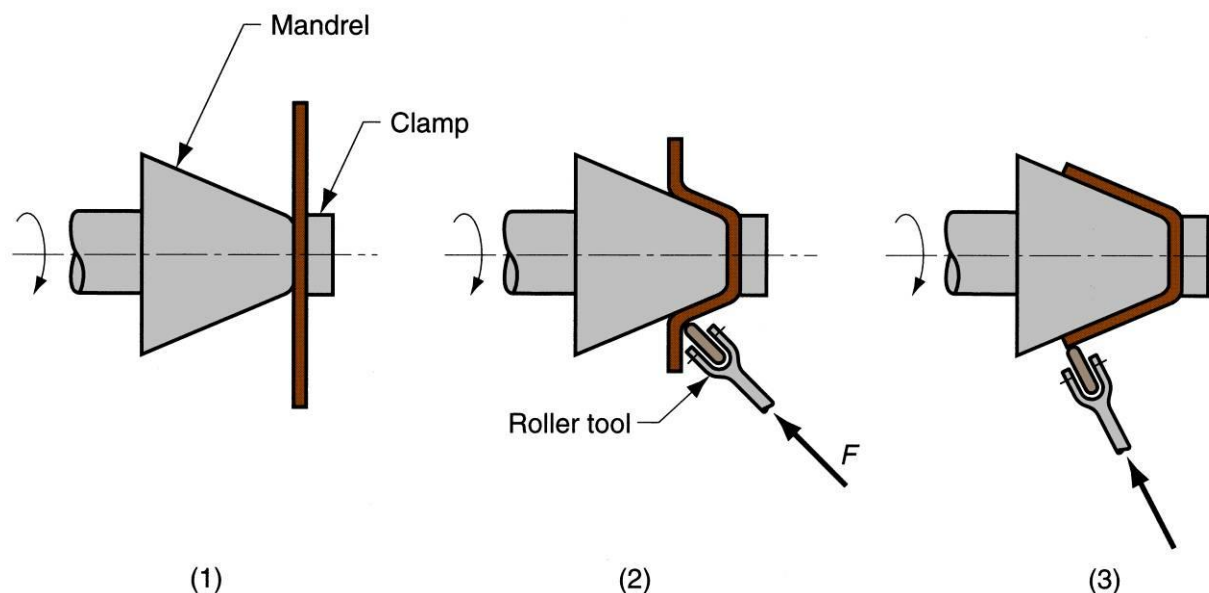


## کاربردهای خمکاری لوله

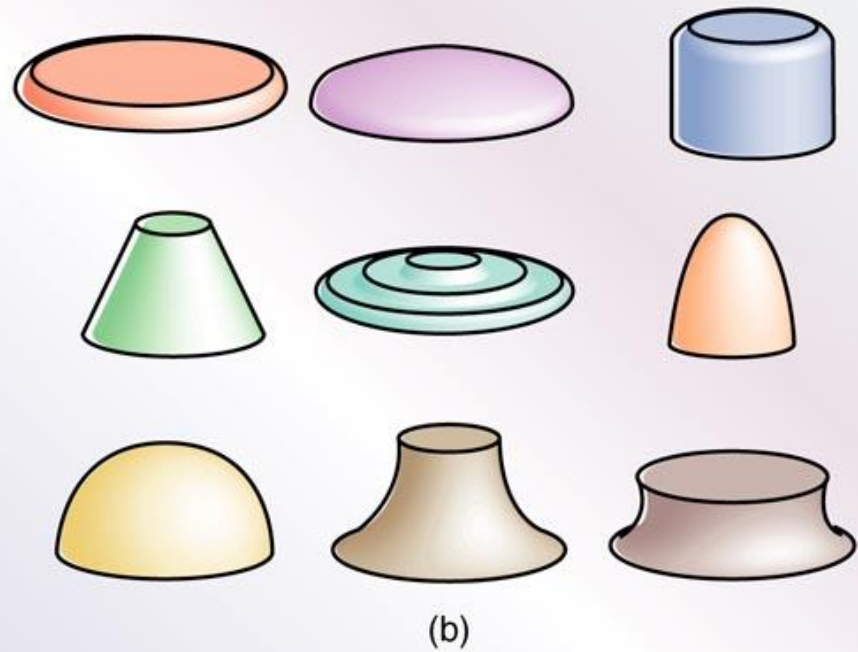
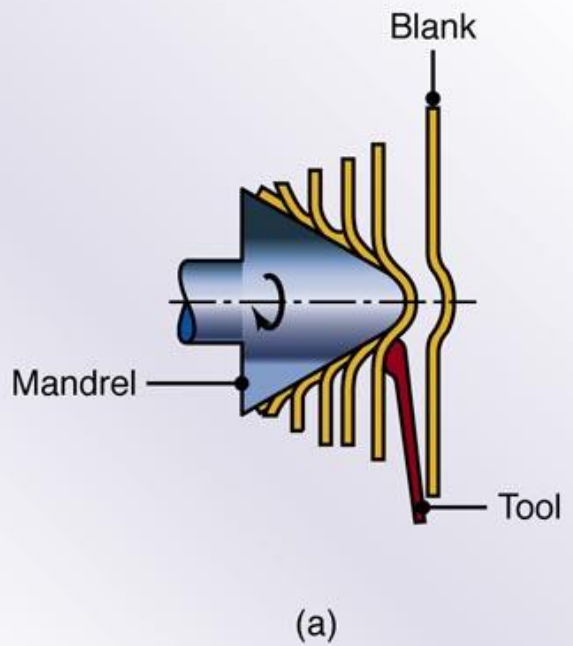


# Spinning

□ فرآیند شکل دهی ورق که در آن یک قطعه متقارن محوری با استفاده از یک ماندربل در حال چرخش و ابزار سر گرد یا استوانه ای شکل می گیرد.  
□ این روش برای تعداد قطعه کم از نظر هزینه ای بسیار به صرفه است.

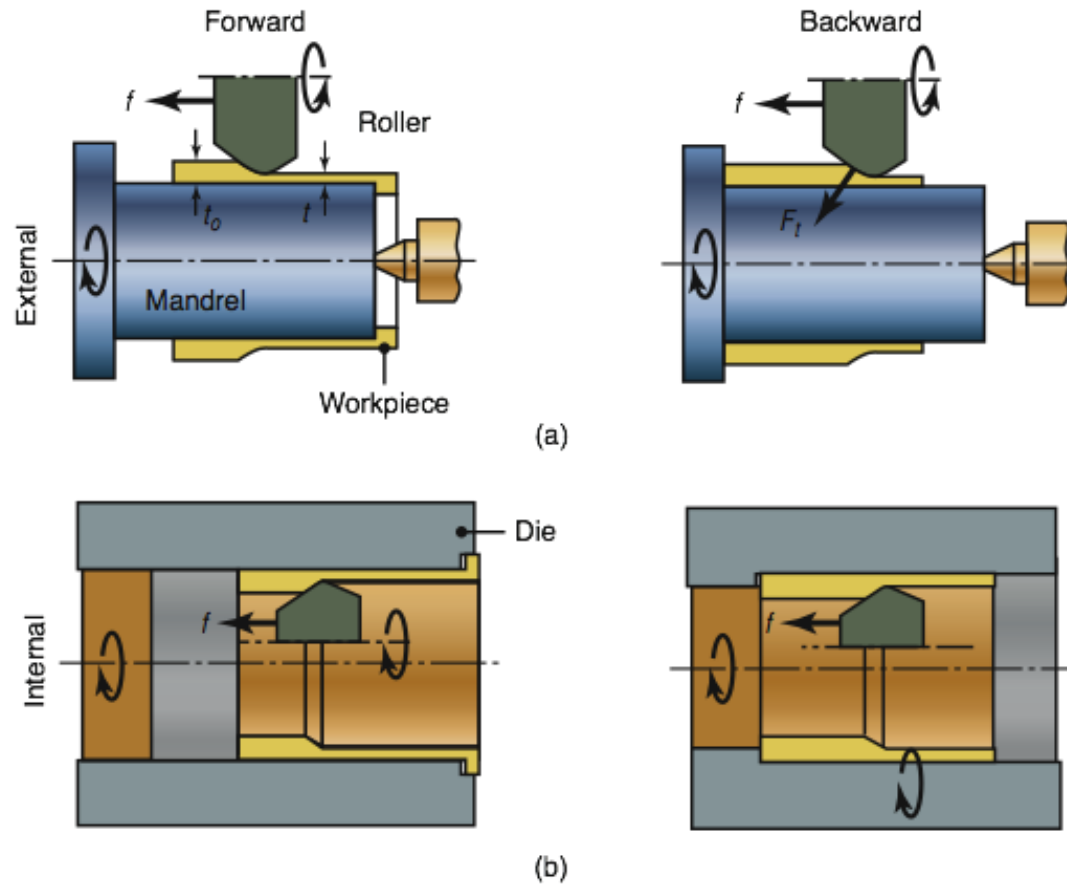


# Spinning

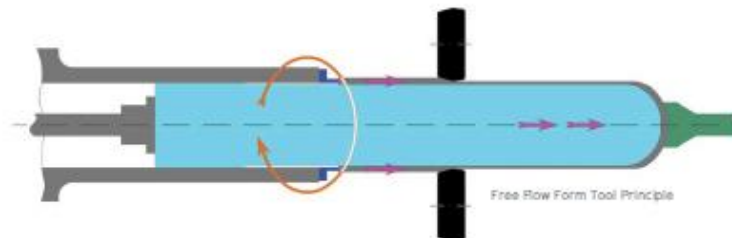




# Tube Spinning



# تجهيزات فرآیند اسپینینگ لوله



# Spinning

Most symmetric sheet metal parts can be made by **spinning**:

musical instruments



kitchen utensils



lamp accessories



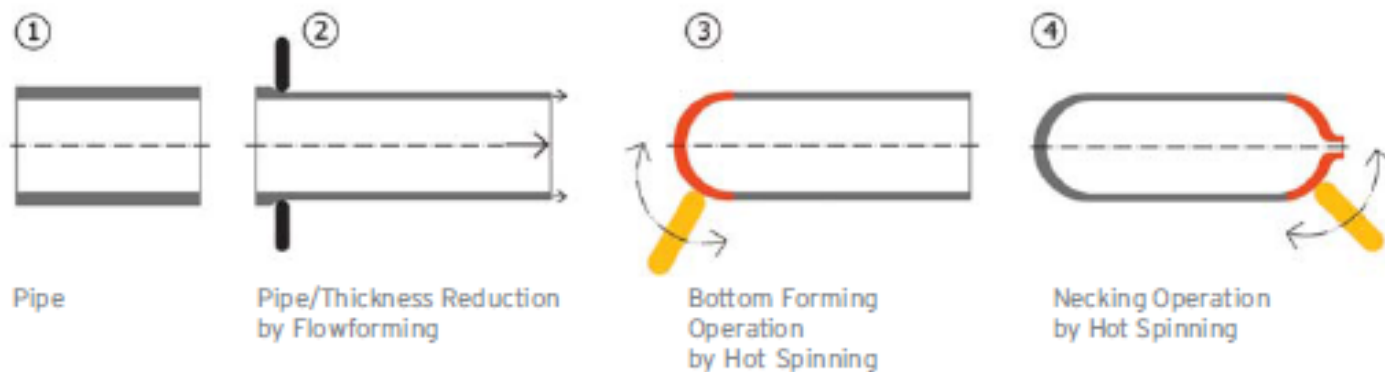
nose cones



## ویدئوی فرآیند

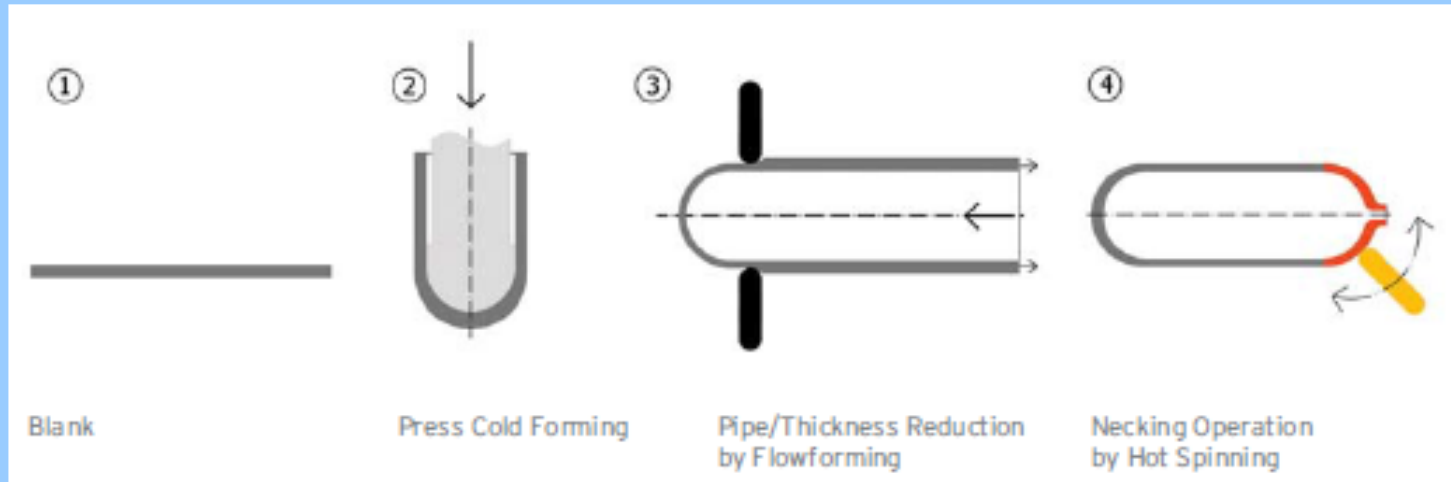
# روش های مختلف تولید مخزن گاز CNG

## روش 1: تولید از لوله



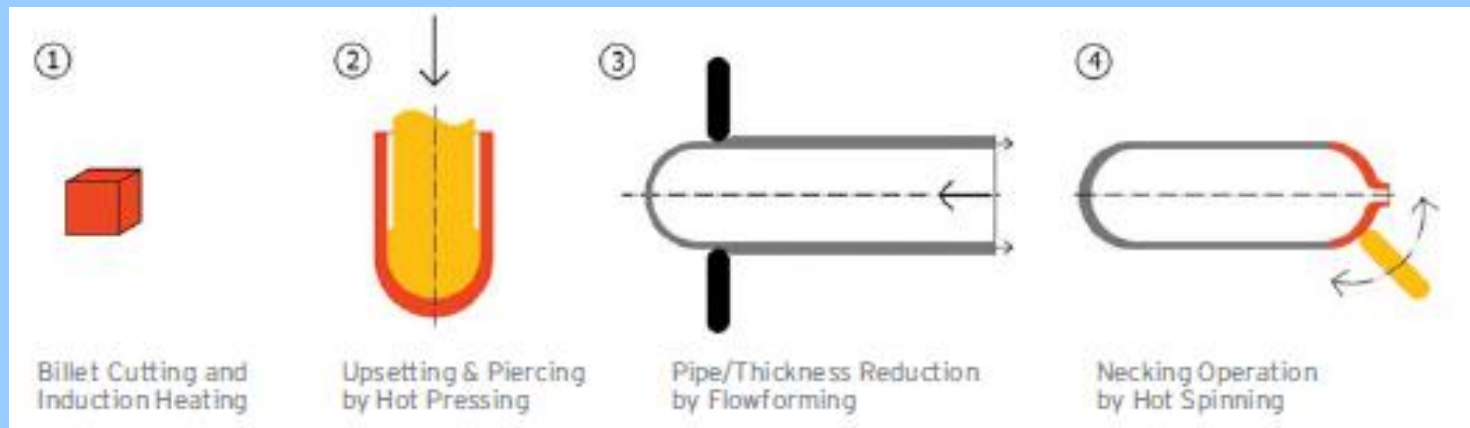
# روش های مختلف تولید مخزن گاز CNG

## روش 2: تولید از ورق



# روش های مختلف تولید مخزن گاز CNG

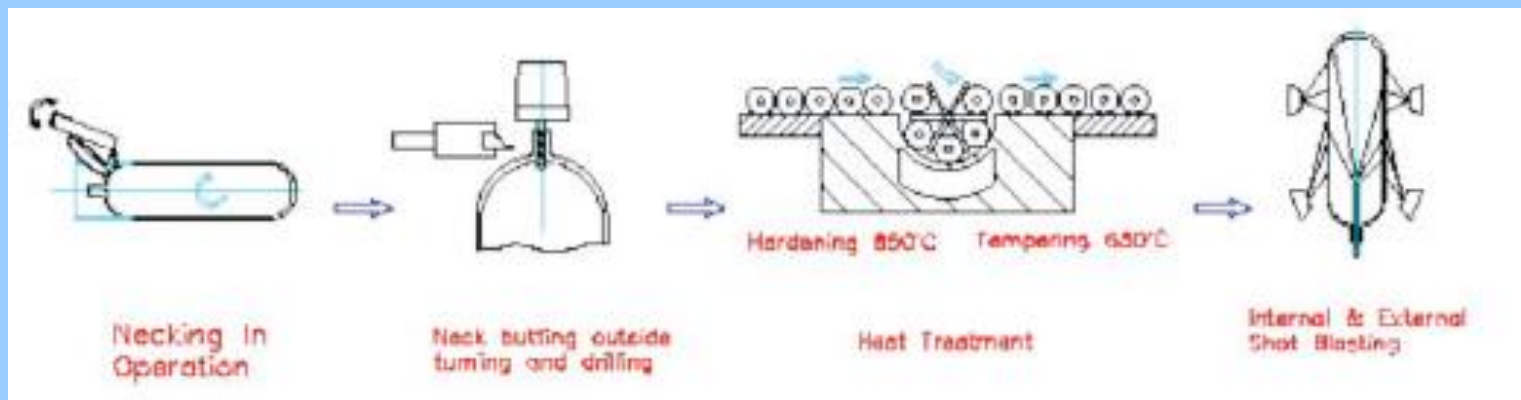
## روش 2: تولید از بیلت



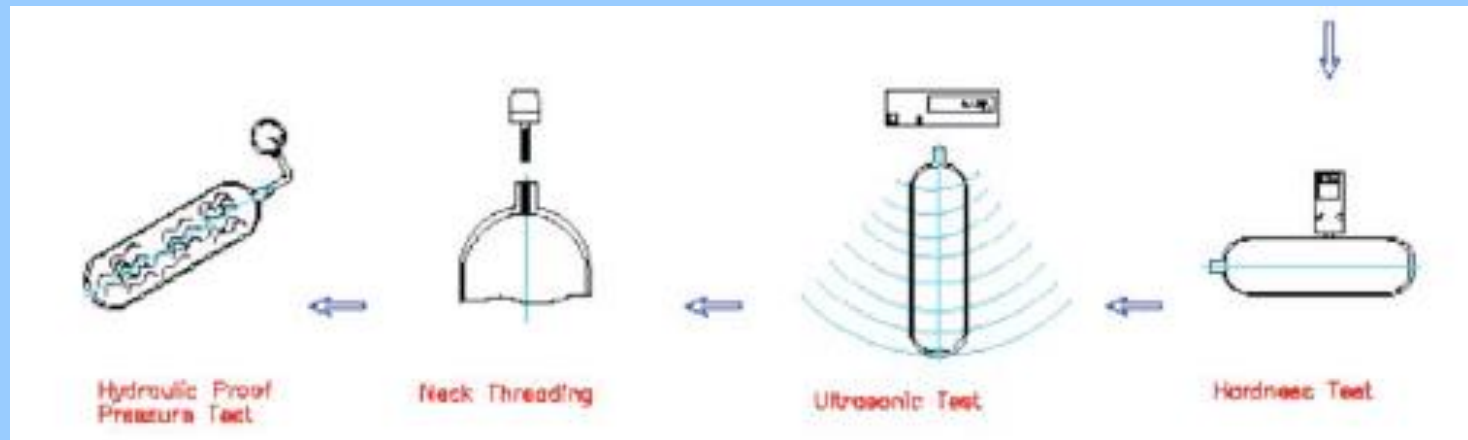
## ویدئوی فرآیند



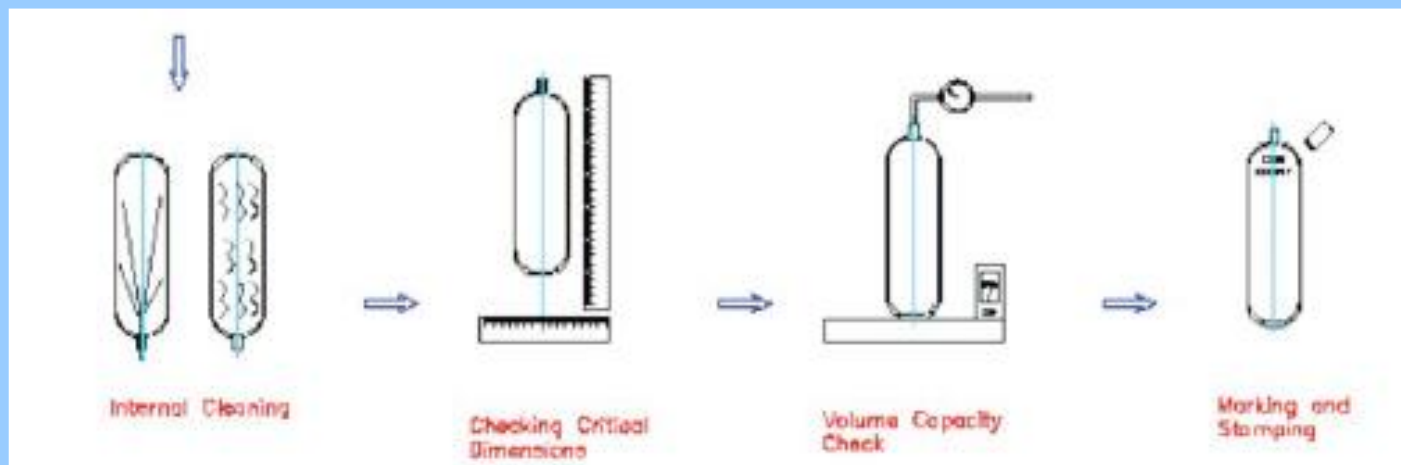
## مراحل مختلف تولید مخزن گاز CNG



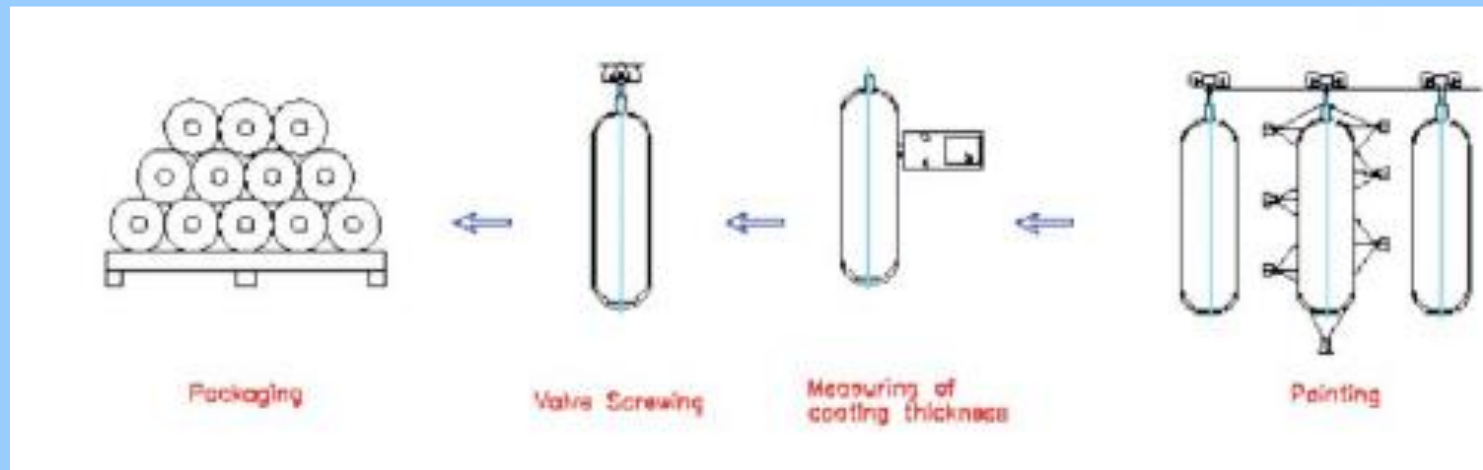
## مراحل مختلف تولید مخزن گاز CNG



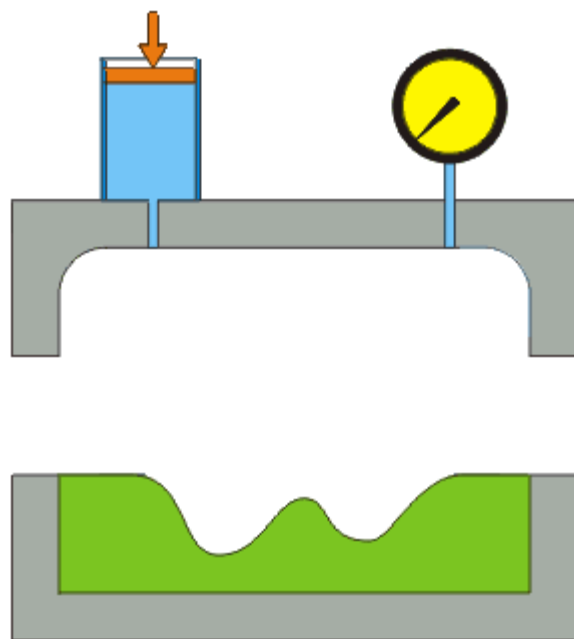
## مراحل مختلف تولید مخزن گاز CNG



## مراحل مختلف تولید مخزن گاز CNG

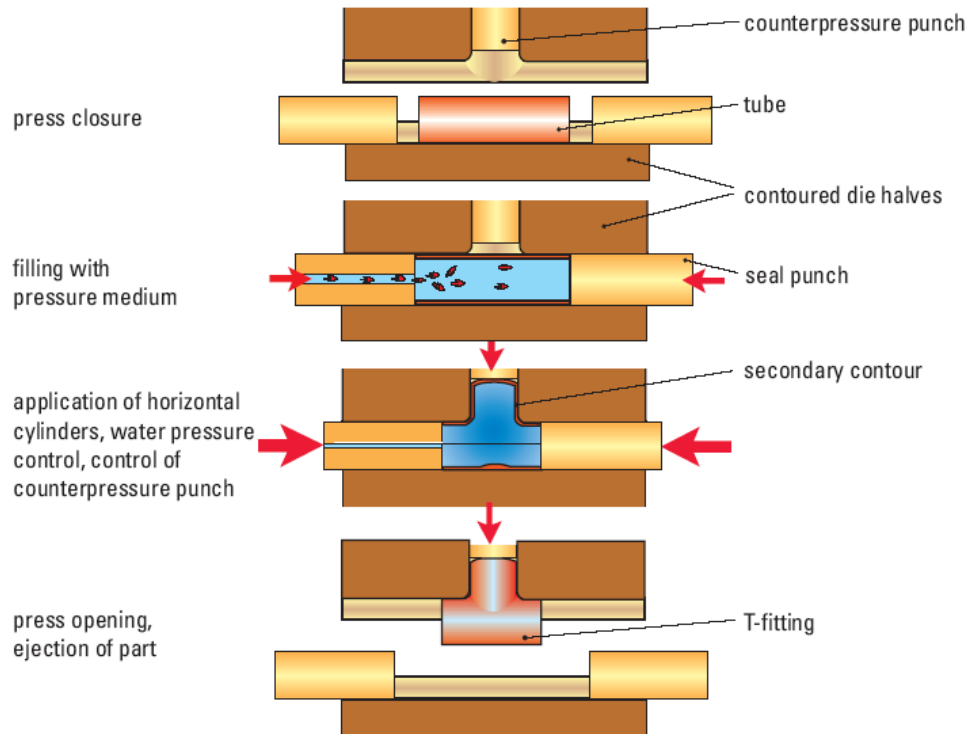


## شکل دهی با استفاده از فشار سیال



## شکل دهی با استفاده از فشار سیال

□ در این فرایند شکل دهی به کمک فشار سیال پرفشار انجام می گیرد و برای شکل های پیچیده (ورق، لوله و ...) مورد استفاده قرار می گیرد.



## ویدئوی فر آیند

## کاربردهای فرایند شکل دهی با استفاده از فشار سیال

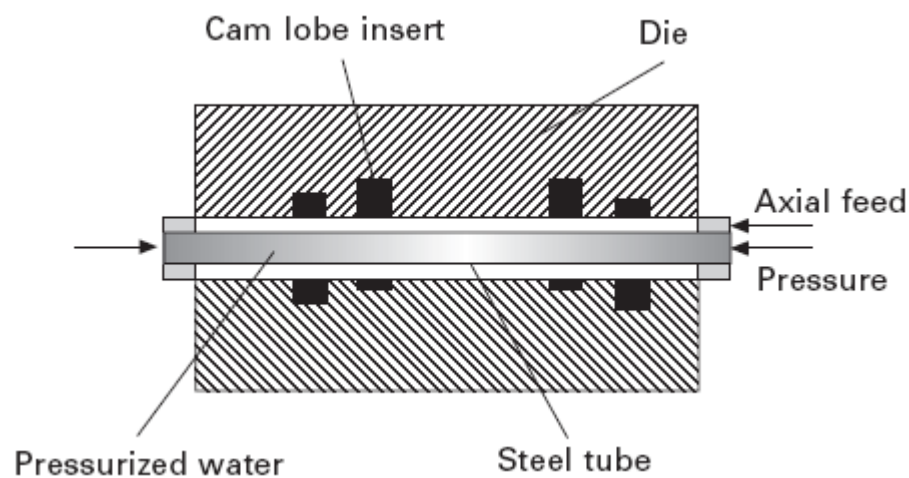


ساخت چندراهه دود با استفاده  
از هیدروفرمینگ



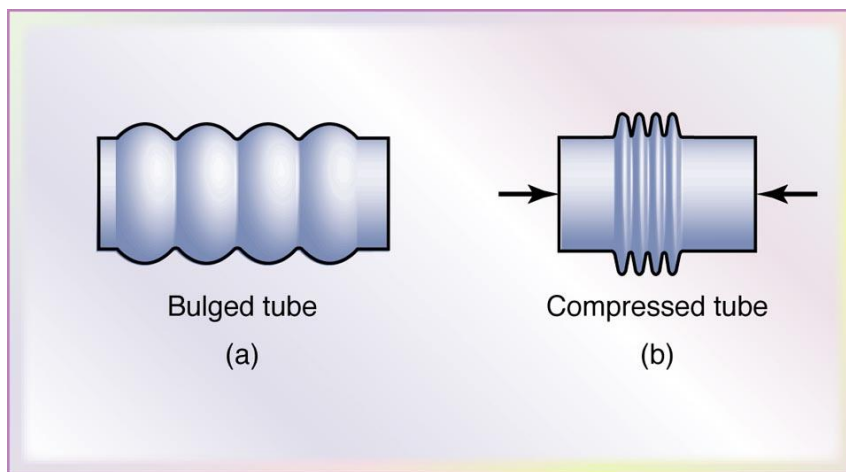


## کاربردهای فرایند شکل دهی با استفاده از فشار سیال



سرهم کردن میل بادامک با  
استفاده از هیدروفرمینگ

## کاربردهای فرایند شکل دهی با استفاده از فشار سیال



ساخت لوله های انعطاف پذیر



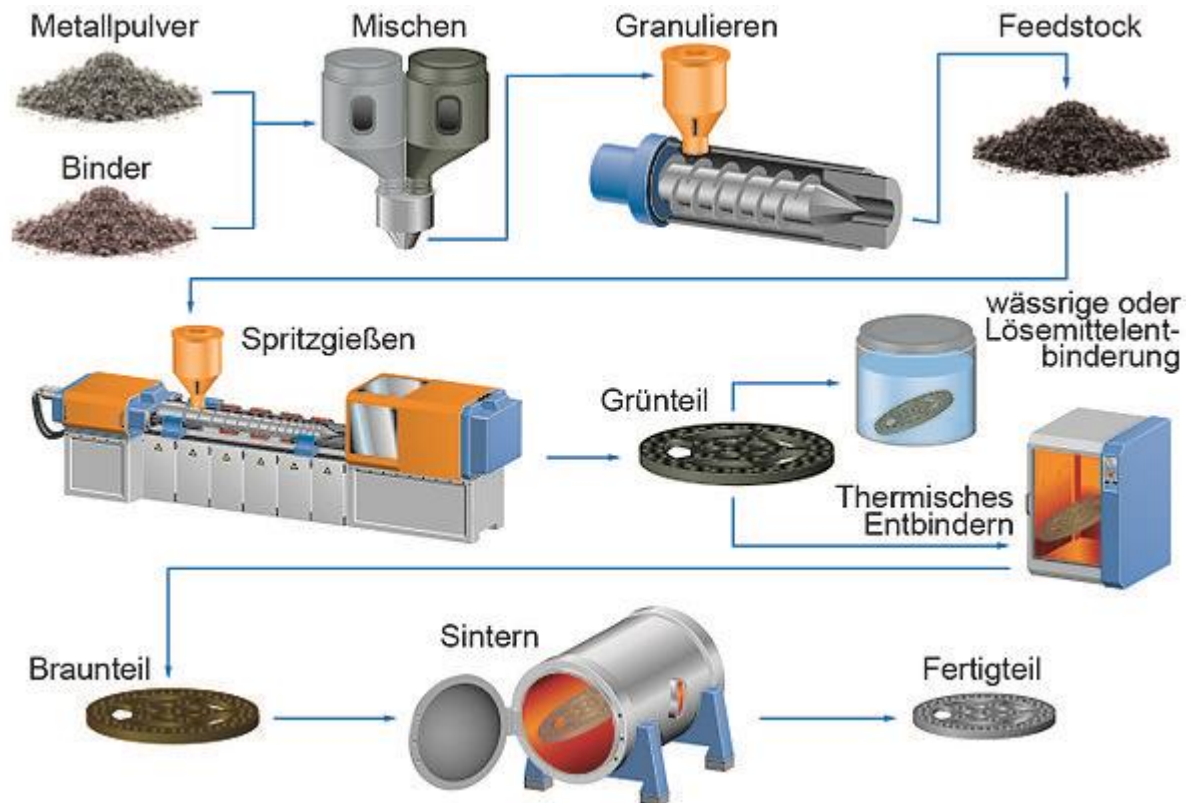
EGR pipe

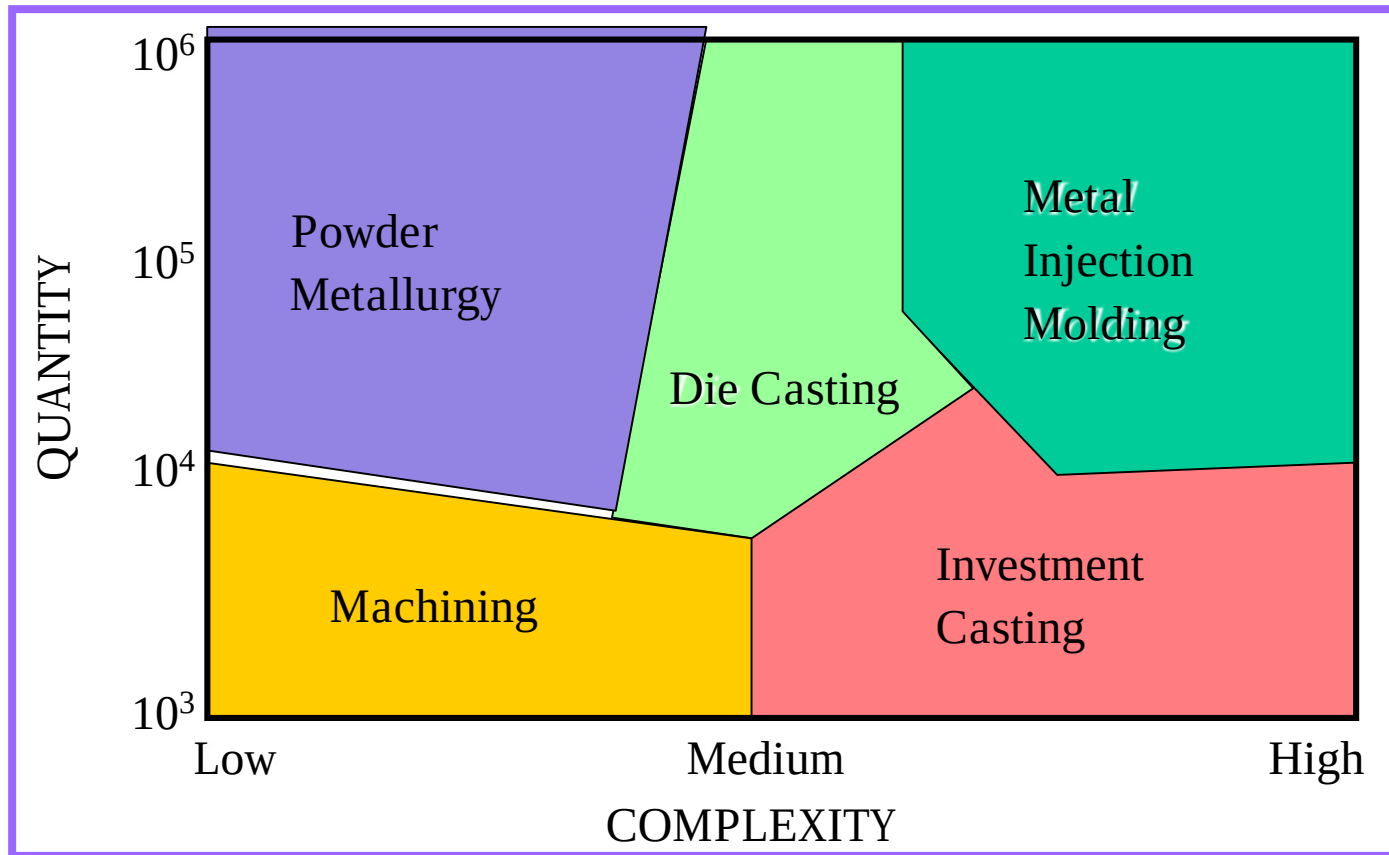
## کاربردهای فرایند شکل دهی با استفاده از فشار سیال

خمکاری لوله با  
استفاده از  
هیدروفرمینگ



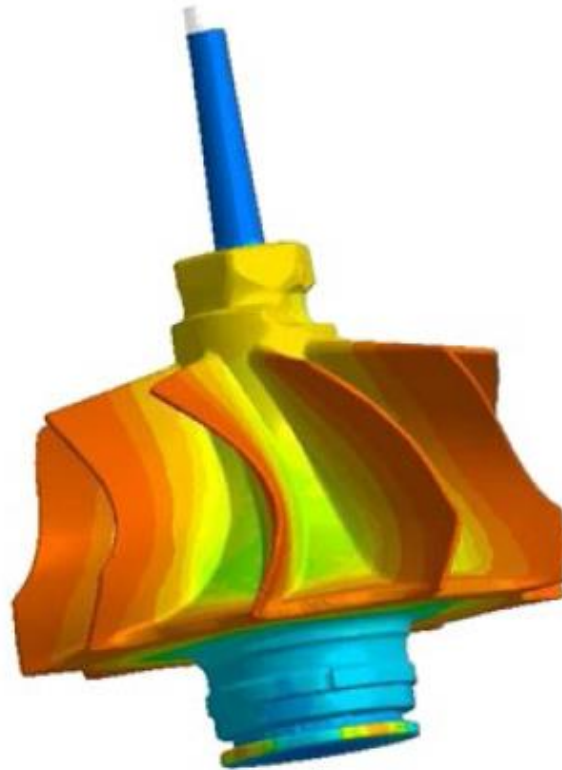
# Metal Injection molding (MIM)







**Rocker arm**



**Turbine blade**

**پایان**