



به نام خدا

فرآیندهای شکل دهی فلزات
Metal Forming Processes

سرفصل مطالب

- ▣ طبقه بندی فرآیندهای شکل دهی
 - ▣ شکل دهی حجمی (Bulk Forming)
 - ▣ شکل دهی ورق (Sheet Metal Forming)
- ▣ رفتار مواد در شکل دهی فلزات
 - ▣ تنش سیلان
 - ▣ تنش سیلان متوسط
- ▣ دما در شکل دهی فلزات
- ▣ اثر نرخ کرنش
- ▣ اصطکاک و روغنکاری
- ▣ بررسی انواع فرآیندهای شکل دهی

شکل دهی حجمی

□ نورد (Rolling)

□ اکستروژن (Extrusion)

□ آهنگری (Forging)

□ کشش سیم

شکل دهی ورق

- شکل دهی برشی: بلانکینگ، سوراخ زنی، نیشتر زنی، فاق زنی، اصلاح و ...
- خمش (Bending)
- کشش عمیق (Deep drawing)

رفتار مواد در شکل دهی فلزات

$$Y_f = K \varepsilon^n$$

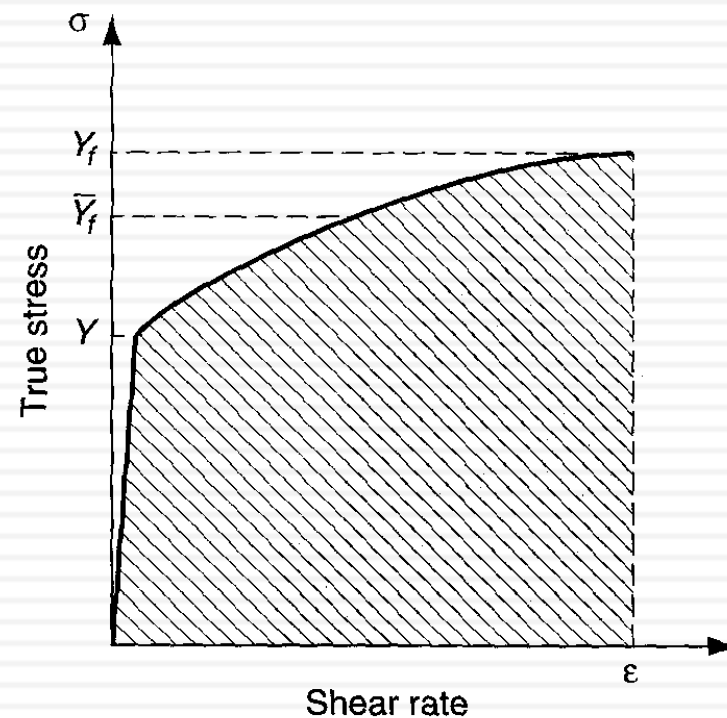
$$\bar{Y}_f = \frac{K \varepsilon^n}{1+n}$$

Y_f Flow Stress

ε Maximum strain
for forming
process

K Strength
coefficient

Average flow
stress



دما در شکل دهی فلزات

❑ کار سرد: شکل دهی در دمایی زیر دمای $0.3T_m$ انجام می گیرد

➤ مزایا:

- ❖ دقت بهتر
- ❖ کیفیت سطح بهتر
- ❖ به دلیل کرنش سختی استحکام ورق افزایش می یابد
- ❖ به خاطر جهت گیری دانه ها خواص وابسته به جهت داریم
- ❖ گرما و انرژی لازم نیست

➤ عیوب:

- ❖ نیرو و توان بالا لازم است
- ❖ انعطاف پذیری کاهش می یابد (به دلیل کارسختی)

دما در شکل دهی فلزات

❑ کارنیمه گرم (warm forming): شکل دهی بین دمای $0.3 T_m$

و دمای تبلور مجدد انجام می گیرد.

➤ مزایا نسبت به کار سرد:

❖ نیرو و توان کمتری نیاز است

❖ تولید هندسه پیچیده و تغییر شکل بالا امکان پذیر است.

دما در شکل دهی فلزات

❑ **کار گرم (Hot forming):** شکل دهی در بالاتر از دمای تبلور مجدد انجام می شود.

➤ مزایا:

- ❖ ایجاد تغییرشکلهای بالا
- ❖ توان و نیروی کمتر
- ❖ ماده دارای خواص همسانگرد است
- ❖ کارسختی وجود ندارد

➤ معایب:

- ❖ کیفیت سطح و دقت ابعادی پایین
- ❖ نیاز به انرژی و گرم کردن

دما در شکل دهی فلزات

- **شکل دهی ایزوترمال (همدما):** عبارتست از گرم کردن ابزار تا دمای قطعه کار. این باعث حذف سرد شدن سطح شده و در نتیجه گرادیان دمایی در قطعه حذف می شود.
- این نوع شکل دهی برای فولادهای آلیاژی، آلیاژهای تیتانیم و آلیاژ نیکل دما بالا استفاده می شود.

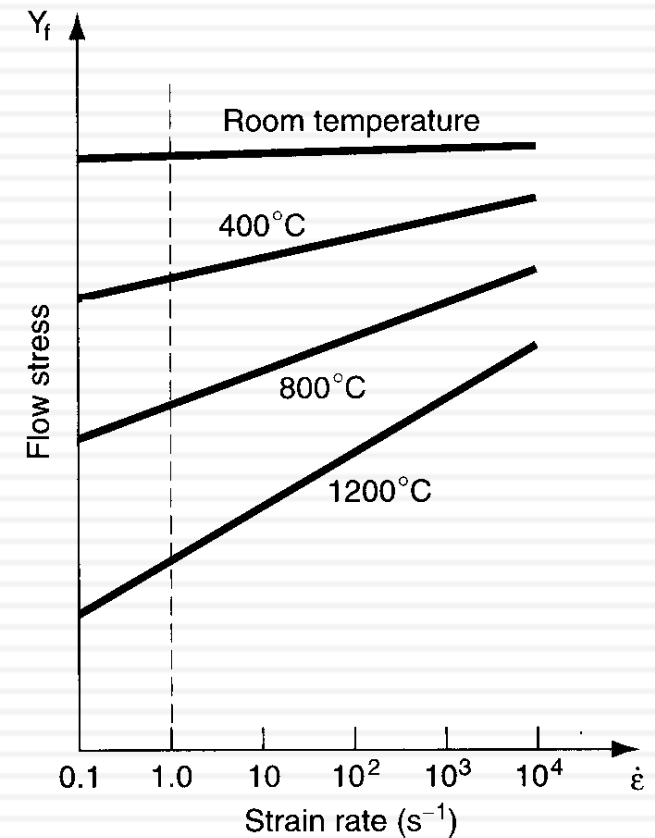
اثر نرخ کرنش

$$\bar{Y}_f = C \dot{\epsilon}^m \quad Y_f = A \epsilon^n \dot{\epsilon}^m$$

$\dot{\epsilon}$ strain rate

The strain rate is strongly affected by the temperature.

A = a strength coefficient



اصطکاک و روغنکاری

□ اصطکاک نامطلوب است:

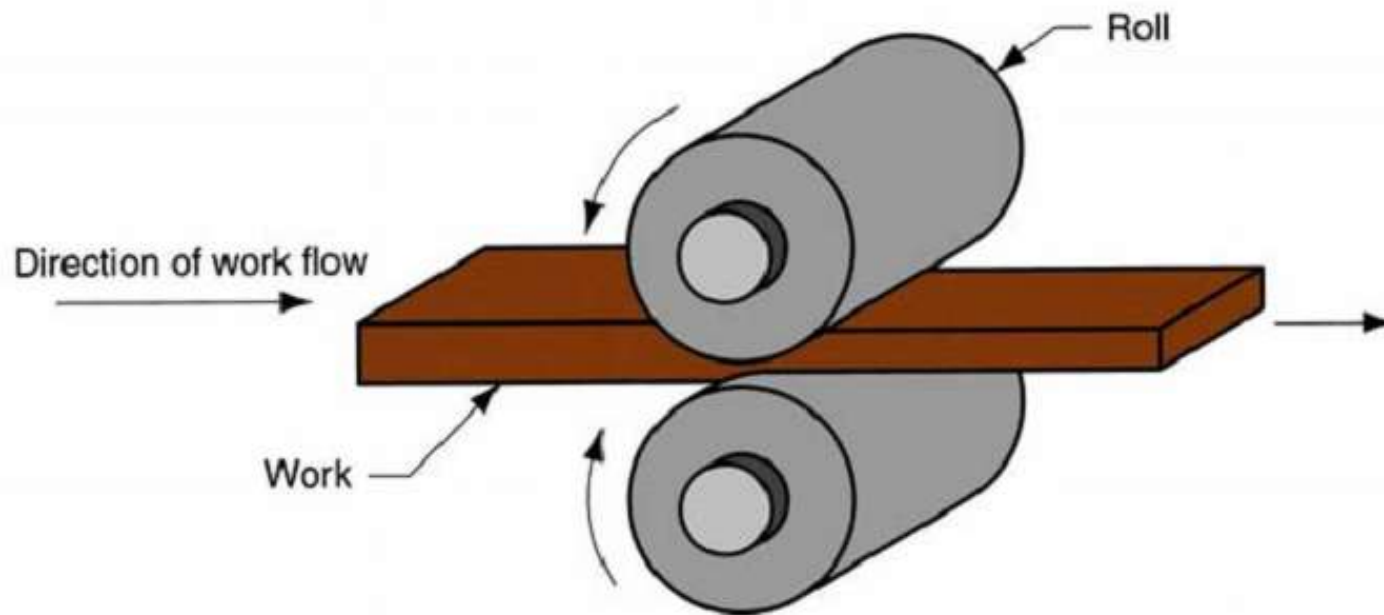
- کند شدن جریان فلز باعث تنش پسماند می شود
- افزایش نیرو و توان
- سایش سریع ابزار

□ روغنکاری ضریب اصطکاک بین ابزار و قطعه کار را کاهش می دهد.

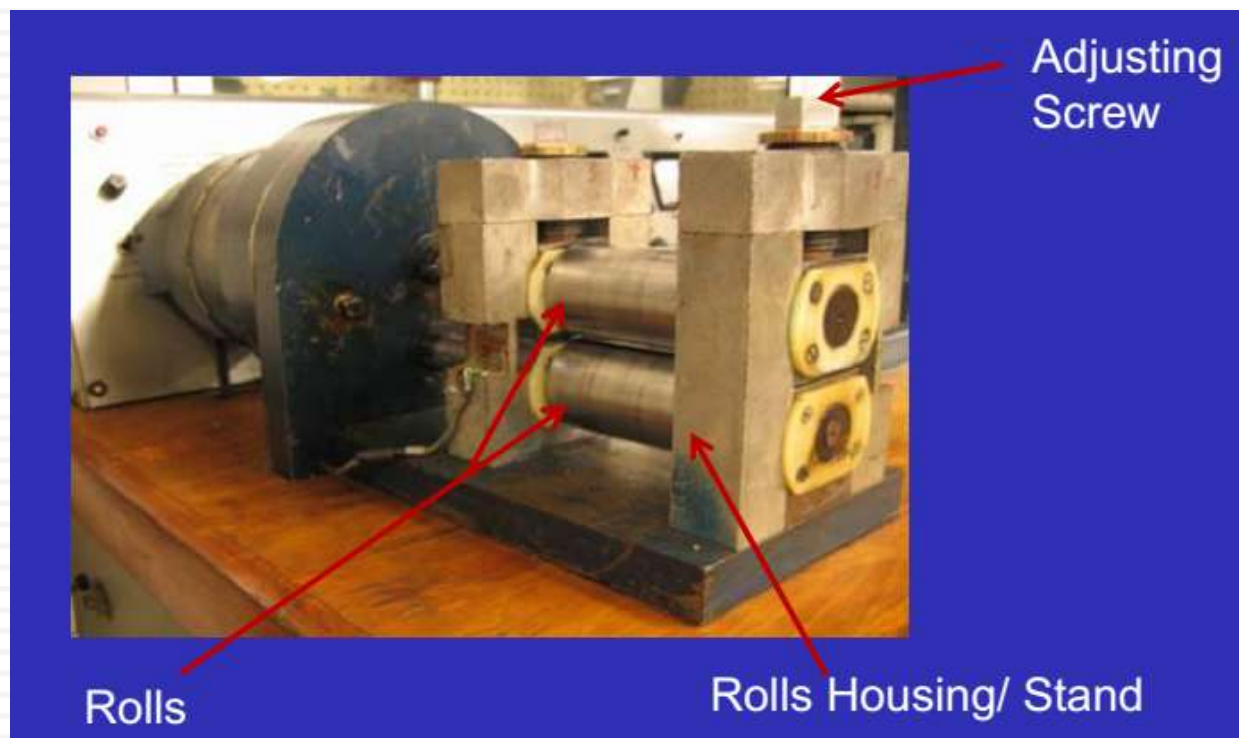
Category	Temperature range	Strain-rate sensitivity exponent	Coefficient of friction
Cold working	$\leq 0.3T_m$	$0 \leq m \leq 0.05$	0.1
Warm working	$0.3T_m - 0.5T_m$	$0.05 \leq m \leq 0.1$	0.2
Hot working	$0.5T_m - 0.75T_m$	$0.05 \leq m \leq 0.4$	0.4–0.5

نورد

- **نورد** عبارتست از فرآیند کاهش سطح مقطع فلز از میان یک جفت غلتک.
- گپ بین غلتکها از ضخامت ورق کمتر بوده از اینرو وجود نیروی اصطکاک برای گرفتن ورق و کشیدن آن داخل فضای بین غلتکها ضروری است.

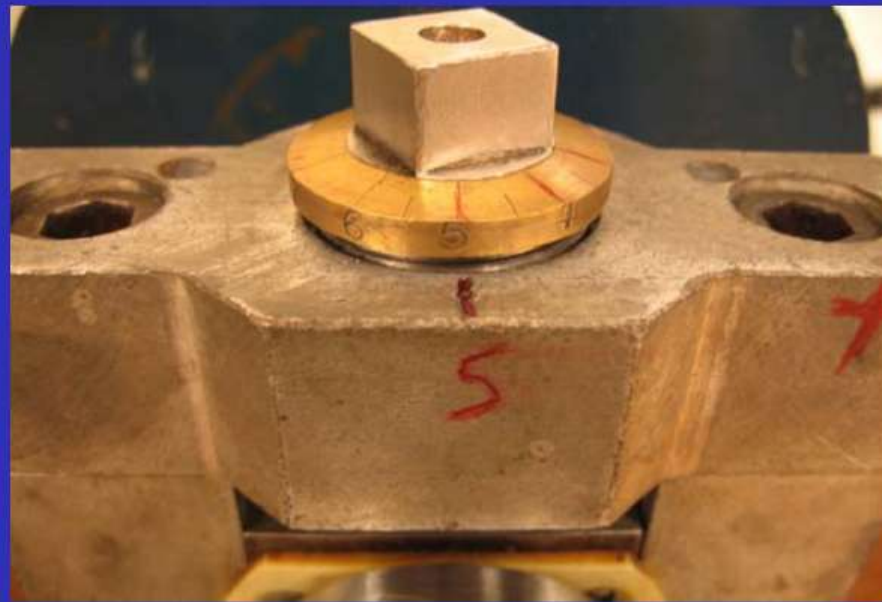


ماشین نورد

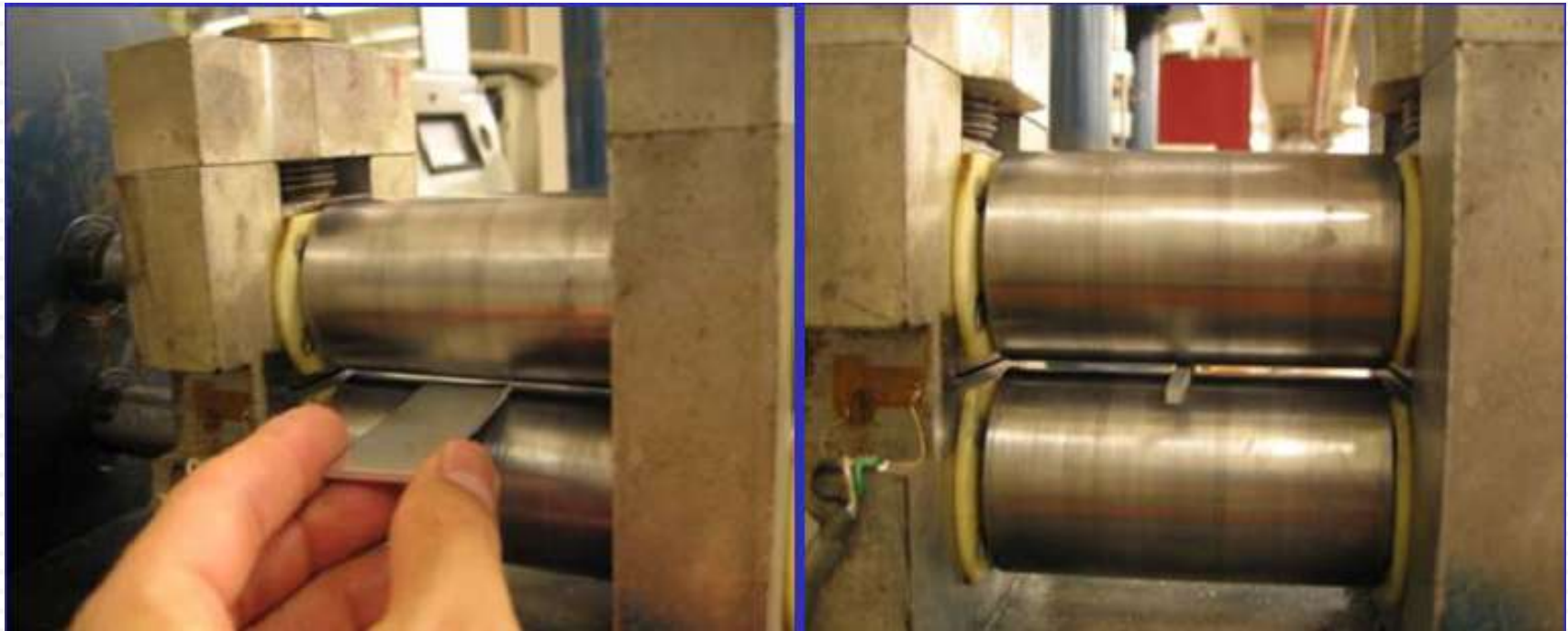


ماشین نورد

Adjusting screw



ماشین نورد



نورد

□ انواع نورد بر اساس هندسه قطعه:

□ **نورد مسطح:** برای کاهش ضخامت ورق با سطح مقطع مستطیل کاربرد دارد.

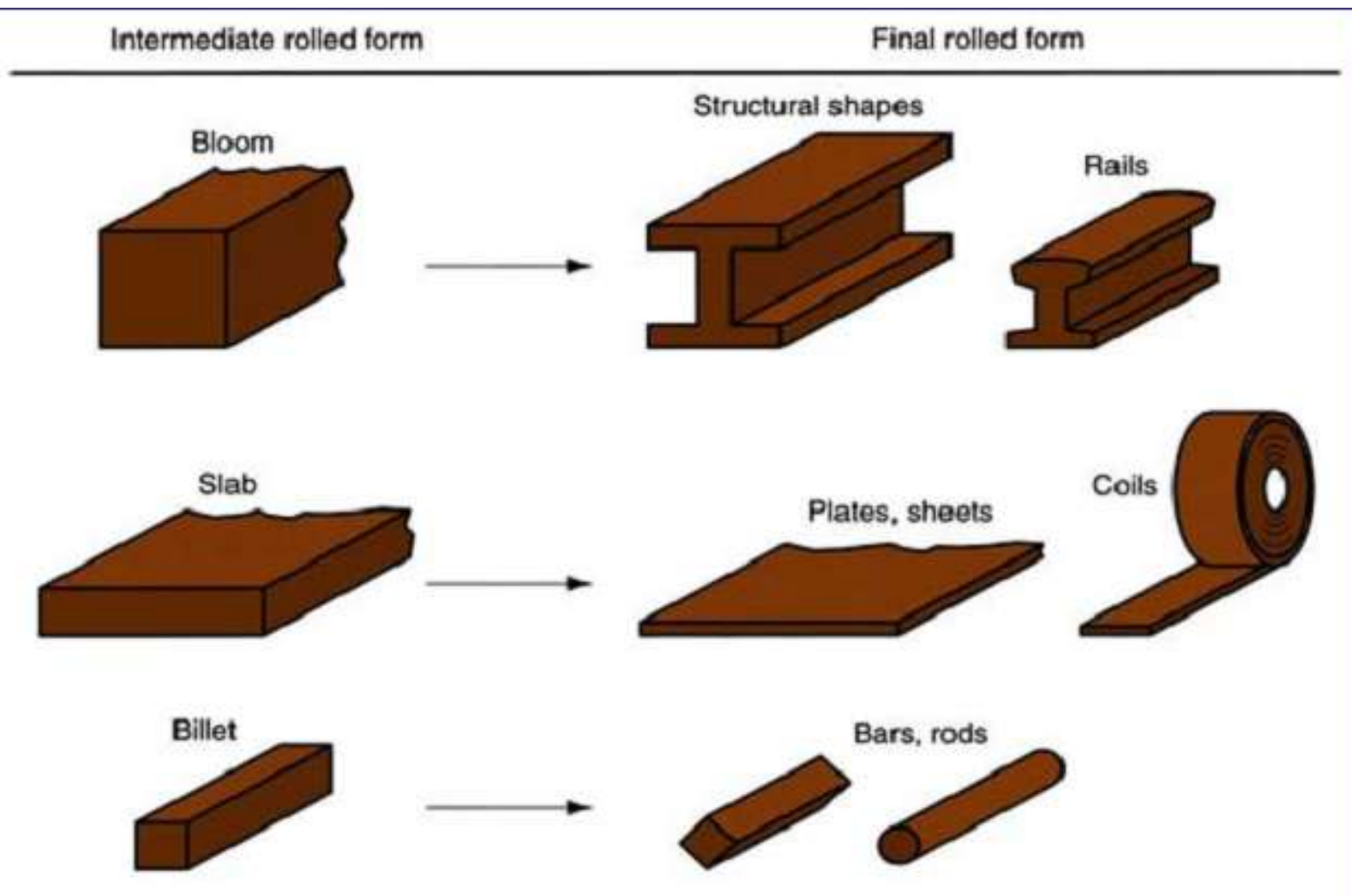
□ **نورد فرم:** سطح مقطع مربعی به فرم خاصی تغییر شکل می دهد.

□ بر اساس دمای کاری:

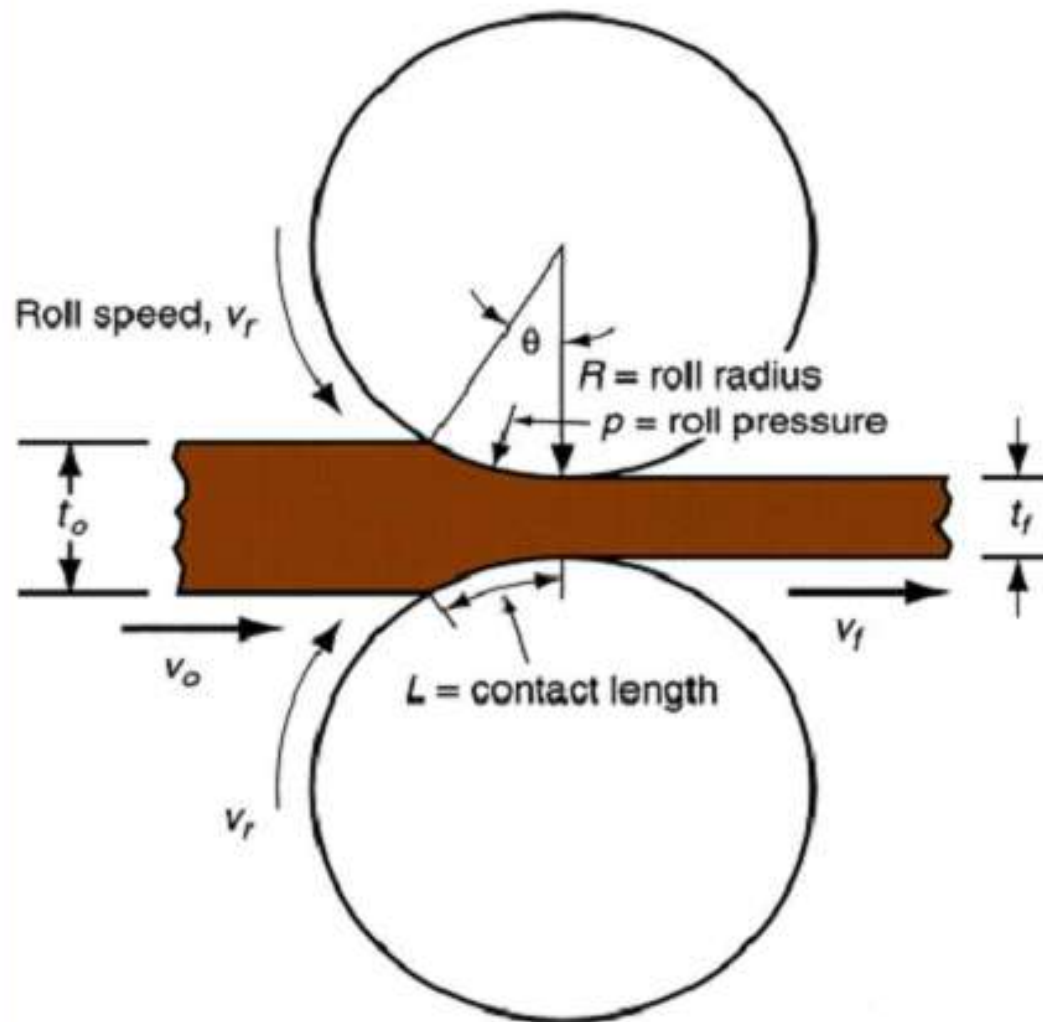
□ **نورد گرم:** میزان تغییر شکل زیاد است.

□ **نورد سرد:** میزان تغییر شکل کم است.

نمونه ای از محصولات نورد شده



دیاگرام نورد مسطح



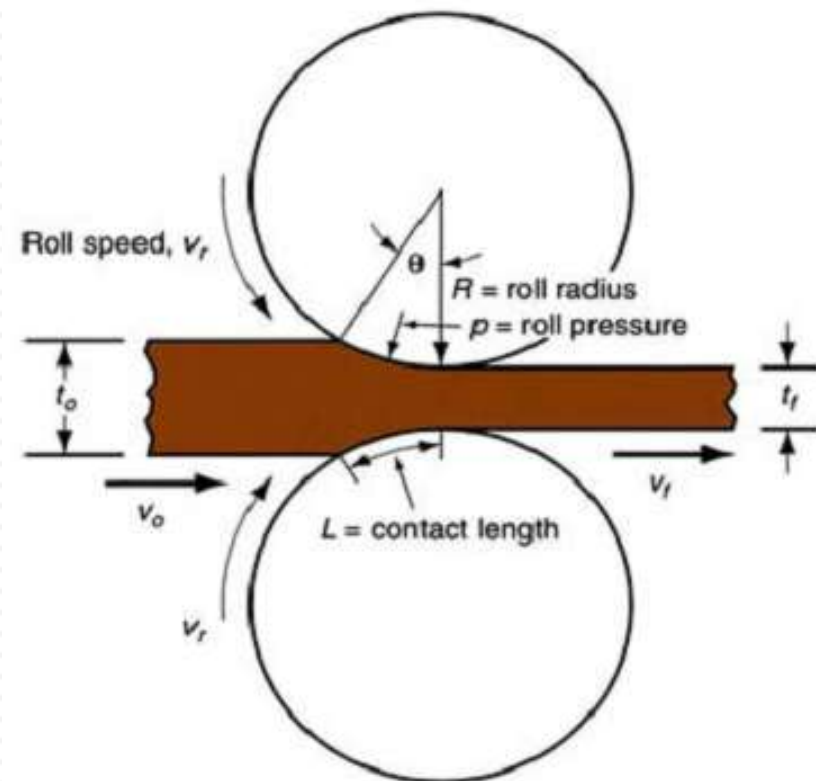
اصطلاحات نورد مسطح

□ Draft: میزان کاهش ضخامت

$$d = t_0 - t_f$$

t_0 : ضخامت ورودی:

t_f : ضخامت خروجی:



اصطلاحات نورد مسطح

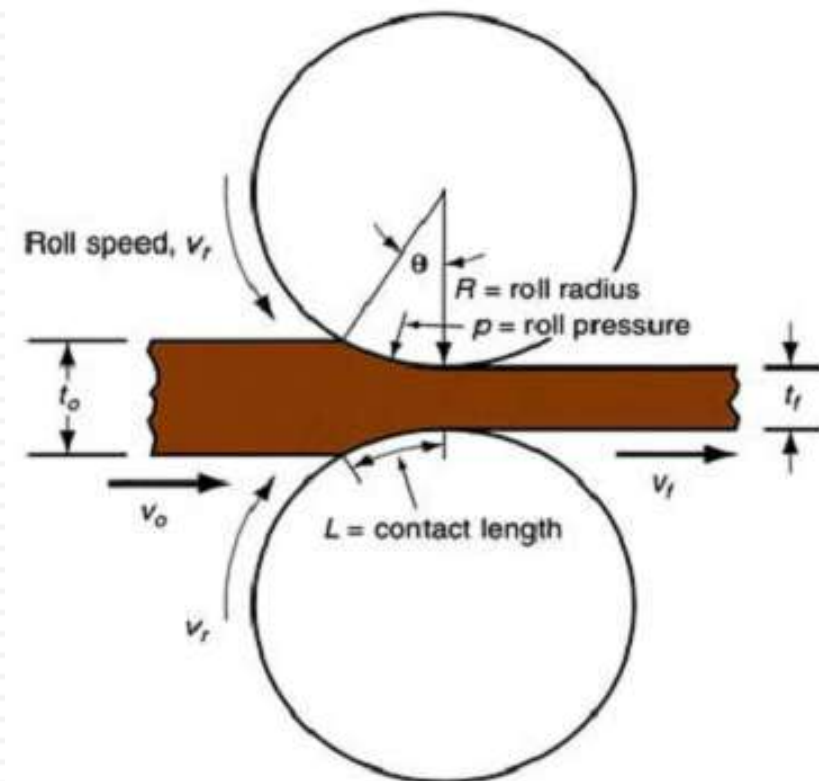
- Reduction: مقدار نسبت درفت به ضخامت ورودی

$$r = \frac{d}{t_0}$$

- $\Delta h_{\max}$: بیشینه کاهش ضخامت:

$$\Delta h_{\max} = \mu^2 R$$

μ : ضریب اصطکاک



غلطکهای نورده

□ تجهیزات حجیم و گران است.

□ پیکربندی غلطکهای نورده:

□ دوتایی

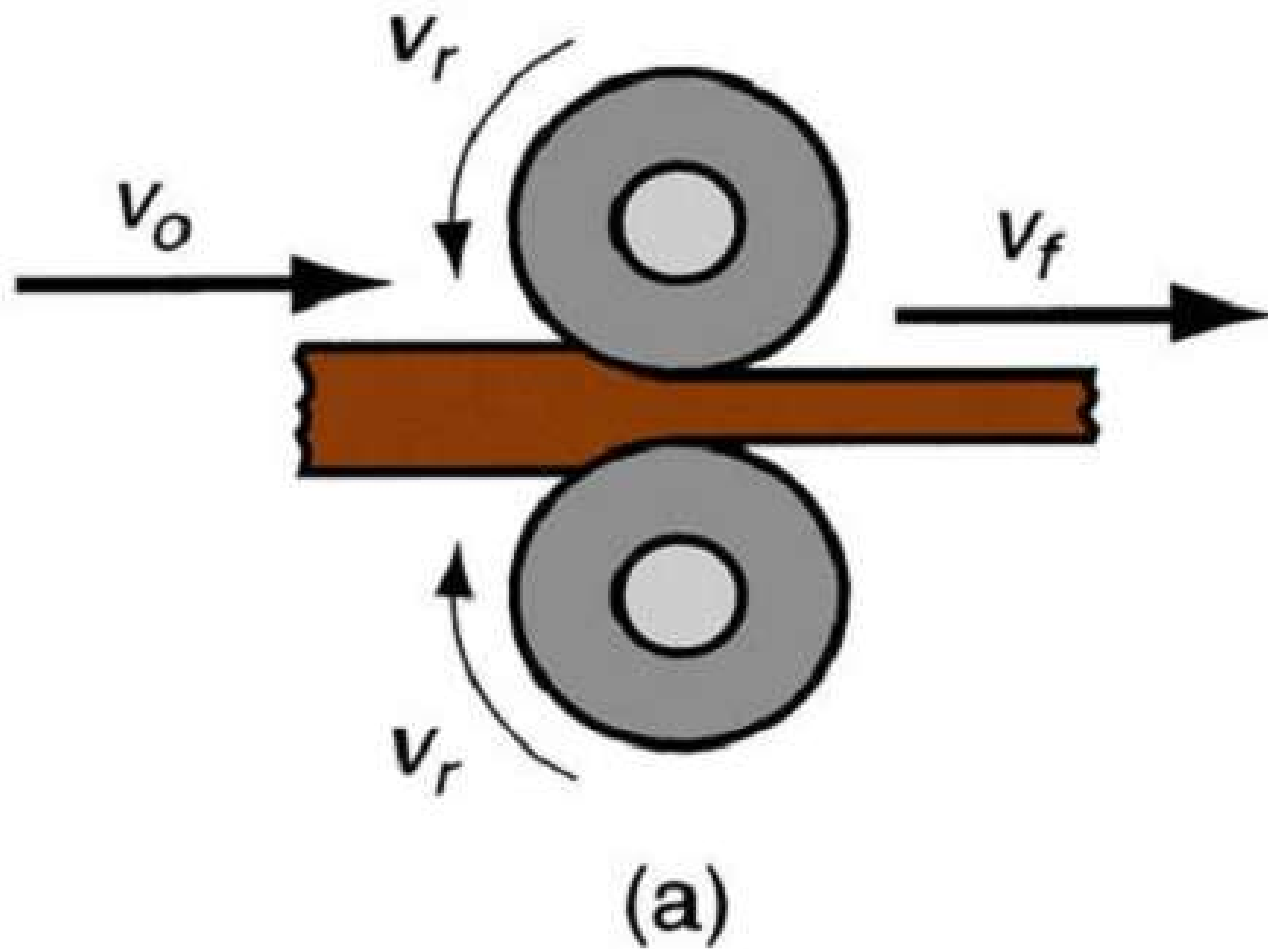
□ سه تایی

□ چهارتایی

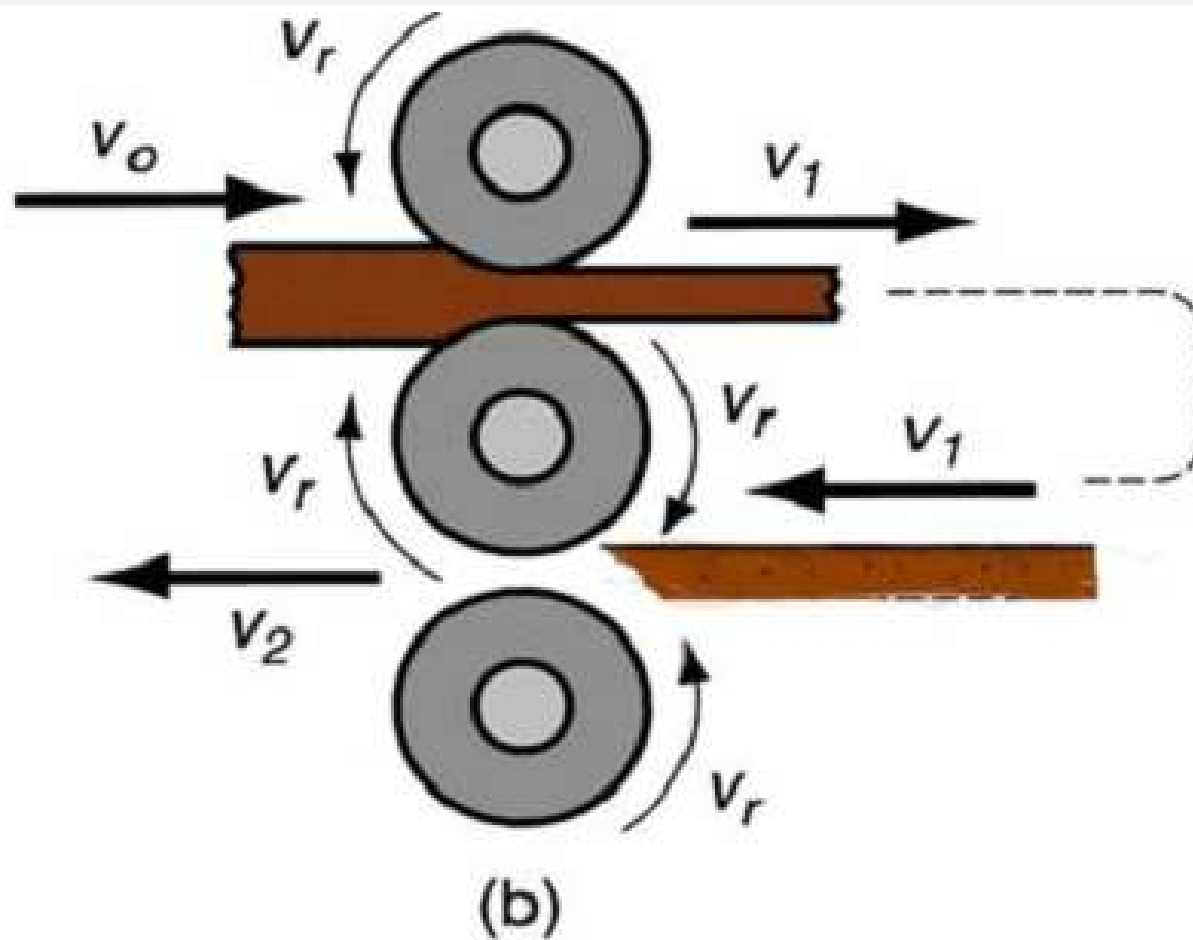
□ کلاستر

□ پشت سرهم (Tandem)

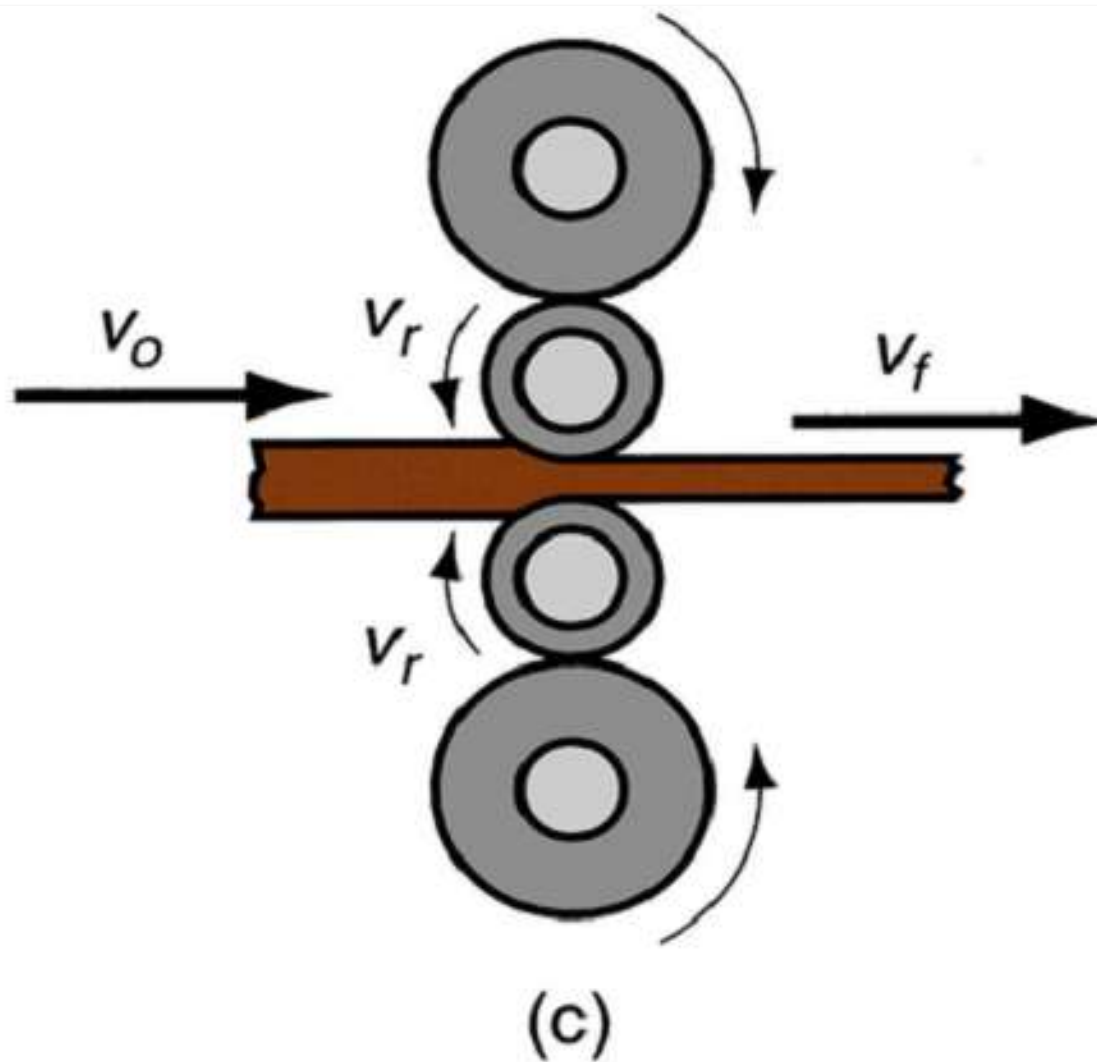
پیکربندی دوتایی



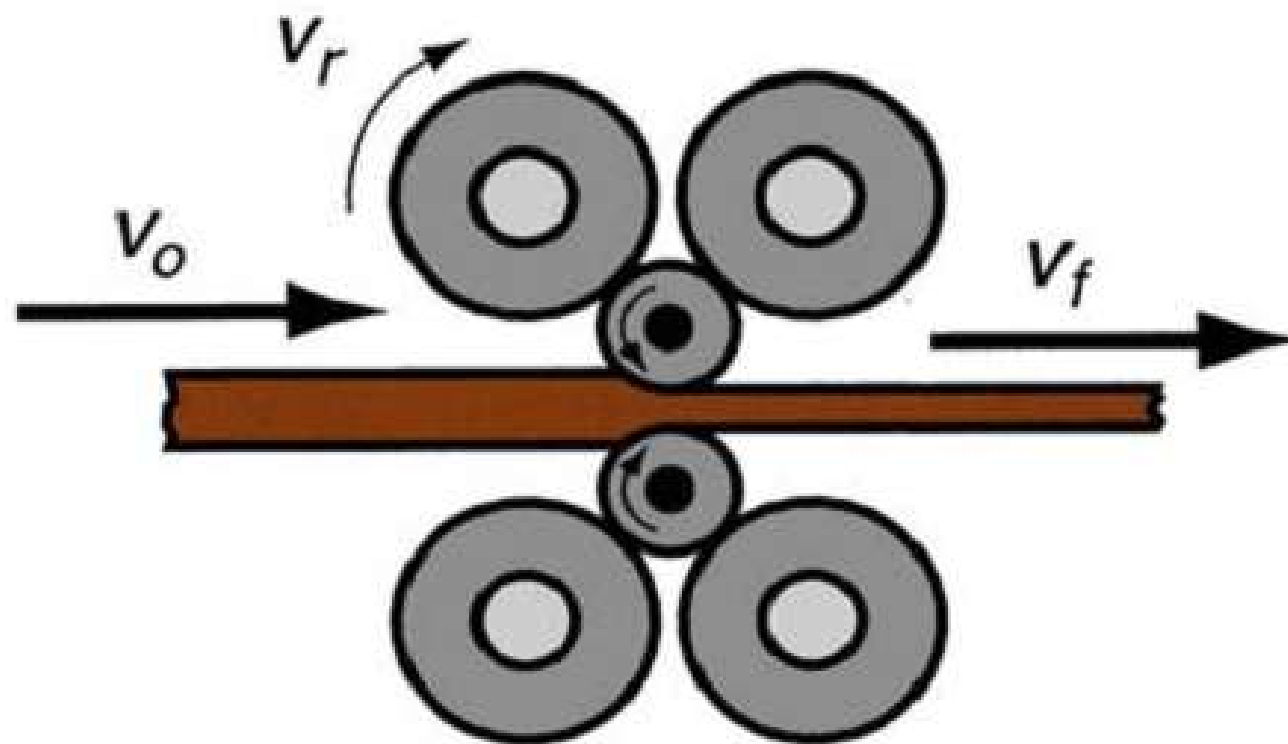
پیکربندی سه تایی



پیکربندی چهارتایی



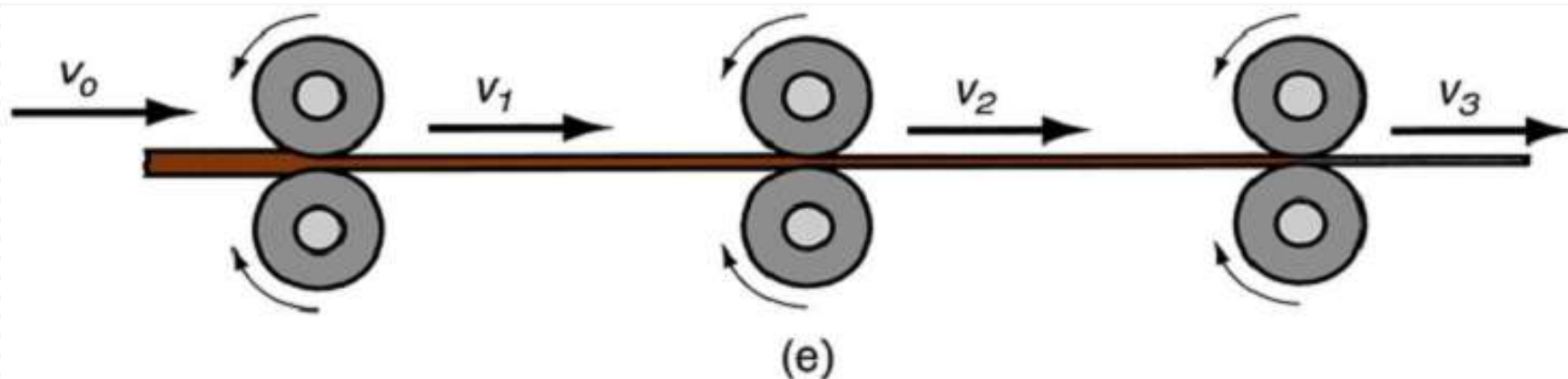
پیکربندی کلاستر



(d)

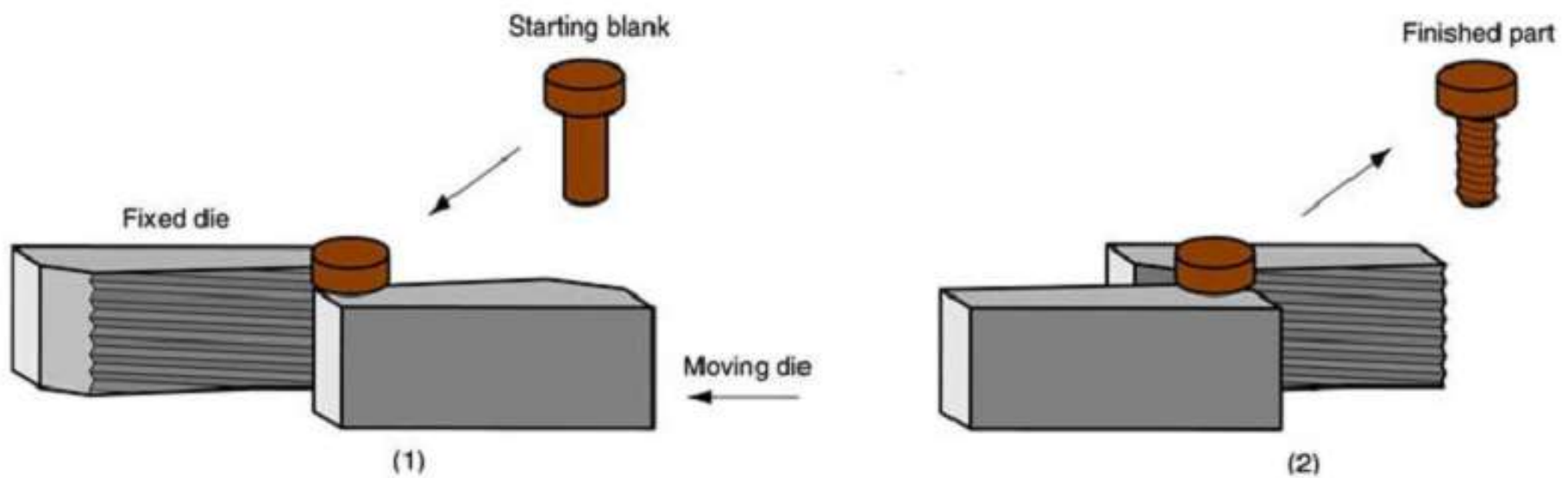
پیکربندی پشت سرهم

□ شامل چندین مرحله بوده که در هر مرحله مقداری از ضخامت کم می شود.



نورد رزوه

- در تولید انبوه پیچها کاربرد دارد.
- با انجام کار سرد رزوه ها تولید می شود.



نورد رزوه

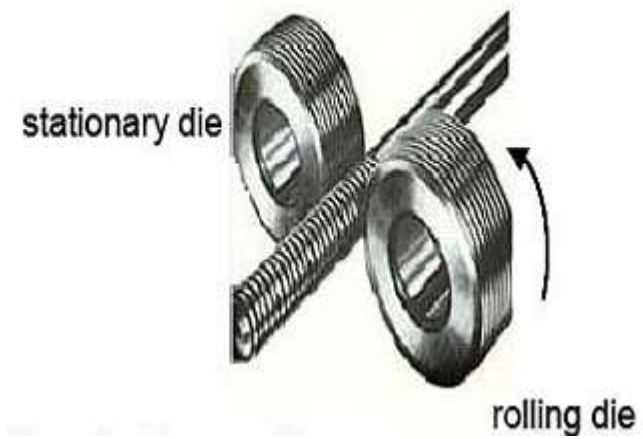
□ مزیت ها (نسبت به ماشینکاری):

□ نرخ تولید بالاتر

□ بکاگیری بهتر ماده

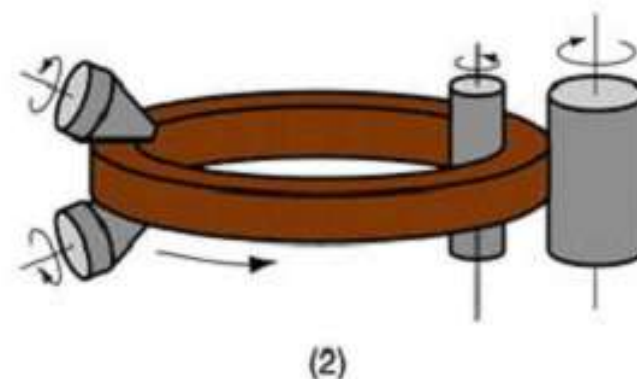
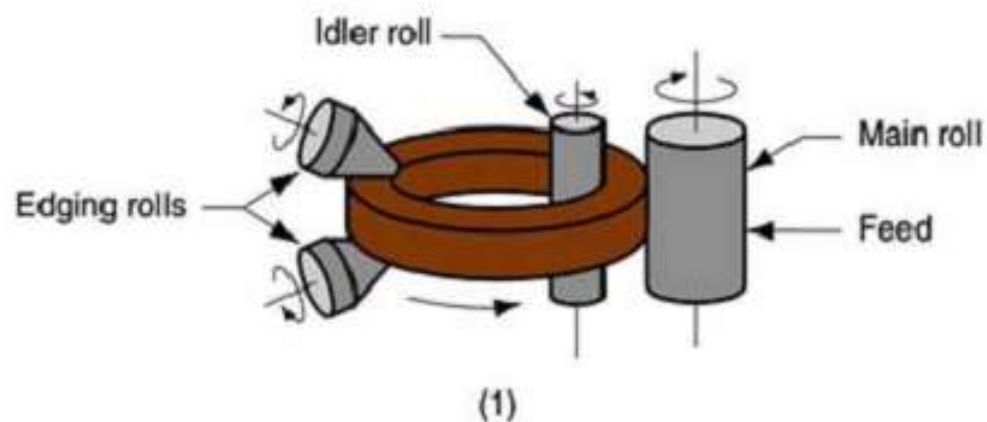
□ به خاطر کار سختی رزوه ها قویتر و مقاومت به خستگی بهتر است.

نورد رزوه

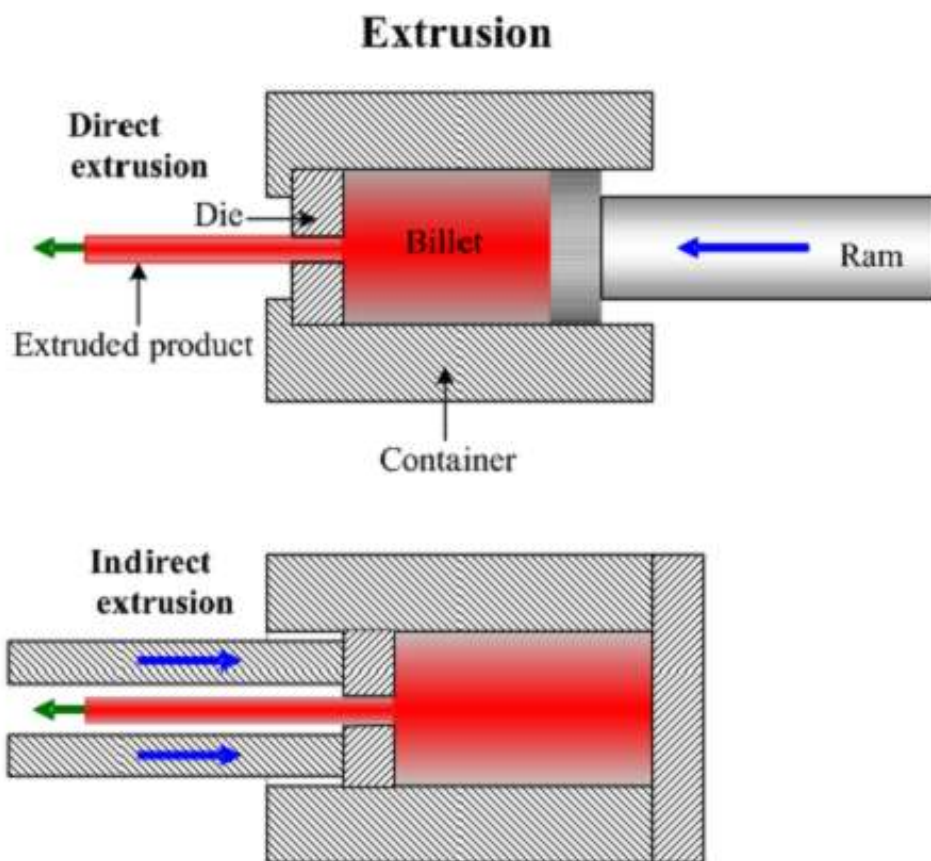


نورد رینگ

- در این روش ضخامت رینگ کاهش می یابد.
- برای رینگهای بزرگ از نورد گرم و رینگهای کوچک از نورد سرد استفاده میشود.



اکستروژن

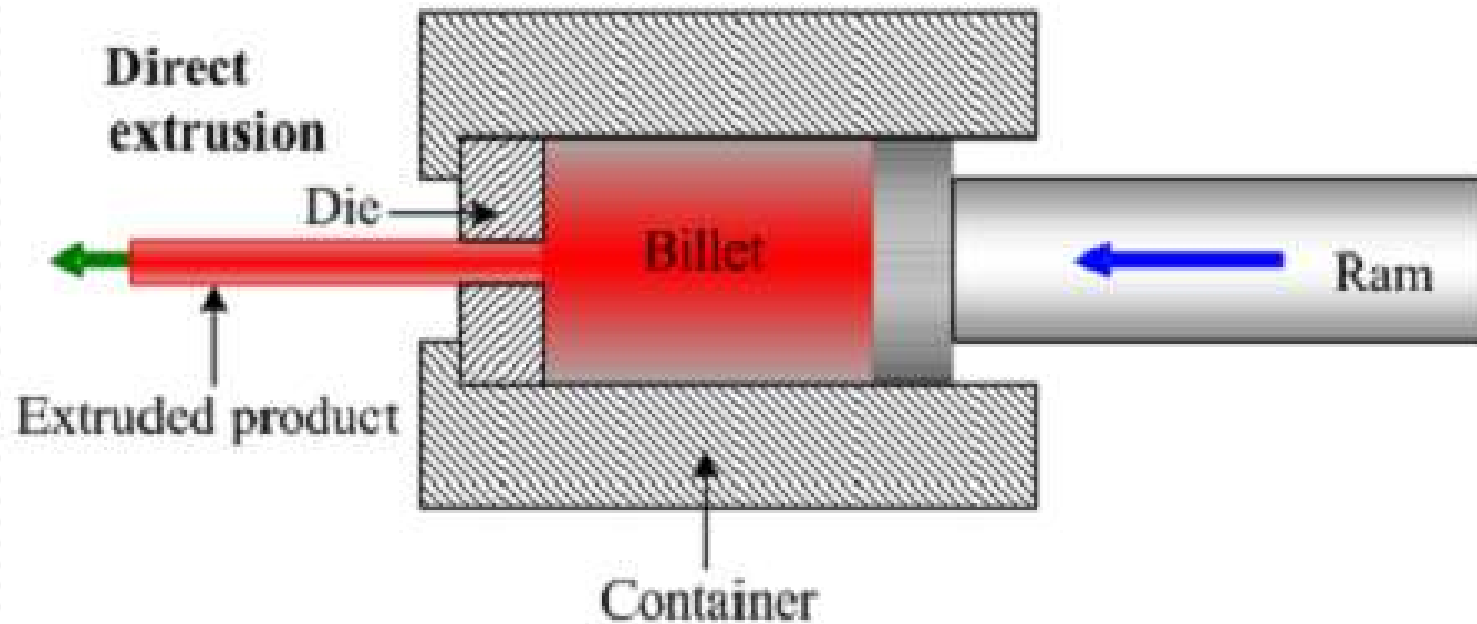


□ اکستروژن عبارتست از شکل دادن یک بیلت فلزی با عبور دادن آن از میان یک قالب.

□ اکستروژن به دو نوع: ۱- مستقیم و ۲- غیرمستقیم تقسیم بندی می شود.

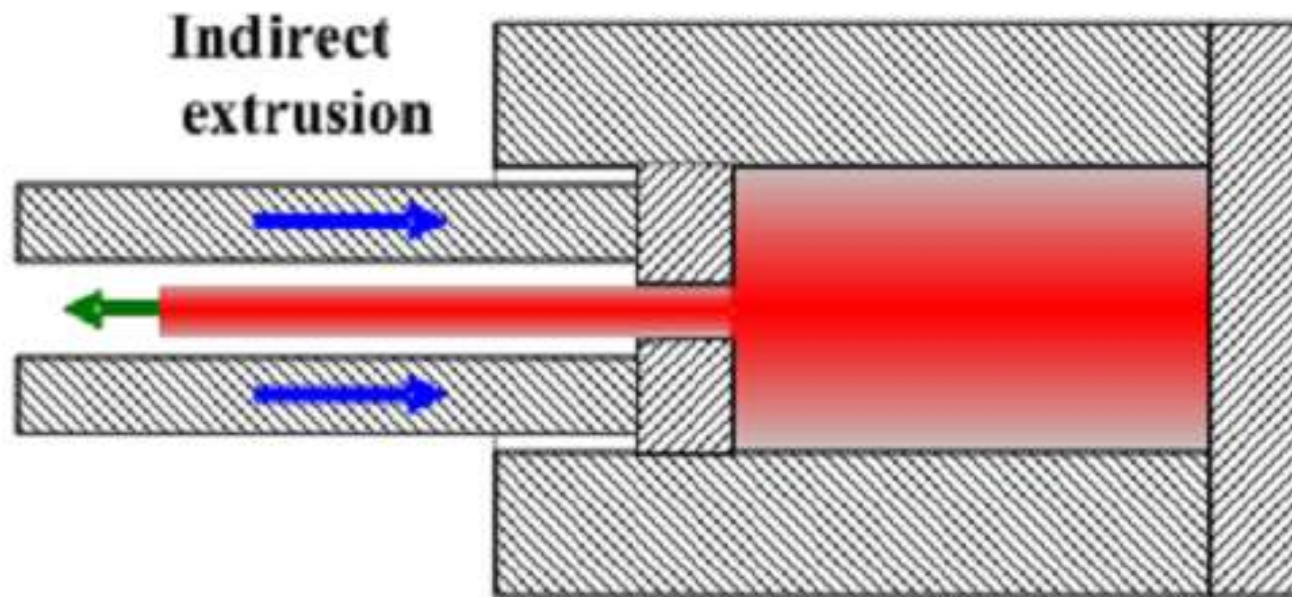
اکستروژن مستقیم

□ جهت حرکت پسیتون و قطعه فلزی یکی است.

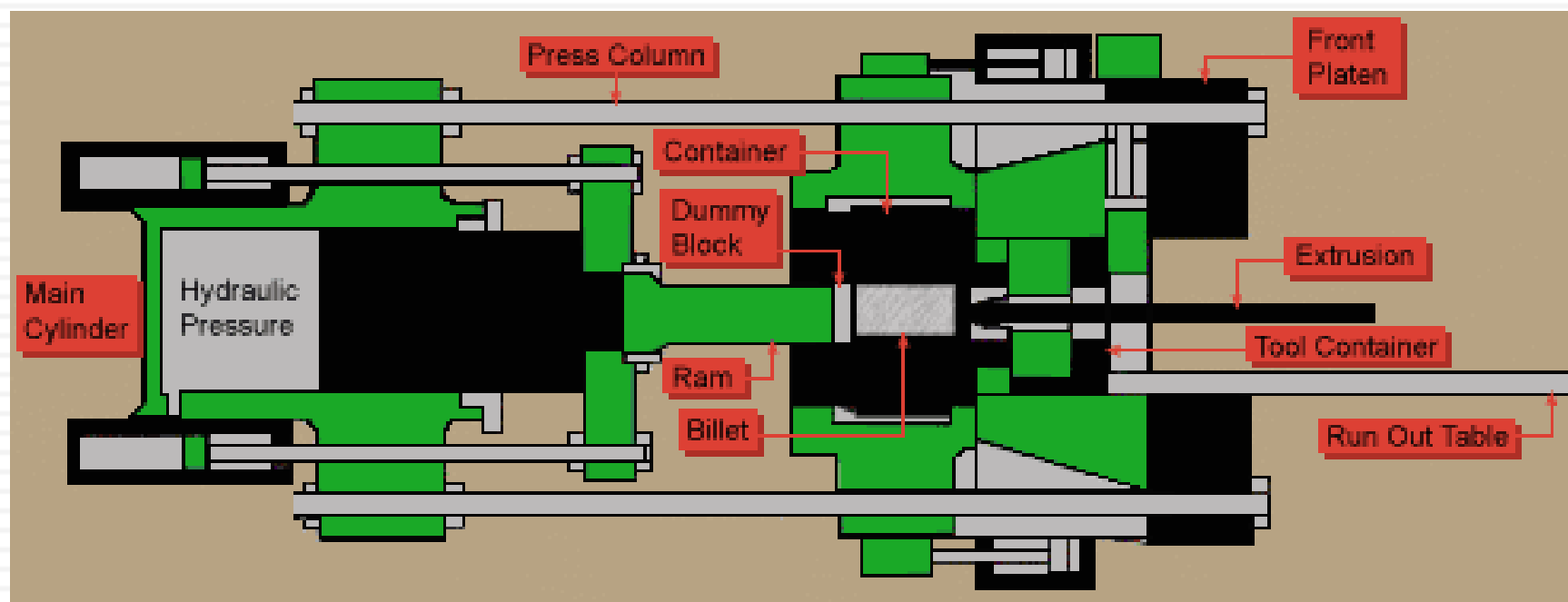


اکستروژن غیر مستقیم

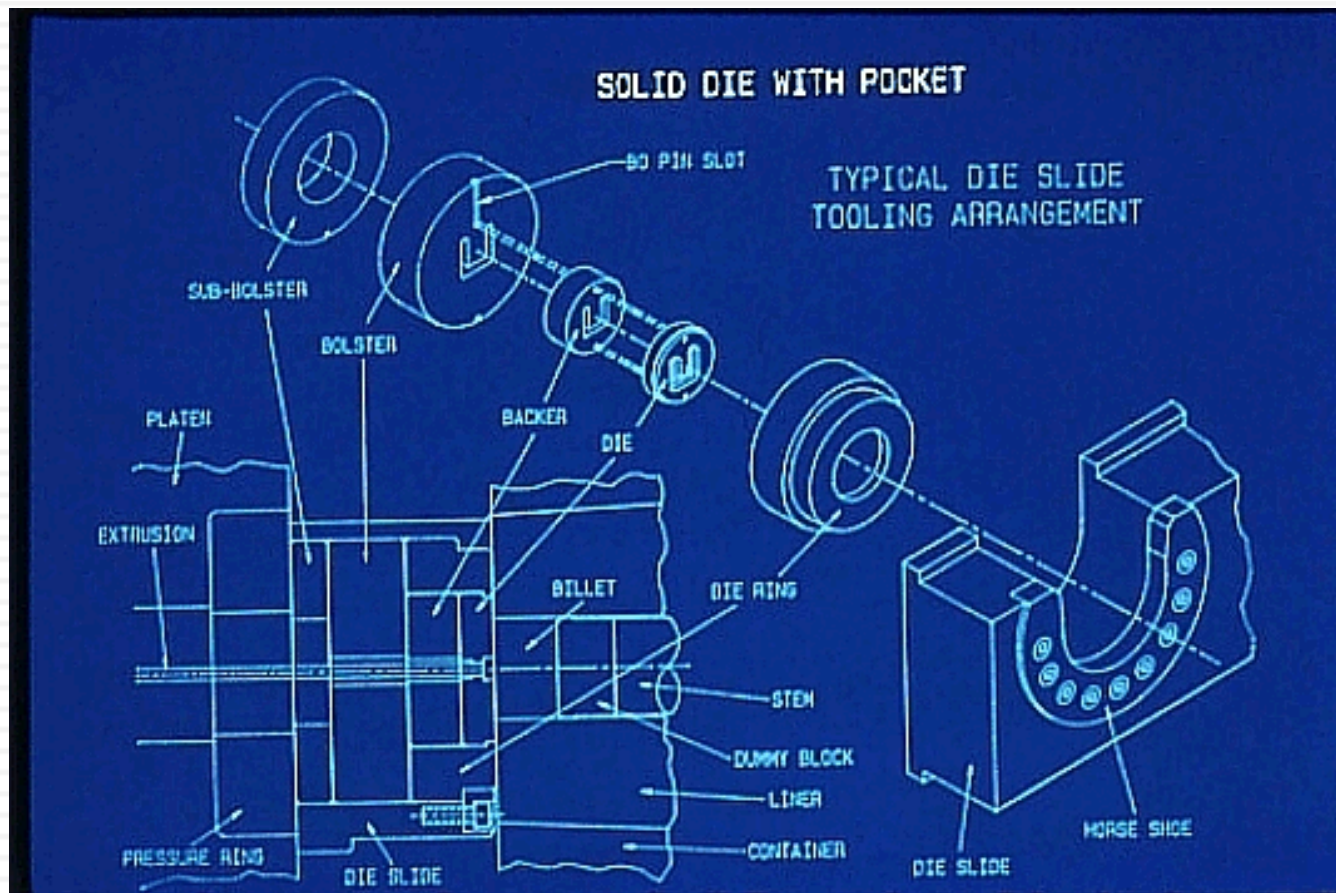
- جهت حرکت پسیتون و قطعه فلزی خلاف هم است.
- به خاطر کمتر بودن اصطکاک نیروی اکستروژن در این روش کمتر از روش مستقیم است.



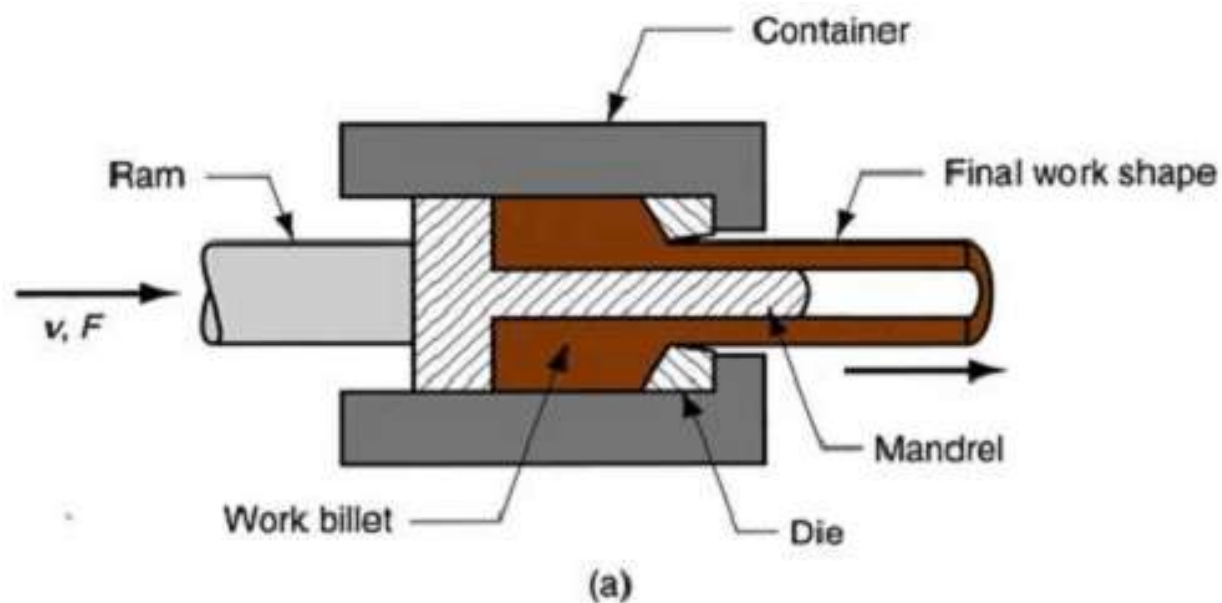
ماشین اکستروژن افقی



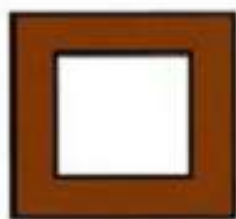
قالب اكستروژن



اکستروژن قطعات توخالی



(b)



(c)



نسبت اکستروژن

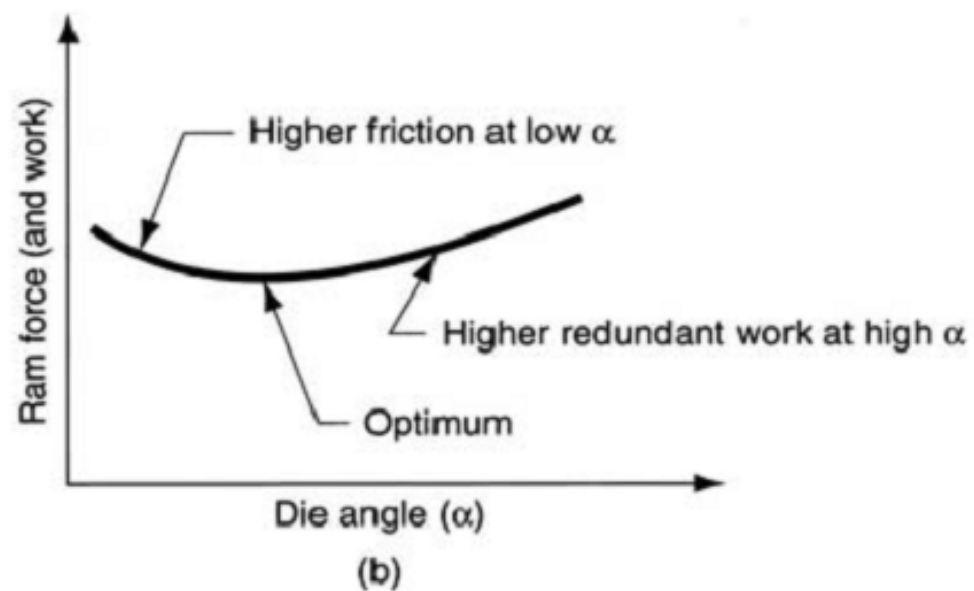
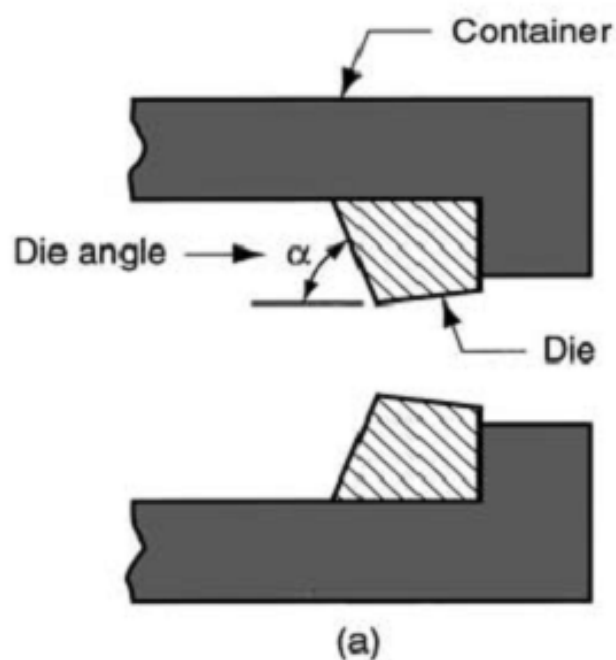
$$r_x = \frac{A_0}{A_f}$$

r_x : نسبت کاهش:

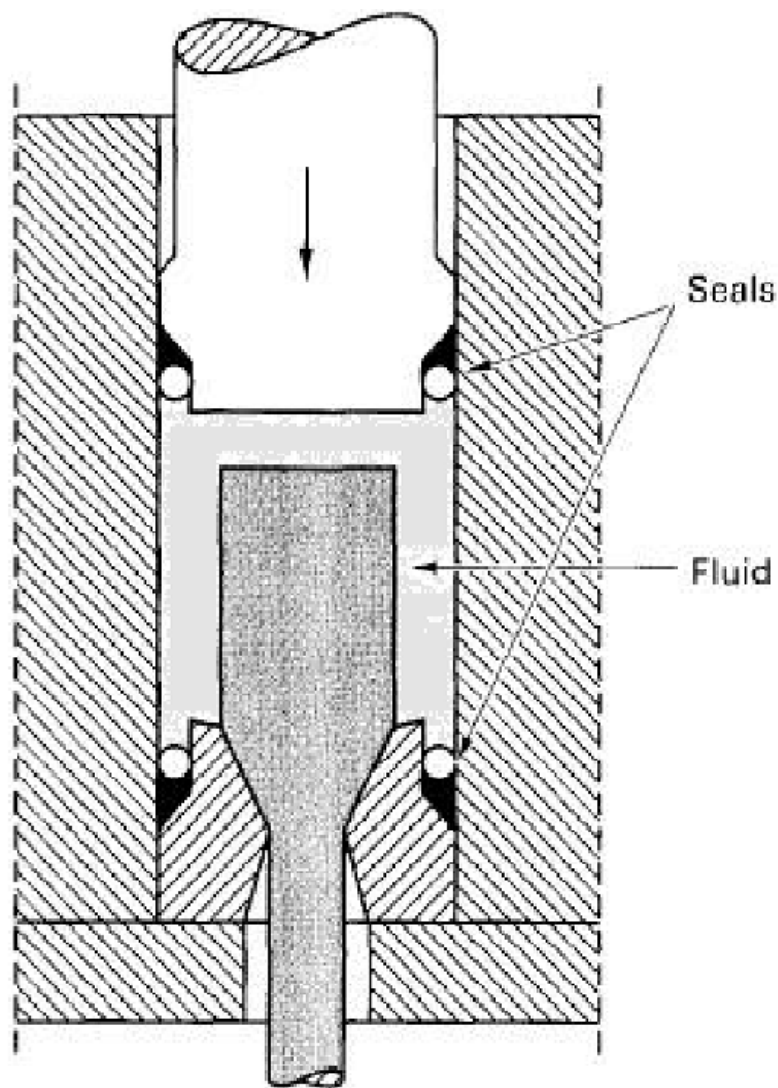
A_0 : سطح مقطع اولیه بیل:

A_f : سطح مقطع نهایی قطعه اکستروود شده:

زاویه قالب و اثر آن بر نیروی اکستروژن



اکستروژن هیدرواستاتیک



□ مزایا:

۱. کاهش اصطکاک بین بیلت و قالب
۲. افزایش اعطاف پذیری: در اثر فشار هیدرو استاتیک ترکها بسته می شوند.
۳. بصورت سرد انجام می شود.

□ معایب:

۱. نیاز به آب بندی قوی
۲. به علت بالا بودن فشار (بین ۹۰۰ تا ۱۷۰۰ مگاپاسکال) باید محفظه قوی باشد.
۳. امکان افزایش حرارت و دما و تجزیه و بخار سیال

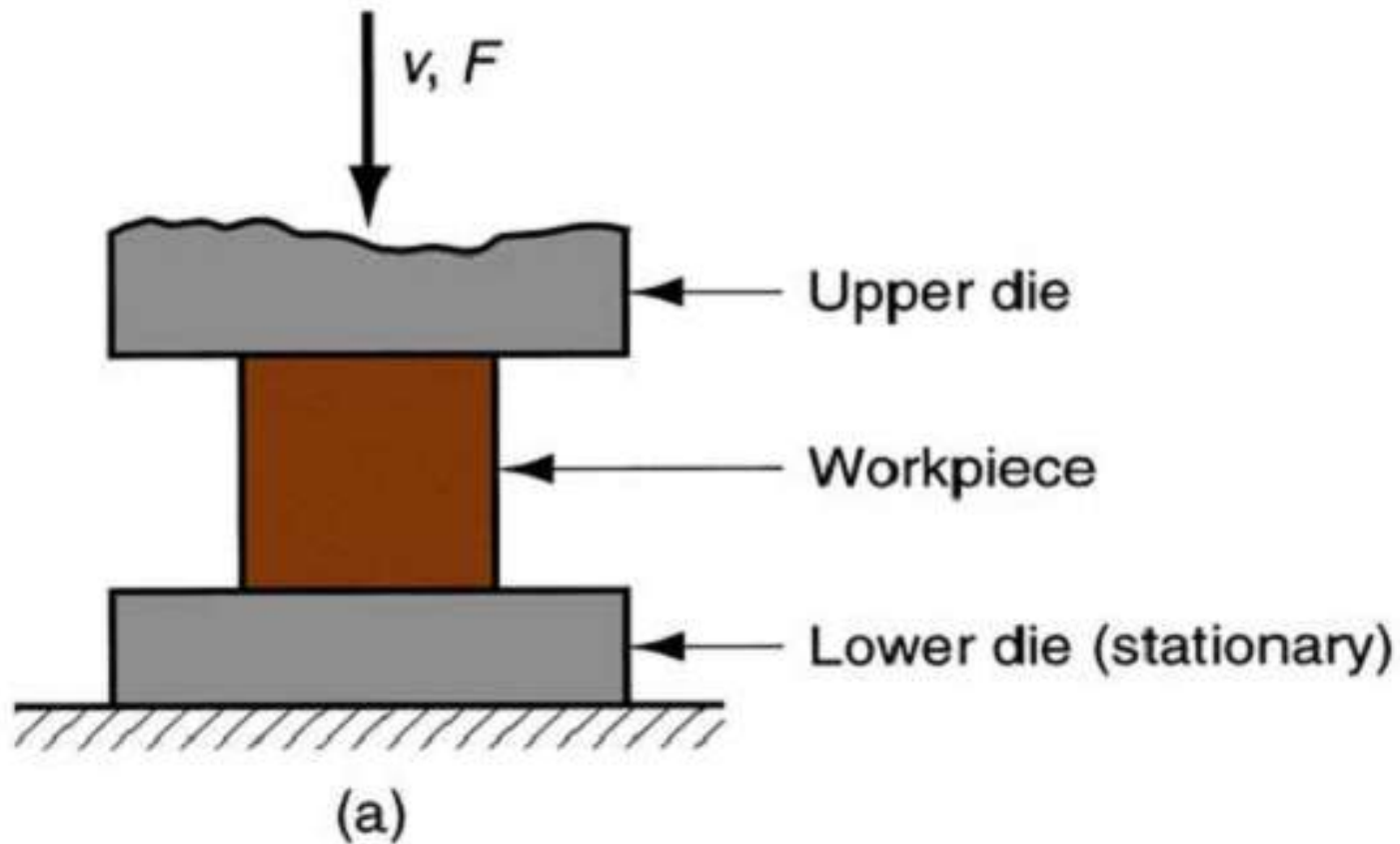
فورجینگ (آهنگری)



□ فورجینگ یک فرآیند
شکل دهی فشاری
برای ایجاد شکل‌های
متنوع در قطعه فلزی
توسط چکش است.

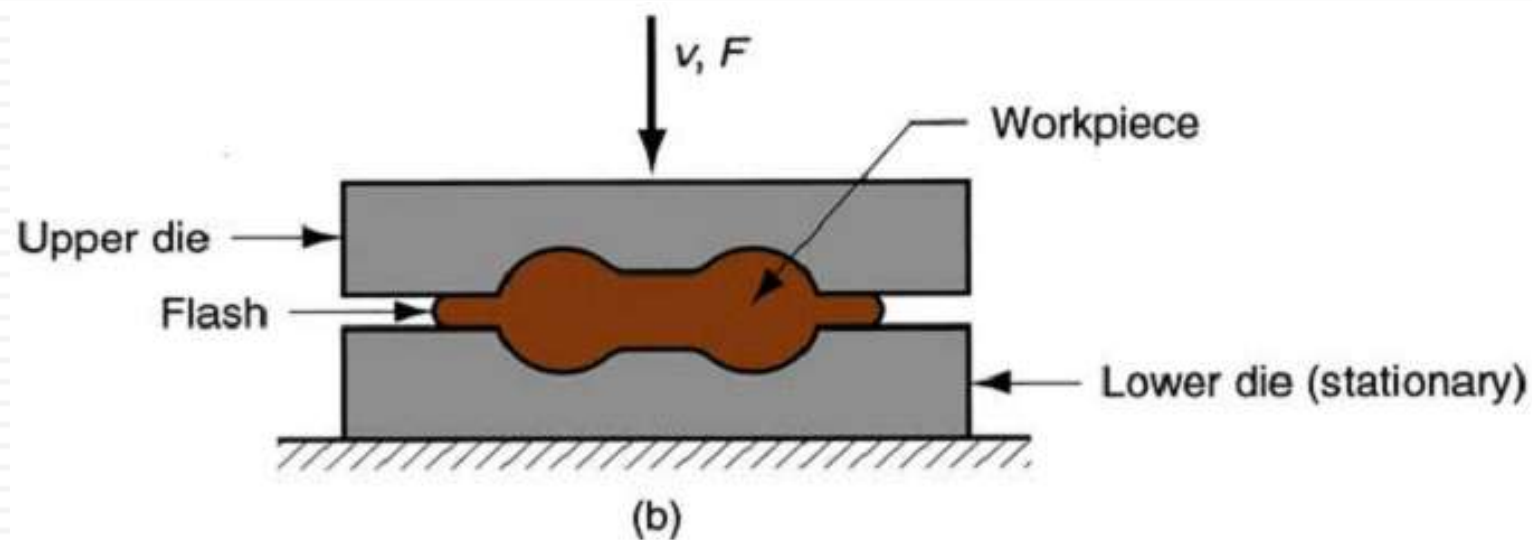
انواع قالب فورج

□ قالب باز :



انواع قالب فورج

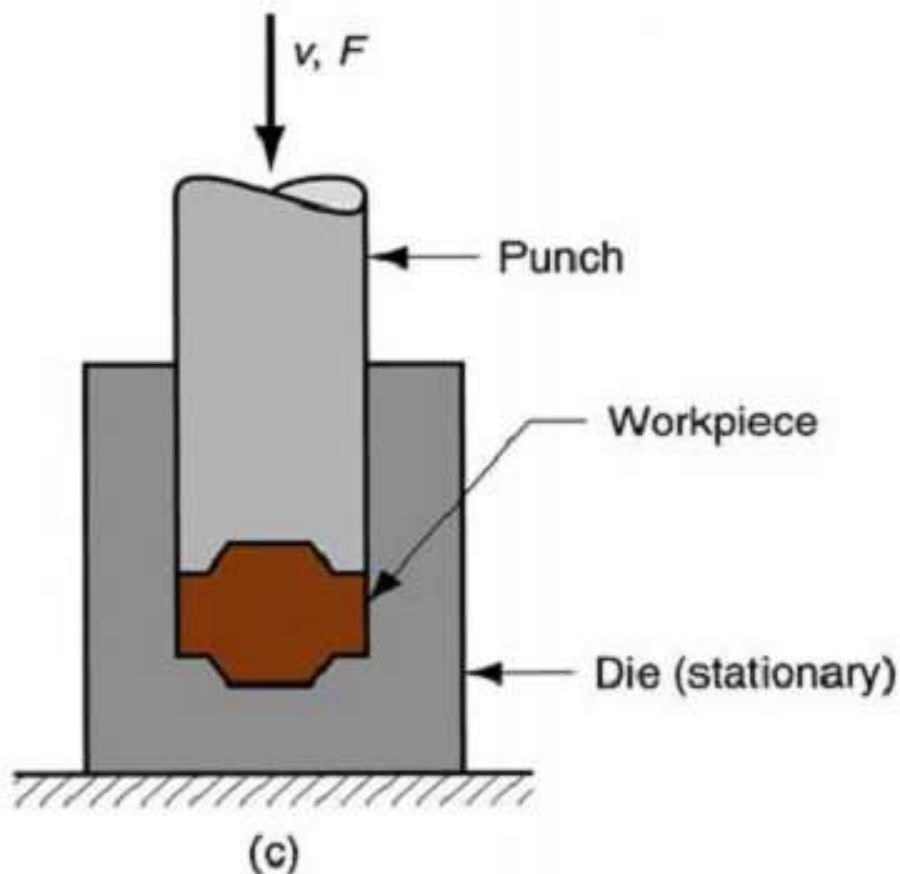
□ قالب بسته:



انواع قالب فورج

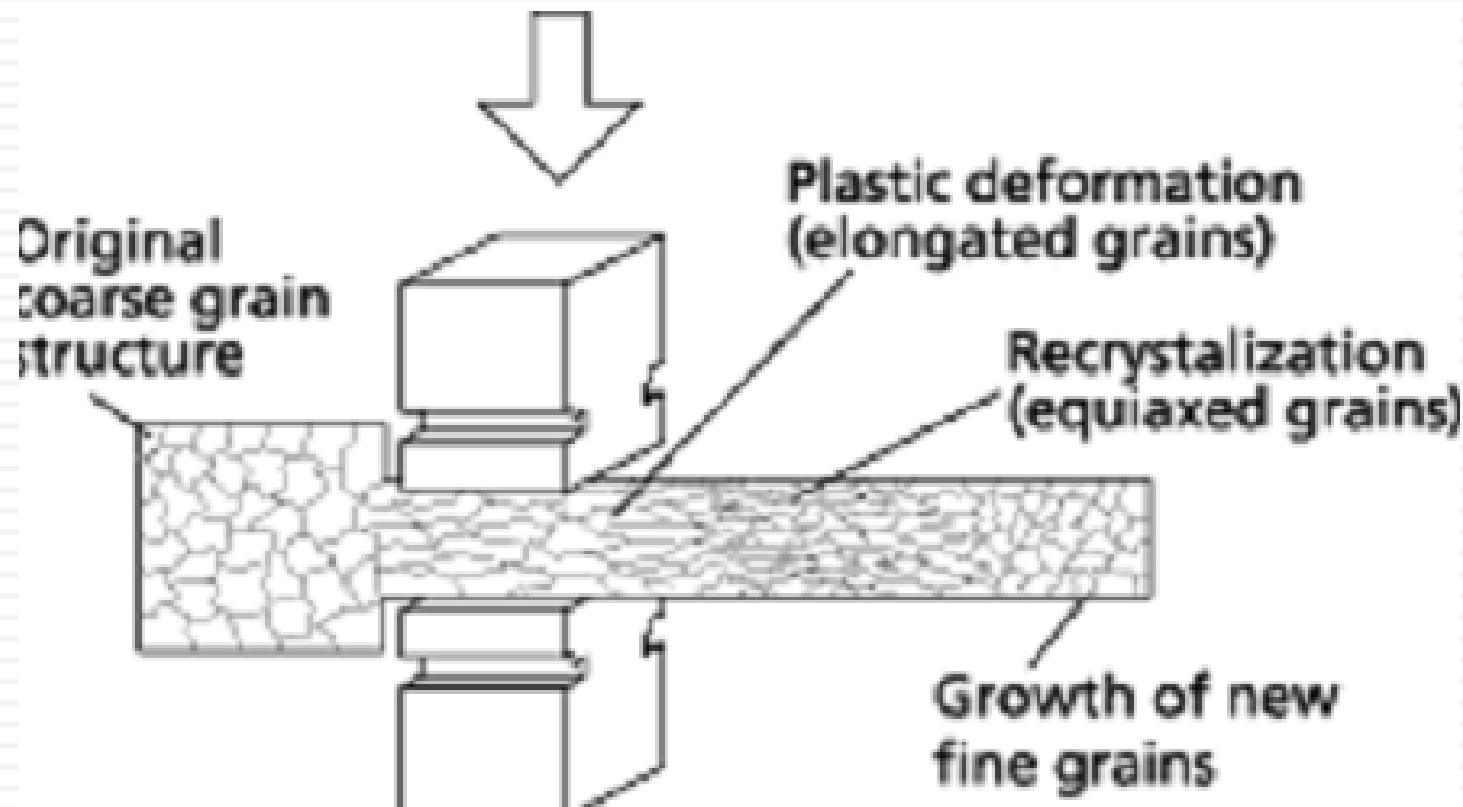
□ بدون پلیسه:

□ وجود نبود پلیسه در این روش
مزیت است اما نبود پلیسه نیز
دارای عیب است زیرا وجود پلیسه
و سرد شدن سریع آن نیروی
فورج بیشتری طلب کرده در
نتیجه منجر به پرشدن همه
گوشه های قالب می شود.



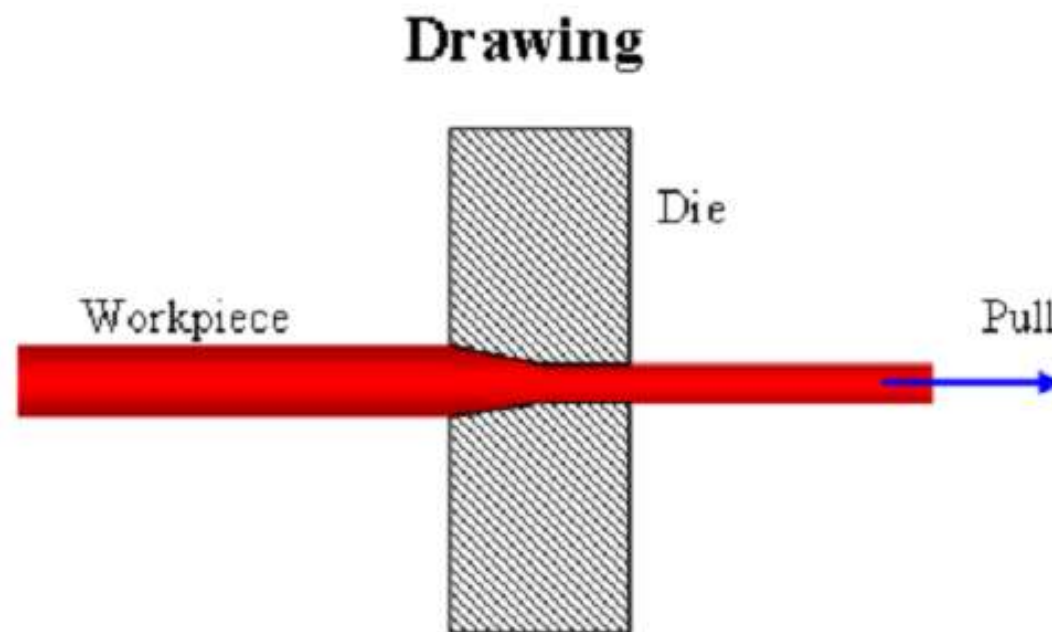
کیفیت قطعات فورج

□ روش فورج باعث تولید قطعات با استحکام و چقرمگی بالا می شود. زیرا در این روش دانه ها ریز شده (در حد چند میکرون) و در راستای حرکت ماده جهت گیری می شوند.

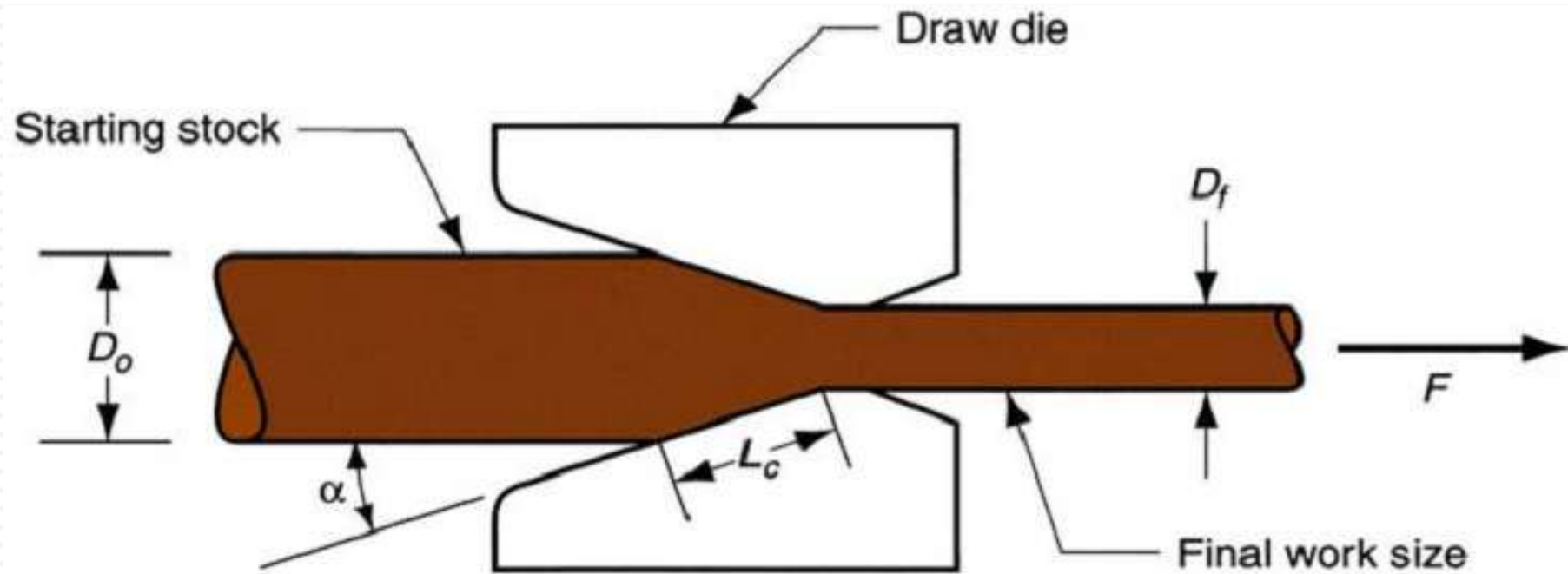


کشش (کشش سیم)

- این روش بزور عمده برای تولید سیم و قطعات گرد استفاده می شود.
- جنس قالبها از فولاد ابزار یا تنگستن کارباید است. برای تولید شیمهای خیلی نازک از قالبهای الماسی استفاده می شود. کشش بصورت سرد و گرم است.
- حداکثر کاهش قطر سیم می تواند ۶۳٪ باشد.



کشش سیم



نسبت کاهش سطح مقطع و زاویه بهینه قالب

$$r = \frac{A_0 - A_f}{A_0}$$

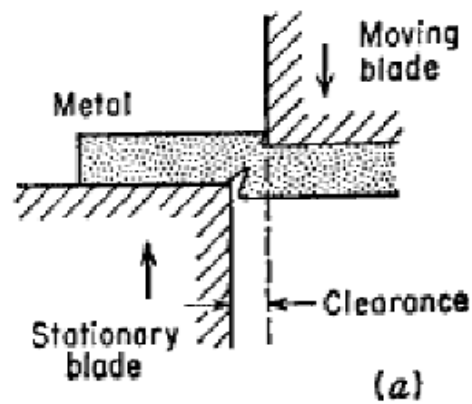
$$\alpha_{opt} = \left(\frac{3}{2} \mu \ln \frac{1}{1-r} \right)^{1/2}$$

فرم دهی ورق

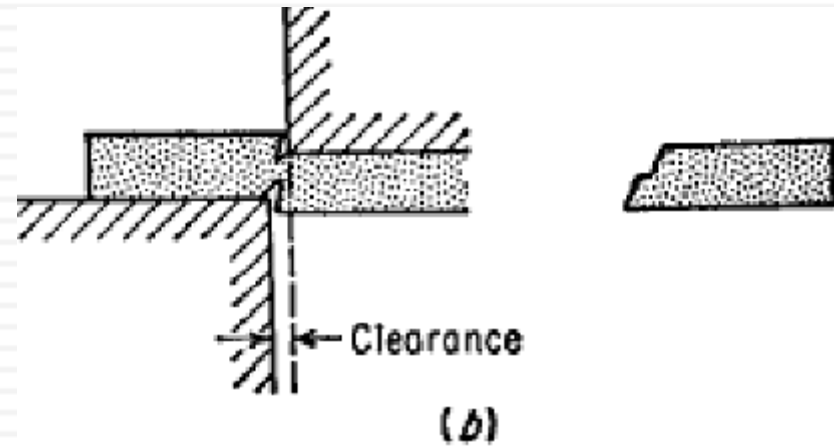
- برشکاری (Shearing)
- سوراخ زنی (Punching)
- گرده زنی (Blanking)
- اصلاح (Trimming)
- نیشتر زنی (Lancing)
- پرداختکاری (Shaving)
- خمکاری (Bending)
- کشش عمیق (Deep drawing)
- کاسگری (Spinning)
- هیدروفرمینگ (Hydroforming)
- فرم دهی مغناطیسی (Magnetic Forming)
- شکل ، دهی ، انفجاری ، (Explosive forming)

برشکاری

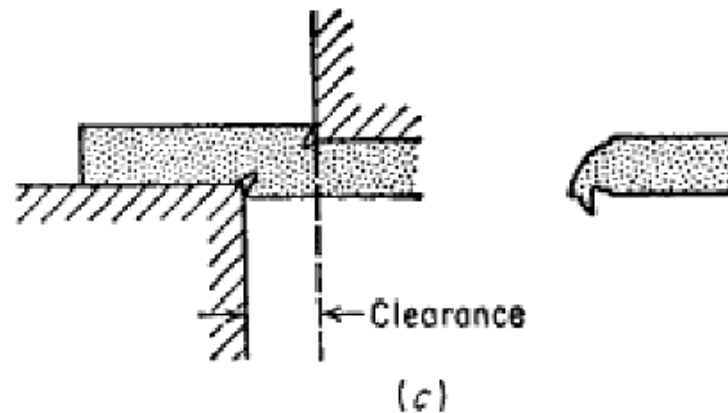
برشکاری با لقی مناسب



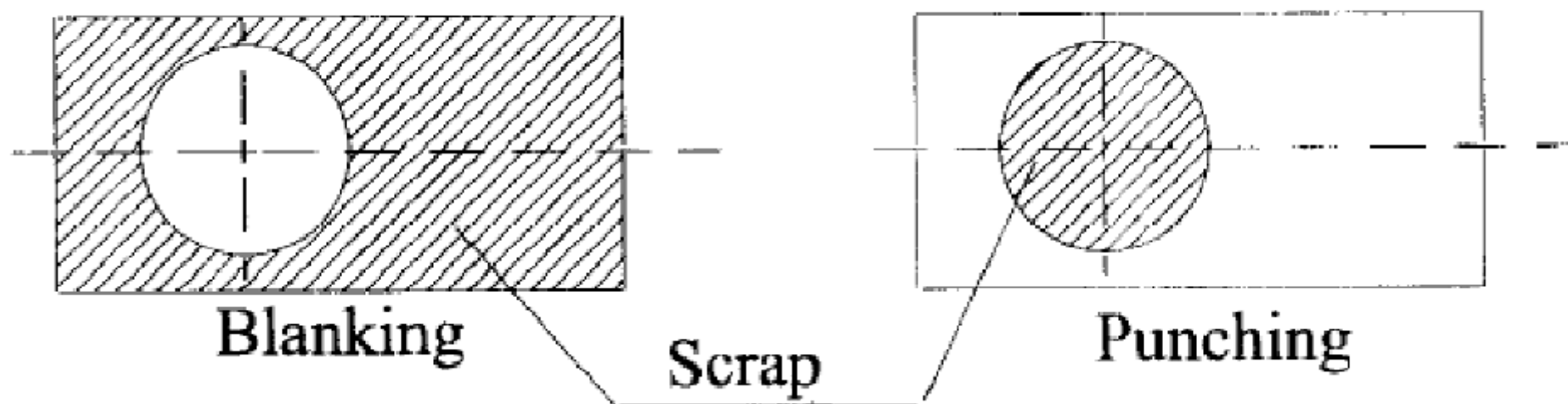
برشکاری با لقی کم



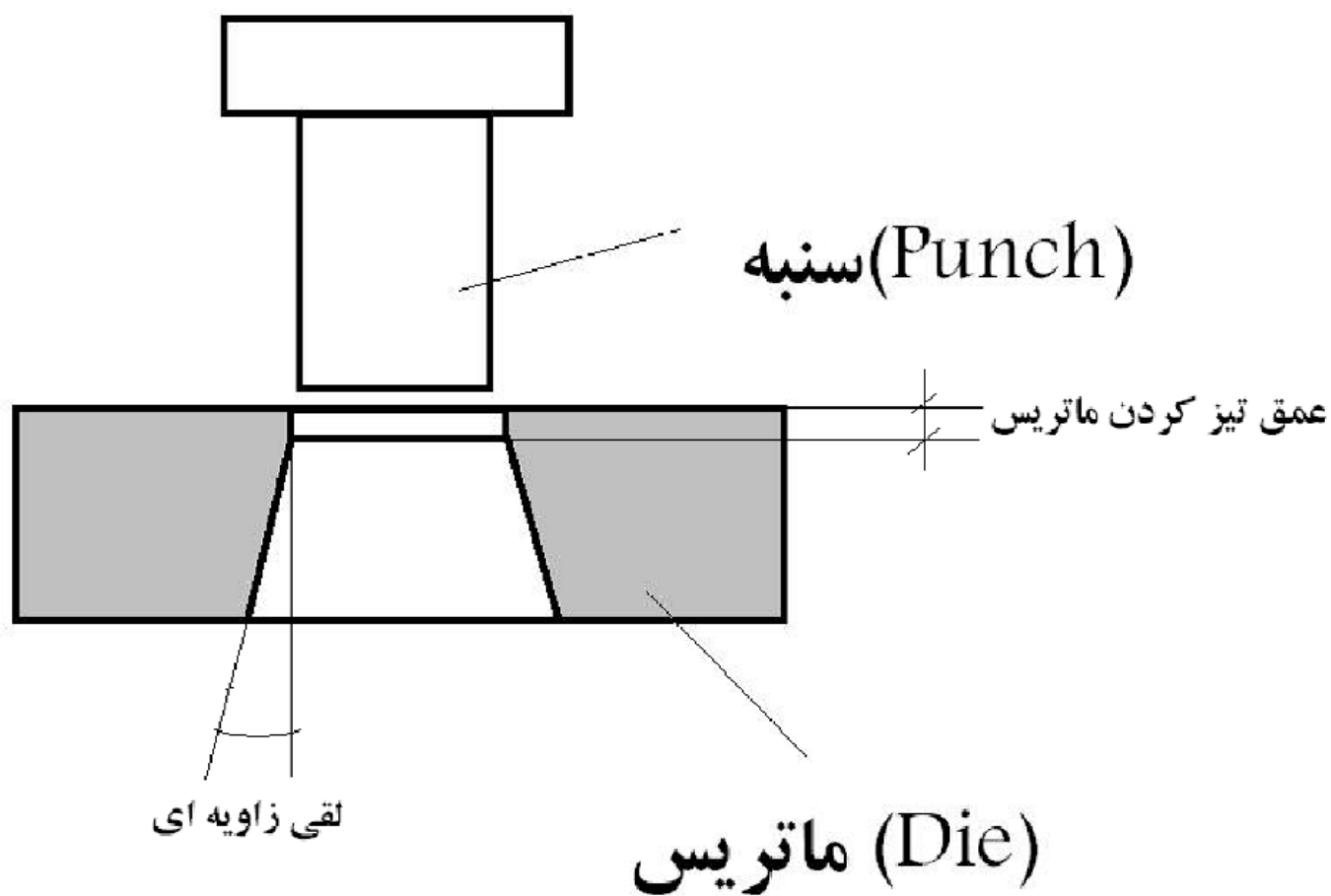
برشکاری با لقی زیاد



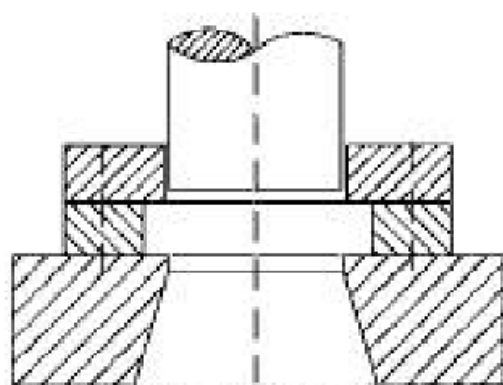
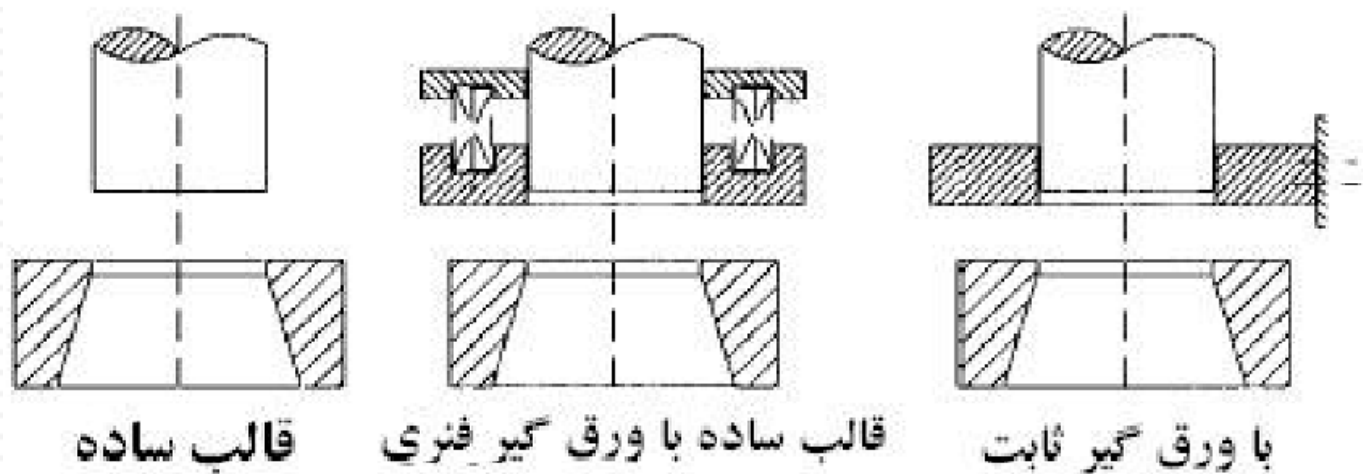
سوراخ کاری و گرده زنی



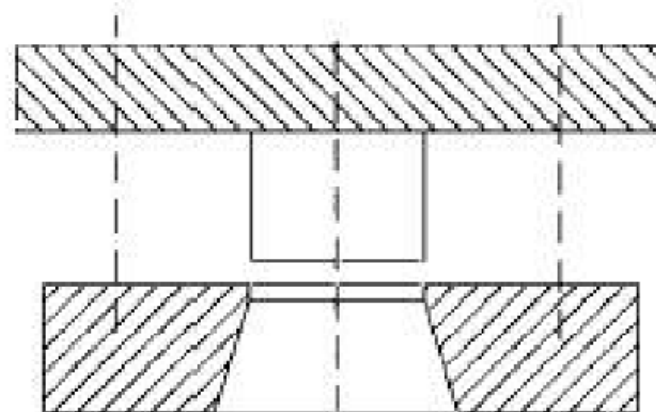
دو جزء اصلی قالبهای ورق کاری



نحوه قرار گیری انواع سنبه و ماتریس در ورقکاری

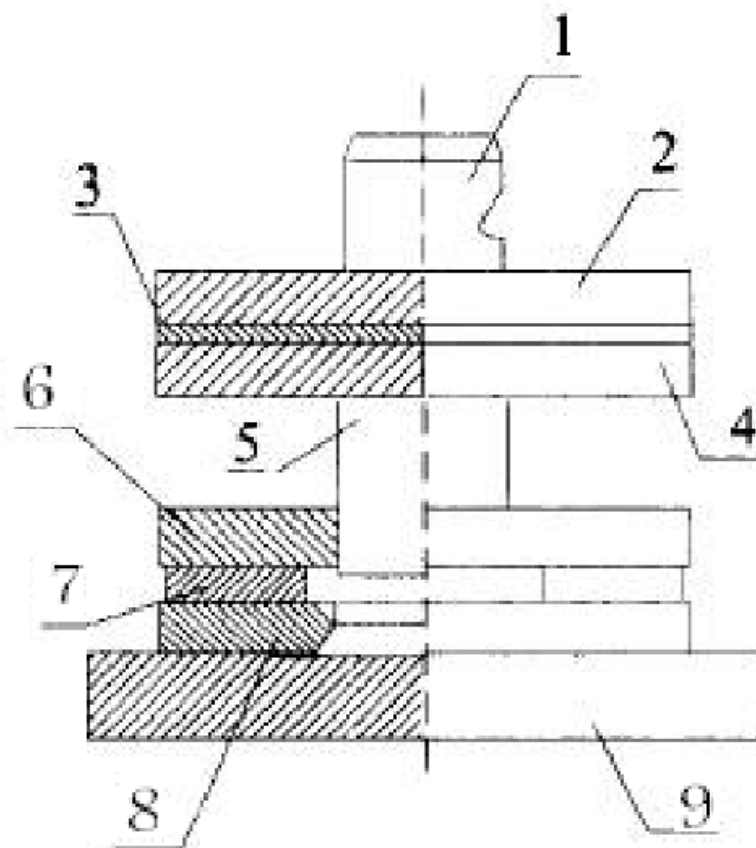


با صفحه راهنما



با کفشک راهنما دار

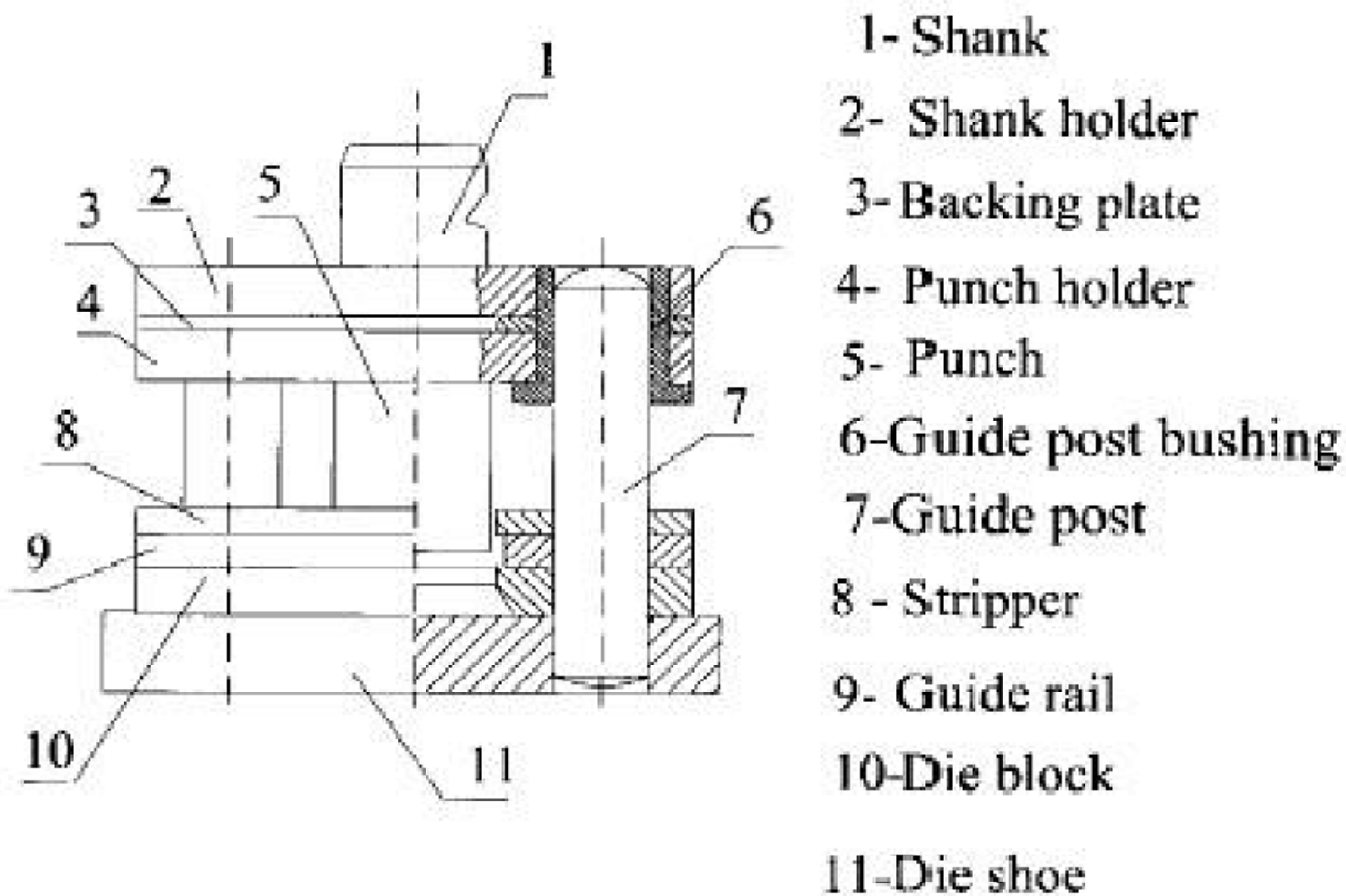
اجزاء مختلف قالب ورقکاری با راهنمای ساده



- 1- Shank
- 2- Shank holder
- 3- Backing plate
- 4- Punch holder
- 5- Punch
- 6- Guide rail
- 7- Guide plate
- 8- Die block
- 9- Die shoe

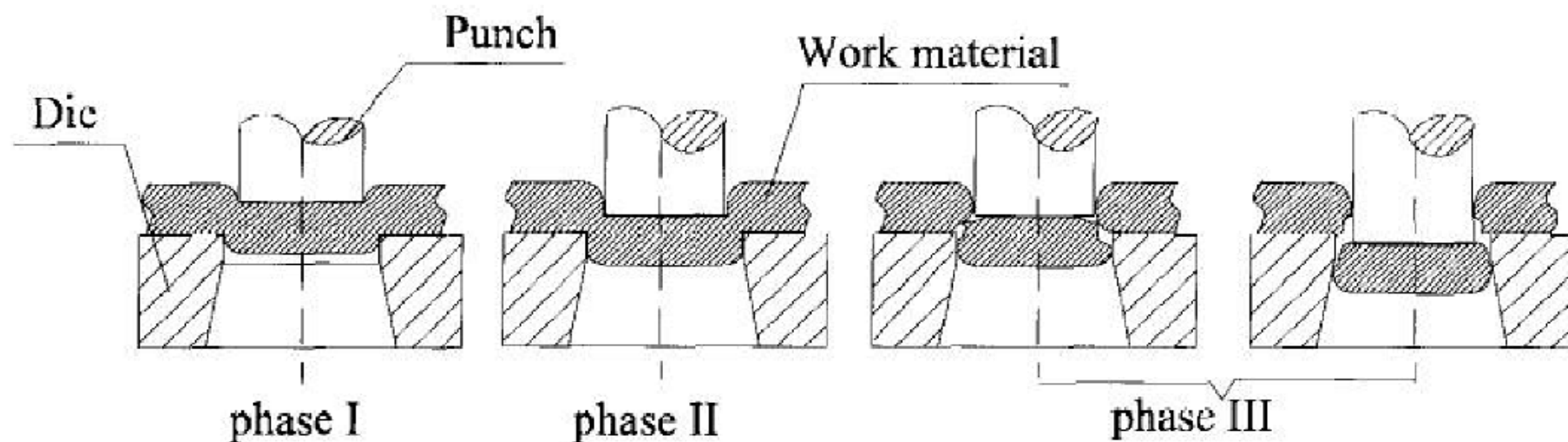
Die with guide plate

اجزاء یک قالب ورقکاری با میل راهنما

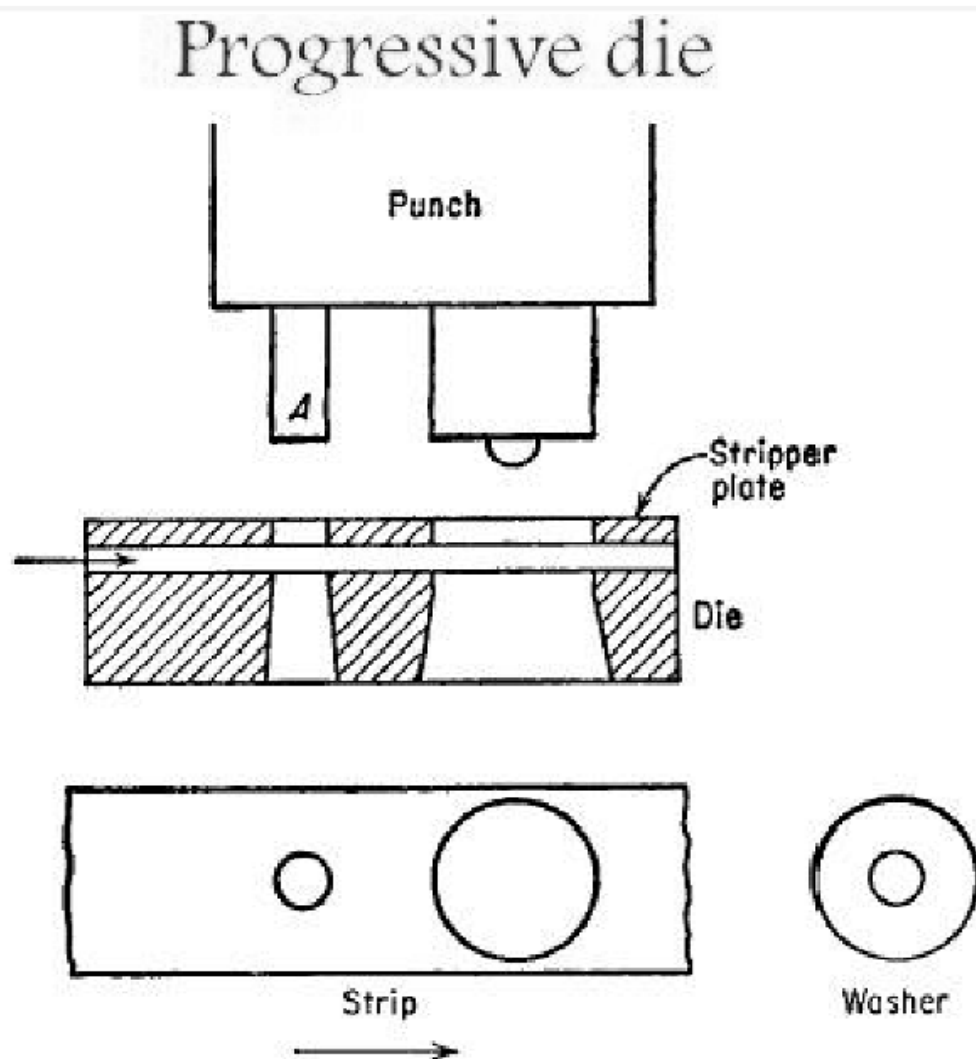


Die with guide post and guide post bushing.

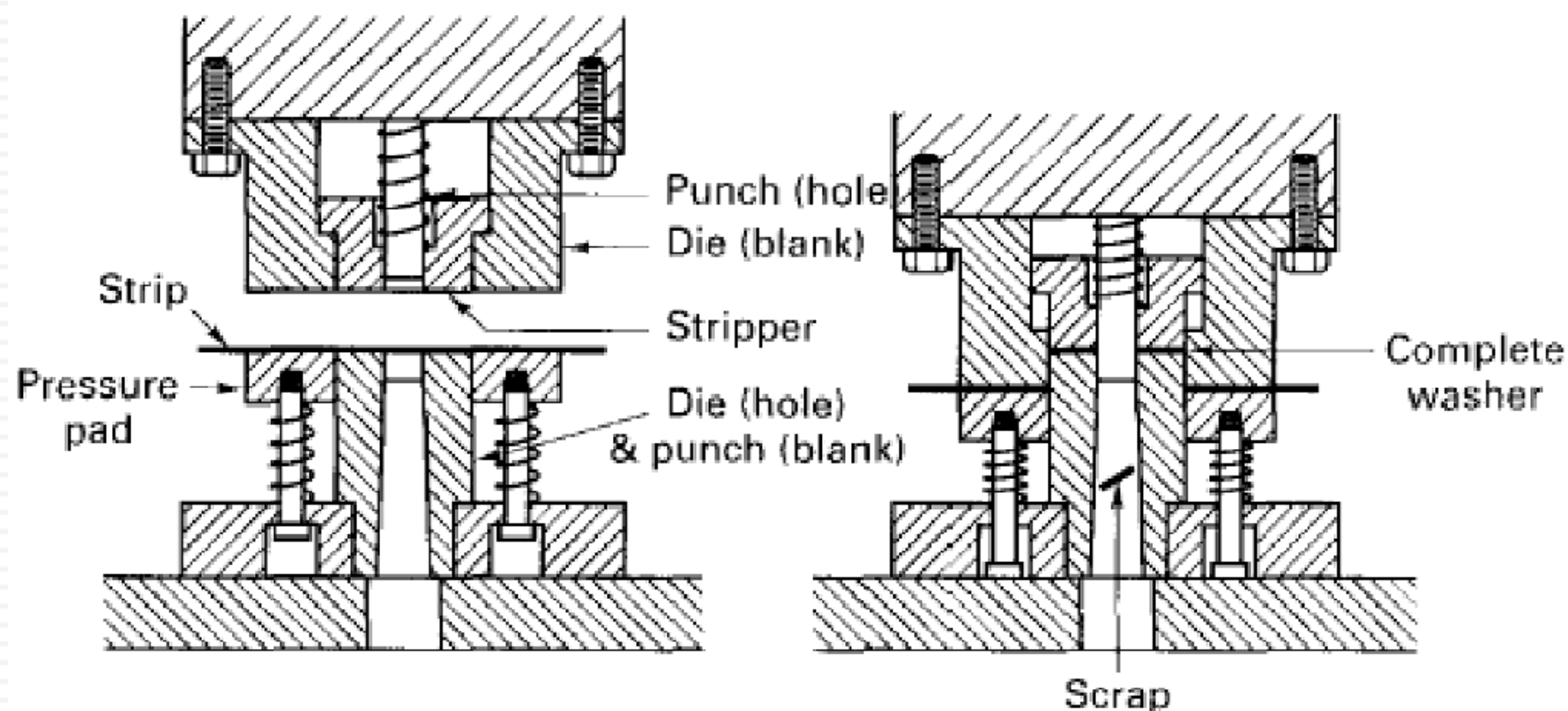
مراحل مختلف سوراخکاری ورق



قالب مرحله ای سوراخ زنی و گرده زنی تولید واکشر



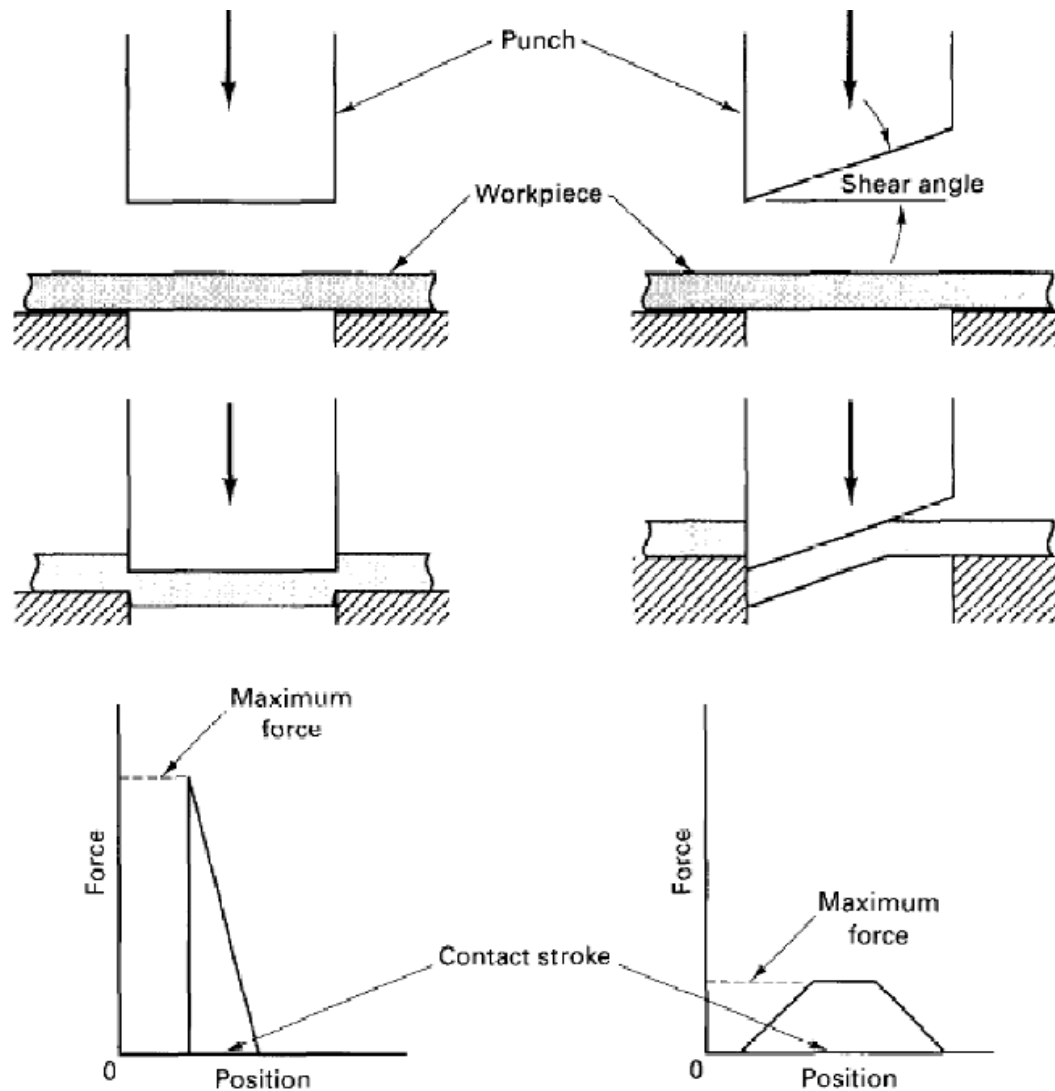
قالب مرکب و اشتر زنی



جدول انتخاب لقی

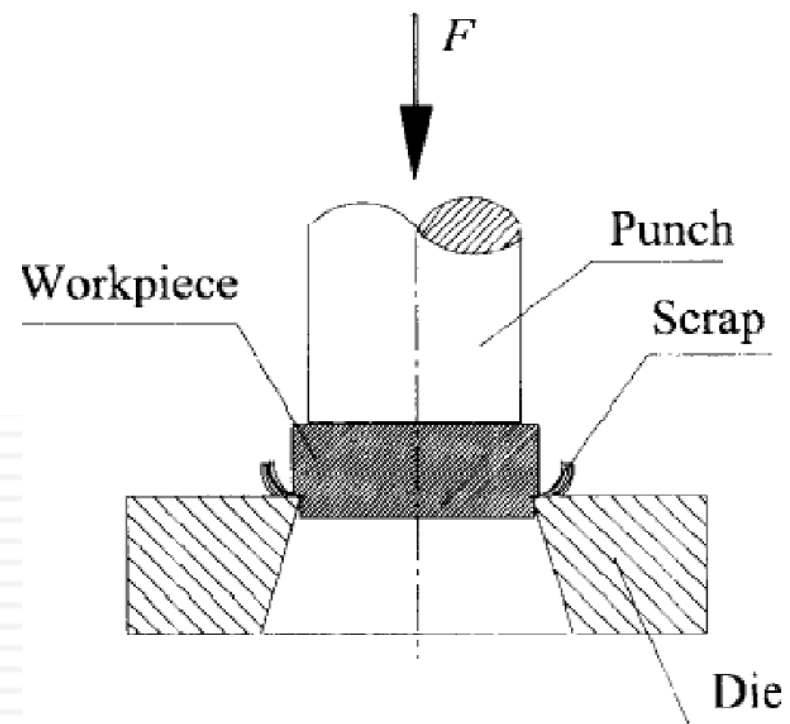
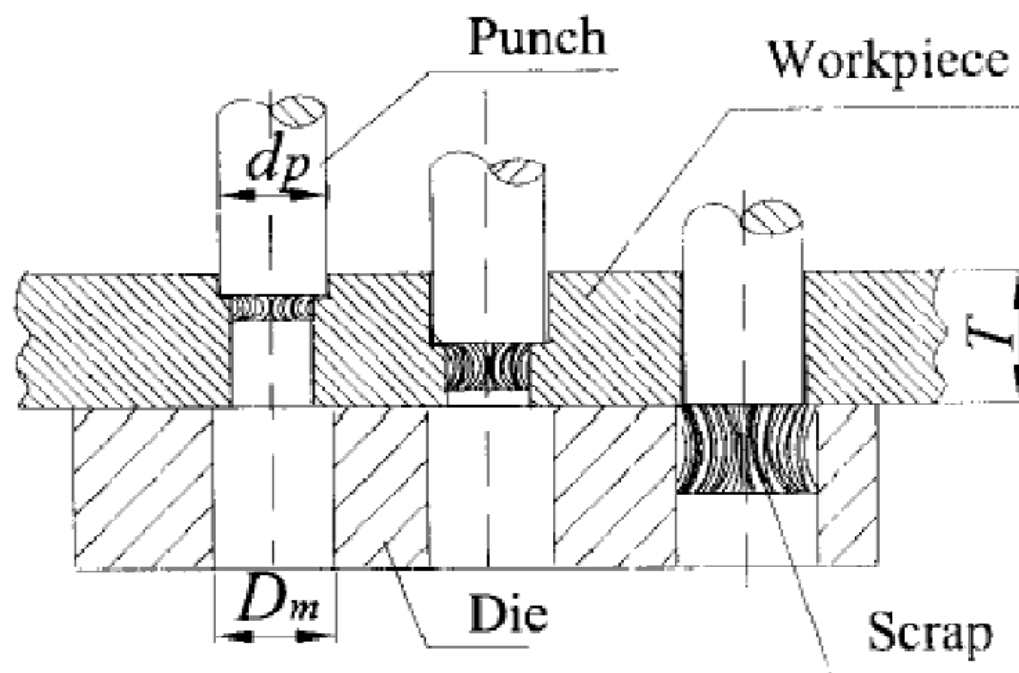
Material thickness T (mm)	M A T E R I A L			
	Low carbon steel, copper and brass	Medium steel 0.20% to 0.25% carbon	Hard steel 0.40% to 0.60% carbon	Aluminum
0.25	0.01	0.015	0.02	0.01
0.50	0.025	0.03	0.035	0.05
1.00	0.05	0.06	0.07	0.10
1.50	0.075	0.09	0.10	0.015
2.00	0.10	0.12	0.14	0.20
2.50	0.13	0.15	0.18	0.25
3.00	0.15	0.18	0.21	0.28
3.50	0.18	0.21	0.25	0.35
4.00	0.20	0.24	0.28	0.40
4.50	0.23	0.27	0.32	0.45
4.80	0.24	0.29	0.34	0.48
5.00	0.25	0.30	0.36	0.50

زاویه دار کردن سنبه و ماتریس برای کاهش نیرو

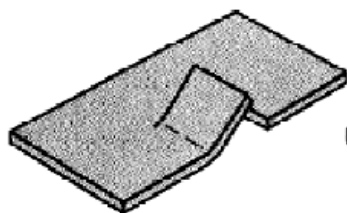
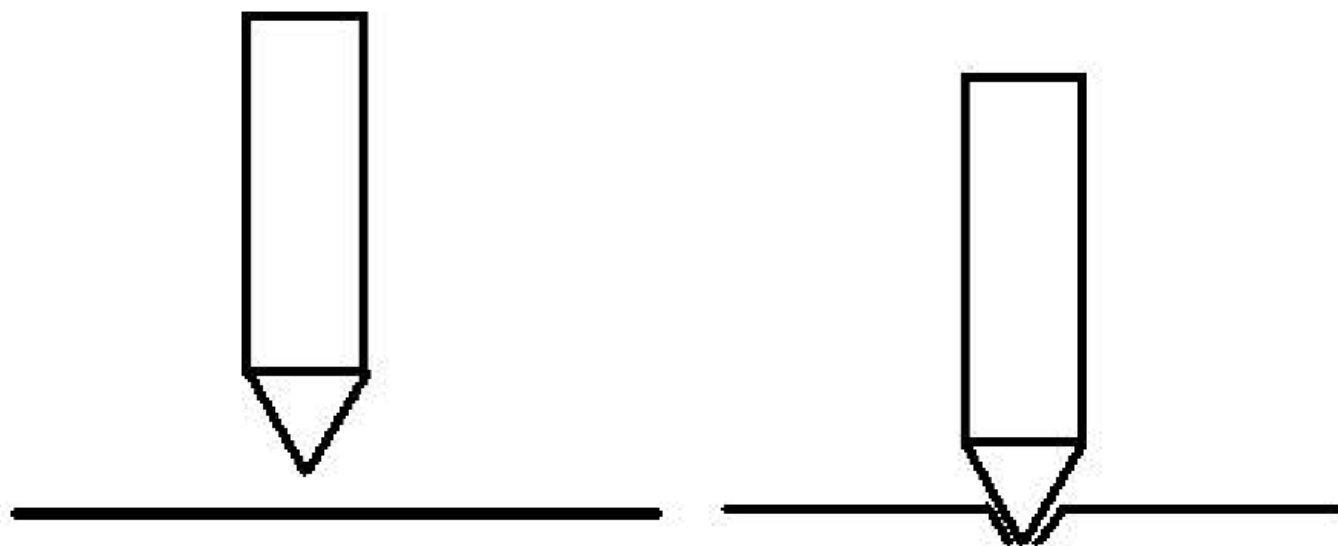


پر داختکاری

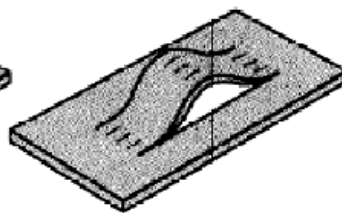
□ لقی تقریبا صفر است.



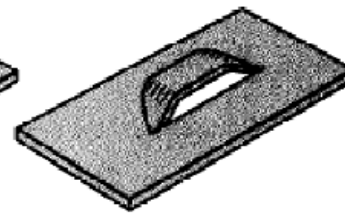
نیشتر زنی



(a)

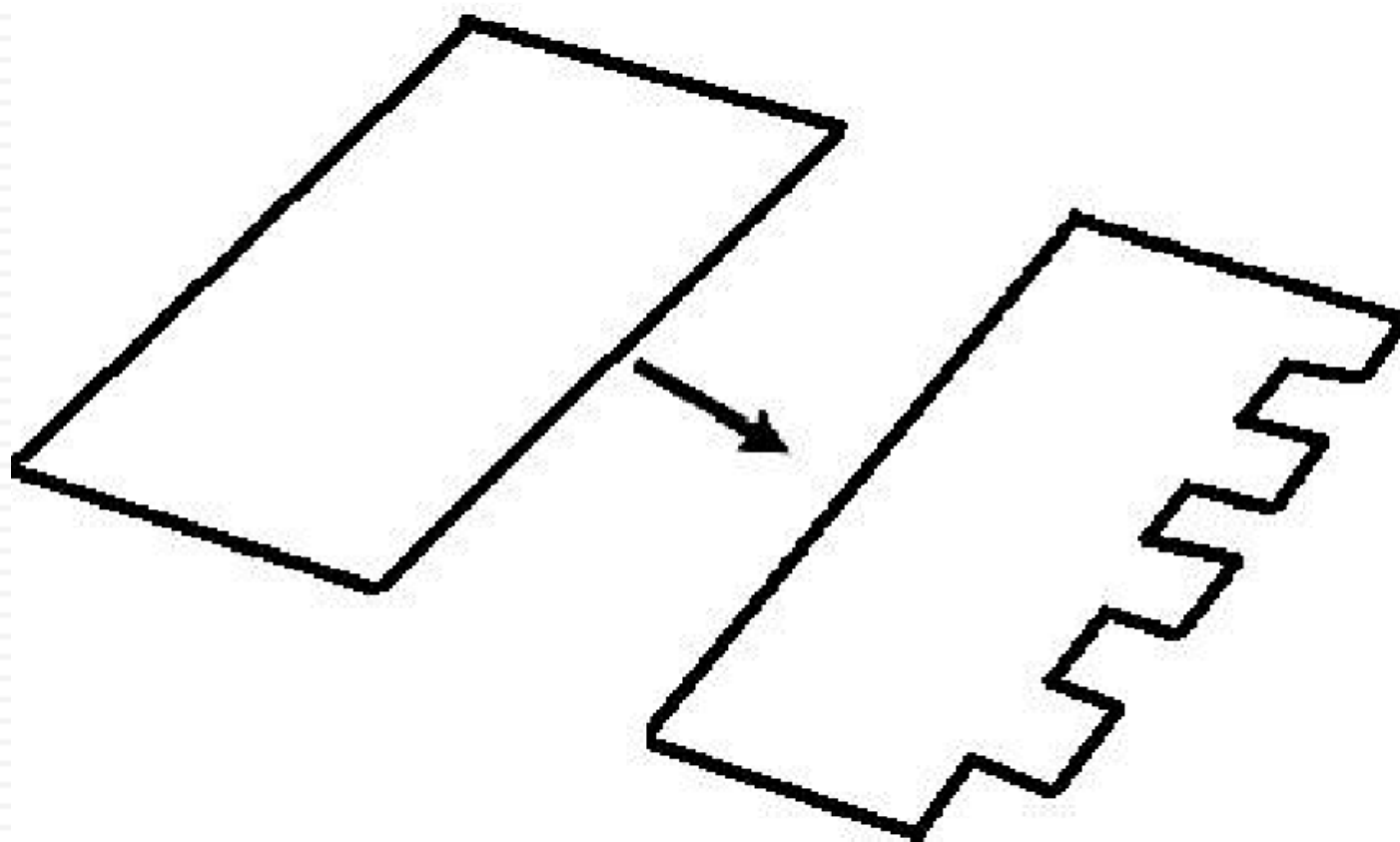


(b)

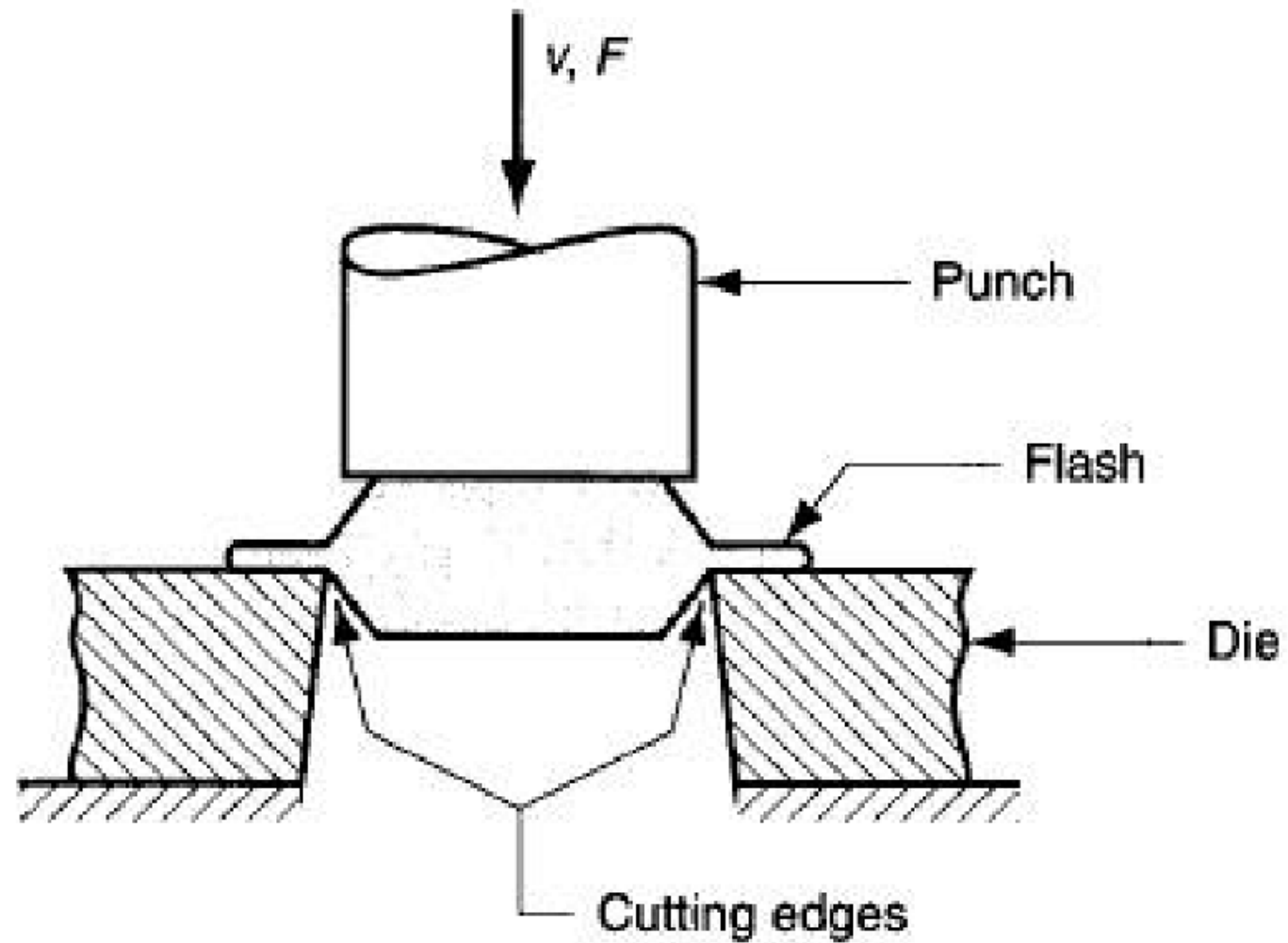


(c)

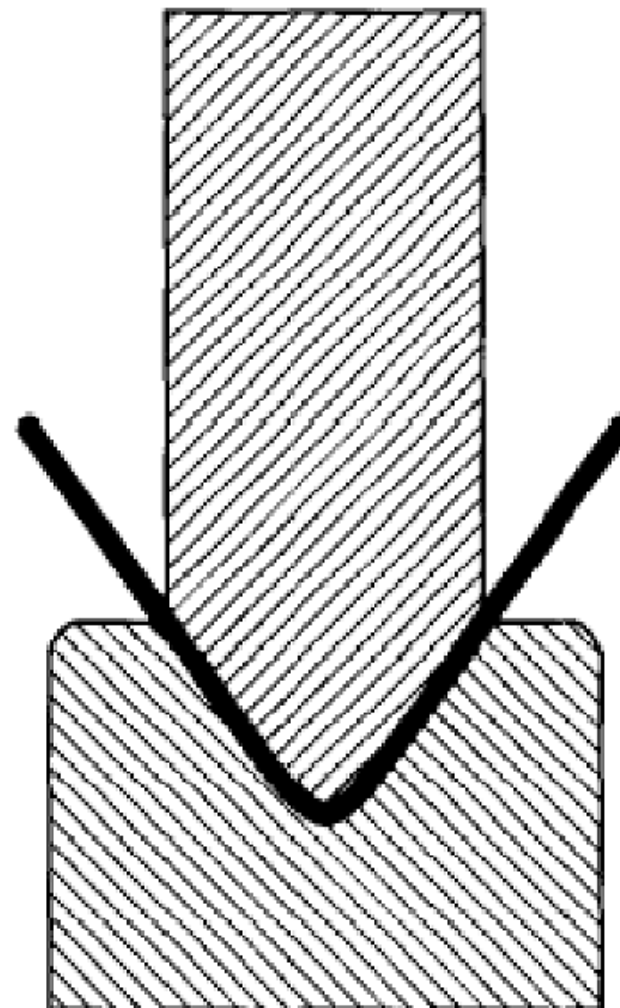
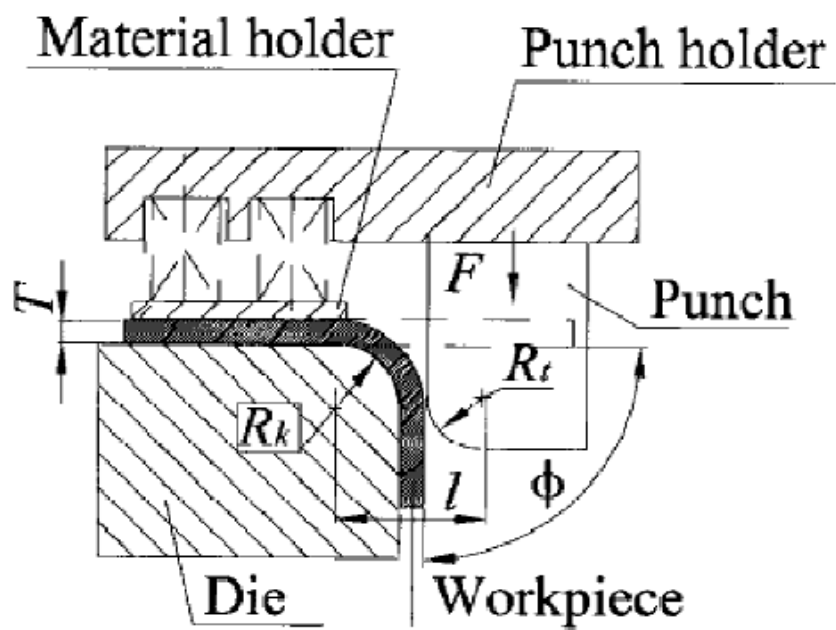
فاق زنی



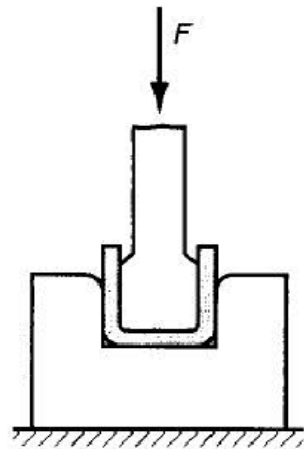
اصلاح



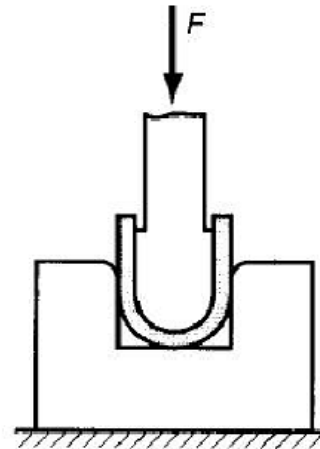
خمکاری



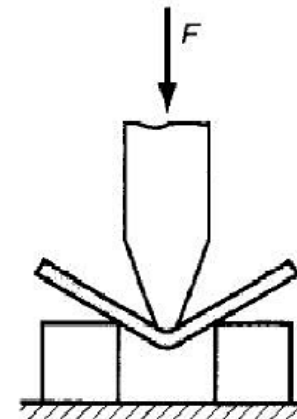
انواع خم



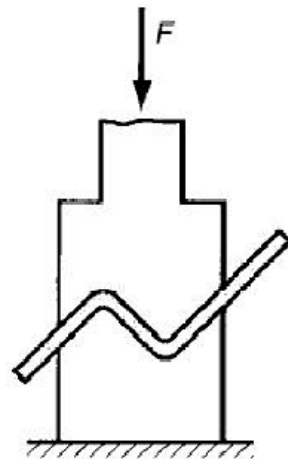
Channel bending



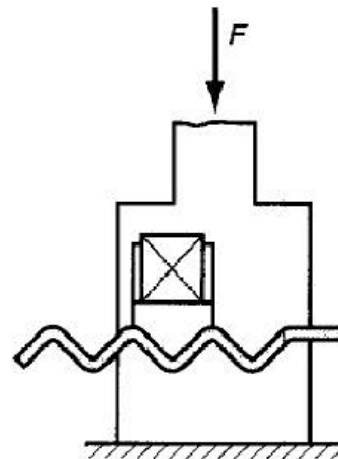
U bending



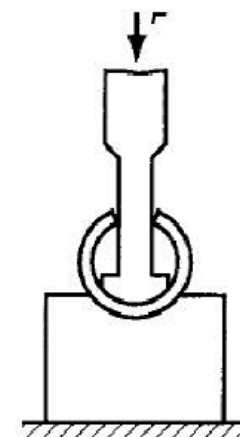
Air bending



Offset bending



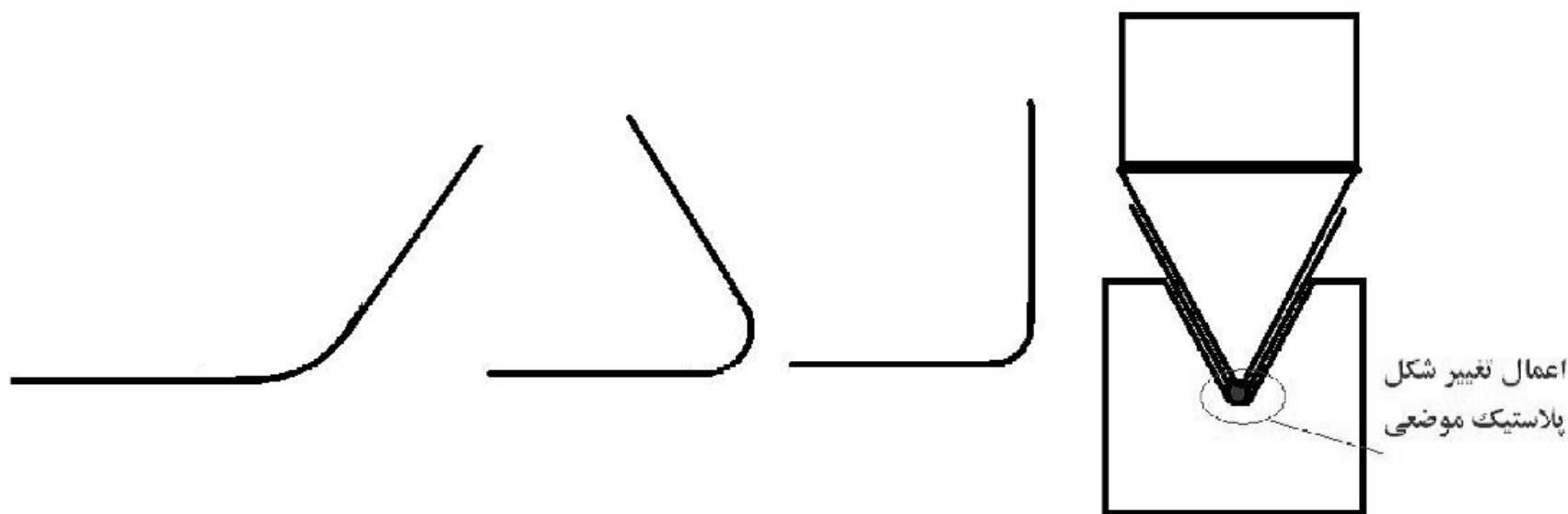
Corrugating



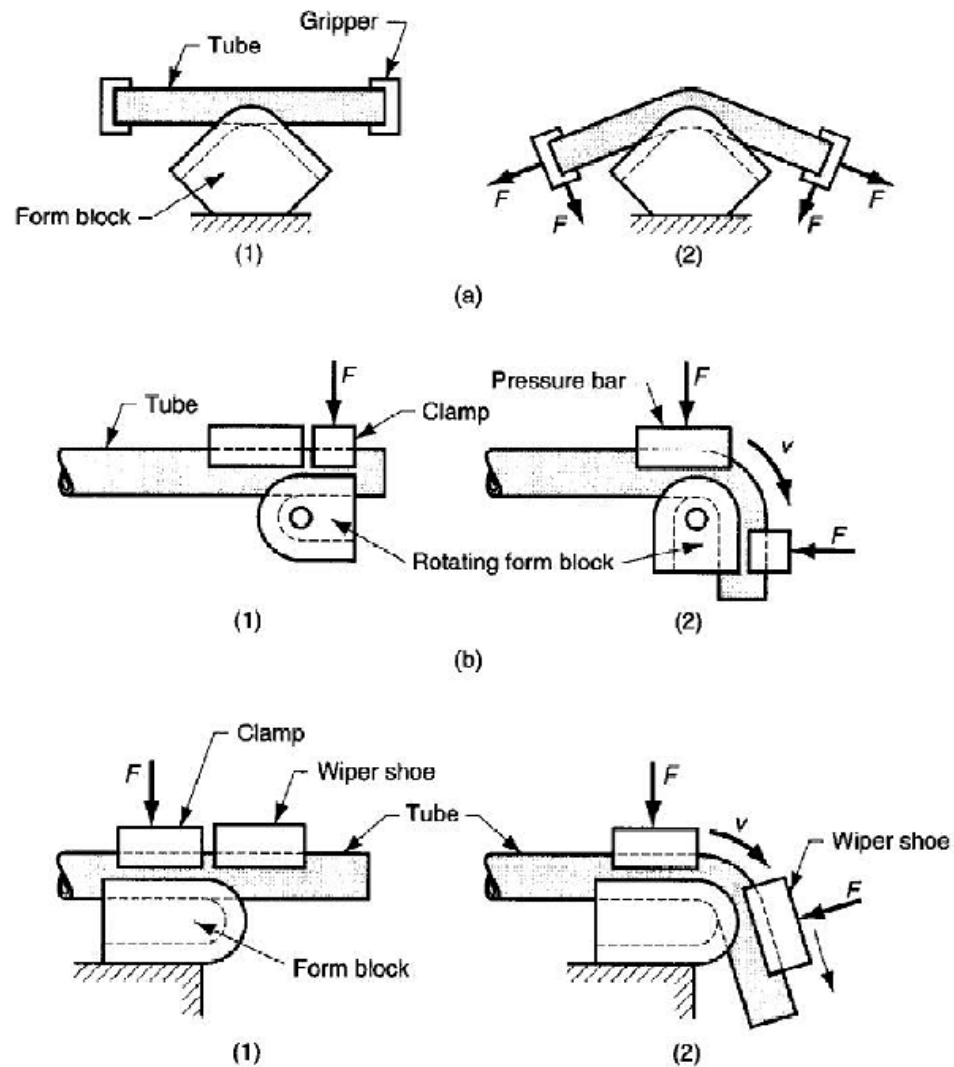
Tube forming

روشهای جلوگیری از برگشت فنری بعد از خم

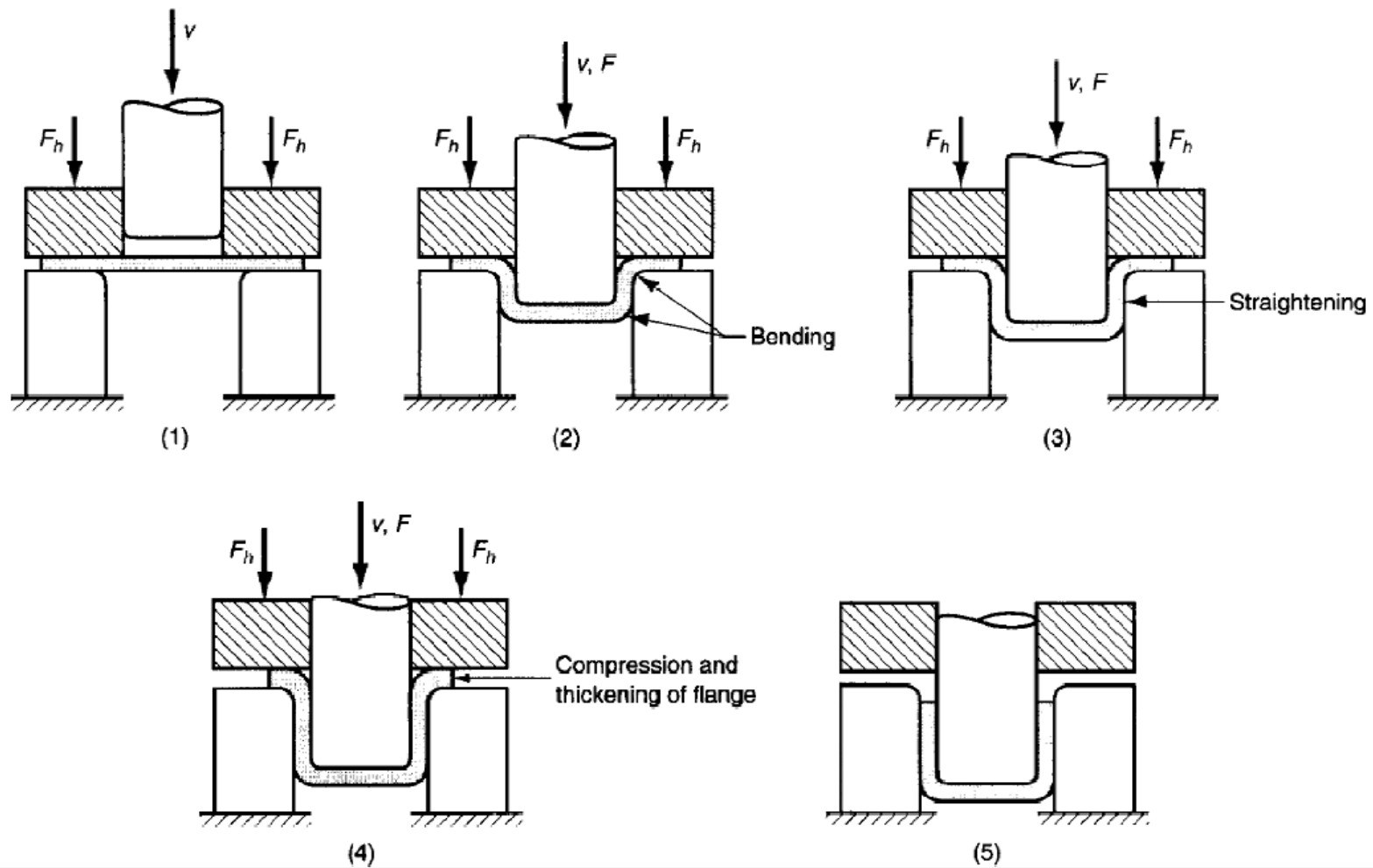
- ایجاد خم با زاویه بیشتر
- ایجاد تغییر شکل پلاستیک موضعی در محل خم (یا کاهش شعاع خم)



خم لوله

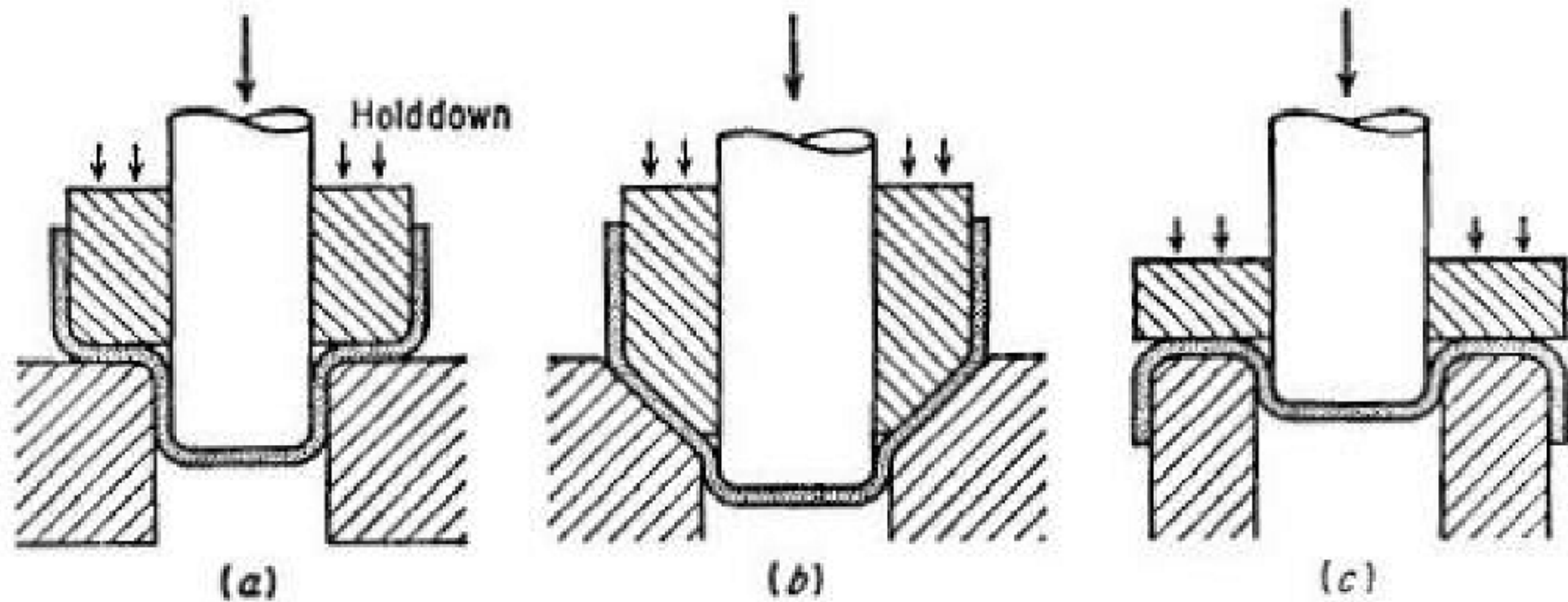


کشش عمیق

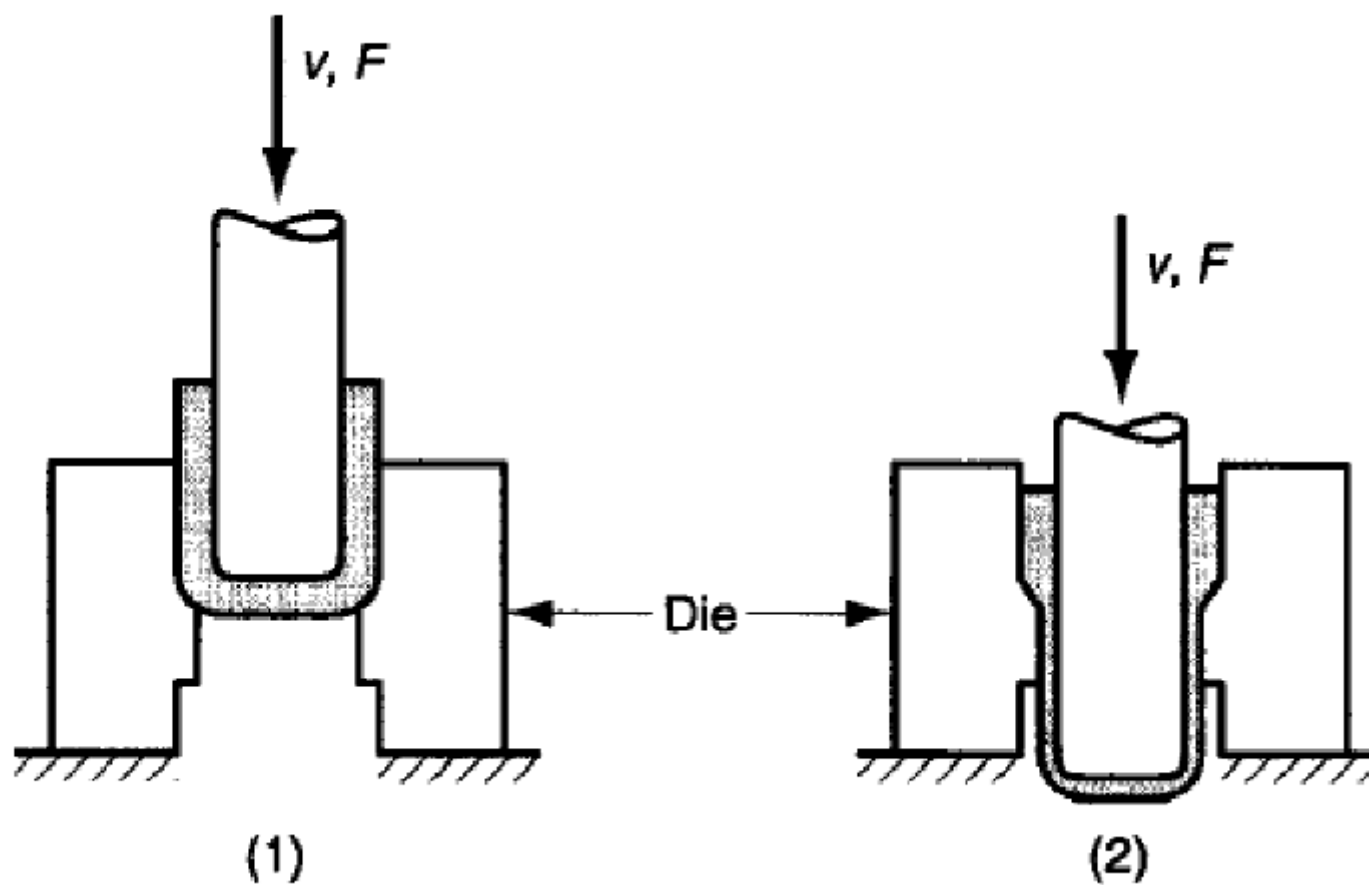


کشش عمیق مجدد

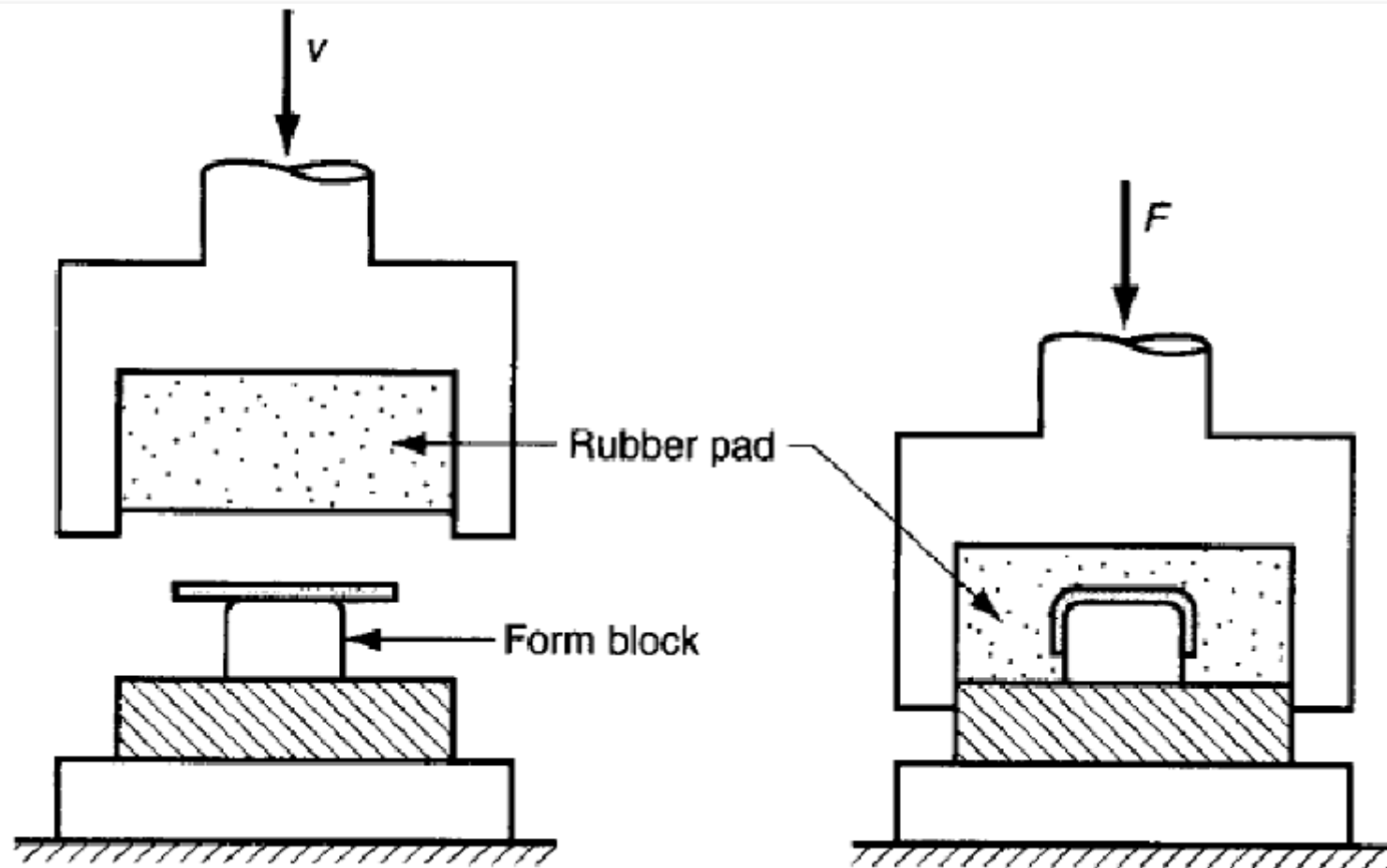
□ برای ایجاد ظروف عمیق



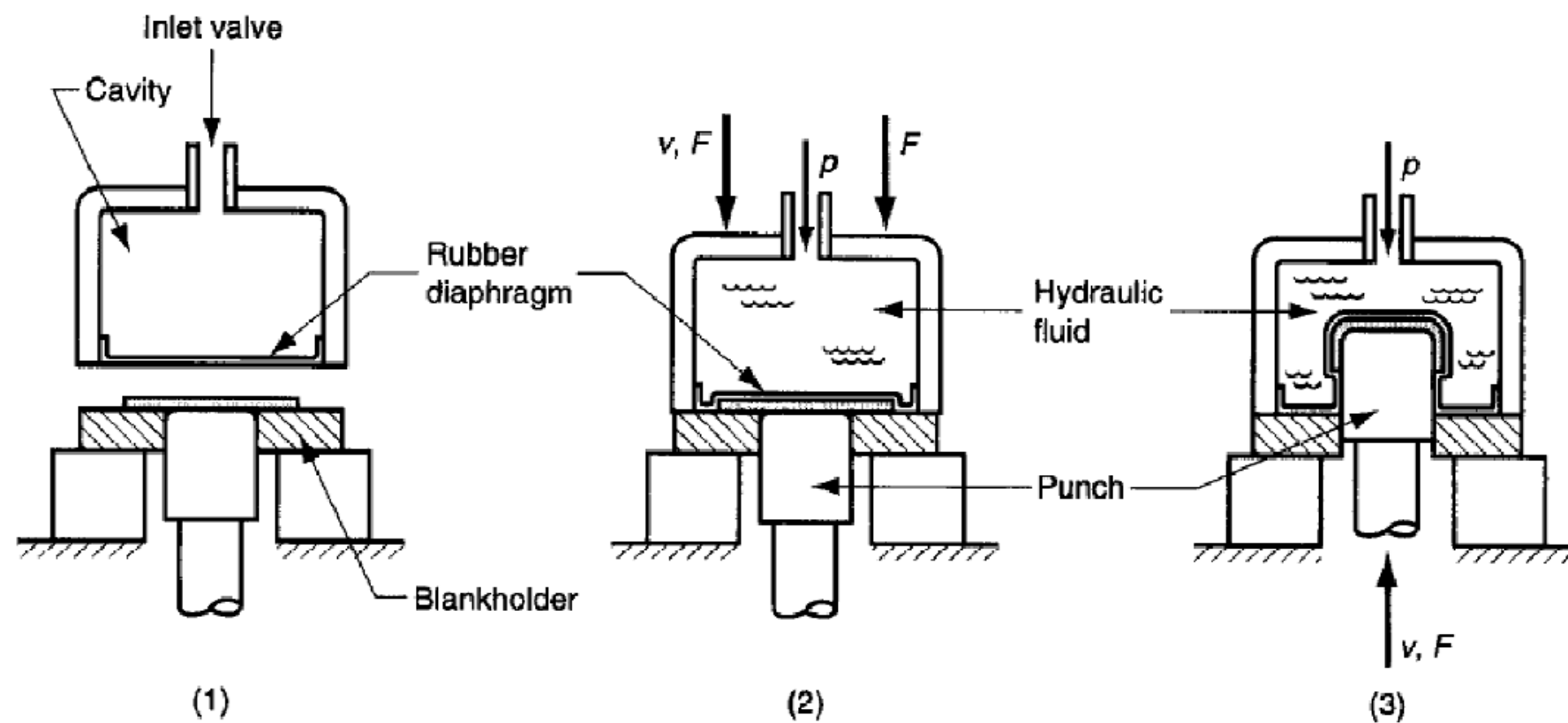
نازک کاری (اتوکاری)



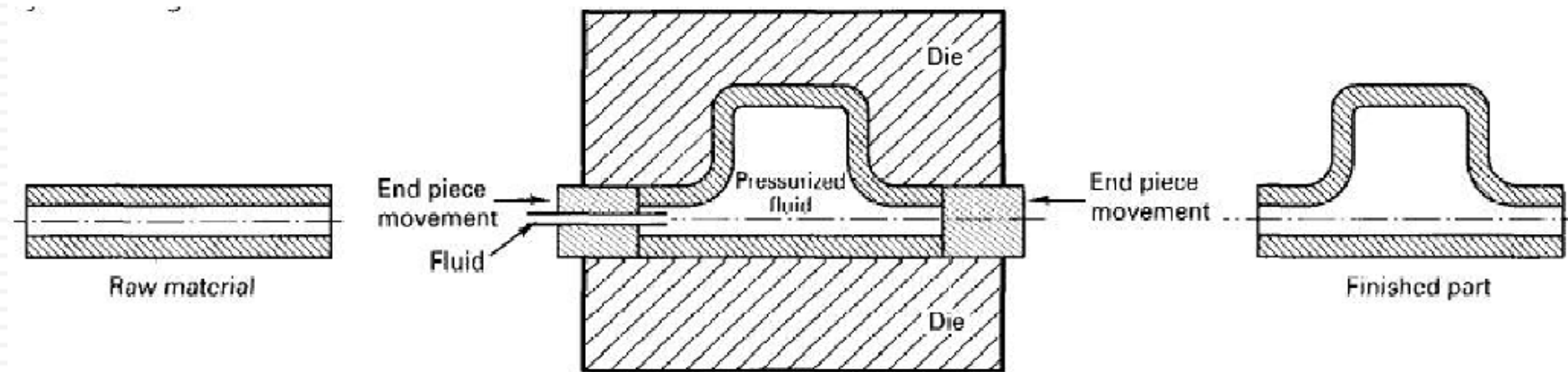
شکل دهی بکمک لاستیک



هیدروفرمینگ



هیدروفرمینگ لوله

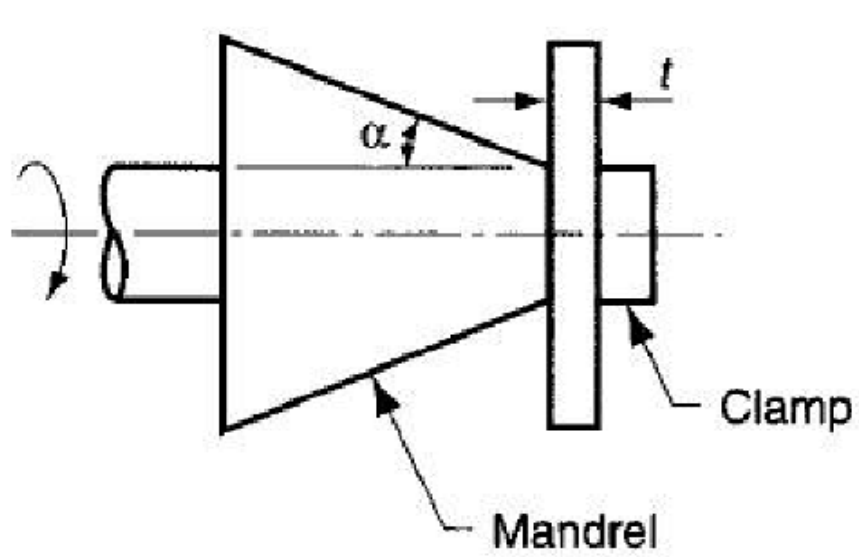


کاسگری (اسپینینگ)

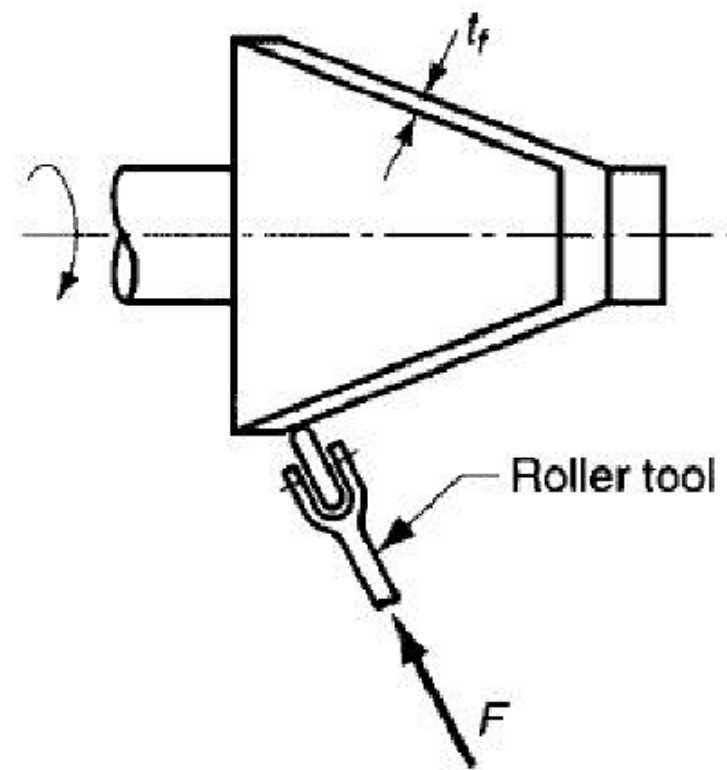
- اسپینینگ فرآیند شکل دهی ورق با تیوب فلزی شکل کانتوری و و خالی دایره ای است.
- مزیت این روش هزینه کم و نرخ کار بالا است.



اسپیننگ

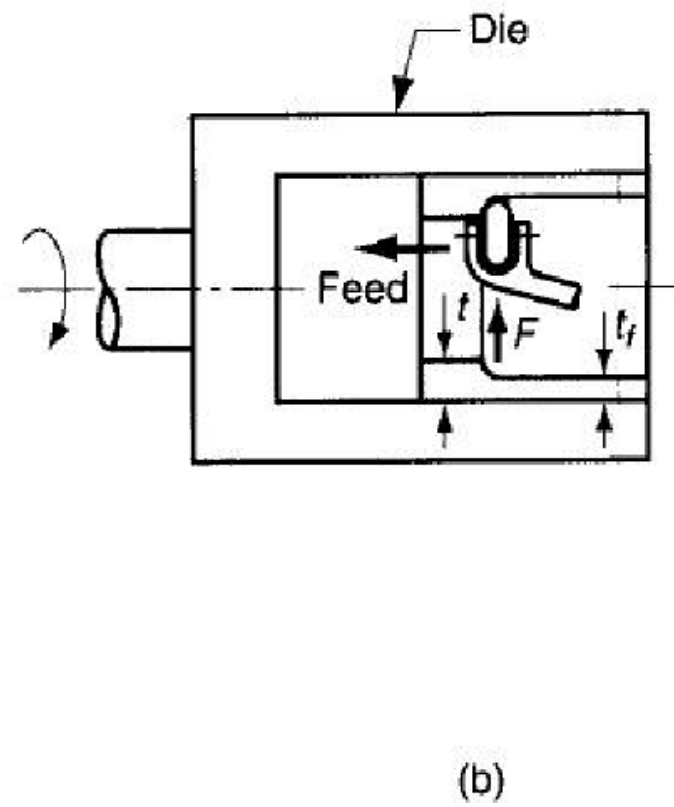
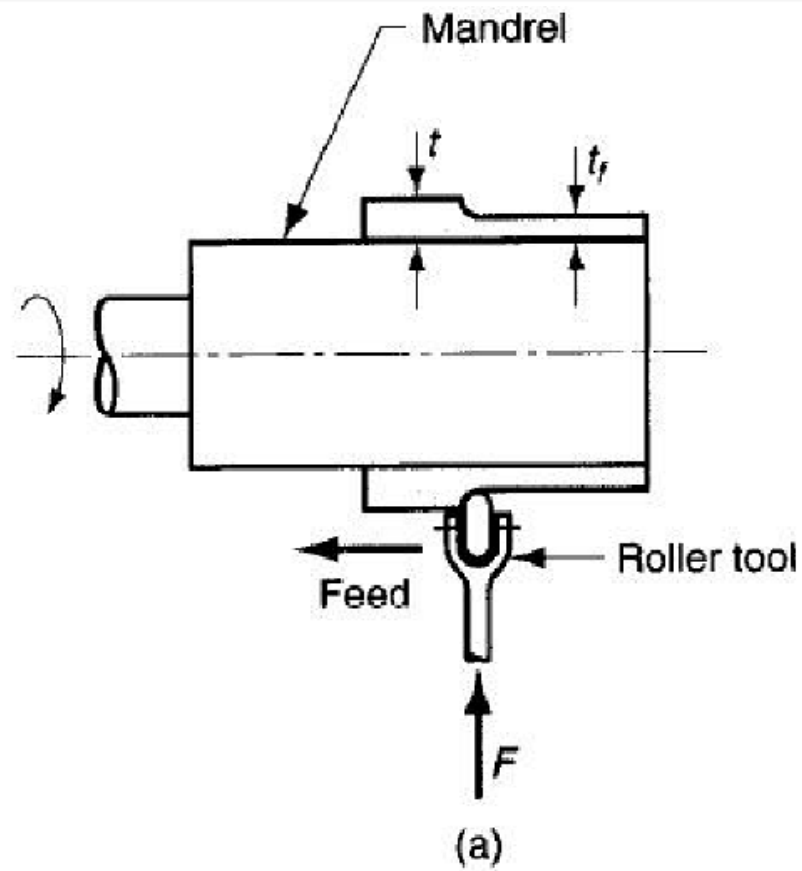


(1)

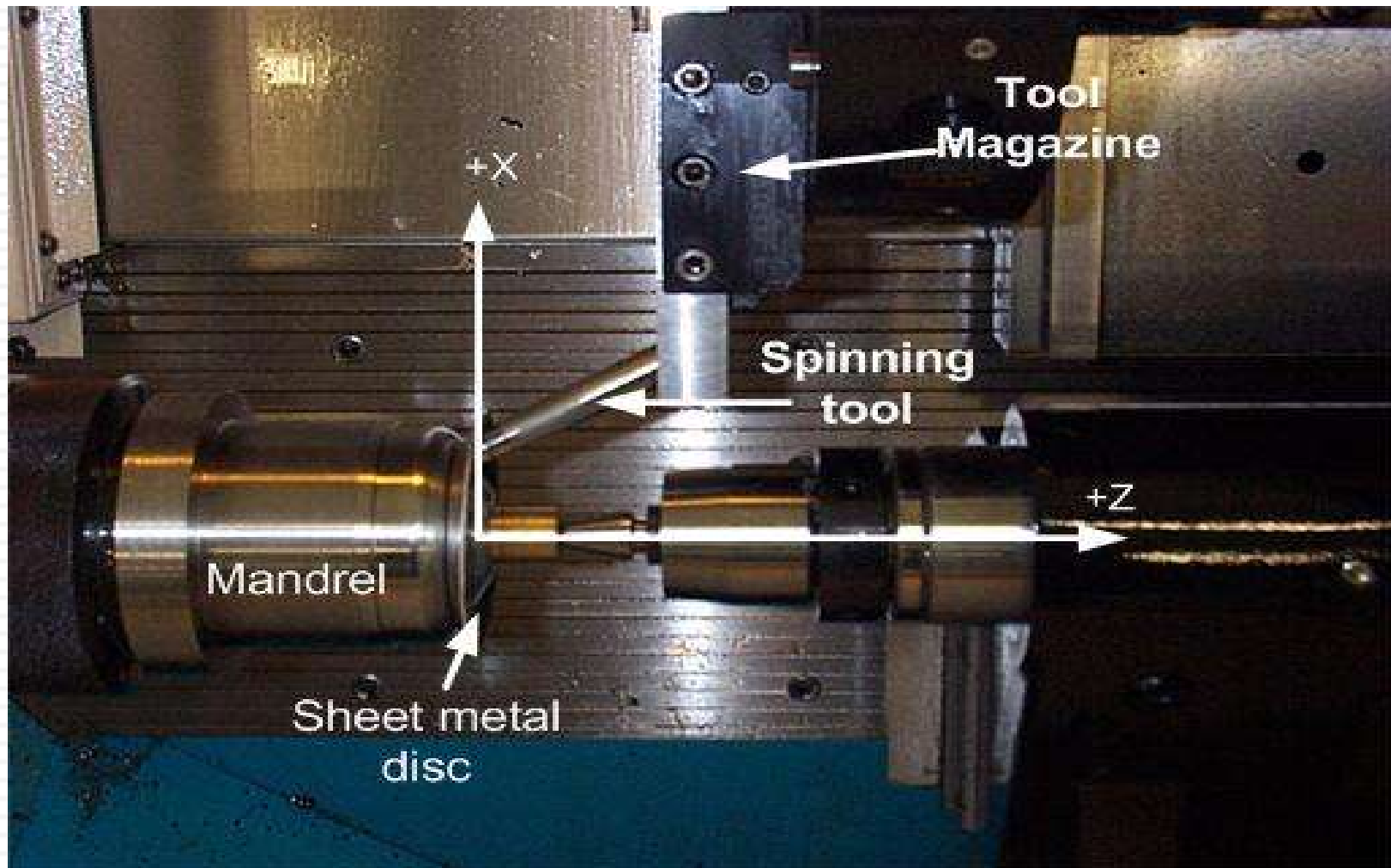


(2)

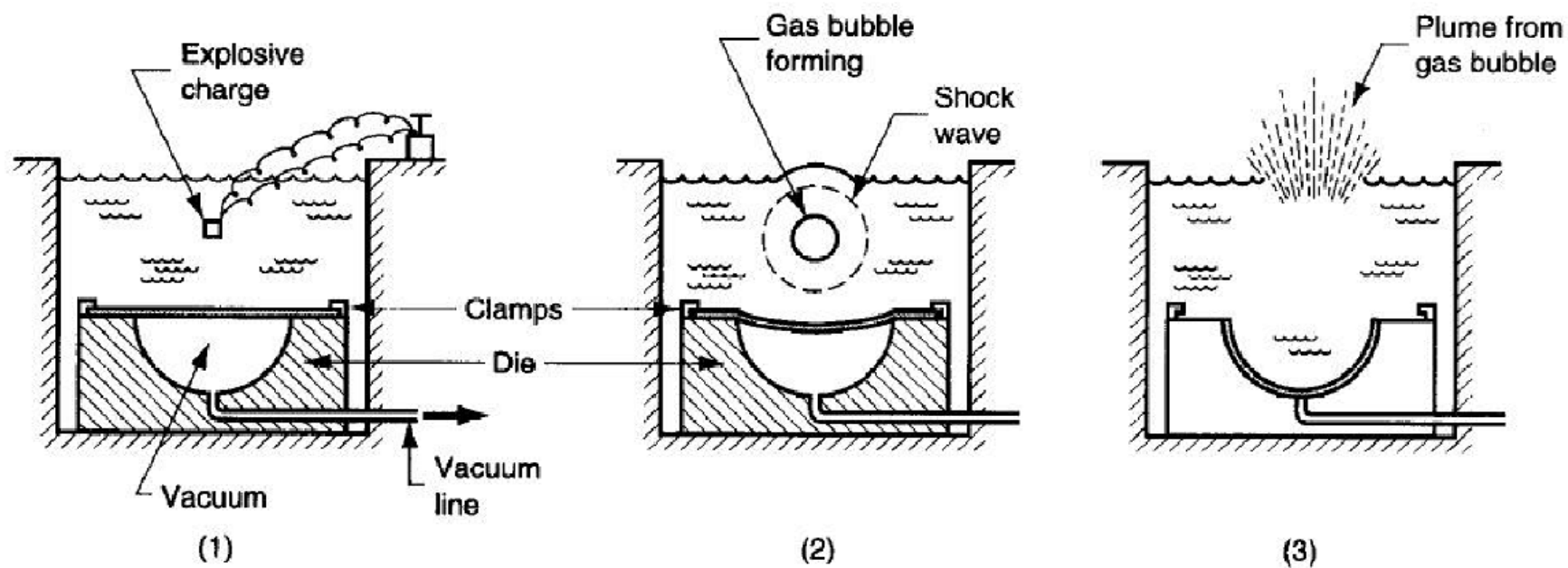
اسپیننگ لوله



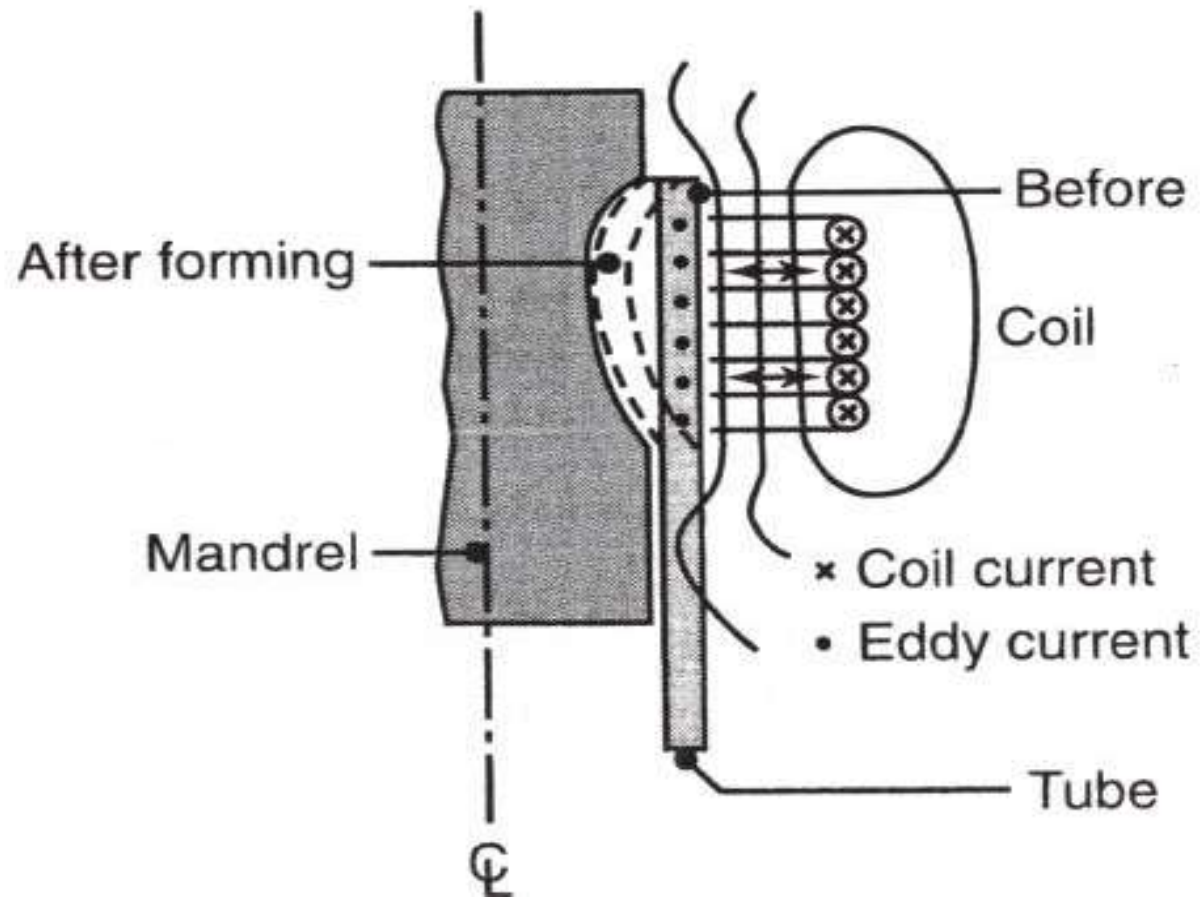
اسپیننگ



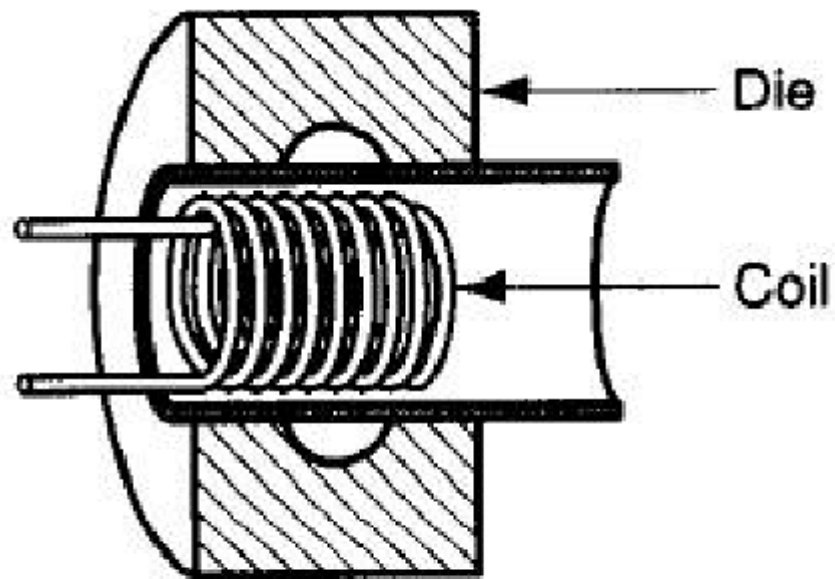
شکل دهی انفجاری



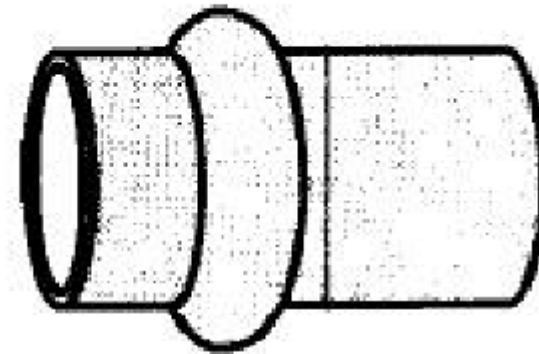
شکل دهی مغناطیسی



شکل دهی مغناطیسی



(1)

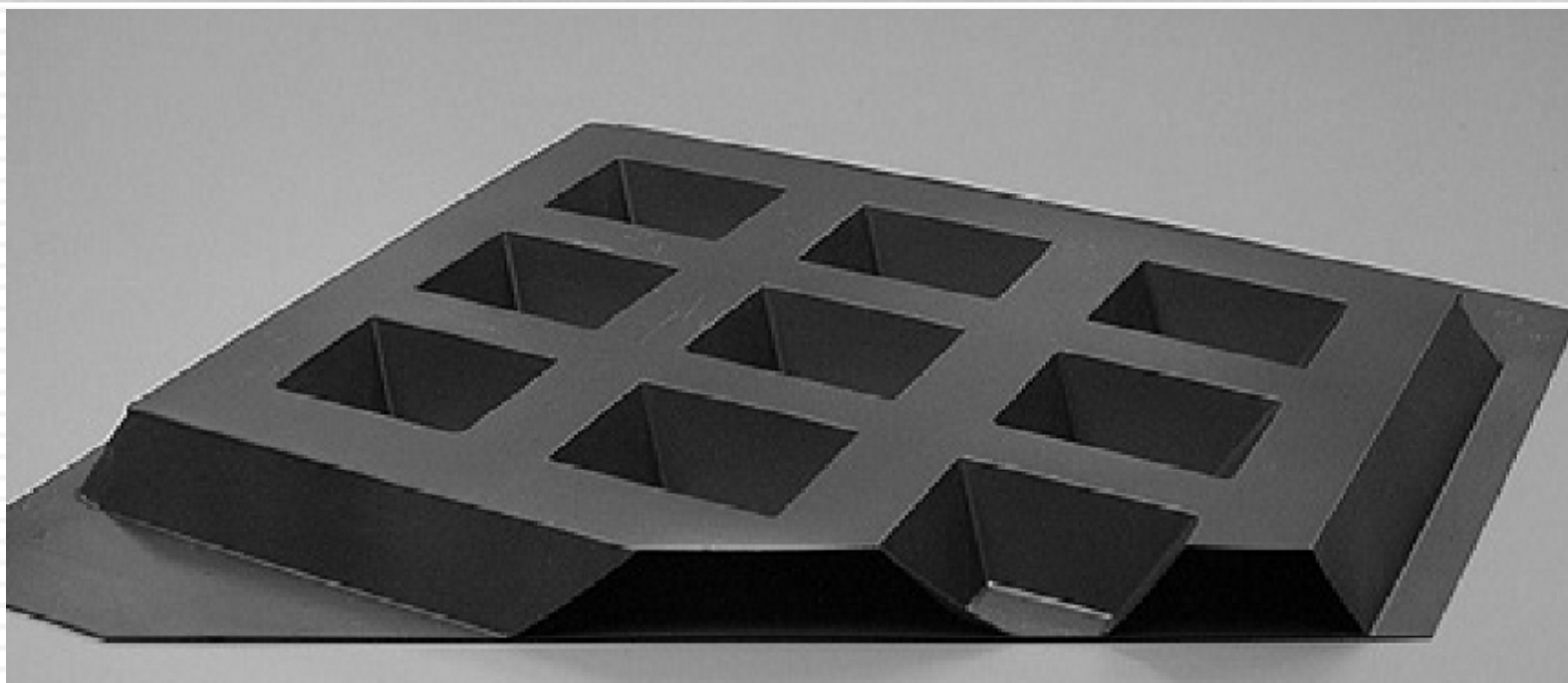
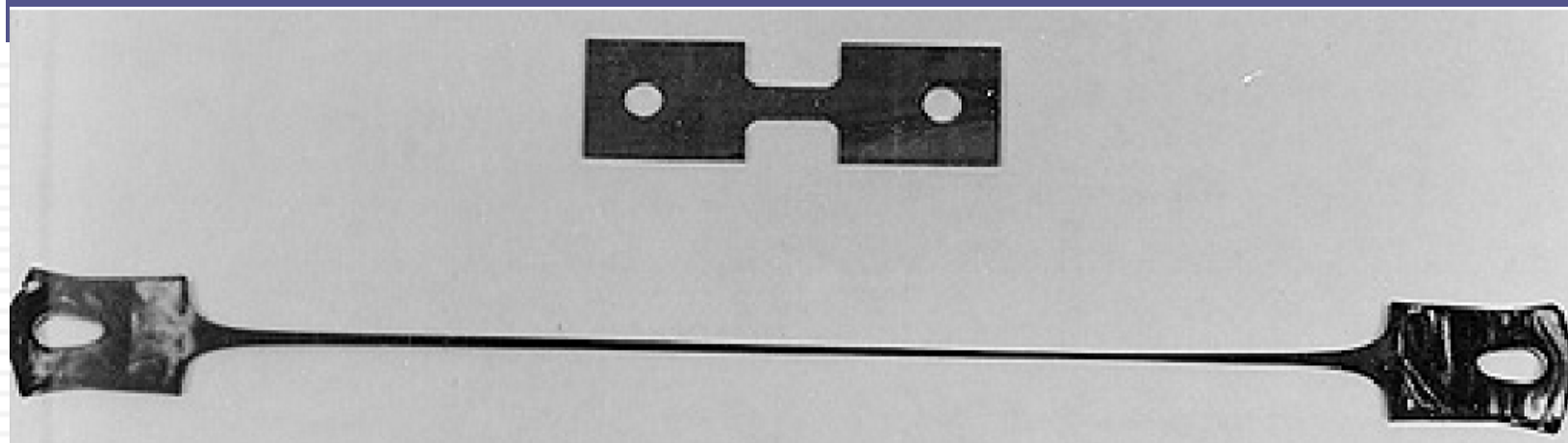


(2)

شکل دهی سوپر پلاستیک

□ برای شکل دهی اشکال پیچیده و بزرگ به کمک روشهای مرسوم با پارگی مواجه می شویم. بدین منظور از شکل دهی سوپر پلاستیک استفاده می شود که در آن با اعمال نیرو در مدت زمان طولانی تغییرشکلهای بسیار زیاد در ورق ایجاد می شود. از این روش برای شکل دهی آلیاژهای آلومنیوم، تیتانیوم ، فولاد و غیره که دارای انعطاف پذیری بالایی هستند استفاده می شود. این مواد باید دارای دانه های بسیار ریز بوده و نرخ کرنش بسیار پایین باشد.

شکل دهی سوپر پلاستیک



شکل دهی سوپر پلاستیک

