ورق‌کاری

SHEET METAL WORKING

- برش‌کاری
- خم‌کاری
- کشش ورق
- سایر عملیات شکل‌دهی ورق‌های فلزی
- سنبه و ماتریس در فرآیندهای ورق‌کاری
- عملیات ورق‌کاری که توسط پرس قابل اجرا نمی‌باشند
- خم‌کاری موادی به شکل لوله

واژه‌شناسی ورق‌کاری

Sheet Metalworking Terminology

۱- سنبه و ماتریس "Punch and die"

ابزارآلاتی که به شکل نری(پانچ) و مادگی(ماتریس) به منظور انجام برش‌کاری، خم‌کاری و کشش ورق استفاده می شود.

۲- پرس "Stamping press"

۳- قطعات پرسی "Stampings"

سه بخش اصلی از فرآیندهای ورق‌کاری

۱. برش‌کاری Cutting

بریدن ورق بزرگ به ورق های کوچک یا برش دور تا دور ورق یا ایجاد سوراخ بر روی آن را می گویند .

۲. خم‌کاری Bending

کج کردن یک ورق حول یک محور مستقیم

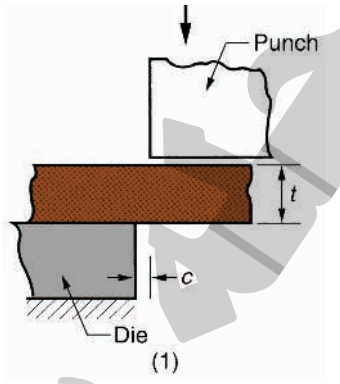
۳. کشش Drawing

شکل‌دهی ورق به اشکال محدب و مقعر

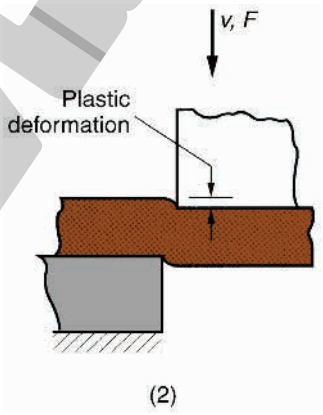
برش‌کاری Cutting

بریدن ورق بین دو لبه برنده تیز(سنبه و ماتریس) را برشکاری می گویند

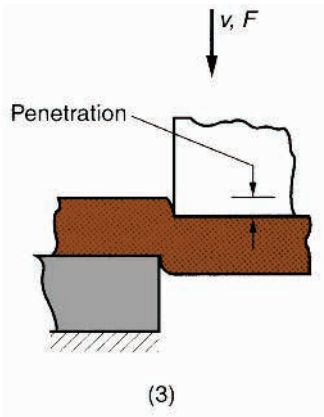
شکل ۱-مراحل برشکاری



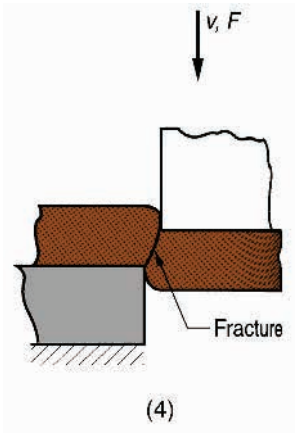
(a) لحظاتی پیش از تماس پانچ با قطعه کار



(b) پانچ قطعه را تحت فشار قرار می‌دهد که باعث ایجاد تغییر شکل پلاستیک در آن می‌شود



(c) پانچ به قطعه فشار وارد آورده و به داخل آن نفوذ می‌کند که باعث ایجاد سطح برش صافی می‌شود



(d) آغاز شکست در دو لبه برش مقابل هم که ورق را جدا می‌سازد

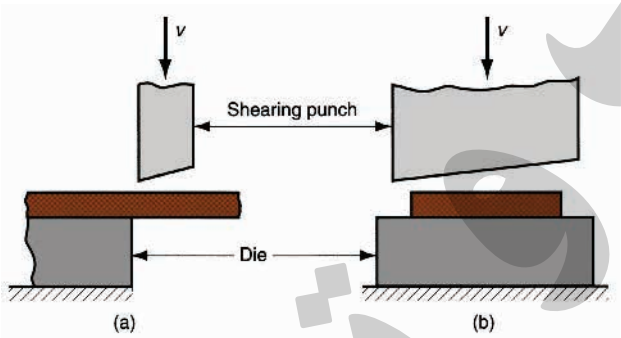
سه روش اصلی که در پرسکاری به برشکاری معروف است:

- shearing
- Blanking
- Punching

روش Shearing (گیوتین – قیچی)

برش ورق در امتداد یک خط مستقیم بین دو لبه برنده را می گویند.

●معمولا برای برش ورق‌های بزرگ به تکه‌های کوچک برای عملیات ساخت بعدی استفاده می‌شود



شکل ۳- فرآیند Shearing :

(**a**) نمای جانبی فرآیند Shearing

(**b**) نما از روبروی یک دستگاه برش فلز که به تیغه فوقانی شیب‌دار مجهز شده است، علامت **v** نشان‌دهنده جهت حرکت است

فرآیند سوراخکاری و پولک زنی (Blanking and Punching)

Blanking بلانکینگ یا پولک‌زنی

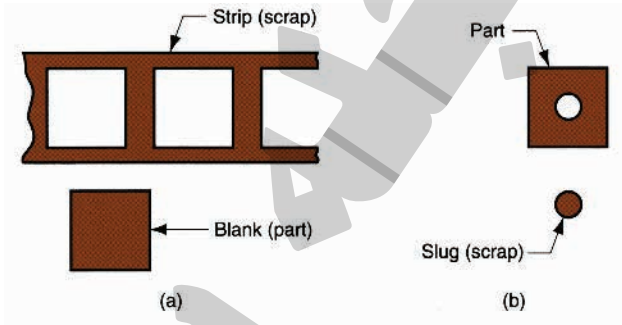
برش ورق و جداسازی تکه‌های برش خورده از ورق خام

●وقتی ورق بین سنبه و ماتریس بریده می شود قسمتی از ورق روی قالب و قسمتی از سوراخ ماتریس بیرون می افتد. اگرتکه برش

خورده که از سوراخ ماتریس بیرون می افتد، قطعه دلخواه باشد،آن را blank می گویند. ورق باقیمانده روی ماتریس دورریز است.

پانچ یا سوراخکاری- برش ورق مشابه Blanking است با این تفاوت که تکه‌های بریده شده دورریز هستند و پرت ورق به حساب می‌آیند

- ورق باقی مانده قطعه دلخواه است



شکل ۴- فرآیندهای (a) Blanking و (b) پانچ

میزان لقی(بازی برش) در برش ورق
Clearance in Sheet Metal Cutting

لقی به فاصله بین سنبه (پانچ) و ماتریس اتلاق می‌شود

- مقادیر معمول لقی بین ۴ تا ۸ درصد ضخامت ورق خام است

- اگر میزان لقی کم باشد، خطوط شکست از هم عبور می‌کنند که باعث ایجاد سطوح صیقلی دوگانه و نیروی بزرگی در دستگاه می‌شود.

- اگر میزان لقی زیاد باشد، فلز بین دو لبه برنده، گیر می‌کند که باعث بزرگ شدن پلیسه می‌شود.

میزان لقی در برش ورق

- لقی توصیه‌شده توسط رابطه زیر قابل محاسبه است:

$c = at$

که در آن c مقدار لقی، a ضریب لقی، و □ برابر با ضخامت ورق است.

- مقدار ضریب لقی (a) بر اساس جنس فلز تعیین می‌شود.

ضریب لقی (a) برای سه گروه از فلزات

گروه فلزات	a
آلیاژهای آلومینیوم 1100S و 5052S و همه تمپر شده ها	0.045
آلیاژهای آلومینیوم 2024ST و 6061ST ، برنج، فولاد نورد سرد شده نرم، استنلس استیل نرم	0.060
فولاد نورد سرد نیمه سخت، استنلس استیل سخت و نیمه سخت	0.075

اندازه سنبه و ماتریس برای فرآیندهای بلانکینگ و پانچ در blanking ، برای برش‌های گرد به قطر D_b:

قطر پانچ = $D_b - 2c$

قطر نمونه جداشده: D_b

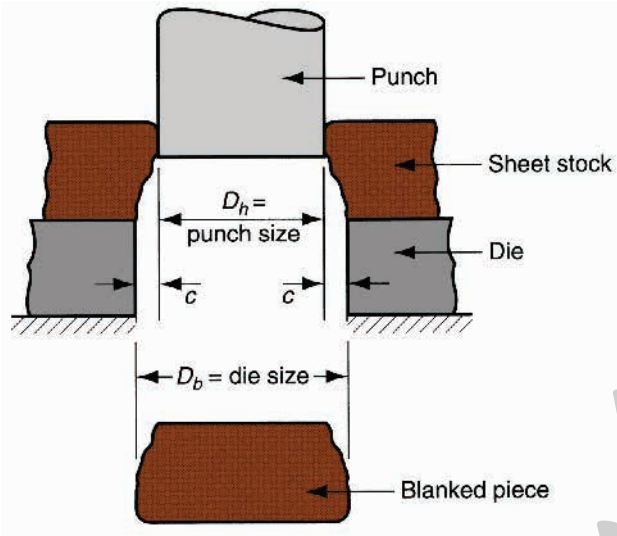
که در رابطه c مقدار لقی است

در پانچ، برای سوراخ به قطر D_h

قطر سوراخ پانچ = D_h

قطر سوراخ ماتریس = $D_h + 2c$

که در رابطه c مقدار لقی است

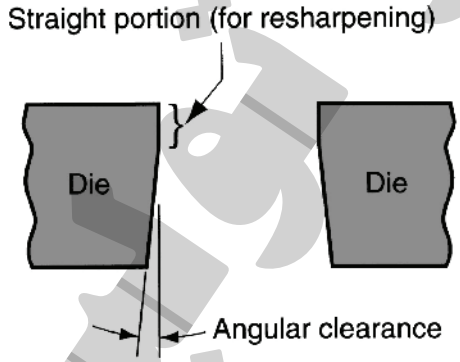


شکل ۶ - اندازه ماتریس تعیین‌کننده اندازه تکه جداشده D_b در فرآیند blanking است، اندازه پانچ تعیین‌کننده انداز سوراخ D_h است

لقی زاویه‌ای

هدف: این لقی اجازه می‌دهد که ماده بریده شده از ورق به آسانی از داخل ماتریس به بیرون بیفتد

- مقادیر معمول : ۰,۲۵° تا ۱,۵° در هر طرف



شکل ۷ - لقی زاویه‌ای

نیروهای برش

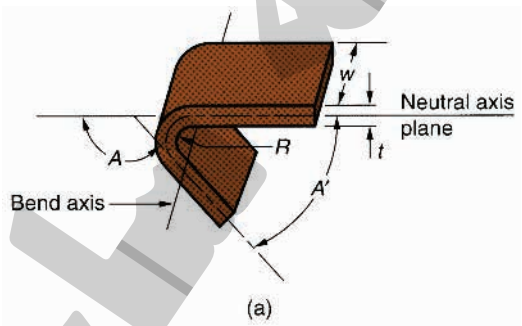
مقدار این نیروها برای تعیین تناژ پرس حائز اهمیت است

$F = S\,t\,L$

که در رابطه فوق S مقاومت برشی ماده، t ضخامت ورق و L طول خط برش است

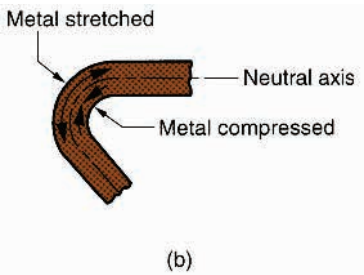
خم‌کاری Bending

کج کردن ورق حول یک محور مستقیم به منظور ایجاد تغییر شکل دائمی در آن



شکل ۱۱- (a) خم‌کاری ورق

ماده در سمت داخل نسبت به تار خنثی تحت فشار و بیرون تار خنثی تحت کشش است



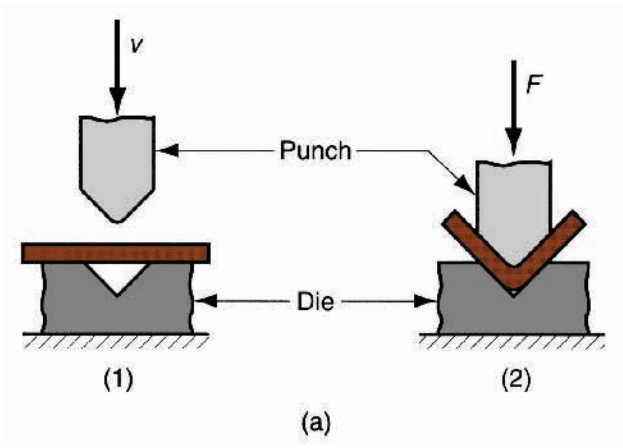
شکل ۱۱- (b) تغییر طول کششی و فشاری، هر دو در فرآیند خم‌کاری اتفاق می‌افتند

انواع خم‌کاری

- خم‌کاری V: به وسیله یک ماتریس V-شکل اجرا می‌شود
- خم‌کاری روی لبه (*Edge bending*) : به وسیله یک ماتریس قائم

خم‌کاری V

- برای تولیدات ارزان
- قابل اجرا بر روی پرس برک
- ماتریس‌های V-شکل ساده و ارزان هستند

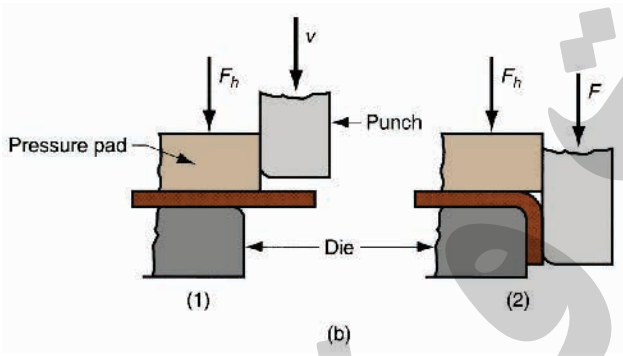


شکل ۱۲ - (a) خم‌کاری V

خم‌کاری روی لبه

- مناسب برای تیراژ تولید بالا
- ورقگیر مورد نیاز است
- ماتریس‌ها پیچیده‌تر و گران‌تر هستند

شکل ۱۲- (b) خم‌کاری روی لبه



کشش آمدن ورق حین خم‌کاری

- اگر شعاع خم نسبت به ضخامت ورق کوچک باشد، فلز حین خم‌کاری کش می‌آید.
- تخمین میزان کش آمدن حائز اهمیت است به این خاطر که طول قطعه نهایی با ابعاد مورد نظر یکی شود
- مشکل: تعیین طول تار خنثی قطعه قبل از خم‌کاری

فرمول مقدار کشش آمدن ورق در خم‌کاری

Bend Allowance Formula

$$BA = 2\pi\, A/_{360} x(R + K_{ba}\, t)$$

که در آن، BA میزان کش آمدن، A زاویه خم، R شعاع خم، t ضخامت ورق و K_{ba} ضریب تخمین میزان کش آمدن ورق است.

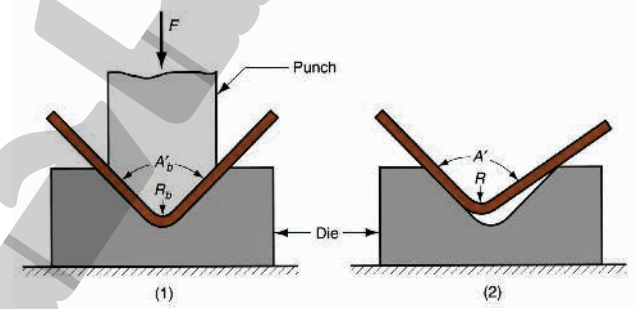
- $R<2t$ ، $K_{ab} = 0.33$
- $R>=2t$ ، $K_{ab} = 0.50$

برگشت فنری در خم‌کاری

عبارتست از افزایش زاویه خم پس از برداشتن سنبه از روی قطعه کار

• علل برگشت فنری:

•هنگامی که فشار از روی قطعه برداشته می‌شود، انرژی الاستیک در قطعه باقی می‌ماند، که باعث می‌شود قطعه مقداری از شکل اصلی خود را بازیابی کند.



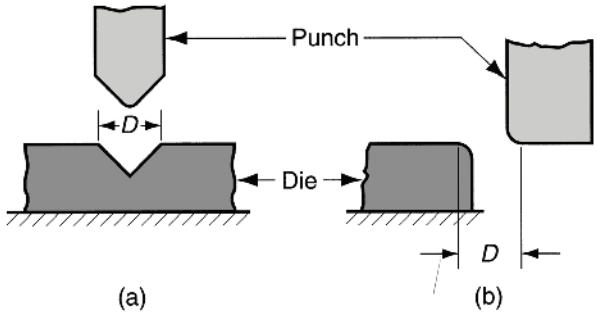
شکل ۱۳- برگشت فنری در خم‌کاری خود را در کاهش زاویه خم و افزایش شعاع خم نشان می‌دهد: (۱) حین خم‌کاری، قطعه کار تحت فشار قرار گرفته تا شعاع R_b و زاویه Ab' ابزار (منظور سنبه در خم‌کاری V) را به خود بگیرد (۲) پس از کنار رفتن پانچ، قطعه مقداری برمی‌گردد و به زاویه 'A و شعاع R می‌رسد.

نیروی خم‌کاری

حداکثر نیروی مورد نیاز خم‌کاری به صورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$F = \frac{K_{bf} TS w t^2}{D}$$

که در آن F نیروی خم‌کاری، TS استحکام کششی ماده، w عرض قطعه کار در راستای محور خم و t ضخامت ورق است. برای خم‌کاری به روش V ضریب Kbf=1.33 و برای خم‌کاری بر روی لبه این ضریب 0.33 خواهد بود.



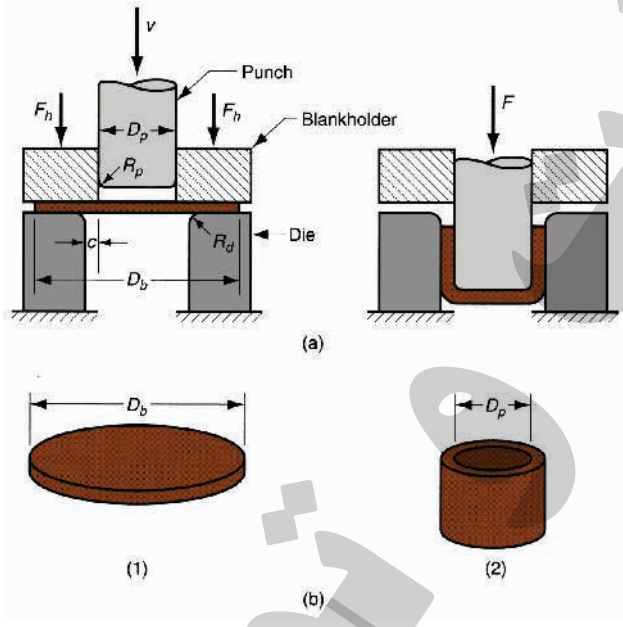
شکل۱۴- ابعاد دهنه ماتریس D : (a) ماتریس V- شکل (b) ماتریس مالشی

کشش عمیق Drawing

شکل‌دهی ورق به منظور ساختن قطعات فنجانی شکل، جعبه‌ای شکل یا سایر قطعات با منحنی‌های پیچیده توخالی

• تکه ورق بریده شده روی قسمت توخالی ماتریس قرار می‌گیرد و سپس سنبه آن را به داخل ماتریس فشار می‌دهد.

• محصولات تولیدی به این روش : بطری‌های نوشیدنی، پوسته‌های مهمات، قسمت‌های بدنه خودرو، ظروف آشپزخانه، سینک ظرفشویی و ...



شکل ۱۹ (a) کشش یک قطعه فنجانی شکل:

(۱) آغاز عملیات پیش از تماس پانچ با قطعه کار

(۲) تقریبا در انتهای کورس

(b) قطعه کار متناظر

(۱) تکه ورق در ابتدای فرآیند

(۲) قطعه پس از کشش

• لقی در کشش

•وجوه جانبی سنبه و ماتریس توسط لقی c که توسط رابطه زیر

تعیین می‌شود، از هم جدا می‌شوند:

$c = 1.1\ t$

که در رابطه فوق t ضخامت ورق است

●به عبارت دیگر، لقی برابر با ۱۰ درصد بیشتر از ضخامت ورق است

نسبت کشش DR (Drawing Ratio *DR*)

برای شکل استوانه‌ای رابطه به ساده‌ترین شکل تعریف می‌شود:

$$DR = \frac{D_b}{D_p}$$

که در آن D_b قطر تکه ورق است و Dp قطر پانچ است

●این نسبت نشان‌گر کشش پذیری ورق است.

●حد بالایی برابر با ۲ است

کوچک شدن r

● مجددا برای شکل استوانه‌ای به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r = \frac{D_b - D_p}{D_b}$$

● مقادیر r باید کم‌تر از ۰,۵ باشد

نسبت ضخامت به قطر

حاصل تقسیم ضخامت ورق بر قطر آن پیش از کشش

نسبت ضخامت به قطر ورق = t/D_b

●مقدار مطلوب نسبت t/D_b لازم است بیشتر از ۱ درصد باشد.

●با کاهش نسبت t/D_b ، قطعه به سمت چروک شدن می‌رود.

تعیین اندازه بلانک ورق پیش از کشش

●به منظور درست بودن اندازه‌های قطعه نهایی پس از کشش، لازم است اندازه تکه ورق آغازین D_b صحیح باشد.

●با برابر گذاشتن حجم تکه ورق آغازین و حجم قطعه کار نهایی، می‌توان به Db دست یافت

●برای ساده‌سازی محاسبات، از نازک شدن ورق در دیواره‌ها چشم‌پوشی شود.

سایر اشکال غیر استوانه‌ای

●قوطی‌های چهارگوش یا مستطیلی (نظیر سینک ظرفشویی)

●گلدان‌های پله‌دار (پاشنه دار)

●مخروط‌ها

●فنجانی‌هایی با کف کروی به جای کف صاف

●منحنی‌های غیر منتظم (نظیر بدنه خودرو)

●هر کدام از این اشکال از لحاظ فنی مشکلات خاص خود را در فرآیند کشش، دارند

سایر عملیات شکل‌دهی ورق که بر روی پرس‌های رایج، اجرا می‌شود:

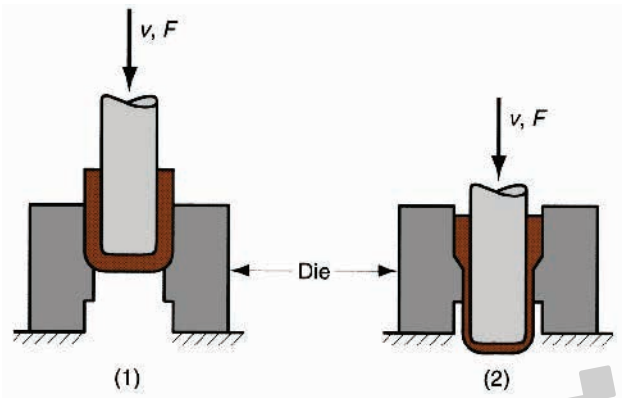
●عملیاتی که با ابزارآلات فلزی انجام می‌شود.

●عملیاتی که با ابزارآلات منعطف لاستیکی اجرا می‌شود.

اطوکشی

●این فرآیند ضخامت دیواره استوانه فنجانی شکل را یکنواخت‌تر می‌کند

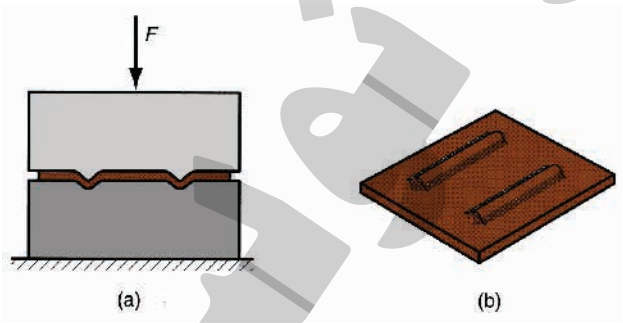
●مثال: بطری فلزی نوشیدنی‌ها و لوله توپ



شکل ۲۵ – فرآیند اطوکشی برای دست‌یابی به ضخامت دیواره یکنواخت‌تر (۱) آغاز فرآیند (۲) حین فرآیند به نازک شدن و افزایش طول دیواره‌ها توجه کنید

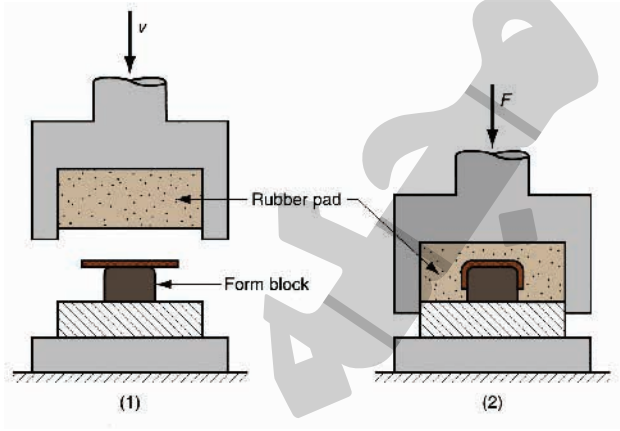
برجسته کاری Embossing

●از این فرآیند به منظور ایجاد فرو رفتگی در ورق نظیر حروف برجسته، یا برجستگی‌های تقویتی استفاده می‌شود



شکل۲۶– Embossing: (a) مقطع عرضی سنبه و ماتریس در هنگام پرس کردن ورق (b) قطعه نهایی با راه‌های برجسته

فرآیند Guerin (شکل‌دهی با استفاده از پرس پد لاستیکی)



شکل ۲۸- فرایند Guerin - (۱) قبل و (۲) بعد

علامت‌های v و F به ترتیب نشان‌دهنده حرکت و اعمال نیرو می‌باشند

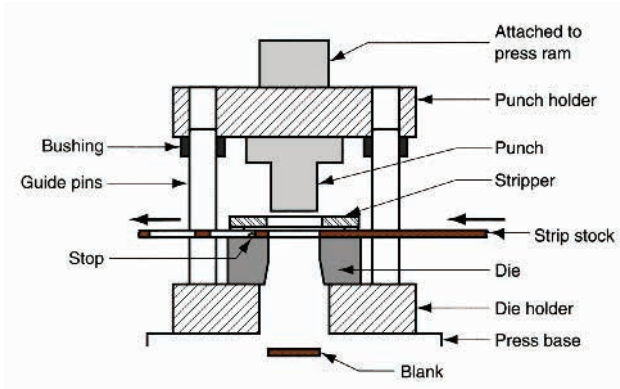
مزایای روش Guerin

- هزینه ابزارآلات ارزان
- بلوک شکل دهنده می‌تواند از چوب، پلاستیک یا هر ماده‌ای که به آسانی شکل گیرد، ساخته شود.
- پد لاستیکی می‌تواند با بلوک‌های فرم‌دهنده مختلفی استفاده شود.
- این فرآیند برای تولیدات با تعداد ضرب پایین، مناسب است.

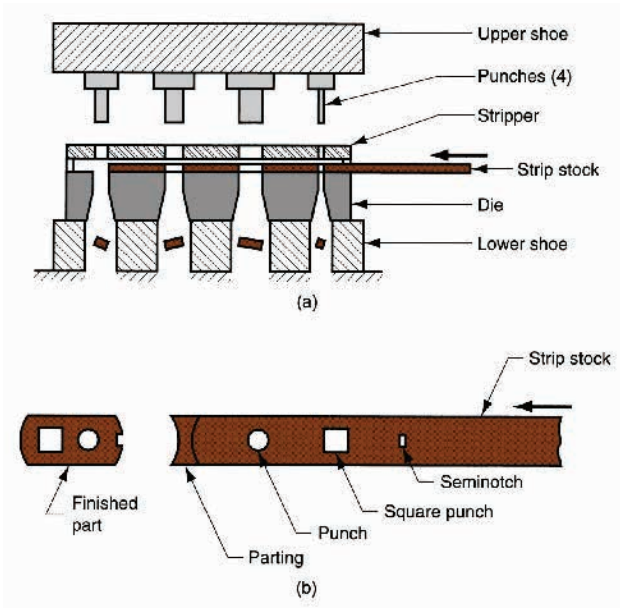
قالب برای فرآیندهای ورق‌کاری

اکثر فرآیندهای شکل‌دهی با پرس، توسط ابزارآلات سنبه و ماتریس رایج انجام می شود.

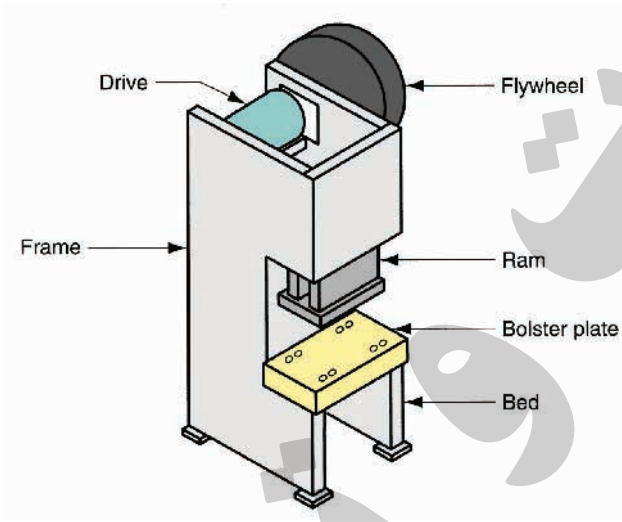
- این ابزارآلات برای یک قطعه، به طور اختصاصی طراحی می‌شوند.
- واژه قالب پرسی بیشتر برای قالب ها با قابلیت تعداد ضرب بالا استفاده می‌شود.



شکل ۳۰ - اجزای سنبه و ماتریسی که برای فرآیند Blanking مورد استفاده قرار می‌گیرد



شکل ۳۱ (a) قالب پروگرسیو (مرحله ای) (کفشک فوقانی، سنبه‌ها، نگه دارنده ورق ، نوار ورق، ماتریس، کفشک تحتانی) (b) قطعه تولیدشده متناظر (نوار ورق، نیم شیار، سنبه چهارگوش، پانچ گرد، تکه کردن قطعه، قطعه نهایی)



شکل ۳۲- اجزای یک دستگاه قالب پرس مکانیکی مرسوم (قوای محرک، چهارچوب شاسی، بستر، بالشتک، رم، چرخ‌طیار)

انواع چهارچوب شاسی دستگاه پرس

- چهارچوب فضادار- به شکل حرف C است و اغلب به صورت C-frame شناخته می‌شود
- چهارچوب با وجوه جانبی مستقیم H-frame- ساختاری شبیه به جعبه دارد و برای تناژهای بالا استفاده می‌شود.

سیستم‌های محرک و قدرت

•پرس‌های هیدرولیک- این پرس‌ها از سیلندر-پیستون‌های بزرگ برای حرکت دادن رم استفاده می‌کنند

– کورس حرکت رم نسبت به پرس‌های مکانیکی، بیشتر است

– مناسب برای کشش عمیق

– سرعت پایین‌تری نسبت به دستگاه‌های مکانیکی دارد

• پرس‌های مکانیکی- حرکت دورانی موتور را به حرکت خطی رم تبدیل می‌کنند

– نیروهای بالا در انتهای کورس حرکت به وجود می‌آید

– مناسب برای فرآیندهای پانچ و blanking

عملیات ورق‌کاری که توسط پرس انجام نمی‌شوند

• شکل‌دهی با کشش روی سنبه (بدون ماتریس)
Stretch forming

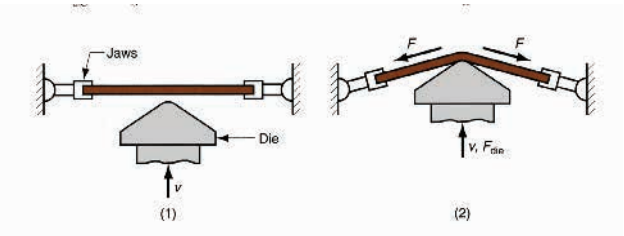
• رول فرمینگ و رول بندینگ Roll bending and forming

• چرخکاری Spinning (فرآیند شکل‌دهی است که در آن یک قطعه با تقارن محوری به تدریج حول یک سنبه دوار توسط یک غلتک دوار شکل‌دهی می‌شود)

• فرآیندها با نرخ انرژی بالا
Highenergyrate forming processes

شکل‌دهی کششی بدون ماتریس – Stretch Forming

ورق فلزی به طور همزمان کشیده و خم می‌شود تا تغییر شکل حاصل شود



شکل ۳۹ شکل‌دهی کششی بدون ماتریس: (۱) آغاز فرآیند، (۲) سنبه شکل‌دهی به داخل قطعه کار نیروی F_{die} را وارد می‌نماید که باعث کشیدگی و خم‌شدن آن می‌شود. F برابر با نیروی کششی است

نیروی مورد نیاز در فرآیند شکل‌دهی کششی

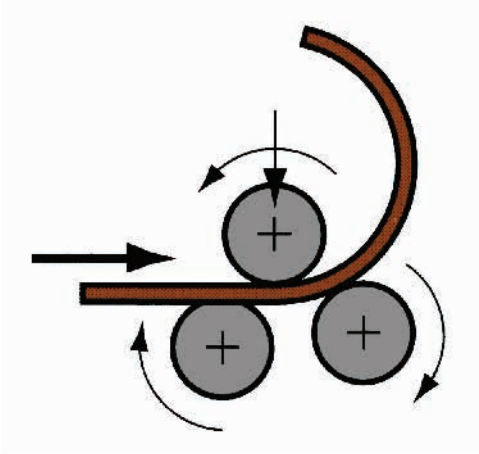
$$F = LtY_f$$

که در آن F نیروی کشش، L طول ورق در راستای عمود بر کشش، t ضخامت ورق و Y_f جریان تنش در قطعه کار است.

•نیروی F_{die} می‌تواند با برقراری تعادل بین مولفه‌های عمودی نیروها، تعیین شود.

خم‌کاری به روش نورد

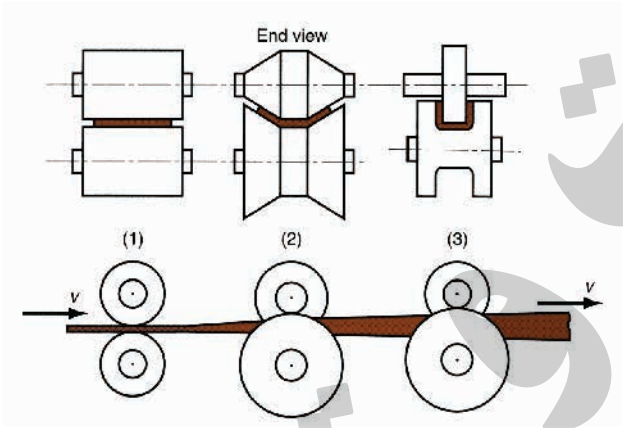
با استفاده از نورد، ورق‌های فلزی بزرگ به مقاطع منحنی شکل داده می‌شود



شکل ۴۰- خم‌کاری به روش نورد

شکل‌دهی به روش نورد

می‌توان به وسیله نورد، فرآیند شکل‌دهی یک کویل ورق را به صورت پیوسته توسط غلتک‌های متقابل به انجام رساند



شکل ۴۱ – شکل‌دهی یک مقطع ناودانی شکل به صورت پیوسته
(۱)نورد مستقیم straight rolls
(۲) شکل‌دهی جزئی partial form
(۳) شکل‌دهی نهایی final form

روش چرخکاری Spinning

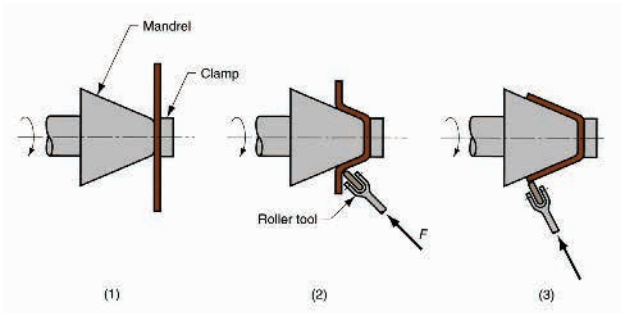
فرآیند شکل‌دهی است که در آن یک قطعه با تقارن محوری به تدریج حول یک سنبه دوار توسط یک غلتک دوار شکل‌دهی می‌شود.

سه نوع دارد:

۱- روش مرسوم Conventional spinning

۲- روش برشی Shear spinning

۳- روش تیوبی Tube spinning



شکل ۲۰،۴۲- روش مرسوم (۱) تنظیم در ابتدای فرآیند (۲) حین فرآیند و (۳) تکمیل فرآیند

شکل‌دهی با توان بالا HERF

فرآیندهای شکل‌دهی هستند که فلز با مصرف مقدار زیادی انرژی در یک زمان کوتاه، فرم می‌گیرد.

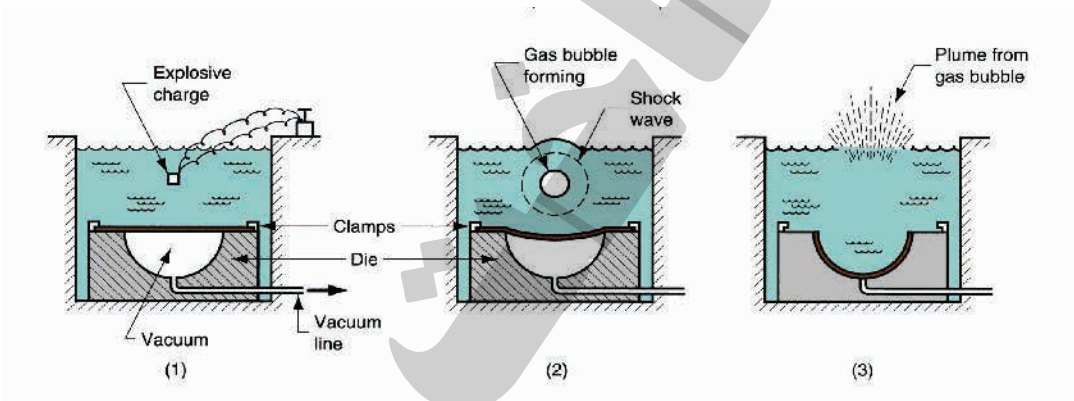
- این نوع فرآیندها شامل موارد زیر می‌شوند:

– شکل‌دهی انفجاری – شکل‌دهی الکتروهیدرولیک – شکل‌دهی به روش الکترومغناطیسی

شکل‌دهی انفجاری

با استفاده از انرژی ناشی از انفجار، ورق فلزی به داخل حفره ماتریس شکل‌دهی می شود.

- انفجار باعث به وجود آمدن موجی به صورت شوک می‌شود که انرژی خود را برای فرستادن ورق به داخل حفره ماتریس منتقل می‌کند.
- کاربردها: قطعات بزرگ، به عنوان نمونه صنعت هوافضا



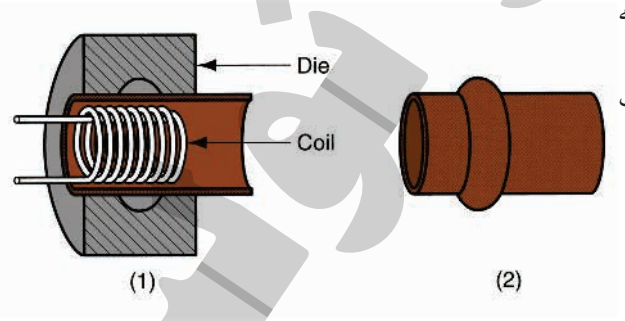
شکل ۴۵- شکل‌دهی انفجاری:

(۱) آماده‌سازی (۲) انفجار صورت می‌گیرد و (۳) موج انفجار قطعه را شکل‌دهی می‌کند و گازهای انفجار از سطح آب بیرون می‌روند

شکل‌دهی به روش الکترومغناطیسی

ورق فلزی توسط نیروی مکانیکی ناشی از میدان الکترومغناطیسی که در قطعه‌کار به وسیله یک سیم‌پیچی القا می‌شود، شکل‌دهی می شود.

- این فرآیند در حال حاضر در بین فرآیندهای HERF به صورت گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرد
- کاربردها: قطعات تیوبی



شکل۴۷- شکل‌دهی به روش الکترومغناطیسی: (۱) مرحله آماده‌سازی که در آن سیم‌پیچی به داخل قطعه‌کار تیوبی شکلی قرار داده می‌شود که توسط ماتریس احاطه شده است، (۲) قطعه شکل یافته