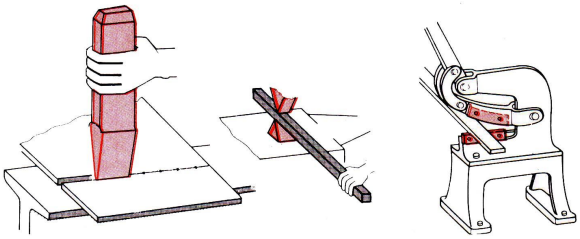
مدرسان شریف

فصل اول

« فرم دادن قطعات بدون براده برداری »

روش‌هایی که تغییر فرم قطعات را بدون عملیات براده برداری امکان پذیر می‌کنند، تغییر فرم بدون براده برداری نام داشته و از آنها می‌توان قیچی کاری، سوراخکاری با سمبه، خمکاری، صاف‌کاری، کوره‌کاری، آهنگری و ریختگری و ..... را نام برد.
بدلیل عدم دور ریز و وجود سرعت عمل، استفاده از این روش‌ها در تغییر فرم قطعات، از نظر اقتصادی مناسب‌تر می‌باشند ولی سطح کار در مقایسه با عملیات براده برداری صاف نبوده و در صورت لزوم بایستی آن را بوسیله عملیات دیگری تکمیل نمود.

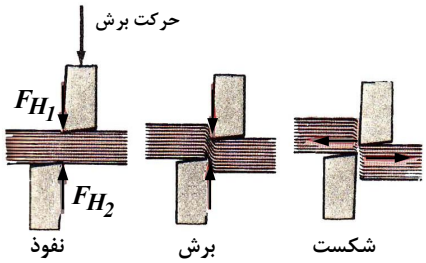
قیچی‌کاری

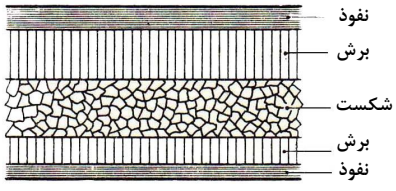


بوسیله قیچی‌کاری می‌توان انواع ورق‌ها، میله‌ها و شمش‌ها را برید. عمل برش بوسیله قیچی را می‌توان به جداکردن با قلم دستی تشبیه کرد با این تفاوت که در اینجا، بجای قلم تیغه‌های قیچی که در طرفین قطعه کار قرارگرفته و بوسیله نیروی دست یا ماشین از کنار هم عبور داده می‌شوند، عمل برش را انجام می‌دهد.

اصول قیچی‌کاری

هنگام برش با قیچی، لبه تیغه‌ها که فرم گوه را دارند از دو جهت مخالف سعی می‌کنند در قطعه کار نفوذ کرده و لایه‌های روئی را در دو طرف به هم بفشارند. با افزایش نیرو، تیغه‌ها عمل برش را شروع کرده و سعی در خنثی کردن مقاومت برش قطعه کار می‌کنند. این عمل تا بدانجا ادامه می‌یابد که قطعه کار مقاومت خود را در مقابل نیروی تیغه‌ها (گوه‌ها) از دست داده و عمل قیچی‌کاری با شکستن باقی مانده سطح، تکمیل می‌گردد.
به این ترتیب عمل قیچی‌کاری در سه مرحله **نفوذ، برش** و **شکستن** انجام می‌گیرد.
ضخامت مرحله برش به جنس قطعه کار بستگی داشته و مقدار آن در قسمت بالا بیشتر و در پایین کمتر است (مرحله برش فقط در حدود ۰/۴ تا ۰/۸ ضخامت کار را شامل می‌شود)

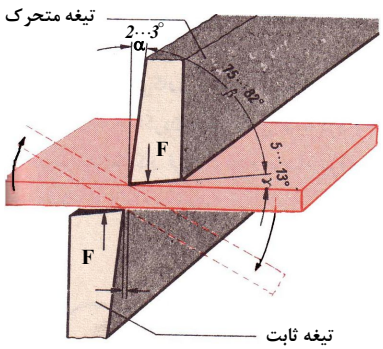




مقطع برش

زوایای تیغه‌های قیچی

به منظور نفوذ تیغه‌های قیچی در قطعه کار و بدست آوردن سطح برش تمیز، بایستی تیغه‌ها زوایای لازم جهت برش را دارا باشند، این زوایا بصورت شکل مقابل می‌باشند:

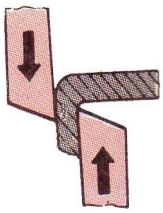


α : زاویه آزاد
β : زاویه گوه
γ : زاویه نفوذ یا براده
F : نیروی برش
S : مقدار لقی بین دو تیغه

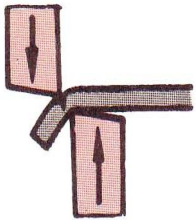
لقی بین تیغه‌ها

به منظور جلوگیری از گیرکردن تیغه‌ها و از بین بردن اصطکاک در هنگام برش، بین دو تیغه قیچی مقداری لقی S در نظر گرفته می‌شود که مقدار آن به ضخامت و جنس قطعه کار بستگی دارد. مقدار لقی را معمولاً در حدود ۵٪ ضخامت قطعه کار در نظر می‌گیرند.

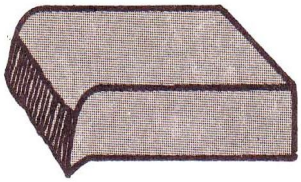
در صورتی که مقدار لقی تیغه‌ها بیشتر از اندازه مجاز انتخاب شود سطح برش ناصاف و دارای پلیسه خواهد بود. در بریدن ورق‌های نازک این امر باعث گیرکردن قطعه کار بین تیغه‌های قیچی خواهد شد و در صورتی که مقدار لقی کمتر از حد مجاز باشد در اثر اصطکاک، تیغه‌ها به هم گیرکرده و عمل برش براحتی انجام نمی‌گیرد.



مقدار لقی خیلی زیاد

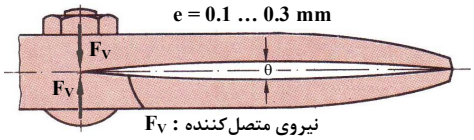


ورقهای نازک خم می‌شوند

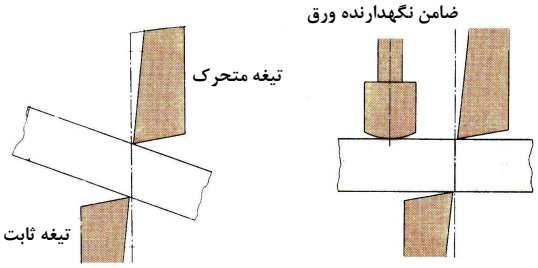


لبه برش صاف نبوده و پلیسه دارد

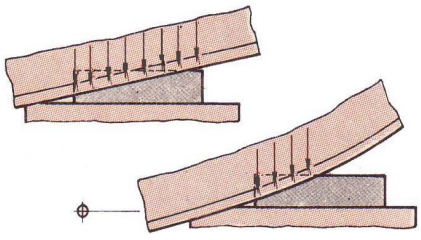
در قیچی‌های دستی که به منظور بریدن ورق‌های نازک تا ضخامت ۱ میلی‌متر مورد استفاده قرارمی‌گیرند لقی وجود نداشته و بجای آن تیغه‌ها را کمی قوس می‌دهند تا حالت فنری پیدا کرده و فقط در محل برش بصورت نقطه‌ای با هم تماس پیدا کنند.



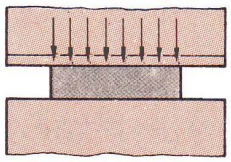
چون نیروهای وارده از تیغه‌ها به قطعه کار در یک امتداد نبوده و هم چنین بدلیل وجود لقی بین تیغه‌ها، قطعه کار در ضمن برش منحرف شده و تمایل پیدا می‌کند، این عمل می‌تواند علاوه بر خم‌شدن قطعه کار و جلوگیری از برش، به تیغه‌ها نیز لطمه وارد کند، لذا بایستی به نحوی از این تمایل جلوگیری شود. در قیچی‌کاری دستی می‌توان بوسیله دست از این انحراف جلوگیری کرد و در قیچی‌های اهرمی و یا ماشینی از یک ضامن نگهدارنده برای این منظور بهره گرفت.



در قیچی‌ها برای تقلیل نیروی لازم جهت بریدن قطعات، تدابیری به کار می‌برند که سطح برش را تقلیل داده و عمل بریدن به تدریج انجام شود. برای این منظور امتداد تیغه‌ها را نسبت به هم موازی در نظرنگرفته بلکه بین آنها زاویه ای در حدود ۹ تا ۱۵ درجه انتخاب می‌کنند.



برش تدریجی



برش موازی

مثال ۱: گزینه نادرست در مورد لقی بین تیغه‌های قیچی کدام است؟

۱) لقی بین تیغه‌های قیچی بستگی به جنس قطعه‌کار دارد.

۲) لقی بین تیغه‌های قیچی بستگی به ضخامت قطعه‌کار دارد.

۳) لقی بین تیغه‌های قیچی در حدود ۰/۴ ضخامت قطعه‌کار می‌باشد.

۴) لقی بین تیغه‌های قیچی به منظور جلوگیری از اصطکاک در هنگام بریدن است.

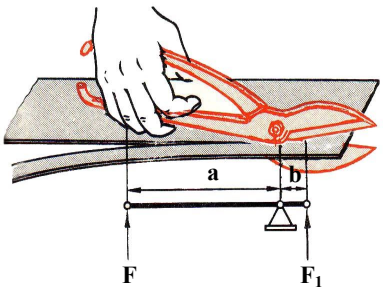
☑ **پاسخ :** گزینه «۳» مقدار لقی بین تیغه‌های قیچی در حدود ۰/۰۵ ضخامت قطعه‌کار می‌باشد.

✷ قیچی‌ها برحسب نوع و مورد استفاده‌شان در انواع مختلفی ساخته شده‌اند که در زیر به آنها اشاره می‌کنیم:

۱) قیچی‌های دستی

بوسیله قیچی‌های دستی ورق‌هایی که ضخامت آنها تا ۱/۵ میلی‌متر می‌باشند را می‌توان برید.

در انواع این قیچی‌ها هر دو تیغه حول یک نقطه مشترک (محور دوران) حرکت می‌کنند. در ساختمان قیچی‌های دستی برای تأمین نیروی برش و سهولت عمل قیچی‌کاری از قانون اهرم‌ها استفاده شده است. بنابراین می‌توان گفت که هر چه دسته قیچی بلندتر و نقطه برش به محور دوران نزدیک‌تر باشد عمل برش با نیروی کمتری انجام می‌گیرد.



F = نیروی کارگر

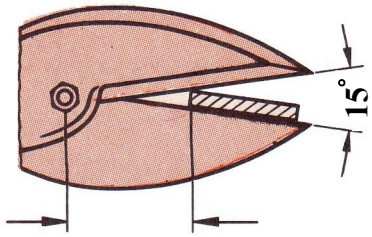
F_1 = نیروی مقاوم قیچی (نیروی برش)

a = بازوی کارگر

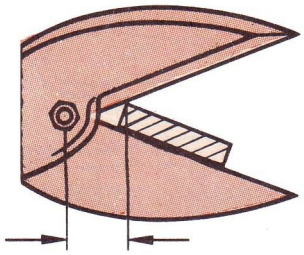
b = بازوی ایستادگی

$$F \times a = F_1 \times b$$

از قانون فوق هم چنین نتیجه می‌شود که هر چه لبه‌های قیچی را از هم بیشتر باز کنیم چون نقطه برش به مرکز دوران نزدیک‌تر می‌شود عمل برش با نیروی کمتری انجام خواهد شد ولی در عمل مشاهده می‌شود که در صورت باز بودن بیش از حد دهانه قیچی، قطعه کار بسمت جلو رانده شده و در زاویه معینی که بنام **زاویه برش قیچی** معروف است، شروع به بریدن می‌کند. مقدار این زاویه در قیچی‌های دستی حدود 15° می‌باشد.



بازوی ایستادگی بزرگ

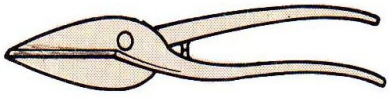


بازوی ایستادگی کوچک

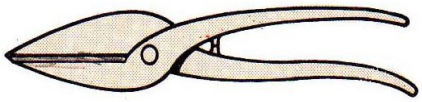
✷ قیچی‌های دستی را بر حسب نوع کار به فرم‌های مختلف در دو گروه اصلی **چپ بُر** و **راست بُر** می‌سازند.

برای تشخیص راست و یا چپ بُر بودن قیچی، معمولاً به این ترتیب عمل می‌شود که ابتدا قیچی را از پهلو به نحوی در مقابل دید قرار می‌دهند که نوک آن به سمت چپ باشد. حال اگر پخ لبه برنده تیغه بالایی قابل رویت بود آن را قیچی **راست بُر** و چنانچه پخ لبه برنده تیغه پایینی در معرض دید باشد قیچی را **چپ بُر** می‌نامند.

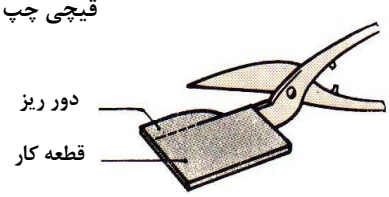
در هنگام استفاده از این قیچی‌ها بایستی توجه داشت که در هنگام برش با قیچی‌های راست بُر، قطعه کار باید در سمت راست و در قیچی‌های چپ بُر در سمت چپ قیچی قرارگیرد. به این ترتیب تغییر فرم در قطعه جداشده (دور ریز) ایجاد گردیده و لبه قطعه کار سالم باقی می‌ماند.



قیچی راست بر



قیچی چپ بر

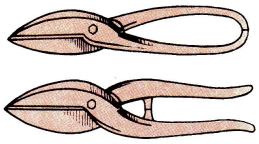
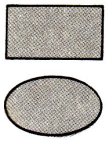
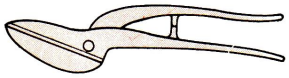
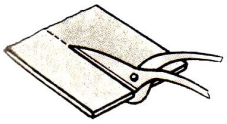
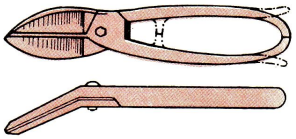
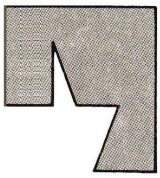
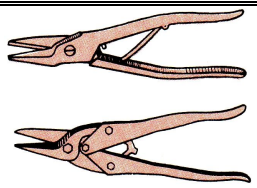
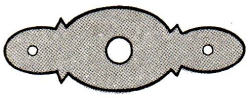
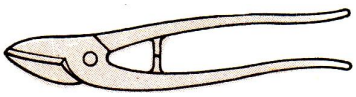
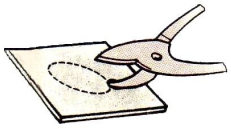
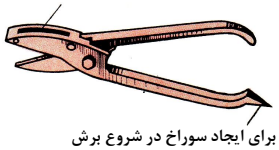
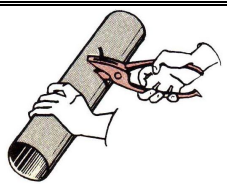


مثال ۲: مقدار زاویه برش قیچی‌های دستی چند درجه است؟

۱) 25°　　۲) 20°　　۳) 15°　　۴) 5°

☑ **پاسخ :** گزینه «۳» زاویه برش قیچی‌های دستی در حدود 15° می‌باشد.

«در جدول زیر پاره‌ای از قیچی‌های دستی را بهمراه مورد استفاده‌شان ملاحظه می‌کنید.»

نام قیچی	شکل	مورد استفاده
مستقیم		برای برشهای مستقیم و قوس داری که طول کوتاهی دارند 
طویل بُر		برای برشهای مستقیم و طویل 
زاویه دار (کج)	 زاویه تیغه‌ها نسبت به بدنه تا ۴۵ درجه	برای ایجاد برش در محلهای زاویه‌داری که با قیچی مستقیم بریده نمی‌شوند. 
فرم بُر		برای برشهای فرم دار 
سوراخ بُر		برای برشهای داخلی مستقیم و فرم دار 
لوله بُر		برای قطع‌کردن و ایجاد برش در لوله‌های نازک 

مثال ۳: تفاوت کار با قیچی‌های راست بُر و چپ بُر دستی کدام است؟

۱) زاویه برش قیچی‌های چپ بُر بیشتر از راست بُر است.

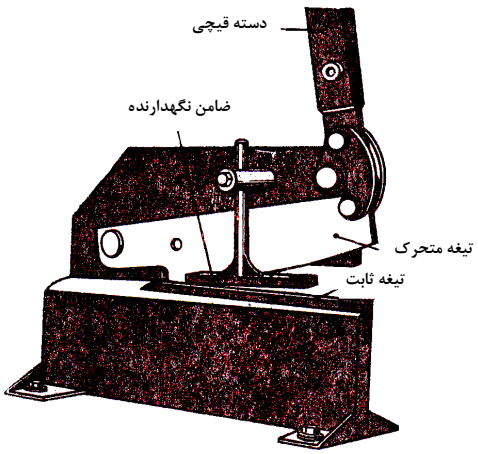
۲) زاویه برش قیچی‌های راست‌بُر بیشتر از چپ بُر است.

۳) در قیچی راست‌بُر قطعه اصلی در سمت چپ قرارمی‌گیرد و در چپ بُر در سمت راست قیچی.

۴) در قیچی‌های راست‌بُر قطعه اصلی در سمت راست قیچی قرارمی‌گیرد و در چپ بُر در سمت چپ قیچی.

☑ **پاسخ :** گزینه «۴» در هنگام برش با قیچی‌های راست بُر، قطعه‌کار باید در سمت راست و در قیچی‌های چپ بُر در سمت چپ قیچی قرار گیرد.

۲) قیچی ساده اهرمی



در مقایسه با قیچی‌های دستی که در آنها هر دو تیغه متحرک می‌باشند، قیچی‌های اهرمی دارای یک تیغه ثابت و یک تیغه متحرک هستند. معمولاً تیغه ثابت در پائین قرارداشته و از آن بعنوان تکیه‌گاه کار نیز استفاده می‌شود. تیغه متحرک که در بالا قرار دارد از طریق یک اهرم دوبل عمل برش را انجام می دهد. طول تیغه‌های این قیچی‌ها معمولاً تا حدود ۳۰۰ میلیمتر بوده و برای بریدن قطعاتی که ضخامت آنها تا ۵ میلیمتر می‌باشند بکار می‌روند.

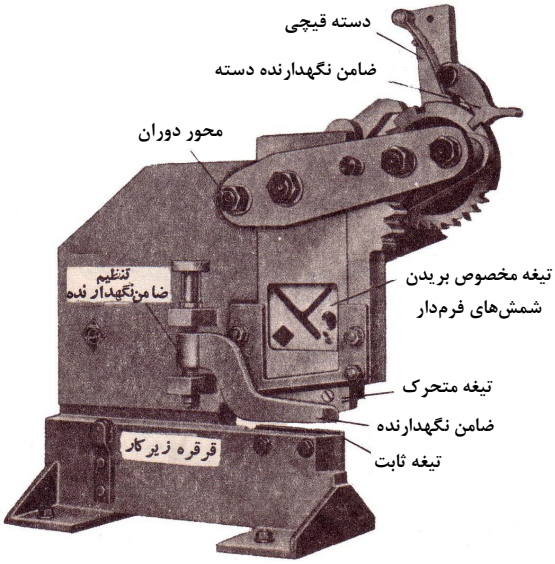
در کنار بدنه قیچی ضامن نگهدارنده قابل تنظیمی در نظر گرفته‌اند که وظیفه افقی نگهداشتن قطعه کار را بعهده دارد.

با این قیچی‌ها فقط می‌توان ورقها و قطعات تخت را برید و از آنها نمی‌توان برای بریدن مفتولها و شمش‌های فرمدار استفاده کرد زیرا این عمل به تیغه‌های آن صدمه وارد می‌کند.

۳) قیچی مرکب اهرمی

اساس کار این قیچی‌ها مشابه قیچی‌های فوق بوده با این فرق کـه در آنهـا تیغـه‌هـای دیگری جهت بریدن مفتولها و شمشهای فرمدار مانند چهـارگوش، نبـشی، سـه‌پـری و ..... در نظر گرفته شده است. این قیچی‌ها می‌توانند قطعات ضخیم‌تر از ۵ میلیمتر را نیز ببرند. معمولاً در روی بدنه آنها اندازه مجاز برش را براساس فرم و جنس قطعـه‌کـار مشخص می‌کنند.

برای تأمین نیروی برش در این قیچی‌ها، علاوه بر اهرم، از چرخ دنده نیز استفاده شـده و علاوه بر ضامن نگهدارنده قطعه‌کار، دارای ضامن دیگری جهت جلـوگیری از افتـادن ناگهانی دسته قیچی نیز می‌باشند.

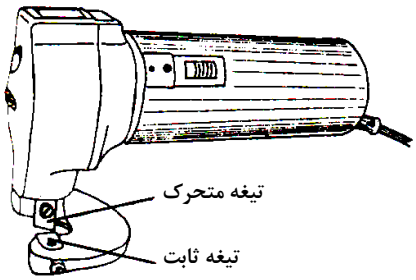


۴) قیچی نیبلر

این قیچی‌ها که بنام قیچی‌های ارتعاشی نیز معروفند بوسیله بـرق و یـا هـوای فـشرده کارمی‌کنند.

روش‌کار این قیچی‌ها به این ترتیب است که یکی از تیغه‌ها (معمولاً تیغه بالائی) بطور مداوم بسمت بالا و پائین حرکت کرده (۱۰۰۰ بار در دقیقه) و با عبـور از کنـار تیغـه ثابت عمل برش را انجام می‌دهد.

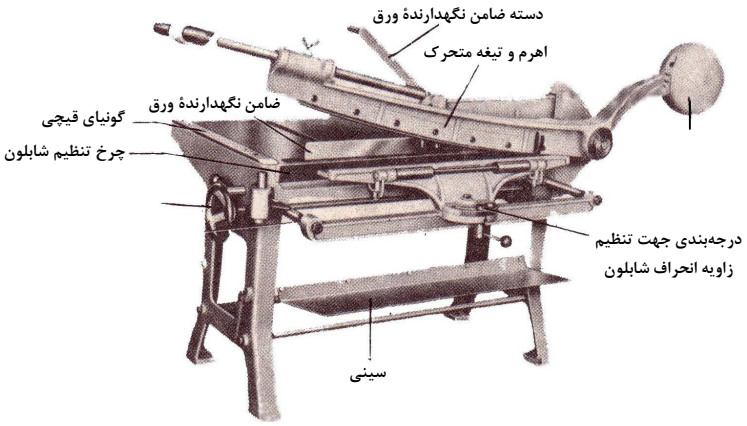
✷ با این قیچی‌ها،ورقهای فلزی را به فرم مستقیم و یا منحنی می‌توان برید.



۵) قیچی اهرمی ورق‌بُر

این قیچی‌ها معمولاً برای بریدن ورقهای نازک تا ضخامت ۲ میلیمتر و طول برش یک متر ساخته می‌شوند.

در این قیچی‌ها تیغه ثابت که در پائین قرار دارد به لبه میز متصل بوده و تیغه متحرک مستقیماً روی اهرم یکطرفـه‌ای سـوار شـده است. برای اینکه زاویه برش در تمام طول تیغه یکسان باقی بماند معمولاً تیغه متحرک را قوسدار می‌سازند. در طرف دیگر اهرم وزنه تعادلی وجود دارد که حرکت اهرم را آسان‌تر مـی‌کنـد.در طـرف مقابل میز این قیچی‌ها شابلونی وجـود دارد کـه مـی‌تـوان در سـری کاری آنرا تنظیم کرده و با تکیه دادن ورق به آن، بـدون خـط‌کـشی، قطعات مشابه را برید. ضامن نگهدارنده در این قیچی‌ها بـه نحـوی ساخته شده است که بتواند در تمام طـول بـرش از انحـراف ورق جلوگیری نماید.



مثال ۴: قیچی نیبلر چیست؟

۱) قیچی مخصوص بریدن صفحات نازک با طول برش ۱ متر است.

۲) قیچی مخصوص است برای بریدن ورق‌های با ضخامت تا ۵ میلی‌متر.

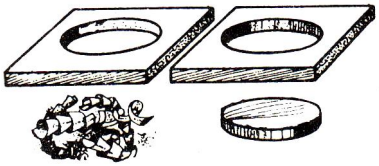
۳) قیچی ارتعاشی است با محرک الکتریکی یا پنوماتیکی برای بریدن ورق‌ها بطور مستقیم و فرمی.

۴) قیچی مخصوص است که می‌تواند علاوه بر برش صفحات با ضخامت بیش‌تر از ۵ میلی‌متر، چهارگوش، نبشی، سه پری و میل‌گرد را نیز ببرد.

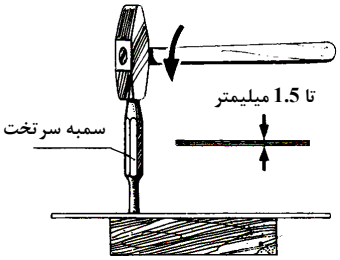
☑ **پاسخ :** گزینه «۳» قیچی نیبلر که بنام قیچی ارتعاشی معروف است برای بریدن ورق‌های فلزی به فرم مستقیم و یا منحنی بکار می‌رود.

سوراخکاری بوسیله سمبه‌ها

سوراخکاری بوسیلهٔ سمبه‌ها نیز یکی از روشهای تغییر فرم بدون براده برداری بوده و عمل سوراخکاری در اثر عبور سمبه از داخل قطعه‌کار انجام‌می‌گیرد. قسمت جدا شده بصورت یک تکه بوده و در بعضی از مواقع از آن نیز می‌توان استفاده کرد.

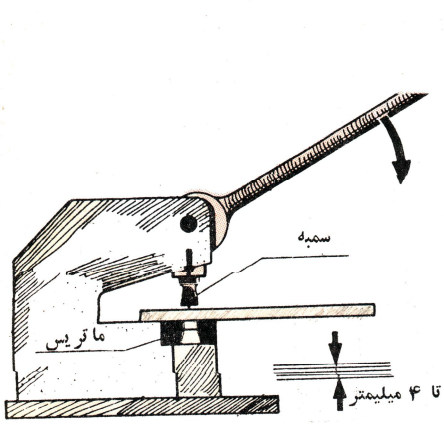


این روش در مقایسه با مته‌کاری دارای سرعت عمل زیادتر بوده و می‌توان فرم سوراخ را به شکل دلخواه (گرد یا گوشه‌دار) ایجاد نمود. ولی از معایب آن می‌توان ناصافی سطح سوراخ، پلیسه‌دار بودن و عدم دقت زیاد را نام برد. با این روش امکان سوراخکاری قطعات با ضخامت نسبتاً کم بوجود می‌آید.

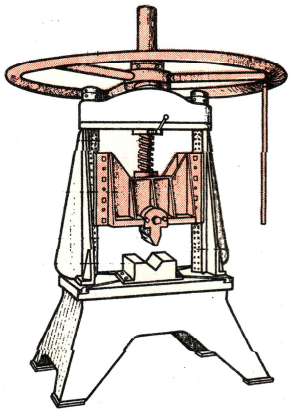


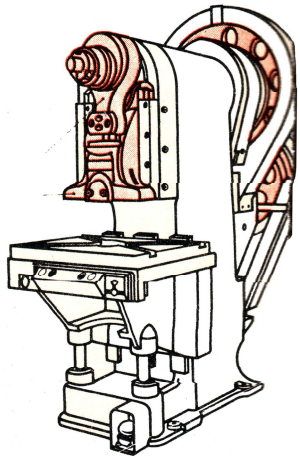
ورق‌های نازک را می‌توان به کمک سمبه سر تخت و ضربات چکش در شرایطی که در زیر آن یک قطعه چوب سخت و یا سرب، بنام زیرکاری قرار داده شده، سوراخ نمود.

برای ایجاد سوراخهای تمیز با لبه‌های صاف‌تر و همچنین سوراخکاری قطعاتی که ضخامت آنها بیشتر باشد، می‌توان از **سمبه** به همراه زیرکاری سوراخداری بنام **ماتریس** استفاده نمود. ماتریس را معمولاً هم جنس با سمبه انتخاب کرده و سوراخ آن بایستی به فرم پیشانی سمبه بوده و لقی مجازی مشابه قیچی‌کاری بایستی بین آنها وجود داشته باشد. برای تأمین نیروی لازم جهت سوراخکاری، می‌توان از پرس‌های دستی اهرمی و یا پیچی و در مواردی که سرعت عمل و نیروی بیشتری لازم باشد از پرس‌های ماشینی لنگی و یا هیدرولیکی نیز استفاده نمود.

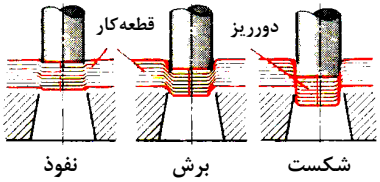


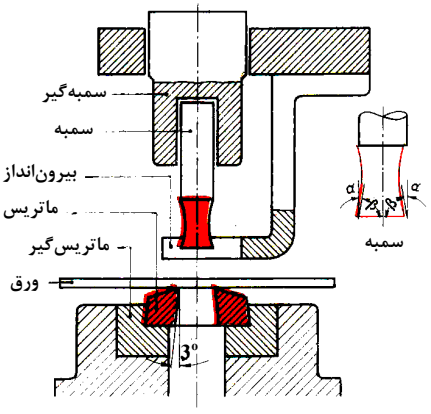
پرس دستی اهرمی


پرس دستی، پیچی


پرس ماشینی لنگی

اصول سوراخکاری با سمبه و ماتریس را می‌توان به قیچی‌کردن در محیط بسته‌ای تشبیه کرد که در آن معمولاً سمبه نقش تیغهٔ متحرک و ماتریس وظیفهٔ تیغهٔ ثابت را بعهده دارد. در هنگام فرورفتن سمبه به داخل کار، لبه‌های برش تحت تأثیر نیروی سمبه قرارگرفته و با تغییر فرمی که در امتداد خط برش ایجاد می‌شود، مشابه قیچی‌کاری فرم سوراخ را بوجود می‌آورد.

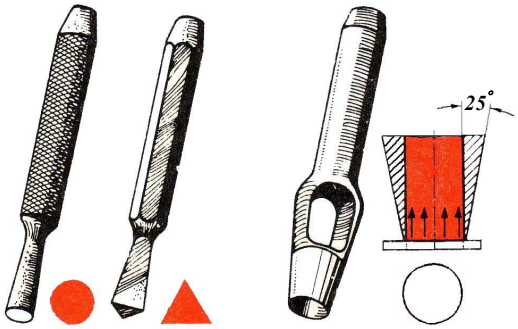




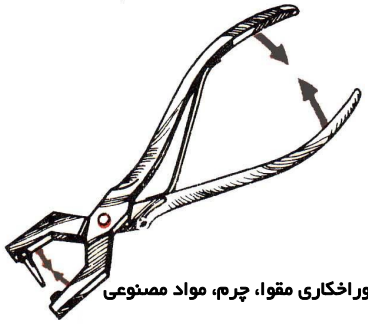
سمبه‌های سر تخت را از فولادهای افزارسازی به این ترتیب می‌سازند که قسمت برندهٔ آنها را ابتدا بوسیلهٔ کوره‌کاری فرم داده و پس از براده برداری به اندازهٔ مورد لزوم آنها را سخت می‌کنند. عمل برش بوسیلهٔ لبه‌های تیز پیشانی سمبه انجام می‌شود. قسمت بالایی پیشانی سمبه‌ها را برای تأمین زاویه آزاد کمی کوچکتر انتخاب کرده و بدین وسیله زاویه گوه را نیز ایجاد می‌کنند.

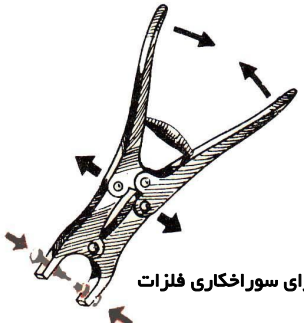
از این سمبه‌ها برای سوراخ‌کاری ورق‌های فلزی نازک تا ضخامت ۱/۵ میلیمتر، بشرطی که جنس آنها از جنس سمبه نرم‌تر باشد می‌توان استفاده کرد.

برای سوراخ‌کردن قطعات نرم‌تر مانند چرم، مقوا و لاستیک از سمبه‌هائی بنام **سمبه سوراخ‌کُن** استفاده می‌شود. لبه برندهٔ این سمبه‌ها محصور بین سوراخ داخلی و مخروط خارجی بوده و بدین طریق زاویه گوه آنها تأمین می‌شود. مقدار زاویه گوه در این سمبه‌ها معمولاً از ۲۵ تا ۳۵ درجه انتخاب می‌شود. در قسمت بالای لبهٔبرنده محلی برای خارج شدن قسمت‌های بریده شده وجود دارد.



برای ایجاد سوراخهای نسبتاً کوچک، در مواردی که فاصلهٔ مرکز سوراخ با لبهٔ قطعه‌کار کم باشد، می‌توان از انبرهای سوراخکاری که بنام **منگنه** نیز معروفند استفاده نمود. این منگنه‌ها را به فرمهای گوناگونی می‌سازند ولی از نوع ساختمان و ضخامت بازوهای آنها و همچنین نوع اهرم‌بندی، می‌توان پی‌برد که برای سوراخکاری فلزات در نظر گرفته شده‌اند و یا بایستی از آنها برای سوراخکاری قطعات نرم‌تر مانند چرم، مقوا و پلاستیک استفاده نمود.


منگنه برای سوراخکاری مقوا، چرم، مواد مصنوعی


منگنه برای سوراخکاری فلزات

مثال ۵ : سنبه سوراخ‌کُن چیست؟

۱) ابزاری است برای سوراخ‌کردن قطعات نرم

۲) ابزاری است برای سنبه زدن مرکز سوراخها

۳) وسیله‌ای است برای سوراخ‌کردن لبهٔ قطعات نازک

۴) وسیله‌ای است برای ایجاد سوراخهای کوچک روی ورق‌های فولادی

☑ **پاسخ :** گزینه «۱» برای سوراخ‌کردن قطعات نرم مانند چرم، مقوا و لاستیک از سنبه‌هایی بنام سنبه سوراخ‌کُن استفاده می‌شود.

مثال ۶ : کدام یک از جملات زیر نادرست است؟

۱) سرعت عمل سنبه کاری بیشتر از مته کاری است.

۲) به کمک سنبه می‌توان قطعات با ضخامت کم را سوراخ کرد.

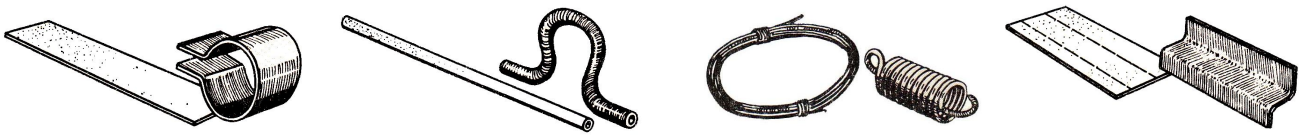
۳) سوراخ ایجاد شده بوسیله سنبه از سوراخ ایجاد شده توسط مته دقیق‌تر است.

۴) سوراخ ایجاد شده توسط مته از سوراخ ایجاد شده بوسیله سنبه دقیق‌تر است.

☑ **پاسخ :** گزینه «۳» از معایب سنبه کاری نسبت به مته‌کاری می‌توان ناصافی سطح سوراخ، پلیسه دار بودن سوراخ و عدم دقت زیاد را نام برد.

خمکاری

خمکاری یکی از روشهای تغییر فرم بدون براده برداری بوده و با این روش می‌توان قطعات قابل انعطاف را بصورت سرد و یا گرم تغییر فرم داد. خمکاری از ساده‌ترین عملیات فرم دهی است که می‌تواند بدون قالب هم انجام شود. بنابراین عملیات فرم دهی را، حتی‌الامکان به سمت خمکاری ورق سوق می‌دهند. اشکال زیر نمونه‌هائی از قطعاتی را که بوسیلهٔ خمکاری تغییر فرم یافته‌اند نشان می‌دهد.



توجه : قابلیت خمکاری فولادهای غیرآلیاژی بستگی به مقدار درصد کربن آنها دارد. هر چه مقدار کربن در آنها زیادتر باشد، قابلیت خمکاری آنها کمتر است. فولادهای آلیاژی که تا ۱/۲ درصد کربن داشته باشند، در حالت سرد قابل خمکاری بوده و در غیر اینصورت بایستی آنها را در حالت گرم خمکاری نمود.

اغلب فلزات غیرآهنی و آلیاژهای آنها را می‌توان در حالت سرد خمکاری نمود، ولی پاره‌ای از آنها را بایستی ابتدا گرم کرده و سپس مبادرت به خم‌کردن آنها نمود. بعنوان مثال فلز روی را بایستی تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد و آلیاژهای منیزیم را تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد گرم و سپس خمکاری نمود.

نکته : پاره‌ای از فلزات و آلیاژهای که سختی آنها زیاد بوده و قابل انعطاف نیستند و همچنین چدنها قابلیت خمکاری ندارند.

مثال ۷ : کدام یک از انواع فولادهای غیرآلیاژی زیر قابلیت خمکاری در حالت سرد را دارند؟

۱) فولادهایی که درصد کربن آنها کمتر از ۱/۲ درصد باشد.
۲) فولادهایی که درصد کربن آنها بیشتر از ۱/۸ درصد باشد.
۳) فولادهایی که درصد کربن آنها بیشتر از ۱/۲ درصد باشد.
۴) فولادهایی که درصد کربن آنها کمتر از ۱/۸ درصد باشد.

☑ **پاسخ :** گزینه «۱» با افزایش درصد کربن در فولادهای غیرآلیاژی، قابلیت خمکاری آنها کاهش پیدا می‌کند.

مثال ۸ : برای انجام عملیات خمکاری روی آلیاژهای منیزیم درجهٔ حرارت قطعه‌کار کدام است؟

۱) درجه حرارت محیط
۲) ۱۵۰ درجه سانتیگراد
۳) ۳۰۰ درجه سانتیگراد
۴) ۴۶۰ درجه سانتیگراد

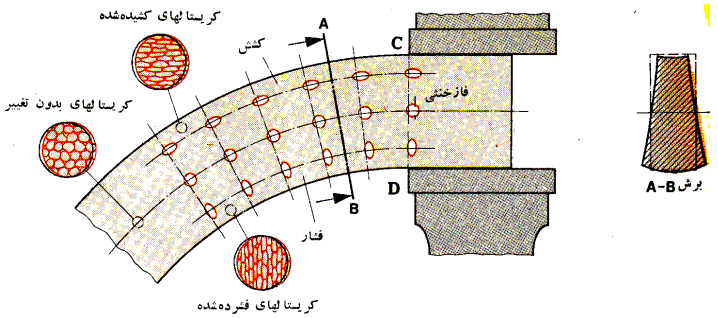
☑ **پاسخ :** گزینه «۳»

اصول خمکاری

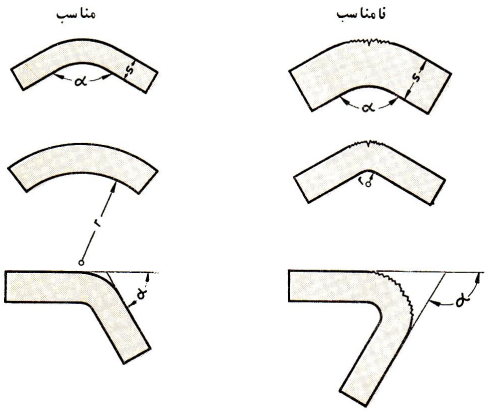
در خمکاری قطعات، لایه‌های خارجی آنها کشیده شده و لایه‌های داخلی فشرده می‌شوند. تنها یک لایه از نظر طول بدون تغییر باقی‌می‌ماند که آنرا لایه یا **فاز خنثی** گویند. برای درک بهتر مطلب فوق می‌توان تسمه‌ای را در نظر گرفت و روی آن سه ردیف سوراخ با قطرهای مساوی‌ایجاد کرد.

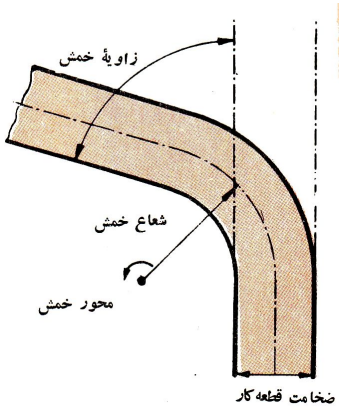
سپس آنرا به گیره بسته و مطابق شکل خم می‌کنیم. مشاهده می‌شود که سوراخهایی که در لایه‌های خارجی واقع شده‌اند کشیده شده و سوراخهایی که در لایه‌های داخلی وجود دارند فشرده می‌گردند و فقط سوراخهای موجود روی فاز خنثی بدون تغییر باقی می‌ماند.

همین مطلب را می‌توان با مشاهدهٔ مقطع قسمت خم‌شده نیز (با توجه به تغییر ابعادی که در آن بوجود می‌آید) تشخیص داد.



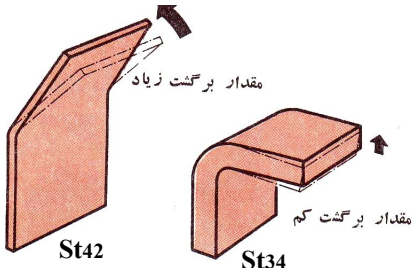
مقدار تغییر فرم مقطع در محل خمکاری بستگی به جنس کار، شعاع و زاویه خمش و فاصلهٔ لایه‌های خارجی تا فاز خنثی دارد. تغییر فرم زیاد ممکن است در قطعاتی که قابلیت خمکاری آنها کم می‌باشد ترک‌هایی ایجاد نماید.



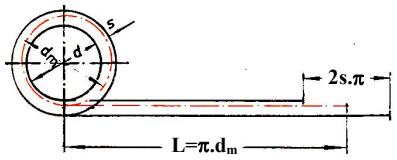


برای جلوگیری از ترک برداشتن و یا شکستن قطعه‌کار در محل خم‌کاری، بایستی شعاع خمش را متناسب با جنس و نوع کار در نظر گرفت. انتخاب شعاع خمش به عواملی مانند: قابلیت انعطاف، زاویه خمش، ضخامت و فرم مقطع قطعه‌کار و جهت الیاف آن بستگی دارد.

در خمکاری قطعات بایستی توجه داشت که قطعه‌کار بخاطر داشتن خاصیت ارتجاعی، پس از خمکاری کمی به عقب برمی‌گردد. هرچه جنس کار سخت‌تر و ضخامت قطعه‌کار و زاویه خمش کمتر باشد، مقدار برگشت بیشتر خواهد بود. لذا بایستی در انتخاب زاویه خمش، مقدار برگشت را نیز در نظر گرفت.



چون فقط فاز خنثی در خمکاری بدون تغییر باقی می‌ماند، لذا برای تهیه مواد اولیه بایستی با توجه به فرم سطح مقطع قطعه‌کار، ابتدا محل فاز خنثی را تشخیص داده و سپس طول آنرا محاسبه نمود.



طول فاز خنثی = طول مواد اولیه

مثال ۹ : سختی جنس قطعات با قابلیت خمکاری آنها چه رابطه‌ای دارد؟

۱) با افزایش سختی قابلیت خمکاری کم می‌شود.
۲) با افزایش سختی به قابلیت خمکاری افزوده می‌شود.
۳) اجسام سخت را با اعمال فشار زیاد می‌توان به راحتی خم‌کرد.
۴) سختی قابلیت نفوذ اجسام را تغییر می‌دهد و با قابلیت خمشی رابطه‌ای ندارد.

☑ **پاسخ :** گزینه «۱» هر چه جنس قطعه کار سخت‌تر، ضخامت قطعه کار و زاویه خمش کمتر باشد، مقدار برگشت قطعه کار پس از خمکاری بحالت اولیه بیشتر خواهد بود. بنابراین با افزایش سختی جنس قطعه کار قابلیت خمکاری آن کاهش می‌یابد.

مثال ۱۰: در عملیات خمکاری گزینه درست در مورد فاز خنثی کدام است؟

۱) نقطه‌ای است که در مرکز ثقل جسم وجود دارد.
۲) نقطه‌ای از جسم است که هیچگونه نیرویی را تحمل نمی‌کند.
۳) لایه‌ای است از قطعه که در خم‌کردن قطعه، تغییر طولی در آن ایجاد نمی‌شود.
۴) در عملیات سنبه کاری فاز خنثی داریم و در عملیات خمکاری فاز خنثی وجود ندارد.

☑ **پاسخ :** گزینه «۳» در خمکاری قطعات، لایه‌های خارجی آنها کشیده شده و لایه‌های داخلی فشرده می‌شوند. تنها یک لایه از نظر طول بدون تغییر باقی می‌ماند که آن را لایه خنثی گویند.

اصطلاحات مهم در خمکاری

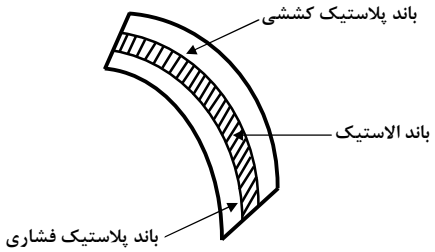
I) تار خنثی: عبارت از محوری است که در آن تنش در حین خمکاری صفر است و در محاسبه طول خم مهم می‌باشد. فاصله تار خنثی از سطح خم به صورت ضریبی از ضخامت ورق بیان می‌شود و فاصله مذکور به عوامل زیر بستگی دارد:

۱) شعاع خم: هر چه شعاع خم کوچکتر شود تار خنثی به طرف داخل حرکت می‌کند و فاصله مذکور کمتر می‌شود.

۲) ضخامت ورق: با افزایش ضخامت ورق، فاصله تار خنثی از سطح داخلی کاهش می‌یابد.

۳) زاویه خمش: هر چه زاویه خم بیشتر شود فاصله مذکور کمتر می‌شود.

II) برگشت فنری: در عملیات خمکاری، یک نوار مرکزی الاستیک وجود دارد که انرژی آن تمایل دارد ورق را به حالت تعادل برگرداند.



« مناطق ورق بعد از خم »

عوامل مؤثر در برگشت فنری:

۱) جنس فلز: مواد ترد برگشت فنری کمتری دارند.

۲) شعاع خم: هر چه شعاع خم کوچکتر باشد برگشت فنری کمتر خواهد بود.

۳) ضخامت ورق: هر چه ضخامت ورق بیشتر باشد برگشت فنری کمتر است.

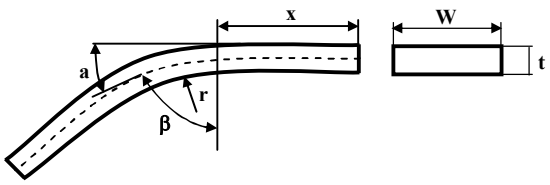
۴) زاویه خم: هر چه زاویه خم بیشتر باشد مقدار برگشت فنری نیز افزایش می‌یابد امّا نسبت $\frac{\text{برگشت فنری}}{\text{زاویه خم}}$ کاهش پیدا می‌کند.

پارامترهای خمکاری

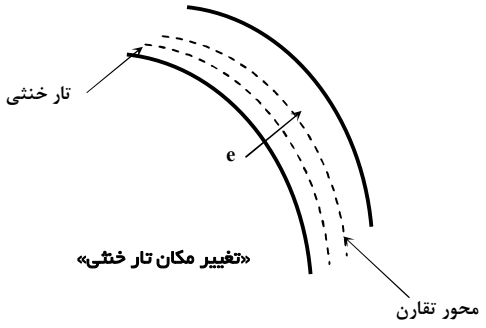
با توجه به شکل روبرو پارامترهای خمکاری عبارتند از:

شعاع خم (r) ، ضخامت ورق (t) ، طول خم (w) ، طول لبه (x) ،

زاویه خم در محور خنثی (α) ، زاویه گونیایی یا اریب (β) .



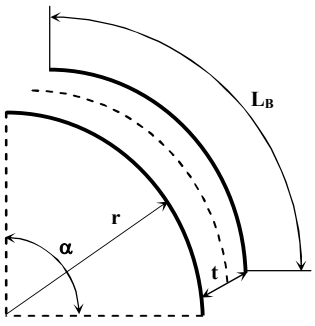
محور خنثی در سطوح منظم و متقارن، قبل از خم در مرکز سطح قرار دارد و بعد از خمکاری با توجه به شکل مقابل به نسبت $\frac{\text{شعاع خم (r)}}{\text{ضخامت ورق (t)}}$ به سمت داخل خم کشیده می‌شود.



«تغییر مکان تار خنثی»

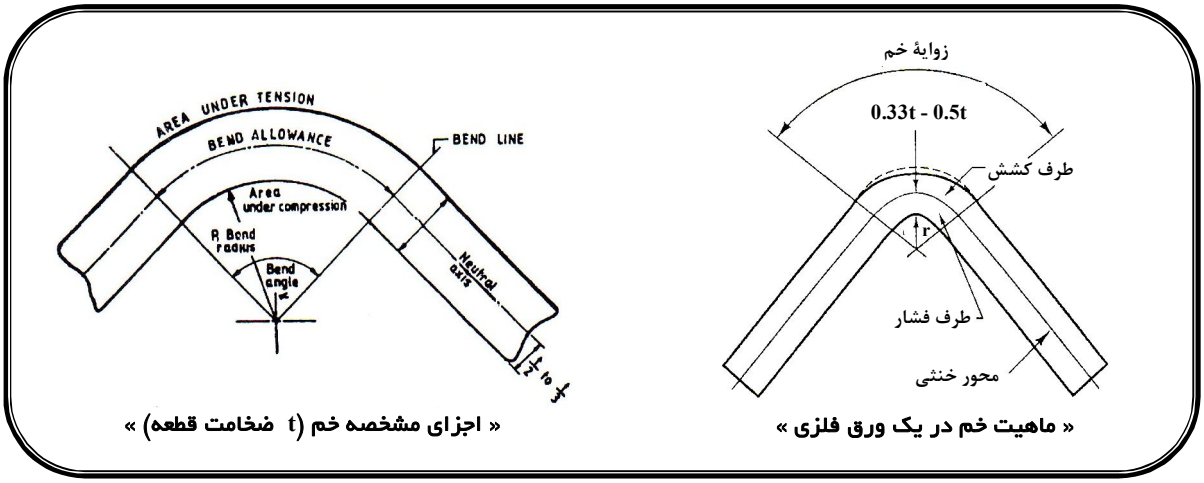
$$\begin{cases} \frac{r}{t} > ۴ \longrightarrow e = ۰/۵t \\ ۲ \le \frac{r}{t} \le ۴ \longrightarrow e = ۰/۴t \\ \frac{r}{t} < ۲ \longrightarrow e = ۰/۳۳t \end{cases}$$

محاسبه طول بلانک توسط فرمول‌های زیر انجام می‌شود:



$$L_B = \frac{\alpha^\circ}{۳۶۰^\circ} \times ۲\pi(e+r) \quad (\alpha \text{ بر حسب درجه})$$

$$L_B = \alpha^{Rad}(e+r) \quad (\alpha \text{ بر حسب رادیان})$$



« ماهیت خم در یک ورق فلزی »　　« اجزای مشخصه خم (t ضخامت قطعه) »

روش‌های جلوگیری از برگشت فنری

۱) خم‌کردن اضافی (over bending) : بیشتر در نظر گرفتن زاویه خم جهت پوشاندن برگشت فنری با اضافه خم.

۲) کوبش « له‌کردن » (bottming or setting) : ایجاد زائده در سر سنبه جهت له‌کردن گوشه و حذف باند الاستیک.

۳) فرم دهی کششی (stretch bending) : خم‌کردن همراه با اعمال نیروی کششی به ورق برای حذف باند الاستیک.

مثال ۱۱: چگونه می‌توان برگشت فنری ورق موقع خم‌کاری را کاهش داد؟

۱) با کاهش ضخامت ورق و نرم‌شدن فلز، برگشت فنری کم می‌شود.

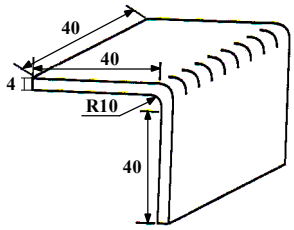
۲) با کاهش اصطکاک بین ورق و ابزار شکل‌دهی، برگشت فنری کم می‌شود.

۳) با افزایش شعاع نوک سنبه و کاهش زاویه خم، برگشت فنری کم می‌شود.

۴) با تشدید شرایط خم مثل کوبش ورق و کاهش شعاع نوک سنبه و افزایش ضخامت، برگشت فنری کم می‌شود.

☑ **پاسخ :** گزینه «۴»

مثال ۱۲: در قطعه خم شکل مقابل با استحکام کششی $۳۰\frac{kg}{mm^۲}$ طول گسترده (طول بلانک) چند میلی‌متر است؟



۱) ۹۲/۳۵

۲) ۹۸/۸۵

۳) ۸۷/۵۵

۴) ۹۵/۱۵

☑ **پاسخ :** گزینه «۲»

$$r = ۱۰ + \frac{۴}{۲} = ۱۲\ mm \longrightarrow L = ۴۰ + (\frac{۱}{۴}\pi \times ۲۴) + ۴۰ = ۹۸/۸۵\ mm$$

مثال ۱۳: در عملیات خمکاری ورقهای فلزی مقدار برگشت فنری (spring back) به چه عواملی بستگی دارد؟

۱) تنش حد تسلیم فلز، زاویه خم، ضخامت ورق

۲) سختی فلز، استحکام کششی، صافی سطوح قالب

۳) سختی فلز، شعاع خم (r خم)، ضخامت ورق، زاویه خم

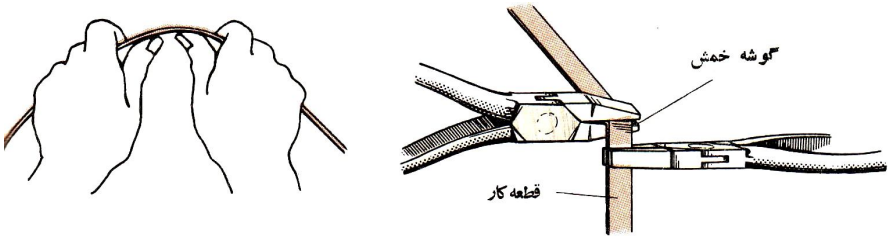
۴) ضخامت ورق، شعاع خم، طول خم، شعاع خم‌کننده روی قالب

☑ **پاسخ :** گزینه «۱» تنش تسلیم بخاطر تعیین درصد ناحیه تغییر شکل پلاستیک یافته (که مانع برگشت فنری است) مهم می‌باشد. لیکن سختی الزاماً روی برگشت فنری تأثیر ندارد.

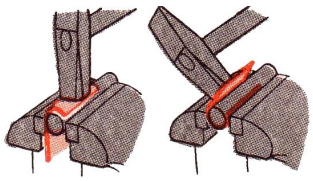
خمکاری تسمه‌ها و شمش‌ها

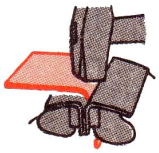
در خمکاری تسمه‌ها و شمش‌ها بایستی مقدار شعاع خمش را برای جلوگیری از ترک برداشتن قطعه‌کار، با توجه به جنس آن انتخاب نمود. شعاع خمش در شمش‌هائی که جنس آنها از فولاد نرم، مس، برنج و آلومینیوم می‌باشد، بایستی حداقل یک تا دو برابر ضخامت خمش بوده و در فلزات سبک در حدود ۲/۵ تا ۴ برابر ضخامت خمش در نظر گرفته شود.

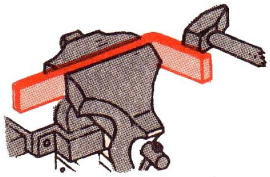
تسمه‌های نازک را که دارای عرض کمی می‌باشند، می‌توان به کمک دست و یا با استفاده از انبر دم‌پهن خمکاری نمود. روش کار به این ترتیب است که بوسیلهٔ انبر دم‌پهنی قطعه‌کار را از محل خم‌نگهداشته و با انبر دم‌پهن دیگری اقدام به خمکاری آن می‌کنیم.



برای خمکاری تسمه‌های ضخیم‌تر ابتدا آنها را بنحوی در گیره می‌بندیم که خط خم، در امتداد لبهٔ فک ثابت گیره قرارگیرد. سپس چکش مناسبی انتخاب کرده و با وارد آوردن ضربه، آنرا خم می‌کنیم. در این نوع خمکاری چون لبهٔ فک‌های گیره آجدار بوده و به محل خم لطمه می‌زنند، لذا برای جلوگیری از این عیب و همچنین ایجاد خمی با شعاع خمش مورد نظر، می‌توان از لب گیره و یا یک قطعه کمکی بنام قالب خم بهره گرفت.


استفاده از قالب در خمکاری

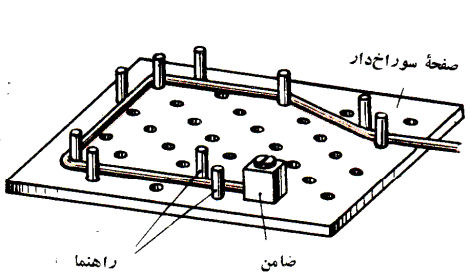

استفاده از لب‌گیره در خمکاری

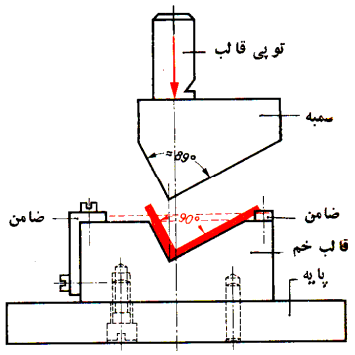

خمکاری روی‌گیره آهنگری

توجه : در سری‌کاری قطعات برای کم‌کردن زمان انجام کار معمولاً از قالب خمکاری استفاده می‌شود.

با استفاده از قالب‌های صفحه‌ای می‌توان قطعات نسبتاً طویلی را که دارای خم‌های ساده‌ای می‌باشند خمکاری نمود.

برای خمکاری قطعاتی که خمهای متنوعی داشته و بایستی دارای اندازه‌های دقیق‌تری باشند، می‌توان از سمبه و قالب‌هائی استفاده کرد که بر حسب نوع کار به پرسهای دستی و یا ماشینی بسته می‌شوند.





مثال ۱۴: در چه مواقعی برای خمکاری از قالب خمکاری استفاده می‌شود؟

۱) در کارهای تکی دقیق
۲) برای خم‌کردن قطعات سخت
۳) برای خم‌کردن دقیق قطعات سری
۴) برای خم‌کردن غیردقیق قطعات سری

☑ **پاسخ :** گزینه «۴» در سری کاری (تولید انبوه) برای کاهش زمان انجام کار از قالب خم استفاده می‌شود.