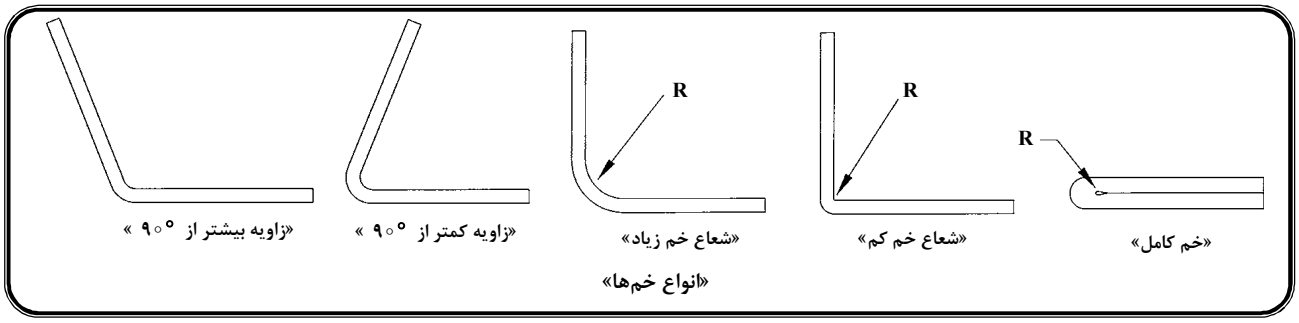
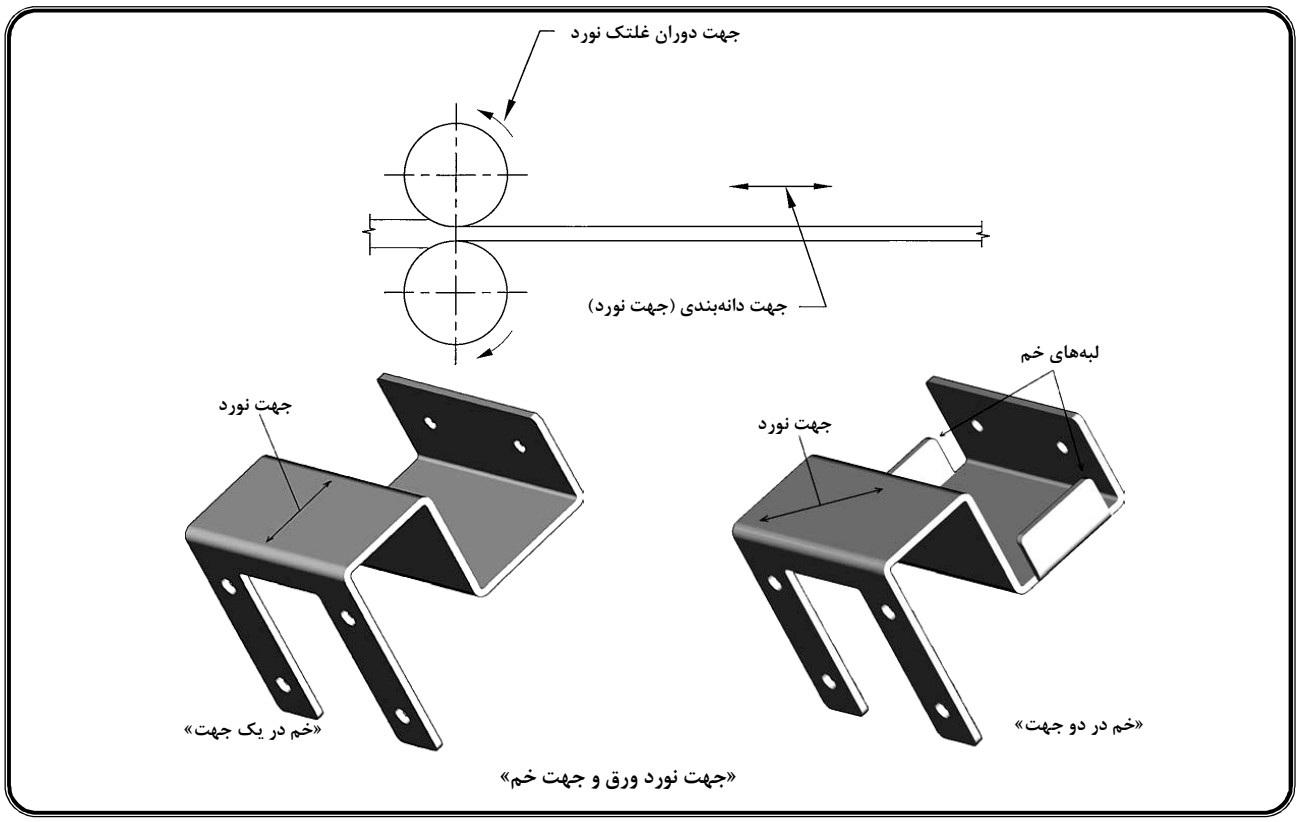
فصل اول
قالب‌های خمکاری

قالب‌های خمکاری (Bending Dies) سهم بزرگی در صنعت قالبسازی دارند که برای ایجاد خم در قطعات و ورق‌های فلزی به‌کار می‌روند. یکی از فواید خمکاری، ایجاد استحکام در قطعه از طریق افزایش گشتاور اینرسی قطعه می‌باشد. با استفاده از این قالب‌ها می‌توان در قطعات خم‌هایی با زوایای ۱ تا ۱۸۰ درجه ایجاد نمود.



«انواع خم‌ها»

در خمکاری باید توجه داشت که مواد باید به‌صورت عمود بر جهت الیاف و دانه‌بندی ورق (Grain of Material) و یا به عبارت دیگر عمود بر جهت نورد خمکاری شوند و چنانچه قطعات دارای دو لبه خم عمود بر هم باشند باید بصورت مورب نسبت به جهت نورد خمکاری شوند.



«جهت نورد ورق و جهت خم»

مثال ۱: قابلیت خمکاری ورق در کدام حالت بیشتر است و اگر قطعه دارای دو لبه خم عمود بر هم باشد، باید در کدام جهت خمکاری شود؟

۱) در امتداد جهت نورد ـ با زاویه ۴۵ درجه نسبت به جهت نورد

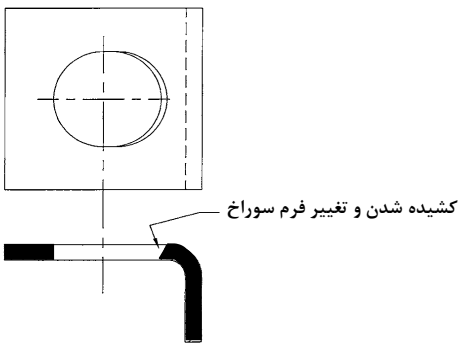
۲) عمود بر جهت نورد ـ با زاویه ۴۵ درجه نسبت به جهت نورد

۳) عمود بر جهت نورد ـ در امتداد جهت نورد

۴) در امتداد جهت نورد ـ جهت خمکاری تفاوتی ندارد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» قابلیت خمکاری در حالت عمود بر جهت نورد ماکزیمم است و چنانچه قطعه دولبه خم عمود بر هم داشته باشد، باید به‌صورت مورب با زاویه ۴۵ درجه نسبت به جهت نورد خمکاری گردد.

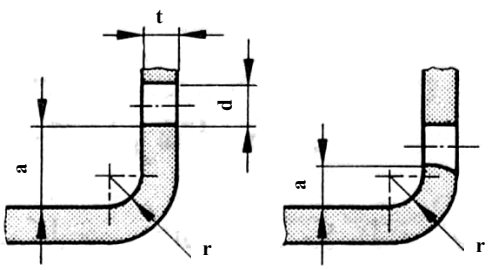
توجه : در خمکاری باید توجه داشت که سوراخ‌های دقیق نباید به لبه‌های خمکاری خیلی نزدیک باشند، زیرا در این صورت در فرم سوراخ تغییر شکل ایجاد می‌گردد.



«تغییر شکل سوراخ پس از خمکاری»

برای جلوگیری از ایجاد تغییر فرم در سوراخ‌های نزدیک به لبه خمکاری با استفاده از فرمول تجربی زیر می‌توان حداقل فاصله a را تعیین نمود:

$$a \geq r + 2t$$



«سوراخ در کنار لبه خمکاری»

مثال ۲: قرار است روی ورقی که چندین سوراخ دقیق بر روی آن وجود دارد، عملیات خمکاری انجام شود. برای این که فرم و اندازه سوراخ دقیق باقی بماند، حداقل فاصله لبه سوراخ تا سطح ورق چقدر باید باشد؟ (ضخامت ورق ۲mm، شعاع خم ۵mm و جنس ورق از فولاد می‌باشد)

۱) ۱۱ میلی‌متر ۲) ۷ میلی‌متر

۳) ۹ میلی‌متر ۴) مقدار این فاصله به‌نظر طراح بستگی دارد.

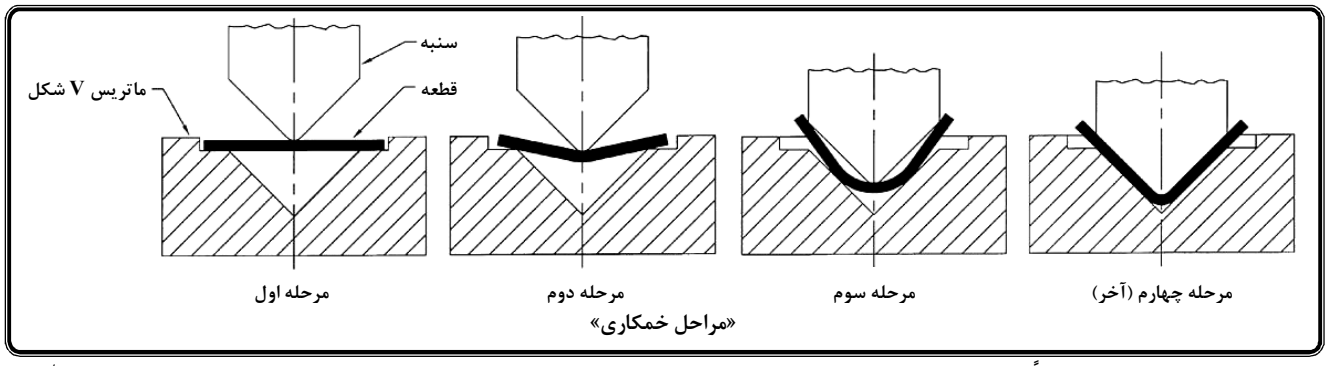
☑ **پاسخ:** گزینه «۳» همان گونه که ذکر شد برای محاسبه این مقدار از رابطه زیر استفاده می‌نماییم:

$$a \geq r + 2t \rightarrow a \geq 5 + (2 \times 2) \rightarrow a \geq 9mm$$

پس حداقل فاصله لبه سوراخ تا سطح ورق باید ۹ میلی‌متر باشد.

مراحل خمکاری

با فشار سنبه خمکاری، مواد ابتدا بصورت الاستیک تغییر شکل می‌دهند. با خم کردن بیشتر و ایجاد تنشی بزرگتر از تنش تسلیم ورق، تغییر شکل ثابتی روی لبه خمکاری ایجاد می‌گردد.



«مراحل خمکاری»

کوچکترین شعاع خم مجاز عموماً به ضخامت ورق و ازدیاد طول نسبی مواد بستگی دارد و این مقدار برای جنس های مختلف فولاد $0/5t$ تا $6t$ (t: ضخامت ورق) می‌باشد. اگر شعاع خم خیلی کوچک انتخاب شود، مواد بیش از تنش مجاز ازدیاد طول نسبی پیدا کرده و ضخامت آن کاهش پیدا می‌کند که به آن گلویی شدن (Necking) می‌گویند. محدوده گلویی دارای ترک و شکننده می‌باشد.

مثال ۳: یک ورق فولادی به ضخامت ۴ میلی‌متر قرار است خمکاری شود. اندازه مجاز شعاع خم چقدر می‌باشد؟

۱) ۶ تا ۲۶ میلی‌متر ۲) ۱ تا ۸ میلی‌متر ۳) ۱ تا ۱۲ میلی‌متر ۴) ۲ تا ۲۴ میلی‌متر

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» شعاع خم مجاز برای جنس‌های مختلف فولاد $0/5t$ تا $6t$ می‌باشد.

$$R_1 = 0/5t = 0/5 \times 4 = 2mm \qquad R_2 = 6t = 6 \times 4 = 24mm$$

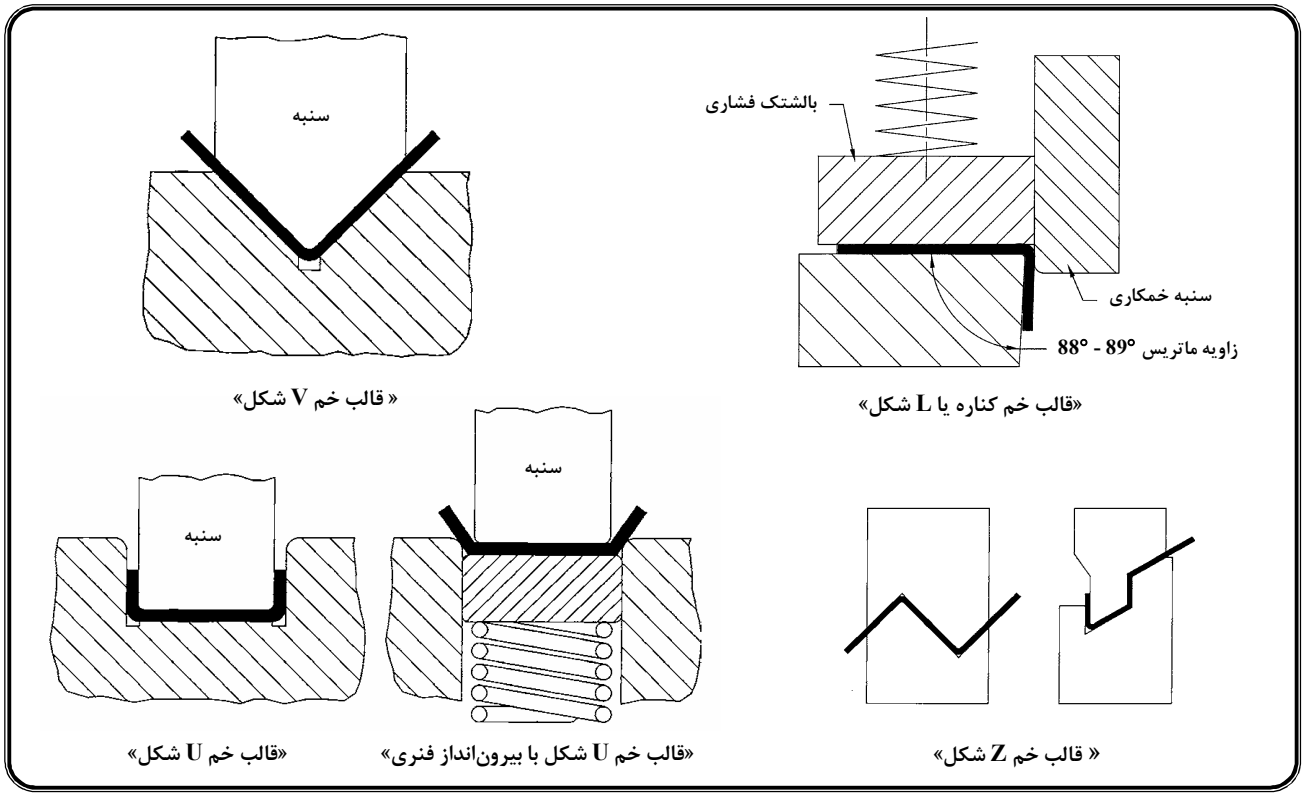
انواع قالب‌های خمکاری

در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان قالب‌های خمکاری را به دو گروه زیر تقسیم کرد:

۱ـ قالب‌های خم با حرکت مستقیم

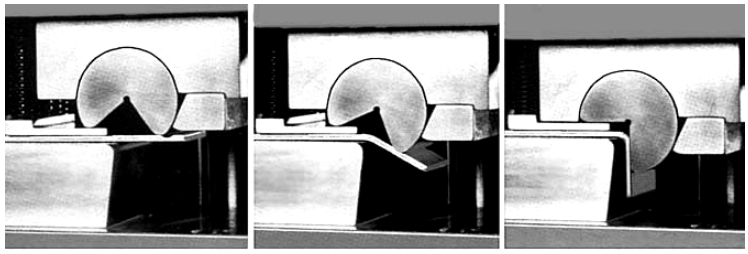
۲ـ قالب‌های خم با حرکت دورانی (Bending with rotary inserts)

قالب‌های خم با حرکت مستقیم شامل انواع روش‌های خم کناره یا L شکل، خم V شکل، خم U شکل و خم Z شکل می‌باشد.

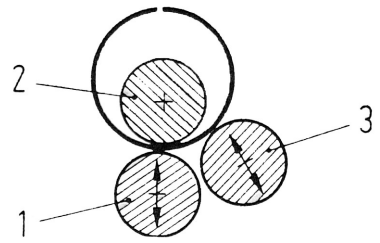


«قالب خم کناره یا L شکل»
« قالب خم V شکل»
« قالب خم Z شکل»
«قالب خم U شکل با بیرون‌انداز فنری»
«قالب خم U شکل»

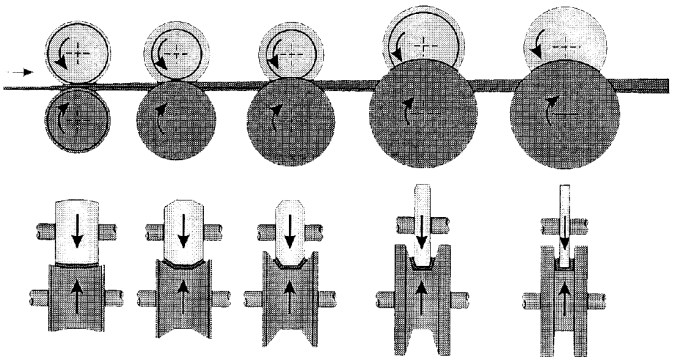
همچنین برای قالب‌های خم با حرکت دورانی می‌توان به روش‌های زیر اشاره نمود.



«خمکاری دورانی»



«خمکاری سه غلتکی»



«خمکاری پیوسته توسط غلتک»

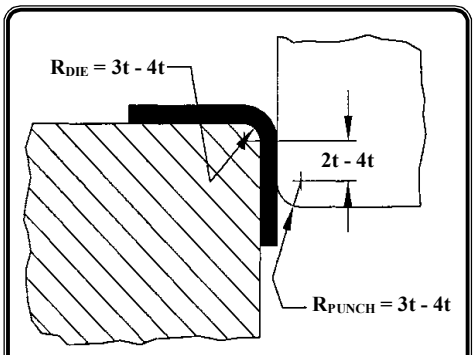
مثال ۴: کدام عملیات خمکاری با استفاده از قالب‌های خمکاری با حرکت مستقیم انجام نمی‌شود؟

۱) خم لوله ۲) خم نبشی ۳) خم U شکل ۴) خم Z شکل

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» قطعاتی همانند لوله توسط قالب‌های خم با حرکت دورانی تولید می‌شوند.

۱ـ ۱ـ قالب‌های خم کناره یا L شکل (Wipe Dies)

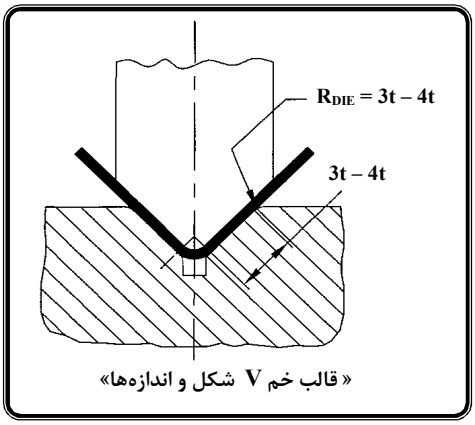
از محصولات تولیدی این قالب‌ها برای مثال می‌توان به نبشی‌ها اشاره کرد. به اندازه‌گذاری روی شکل توجه کنید. دراین قالب شعاع لبه سنبه و ماتریس $3t-4t$ (سه تا چهار برابر ضخامت ورق) درنظر گرفته شده است. همچنین برای ایجاد کامل فرم خم، سنبه خمکاری باید به اندازه دو تا چهار برابر ضخامت ورق از مرکز شعاع لبه ماتریس پایین‌تر برود.



«قالب خم کناره یا L شکل و اندازه‌ها»

۲ـ ۱ـ قالب‌های خم V شکل:

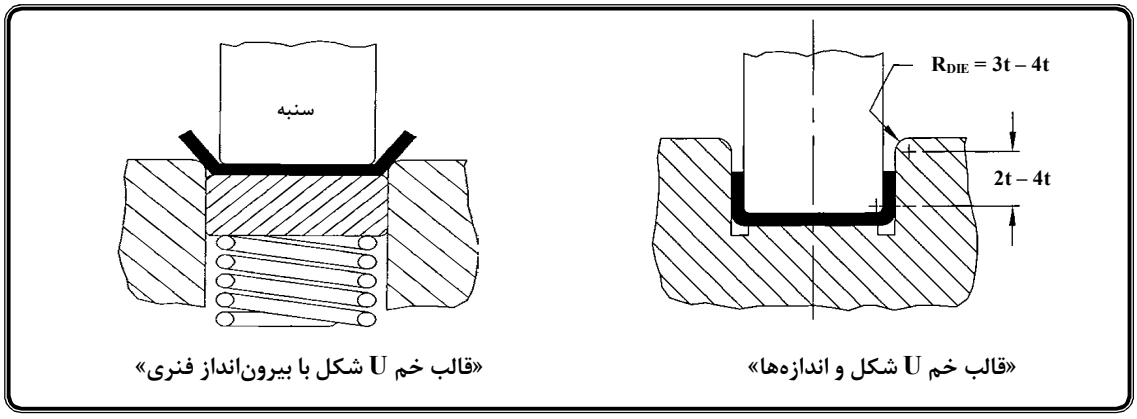
این قالب‌ها ورق را به فرم V خم می‌کنند. در این قالب شعاع لبه دهانه ماتریس $3t-4t$ می‌باشد. همچنین طول ضلع خم، برای ایجاد کامل شکل خم $3t-4t$ می‌باشد.



« قالب خم V شکل و اندازه‌ها»

۳ـ ۱ـ قالب‌های خم U شکل:

قطعات U شکل را می‌توان در یک قالب خمکاری و با یک سنبه چنان پرسکاری کرد که همه لبه‌های خمکاری به‌طور همزمان خمکاری شوند. قطعه کار بر اثر برگشت فنری خود در قالب گیر می‌کند، بنابراین قطعه توسط یک بیرون‌انداز فنری به بیرون پران می‌شود.

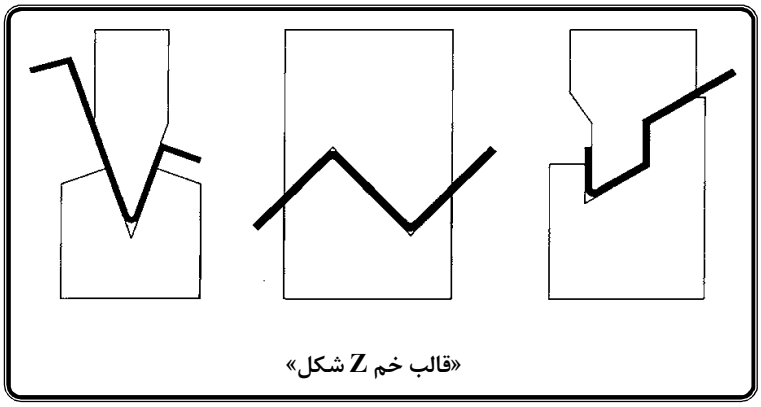


«قالب خم U شکل با بیرون‌انداز فنری» «قالب خم U شکل و اندازه‌ها»

در این قالب نیز شعاع لبه ماتریس $3t - 4t$ می‌باشد و برای ایجاد کامل شکل خم، سنبه باید به اندازه $2t - 4t$ درون ماتریس پایین برود.

۴ـ ۱ـ قالب‌های خم Z شکل:

قطعات Z شکل را می توان در قالب‌های ساده و در دو مرحله کاری تولید کرد. اگر تیراژ تولید بالا باشد این قطعات را می‌توان توسط قالب‌های خم Z شکل، در یک مرحله پرس و خمکاری نمود.



«قالب خم Z شکل»

توجه : تارخنثی (Neutral Axis) محوری است که حین عمل خمکاری تنش در آن صفر است و در محاسبه طول خم مهم می‌باشد. محور خنثی در سطوح منظم و متقارن،قبل از خم در مرکز سطح قرار دارد و بعد از خم بسته به نسبت $\frac{r}{t}$ (شعاع خم به ضخامت ورق) به سمت داخل خم کشیده می‌شود.

مثال ۵: در حین عمل خمکاری، در کدام قسمت قطعه تنش صفر می‌باشد؟

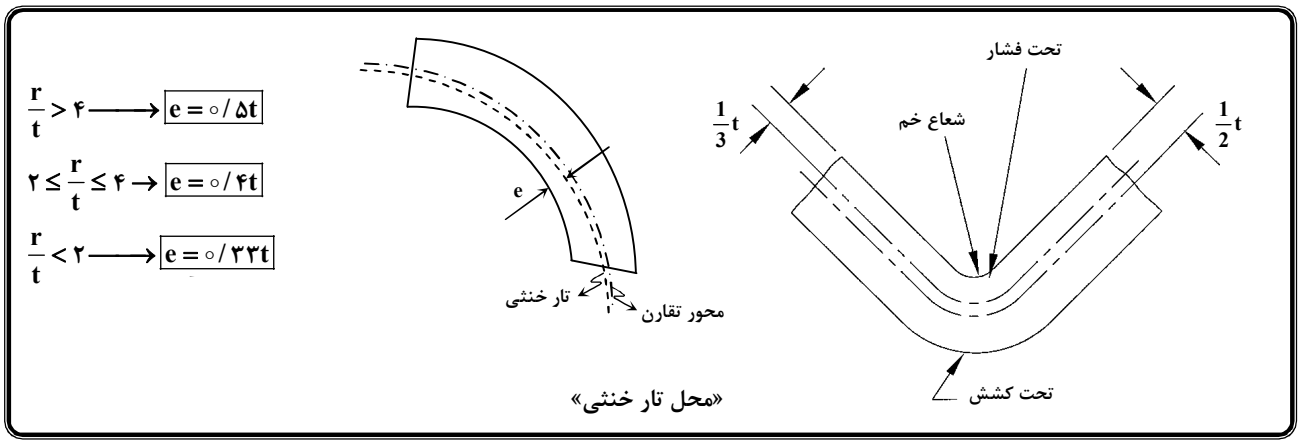
۱) سطح داخلی خم

۲) سطح خارجی خم

۳) روی محور خنثی (NA)

۴) در خمکاری، تنش در هیچ قسمتی از قطعه صفر نیست.

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» در عمل خمکاری تنش روی محور خنثی صفر می‌باشد.



باید توجه داشت که در هنگام خمکاری سطح داخلی خم فشرده و سطح خارجی خم کشیده می‌شود.

مثال ۶: ورقی به ضخامت ۴mm با سنبه‌ای به شعاع ۷mm خمکاری می‌گردد. مطلوبست فاصله تار خنثی از سطحی که به آن تنش کششی وارد می‌شود؟

۱) ۱/۳۳ میلی‌متر ۲) ۲/۶۷ میلی‌متر ۳) ۲ میلی‌متر ۴) تار خنثی در وسط است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲»

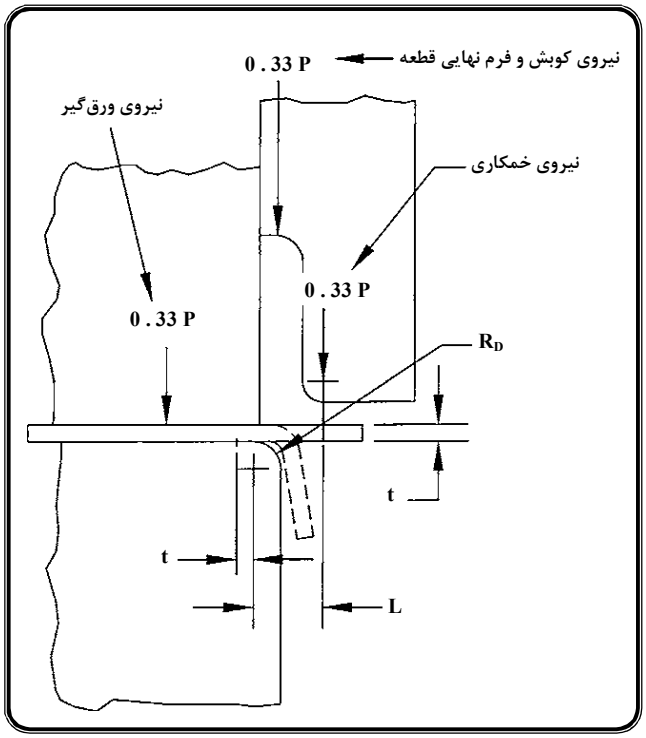
$\frac{r}{t} = \frac{۷}{۴} = ۱/۷۵ \qquad ۱/۷۵ < ۲ \rightarrow e = ۰/۳۳t \rightarrow e = ۰/۳۳ \times ۴ = ۱/۳۳mm$

$۴ - ۱/۳۳ = ۲/۶۷mm$ = فاصله تار خنثی از سطح با تنش کششی

محاسبه نیروهای خمکاری

به نیروی مورد نیاز پرس برای اینکه عمل خمکاری کامل و صحیح انجام شود، نیروی خمکاری گویند.
نیروی موردنیاز برای خمکاری در انواع قالب‌ها متفاوت بوده و از روابط خاص خود محاسبه می‌شود.

۱ـ نیروی خمکاری قالب‌های L شکل:



$$F_L = ۰/۳۳۳ \frac{SWt^۲}{L}$$

$$L = R_P + R_D + C$$

F_L = نیروی خمکاری L شکل

S = استحکام ورق بر حسب $\frac{kg}{mm^۲}$

W = عرض ورق در موضع خمکاری

t = ضخامت ورق

R_P = شعاع سنبه

R_D = شعاع ماتریس

C = لقی بین سنبه و ماتریس

توجه : همانگونه که در شکل نیز مشاهده می‌گردد، نیروی ورق‌گیر مورد نیاز در قالب‌های خمکاری L شکل، برابر نیروی خمکاری در این قالب‌ها، می‌باشد.

مثال ۷: ورقی به ضخامت ۳ میلی‌متر و استحکام ۳۷ کیلوگرم بر میلی‌متر مربع توسط قالب L شکل، خم ۹۰ درجه می‌شود. عرض ورق در موضع خمکاری برابر ۸۰ میلی‌متر و شعاع لبه سنبه، شعاع لبه ماتریس و لقی بین آن‌ها به‌ترتیب ۲۲ میلی‌متر، ۱۸ میلی‌متر و ۳ میلی‌متر می‌باشد. نیروی خمکاری موردنیاز کدام است؟

۱) ۲۰۶kg ۲) ۶۰۲kg ۳) ۵۳۴ton ۴) ۲۰۶ton

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» نیروی خمکاری در قالب‌های L شکل از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$F_L = ۰/۳۳۳\frac{SWt^۲}{L}$$
$$L = R_P + R_D + C$$

حال مقادیر داده شده در صورت مثال را در روابط فوق جایگذاری می‌نماییم:

$$F_L = ۰/۳۳۳ \times \frac{۳۷(\frac{kg}{mm^۲}) \times ۸۰(mm) \times (۳mm)^۲}{(۲۲+۱۸+۳)mm} = ۲۰۶/۳kg$$

۲ـ نیروی خمکاری قالب‌های V شکل:

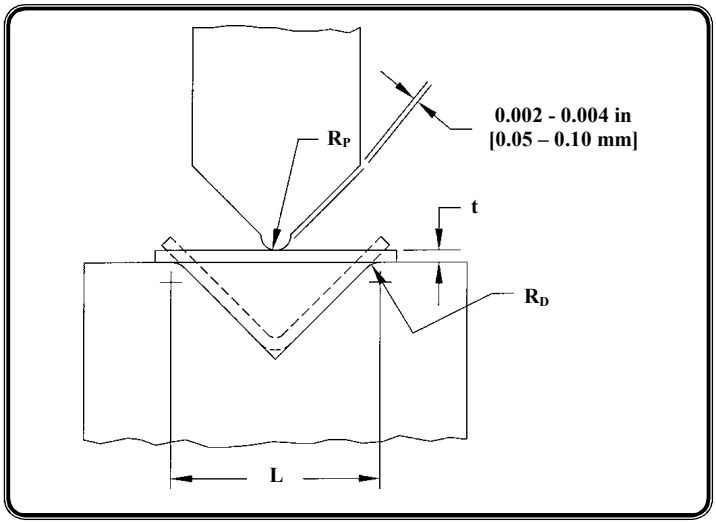
F_V = نیروی خمکاری V شکل

K_V = ضریب دهانه قالب

t = ضخامت ورق

L = عرض دهانه

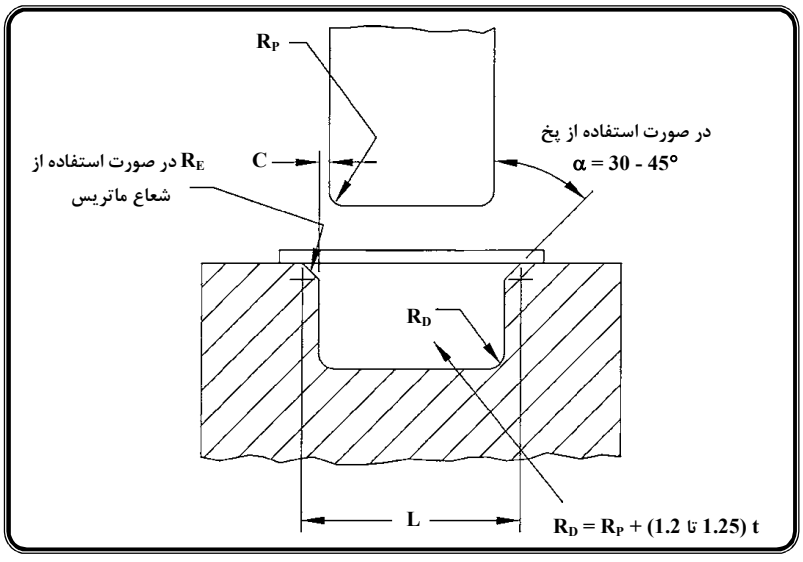
$$F_V = K_V\frac{SWt^۲}{L}$$



مقدار K_V بین ۰/۷۵ تا ۲/۵ می‌باشد که در کاربردهای متداول و عمومی این مقدار را ۱/۳۳۳ در نظر می‌گیریم. پس:

$$F_V = ۱/۳۳۳\frac{SWt^۲}{L}$$

۳ـ نیروی خمکاری قالب‌های U شکل:



$$F_U = K_U \frac{SWt^2}{R_E + R_D + C}$$

F_U = نیروی خمکاری U شکل

K_U = ضریب دهانه قالب

R_E = شعاع لبه بالایی ماتریس

R_D = شعاع لبه پایینی ماتریس

R_P = شعاع لبه سنبه

t = ضخامت ورق

ضریب دهانه قالب در قالب خم U شکل(K_U) می‌تواند از مقدار ۰/۴ تا ۱ تغییرنماید که در کاربردهای متداول و عمومی این مقدار را ۰/۶۶۶ در نظر می‌گیریم. پس:

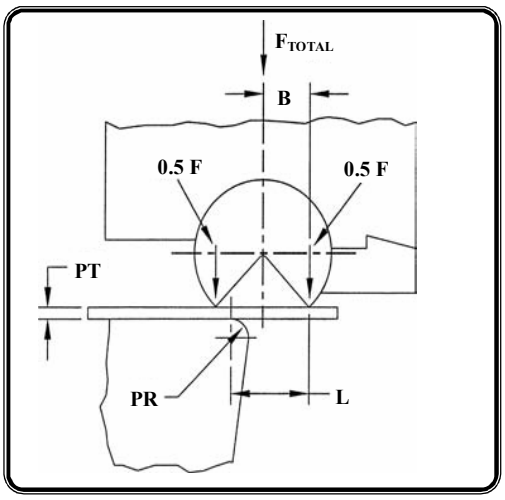
$$F_U = ۰/۶۶۶ \frac{SWt^2}{R_E + R_D + C}$$

شعاع لبه پایینی ماتریس (R_D) نیز از رابطه روبرو محاسبه می‌شود: $R_D = R_P + (۱/۲ \text{ تا } ۱/۲۵)t$

توجه : در قالب‌های خم U شکل اگر از بالشتک فشاری نیز استفاده شود، نیروی بالشتک فشاری (F_{pad}) نیز به مقدار F_U اضافه می‌شود.

$$F_U = ۰/۶۶۶ \frac{SWt^2}{R_E + R_D + C} + F_{pad}$$

۴ـ نیروی خمکاری قالب‌های دورانی:



$$F = ۲/۲۵S \frac{(PR)(PT)^2}{L}$$

که طول L از رابطه مقابل محاسبه می‌گردد: $L = PR + PT + B$

مثال ۸: به‌ترتیب از بزرگ به کوچک کدام قالب نیاز به بیشترین نیروی خمکاری و کدام قالب نیاز به کمترین نیروی خمکاری دارد؟

۱) قالب خم L شکل ـ U شکل ـ V شکل

۲) قالب خم V شکل ـ U شکل ـ L شکل

۳) قالب خم U شکل ـ L شکل ـ V شکل

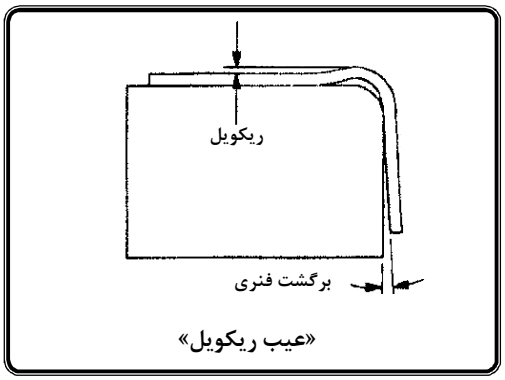
۴) نیروهای خمکاری در انواع قالب‌ها تفاوتی ندارد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» قسمت $\frac{SWt^2}{L}$ در کلیه روابط محاسبه نیروی خمکاری قالب‌ها ثابت می‌باشد و فقط ضرایب آن‌ها متفاوت می‌باشد. با توجه به ضرایب، مشاهده می‌شود که بیشترین نیرو مربوط به قالب خم V شکل و سپس U شکل و کم‌ترین نیرو مربوط به قالب خم L شکل می‌باشد.

عیوب خمکاری

بعضی از عیوبی که ممکن است در هنگام خمکاری روی دهد و علت ایجاد آن‌ها عبارتند از:

۱ـ ریکویل (recoil): یکی از عیوب بوجود آمده در خمکاری L شکل پدیده recoil می‌باشد که عبارتست از بلند شدن ورق از روی بستر که با استفاده از ورق‌گیر مناسب می‌توان این عیب را کاهش داد.



«عیب ریکویل»

عوامل زیر می‌توانند سبب تشدید عیب recoil گردند:

۱ـ فشار کم و ناکافی ورق‌گیر

۲ـ سطح ناصاف و خراشیده ورق‌گیر در محل تماس با ورق

۳ـ مقدار ناکافی پوشش قطعه توسط ورق‌گیر

نیروی لازم جهت کاهش recoil از رابطه مقابل بدست می‌آید:

$$F = ۰/۳۳۳SWt$$

۲ـ گوش‌دار شدن (earing): این عیب در اثر ناهمسانگردی (anisotropy) ورق ایجاد می‌گردد. وقتی ورق در جهات مختلف، رفتار متفاوت از خود بروز دهد، دراصطلاح می‌گوییم ورق ناهمسانگرد یا آنیزوتروپ است.

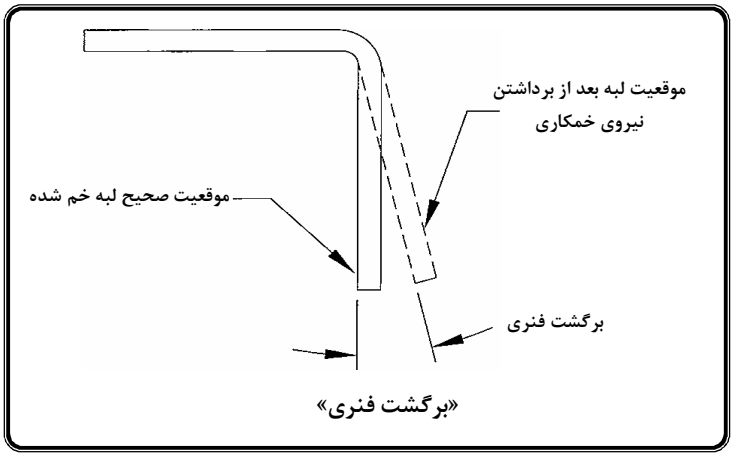
۳ـ گلویی شدن (Necking): در صورت انتخاب غیرمجاز و کوچک شعاع خم،مواد بیش از تنش مجاز ازدیاد طول نسبی پیدا کرده و ضخامت آن کاهش پیدا می‌کند. اثر پواسان عامل این کاهش ضخامت می‌باشد.

۴ـ پوست پرتغالی شدن: این عیب در اثر دانه‌بندی درشت و کیفیت سطح ورق ایجاد می‌شود.

۵ـ ترک درلبه خمکاری: در خمکاری باید توجه داشت که ورق بصورت عمود بر جهت الیاف و دانه‌بندی آن خمکاری شود. اگر به این نکته توجه نگردد ممکن است این عیب بوجود آید.

برگشت فنری (Spring back)

از آنجا که مواد مدول الاستیسیته محدودی دارند، با برداشتن نیروی خمکاری، قطعات مقداری برمی‌گردند که این برگشت را **برگشت فنری** می‌نامند.



«برگشت فنری»

برگشت فنری با افزایش نسبت $\frac{R}{t}$ و استحکام تسلیم y و کاهش مقدار مدول الاستیسیته E افزایش می‌یابد. در حالت کلی برگشت فنری به عوامل زیر وابسته می‌باشد:

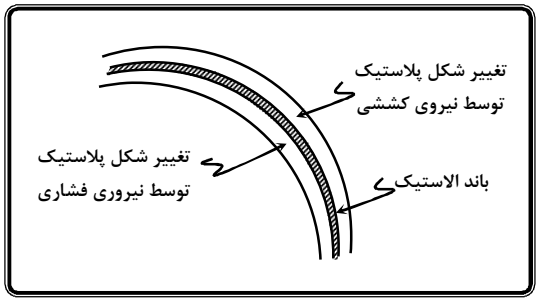
۱ـ شعاع خم، که هرچه کوچکتر باشد برگشت فنری کمتر خواهد بود.

۲ـ زاویه خم، که هرچه بزرگتر باشد برگشت فنری بیشتر می‌شود.

۳ـ ضخامت ورق، که ورق‌های ضخیم‌تر برگشت فنری کمتری دارند.

۴ـ جنس ورق، که ورق‌های با مدول الاستیسیته کمتر، برگشت فنری بیشتر و با تنش تسلیم کمتر برگشت فنری کمتری دارند.

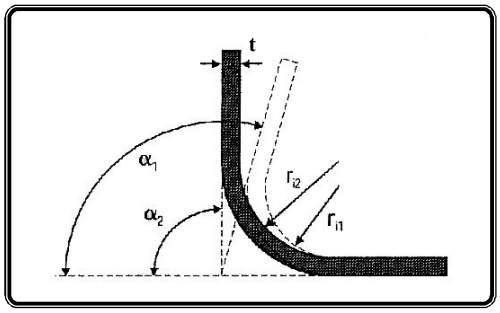
طبق شکل زیر، پس از باربرداری، تنش‌های ناحیه باند الاستیک آزاد شده و باعث تغییر زاویه خم و شعاع خمکاری فلز خم شده می‌شود.



برای محاسبه میزان برگشت فنری می‌توان از رابطه روبرو استفاده نمود:

$$k = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{r_{i1} + \frac{t}{2}}{r_{i2} + \frac{t}{2}}$$

$$SB = (1-k)\%$$



k : فاکتور برگشت فنری
α_2: زاویه خم قطعه کار
r_{i2} : شعاع پس از برگشت فنری
SB: درصد برگشت فنری

α_1 : زاویه خم در قالب
r_{i1}: شعاع قطعه خم شده در قالب
t: ضخامت ورق مورد خمکاری

مثال ۹: ورقی به ضخامت 3 میلی‌متر قرار است خمکاری شود. اگر شعاع خم قطعه درون قالب برابر 15mm و شعاع خم قطعه پس از برگشت فنری برابر 18mm باشد، درصد برگشت فنری به کدام گزینه نزدیکتر است؟

۱) %10 ۲) %15 ۳) %5 ۴) %1.5

☑ **پاسخ:** گزینه «۲»

$$k = \frac{r_{i1} + \frac{t}{2}}{r_{i2} + \frac{t}{2}} = \frac{15 + \frac{3}{2}}{18 + \frac{3}{2}} = 0.846$$

$$SB = (1-k)\% = (1-0.846) \times 100 \simeq \%15$$

فاکتور برگشت فنری k برای بعضی موارد پرکاربرد در جدول زیر داده شده است.

NO	Material	Springback factor k	
		$r_{i2}/t=1$	$r_{i2}/t=10$
1	St0-24,St1-24	0.99	0.97
2	St2-24,St12	0.99	0.97
3	St3-24,St13	0.985	0.97
4	St4-24,St14	0.985	0.96
5	stainless austenitic steels	0.96	0.92
6	high temperature ferritic steels	0.99	0.97
7	high temperature austenitic steels	0.982	0.955
8	nickel w	0.99	0.96
9	Al995 F 7	0.99	0.98
10	Al Mg 1 F 13	0.98	0.90
11	Al Mg Mn F 18	0.985	0.935
12	Al Cu Mg 2 F 43	0.91	0.65
13	Al Zn Mg Cu 1.5 F 49	0.935	0.85

* زاویه خم مورد نیاز در قالب برابر است با:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{k}$$

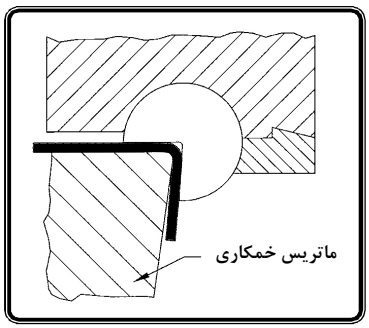
* همچنین شعاع داخلی قطعه خم شده در قالب از رابطه روبرو تعیین می‌شود:

$$r_{i1} = \frac{r_{i2}}{1 + \frac{r_{i2}.S}{t.E}}$$

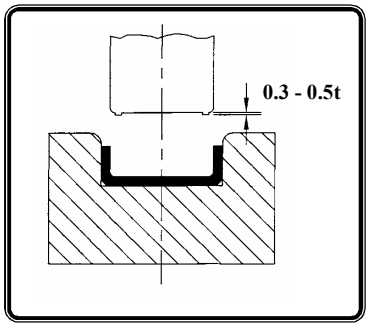
که S استحکام کششی بر حسب $\frac{N}{mm^2}$ و E، مدول الاستیسیته بر حسب $\frac{N}{mm^2}$ می‌باشد.

ـ روش‌های جلوگیری از برگشت فنری عبارتند از:

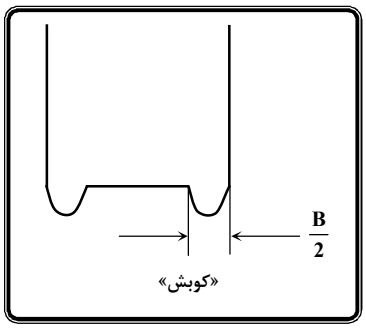
۱ـ خم کردن اضافی (Over bending)



۲ـ استفاده از کوبش در محل شعاع خم و یا ایجاد تنش‌های فشاری موضعی (Bottoming)



برای محاسبه نیروی لازم برای کوبش جهت کاهش برگشت فنری از رابطه زیر می‌توان استفاده نمود:

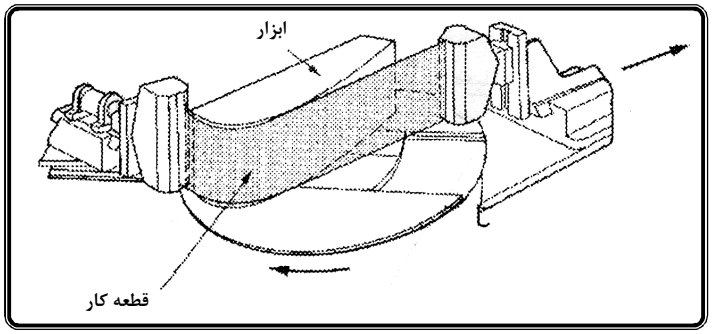


$$F_B = SBW$$

F_B = نیروی کوبش
B = عرض زائده
W = عرض ورق
S = استحکام کششی ورق

۳ـ خمکاری کششی (Stretch bending)

به کمک این روش با ایجاد تنش‌های کششی در تمام تارهای خمش، می‌توان برگشت فنری را به میزان قابل توجهی کاهش داد. عیب این روش آن است که، تولید قطعات با گوشه‌های تیز با این روش امکان‌پذیر نمی‌باشد.



۴ـ با افزایش دما می‌توان استحکام تسلیم مواد را کاهش داده و برگشت فنری را کمتر کرد.
۵ـ با افزایش سرعت خمکاری و افزایش اصطکاک، برگشت فنری کاهش می‌یابد، ولی این روش کاربرد زیادی ندارد، چون باعث سایش و کاهش عمر قالب می‌گردد.

مثال ۱۰: در کدام حالت برگشت فنری کمتر خواهد بود؟

۱) تنش تسلیم کمتر ـ ضخامت ورق کمتر ـ زاویه خم بزرگ‌تر ـ شعاع خم بزرگ‌تر

۲) مدول الاستیسیته بیشتر ـ ضخامت ورق بیشتر ـ زاویه خم بزرگ‌تر ـ شعاع خم بزرگ‌تر

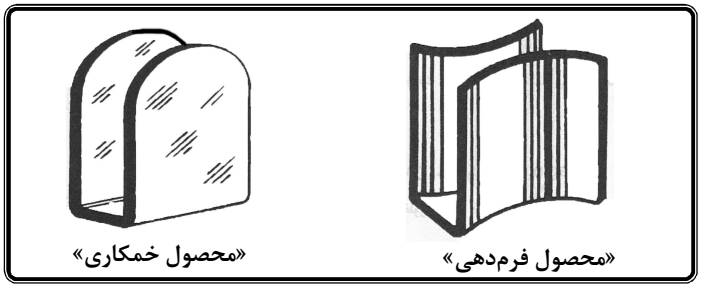
۳) تنش تسلیم کمتر ـ ضخامت ورق بیشتر ـ زاویه خم کوچک‌تر ـ شعاع خم کوچک‌تر

۴) مدول الاستیسیته کمتر ـ ضخامت ورق کمتر ـ زاویه خم کوچک‌تر ـ شعاع خم کوچک‌تر

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» اگر شعاع خم کوچک‌تر، زاویه خم کوچک‌تر، ضخامت ورق بیشتر و جنس ورق با مدول الاستیسیته بیشتر و تنش تسلیم کمتر باشد، برگشت فنری کمتر خواهد بود.

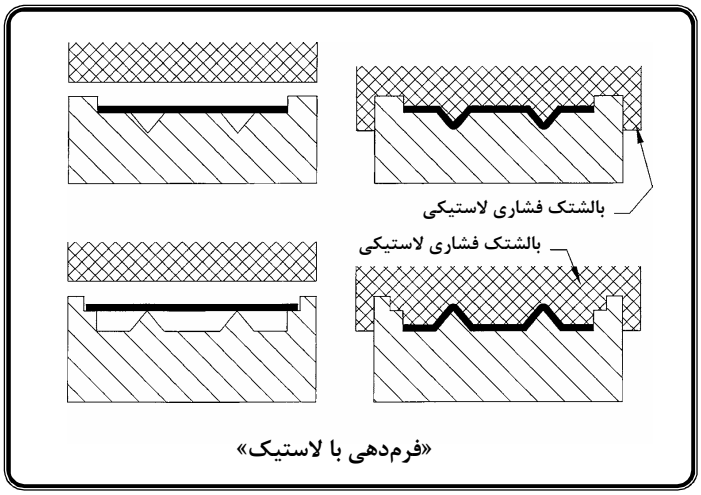
فرم دهی یا شکل‌دادن (Forming)

قالب‌های فرم‌دهی برای ایجاد فرم‌های پیچیده به‌کار می‌روند. تفاوت فرم‌دهی با خمکاری در این می‌باشد که در خمکاری خط خم به‌صورت مستقیم می‌باشد ولی در فرم‌دهی خط خم بصورت منحنی بوده و ماده دچار تغییرشکل و سیلان پلاستیک می‌شود.



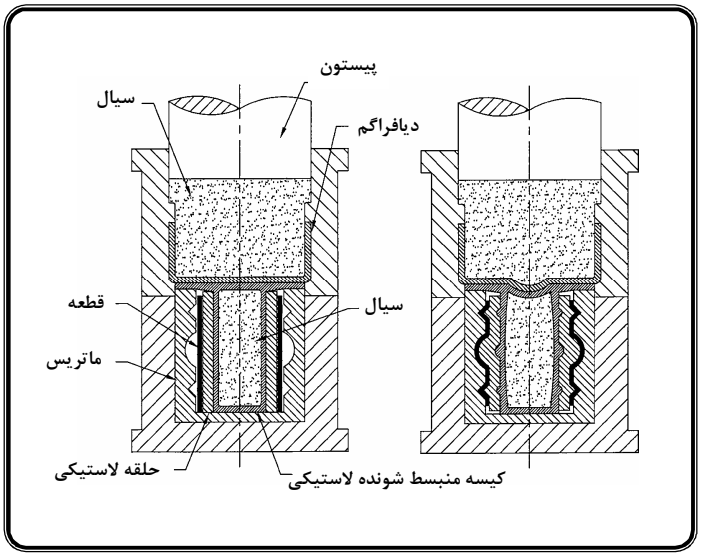
از انواع روش‌های فرم‌دهی می‌توان فرم‌دهی با لاستیک (ابزار قابل انعطاف)، فرم‌دهی انفجاری (Explosive forming) و هیدروفرمینگ (Hydro forming) را نام برد.

از مزایای فرم‌دهی با لاستیک می‌توان به ارزان بودن، انعطاف‌پذیری و آسانی عملیات و پروسه، جلوگیری از خراش و سایش سطوح ورق و قالب، بالا بودن عمر قالب و فرم‌دهی اشکال پیچیده (حتی با وجود شیب منفی) اشاره نمود.



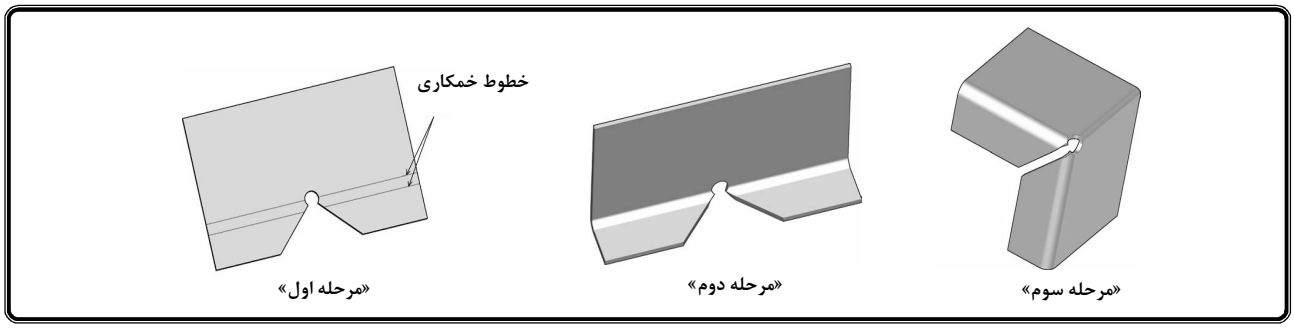
از روش فرم‌دهی انفجاری برای مثال در شکل دادن قطعات بزرگ بدنه کشتی استفاده می‌شود که قالب فقط دارای ماتریس بوده و نیروی انفجار نقش سنبه را بازی می‌نماید.

در روش هیدروفرمینگ از خاصیت انعطاف‌پذیری و فشار یکنواخت سیالات برای فرم دادن استفاده می‌گردد.

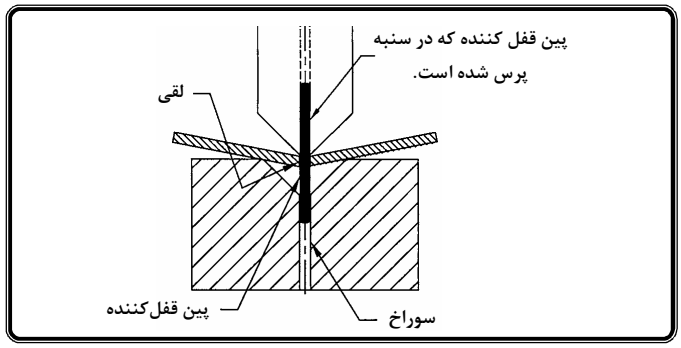


نکات تکمیلی

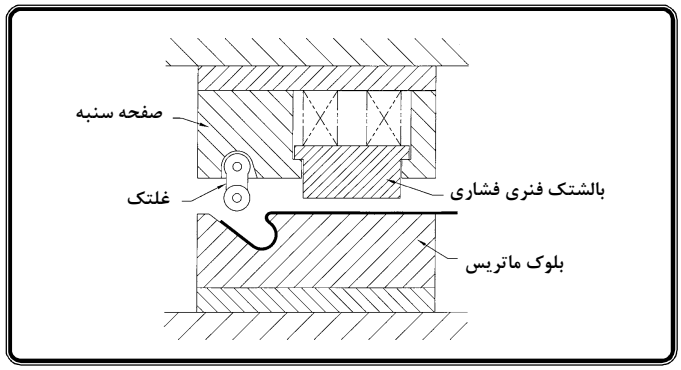
نکته۱: برای خمکاری در دو جهت گوشه‌ها، قطعه حتماً باید طبق مراحل زیر ابتدا برش خورده و سپس در دو مرحله خم گردد.



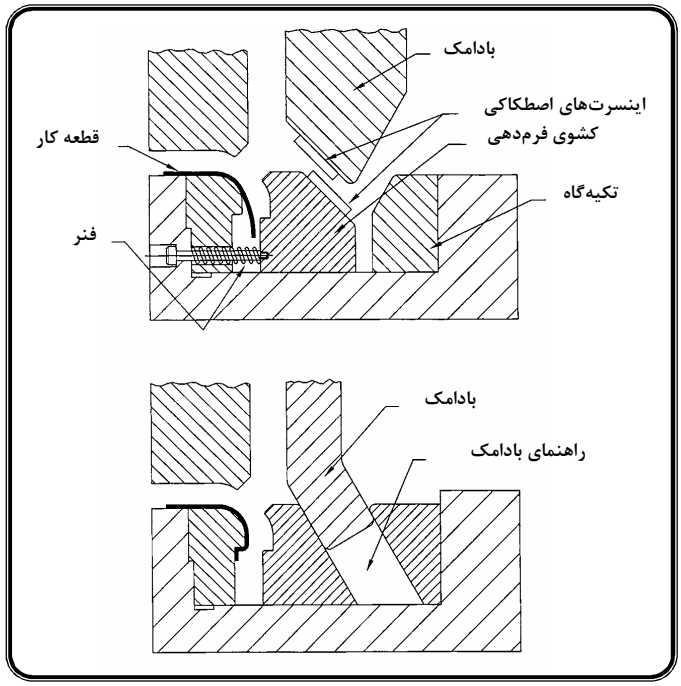
نکته۲: در خمکاری‌های دقیق می‌توان از پین برای ثابت و دقیق نگه‌داشتن قطعه مورد خمکاری در وضعیتش استفاده نمود.



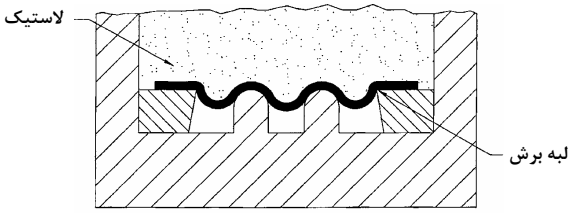
نکته۳: در خمکاری اشکال خاص همانند شکل زیر می‌توان از قالب با مکانیزم غلتک استفاده نمود.



نکته۴: در خمکاری قطعاتی که نیاز به حرکت افقی سنبه و ماتریس دارند، می‌توان با استفاده از انواع مکانیزم‌ها و بادامک‌ها، حرکت عمودی پرس را به حرکت افقی تبدیل نمود.



مثال ۱۱: در شکل زیر کدام عملیات و با چه ابزاری انجام می‌شود؟

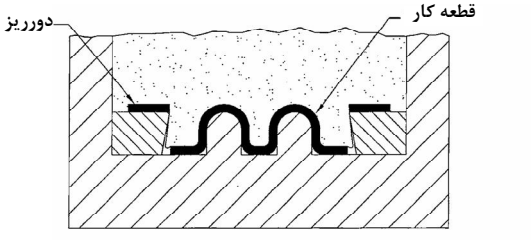


۱) خمکاری ـ ابزار قابل انعطاف (لاستیک)

۲) فرم‌دهی ـ ابزار فولادی سخت‌کاری شده

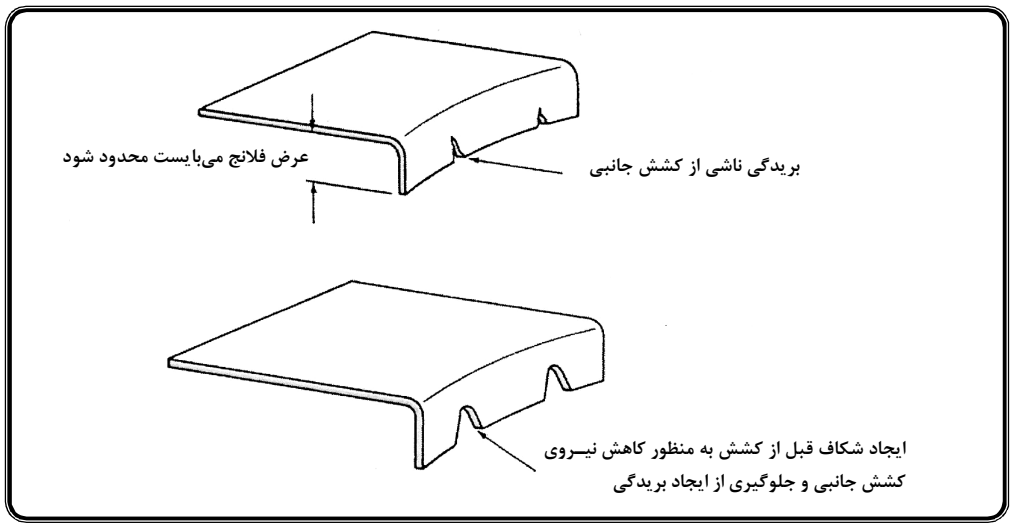
۳) خمکاری و برش اضافات ـ ابزار فولادی سخت‌کاری شده

۴) فرم‌دهی و برش اضافات ـ ابزار قابل انعطاف (لاستیک)

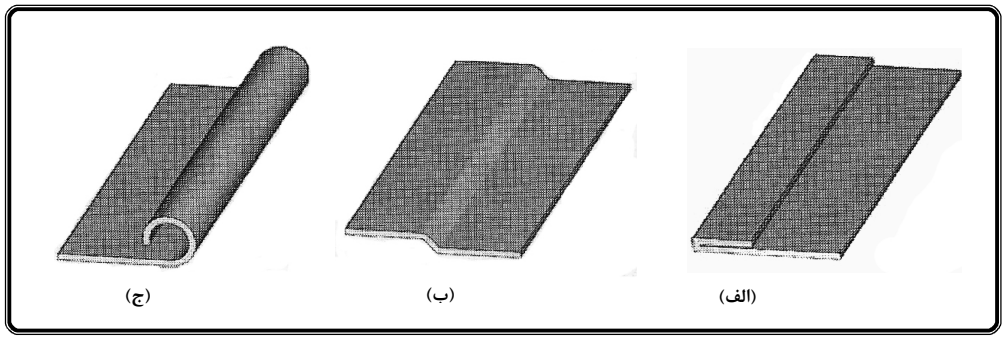


☑ **پاسخ:** گزینه «۴» این شکل نمایش دهنده کاربرد ابزار قابل انعطاف می‌باشد. در این قالب خاص، قطعه مورد نیاز توسط ابزار قابل انعطاف (لاستیک) همزمان فرم‌دهی شده و لبه‌های اضافه آن نیز برش خورده و تریم می‌شود و در نهایت قطعه با فرم موردنظر تولید می‌گردد.

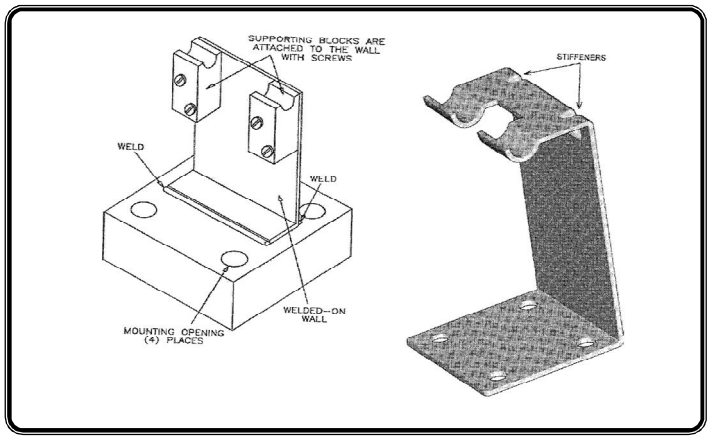
نکته۵: طی فرآیند شکل‌دهی فلنج‌های مقعر، یک مقدار کشش اضافی بایستی بر روی ناحیه فلنجی صورت گیرد. در این حالت ایجاد پارگی بر روی لبه امری عادی است. به منظور کاهش احتمال پارگی کششی، عرض لبه کشیده شده می‌بایست محدود شود. همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده است، ایجاد شکاف‌هایی روی قطعه، قبل از انجام فرآیند فلنج‌زنی به جلوگیری از پارگی کمک خواهد کرد.



نکته۶: در شکل‌های زیر، سایر روش‌های فرم دهی معرفی گردیده است که شکل «الف» نشان دهنده حالت حاشیه دار کردن (hem)، شکل «ب» نشان دهنده روش زبانه ساختن (joggle) و شکل «ج» نشان دهنده روش حلقه کردن (Curl) می‌باشد.

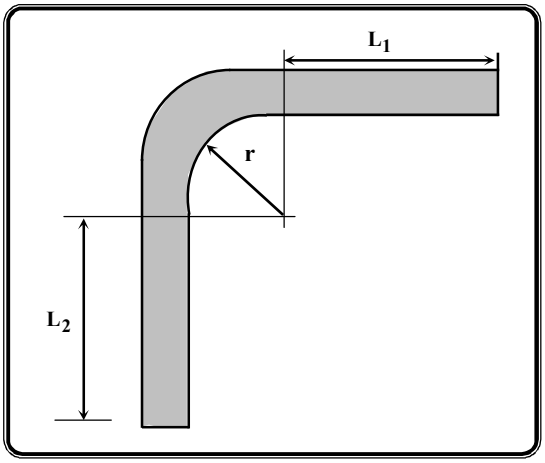


نکته۷: گاهی اوقات به جای استفاده از قطعات جوشکاری شده می‌توان از قطعات فرم داده شده توسط قالب‌های پرس استفاده نمود. قطعات جوشکاری شده معمولاً هزینه بر وگران‌تر و همچنین دارای تنش‌های بالا می‌باشند که با تغییر روش تولید اینگونه قطعات می‌توان راندمان تولید قطعات را بالا برد. در شکل زیر یک مثال از این حالت نشان داده شده است.



محاسبه دقیق طول گسترده

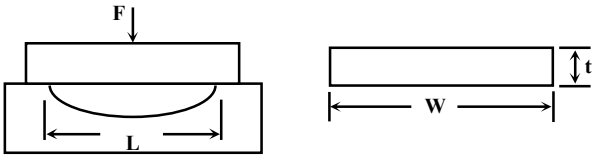
برای محاسبه دقیق طول گسترده، باید طول تار خنثی با توجه به جابجایی آن در ناحیه پلاستیک در نظر گرفته شود.



$$L_{total} = L_۱ + L_۲ + \frac{\pi}{۲}(r + e)$$

تست‌های طبقه‌بندی شده

۱ـ در قالب‌های خم V شکل، اگر t ضخامت ورق، w عرض ورق (طول خم)، L طول دهنه قالب و σ_t استحکام کششی جنس ورق باشد، نیروی خالص خم‌کاری کدام است؟ (کارشناسی ارشد ـ سراسری ۷۵)



۱) $F = \frac{۲}{۳}\sigma_t \frac{w \cdot t^۲}{L}$

۲) $F = ۰/۱۶۷ \frac{\sigma_t \cdot w \cdot t^۲}{L}$

۳) $F = \frac{۲}{۳}\sigma_t \frac{w \cdot L^۲}{t}$

۴) $F = \frac{۲}{۳}\sigma_t \cdot \frac{w^۲ \cdot t}{L}$

۲ـ برگشت فنری ورق موقع خم چگونه کم می شود؟ (چگونه می‌توان آنرا کاهش داد؟) (کارشناسی ارشد ـ سراسری ۷۵)

۱) با کاهش ضخامت ورق و نرم شدن 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.

۳ـ در قالب‌های خم کدام گزینه صحیح است؟ (کارشناسی ارشد ـ سراسری ۷۸)

۱) تفاوتی بین عمل خم در دو نوار که یکی با قیچی کند و یکی با قیچی تند بریده شده باشد وجود ندارد.
۲) زاویه بین محور خم و جهت نورد ورق تأثیری در عمل خم ندارد.
۳) در روش خم‌کاری V با افزایش دهانه ماتریس، نیروی خم کمتر شده و برگشت فنری آن اضافه می شود.
۴) موقعیت تار خنثی در ورق خم شده، در وسط ورق قرار دارد و طول نوار اولیه از موقعیت تار خنثی بدست می‌آید.

۴ـ به هنگام خمکاری چه تنشی به لایه‌های بالاتر و پائین‌تر از تار خنثی در شعاع خم ورق اعمال می‌شود؟ (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۱)

۱) کششی ـ فشاری ۲) کششی ـ کششی ۳) فشاری ـ کششی ۴) فشاری ـ فشاری

۵ـ در قالب‌های L شکل گزینه صحیح در مورد برجستگی ایجاد شده در لبه ماتریس (ریکویل) کدام است؟ (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۱)

۱) با کاهش فاصله ورق‌گیر تا سنبه می‌توان مقدار ریکویل را کم کرد. ۲) با روغنکاری می‌توان عیب را برطرف کرد.
۳) با افزایش نیروی ورق‌گیر می‌توان ریکویل را از میان برد. ۴) ریکویل را نمی‌توان به‌طور کامل از میان برد.

۶ـ جهت خم‌کاری یک خم ۹۰ درجه از یک قالب L شکل استفاده می‌شود. نیروی خمکاری مورد نیاز کدام است؟ (ضخامت ورق موردنظر برابر ۵ میلی‌متر و استحکام آن برابر ۴۰ کیلوگرم بر میلی‌متر مربع، عرض ورق در موضع خمکاری برابر ۱۰۰ میلی‌متر، شعاع سنبه، ماتریس و لقی بین آنها بترتیب برابر ۲۵ میلی‌متر، ۲۰ میلی‌متر و ۵ میلی‌متر می‌باشد). (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۱)

۱) ۶۶۶ تن ۲) ۲۰۰۰ تن ۳) ۶۶۶ کیلوگرم ۴) ۲۰۰۰ کیلوگرم

۷ـ نیروی ورق‌گیر با مشخصات سؤال قبل کدام است؟ (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۱)

۱) ۳۵۰ تن ۲) ۶۶۶۷ تن ۳) ۳۵۰ کیلوگرم ۴) ۶۶۶/۷ کیلوگرم

۸ـ در رابطه با عملیات خمکاری توسط قالب کدامیک از عبارت‌های ذیل نادرست است؟ (کارشناسی ارشد ـ سراسری ۸۲)

۱) هر چه ضخامت ورق بیشتر باشد، مقدار برگشت فنری کمتر می‌گردد.
۲) در ضخامت ورق ثابت، با کاهش شعاع خم، محور خنثی بیشتر به سطح داخلی ورق انتقال پیدا می‌کند.
۳) نیروی لازم خمکاری در قالب‌های خم V شکل با افزایش طول خم، ضخامت ورق و طول دهنه قالب افزایش می‌یابد.
۴) در خمکاری فقط قسمت‌هایی از ورق که در منطقه شعاع خم قرار دارند، تحت تنش موضعی قرار گرفته و تغییر فرم پلاستیکی می‌دهند.

۹ـ در ارتباط با قالب خم گزینه نادرست کدام است؟ (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۲)

۱) اگر شعاع خم ثابت باشد، افزایش زاویه خم سبب کاهش مقدار برگشت فنری می‌شود.
۲) شعاع خم کوچک‌تر، باعث کاهش مقدار برگشت فنری می‌شود.
۳) مقدار برگشت فنری در فلزات سخت بیشتر است.
۴) مقدار برگشت فنری در ورق‌های فولادی با ضخامت زیاد کمتر است.

۱۰ـ برای ایجاد یک خم ۹۰ درجه در کدام نوع قالب خم نیروی کمتری مورد نیاز است؟ (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۲)

۱) L شکل ۲) U شکل ۳) V شکل ۴) ⌊⌋ شکل

۱۱ـ در ارتباط با روش پیشگیری از برگشت فنری در قالب‌های خم گزینه نادرست کدام است؟ (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۲)

۱) خمکاری بیش از مقدار لازم ۲) خمکاری کششی ۳) خمکاری فشاری ۴) کوبش

۱۲ـ طرح مناسب برای ساخت راهنمای ورق در قالب خم کدام است؟ (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۲)

۱۳ـ قابلیت خمکاری ورق در کدام حالت بیشتر است؟ (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۲)

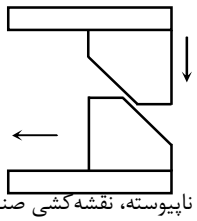
۱) در امتداد جهت نورد ۲) عمود بر جهت نورد

۳) ۱۵ درجه نسبت به جهت نورد ۴) ۴۵ درجه نسبت به جهت نورد

۱۴ـ قالب فتیله‌کنی را جزء کدام دسته از قالب‌های زیر می‌توان قرار داد؟ (کارشناسی ناپیوسته، نقشه‌کشی صنعتی ـ آزاد ۸۲)

۱) نقش‌انداز ۲) کشش ۳) خم ۴) دوره‌بر

۱۵ـ شکل داده شده معرف چیست؟ (کارشناسی ناپیوسته، نقشه‌کشی صنعتی ـ آزاد ۸۲)



۱) نوعی لب‌برگردان برای ورق است.

۲) نوعی بادامک است برای افزایش سرعت.

۳) مکانیزمی است برای تغییر زاویه.

۴) مکانیزمی است برای تغییر جهت حرکت.

۱۶ـ پس از آنکه فشار خمش از قطعه کاربرداشته شد، زاویه خمش: (کارشناسی ناپیوسته، نقشه‌کشی صنعتی ـ آزاد ۸۲)

۱) کمتر و شعاع خمش بیشتر می‌شود. ۲) کمتر و شعاع خمش کاهش می‌یابد.

۳) بیشتر و شعاع خمش کمتر می‌شود. ۴) بیشتر و شعاع خمش افزایش می‌یابد.

۱۷ـ گزینه نادرست کدام است؟ (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۳)

روش‌های مقابله با برگشت فنری کدام است؟

۱) کوبش ۲) خمکاری فشاری ۳) خمکاری کششی ۴) خمکاری بیش از مقدار لازم

۱۸ـ کلیه گزینه‌های زیر عوامل مؤثر درمیزان برگشت فنری را نشان می‌دهد، به جز: (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۳)

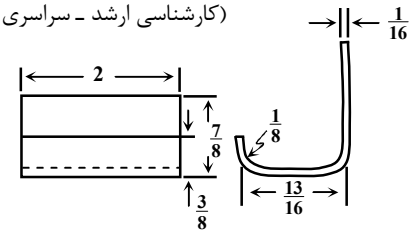
۱) ضخامت ورق ۲) جنس ورق ۳) نوع روانکار ۴) زاویه خم

۱۹ـ کلیه گزینه‌های زیر روش مقابله با پدیده برگشت فنری را نشان می‌دهد، به جز: (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۳)

۱) کوبش ۲) خمکاری فشاری ۳) خمکاری کششی ۴) خمکاری بیش از حد لازم

۲۰ـ مطلوب است محاسبه نیروی خمشی برای قطعه نشان داده شده درشکل، شعاع لبه‌های قالب $\frac{۱}{۸}$ اینچ در نظر بگیرید.

(کارشناسی ارشد ـ سراسری ۸۴)



۱) ۶۱۲^{lb}

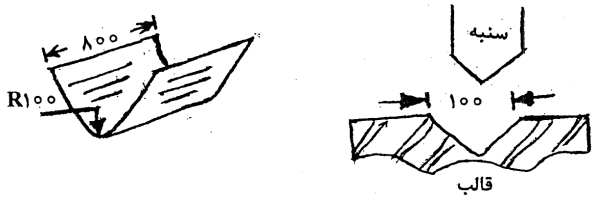
۲) ۷۷۵^{lb}

۳) ۷۷۰^{lb}

۴) $۷۷۵/۹۴^{lb}$

۲۱ـ درصورتی‌که استحکام کششی ورق تحت خمکاری شکل زیر ۳۷ کیلوگرم بر میلی‌متر مربع، ضخامت آن ۲ میلی‌متر، عرض ورق ۸۰۰ میلی‌متر بوده و از قالب V شکل با عرض دهانه ۱۰۰ میلی‌متر جهت خمکاری استفاده شود، نیروی لازم برای خمکاری این قطعه چند کیلوگرم خواهد بود؟

(کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۴)



۱) ۱۱۸۴kg

۲) ۱۵۷۵kg

۳) ۱۱۸۴۰۰kg

۴) ۱۵۷۴۷۲kg

۲۲ـ در قالب‌های خمکاری یک‌طرفه (L شکل) نیروی خمکاری معمولاً ..... نیروی ورق‌گیر است. (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۴)

۱) کمتر از ۲) بیشتر از ۳) دو برابر ۴) برابر

۲۳ـ در عملیات خمکاری،کدام قسمت از ورق تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد و تغییر شکل می‌دهد؟ (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۴)

۱) قسمت واقع در لایه‌ی داخلی شعاع خم ۲) قسمت واقع در لایه‌ی خارجی شعاع خم

۳) قسمت واقع در شعاع خم ۴) تمامی قسمت‌های ورق

۲۴ـ در قالب‌های خم جهت کاهش بازگشت فنری (Springback) کدام گزینه صحیح می‌باشد؟ (کارشناسی ارشد ـ سراسری ۸۵)

۱) کاهش ضخامت و کاهش شعاع خم ۲) افزایش ضخامت و افزایش شعاع خم

۳) کاهش شعاع خم و کاهش تنش تسلیم در ورق ۴) افزایش ضخامت و افزایش تنش تسلیم در ورق

۲۵ـ کدام گزینه در مورد خمکاری با قالب نادرست است؟ (کارشناسی ناپیوسته ـ سراسری ۸۵)

۱) شعاع لبه سنبه به مقدار شعاع خم بستگی دارد.

۲) برای جلوگیری از ایجاد ترک، شعاع خم نباید کم انتخاب شود.

۳) شعاع لبه سنبه کمی کوچک‌تر از شعاع خم قطعه انتخاب می‌شود.

۴) انتخاب حداقل شعاع خم، به شعاع خم قطعه و ضخامت ورق بستگی دارد.

۲۶ـ نیروی لازم جهت کاهش recoil برابر است با:

(عرض = L ، استحکام ورق = S ، عرض ورق = W ، عرض زائده = B ، ضخامت ورق = t) (کارشناسی ارشد ـ آزاد ۸۶)

۱) $۰/۳۳۳\ SWt$ ۲) SBW ۳) $۱/۳۳\frac{SWt^۲}{L}$ ۴) $۰/۶۶۶\frac{SW}{t}$

۲۷ـ در عملیات خمکاری ورقهای فلزی مقدار برگشت فنری به چه عواملی بستگی دارد؟ (کارشناسی ارشد ـ آزاد ۸۶)

۱) ضخامت ورق، شعاع خم، طول خم، شعاع خم‌کننده روی قالب ۲) سختی فلز، استحکام کششی، صافی سطوح قالب

۳) تنش حد تسلیم فلز، زاویه خم، ضخامت ورق ۴) زاویه خم، ضخامت ورق، سختی فلز

۲۸ـ در عملیات خمکاری ورق‌ها، لقی بین سنبه و ماتریس قالب چه ارتباطی با ضخامت ورق دارد؟ (کارشناسی ارشد ـ سراسری ۸۷)

۱) لقی بین سنبه و ماتریس کمتر از ضخامت ورق است. ۲) لقی بین سنبه و ماتریس بیشتر از ضخامت ورق است.

۳) لقی بین سنبه و ماتریس مساوی ضخامت ورق است. ۴) لقی بین سنبه و ماتریس هیچ ارتباطی با ضخامت ورق ندارد.

۲۹ـ کدام عامل سبب تشدید عیب ریکول نمی‌شود؟ (مؤلف)

۱) سطح ناصاف و خراشیده ورق‌گیر در محل تماس با ورق ۲) جنس و فشار زیاد ورق‌گیر

۳) مقدار ناکافی پوششی قطعه توسط ورق‌گیر ۴) فشار کم و ناکافی ورق‌گیر

۳۰ـ درکدام حالت برگشت فنری کمتر می‌باشد؟ (مؤلف)

۱) ورق ضخیم‌تر ـ شعاع خم کمتر ۲) ورق ضخیم‌تر ـ شعاع خم بیشتر

۳) ورق با تنش تسلیم کمتر ـ زاویه خم بیشتر ۴) ورق با تنش تسلیم بیشتر ـ زاویه خم کمتر

پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده

۱ـ گزینه «۱» نیروی خمکاری در قالبها از طریق مشابه در نظر گرفتن با تیرها در مقاومت مصالح براحتی محاسبه می‌گردد. نیروی خمکاری در سه نوع اصلی قالبهای خمکاری به شرح زیر می‌باشد:

قالب خمکاری L شکل: $F_L = ۰/۱۶۶\frac{Swt^۲}{L}$

قالب خمکاری V شکل: $F_v = ۰/۶۶۶\frac{Swt^۲}{L}$

قالب خمکاری U شکل: $F_U = ۰/۳۳۳\frac{Swt^۲}{L}$

ولی کلیه روابط معمولاً با ضریب اطمینان $SF = ۲$ در نظر گرفته می‌شود. پس در حالت کلی:

$$F_U = ۰/۶۶۶\frac{Swt^۲}{L} \quad , \quad F_v = ۱/۳۳۳\frac{Swt^۲}{L} \quad , \quad F_L = ۰/۳۳۳\frac{Swt^۲}{L}$$

۲ـ گزینه «۴» برگشت فنری در حالت کلی به عوامل زیر وابسته است:

۱ـ شعاع خم، که هر چه کوچکتر باشد برگشت فنری کمتر خواهد بود.

۲ـ زاویه خم که هرچه بزرگتر باشد برگشت فنری بیشتر می‌شود.

۳ـ ضخامت ورق که ورق‌های ضخیم‌تر برگشت فنری کمتری دارند.

۴ـ جنس ورق که ورق‌های با مدول الاستیسیته کمتر، برگشت فنری بیشتر و با تنش تسلیم کمتر برگشت فنری کمتری دارند.

* روشهای جلوگیری از برگشت فنری عبارتنداز:

۱ـ خم کردن اضافی (Over bending)

۲ـ استفاده از کوبش در محل شعاع خم و یا ایجاد تنش‌های فشاری موضعی (Bottoming)

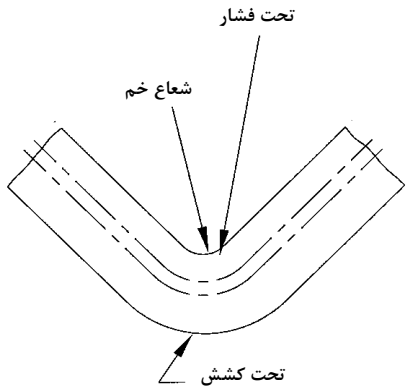
۳ـ خمکاری کششی (Stretch bending)

۴ـ افزایش دما و همچنین افزایش سرعت خمکاری

۳ـ گزینه «۳» با توجه به رابطه $(F_V = ۱/۳۳۳\frac{Swt^۲}{L})$ چون مقدار عرض دهانه ماتریس (L) در مخرج عبارت می‌باشد، لذا با افزایش عرض دهانه ماتریس، نیروی خمکاری کاهش می‌یابد. همچنین در صورت ثابت بودن بقیه پارامترها، با افزایش عرض دهانه ماتریس، زاویه خم بزرگتر شده و برگشت فنری بیشتر می‌شود.

۴ـ گزینه «۳»

در هنگام خمکاری به لایه‌های بالاتر از تار خنثی، یعنی لایه داخلی خم، تنش فشاری و به لایه‌های پائین‌تر از تار خنثی، یعنی لایه‌های خارجی خم، تنش کششی وارد می‌شود.



۵ـ گزینه «۱» یکی از عیوب بوجود آمده در خمکاری L شکل پدیده recoil می‌باشد که عبارت است از بلند شدن ورق از روی بستر. این عیب را با کاهش فاصله ورق‌گیر تا سنبه و استفاده از ورق‌گیر مناسب، می‌توان کم کرد.

۶ـ گزینه «۳» نیروی خمکاری در قالب‌های L شکل از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$F_L = ۰/۳۳۳\frac{SWt^۲}{L} \quad , \quad L = R_P + R_D + C$$

$$F_L = ۰/۳۳۳ \times \frac{۴۰(\frac{kg}{mm^۲}) \times ۱۰۰(mm) \times (۵mm)^۲}{۲۵ + ۲۰ + ۵(mm)} = ۶۶۶/۷(kg)$$

۷ـ گزینه «۴» در قالب‌های خم L شکل نیروی ورق‌گیر با نیروی خمکاری برابر می‌باشد.

۸ـ گزینه «۳» هر چه ضخامت ورق بیشتر باشد، مقدار برگشت فنری کمتر است و برعکس. پس گزینه اول جمله صحیحی بوده و جواب تست نیست.

محل محور خنثی به نسبت $\frac{r}{t}$ بستگی دارد. در گزینه دوم بیان شده است که ضخامت ورق (t) ثابت می‌باشد و شعاع خم کاهش یافته است، یعنی نسبت فوق کاهش یافته است که در این صورت محور خنثی به سطح داخلی خم نزدیکتر می‌گردد $(\frac{r}{t} < ۲ \Rightarrow e = ۰/۳۳t)$

نیروی لازم برای خمکاری V شکل از رابطه روبرو محاسبه می‌گردد: $F_v = ۱/۳۳\frac{Swt^۲}{L}$

و مشاهده می‌گردد که نیروی خمکاری با استحکام ورق (S) و عرض ورق (W) نسبت مستقیم، با مربع ضخامت $(t^۲)$ نسبت مستقیم و با L، طول دهانه قالب نسبت عکس دارد. پس گزینه سوم غلط و جواب تست می‌باشد.

همچنین در خمکاری، قسمت‌های داخلی شعاع تحت تنش فشاری و قسمت‌های خارجی شعاع خم تحت تنش‌های کششی هستند و گزینه چهارم نیز بیان صحیحی می‌باشد.

۹ـ گزینه «۱» در شرایط ثابت هرچه زاویه خم بیشتر شود، برگشت فنری هم بیشتر می‌شود و گزینه اول نادرست می‌باشد.

۱۰ـ گزینه «۱» روابط محاسبه نیروی خمکاری در قالب‌های خم به‌صورت زیر می‌باشد:

در قالب‌های L شکل: $F_L = ۰/۳۳۳\frac{SWt^۲}{L}$

در قالب‌های V شکل: $F_V = ۱/۳۳۳\frac{SWt^۲}{L}$

در قالب‌های U شکل: $F_U = ۰/۶۶۶\frac{SWt^۲}{L}$

با توجه به ضرایب در روابط محاسبه نیروی خمکاری قالب‌های خم مشاهده می‌شود که کمترین نیرو مربوط به قالب‌های خم L شکل می‌باشد و بیشترین نیرو در قالب‌های خم Vشکل مورد نیاز است.

گزینه‌های دوم و چهارم نیز در حالت کلی غلط می‌باشند، زیرا برای خمکاری ۹۰ درجه بکار نمی‌روند.

۱۱ـ گزینه «۳» روش‌های جلوگیری از برگشت فنری عبارتند از:

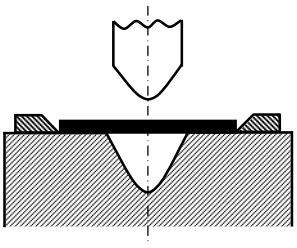
۱ـ خم کردن اضافی

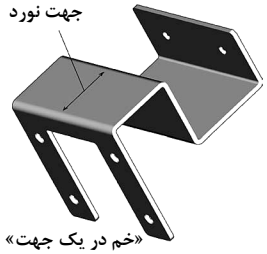
۳ـ خمکاری کششی

که گزینه سوم جزء روش‌های فوق نمی‌باشد.

۱۲ـ گزینه «۲»

برای قراردادن راحت‌تر و سرعت عمل بیشتر اپراتور، می‌توان سطوح جانبی راهنمای ورق را شیبدار ساخت تا ورق براحتی در موقعیت مناسب قرار گیرد.



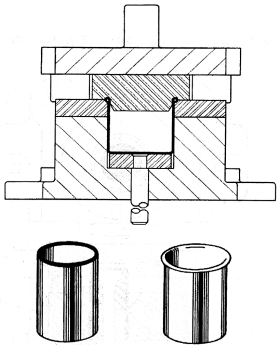


۱۳ـ گزینه «۲»

در خمکاری باید توجه داشت که مواد باید بصورت عمود بر جهت الیاف و دانه‌بندی فلز (عمود بر جهت نورد) خمکاری شوند و چنانچه قطعات دارای دو لبه خم عمود برهم باشند، باید بصورت مورب نسبت به جهت نورد خمکاری شوند.

◆ ◆ ◆ ◆

۱۴ـ گزینه «۳»



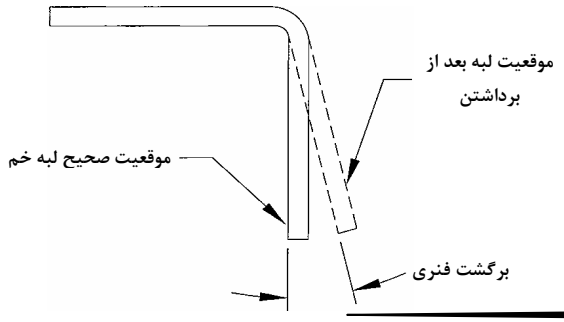
از قالب فتیله‌کنی (curling) برای برگرداندن لبه قطعات کشیده شده به‌منظور بالاتر بردن استحکام استفاده می‌شود. با توجه به گزینه‌های تست فقط گزینه سوم «خم» می‌تواند صحیح باشد.

◆ ◆ ◆ ◆

۱۵ـ گزینه «۴» همان‌گونه که گفته شد برای خمکاری قطعاتی که نیاز به حرکت افقی سنبه و ماتریس می‌باشد، می‌توان با استفاده از انواع بادامک‌ها، حرکت عمودی پرس را به حرکت افقی تبدیل نمود. در شکل مورد سؤال نیز نوعی بادامک که با استفاده از خاصیت سطوح شیبدار حرکت عمودی پرس را به حرکت افقی تبدیل می‌کند، نشان داده شده است.

◆ ◆ ◆ ◆

۱۶ـ گزینه «۴»



پس از برداشتن فشار خمش به‌علت خاصیت الاستیسیته مواد و برگشت فنری، زاویه خمش و شعاع خمش افزایش می‌یابند. برای مثال در ایجاد خم ۹۰ درجه پس از برداشتن فشار خمش، قطعه بصورت روبرو تغییرشکل می‌دهد.

◆ ◆ ◆ ◆

۱۷ـ گزینه «۲» این تست تکرار سؤال سال ۸۲ بوده است.

روش‌های جلوگیری از برگشت فنری خم کردن اضافی، استفاده از کوبش در محل شعاع خم و خمکاری کششی می‌باشد و گزینه دوم خمکاری فشاری نادرست است.

◆ ◆ ◆ ◆

۱۸ـ گزینه «۳» عوامل مؤثر درمیزان برگشت فنری عبارتند از:

۱) شعاع خم ۲) زاویه خم ۳) ضخامت ورق ۴) جنس ورق

نوع و میزان استفاده از روانکار در میزان برگشت فنری تأثیری ندارد و گزینه سوم جواب تست می‌باشد.

◆ ◆ ◆ ◆

۱۹ـ گزینه «۲» این تست دوبار تکرار شده است و توضیح آن مشابه تست‌های ۱۱ و ۱۷ می‌باشد.

◆ ◆ ◆ ◆

۲۰ـ سؤال ناقص است. برای بدست آوردن نیروی خمکاری در قالب‌ها، نیاز به استحکام ورق بر حسب $\frac{kg}{mm^2}$ داریم که در سوال داده نشده است.

◆ ◆ ◆ ◆

۲۱ـ گزینه «۲» طبق رابطه محاسبه نیروی لازم برای خمکاری در قالب‌های V شکل داریم:

$$\boxed{F_V = ۱/۳۳\frac{SWt^2}{L}} = ۱/۳۳ \times \frac{۳۷ \times ۸۰۰ \times (۲)^2}{۱۰۰} = ۱۵۷۴/۷ \approx ۱۵۷۵kg$$

◆ ◆ ◆ ◆

۲۲ـ گزینه «۴» در قالب‌های خم L شکل نیروی ورق‌گیر با نیروی خمکاری برابر می‌باشد.

◆ ◆ ◆ ◆

۲۳ـ گزینه «۳» در عملیات خمکاری قسمت واقع در شعاع خم کاملاً تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد، زیرا در هنگام خمکاری به لایه‌های بالاتر از تار خنثی، یعنی لایه‌های داخلی شعاع خم، تنش فشاری و به لایه‌های پائین‌تر از تار خنثی، یعنی لایه‌های خارجی خم، تنش کششی وارد می‌شود. پس در مجموع، قسمت واقع در شعاع خم تحت تأثیر تنش می‌باشد.

◆ ◆ ◆ ◆

۲۴ـ گزینه «۳» در حالت کلی برگشت فنری به عوامل زیر وابسته می‌باشد:

۱ـ شعاع خم، که هر چه کوچکتر باشد برگشت فنری کمتر خواهد بود.

۲ـ زاویه خم،که هرچه بیشتر باشد برگشت فنری بیشتر می‌شود.

۳ـ ضخامت ورق، که ورق‌های ضخیم‌تر برگشت فنری کمتری دارند و برعکس.

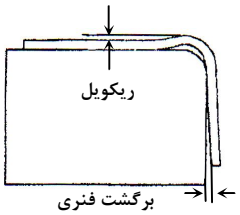
۴ـ جنس ورق که با مدول الاستیسیته کمتر، برگشت فنری بیشتری دارند و با تنش تسلیم کمتر، برگشت فنری کمتری دارند.

◆ ◆ ◆ ◆

۲۵ـ گزینه «۳» شعاع لبه سنبه در خمکاری به مقدار شعاع خم قطعه و ضخامت ورق مورد استفاده بستگی دارد. همچنین برای جلوگیری از ایجاد ترک (بر اثر عیب گلویی شدن) شعاع خم نباید خیلی کم انتخاب شود.

◆ ◆ ◆ ◆

۲۶ـ گزینه «۱» یکی از عیوب بوجود آمده در خمکاری L شکل یا کناره، پدیده recoil می‌باشد که عبارتست از بلند شدن ورق از روی بستر که با استفاده از ورق‌گیر مناسب می‌توان این عیب را کاهش داد.



* عوامل زیر می‌توانند سبب تشدید عیب recoil گردند :

۱ـ فشار کم و ناکافی ورق‌گیر

۲ـ مقدار ناکافی پوشش قطعه توسط ورق‌گیر

۳ـ سطح ناصاف و خراشیده ورق‌گیر در محل تماس با ورق

نیروی لازم جهت کاهش recoil از رابطه روبرو بدست می‌آید:

$$F = ۰/۳۳۳SWt$$

که S استحکام ورق بر حسب $\frac{kg}{mm^۲}$، W عرض ورق در موضع خمکاری و t ضخامت ورق می‌باشد.

◆ ◆ ◆ ◆

۲۷ـ گزینه «۳» در حالت کلی برگشت فنری در عملیات خمکاری به عوامل زیر وابسته می‌باشد:

۱ـ شعاع خم، که هر چه کوچکتر باشد برگشت فنری کمتر خواهد بود.

۲ـ زاویه خم، که هر چه بزرگتر باشد برگشت فنری بیشتر می‌شود.

۳ـ ضخامت ورق، که ورق‌های ضخیم‌تر برگشت فنری کمتری دارند.

۴ـ جنس ورق، که ورق‌های با مدول الاستیسیته کمتر، برگشت فنری بیشتر و با تنش تسلیم کمتر برگشت فنری کمتری دارند.

۵ـ افزایش دما، سرعت خمکاری بیشتر و افزایش اصطکاک موجب کاهش برگشت فنری می‌گردند.

◆ ◆ ◆ ◆

۲۸ـ گزینه «۲» در عملیات خمکاری (خم کناره یا L شکل و خم U شکل) لقی بین سنبه و ماتریس خمکاری، در حالت کلی بیشتر از ضخامت ورق در نظر گرفته می‌شود. تنها حالت استثناء در مورد لقی بین سنبه و ماتریس در حالتی است که جهت غلبه بر برگشت فنری، لقی کمتر در نظر گرفته می‌شود که دراین حالت لقی حدود $C = ۰/۹۵t$ تا $C = t$ در نظر گرفته می‌شود (C لقی و t ضخامت ورق می‌باشد).

◆ ◆ ◆ ◆

۲۹ـ گزینه «۲» عوامل زیر سبب تشدید پدیده recoil می‌گردند:

۱) فشار کم و ناکافی ورق‌گیر

۲) سطح ناصاف و خراشیده ورق‌گیر در محل تماس با ورق

۳) مقدار ناکافی پوشش قطعه توسط ورق‌گیر

◆ ◆ ◆ ◆

۳۰ـ گزینه «۱» در حالت کلی برگشت فنری به عوامل زیر وابسته است:

۱) شعاع خم، که هرچه کوچکتر باشد برگشت فنری کمتر خواهد بود.

۲) زاویه خم، که هرچه بزرگتر باشد برگشت فنری بیشتر می‌شود.

۳) ضخامت ورق، که ورق‌های ضخیم‌تر برگشت فنری کمتری دارند.

۴) جنس ورق که ورق با مدول الاستیسیته کمتر برگشت فنری بیشتر و با تنش تسلیم کمتر برگشت فنری کمتری دارند.

◆ ◆ ◆ ◆

آزمون فصل اول

۱ـ درقالب‌های خمکاری V شکل، نیروی لازم برای خمکاری به چه عواملی بستگی دارد؟

۱) استحکام برشی ورق، مقدار برگشت فنری، کلیرانس قالب، عرض و طول ورق
۲) استحکام کششی ورق، ضخامت ورق، نوع پرس، زاویه خم و طول ورق
۳) جنس فلز، زاویه خم، سرعت قالب، مقدار برگشت فنری، طول دهنه قالب
۴) استحکام کششی ورق، عرض و ضخامت ورق، شعاع‌های سنبه و ماتریس و کلیرانس قالب

۲ـ کدام عبارت در مورد ریکویل (recoil) نادرست است؟

۱) پدیده ریکویل عموماً در ساخت قطعات خارجی بدنه خودرو مشاهده می‌شود.
۲) پدیده ریکویل باعث افزایش و پدید آمدن برگشت فنری می‌شود.
۳) پدیده ریکویل به سبب جدا شدن قطعه به‌هنگام عملیات خمکاری از قالب ایجاد می‌شود.
۴) پدیده ریکویل با مقدار شعاع قالب نسبت مستقیم دارد.

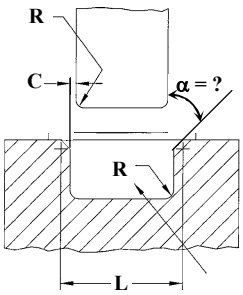
۳ـ اگر مدول الاستیسیته مواد A و B و C را بترتیب با E_C, E_B, E_A نشان دهیم و بدانیم $E_A > E_B > E_C$ و مقدار برگشت فنری آنها را با $\alpha_C, \alpha_B, \alpha_A$ نمایش دهیم، کدام عبارت صحیح است؟

۱) $\alpha_C > \alpha_B < \alpha_A$ ۲) $\alpha_A > \alpha_B > \alpha_C$ ۳) $\alpha_C > \alpha_B > \alpha_A$ ۴) $\alpha_A = \alpha_B = \alpha_C$

۴ـ کدامیک از گزینه‌های زیر، در محاسبه مقدار نیروی خمش لازم، بی‌تأثیر است؟

۱) ضخامت ورق ۲) نوع قالب خمکاری ۳) ضریب اصطکاک سطح ورق ۴) اندازه دهانه قالب

۵ـ در صورت استفاده از پخ، چه مقداری برای زاویه α در قالب خمکاری U شکل مقابل توصیه می‌شود؟



۱) $30^\circ - 45^\circ$
۲) $45^\circ - 60^\circ$
۳) $15^\circ - 30^\circ$
۴) $3^\circ - 5^\circ$

۶ـ کدامیک از عوامل هندسی زیر، سبب افزایش مقدار برگشت فنری می‌شود؟

۱) شعاع قالب بزرگتر ۲) مقدار لقی قالب بزرگ‌تر
۳) مقدار کمتر ناهمواری در مرزهای قطعه ۴) همه موارد فوق صحیح است.

۷ـ کدام عبارت درمورد خمکاری صحیح است؟

۱) کوچک‌ترین شعاع مجاز خمکاری به ضخامت ورق بستگی دارد.
۲) به خاطر اثر پواسان، ممکن است روی سطح خارجی، گلویی ایجاد شود.
۳) ترک در سطح داخلی خمکاری، بدلیل کوچک بودن شعاع خمکاری ایجاد می‌شود.
۴) همه موارد فوق صحیح است.

۸ـ درکدامیک از مواد زیر، مسأله ایجاد لودرباند (Luder's band) جدی‌تر است؟

۱) فولاد ۲) آلیاژهای آلومینیوم ـ منیزیم
۳) مس ۴) هر سه مورد به یک اندازه جدی هستند.

۹ـ ایجاد لودرباند چه مشکلی را برای قطعات ایجاد می‌کند؟

۱) سبب ایجاد پارگی در گوشه‌های تیز می‌شود. ۲) قابلیت کشش ورق را کاهش می‌دهد.
۳) رنگ‌پذیری و عملیات پوشش نهایی را مشکل می‌سازد. ۴) مقدار برگشت فنری و ریکویل را افزایش می‌دهد.

۱۰ـ کوچک‌ترین شعاع خم مجاز به کدام مورد بستگی دارد؟

۱) ضخامت ورق ۲) ازدیاد طول نسبی مواد ۳) عرض ورق ۴) گزینه ۱ و ۲

۱۱ـ چه رابطه‌ای میان نیروی خم در قالب‌های L و V و U شکل وجود دارد؟

۱) $F_L < F_U < F_V$ ۲) $F_L > F_U > F_V$ ۳) $F_L < F_U > F_V$ ۴) $F_L = F_U = F_V$

۱۲ـ نیروی لازم جهت کاهش ریکویل از کدام رابطه بدست می‌آید؟

۱) $F = SWt$ ۲) $F = SWt^2$ ۳) $F = 1/33 \frac{SWt^2}{L}$ ۴) $F = 0/333SWt$

۱۳ـ تفاوت خمکاری با فرم‌دهی در چیست؟

۱) در خمکاری خط خم منحنی و در فرم‌دهی خط خم مستقیم است.
۲) در خمکاری خط خم مستقیم و در فرم‌دهی خط خم منحنی است.
۳) با خمکاری اشکال پیچیده و با فرم‌دهی اشکال ساده تولید می‌گردند.
۴) در خمکاری نیروی بیشتری نسبت به فرم‌دهی مورد نیاز است.

۱۴ـ با کدام روش می‌توان قطعات با شیب منفی را ایجاد کرد؟

۱) فرم‌دهی انفجاری
۲) فرم‌دهی کششی
۳) فرم‌دهی مکانیکی
۴) فرم‌دهی با لاستیک (ابزار قابل انعطاف)

۱۵ـ در فرمول روبرو نام پارامتر K_V چیست و مقدار آن چقدر است؟ $F_V = K_V \frac{SWt^2}{L}$

۱) ضریب دهانه قالب ـ $K_V = 0/666$
۲) ضریب دهانه قالب ـ $K_V = 1/333$
۳) ضریب ضخامت ورق ـ $K_V = 1/333$
۴) ضریب تأثیر V شکل ـ $K_V = 0/666$

۱۶ـ ورقی به ضخامت ۳ میلی‌متر و عرض ۴۵۰ میلی‌متر با استحکام ۳۷ کیلوگرم بر میلی‌متر مربع، توسط قالب خمکاری V تولید می‌شود. اگر عرض دهانه قالب ۱۲۵ میلی‌متر باشد، نیروی لازم برای خمکاری این قطعه چند کیلوگرم خواهد بود؟

۱) 1598kg ۲) 1/598kg ۳) 1864/8kg ۴) 1958ton

۱۷ـ ورقی با استحکام $40 \frac{kg}{mm^2}$، ضخامت ۲ میلی‌متر و عرض ۲۸۰ میلی‌متر به‌صورت U خم می‌شود. شعاع لبه سنبه، لبه پایینی ماتریس، لبه بالایی ماتریس و لقی بین آن‌ها به‌ترتیب ۵، ۶، ۸ و ۲ میلی‌متر می‌باشد. نیروی لازم برای خمکاری در این قالب چقدر می‌باشد؟

۱) 1/864ton ۲) 15395kg ۳) 14140kg ۴) 1864/8ton

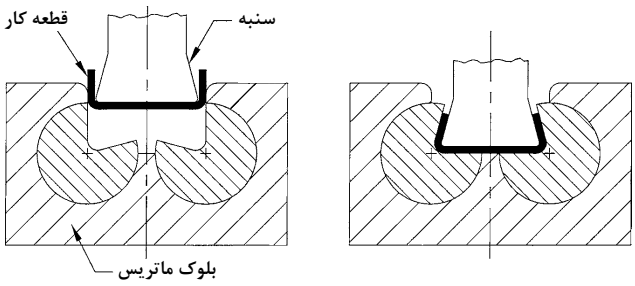
۱۸ـ در مثال قبل اگر برای کاهش برگشت فنری از کوبش با عرض زائده $B = 1/5mm$ استفاده شود، نیروی لازم برای کوبش چقدر می‌باشد؟

۱) 16800kg ۲) 1436kg ۳) 1573kg ۴) 1864/8kg

۱۹ـ قرار است بر روی ورقی که چندین سوراخ دقیق بر روی آن وجود دارد، عملیات خمکاری انجام شود. برای این که فرم و اندازه سوراخ دقیق باقی بماند، حداقل فاصله لبه سوراخ تا سطح ورق چقدر باید باشد؟ ورق فولادی به ضخامت 4mm و شعاع خم 10mm می‌باشد.

۱) $a = 1/8mm$ ۲) $a = 14mm$ ۳) $a = 6mm$ ۴) $a = 18mm$

۲۰ـ در شکل زیر کدام عملیات نشان داده شده است؟



۱) فرم‌دهی با حرکت دورانی
۲) فرم‌دهی با حرکت مستقیم
۳) خمکاری با حرکت دورانی
۴) خمکاری با حرکت مستقیم

۲۱ـ ورقی به ضخامت ۲ میلی‌متر توسط قالب خم V شکل خم‌کاری می‌شود. برای ایجاد کامل شکل خم، طول ضلع خم چقدر باید باشد؟

۱) ۸-۶ میلی‌متر ۲) ۱۵-۵ میلی‌متر ۳) ۴-۲ میلی‌متر ۴) ۱۰-۴ میلی‌متر

۲۲ـ در هنگام خمکاری کدام قسمت لایه‌ها دارای تنش کششی و کدام قسمت دارای تنش فشاری است؟

۱) بالاتر از تار خنثی- پایین‌تر از تار خنثی
۲) پایین‌تر از تار خنثی- بالاتر از تار خنثی
۳) روی تار خنثی- وسط ضخامت قطعه
۴) کلیه قسمتهای محل خم دارای تنش کششی است.

۲۳ـ ورقی به ضخامت ۳ میلی‌متر با سنبه‌ای به شعاع ۵ میلی‌متر خمکاری می‌گردد. تار خنثی چقدر جابجا می‌شود؟

۱) ۰/۶ میلی‌متر ۲) ۱ میلی‌متر ۳) ۰/۵ میلی‌متر ۴) ۱/۵ میلی‌متر

۲۴ـ در صورت انتخاب غیر مجاز و کوچک شعاع خم، کدام عیب ایجاد می‌شود؟

۱) ریکویل ۲) گوش‌دار شدن ۳) پوست پرتقالی شدن ۴) گلویی شدن

۲۵ـ کدام گزینه جزء مجموعه فرآیندهای خمش نمی‌باشد؟

۱) فتیله‌زنی ۲) موج انداختن ۳) فلنج‌زنی ۴) رشته کردن