

## فصل ۲

### خم کاری



تغییر شکل فلزات به طرح‌های مختلف یکی از مهم‌ترین علم‌های روز دنیاست. به‌عنوان مثال خودروهایی که بسیاری از شرکت‌های معتبر دنیا می‌سازند از لحاظ طرح و شکل با یکدیگر متفاوت هستند، خم کاری یکی از روش‌های تغییر شکل ورق‌های فلزی است که برای ساخت بسیاری از مصنوعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال جعبه‌های کمک‌های اولیه، جعبه ابزار و بدنه خودروها ...

## واحد یادگیری ۳

### شایستگی خم کاری ورق

آیا تا  
به حال پی  
برده‌اید

- ۱ | سقف‌های فلزی را چطور به این شکل درمی‌آورند؟
- ۲ | جعبه‌های ابزار فلزی چطور ساخته می‌شوند؟
- ۳ | چگونه بدنه خودروها را به این شکل درمی‌آورند؟
- ۴ | چه موادی را می‌توان تغییر شکل داد؟
- ۵ | براساس چه ابزاری می‌توان یک مصنوع فلزی ساخت؟

تغییر شکل به شکل مورد نظر درمی‌آوریم. یکی از این روش‌ها، خم کاری است که در ورق کاری کاربرد فراوان داشته و از اهمیت بالایی برخوردار است. در خم کاری قسمتی از ورق تغییر شکل داده می‌شود به طوری که حجم آن تغییر نکند. به عبارت دیگر خم کاری عملی است که در آن قسمتی از مواد را با حفظ سطح مقطع‌شان تا حد امکان، با رساندن گرما یا بدون آن، از مسیر اصلی خارج کرده و به مسیر دلخواهی بیاورند. از خم کاری علاوه بر ساخت مصنوعات فلزی، برای افزایش استحکام و سفتی ورق فلزی نیز استفاده می‌شود.

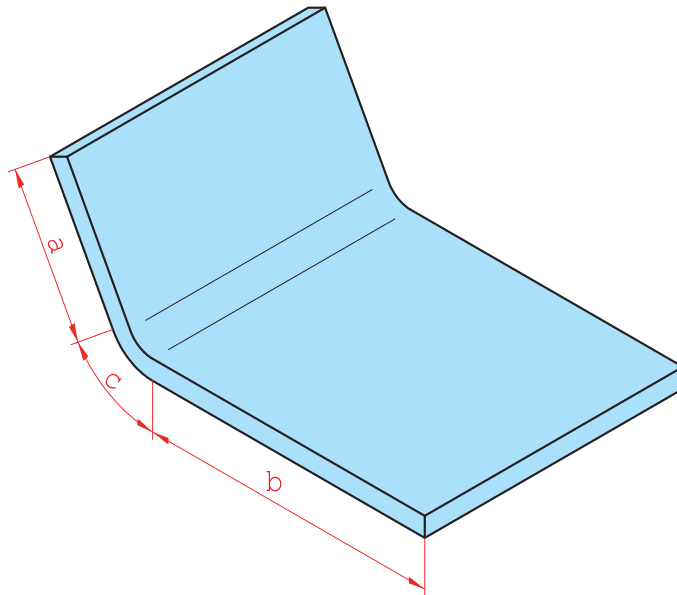
هدف از این شایستگی کسب مهارت و دانش پیاده‌سازی نقشه بر روی ورق‌های فلزی، تشخیص قابلیت خم کاری مواد مختلف، روش‌های خم کاری ورق، پارامترهای مؤثر در خم کاری، محاسبه طول ورق مورد نیاز برای خم کاری و خم کاری با دست و ماشین می‌باشد. بسیاری از مصنوعات فلزی که در روزمره مشاهده می‌نمایید از ورق‌های فلزی ساخته می‌شوند. مانند صندوق پستی - کابینت‌های فلزی - تابلوی برق - سقف‌های فلزی بام - جعبه ابزار و غیر از آنها. ابتدا ورق اولیه را براساس نقشه برش می‌دهند و سپس با به‌کارگیری یکی از روش‌های

#### استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری و کسب شایستگی خم کاری ورق، هنرجویان قادر به استخراج جزئیات و پارامترهای خم کاری از روش نقشه، پیاده‌سازی نقشه بر روی ورق، محاسبه حد مجاز و تعیین طول اولیه ورق و خم‌کای ورق به صورت دستی و ماشینی خواهند بود.

## بر چه اساسی می توان ورق را خم نمود؟

شکل ۱ یک ورق فلزی را نشان می دهد که با روش خم کاری شکل داده شده است، همان طور که می بینید پس از تغییر شکل ورق به دو قسمت تقسیم شده است (a) قسمتی از ورق که به سمت بالا خم شده، (b) که ثابت مانده و (c) مقداری از ورق تحت تغییر شکل قرار گرفته است. آیا این مقادیر (a, b, c) به صورت اتفاقی به دست می آیند یا نیاز به محاسبه دارند؟



شکل ۱- ورق خم شده با طول های a و b

همان طور که در فصل قبلی آموخته اید، اطلاعات مورد نیاز برای برش کاری ورق های فلزی را از روی نقشه استخراج می کنیم. به همین شکل، برای خم کاری ورق های فلزی نیاز به اطلاعاتی شامل ابعاد و اندازه های مصنوع مورد نظر، طرح و شکل مصنوع و پارامترهای خم کاری داریم که از نقشه می توانیم این اطلاعات را به دست آوریم.

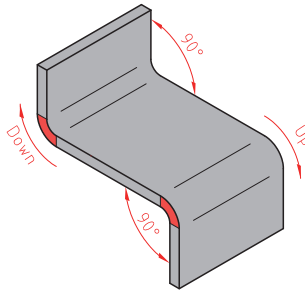
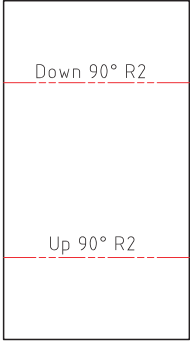
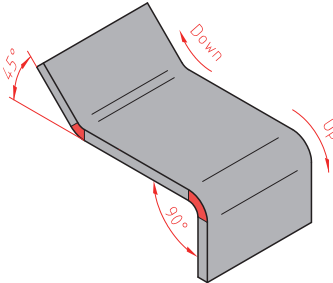
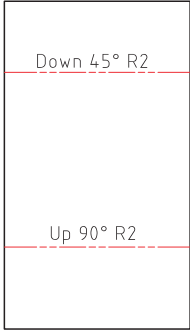
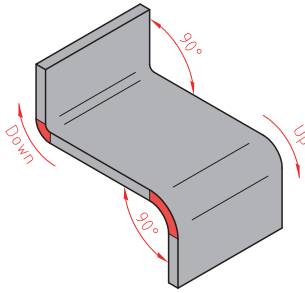
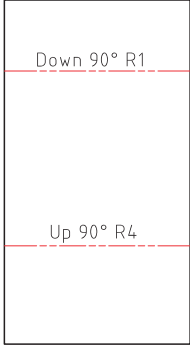
برای خم کاری ورق های فلزی، جهت خم کاری و مقدار تغییر شکل ورق بسیار حائز اهمیت است، و برای تولید یک مصنوع با ابعاد و اندازه دقیق و باکیفیت به علاوه مدیریت مواد اولیه، نیاز به مقادیر دقیق داریم که این مقادیر را می توان از روی نقشه استخراج کرد.

جدول ۱ شیوه استخراج اطلاعات مورد نیاز برای خم کاری ورق های فلزی را نشان می دهد. به مثال زیر توجه کنید؛

فرض کنید بر روی نقشه نوشته شده است: DOWN 90.00 R1.00

مفهوم این پارامترها این می باشد که ورق به سمت بیرون با زاویه ۹۰ درجه و شعاع ۱ میلی متر خم شود. یا اگر داشته باشیم UP 90,00 R 1,00 یعنی؟

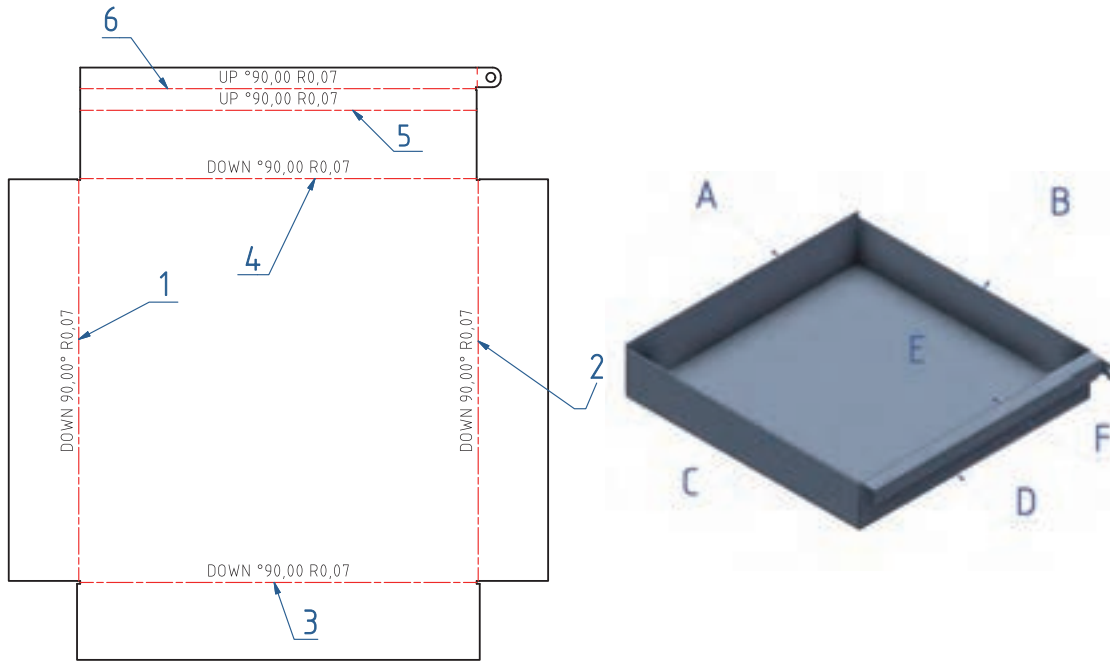
جدول ۱- راهنمای خواندن نقشه‌های خم کاری

تصویر ورق خم شده	نقشه	کاربرد	نمایش در نقشه		پارامتر	محل قرارگیری
		<p>این پارامتر در نقشه بهتری خم کاری ورق را نشان می‌دهد</p>	<p>به سمت داخل خم شود</p>	<p>DOWN</p>	<p>جهت</p>	<p>ابتدا از سمت چپ</p>
		<p>این پارامتر مقدار تغییر شکل و با خم شدن ورق در جهت معین را نشان می‌دهد</p>	<p><math>\theta = 90, 75, 45</math></p>	<p>زاویه</p>	<p>وسط</p>	
		<p>این پارامتر مقدار خمیدگی و انحنای ناحیه خم را نشان می‌دهد</p>	<p>R</p>	<p>شعاع</p>	<p>انتهای</p>	

فصل دوم: خم کاری

به عنوان مثال به نقشه زیر نگاه کنید، علائمی که بر روی خطوط خم نشان داده شده است، همان پارامترهای خم هستند که با استفاده از آنها می‌توانید مقدار تغییر شکل را بر روی ورق تعیین کنید.

نقشه شماره ۱



ارتباط بین شماره روی نقشه و حروف روی محصول را پیدا کنید و جدول را تکمیل کنید.

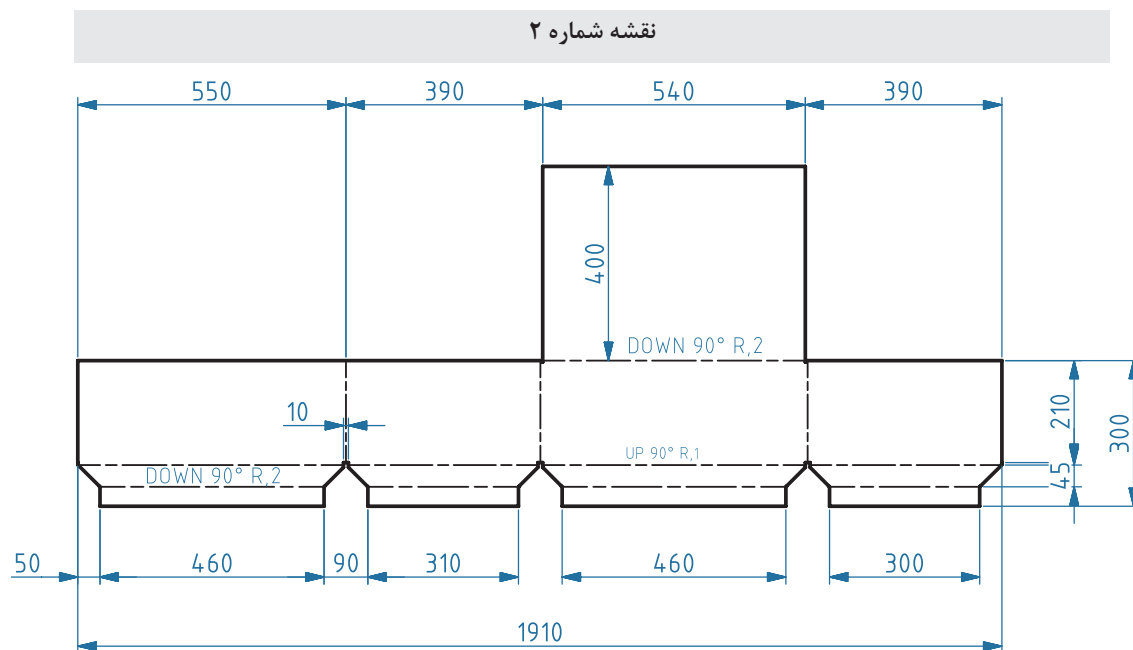
کار عملی



جدول شماره ۲

شماره روی نقشه	حروف روی محصول	جهت	زاویه	شعاع
۳	B	به سمت داخل	۹۰	۰/۷

با توجه به نقشه جدول ۳ را تکمیل کنید، سپس محصول نهایی را تجسم کرده و در کادر مشخص شده رسم کنید. همچنین ماکت محصول نهایی را با مقوا بسازید و به هنرآموز خود ارائه دهید.  
جدول شماره ۳



شماره	جهت	شعاع	زاویه

شماره	جهت	شعاع	زاویه

محل رسم شکل محصول نهایی - ماکت محصول را در منزل با مقوا بسازید.

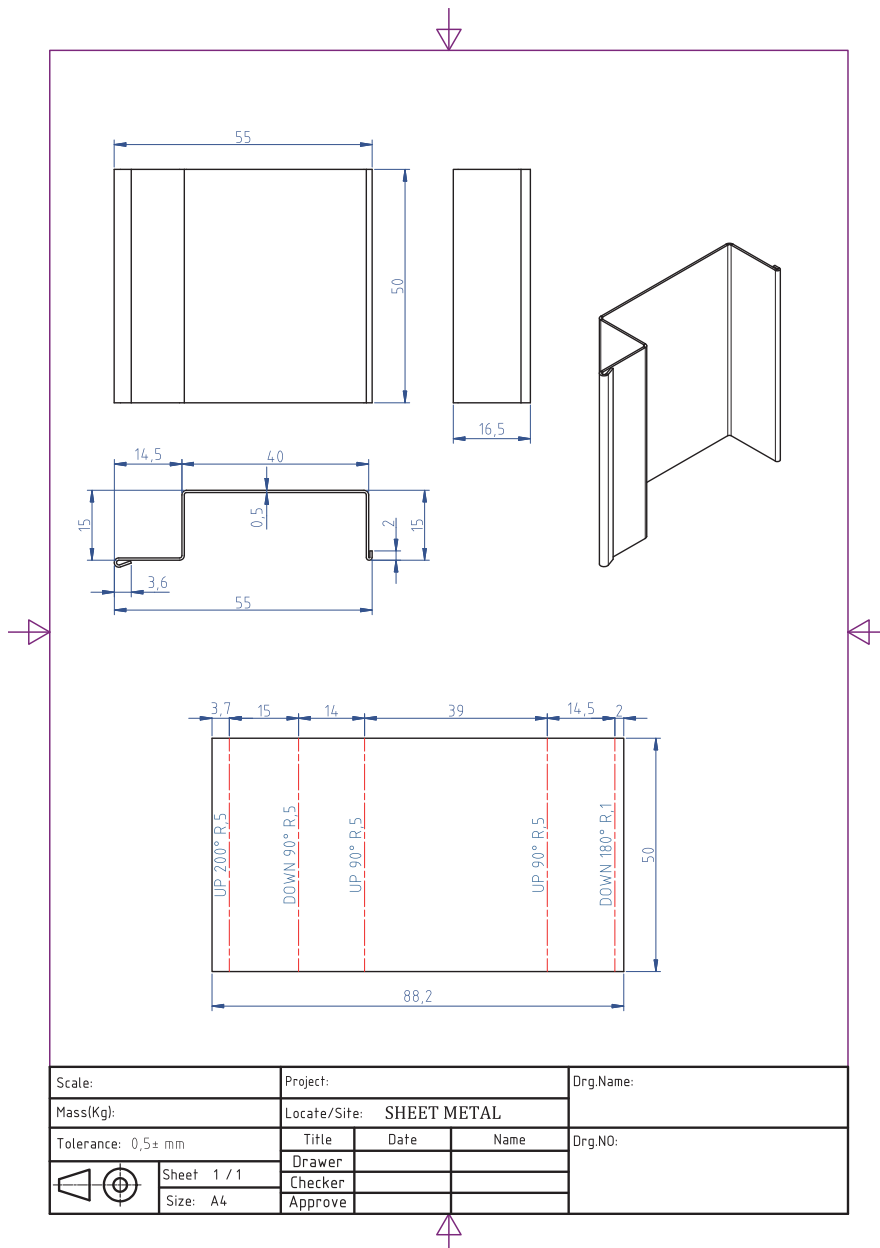
پیاده سازی نقشه بر روی ورق برای خم کاری

کار عملی

بر روی یک ورق فولادی به ابعاد mm ۵۰ × ۵۰ × ۸۸ نقشه شماره ۳ را پیاده کنید.



نقشه شماره ۳

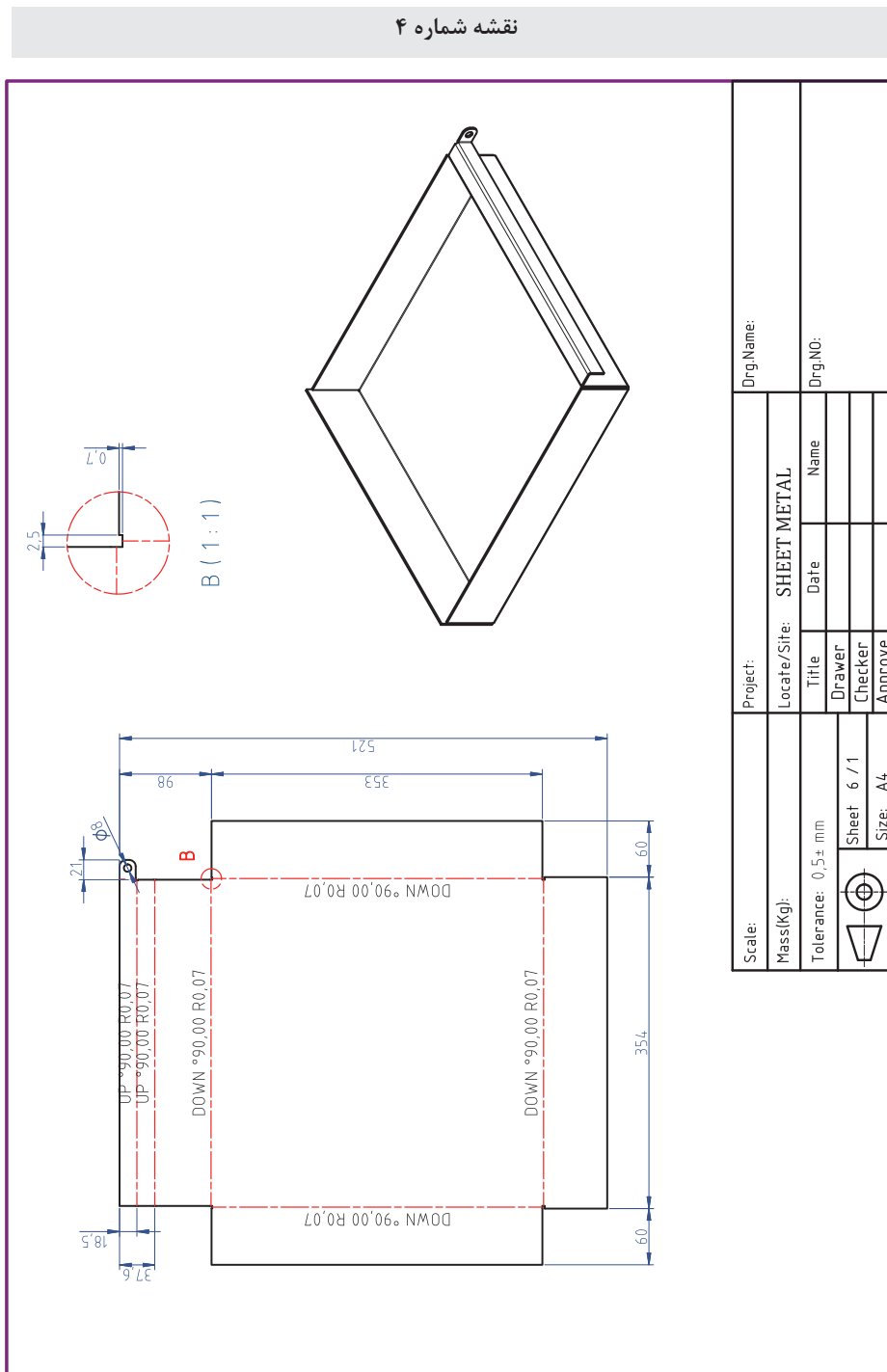




پیاده‌سازی نقشه بر روی ورق جهت خم کاری

شرح فعالیت: ورق فولادی به ابعاد  $400 \times 400 \times 0.8$  میلی متر انتخاب کنید، سپس نقشه شماره ۴ را بر روی آن پیاده‌سازی کنید.

نقشه شماره ۴



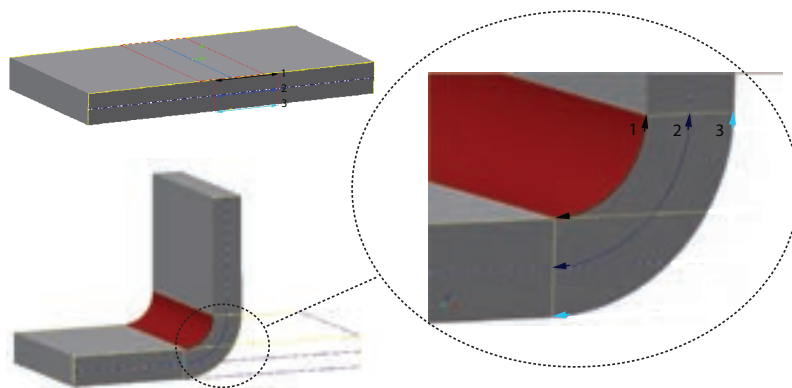


ارزشیابی تکوینی

مراحل کار	شرایط عملکرد (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	نتایج ممکن	استاندارد (شاخص های داوری / نمره دهی)	حداکثر نمره
آماده سازی	کارگاه: کارگاه استاندارد ورق کاری مواد: ورق فولادی ابزار: ابزارهای اندازه گیری و خط کشی	بالاتر از انتظار	پیاپی سازی جزئیات نقشه	۳
		قابل قبول	اندازه گذاری براساس نقشه، خط کشی براساس نقشه	۲
		غیر قابل قبول	اندازه گذاری براساس نقشه	۱
شایستگی های غیر فنی	مسئولیت پذیری، مدیریت مواد	بالاتر از انتظار	توجه به همه موارد	۳
ایمنی و بهداشت	دستکش، لباس کار، دقت در پیاده کردن	قابل قبول	رعایت موارد ایمنی	۲
توجهات زیست محیطی	مدیریت مواد دورریختنی	غیر قابل قبول	عدم رعایت موارد ایمنی	۱
نگرش	نقشه روی ورق برای افزایش بهره وری			

## خم کاری ورق

چه تغییراتی بعد از خم کاری در فلز به وجود می‌آید؟ به شکل‌های زیر نگاه کنید، شکل (الف) یک ورق فلزی قبل از خم کاری را نشان می‌دهد و شکل (ب) همان ورق را بعد از خم کاری نشان می‌دهد. بر روی هر دو ورق طول‌هایی با اعداد ۱ و ۲ و ۳ مشخص شده است، به نظر شما چه تفاوتی بین طول‌های مشخص شده قبل و بعد از خم کاری ایجاد شده است. با دوستانتان در این باره بحث کنید.



شکل ۲- تغییر شکل ورق بعد از خم کاری



شکل ۳- تغییر شکل ورق بعد از خم کاری

وقتی فلزی در اثر نیروی خم کاری تغییر شکل می‌دهد، در داخل آن تنش ایجاد می‌شود. که در قسمت بیرونی خم به دلیل کشیده شدن فلز در آن ناحیه، تحت تنش کششی است، در حالی که در قسمت داخلی خم تحت تنش فشاری قرار می‌گیرد که این به دلیل فشرده شدن فلز در ناحیه داخلی خم می‌باشد. شکل ۳ این تغییرات را به وضوح نشان می‌دهد.



شکل ۴- قوطی

بین این دو ناحیه، ناحیه‌ای قرار دارد که بدون تنش است و در اثر نیروی خم تغییری در آن ایجاد نمی‌شود، به این ناحیه محور خنثی (تار خنثی) می‌گویند. طول تار خنثی در محاسبه طول واقعی ورق بسیار اهمیت دارد.

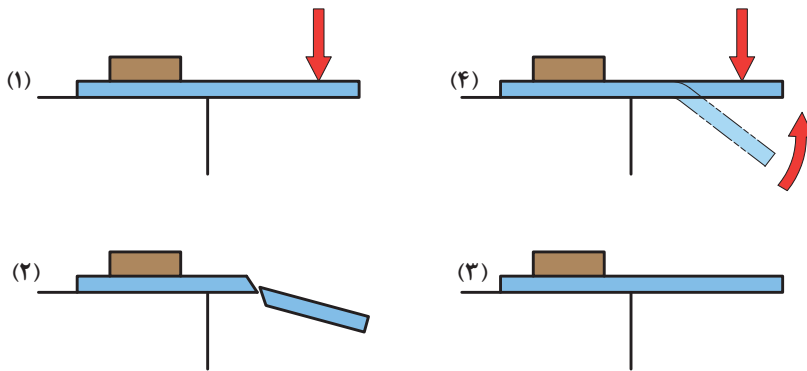
**تأثیر ویژگی مواد در خم کاری:** برای ساخت قوطی به صورت شکل مقابل استفاده از کدام ماده زیر امکان‌پذیر است؟ چرا؟

(ورق فلزی، تخته چوبی، صفحه شیشه‌ای)

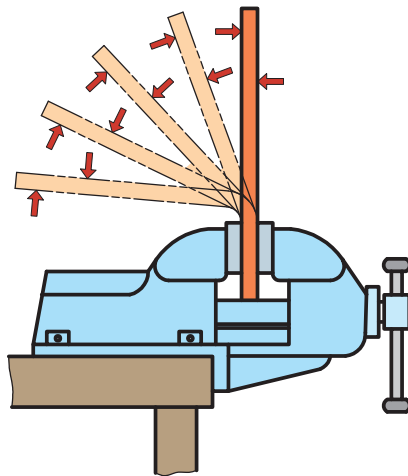
به طور کلی اجسام در مقابل تغییر شکل مقاومت نشان می دهند که به این مقاومت، استحکام گفته می شود. مواد با استحکام بالا را سخت تر می توان تغییر شکل داد. هنگامی که یک ماده را با اعمال نیرو بتوان تغییر شکل داد به آن ماده، نرم و شکل پذیر گفته می شود. مواد غیرنرم را ترد می گویند.

مواد نرم مانند فلزات قابلیت خم کاری بالایی دارند و می توان آنها را با نیروی کمی تغییر شکل داد، در حالی که مواد ترد مانند چوب و شیشه را نمی توان به راحتی خم کرد. این مواد در هنگام خم کاری دچار شکست می شوند. برخی از مواد هستند که بعد از خم کاری به حالت اولیه خود برمی گردند، همانند فنر. این ها هم قابلیت خم کاری خوبی ندارند.

نکته دیگری که در خم کاری مواد اهمیت فراوانی دارد، حالت فنریت مواد می باشد. به این معنی که وقتی مواد تحت نیروی خم، تغییر شکل می دهند، بعد از برداشتن نیروی خم ممکن است در همان حالت باقی بماند و یا بالعکس در اثر خاصیت فنری که دارند، مقداری به حالت اولیه شان برگردند که نتیجه آن کاهش کیفیت ابعادی و ظاهری مصنوع است. لذا برای جلوگیری از مشکل، زاویه خم کاری را همیشه مقداری بیشتر از اندازه واقعی آن در نظر می گیرند.



شکل ۵-۱- خم کاری ماده ترد، ۲- شکست ماده ترد، ۳- خم کاری ماده فنری، ۴- برگشت بعد از خم کاری



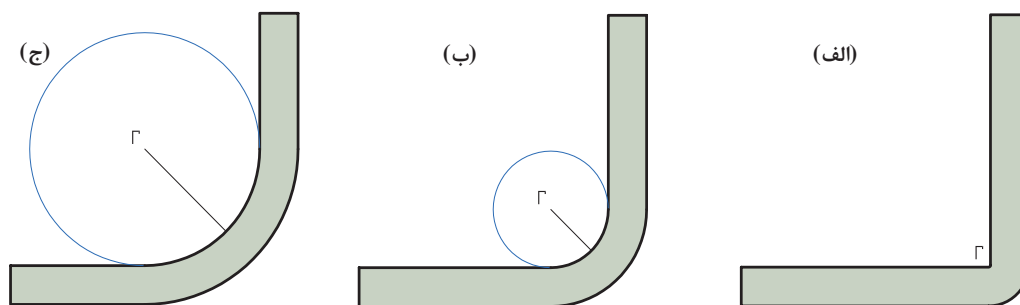
شکل ۶- برگشت فنری

جدول ۴ برخی از ویژگی‌های ورق‌های فلزی را نشان می‌دهد، با تکمیل جدول تعیین کنید ورق مناسب برای خم کاری چه ویژگی‌هایی باید داشته باشد.

جدول ۴

زیاد	کم	ویژگی مواد
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	استحکام
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	تردی
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	نرمی
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	کشسانی (فنریت)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	مومسانی (تغییر شکل دائمی)

**شعاع خم (Bend Radius):** در خم کاری ورق و لوله‌های فلزی برای جلوگیری از کشیدگی بیش از حد و پارگی در قسمت بیرونی، معمولاً ورق‌ها و لوله‌ها را به صورت منحنی (انحنادار) خم می‌کنند. به شکل‌های زیر نگاه کنید.



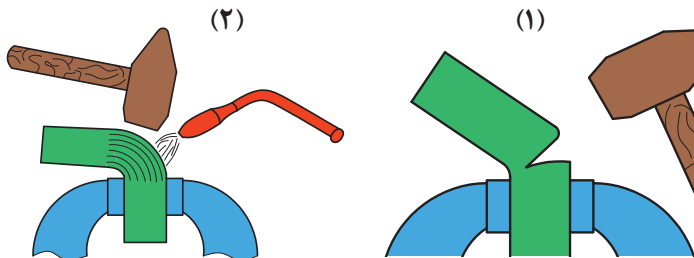
شکل ۷- الف) شعاع خم کم، ب) شعاع خم متوسط، ج) شعاع خم زیاد

شکل (الف) ورق فلزی را نشان می‌دهد که با انحنای بسیار ناچیز خم شده است که این حالت برای ورق‌ها با ضخامت بالا مناسب نمی‌باشد و ممکن است در قسمت بیرونی، ورق دچار پارگی شود. شکل‌های (ب) و (ج) ورق‌هایی را نشان می‌دهند که در ناحیه خم با انحنای مناسب خم شده‌اند. اما ورق (ج) شعاع انحنای بیشتری نسبت به ورق (ب) دارد. به این شعاع انحنای شعاع خم گفته می‌شود. به عبارت دیگر شعاع قسمتی از قوس دایره که بر روی ورق مماس است شعاع خم گفته می‌شود که اندازه این شعاع برابر با شعاع دایره است. **اثر شعاع خم:** برای جلوگیری از ایجاد ترک ناشی از خم، شعاع خم کاری باید متناسب با ضخامت ورق انتخاب شود. هرچه شعاع خم بیشتر باشد، احتمال تشکیل ترک‌ها در قسمت بیرونی ورق کمتر است. به عبارت دیگر ورق با ضخامت بیشتر شعاع خم بزرگ‌تری نیاز دارد. شعاع خم به شکل و ضخامت قطعه کار و همچنین دمای خم کاری و جنس ورق بستگی دارد.

جدول ۵- حدافل شعاع خم

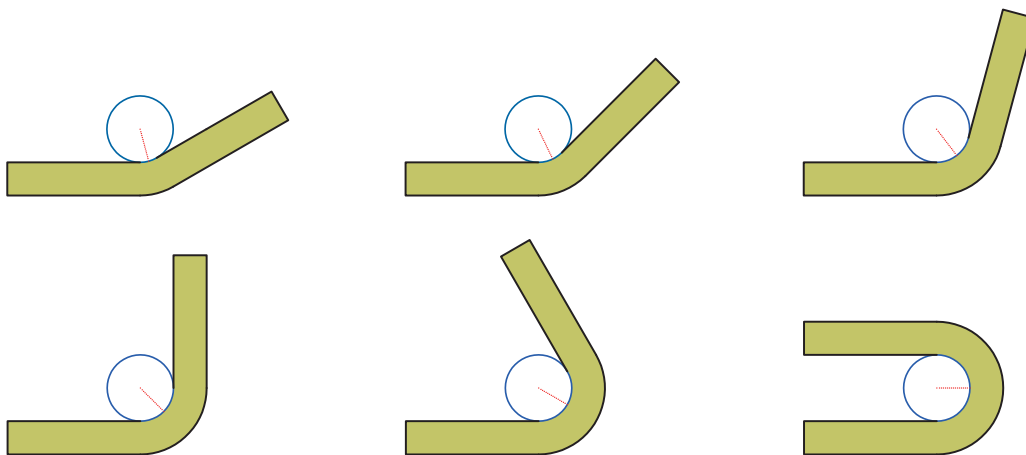
حدافل شعاع	مواد
۱/۲ - ۰/۸ برابر ضخامت	مس
۱/۸ - ۱ برابر ضخامت	برنج
۱ - ۲ برابر ضخامت	روی
۱ - ۳ برابر ضخامت	فولاد

در ستون مواد هر چه به سمت ردیف‌های پایین‌تر می‌آییم مقدار حدافل شعاع خم افزایش یافته است؟ چرا و این حدافل شعاع تعیین شده بر چه اساسی است؟  
**اثر گرما:** وقتی قطعه‌ای را تغییر شکل می‌دهید، تنش‌های زیادی در داخل آن ایجاد می‌شود. خصوصاً در قطعات ضخیم با شعاع خم کم، در اثر این تنش‌ها ترک در آنها ایجاد می‌شود. برای جلوگیری از تشکیل ترک در قطعات ضخیم باید آنها را تا درجه سرخ شدگی گرما داد تا مقاومت داخلی آنها کاهش یابد، سپس با یک نیروی معمول خم کاری این قطعات را تغییر شکل داد. البته باید به این نکته توجه کرد که گرم کردن ممکن است منجر به تغییر خواص ماده شود.



شکل ۸ - (۱) خم کاری بدون شعله، (۲) خم کاری ورق ضخیم به کمک شعله

زاویه خم (Bending Radius): به شکل‌های زیر نگاه کنید، چه تفاوتی بین آنها وجود دارد؟



شکل ۹- زاویه خم

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید؛

**سؤال ۱:** به نظر شما اهمیت شعاع خم در ورق‌های نازک بیشتر است یا ضخیم؟ با افزایش ضخامت ورق شعاع خم را زیاد افزایش می‌دهیم یا کاهش؟

**سؤال ۲:** نقش زاویه در خم کاری ورق فلزی چیست؟

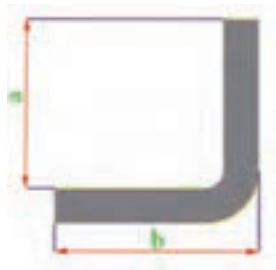
**سؤال ۳:** به نظر شما آیا تغییرات زاویه خم بر روی شعاع خم اثری دارد؟

### محاسبه طول اولیه ورق

چون در خم کاری، طول ورق مقداری افزایش می‌یابد، بنابراین قبل از خم کردن ورق با در نظر گرفتن اندازه‌هایی که بعد از خم کاری باید داشته باشیم (براساس نقشه)، طول اولیه ورق باید تعیین شود. برای محاسبه طول اولیه ورق به صورت زیر عمل می‌کنیم؛

**حالت اول:** چنانچه بخواهیم آن را تحت زاویه  $90^\circ$  درجه خم کنیم، در این صورت طول اولیه ورق عبارت‌اند از:

$$L = a + b - A$$

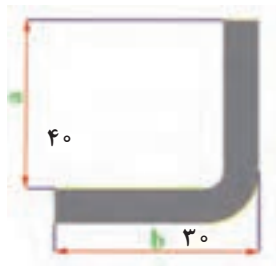


شکل ۱۰- زاویه خم

که در این معادله  $a$  و  $b$  طول‌های خم نشده ورق و  $A$  طول قسمت خم شده قطعه کار است که به علت خم شدن آن در محل خم و تبدیل آن به قوس ایجاد می‌شود

$$A = \frac{R}{2} + t$$

که در این معادله  $R$  شعاع خم،  $t$  ضخامت قطعه کار و  $A$  طول قسمت خم شده



شکل ۱۱- زاویه خم

**مثال:** طول یک ورق را قبل از خم شدن با در نظر گرفتن ابعاد مورد لزوم که بعد از خم شدن باید داشته باشد، حساب کنید. در صورتی که ضخامت ورق برابر با ۱ میلی‌متر در شعاع خمش دو برابر ضخامت ورق در نظر گرفته شود.

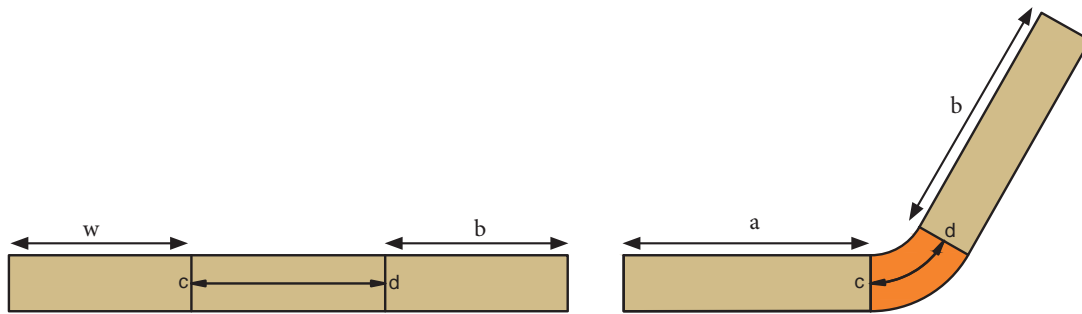
$$A = \frac{2 \times 1}{2} + 1 = 3$$

$$L = 40 + 30 - 3 = 67 \text{ mm}$$

**حالت دوم:** اگر ورق تحت زاویه کمتر یا بیشتر از  $90^\circ$  درجه خم شود در این صورت طول اولیه ورق به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$L = a + b + \overline{cd}$$

که در این معادله  $a$  و  $b$  طول قسمت‌های خم نشده قطعه بر حسب میلی‌متر می‌باشند.  $cd$  حد مجاز خم نام دارد، یا به عبارت دیگر طول تار خنثی در قسمت خم شده که این مقدار برابر با فاصله  $cd$  در شکل ۵ (طول تار خنثی در ناحیه خم = حد مجاز خم) است. مقدار  $cd$  براساس ضخامت ورق، شعاع و زاویه خم محاسبه می‌شود، عبارت‌اند از:



شکل ۱۲

$$\overline{cd} = 0.0175(R + \frac{t}{2})\theta$$

که در این رابطه  $R$  شعاع خم،  $t$  ضخامت ورق و  $\theta$  زاویه خم می‌باشند.  
 مثال: طول یک ورق فلزی را قبل از خم کردن با در نظر گرفتن ابعاد آن بعد از خم شدن به دست آورید. ابعاد و اندازه‌ها بر حسب میلی‌متر می‌باشد:

$$\theta = 30^\circ \text{ و } t = 2, R = 3t, b = 40, a = 20$$

$$L = a + b + \overline{cd}$$

$$= 20 + 40 + 0.0175(6 + \frac{2}{2}) \times 30 = 60 + 3/6 = 64 \text{ mm}$$

محاسبه طول ورق قبل از خم کاری را می‌توان با استفاده از جدول راهنما به راحتی انجام داد. همان‌طور که در حالت دوم بیان شد، برای محاسبه طول ورق قبل از خم کاری از رابطه  $L = a + b + \overline{cd}$  استفاده می‌کنیم که مقدار  $\overline{cd} = 0.0175(R + \frac{t}{2})\theta$  برابر  $k\theta$  می‌باشد. اگر به جای ضریب  $k$ ،  $\theta$  را قرار دهیم، داریم:  $\overline{cd} = k\theta$

نکته



مقدار  $k$  را با داشتن ضخامت قطعه کار و شعاع خمش از جدول راهنما می‌توان به دست آورد. در کارهای عملی برای محاسبه مقدار طول اولیه ورق با کمک جدول راهنما می‌توانید ابتدا مقدار فاکتور ثابت  $k$  را محاسبه کرده و سپس طول اولیه ورق مورد نیاز جهت خم کاری را به دست آورید.

برای مثال بالا یک بار دیگر با استفاده از جدول طول قسمت خم شده را به دست آورید.

$$\overline{cd} = K\theta$$

$$\overline{cd} = 0/20 \times 137 = 27/5$$

$$L = a + b + \overline{cd}$$

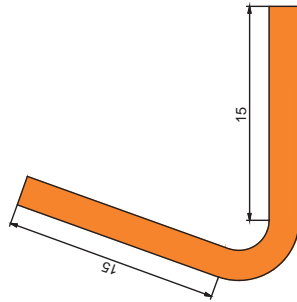
$$20 + 40 + 27/5 = 87/5$$

جدول ٤

		t																			
R	٠/٢	٠/٥	٠/٨	١	١/٢	١/٥	١/٦	١/٨	٢	٢/٥	٢/٨	٣	٣/٥	٤	٤/٥	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
	K																				
١	٠/٠٢	٠/٠٢٢	٠/٢٢	٠/٠٢٦	٠/٠٢٨																
٢	٠/٠٢٨	٠/٠٢٩	٠/٠٢٢	٠/٠٢٤	٠/٠٢٥	٠/٠٢٨	٠/٠٢٩	٠/٠٥١	٠/٠٥٢	٠/٠٥٧	٠/٠٥٩										
٣	٠/٠٥٥	٠/٠٥٧	٠/٠٤٢	٠/٠٤٦	٠/٠٤٣	٠/٠٤٥	٠/٠٤٦	٠/٠٤٨	٠/٠٧٠	٠/٠٧٤	٠/٠٧٧	٠/٠٧٩	٠/٠٨٢								
٤	٠/٠٧٢	٠/٠٧٤	٠/٠٥٩	٠/٠٧٩	٠/٠٨٠	٠/٠٨٣	٠/٠٨٤	٠/٠٨٦	٠/٠٨٧	٠/٠٩٢	٠/٠٩٤	٠/٠٩٦	٠/١٠٠	٠/١٠٥	٠/١٠٩						
٥	٠/٠٩٠	٠/٠٩٢	٠/٠٧٧	٠/٠٩٦	٠/٠٩٨	٠/١٠٠	٠/١٠١	٠/١٠٣	٠/١٠٥	٠/١٠٩	٠/١١٢	٠/١١٣	٠/١١٨	٠/١٢٢	٠/١٢٧	٠/١٣١					
٦	٠/١٠٧	٠/١٠٩	٠/٠٩٤	٠/١١٢	٠/١١٥	٠/١١٨	٠/١١٩	٠/١٢٠	٠/١٢٢	٠/١٢٧	٠/١٢٨	٠/١٣١	٠/١٣٥	٠/١٤٠	٠/١٤٤	٠/١٤٨	٠/١٥٧				
٧	٠/١٢٥	٠/١٢٧	٠/١١٢	٠/١٣١	٠/١٣٣	٠/١٣٥	٠/١٣٦	٠/١٣٨	٠/١٤٠	٠/١٤٤	٠/١٤٧	٠/١٤٨	٠/١٥٣	٠/١٥٧	٠/١٦١	٠/١٦٨	٠/١٧٥	٠/١٨٣			
٨	٠/١٤٢	٠/١٤٤	٠/١٢٩	٠/١٤٨	٠/١٥٠	٠/١٥٣	٠/١٥٤	٠/١٥٥	٠/١٥٧	٠/١٦١	٠/١٦٤	٠/١٦٦	٠/١٧٠	٠/١٧٥	٠/١٧٩	٠/١٨٣	٠/١٩٢	٠/٢٠١	٠/٢٠٩		
٩	٠/١٦٠	٠/١٦١	٠/١٤٧	٠/١٦٦	٠/١٦٨	٠/١٧٠	٠/١٧١	٠/١٧٣	٠/١٧٥	٠/١٧٩	٠/١٨٢	٠/١٨٣	٠/١٨٨	٠/١٩٢	٠/١٩٦	٠/٢٠١	٠/٢٠٩	٠/٢١٨	٠/٢٢٧	٠/٢٣٦	
١٠	٠/١٧٧	٠/١٧٩	٠/١٦٤	٠/١٨٣	٠/١٨٥	٠/١٨٨	٠/١٨٨	٠/١٩٠	٠/١٩٢	٠/١٩٦	٠/١٩٩	٠/٢٠١	٠/٢٠٥	٠/٢٠٩	٠/٢١٤	٠/٢١٨	٠/٢٢٧	٠/٢٣٦	٠/٢٤٤	٠/٢٥٣	٠/٢٦٢
١١	٠/١٩٥	٠/١٩٦	٠/١٨٢	٠/٢٠١	٠/٢٠٢	٠/٢٠٦	٠/٢٠٦	٠/٢٠٨	٠/٢٠٩	٠/٢١٤	٠/٢١٦	٠/٢١٨	٠/٢٢٣	٠/٢٢٧	٠/٢٣١	٠/٢٣٦	٠/٢٤١	٠/٢٥٣	٠/٢٦٢	٠/٢٧١	٠/٢٧٩
١٢	٠/٢١٢	٠/٢١٤	٠/١٩٩	٠/٢١٨	٠/٢٢٠	٠/٢٢٣	٠/٢٢٣	٠/٢٢٥	٠/٢٢٧	٠/٢٣١	٠/٢٣٤	٠/٢٣٦	٠/٢٤٠	٠/٢٤٤	٠/٢٤٩	٠/٢٥٣	٠/٢٥٦	٠/٢٧١	٠/٢٧٩	٠/٢٨٨	٠/٢٩٧
١٣	٠/٢٣٠	٠/٢٣١	٠/٢١٦	٠/٢٣٦	٠/٢٣٧	٠/٢٤٠	٠/٢٤١	٠/٢٤٣	٠/٢٤٤	٠/٢٤٩	٠/٢٥١	٠/٢٥٣	٠/٢٥٧	٠/٢٦٢	٠/٢٦٦	٠/٢٧١	٠/٢٧٩	٠/٢٨٨	٠/٢٩٧	٠/٣٠٥	٠/٣١٤
١٤	٠/٢٤٧	٠/٢٤٩	٠/٢٣٤	٠/٢٥٣	٠/٢٥٥	٠/٢٥٧	٠/٢٥٨	٠/٢٦٠	٠/٢٦٢	٠/٢٦٦	٠/٢٦٩	٠/٢٧١	٠/٢٧٥	٠/٢٧٩	٠/٢٨٢	٠/٢٨٨	٠/٢٩٧	٠/٣٠٥	٠/٣١٤	٠/٣٢٣	٠/٣٣٢
١٥	٠/٢٦٤	٠/٢٦٦	٠/٢٥١	٠/٢٧١	٠/٢٧٢	٠/٢٧٥	٠/٢٧٦	٠/٢٧٨	٠/٢٧٩	٠/٢٨٤	٠/٢٨٦	٠/٢٨٨	٠/٢٩٢	٠/٢٩٧	٠/٣٠١	٠/٣٠٥	٠/٣١٤	٠/٣٢٣	٠/٣٣٢	٠/٣٤٠	٠/٣٤٩
١٦	٠/٢٨٢	٠/٢٨٤	٠/٢٨٦	٠/٢٨٨	٠/٢٩٠	٠/٢٩٢	٠/٢٩٣	٠/٢٩٥	٠/٢٩٧	٠/٣٠١	٠/٣٠٩	٠/٣٠٥	٠/٣١٠	٠/٣١٤	٠/٣١٩	٠/٣٢٣	٠/٣٢٦	٠/٣٤١	٠/٣٤٩	٠/٣٥٨	٠/٣٦٧
١٧	٠/٢٩٩	٠/٣٠١	٠/٢٨٤	٠/٣٠٥	٠/٣٠٧	٠/٣١٠	٠/٣١١	٠/٣١٢	٠/٣١٤	٠/٣١٩	٠/٣٢١	٠/٣٢٣	٠/٣٢٧	٠/٣٣٢	٠/٣٣٦	٠/٣٣٩	٠/٣٥٨	٠/٣٦٧	٠/٣٧٥	٠/٣٨٤	٠/٣٨٢
١٨	٠/٣١٧	٠/٣١٩	٠/٣٢١	٠/٣٢٣	٠/٣٢٥	٠/٣٢٧	٠/٣٢٨	٠/٣٣٠	٠/٣٣٢	٠/٣٣٦	٠/٣٣٩	٠/٣٤٠	٠/٣٤٥	٠/٣٤٩	٠/٣٥٣	٠/٣٥٨	٠/٣٦٧	٠/٣٧٥	٠/٣٨٤	٠/٣٩٣	٠/٤٠١
١٩	٠/٣٣٠	٠/٣٣٦	٠/٣٣٩	٠/٣٤٠	٠/٣٤٢	٠/٣٤٥	٠/٣٤٦	٠/٣٤٧	٠/٣٤٩	٠/٣٥٣	٠/٣٥٦	٠/٣٥٨	٠/٣٦٢	٠/٣٦٧	٠/٣٧١	٠/٣٧٥	٠/٣٨٢	٠/٣٩٣	٠/٤٠١	٠/٤١٠	٠/٤١٩
٢٠	٠/٣٥٢	٠/٣٥٣	٠/٣٥٦	٠/٣٥٨	٠/٣٦٠	٠/٣٦٢	٠/٣٦٣	٠/٣٦٥	٠/٣٦٧	٠/٣٧١	٠/٣٧٥	٠/٣٧٥	٠/٣٨٠	٠/٣٨٤	٠/٣٨٨	٠/٣٩٣	٠/٤٠١	٠/٤١٠	٠/٤١٩	٠/٤٢٨	٠/٤٣٦
٢١	٠/٣٦٩	٠/٣٧١	٠/٣٧٣	٠/٣٧٥	٠/٣٧٧	٠/٣٨٠	٠/٣٨٠	٠/٣٨٢	٠/٣٨٤	٠/٣٨٨	٠/٣٩١	٠/٣٩٣	٠/٣٩٧	٠/٤٠١	٠/٤٠٦	٠/٤١٠	٠/٤١٩	٠/٤٢٨	٠/٤٣٦	٠/٤٤٥	٠/٤٥٤
٢٢	٠/٣٨٧	٠/٣٨٨	٠/٣٨٨	٠/٣٩٣	٠/٣٩٤	٠/٣٩٧	٠/٣٩٨	٠/٤٠٠	٠/٤٠١	٠/٤٠٦	٠/٤٠٨	٠/٤١٠	٠/٤١٥	٠/٤١٨	٠/٤٢٣	٠/٤٢٨	٠/٤٣٦	٠/٤٤٥	٠/٤٥٤	٠/٤٦٣	٠/٤٧١
٢٣	٠/٤٠٤	٠/٤٠٦	٠/٤٢٦	٠/٤١٠	٠/٤١٢	٠/٤١٥	٠/٤١٥	٠/٤١٧	٠/٤١٩	٠/٤٢٣	٠/٤٢٦	٠/٤٢٨	٠/٤٣٢	٠/٤٣٦	٠/٤٤١	٠/٤٤٥	٠/٤٥٤	٠/٤٦٣	٠/٤٧١	٠/٤٨٠	٠/٤٨٩
٢٤	٠/٤٢١	٠/٤٢٣	٠/٤٢٣	٠/٤٢٨	٠/٤٢٩	٠/٤٣٢	٠/٤٣٣	٠/٤٣٥	٠/٤٣٦	٠/٤٤١	٠/٤٤٣	٠/٤٤٥	٠/٤٤٩	٠/٤٥٣	٠/٤٥٨	٠/٤٦٢	٠/٤٧١	٠/٤٨٠	٠/٤٨٩	٠/٤٩٧	٠/٥٠٦
٢٥	٠/٤٣٩	٠/٤٤١	٠/٤٤١	٠/٤٤٥	٠/٤٤٧	٠/٤٤٩	٠/٤٥٠	٠/٤٥٢	٠/٤٥٤	٠/٤٥٨	٠/٤٤١	٠/٤٤٣	٠/٤٤٧	٠/٤٥١	٠/٤٥٨	٠/٤٦٣	٠/٤٧١	٠/٤٨٠	٠/٤٨٩	٠/٤٩٧	٠/٥٠٦
٢٦	٠/٤٥٦	٠/٤٥٨	٠/٤٥٨	٠/٤٦٣	٠/٤٦٤	٠/٤٦٧	٠/٤٦٨	٠/٤٦٩	٠/٤٧١	٠/٤٧٦	٠/٤٧٨	٠/٤٨٠	٠/٤٨٤	٠/٤٨٩	٠/٤٩٣	٠/٤٩٧	٠/٥٠٥	٠/٥١٤	٠/٥٢٣	٠/٥٣٢	٠/٥٤١
٢٧	٠/٤٧٤	٠/٤٧٨	٠/٤٧٨	٠/٤٨٠	٠/٤٨٢	٠/٤٨٤	٠/٤٨٥	٠/٤٨٧	٠/٤٨٨	٠/٤٨٨	٠/٤٩٦	٠/٤٩٧	٠/٥٠٢	٠/٥٠٦	٠/٥١١	٠/٥١٥	٠/٥٢٤	٠/٥٣٢	٠/٥٤١	٠/٥٥٠	٠/٥٥٩
٢٨	٠/٤٩١	٠/٤٩٣	٠/٤٩٦	٠/٤٩٧	٠/٤٩٩	٠/٥٠٢	٠/٥٠٣	٠/٥٠٤	٠/٥٠٦	٠/٥١١	٠/٥١٣	٠/٥١٥	٠/٥١٩	٠/٥٢٤	٠/٥٢٨	٠/٥٣٢	٠/٥٤١	٠/٥٥٠	٠/٥٥٩	٠/٥٦٧	٠/٥٧٦
٢٩	٠/٥٠٩	٠/٥١١	٠/٥١٣	٠/٥١٥	٠/٥١٧	٠/٥١٩	٠/٥٢٠	٠/٥٢٢	٠/٥٢٤	٠/٥٢٨	٠/٥٣١	٠/٥٣٢	٠/٥٣٧	٠/٥٤٠	٠/٥٤٥	٠/٥٥٠	٠/٥٥٩	٠/٥٦٧	٠/٥٧٦	٠/٥٨٥	٠/٥٩٣
٣٠	٠/٥٢٦	٠/٥٢٨	٠/٥٢٨	٠/٥٣٢	٠/٥٣٤	٠/٥٣٧	٠/٥٣٨	٠/٥٣٩	٠/٥٤١	٠/٥٤٥	٠/٥٤٨	٠/٥٥٠	٠/٥٥٤	٠/٥٥٩	٠/٥٦٣	٠/٥٦٧	٠/٥٧٦	٠/٥٨٥	٠/٥٩٣	٠/٦٠٢	٠/٦١١



فصل دوم: خم کاری



طول اولیه ورق مورد نیاز برای ساخت یک قطعه به شکل طرح زیر را به دست آورید. در صورتی که مقدار زاویه و شعاع مورد نیاز برای خم کاری برای ورق فولادی با ضخامت ۱/۲ میلی متر برابر با ۷۰ درجه و ۲ میلی متر باشند.

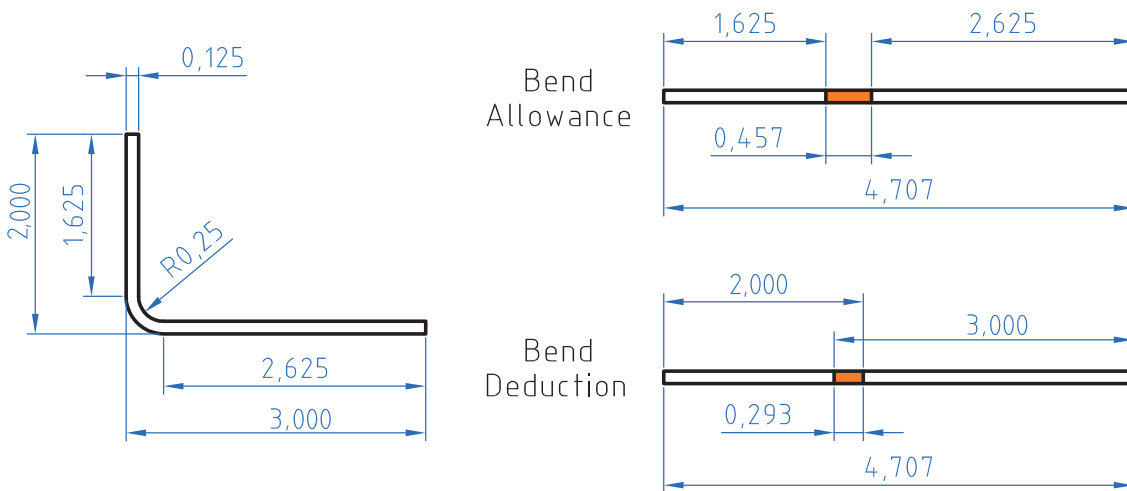
جدول ۷

R	t																					
	۰/۳	۰/۵	۰/۸	۱	۱/۲	۱/۵	۱/۶	۱/۸	۲	۲/۵	۲/۸	۳	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	
	K																					
۱	-/۰۲	-/۰۲۲	-/۰۲۴	-/۰۲۶	-/۰۲۸																	
۲	-/۰۳۸	-/۰۳۹	-/۰۴۲	-/۰۴۴	-/۰۴۵	-/۰۴۸	-/۰۴۹	-/۰۵۱	-/۰۵۲	-/۰۵۷	-/۰۵۹											
۳	-/۰۵۵	-/۰۵۷	-/۰۶۲	-/۰۶۱	-/۰۶۳	-/۰۶۵	-/۰۶۶	-/۰۶۸	-/۰۷۰	-/۰۷۴	-/۰۷۷	-/۰۷۹	-/۰۸۲									
۴	-/۰۷۲	-/۰۷۴	-/۰۷۹	-/۰۷۹	-/۰۸۰	-/۰۸۳	-/۰۸۴	-/۰۸۶	-/۰۸۷	-/۰۹۲	-/۰۹۴	-/۰۹۶	-/۱۰۰	-/۱۰۵	-/۱۰۹							
۵	-/۰۹۰	-/۰۹۲	-/۰۹۷	-/۰۹۶	-/۰۹۸	-/۱۰۰	-/۱۰۱	-/۱۰۳	-/۱۰۵	-/۱۰۹	-/۱۱۲	-/۱۱۳	-/۱۱۸	-/۱۲۲	-/۱۲۷	-/۱۳۱						
۶	-/۱۰۷	-/۱۰۹	-/۱۰۹	-/۱۱۳	-/۱۱۵	-/۱۱۸	-/۱۱۹	-/۱۲۰	-/۱۲۲	-/۱۲۷	-/۱۲۸	-/۱۳۱	-/۱۳۵	-/۱۴۰	-/۱۴۴	-/۱۴۸	-/۱۵۷					
۷	-/۱۲۵	-/۱۲۷	-/۱۱۲	-/۱۳۱	-/۱۳۳	-/۱۳۵	-/۱۳۶	-/۱۳۸	-/۱۴۰	-/۱۴۴	-/۱۴۷	-/۱۴۸	-/۱۵۳	-/۱۵۷	-/۱۶۱	-/۱۶۸	-/۱۷۵	-/۱۸۳				
۸	-/۱۴۴	-/۱۴۴	-/۱۲۹	-/۱۴۸	-/۱۵۰	-/۱۵۳	-/۱۵۴	-/۱۵۵	-/۱۵۷	-/۱۶۱	-/۱۶۴	-/۱۶۶	-/۱۷۰	-/۱۷۵	-/۱۷۹	-/۱۸۳	-/۱۹۲	-/۲۰۱	-/۲۰۹	-/۲۱۸	-/۲۲۷	-/۲۳۶
۹	-/۱۶۰	-/۱۶۱	-/۱۴۷	-/۱۶۶	-/۱۶۸	-/۱۷۰	-/۱۷۱	-/۱۷۳	-/۱۷۵	-/۱۷۹	-/۱۸۲	-/۱۸۳	-/۱۸۸	-/۱۹۲	-/۱۹۶	-/۲۰۱	-/۲۰۹	-/۲۱۸	-/۲۲۷	-/۲۳۶	-/۲۴۴	-/۲۵۳
۱۰	-/۱۷۷	-/۱۷۹	-/۱۶۴	-/۱۸۳	-/۱۸۵	-/۱۸۸	-/۱۸۸	-/۱۹۰	-/۱۹۲	-/۱۹۶	-/۱۹۹	-/۲۰۱	-/۲۰۵	-/۲۰۹	-/۲۱۴	-/۲۱۸	-/۲۲۷	-/۲۳۶	-/۲۴۴	-/۲۵۳	-/۲۶۲	-/۲۷۱
۱۱	-/۱۹۵	-/۱۹۶	-/۱۸۲	-/۲۰۱	-/۲۰۲	-/۲۰۶	-/۲۰۶	-/۲۰۸	-/۲۰۹	-/۲۱۴	-/۲۱۶	-/۲۱۸	-/۲۲۳	-/۲۲۷	-/۲۳۱	-/۲۳۶	-/۲۴۱	-/۲۵۳	-/۲۶۲	-/۲۷۱	-/۲۸۰	-/۲۸۹
۱۲	-/۲۱۲	-/۲۱۴	-/۱۹۹	-/۲۱۸	-/۲۲۰	-/۲۲۳	-/۲۲۳	-/۲۲۵	-/۲۲۷	-/۲۳۱	-/۲۳۴	-/۲۳۶	-/۲۴۰	-/۲۴۴	-/۲۴۹	-/۲۵۳	-/۲۶۲	-/۲۷۱	-/۲۸۰	-/۲۸۹	-/۲۹۸	-/۳۰۷
۱۳	-/۲۳۰	-/۲۳۱	-/۲۱۶	-/۲۳۶	-/۲۳۷	-/۲۴۰	-/۲۴۱	-/۲۴۳	-/۲۴۴	-/۲۴۹	-/۲۵۱	-/۲۵۳	-/۲۵۷	-/۲۶۲	-/۲۶۶	-/۲۷۱	-/۲۸۰	-/۲۸۹	-/۲۹۸	-/۳۰۷	-/۳۱۶	-/۳۲۵
۱۴	-/۲۴۷	-/۲۴۹	-/۲۳۴	-/۲۵۳	-/۲۵۵	-/۲۵۷	-/۲۵۸	-/۲۶۰	-/۲۶۲	-/۲۶۶	-/۲۶۹	-/۲۷۱	-/۲۷۵	-/۲۷۹	-/۲۸۴	-/۲۸۸	-/۲۹۷	-/۳۰۵	-/۳۱۴	-/۳۲۳	-/۳۳۲	-/۳۴۰
۱۵	-/۲۶۴	-/۲۶۶	-/۲۵۱	-/۲۷۱	-/۲۷۲	-/۲۷۵	-/۲۷۶	-/۲۷۸	-/۲۷۹	-/۲۸۴	-/۲۸۶	-/۲۸۸	-/۲۹۲	-/۲۹۷	-/۳۰۱	-/۳۰۵	-/۳۱۴	-/۳۱۹	-/۳۲۳	-/۳۳۲	-/۳۴۰	-/۳۴۹
۱۶	-/۲۸۲	-/۲۸۴	-/۲۶۹	-/۲۸۸	-/۲۹۰	-/۲۹۲	-/۲۹۳	-/۲۹۵	-/۲۹۷	-/۳۰۱	-/۳۰۹	-/۳۰۵	-/۳۱۰	-/۳۱۴	-/۳۱۹	-/۳۲۳	-/۳۳۲	-/۳۴۰	-/۳۴۹	-/۳۵۸	-/۳۶۷	-/۳۷۶
۱۷	-/۲۹۹	-/۳۰۱	-/۲۸۴	-/۳۰۵	-/۳۰۷	-/۳۱۰	-/۳۱۱	-/۳۱۲	-/۳۱۴	-/۳۱۹	-/۳۲۱	-/۳۲۳	-/۳۲۷	-/۳۳۲	-/۳۳۶	-/۳۴۰	-/۳۴۹	-/۳۵۸	-/۳۶۷	-/۳۷۶	-/۳۸۵	-/۳۹۴
۱۸	-/۳۱۷	-/۳۱۹	-/۳۰۲	-/۳۲۳	-/۳۲۵	-/۳۲۷	-/۳۲۸	-/۳۳۰	-/۳۳۲	-/۳۳۶	-/۳۳۹	-/۳۴۰	-/۳۴۵	-/۳۴۹	-/۳۵۳	-/۳۵۸	-/۳۶۷	-/۳۷۶	-/۳۸۵	-/۳۹۴	-/۴۰۳	-/۴۱۲
۱۹	-/۳۳۰	-/۳۳۶	-/۳۲۹	-/۳۴۰	-/۳۴۲	-/۳۴۵	-/۳۴۶	-/۳۴۷	-/۳۴۹	-/۳۵۲	-/۳۵۶	-/۳۵۸	-/۳۶۲	-/۳۶۷	-/۳۷۱	-/۳۷۵	-/۳۸۴	-/۳۹۳	-/۴۰۱	-/۴۰۹	-/۴۱۸	-/۴۲۷
۲۰	-/۳۵۲	-/۳۵۳	-/۳۵۶	-/۳۵۸	-/۳۶۰	-/۳۶۲	-/۳۶۳	-/۳۶۵	-/۳۶۷	-/۳۷۱	-/۳۷۵	-/۳۷۵	-/۳۸۰	-/۳۸۴	-/۳۸۸	-/۳۹۳	-/۴۰۱	-/۴۰۹	-/۴۱۸	-/۴۲۷	-/۴۳۶	-/۴۴۵
۲۱	-/۳۶۹	-/۳۷۱	-/۳۷۳	-/۳۷۵	-/۳۷۷	-/۳۸۰	-/۳۸۰	-/۳۸۲	-/۳۸۴	-/۳۸۸	-/۳۹۱	-/۳۹۳	-/۳۹۷	-/۴۰۱	-/۴۰۶	-/۴۱۰	-/۴۱۹	-/۴۲۸	-/۴۳۶	-/۴۴۵	-/۴۵۴	-/۴۶۳
۲۲	-/۳۸۷	-/۳۸۸	-/۳۸۰	-/۳۹۳	-/۳۹۴	-/۳۹۷	-/۳۹۸	-/۴۰۰	-/۴۰۱	-/۴۰۶	-/۴۰۸	-/۴۱۰	-/۴۱۵	-/۴۱۸	-/۴۲۳	-/۴۲۸	-/۴۳۶	-/۴۴۵	-/۴۵۴	-/۴۶۳	-/۴۷۲	-/۴۸۱
۲۳	-/۴۰۴	-/۴۰۶	-/۴۰۶	-/۴۱۰	-/۴۱۲	-/۴۱۵	-/۴۱۵	-/۴۱۷	-/۴۱۹	-/۴۲۳	-/۴۲۶	-/۴۲۸	-/۴۳۲	-/۴۳۶	-/۴۴۱	-/۴۴۵	-/۴۵۴	-/۴۶۳	-/۴۷۲	-/۴۸۱	-/۴۹۰	-/۴۹۹
۲۴	-/۴۲۱	-/۴۲۳	-/۴۲۳	-/۴۲۸	-/۴۲۹	-/۴۳۲	-/۴۳۳	-/۴۳۵	-/۴۳۶	-/۴۴۱	-/۴۴۳	-/۴۴۵	-/۴۴۹	-/۴۵۴	-/۴۵۸	-/۴۶۳	-/۴۷۲	-/۴۸۱	-/۴۹۰	-/۴۹۹	-/۵۰۸	-/۵۱۷
۲۵	-/۴۳۹	-/۴۴۱	-/۴۴۱	-/۴۴۵	-/۴۴۷	-/۴۴۹	-/۴۵۰	-/۴۵۲	-/۴۵۴	-/۴۵۸	-/۴۶۱	-/۴۶۳	-/۴۶۷	-/۴۷۱	-/۴۷۵	-/۴۸۰	-/۴۸۹	-/۴۹۷	-/۵۰۶	-/۵۱۵	-/۵۲۴	-/۵۳۳
۲۶	-/۴۵۶	-/۴۵۸	-/۴۵۸	-/۴۶۳	-/۴۶۴	-/۴۶۷	-/۴۶۸	-/۴۶۹	-/۴۷۱	-/۴۷۶	-/۴۷۸	-/۴۸۰	-/۴۸۴	-/۴۸۹	-/۴۹۳	-/۴۹۷	-/۵۰۵	-/۵۱۵	-/۵۲۴	-/۵۳۳	-/۵۴۲	-/۵۵۱
۲۷	-/۴۷۴	-/۴۷۸	-/۴۷۸	-/۴۸۰	-/۴۸۲	-/۴۸۴	-/۴۸۵	-/۴۸۷	-/۴۸۸	-/۴۹۸	-/۴۹۶	-/۴۹۷	-/۵۰۲	-/۵۰۶	-/۵۱۱	-/۵۱۵	-/۵۲۴	-/۵۳۳	-/۵۴۲	-/۵۵۱	-/۵۶۰	-/۵۶۹
۲۸	-/۴۹۱	-/۴۹۳	-/۴۹۶	-/۴۹۷	-/۴۹۹	-/۵۰۲	-/۵۰۳	-/۵۰۴	-/۵۰۶	-/۵۱۱	-/۵۱۳	-/۵۱۵	-/۵۱۹	-/۵۲۴	-/۵۲۸	-/۵۳۳	-/۵۴۱	-/۵۵۰	-/۵۵۹	-/۵۶۸	-/۵۷۷	-/۵۸۶
۲۹	-/۵۰۹	-/۵۱۱	-/۵۱۳	-/۵۱۵	-/۵۱۷	-/۵۱۹	-/۵۲۰	-/۵۲۲	-/۵۲۴	-/۵۲۸	-/۵۳۱	-/۵۳۳	-/۵۳۷	-/۵۴۰	-/۵۴۵	-/۵۵۰	-/۵۵۹	-/۵۶۷	-/۵۷۶	-/۵۸۵	-/۵۹۴	-/۶۰۳
۳۰	-/۵۲۶	-/۵۲۸	-/۵۲۸	-/۵۳۲	-/۵۳۴	-/۵۳۷	-/۵۳۸	-/۵۳۹	-/۵۴۱	-/۵۴۵	-/۵۴۸	-/۵۵۰	-/۵۵۴	-/۵۵۹	-/۵۶۳	-/۵۶۷	-/۵۷۶	-/۵۸۵	-/۵۹۴	-/۶۰۳	-/۶۱۲	-/۶۲۱

## چگونه می‌توان حد مجاز خم را به کمک نرم افزار محاسبه کرد؟

برای محاسبه مقدار حد مجاز خم کاری می‌توان از سایت‌های اینترنتی به صورت آنلاین نیز استفاده کرد. برای محاسبه این مقدار، ابتدا این آدرس را در مرورگر خود وارد کنید (<http://sheetmetal.me/formulas-and-functions/bend-allowance>) می‌توانید از سایت‌های مشابه نیز استفاده کنید.

در ادامه با توجه به شکل زیر مقدار حد مجاز را محاسبه می‌کنید، به طوری که در مرحله ۱ مقدار ضخامت ورق، مرحله ۲ زاویه خم، مرحله ۳ شعاع خم و در مرحله ۴ مقدار فاکتور K را در قسمت مورد نظر وارد می‌کنید، در نهایت در مرحله ۵ با فشردن کلید calculate، مقدار حد مجاز محاسبه می‌شود که در مرحله ۶ نشان داده شده است.



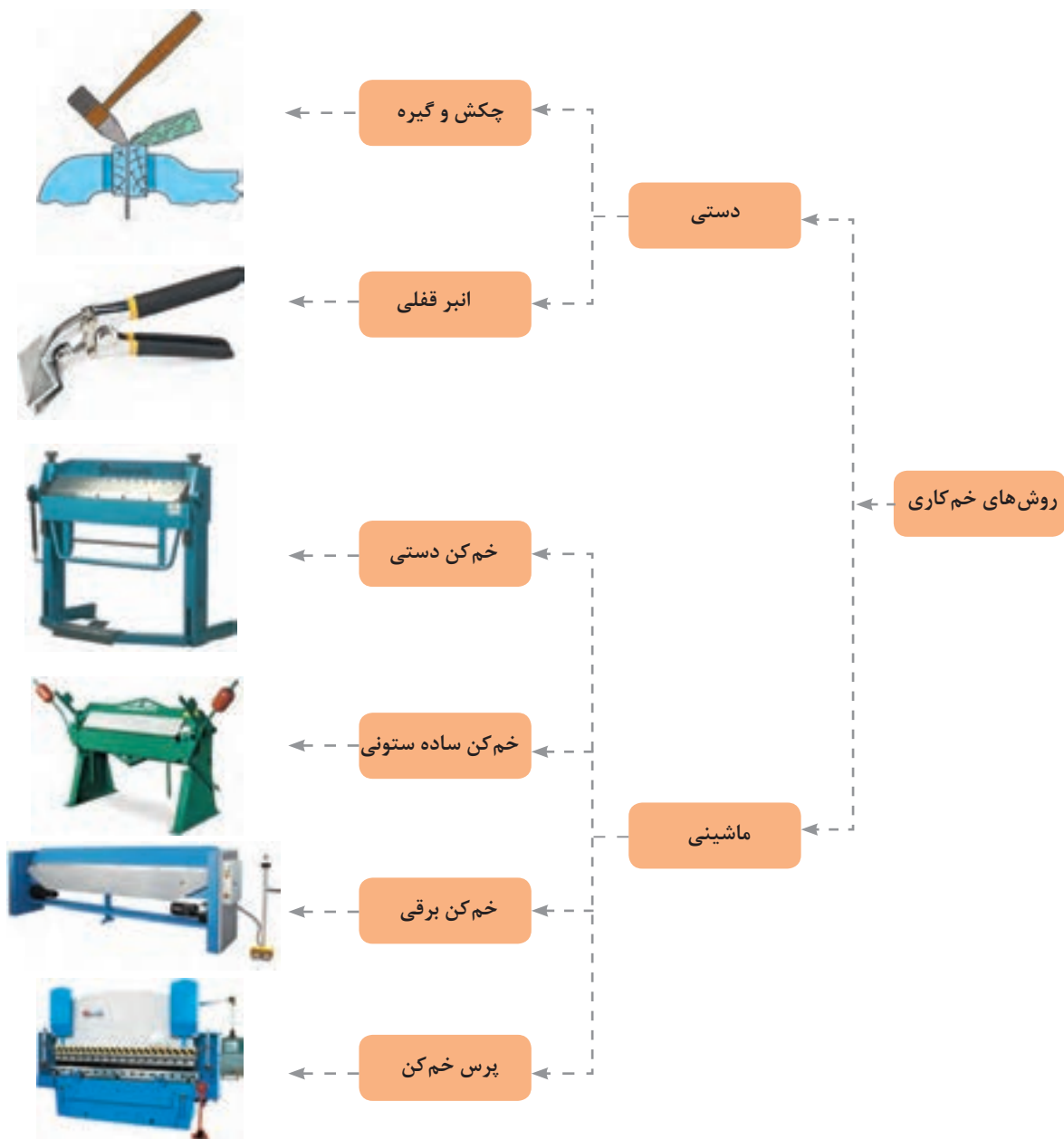
Bend Allowance Calculator

مرحله ۱	Material Thickness:	ضخامت مواد
مرحله ۲	Bend Angle:	زاویه خم
مرحله ۳	Inside Rodius:	شعاع داخلی
مرحله ۴	K Factor:	فاکتور K
مرحله ۶	Calculate:	محاسبه کردن
مرحله ۵	Bend Allowance:	حد مجاز

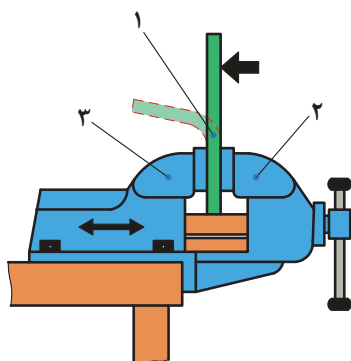
شکل ۱۳- مراحل محاسبه حد مجاز خم

## روش های خم کاری ورق

روش های خم کاری ورق را به طور کلی به دو گروه دستی و ماشینی تقسیم می کنند. شکل ۱۴ به نظر شما این گروه بندی بر چه اساسی است و تفاوت بین این خم کن ها در چیست؟



شکل ۱۴- دسته بندی خم کن های دستی و ماشینی

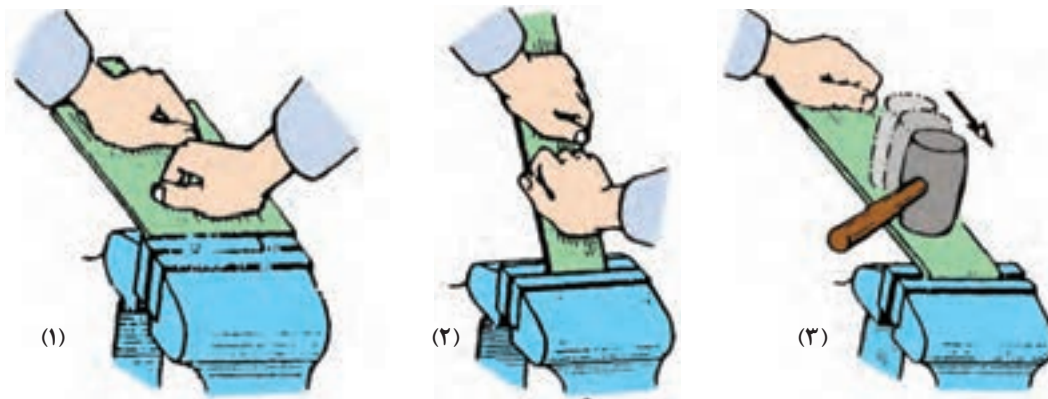


خم کاری به صورت دستی و ماشینی می باشد: براساس شکل خم، ضخامت ورق و ابزار آلات و دستگاه‌های موجود، از روش‌های خم کاری دستی و ماشینی در حالت سرد و گرم استفاده می کنند. در روش خم کاری دستی با گیره و چکش، ابتدا ورق فلزی را بر روی گیره ثابت کرده و سپس توسط چکش مستقیماً در خلاف جهت فک ثابت کننده در طول خم کاری ضربه می‌زنیم تا ورق خم شود.

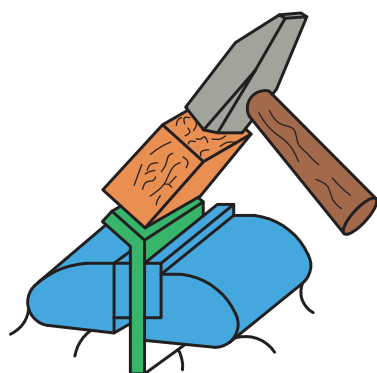
شکل ۱۵- ۱- ورق ثابت شده، ۲- فک متحرک گیره،

۳- فک ثابت گیره

ورق‌های نازک با طول زیاد با لبه‌های خم کاری کوتاه را می‌توان به کمک دست یا با پلیت‌های میانی خم کرد. به طوری که ابتدا با دست تا حدودی ورق را خم کنید و سپس در انتها با ضربه‌های آرام چکش ورق را به شکل دلخواه در بیاورید.



شکل ۱۶- ۱- مرحله خم کاری دست، ۲- مرحله خم کاری با پلیت، مرحله پایانی خم کاری با چکش



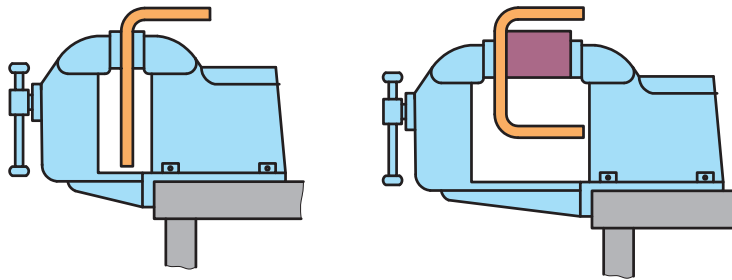
علت به کارگیری قطعه چوب برای خم کاری ورق نشان داده شده چیست؟

شکل ۱۷- روش صحیح ضربه زدن با چکش

ورق‌های فلزی ضخیم با لبه‌های خم کوتاه را می‌توانید به کمک چکش روی گیره خم کنید. با این حال، برای خم کاری ورق‌های سخت و شکننده، حداقل شعاع خم  $2/5$  برابر ضخامت ورق برای جلوگیری از شکست در ناحیه خم باید در نظر گرفت.

برای دستیابی به حداقل شعاع در نظر گرفته در حین خم کاری، از پلیت‌های میانی یا قالب مناسب استفاده کنید.

نکته



شکل ۱۸- ۱- خم کاری یک لبه، ۲- خم کاری دو لبه با پلیت میانی



شکل ۱۹- خم کاری ورق با انبرقفلی

ورق‌های فلزی با ضخامت بالاتر از  $0/8$  میلی‌متر را هم می‌توانید با نیروی دست هایتان خم کنید، ولی باید ابتدا ورق را در ناحیه خم گرم کنید و سپس آن را خم کنید. همچنین برای خم کاری بخش‌های کوچک ورق‌های فلزی سخت از انبر قفلی استفاده می‌کنند. در این روش هم می‌توانید از گیره و هم از نیروی دست تان برای خم کاری ورق استفاده کنید.

نکته



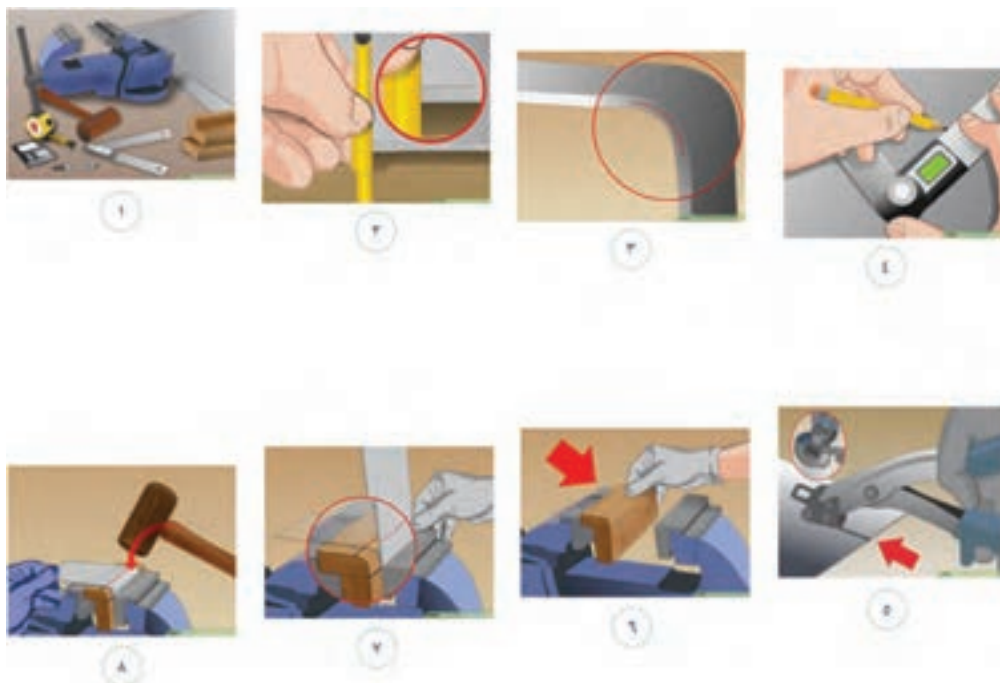
شکل ۱۹ خم کاری یک ورق از جنس برنج را نشان می‌دهد، به نظر شما با انبرقفلی تا چه ضخامتی از ورق را می‌توان خم کرد؟ آیا می‌توان با استفاده از این ابزار ورق را در زوایای و شعاع‌های مختلف خم کرد؟

سؤال



## چطور می‌توان یک ورق فلزی را با گیره و قالب خم کرد؟

خم کاری ورق به روش دستی در چند مرحله صورت می‌پذیرد که شکل زیر این مراحل را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰- مراحل خم کاری ورق فلزی به روش دستی

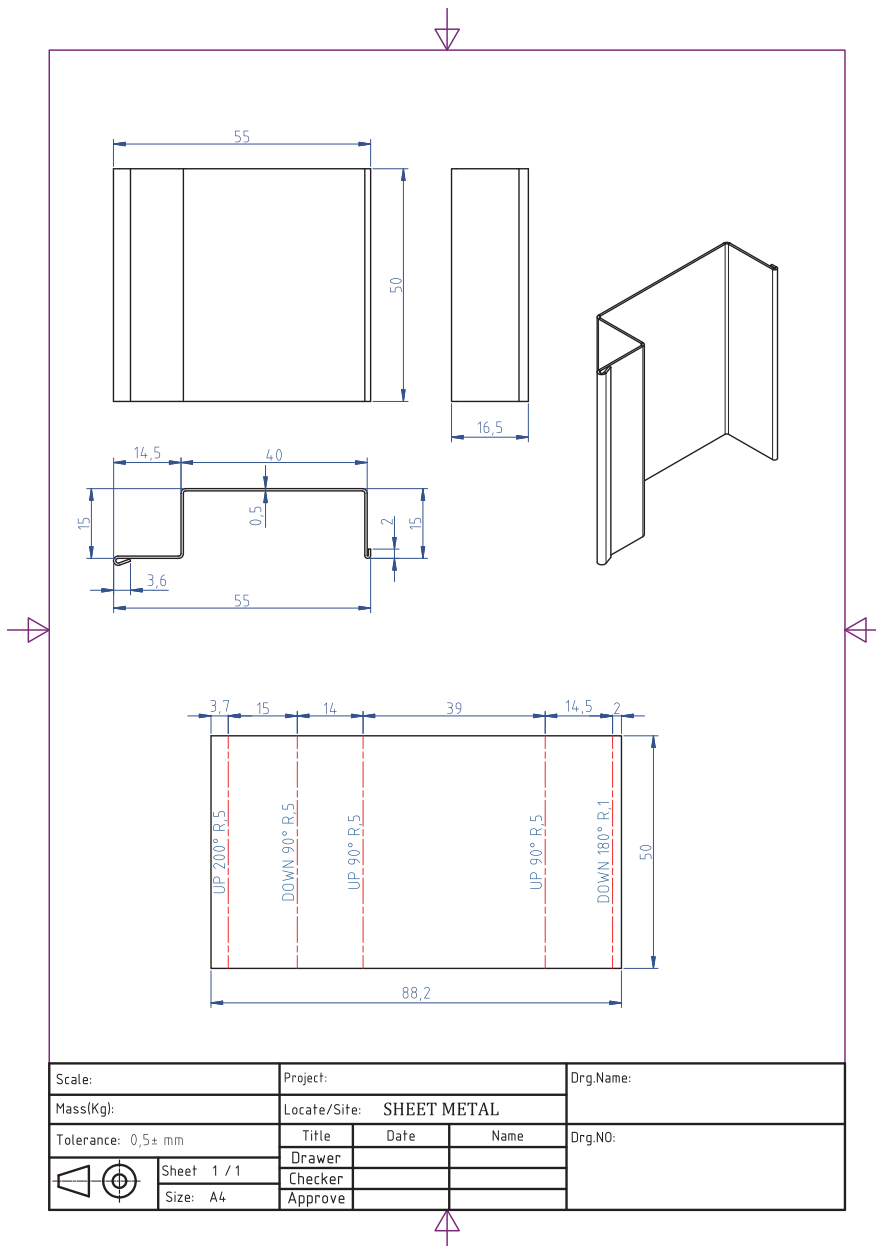
با توجه به شکل بالا بگویید:

- ۱ کدام تصویر مرحله پیاده‌سازی نقشه بر روی ورق را نشان می‌دهد؟
- ۲ برای خم کاری یک ورق فلزی به روش دستی به چه ابزارهایی نیاز داریم؟
- ۳ در چه مرحله‌ای از خم کاری یک ورق فلزی چه به صورت دستی یا ماشینی، باید مقدار حد مجاز خم را محاسبه کرد؟
- ۴ آیا می‌توانید مراحل خم کاری یک ورق فلزی را با توجه به تصاویر نشان داده شده در بالا، بیان کنید؟

خم کاری ورق با ابزارهای دستی

شرح فعالیت: نقشه شماره ۵ را بر روی ورق فولادی به ابعاد  $۸۸ \times ۵۰ \times ۰/۵$  میلی متر پیاده کنید، در ادامه با استفاده از چکش، گیره و انبرقفلی ورق فولادی را خم کنید.

نقشه شماره ۵

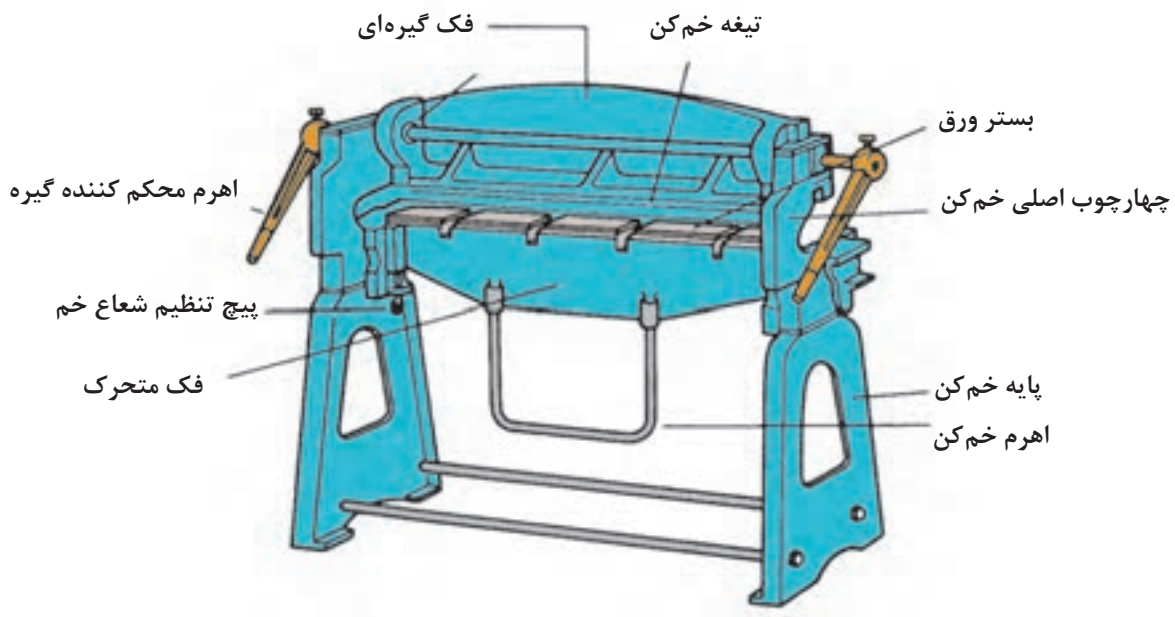


نمره	استاندارد (شاخص‌های داوری / نمره‌دهی)	نتایج ممکن	شرایط عملکرد (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	مراحل کار
۳	خم کاری لبه‌ها و گوشه‌ها برابر با نقشه	آماده‌سازی بالاتر از انتظار	کارگاه: کارگاه استاندارد ورق کاری مواد: ورق فولادی ابزار: دستگاه خم‌کن	خم کاری دستی
۲	خم کاری گوشه‌های داخلی برابر با نقشه، خم کاری گوشه‌های خارجی برابر با نقشه	آماده‌سازی قابل قبول		
۱	عدم توانایی انجام خم کاری	آماده‌سازی غیرقابل قبول		
۲	توجه به همه موارد	قابل قبول	مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد	شایستگی‌های غیرفنی
			دستکش، لباس کار،	ایمنی و بهداشت
۱	عدم توجه به ایمنی و بهداشت	غیرقابل قبول	مدیریت مواد دورریختنی	توجهات زیست‌محیطی
			نقشه روی ورق برای افزایش بهره‌وری	نگرش



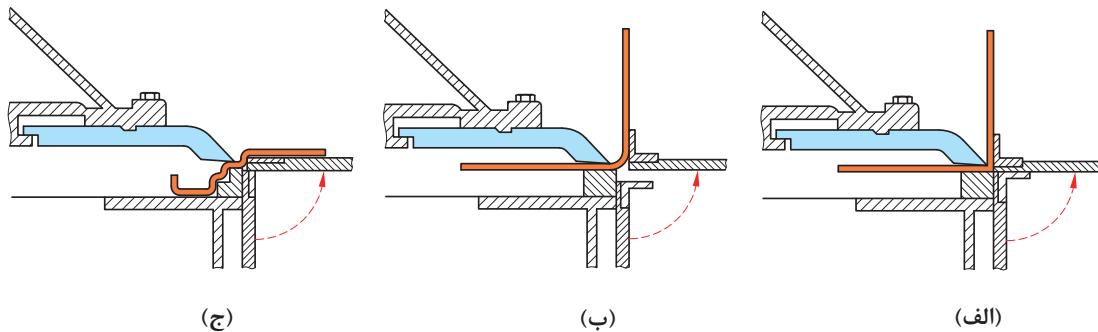
## خم کاری ماشینی

این خم کن‌ها معمولاً برای خم کاری ورق‌های فلزی نازک تا ضخامت  $1/6$  میلی‌متر به کار می‌روند. نمونه‌ای از یک خم کن دستی را در شکل ۲۱ می‌بینید. این خم کن‌ها قادرند ورق‌های فلزی با پهنای ۸ تا ۱۰ برابر ضخامت ورق با شعاع خم  $1/5$  برابر ضخامت ورق را خم کنند.



شکل ۲۱- شماتیک یک خم کن دستی

شکل ۲۲ (الف)، (ب) و (ج) خم کاری با شعاع کوچک (خم تیز  $90^\circ$ ) و شعاع خم بزرگ با زاویه  $90^\circ$  و خم چند مرحله‌ای ترتیبی را به کمک قالب با ماشین خم کن دستی مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۲- (الف) خم کاری با شعاع کوچک (ب) خم کاری با شعاع بزرگ (ج) خم کاری ترتیبی

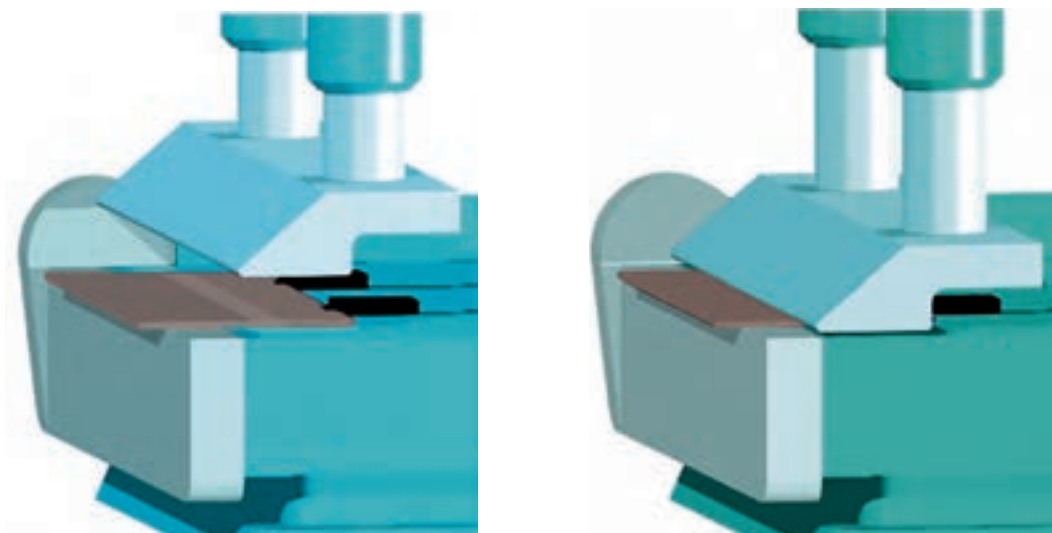
برای حالت (a) بین فک متحرک و صفحه گردون فاصله‌ای وجود ندارد. در حالت (b) بین صفحه گردون و فک متحرک فاصله وجود دارد (که فاصله هوایی) می‌گویند. که باعث ایجاد شعاع خم می‌گردد. علاوه بر نظر طراح و بحث زیبایی در ورق‌های نرم مانند مس و آلومینیوم و برنج باید شعاع خم زیاد باشد تا از ترک در خم جلوگیری کند.

در حالت (c) نظر به پیچیدگی خم و پلکانی بودن خم‌ها از قالبی استفاده می‌شود تا از گیر کردن و له شدن خم جلوگیری کند. که این‌گونه موارد به ابتکار سازندگان مربوط می‌شود که خلاقیت به خرج دهند و قطعه آسان خم‌کاری شود که در معماری داخلی و در لوازم خانگی و غیره کاربرد دارد.

## روش خم‌کاری با خم‌کن دستی

### مرحله اول: بستن ورق بر روی میز کار

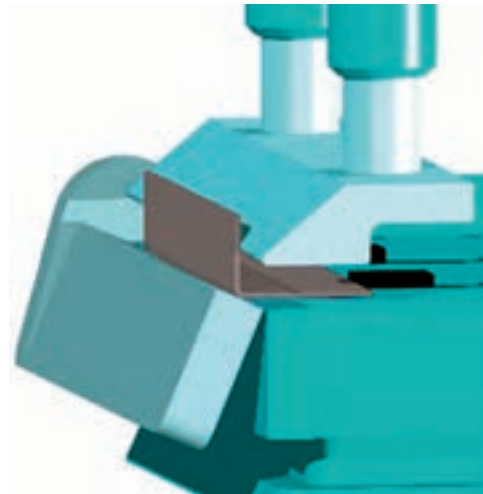
در این مرحله مقدار فاصله فک بالا بسیار مهم است باید به اندازه‌ای باشد تا اجازه دهد هنگام بستن ورق فضای خالی برای خم‌های قبل احتمالی وجود داشته باشد. (یعنی خم‌های قبلی زیر فک بالا له نشوند.) ضمناً تیغه فک بالا روی لبه خط‌کشی شده به‌طور دقیق قرار گیرد.



شکل ۲۳- بستن ورق بر روی میز کار

### مرحله دوم: خم کاری

در این مرحله فک بالا توسط اهرم سفت کننده به سمت پایین می آید و ورق در جای خود محکم می شود. سپس اهرم خم کاری را به سمت بالا می آوریم تا زاویه در نظر گرفته شده خم کاری شود. توجه داشته باشید که اهرم مقداری بیشتر بالا بیاید، تا زاویه برگشت ارتجاعی ورق را جبران کند. (یعنی دو تا سه درجه بیشتر خم شود.) برای تغییر شعاع خم بر اساس نقشه با استفاده از پیچ تنظیم شعاع، می توان شعاع خم را تغییر داد.



شکل ۲۴- خم کاری

### مرحله سوم: خارج کردن ورق از خم کن

در این مرحله پس از باز کردن فک بالا باید قطعه به راحتی از خم کن خارج شود. اگر ترتیب خم کاری به طور صحیح انجام نشود ممکن است قطعه داخل خم کن گیر کرده و به راحتی خارج نشود و باعث مشکلات گردد. بنابراین از قبل باید در این مورد پیش بینی کرد.



شکل ۲۵- خم کن های لقمه ای

در مورد خم کاری اشکال یا طرح های پیچیده و یا مواردی که قطعه سخت از داخل خم کن بعد از خم کاری خارج می شود، خم کن های لقمه ای طرح و به بازار عرضه شده اند. فک بالایی این خم کن ها مطابق شکل به صورت چند تکه با عرض های مختلف ساخته شده اند تا بتوان با فک های متحرک، قطعه هایی با ابعاد و اندازه های مختلف را خم نمود بدون اینکه لبه های خم دچار لهیدگی شوند.

## فعالیت کارگاهی

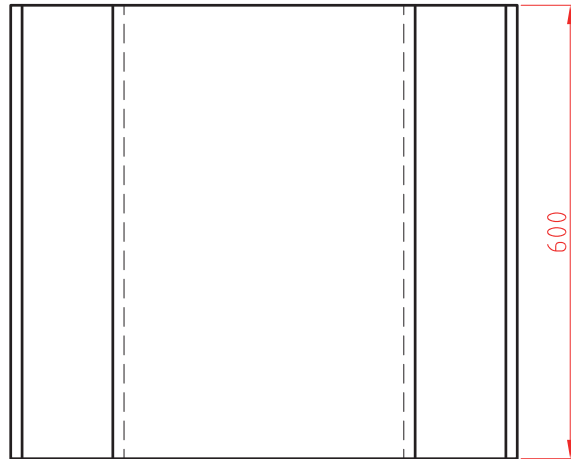
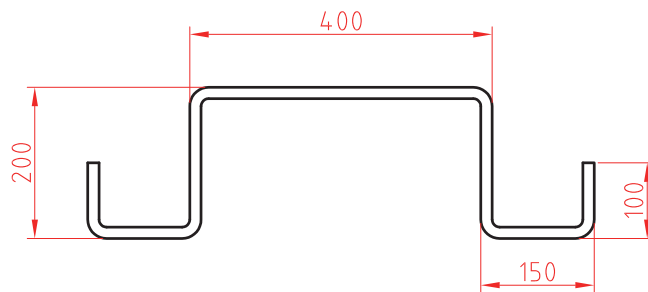
کار عملی

خم کاری ورق با خم کن ماشینی - دستی

شرح فعالیت: در ابتدا نقشه ۶ را بر روی ورق فولادی پیاده کنید، سپس با ماشین خم کن دستی نقاط را خم کنید.



نقشه شماره ۶



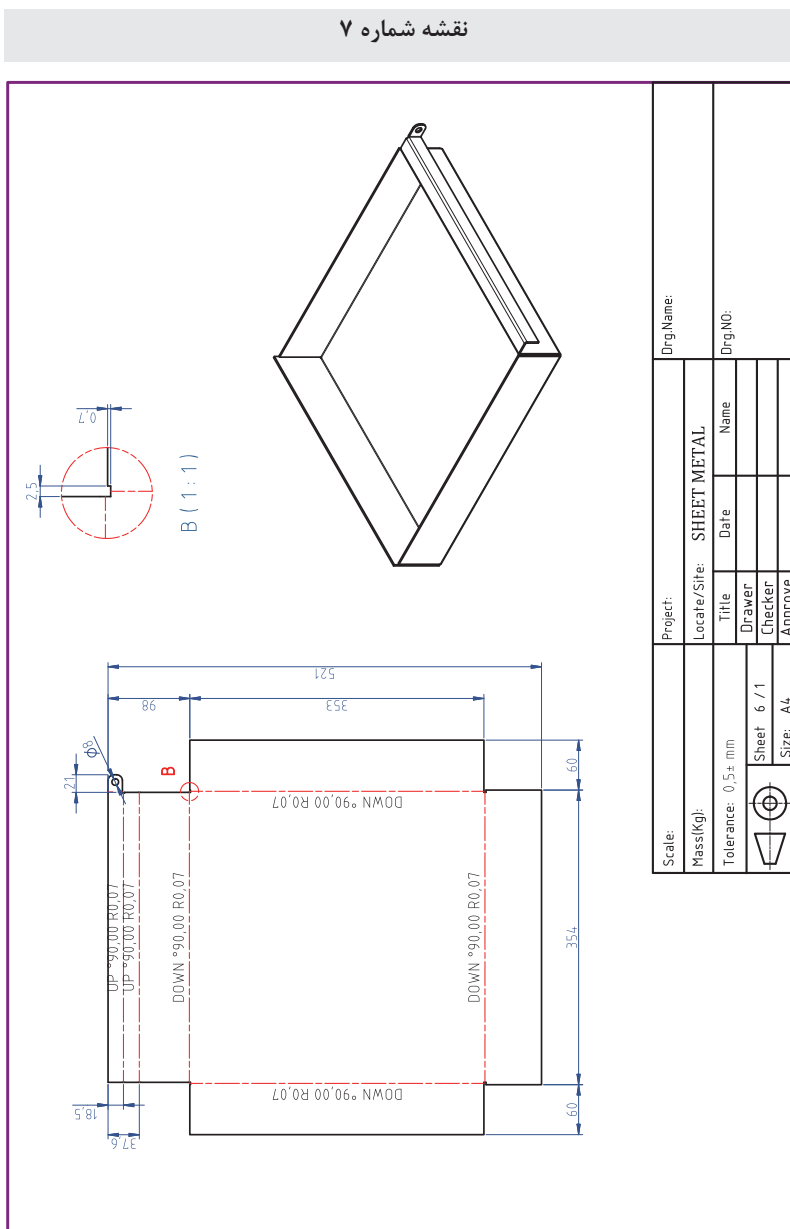
ابزارهای مورد نیاز خود را برای خم کاری بر روی ورق در جدول فهرست کنید.

ابزار	کاربرد	تعداد	توضیحات



خم کاری ورق با خم کن ماشینی دستی  
 شرح فعالیت: نقشه شماره ۷ را بر روی ورق فلزی رسم کنید، سپس به کمک نقشه گسترده خم، نقاط خم را مشخص نمایید و با ماشین خم کن دستی ورق را خم کنید.

نقشه شماره ۷



در هنگام استفاده از ماشین خم کاری، از دستکش های چرمی استفاده کنید. همچنین در هنگام بالا بردن اهرم خم کاری مطمئن شوید که خطری شما، هم کلاسی هایتان را تهدید نمی کند.  
 هنگام خم کاری مراقب انگشتانتان باشید.



## ارزشیابی تکوینی

نمره	استاندارد (شاخص‌های داوری / نمره‌دهی)	نتایج ممکن	شرایط عملکرد (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	مراحل کار
۳	فاق‌بری برابر نقشه، زاویه خم و شعاع خم درست، خم کاری درست	آماده‌سازی بالاتر از انتظار	کارگاه: ابزارآلات خم کاری، دستگاه خم کن	خم کاری
۲	فاق‌بری برابر نقشه و خم کاری نادرست	آماده‌سازی قابل قبول		
۱	فاق‌بری برابر نقشه، زاویه خم و شعاع خم درست، خم کاری درست	آماده‌سازی غیرقابل قبول		
۲	توجه به همه موارد	قابل قبول	مدیریت مواد و تجهیزات	شایستگی‌های غیرفنی
			استفاده از لباس کار و دستکش	ایمنی و بهداشت
۱	توجه به ایمنی و بهداشت	غیرقابل قبول		توجهات زیست‌محیطی
				نگرش
<p>معیار: شایستگی انجام کار:  کسب حداقل نمره ۲ از مرحله آماده‌سازی  کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش  کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار</p>				

**شرح کار:**

- پیاده کردن نقشه
- برش کاری (برش کاری قطعات، برش کاری زوایا)
- خم کاری
- صاف کاری و پلیسه گیری

**استاندارد عملکرد:**

خم کاری با استفاده از ابزارهای دستی و ماشینی خم کن دستی با توجه به نقشه و رعایت الزامات فنی

**شاخص ها:**

- انتقال دقیق ابعاد و اندازه از نقشه به ورق، خط کشی صحیح
- برش کاری براساس نقشه - فاق بری دقیق
- خم کاری براساس نقشه کار
- انطباق نقشه، صاف کاری سطوح خم کاری شده

**شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:**

**شرایط:** کارگاه مجهز به تجهیزات خم کاری و ایمنی، خم کاری دستی (گیره، قالب های خم کاری، خم کن دستی، چکش فلزی، قالب تنه، خط کش فلزی، سوزن، خط کش، متر، قیچی های دستی، گونیا، پرگار، چکش لاستیکی، فیبری

**ابزار و تجهیزات:** ابزار و تجهیزات در بالا رفتن راندمان، سوزن خط کش، خط کش، گونیا، شابلون، قیچی، چکش، انبردست، متر، گیوتین، خم کن، قیچی، قالب های خم کاری، ورق کاری فلزی

**معیار شایستگی:**

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده سازی	۲	
۲	خم کاری	۲	
۳	کنترل نهایی	۲	
۴			
۵			
۶			
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: مسئولیت پذیری، سطح ۱، داوطلب شدن برای فعالیت های جدید و خاص، دستکش، لباس کار، دقت در پیاده کردن نقشه روی ورق افزایش بهره وری		۲
میانگین نمرات			*

\* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.