فصل ۲

خم‌کاری

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، خم‌کاری 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 خم‌کاری ورق

آیا تا به‌حال 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 درمی آورند؟
۴ چه موادی را می‌توان تغییر شکل داد؟
۵ براساس چه ابزاری می‌توان یک مصنوع فلزی ساخت؟

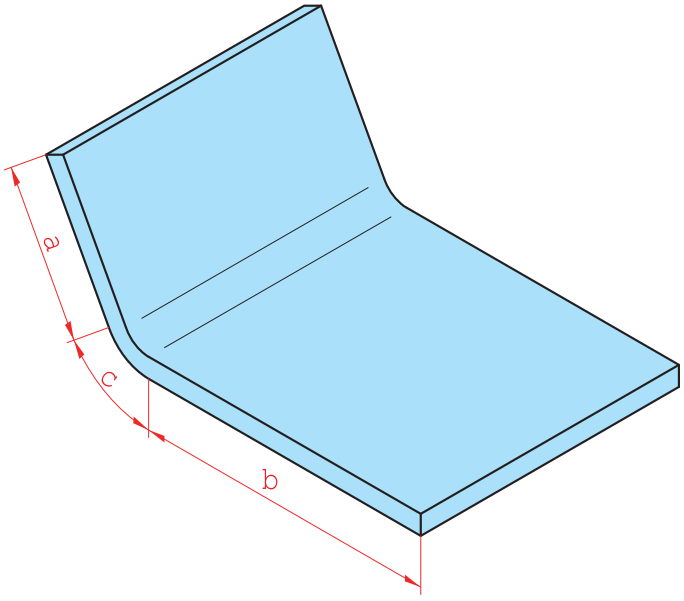
هدف از این شایستگی کسب مهارت و دانش پیاده‌سازی نقش بر روی ورق‌های فلزی، تشخیص قابلیت خم‌کاری مواد مختلف، روش‌های خم‌کاری ورق، پارامترهای خم‌کاری، محاسبه طول ورق مورد نیاز برای خم‌کاری و خم‌کاری با دست و ماشین می‌باشد.بسیاری از مصنوعات فلزی که در روزمره مشاهده می‌نمایید از ورق‌های فلزی ساخته می‌شوند. مانند صندوق پستی ـ کابینت‌های فلزی ـ تابلوی برق ـ سقف‌های فلزی بام ـ جعبه ابزار و غیر از آنها. ابتدا ورق اولیه را براساس نقشه برش می‌دهند و سپس با بکارگیری یکی از روش‌های تغییر شکل به شکل مورد نظر درمی‌آوریم. یکی از این روش‌ها، خم‌کاری است که در ورق‌کاری کاربرد فراوان داشته و از اهمیت بالایی برخوردار است. در خم‌کاری قسمتی از ورق تغییر شکل داده می‌شود به‌طوری که حجم آن تغییر نکند. به عبارت دیگر خم‌کاری عملی است که در آن قسمتی از مواد را با حفظ سطح مقطع‌شان تا حدود امکان، با رساندن حرارت یا بدون آن، از مسیر اصلی خارج کرده و به مسیر دلخواهی بیاورند. از خم‌کاری علاوه‌بر ساخت مصنوعات فلزی، برای افزایش استحکام و سفتی ورق فلزی نیز استفاده می‌شود.

استاندارد عملکرد

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

بر چه اساسی می‌توان ورق را خم نمود؟

شکل ۱ یک ورق فلزی را نشان می‌دهد که با روش خم‌کاری شکل داده شده است، همان‌طور که می‌بینید 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) به‌صورت اتفاقی به‌دست می‌آیند یا نیاز به محاسبه دارند؟



شکل ۱ــ ورق خم شده با طول‌های a و b

همان‌طور که در فصل قبلی آموخته‌اید، اطلاعات مورد نیاز برای برش‌کاری ورق‌های فلزی را از روی نقشه استخراج می‌کنیم. به همین شکل، برای خم‌کاری ورق‌های فلزی نیاز به اطلاعاتی شامل ابعاد و اندازه‌های مصنوع مورد نظر، طرح و شکل مصنوع و پارامترهای خم‌کاری داریم که از نقشه می‌توانیم این اطلاعات را به‌دست آوریم.

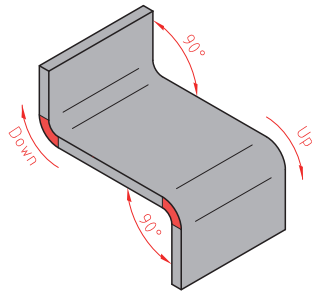
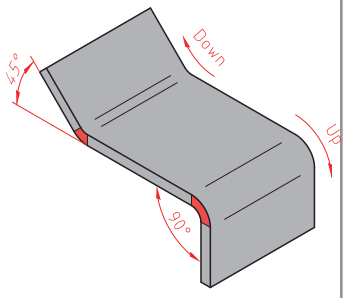
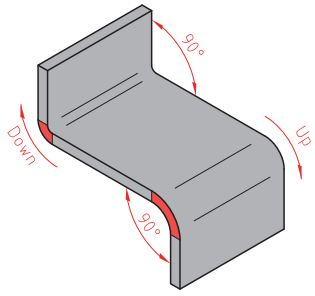
برای خم‌کاری ورق‌های فلزی، جهت خم‌کاری و مقدار تغییر شکل ورق بسیار حائز اهمیت است، و برای تولید یک مصنوع با ابعاد و اندازه دقیق و باکیفیت به‌علاوه مدیریت مواد اولیه، نیاز به مقادیر دقیق داریم که این مقادیر را می‌توان از روی نقشه استخراج کرد.

جدول ۱ شیوه استخراج اطلاعات مورد نیاز برای خم‌کاری ورق‌های فلزی را نشان می‌دهد. به مثال زیر توجه کنید؛

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

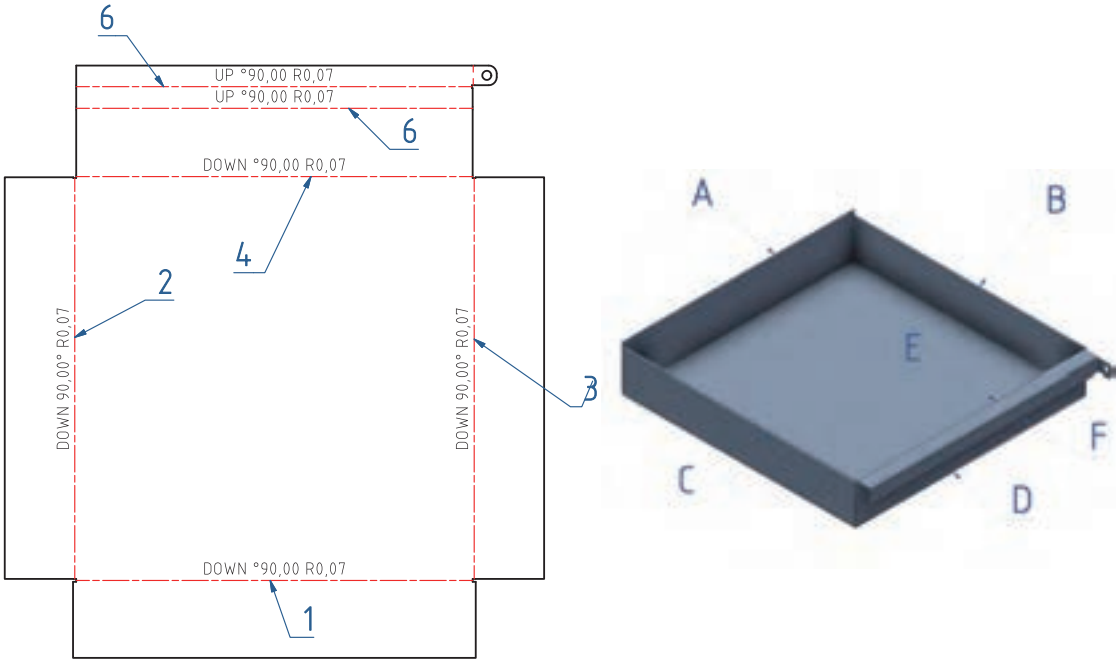
مفهوم این پارامترها این می‌باشد که ورق به سمت بیرون با زاویه ۹۰ درجه و شعاع ۱ میلی‌متر خم شود. یا اگر داشته باشیم UP 90.00 R 1.00 یعنی؟

جدول ۱ـ راهنمای خواندن نقشه

محل قرارگیری	پارامتر	نمایش در نقشه		کاربرد	نقشه	تصویر ورق خم شده
ابتدا از سمت چپ	جهت	UP	به سمت داخل خم شود	این پارامتر در نقشه جهت خم‌کاری ورق را نشان می‌دهد	Down 90° R2 Up 90° R2	
		DOWN	به سمت بیرون خم شود			
وسط	زاویه	θ = ۹۰، ۷۵، ۴۵		این پارامتر مقدار تغییر شکل و یا خم شدن ورق در جهت معین را نشان می‌دهد	Down 45° R2 Up 90° R2	
انتها	شعاع	R		این پارامتر مقدار خمیدگی و انحنای ناحیه خم را نشان می‌دهد	Down 90° R1 Up 90° R4	

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

نقشه شماره ۱



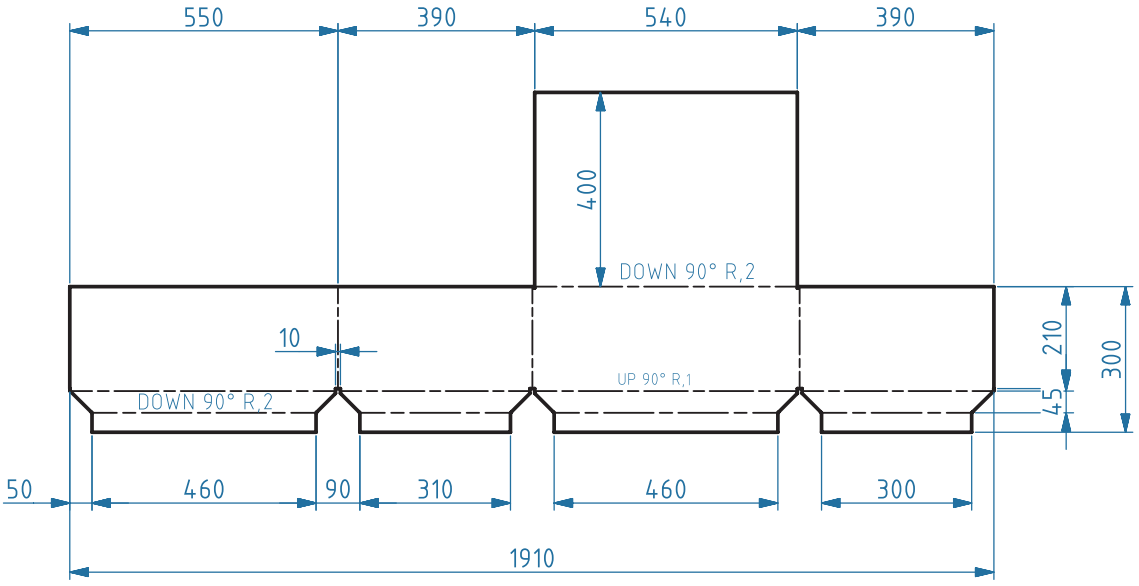
جدول زیر اطلاعات مورد نیاز برای خم‌کاری یک ورق را نشان می‌دهد، برخی از ردیف‌ها خالی می‌باشند که با بررسی مجدد نقشه آن را تکمیل کنید. توجه داشته باشید که ابتدا باید ارتباط بین شماره روی نقشه و حروف روی محصول را پیدا کنید و سپس جدول را تکمیل کنید.)

جدول شماره ۲

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

به شکل زیر نگاه کنید، ابتدا 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.

نقشه شماره ۲



جدول شماره ۳

شماره	جهت	شعاع	زاویه

شماره	جهت	شعاع	زاویه

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

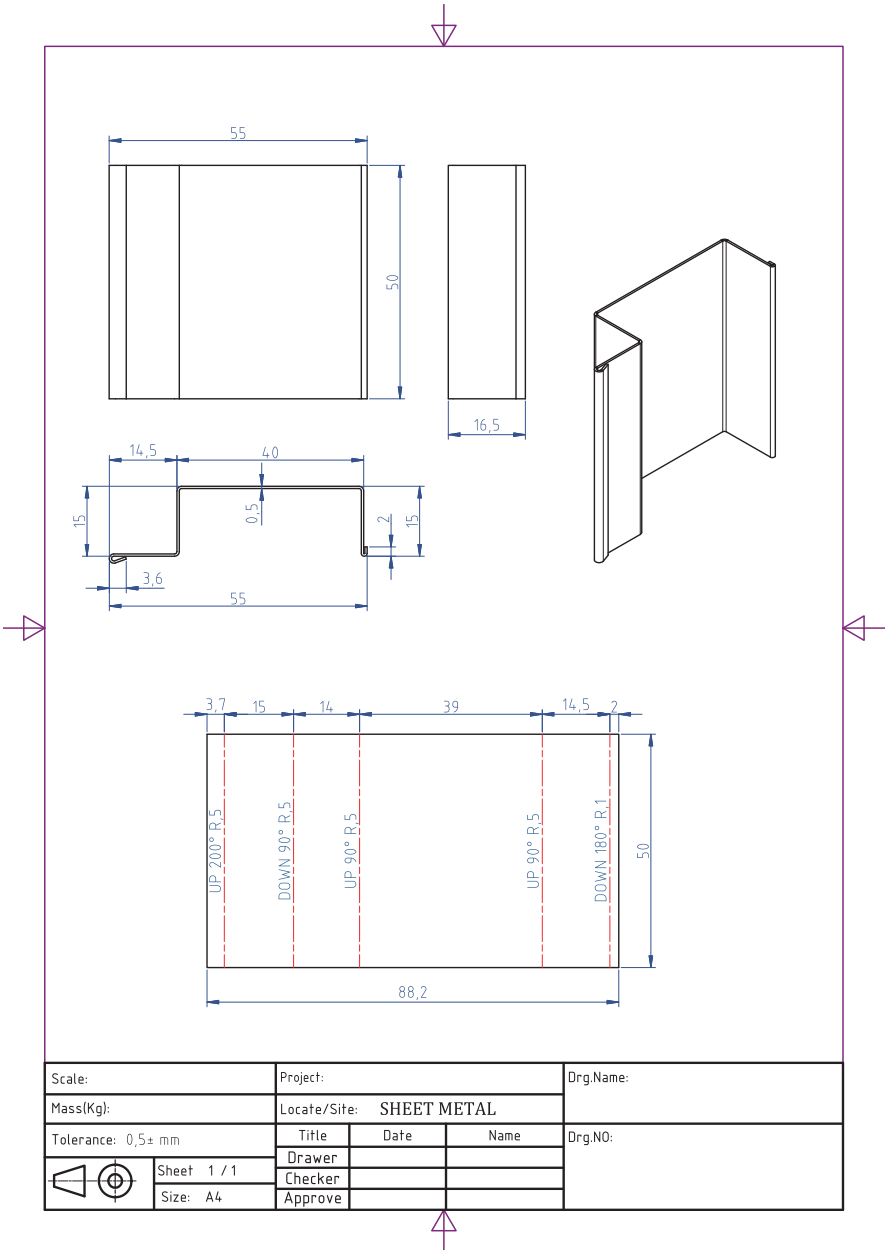
فعالیت کارگاهی

کار عملی

پیاده‌سازی نقشه بر روی ورق جهت خم‌کاری

شرح فعالیت: ورق فولادی به ابعاد ۰/۸× ۵۰ × ۸۸ میلی متر انتخاب کنید، سپس نقشهٔ شمارهٔ ۳ را بر روی آن پیاده‌سازی کنید.

نقشه شماره ۳

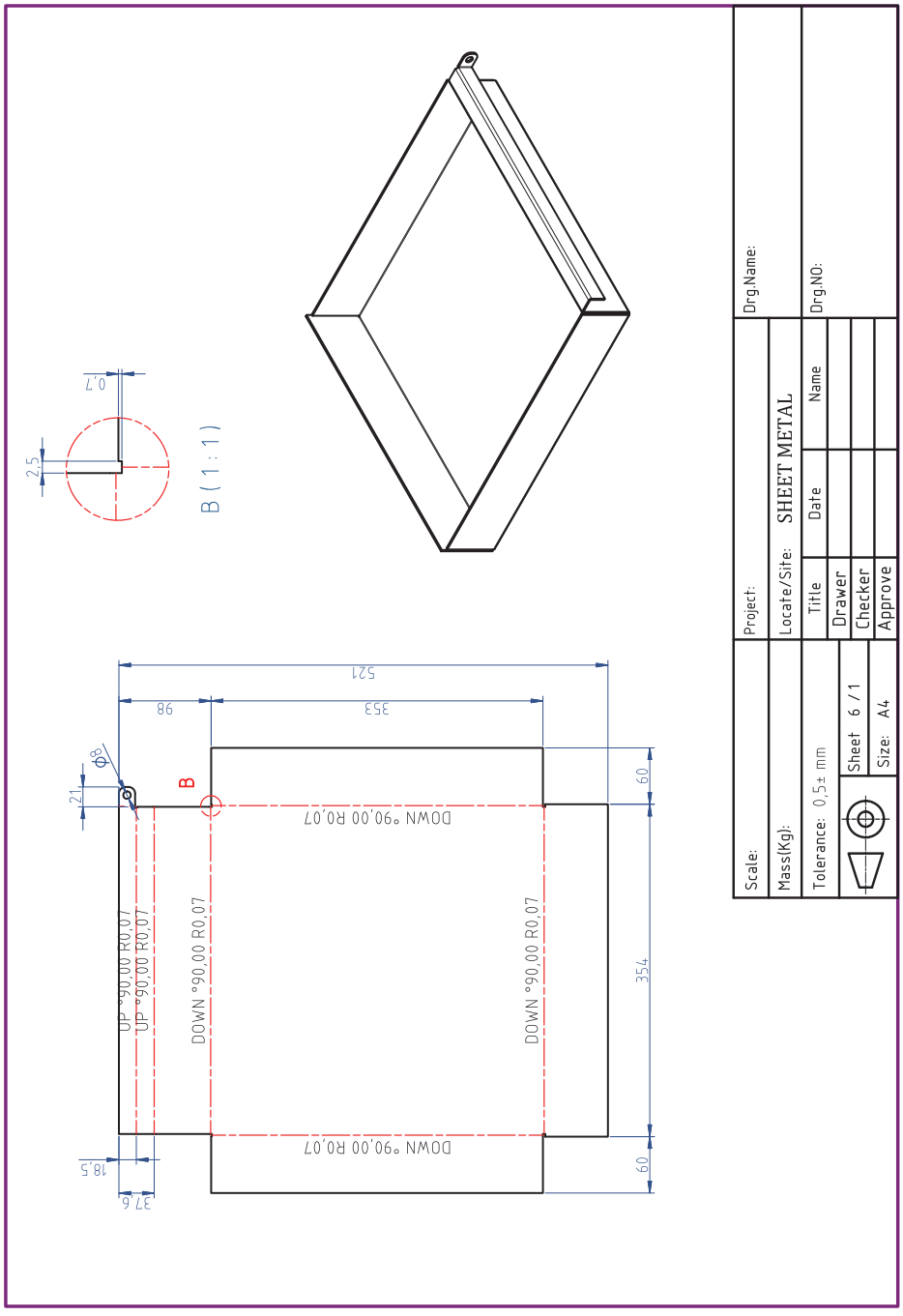


کار عملی

پیاده‌سازی نقشه بر روی ورق جهت خم‌کاری

شرح فعالیت: ورق فولادی به ابعاد ۰/۸× ۴۰۰ × ۴۰۰ میلی متر انتخاب کنید، سپس نقشهٔ شمارهٔ ۴ را بر روی آن پیاده‌سازی کنید.

نقشه شماره ۴

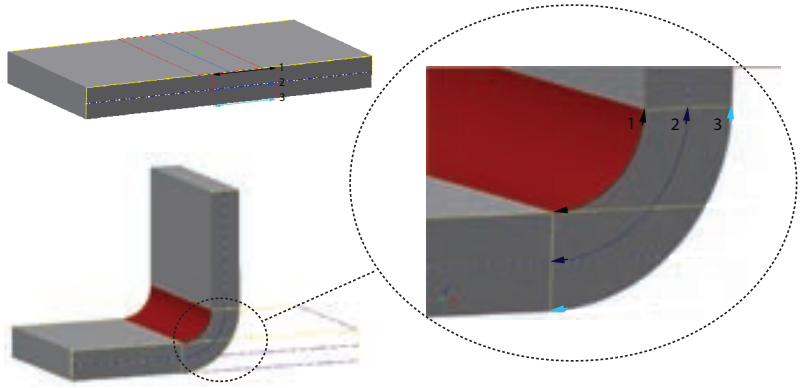


ارزشیابی تکوینی.

مراحل کار	شرایط عملکرد (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	نتایج ممکن	استاندارد (شاخص‌های داوری / نمره‌دهی)	نمره
آماده‌سازی	کارگاه: کارگاه استاندارد ورق‌کاری مواد: ورق فولادی ابزار: ابزارهای اندازه‌گیری و خط‌کشی	آماده‌سازی بالاتر از انتظار	ــــــــــ	۳
		آماده‌سازی قابل قبول	اندازه‌گذاری براساس نقشه، خط‌کشی براساس نقشه، پیاده‌سازی جزئیات نقشه	۲
		آماده‌سازی غیر قابل قبول	اندازه‌گذاری براساس نقشه، عدم خط‌کشی و پیاده‌سازی جزئیات نقشه	۱
شایستگی‌های غیرفنی	مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد	قابل قبول	توجه به همه موارد	۲
ایمنی و بهداشت	دستکش، لباس کار، دقت در پیاده‌کردن			
توجهات زیست‌محیطی	مدیریت مواد دورریختنی	غیرقابل قبول	توجه به ایمنی و بهداشت	۱
نگرش	نقشه روی ورق برای افزایش بهره‌وری			
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				

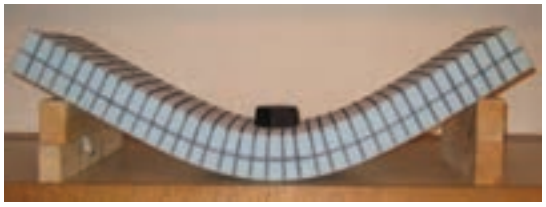
خم‌کاری ورق

چه تغییراتی بعد از خم‌کاری در فلز به‌وجود می‌آید؟ به شکل‌های زیر نگاه کنید، شکل (الف) یک ورق فلزی قبل از خم‌کاری را نشان می‌دهد و شکل (ب) همان ورق را بعد از خم‌کاری 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 خم‌کاری ایجاد شده است. با دوستانتان در این‌باره بحث کنید.



شکل ۲ــ تغییر شکل ورق بعد از خم‌کاری

وقتی فلزی در اثر نیروی خم‌کاری 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 حالی‌که 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 به‌وضوح نشان می‌دهد.



شکل ۳ــ تغییر شکل ورق بعد از خم‌کاری

بین این دو ناحیه، ناحیه‌ای قرار دارد که بدون تنش است و دراثر 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.

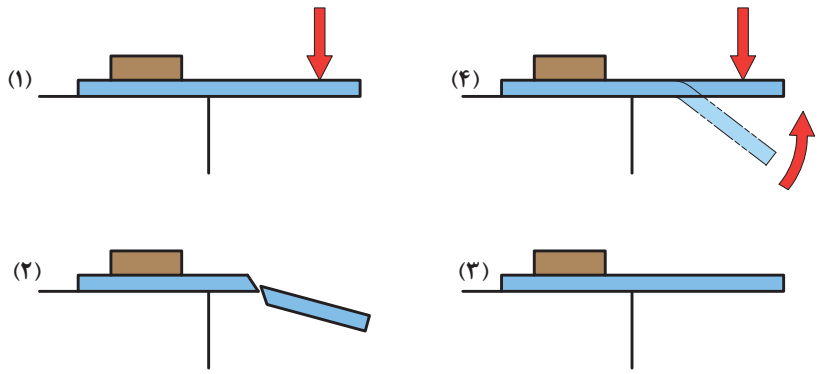
تأثیر ویژگی مواد در خم‌کاری: برای ساخت قوطی به صورت شکل مقابل استفاده از کدام ماده امکان‌پذیر است؟ چرا؟

شکل ۴ــ قوطی

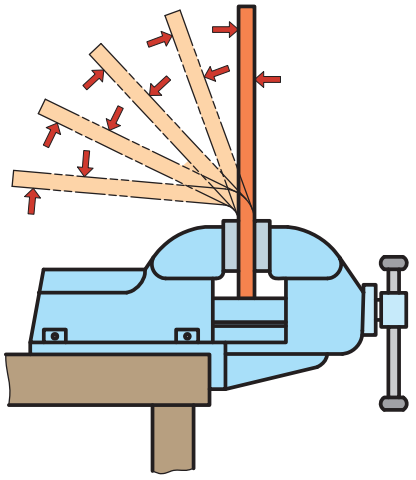
به‌طورکلی اجسام در مقابل تغییر شکل مقاومت نشان می‌دهند که به این مقاومت، استحکام گفته می‌شود. مواد با استحکام بالا را سخت‌تر می‌توان تغییر شکل داد. هنگامی‌که یک ماده را با اعمال نیرو بتوان تغییر شکل داد به آن ماده، نرم و شکل‌پذیر گفته می‌شود. مواد غیرنرم را ترد می‌گویند.

مواد نرم مانند فلزات قابلیت خم‌کاری بالایی دارند و می‌توان آنها را با نیروی کمی‌تغییر شکل داد، درحالی که مواد ترد مانند چوب و شیشه را نمی‌توان به راحتی خم کرد. این مواد در هنگام خم‌کاری دچار شکست می‌شوند. برخی از مواد هستند که بعد از خم‌کاری به حالت اولیه خود برمی‌گردند، همانند فنر. این‌ها هم قابلیت خم‌کاری خوبی ندارند.

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



شکل ۵ــ ۱ــ خم‌کاری ماده ترد، ۲ــ شکست ماده ترد، ۳ــ خم‌کاری ماده فنری، ۴ــ برگشت بعد از خم‌کاری



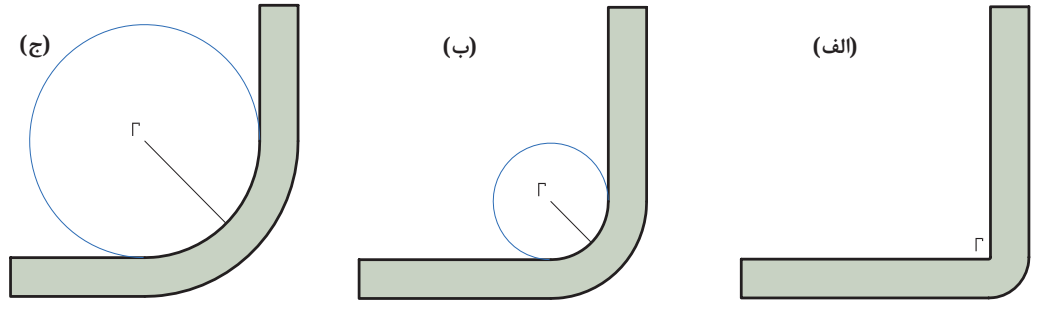
شکل ۶ ــ برگشت فنری

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

جدول ۴

ویژگی مواد	کم	مطلوب	زیاد
استحکام	☐	☐	☐
تردی	☐	☐	☐
نرمی	☐	☐	☐
کشسانی (فنریت)	☐	☐	☐
مومسانی (تغییر شکل دائمی)	☐	☐	☐

شعاع خم (Bend Redius): در خم‌کاری 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 ۷ـ (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 انحنا بیشتری نسبت به ورق (ب) دارد. به این شعاع انحنا، 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.

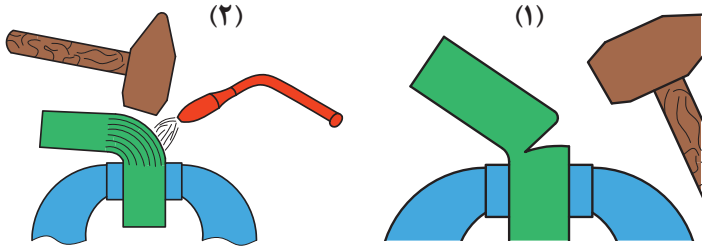
اثر شعاع خم: برای جلوگیری از ایجاد ترک ناشی از خم، شعاع خم‌کاری باید متناسب با ضخامت ورق انتخاب شود. هرچقدر شعاع خم بیشتر باشد، احتمال تشکیل ترک‌ها در قسمت بیرونی ورق کمتر است. به عبارت دیگر ورق با ضخامت بیشتر شعاع خم بزرگ‌تری نیاز دارد. شعاع خم به شکل و ضخامت قطعه کار و همچنین درجهٔ حرارت خم‌کاری و جنس ورق بستگی دارد.

جدول ۵ـ حداقل شعاع خم

مواد	حداقل شعاع
مس	۰/۸ ـ ۱/۲ برابر ضخامت
برنج	۱ ـ ۱/۸ برابر ضخامت
روی	۱ ـ ۲ برابر ضخامت
فولاد	۱ ـ ۳ برابر ضخامت

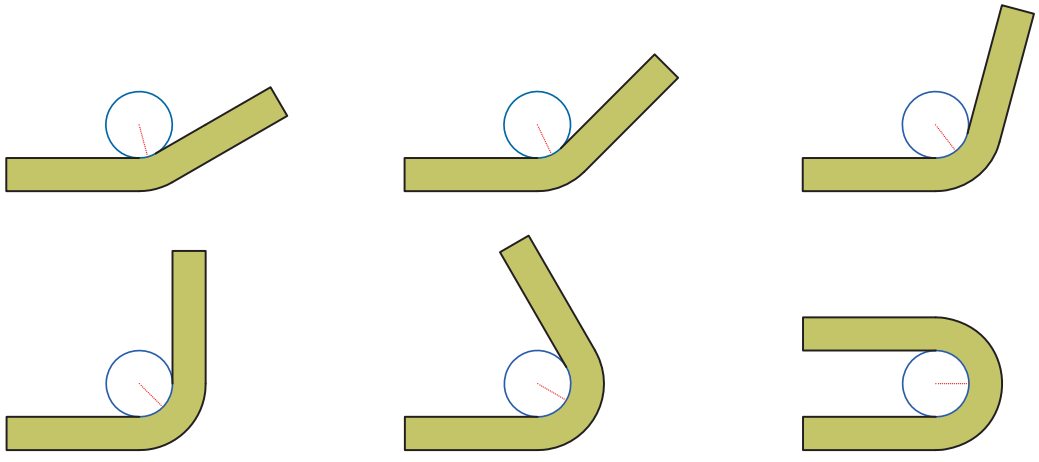
در ستون مواد هر چه به سمت ردیف‌های پایین‌تر می‌آییم مقدار حداقل شعاع خم افزایش یافته است؟ چرا و این حداقل شعاع تعیین شده بر چه اساسی است؟

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 خم‌کاری این قطعات را تغییر شکل داد.



شکل ۸ ـ (۱) خم‌کاری بدون شعله، (۲) خم‌کاری ورق ضخیم به کمک شعله

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



شکل ۹ـ زاویه خم

به سؤالات 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 خم‌کاری ورق فلزی چیست؟

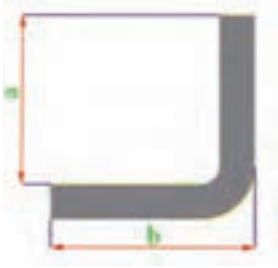
سؤال ۳: به نظر شما آیا تغییرات زاویه خم بر روی شعاع خم اثری دارد؟

محاسبه طول اولیه ورق

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

حالت اوّل: اگر طول ورق مورد خم‌کاری را L در نظر بگیریم و بخواهیم آن را تحت زاویه ۹۰ درجه خم کنیم، در این صورت طول اولیه ورق عبارت‌اند از:

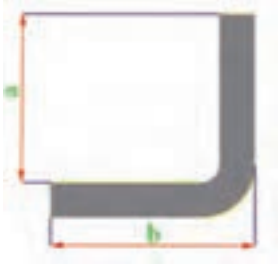
$$L = a + b - A$$



شکل ۱۰ــ زاویه خم

که در این معادله a و b طول‌های خم نشده ورق و A مقدار افزایش طول قطعه کار است که به علت خم شدن آن در محل خم و تبدیل آن به قوس ایجاد می‌شود و بر حسب میلی‌متر بیان می‌شوند. به عبارت دیگر A مقدار افزایش طول آن قسمت از قطعه است که در اثر قوس برداشتن کشیده می‌شود، مقدار A به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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



شکل ۱۱ــ زاویه خم

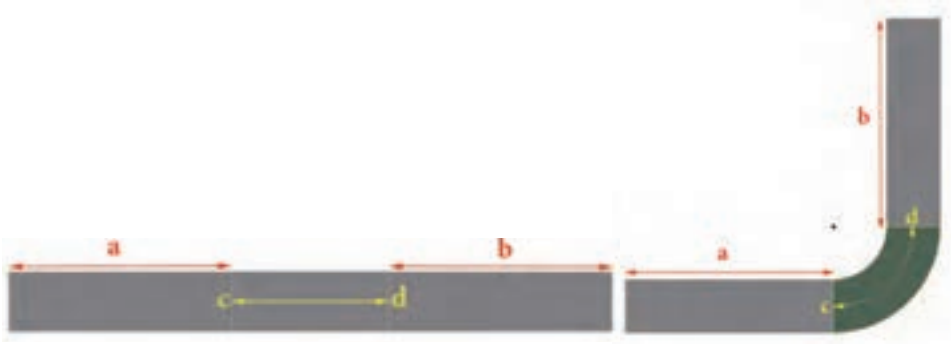
که در این معادله R شعاع خم، t ضخامت قطعه کار و A مقدار افزایش طول، که مقدار آن بر حسب میلی‌متر در معادله بالا منظور شده است.

مثال: طول یک ورق را قبل از خم شدن با درنظر گرفتن ابعاد مورد لزوم که بعد از خم شدن باید داشته باشد، حساب کنید. در صورتی که ضخامت ورق برابر با ۱ میلی‌متر باشد.

حالت دوم: اگر ورق تحت زاویه کمتر یا بیشتر از ۹۰ درجه خم شود در این صورت طول اولیه ورق به‌صورت 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

$$\overline{cd} = ۰/۰۱۷۵(R + \frac{t}{۲})\theta$$

که در این رابطه R شعاع خم، t ضخامت ورق و θ زاویه خم می‌باشند.

مثال: طول یک ورق فلزی را قبل از خم کردن با درنظر گرفتن ابعاد آن بعد از خم شدن به‌دست آورید. ابعاد و اندازه ورق خم شده عبارت‌اند از:

(اندازه‌ها بر حسب میلی‌متر می‌باشد.)

$a = ۲۰$ ، $b = ۴۰$ ، $R = ۵$ ، $t = ۶$ و $\theta = ۳۰$

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

$$= ۲۰ + ۴۰ + ۰/۰۱۷۵(۵ + \frac{۶}{۲}) \times ۳۰ = ۶۴/۲$$

نکته

محاسبه طول ورق قبل از خم‌کاری را می‌توان با استفاده از جدول راهنما به‌راحتی انجام داد. همان‌طورکه در حالت دوم بیان شد، برای محاسبه طول ورق قبل از خم‌کاری از رابطه $L= a+b+cd$ استفاده می‌کنیم که مقدار cd برابر $\overline{cd} = ۰/۰۱۷۵(R + \frac{t}{۲})\theta$ می‌باشد. اگر به‌جای ضریب θ ،k را قرار دهیم، داریم: $\overline{cd} = k\theta$

مقدار k را با داشتن ضخامت قطعه کار و شعاع خمش از جدول راهنما می‌توان به‌دست 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 خم‌کاری را به‌دست آورید.

مثال: طول یک ورق با اندازه‌های زیر را محاسبه کنید:

$a = ۲۰$ ،$b = ۴۰$ ، $R = ۱۰mm$ ، $t = ۳mm$ و $\theta^\circ = ۱۳۷^\circ$

روش حل: به جدول راهنما نگاه کنید، ردیف بالای آن t ضخامت ورق را نشان می‌دهد و اولین ستون سمت چپ نیز R شعاع خم و محل تقاطع ردیف R با ستون مربوط به m، مقدار k را مشخص می‌کند. در مثال ذکر شده مقدار ضخامت برابر با ۳ میلی‌متر است و مقدار شعاع خم ۱۰ درنظر گرفته شده است. اگر یک خط افقی از R و یک خط عمودی از m رسم کنیم، محل تقاطع این خطوط بیانگر مقدار ثابت k می‌باشد. در این صورت داریم:

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

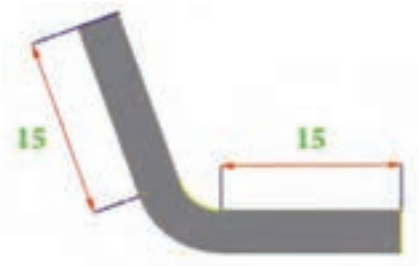
$$\overline{cd} = ۰/۲۰۱ \times ۱۳۷ = ۲۷/۵$$

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

$$۲۰ + ۴۰ + ۲۷/۵ = ۸۷/۵$$

جدول ۶

t																					
R	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	۰/۰۲	۰/۰۲۲	۰/۲۴	۰/۰۲۶	۰/۰۲۸																
۲	۰/۰۳۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۴۵	۰/۰۴۸	۰/۰۴۹	۰/۰۵۱	۰/۰۵۲	۰/۰۵۷	۰/۰۵۹										
۳	۰/۰۵۵	۰/۰۵۷	۰/۰۴۲	۰/۰۶۱	۰/۰۶۳	۰/۰۶۵	۰/۰۶۶	۰/۰۶۸	۰/۰۷۰	۰/۰۷۴	۰/۰۷۷	۰/۰۷۹	۰/۰۸۲								
۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۴	۰/۰۵۹	۰/۰۷۹	۰/۰۸۰	۰/۰۸۳	۰/۰۸۴	۰/۰۸۶	۰/۰۸۷	۰/۰۹۲	۰/۰۹۴	۰/۰۹۶	۰/۱۰۰	۰/۱۰۵	۰/۱۰۹						
۵	۰/۰۹۰	۰/۰۹۲	۰/۰۷۷	۰/۰۹۶	۰/۰۹۸	۰/۱۰۰	۰/۱۰۱	۰/۱۰۳	۰/۱۰۵	۰/۱۰۹	۰/۱۱۲	۰/۱۱۳	۰/۱۱۸	۰/۱۲۲	۰/۱۲۷	۰/۱۳۱					
۶	۰/۱۰۷	۰/۱۰۹	۰/۰۹۴	۰/۱۱۳	۰/۱۱۵	۰/۱۱۸	۰/۱۱۹	۰/۱۲۰	۰/۱۲۲	۰/۱۲۷	۰/۱۲۸	۰/۱۳۱	۰/۱۳۵	۰/۱۴۰	۰/۱۴۴	۰/۱۴۸	۰/۱۵۷				
۷	۰/۱۲۵	۰/۱۲۷	۰/۱۱۲	۰/۱۳۱	۰/۱۳۳	۰/۱۳۵	۰/۱۳۶	۰/۱۳۸	۰/۱۴۰	۰/۱۴۴	۰/۱۴۷	۰/۱۴۸	۰/۱۵۳	۰/۱۵۷	۰/۱۶۱	۰/۱۶۸	۰/۱۷۵	۰/۱۸۳			
۸	۰/۱۴۲	۰/۱۴۴	۰/۱۲۹	۰/۱۴۸	۰/۱۵۰	۰/۱۵۳	۰/۱۵۴	۰/۱۵۵	۰/۱۵۷	۰/۱۶۱	۰/۱۶۴	۰/۱۶۶	۰/۱۷۰	۰/۱۷۵	۰/۱۷۹	۰/۱۸۳	۰/۱۹۲	۰/۲۰۱	۰/۲۰۹		
۹	۰/۱۶۰	۰/۱۶۱	۰/۱۴۷	۰/۱۶۶	۰/۱۶۸	۰/۱۷۰	۰/۱۷۱	۰/۱۷۳	۰/۱۷۵	۰/۱۷۹	۰/۱۸۲	۰/۱۸۳	۰/۱۸۸	۰/۱۹۲	۰/۱۹۶	۰/۲۰۱	۰/۲۰۹	۰/۲۱۸	۰/۲۲۷	۰/۲۳۶	
۱۰	۰/۱۷۷	۰/۱۷۹	۰/۱۶۴	۰/۱۸۳	۰/۱۸۵	۰/۱۸۸	۰/۱۸۸	۰/۱۹۰	۰/۱۹۲	۰/۱۹۶	۰/۱۹۹	۰/۲۰۱	۰/۲۰۵	۰/۲۰۹	۰/۲۱۴	۰/۲۱۸	۰/۲۲۷	۰/۲۳۶	۰/۲۴۴	۰/۲۵۳	۰/۲۶۲
۱۱	۰/۱۹۵	۰/۱۹۶	۰/۱۸۲	۰/۲۰۱	۰/۲۰۲	۰/۲۰۶	۰/۲۰۶	۰/۲۰۸	۰/۲۰۹	۰/۲۱۴	۰/۲۱۶	۰/۲۱۸	۰/۲۲۳	۰/۲۲۷	۰/۲۳۱	۰/۲۳۶	۰/۲۴۱	۰/۲۵۳	۰/۲۶۲	۰/۲۷۱	۰/۲۷۹
۱۲	۰/۲۱۲	۰/۲۱۴	۰/۱۹۹	۰/۲۱۸	۰/۲۲۰	۰/۲۲۳	۰/۲۲۳	۰/۲۲۵	۰/۲۲۷	۰/۲۳۱	۰/۲۳۴	۰/۲۳۶	۰/۲۴۰	۰/۲۴۴	۰/۲۴۹	۰/۲۵۳	۰/۲۶۲	۰/۲۷۱	۰/۲۷۹	۰/۲۸۸	۰/۲۹۷
۱۳	۰/۲۳۰	۰/۲۳۱	۰/۲۱۶	۰/۲۳۶	۰/۲۳۷	۰/۲۴۰	۰/۲۴۱	۰/۲۴۳	۰/۲۴۴	۰/۲۴۹	۰/۲۵۱	۰/۲۵۳	۰/۲۵۷	۰/۲۶۲	۰/۲۶۶	۰/۲۷۱	۰/۲۷۹	۰/۲۸۸	۰/۲۹۷	۰/۳۰۵	۰/۳۱۴
۱۴	۰/۲۴۷	۰/۲۴۹	۰/۲۳۴	۰/۲۵۳	۰/۲۵۵	۰/۲۵۷	۰/۲۵۸	۰/۲۶۰	۰/۲۶۲	۰/۲۶۶	۰/۲۶۹	۰/۲۷۱	۰/۲۷۵	۰/۲۷۹	۰/۲۸۴	۰/۲۸۸	۰/۲۹۷	۰/۳۰۵	۰/۳۱۴	۰/۳۲۳	۰/۳۳۲
۱۵	۰/۲۶۴	۰/۲۶۶	۰/۲۵۱	۰/۲۷۱	۰/۲۷۲	۰/۲۷۵	۰/۲۷۶	۰/۲۷۸	۰/۲۷۹	۰/۲۸۴	۰/۲۸۶	۰/۲۸۸	۰/۲۹۲	۰/۲۹۷	۰/۳۰۱	۰/۳۰۵	۰/۳۱۴	۰/۳۲۳	۰/۳۳۲	۰/۳۴۰	۰/۳۴۹
۱۶	۰/۲۸۲	۰/۲۸۴	۰/۲۸۶	۰/۲۸۸	۰/۲۹۰	۰/۲۹۲	۰/۲۹۳	۰/۲۹۵	۰/۲۹۷	۰/۳۰۱	۰/۳۰۹	۰/۳۰۵	۰/۳۱۰	۰/۳۱۴	۰/۳۱۹	۰/۳۲۳	۰/۳۳۲	۰/۳۴۰	۰/۳۴۹	۰/۳۵۸	۰/۳۶۷
۱۷	۰/۲۹۹	۰/۳۰۱	۰/۳۰۴	۰/۳۰۵	۰/۳۰۷	۰/۳۱۰	۰/۳۱۱	۰/۳۱۲	۰/۳۱۴	۰/۳۱۹	۰/۳۲۱	۰/۳۲۳	۰/۳۲۷	۰/۳۳۲	۰/۳۳۶	۰/۳۴۰	۰/۳۴۹	۰/۳۵۸	۰/۳۶۷	۰/۳۷۵	۰/۳۸۴
۱۸	۰/۳۱۷	۰/۳۱۹	۰/۳۲۱	۰/۳۲۳	۰/۳۲۵	۰/۳۲۷	۰/۳۲۸	۰/۳۳۰	۰/۳۳۲	۰/۳۳۶	۰/۳۳۹	۰/۳۴۰	۰/۳۴۵	۰/۳۴۹	۰/۳۵۳	۰/۳۵۸	۰/۳۶۷	۰/۳۷۵	۰/۳۸۴	۰/۳۹۳	۰/۴۰۱
۱۹	۰/۳۳۰	۰/۳۳۶	۰/۳۳۹	۰/۳۴۰	۰/۳۴۲	۰/۳۴۵	۰/۳۴۶	۰/۳۴۷	۰/۳۴۹	۰/۳۵۲	۰/۳۵۶	۰/۳۵۸	۰/۳۶۲	۰/۳۶۷	۰/۳۷۱	۰/۳۷۵	۰/۳۸۴	۰/۳۹۳	۰/۴۰۱	۰/۴۱۰	۰/۴۱۹
۲۰	۰/۳۵۲	۰/۳۵۳	۰/۳۵۶	۰/۳۵۸	۰/۳۶۰	۰/۳۶۲	۰/۳۶۳	۰۰/۳۶۵	۰/۳۶۷	۰/۳۷۱	۰/۳۷۵	۰/۲۷۵	۰/۳۸۰	۰/۳۸۴	۰/۳۸۸	۰/۳۹۳	۰/۴۰۱	۰/۴۱۰	۰/۴۱۹	۰/۴۲۸	۰/۴۳۶
۲۱	۰/۳۶۹	۰/۳۷۱	۰/۳۷۳	۰/۳۷۵	۰/۳۷۷	۰/۳۸۰	۰/۳۸۰	۰/۳۸۲	۰/۳۸۴	۰/۳۸۸	۰/۳۹۱	۰/۳۹۳	۰/۳۹۷	۰/۴۰۱	۰/۴۰۶	۰/۴۱۰	۰/۴۱۹	۰/۴۲۸	۰/۴۳۶	۰/۴۴۶	۰/۴۵۴
۲۲	۰/۳۸۷	۰/۳۸۸	۰/۴۰۸	۰/۳۹۳	۰/۳۹۴	۰/۳۹۷	۰/۳۹۸	۰/۴۰۰	۰/۴۰۱	۰/۴۰۶	۰/۴۰۸	۰/۴۱۰	۰/۴۵۱	۰/۴۱۸	۰/۴۲۳	۰/۴۲۸	۰/۴۳۶	۰/۴۴۵	۰/۴۵۴	۰/۴۶۳	۰/۴۷۱
۲۳	۰/۴۰۴	۰/۴۰۶	۰/۴۲۶	۰/۴۱۰	۰/۴۱۲	۰/۴۱۵	۰/۴۱۵	۰/۴۱۷	۰/۴۱۹	۰/۴۲۳	۰/۴۲۶	۰/۴۲۸	۰/۴۳۲	۰/۴۳۶	۰/۴۴۱	۰/۴۴۵	۰/۴۵۴	۰/۴۶۳	۰/۴۷۱	۰/۴۸۰	۰/۴۸۹
۲۴	۰/۴۲۱	۰/۴۲۳	۰/۴۴۳	۰/۴۲۸	۰/۴۲۹	۰/۴۳۲	۰/۴۳۳	۰/۴۳۵	۰/۴۳۶	۰/۴۴۱	۰/۴۴۳	۰/۴۴۵	۰/۴۴۹	۰/۴۵۴	۰/۴۵۸	۰/۴۶۳	۰/۴۷۱	۰/۴۸۰	۰/۴۸۹	۰/۴۹۷	۰/۵۰۶
۲۵	۰/۴۳۹	۰/۴۴۱	۰/۴۶۱	۰/۴۴۵	۰/۴۴۷	۰/۴۴۹	۰/۴۵۰	۰/۴۵۲	۰/۴۵۴	۰/۴۵۸	۰/۴۶۱	۰/۴۶۳	۰/۴۶۷	۰/۴۷۱۴	۰/۴۷۵	۰/۴۸۰	۰/۴۸۹	۰/۴۹۷	۰/۵۰۶	۰/۵۱۵	۰/۵۲۴
۲۶	۰/۴۵۶	۰/۴۵۸	۰/۴۵۸	۰/۴۶۳	۰/۴۶۴	۰/۴۶۷	۰/۴۶۸	۰/۴۶۹	۰/۴۷۱	۰/۴۷۶	۰/۴۷۸	۰/۴۸۰	۰/۴۸۴	۰/۴۸۹	۰/۴۹۳	۰/۴۹۷	۰/۵۰۵	۰/۵۱۵	۰/۵۲۴	۰/۵۳۲	۰/۵۴۱
۲۷	۰/۴۷۴	۰/۴۷۸	۰/۴۷۸	۰/۴۸۰	۰/۴۸۲	۰/۴۸۴	۰/۴۸۵	۰/۴۸۷	۰/۴۸۸	۰/۴۹۸	۰/۴۹۶	۰/۴۹۷	۰/۵۰۲	۰/۵۰۶	۰/۵۱۱	۰/۵۱۵	۰/۵۲۴	۰/۵۳۲	۰/۵۴۱	۰/۵۵۰	۰/۵۵۹
۲۸	۰/۴۹۱	۰/۴۹۳	۰/۴۹۶	۰/۴۹۷	۰/۴۹۹	۰/۵۰۲	۰/۵۰۳	۰/۵۰۴	۰/۵۰۶	۰/۵۱۱	۰/۵۱۳	۰/۵۱۵	۰/۵۱۹	۰/۵۲۴	۰/۵۲۸	۰/۵۳۲	۰/۵۴۱	۰/۵۵۰	۰/۵۵۹	۰/۵۶۷	۰/۵۷۶
۲۹	۰/۵۰۹	۰/۵۱۱	۰/۵۱۳	۰/۵۱۵	۰/۵۱۷	۰/۵۱۹	۰/۵۲۰	۰/۵۲۲	۰/۵۲۴	۰/۵۲۸	۰/۵۳۱	۰/۵۳۲	۰/۵۳۷	۰/۵۴۰	۰/۵۴۵	۰/۵۵۰	۰/۵۵۹	۰/۵۶۷	۰/۵۷۶	۰/۵۸۵	۰/۵۹۳
۳۰	۰/۵۲۶	۰/۵۲۸	۰/۵۲۸	۰/۵۳۲	۰/۵۳۴	۰/۵۳۷	۰/۵۳۸	۰/۵۳۹	۰/۵۴۱	۰/۵۴۵	۰/۵۴۸	۰/۵۵۰	۰/۵۵۴	۰/۵۵۹	۰/۵۶۳	۰/۵۶۷	۰/۵۷۶	۰/۵۸۵	۰/۵۹۳	۰/۶۰۲	۰/۶۱۷



طول اولیه ورق مورد نیاز برای ساخت یک ورق به شکل طرح زیر را به‌دست آورید. در صورتی که مقدار زاویه و شعاع مورد نیاز برای خم‌کاری برای ورق فولادی با ضخامت ۱/۲ میلی‌متر برابر با ۷۰ درجه و ۲ میلی‌متر باشند.

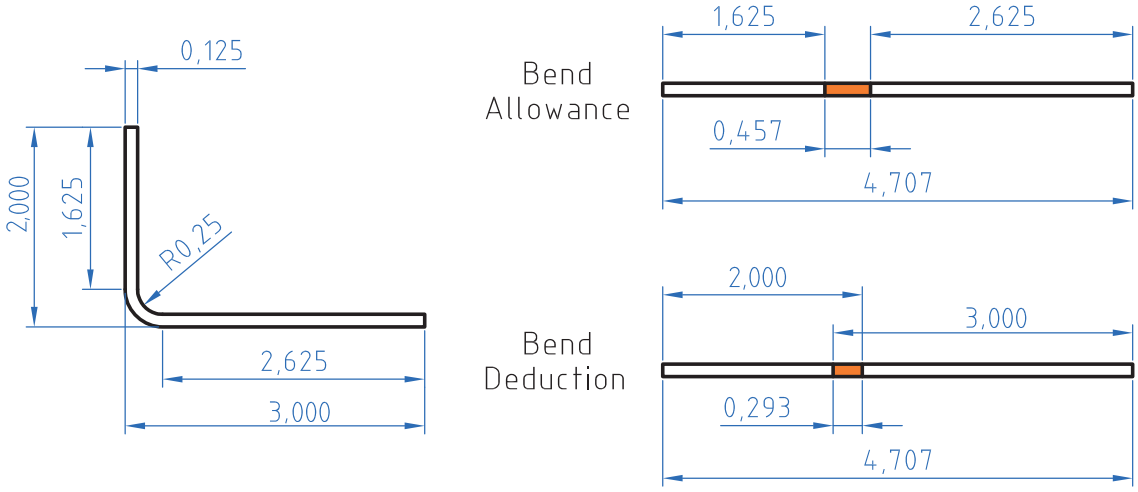
جدول ۷

t																					
R	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	۰/۰۲	۰/۰۲۲	۰/۲۴	۰/۰۲۶	۰/۰۲۸																
۲	۰/۰۳۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۴۵	۰/۰۴۸	۰/۰۴۹	۰/۰۵۱	۰/۰۵۲	۰/۰۵۷	۰/۰۵۹										
۳	۰/۰۵۵	۰/۰۵۷	۰/۰۴۲	۰/۰۶۱	۰/۰۶۳	۰/۰۶۵	۰/۰۶۶	۰/۰۶۸	۰/۰۷۰	۰/۰۷۴	۰/۰۷۷	۰/۰۷۹	۰/۰۸۲								
۴	۰/۰۷۲	۰/۰۷۴	۰/۰۵۹	۰/۰۷۹	۰/۰۸۰	۰/۰۸۳	۰/۰۸۴	۰/۰۸۶	۰/۰۸۷	۰/۰۹۲	۰/۰۹۴	۰/۰۹۶	۰/۱۰۰	۰/۱۰۵	۰/۱۰۹						
۵	۰/۰۹۰	۰/۰۹۲	۰/۰۷۷	۰/۰۹۶	۰/۰۹۸	۰/۱۰۰	۰/۱۰۱	۰/۱۰۳	۰/۱۰۵	۰/۱۰۹	۰/۱۱۲	۰/۱۱۳	۰/۱۱۸	۰/۱۲۲	۰/۱۲۷	۰/۱۳۱					
۶	۰/۱۰۷	۰/۱۰۹	۰/۰۹۴	۰/۱۱۳	۰/۱۱۵	۰/۱۱۸	۰/۱۱۹	۰/۱۲۰	۰/۱۲۲	۰/۱۲۷	۰/۱۲۸	۰/۱۳۱	۰/۱۳۵	۰/۱۴۰	۰/۱۴۴	۰/۱۴۸	۰/۱۵۷				
۷	۰/۱۲۵	۰/۱۲۷	۰/۱۱۲	۰/۱۳۱	۰/۱۳۳	۰/۱۳۵	۰/۱۳۶	۰/۱۳۸	۰/۱۴۰	۰/۱۴۴	۰/۱۴۷	۰/۱۴۸	۰/۱۵۳	۰/۱۵۷	۰/۱۶۱	۰/۱۶۸	۰/۱۷۵	۰/۱۸۳			
۸	۰/۱۴۲	۰/۱۴۴	۰/۱۲۹	۰/۱۴۸	۰/۱۵۰	۰/۱۵۳	۰/۱۵۴	۰/۱۵۵	۰/۱۵۷	۰/۱۶۱	۰/۱۶۴	۰/۱۶۶	۰/۱۷۰	۰/۱۷۵	۰/۱۷۹	۰/۱۸۳	۰/۱۹۲	۰/۲۰۱	۰/۲۰۹		
۹	۰/۱۶۰	۰/۱۶۱	۰/۱۴۷	۰/۱۶۶	۰/۱۶۸	۰/۱۷۰	۰/۱۷۱	۰/۱۷۳	۰/۱۷۵	۰/۱۷۹	۰/۱۸۲	۰/۱۸۳	۰/۱۸۸	۰/۱۹۲	۰/۱۹۶	۰/۲۰۱	۰/۲۰۹	۰/۲۱۸	۰/۲۲۷	۰/۲۳۶	
۱۰	۰/۱۷۷	۰/۱۷۹	۰/۱۶۴	۰/۱۸۳	۰/۱۸۵	۰/۱۸۸	۰/۱۸۸	۰/۱۹۰	۰/۱۹۲	۰/۱۹۶	۰/۱۹۹	۰/۲۰۱	۰/۲۰۵	۰/۲۰۹	۰/۲۱۴	۰/۲۱۸	۰/۲۲۷	۰/۲۳۶	۰/۲۴۴	۰/۲۵۳	۰/۲۶۲
۱۱	۰/۱۹۵	۰/۱۹۶	۰/۱۸۲	۰/۲۰۱	۰/۲۰۲	۰/۲۰۶	۰/۲۰۶	۰/۲۰۸	۰/۲۰۹	۰/۲۱۴	۰/۲۱۶	۰/۲۱۸	۰/۲۲۳	۰/۲۲۷	۰/۲۳۱	۰/۲۳۶	۰/۲۴۱	۰/۲۵۳	۰/۲۶۲	۰/۲۷۱	۰/۲۷۹
۱۲	۰/۲۱۲	۰/۲۱۴	۰/۱۹۹	۰/۲۱۸	۰/۲۲۰	۰/۲۲۳	۰/۲۲۳	۰/۲۲۵	۰/۲۲۷	۰/۲۲۱	۰/۲۳۴	۰/۲۳۶	۰/۲۴۰	۰/۲۴۴	۰/۲۴۹	۰/۲۵۳	۰/۲۶۲	۰/۲۷۱	۰/۲۷۹	۰/۲۸۸	۰/۲۹۷
۱۳	۰/۲۳۰	۰/۲۳۱	۰/۲۱۶	۰/۲۳۶	۰/۲۳۷	۰/۲۴۰	۰/۲۴۱	۰/۲۴۳	۰/۲۴۴	۰/۲۴۹	۰/۲۵۱	۰/۲۵۳	۰/۲۵۷	۰/۲۶۲	۰/۲۶۶	۰/۲۷۱	۰/۲۷۹	۰/۲۸۸	۰/۲۹۷	۰/۳۰۵	۰/۳۱۴
۱۴	۰/۲۴۷	۰/۲۴۹	۰/۲۳۴	۰/۲۵۳	۰/۲۵۵	۰/۲۵۷	۰/۲۵۸	۰/۲۶۰	۰/۲۶۲	۰/۲۶۶	۰/۲۶۹	۰/۲۷۱	۰/۲۷۵	۰/۲۷۹	۰/۲۸۴	۰/۲۸۸	۰/۲۹۷	۰/۳۰۵	۰/۳۱۴	۰/۳۲۳	۰/۳۳۲
۱۵	۰/۲۶۴	۰/۲۶۶	۰/۲۵۱	۰/۲۷۱	۰/۲۷۲	۰/۲۷۵	۰/۲۷۶	۰/۲۷۸	۰/۲۷۹	۰/۲۸۴	۰/۲۸۶	۰/۲۸۸	۰/۲۹۲	۰/۲۹۷	۰/۳۰۱	۰/۳۰۵	۰/۳۱۴	۰/۳۲۳	۰/۳۳۲	۰/۳۴۰	۰/۳۴۹
۱۶	۰/۲۸۲	۰/۲۸۴	۰/۲۸۶	۰/۲۸۸	۰/۲۹۰	۰/۲۹۲	۰/۲۹۳	۰/۲۹۵	۰/۲۹۷	۰/۳۰۱	۰/۳۰۹	۰/۳۰۵	۰/۳۱۰	۰/۳۱۴	۰/۳۱۹	۰/۳۲۳	۰/۳۳۲	۰/۳۴۰	۰/۳۴۹	۰/۳۵۸	۰/۳۶۷
۱۷	۰/۲۹۹	۰/۳۰۱	۰/۳۰۴	۰/۳۰۵	۰/۳۰۷	۰/۳۱۰	۰/۳۱۱	۰/۳۱۲	۰/۳۱۴	۰/۳۱۹	۰/۳۲۱	۰/۳۲۳	۰/۳۲۷	۰/۳۳۲	۰/۳۳۶	۰/۳۴۰	۰/۳۴۹	۰/۳۵۸	۰/۳۶۷	۰/۳۷۵	۰/۳۸۴
۱۸	۰/۳۱۷	۰/۳۱۹	۰/۳۲۱	۰/۳۲۳	۰/۳۲۵	۰/۳۲۷	۰/۳۲۸	۰/۳۳۰	۰/۳۳۲	۰/۳۳۶	۰/۳۳۹	۰/۳۴۰	۰/۳۴۵	۰/۳۴۹	۰/۳۵۳	۰/۳۵۸	۰/۳۶۷	۰/۳۷۵	۰/۳۸۴	۰/۳۹۳	۰/۴۰۱
۱۹	۰/۳۳۰	۰/۳۳۶	۰/۳۳۹	۰/۳۴۰	۰/۳۴۲	۰/۳۴۵	۰/۳۴۶	۰/۳۴۷	۰/۳۴۹	۰/۳۵۲	۰/۳۵۶	۰/۳۵۸	۰/۳۶۲	۰/۳۶۷	۰/۳۷۱	۰/۳۷۵	۰/۳۸۴	۰/۳۹۳	۰/۴۰۱	۰/۴۱۰	۰/۴۱۹
۲۰	۰/۳۵۲	۰/۳۵۳	۰/۳۵۶	۰/۳۵۸	۰/۳۶۰	۰/۳۶۲	۰/۳۶۳	۰۰/۳۶۵	۰/۳۶۷	۰/۳۷۱	۰/۳۷۵	۰/۳۷۵	۰/۳۸۰	۰/۳۸۴	۰/۳۸۸	۰/۳۹۳	۰/۴۰۱	۰/۴۱۰	۰/۴۱۹	۰/۴۲۸	۰/۴۳۶
۲۱	۰/۳۶۹	۰/۳۷۱	۰/۳۷۳	۰/۳۷۵	۰/۳۷۷	۰/۳۸۰	۰/۳۸۰	۰/۳۸۲	۰/۳۸۴	۰/۳۸۸	۰/۳۹۱	۰/۳۹۳	۰/۳۹۷	۰/۴۰۱	۰/۴۰۶	۰/۴۱۰	۰/۴۱۹	۰/۴۲۸	۰/۴۳۶	۰/۴۴۶	۰/۴۵۴
۲۲	۰/۳۸۷	۰/۳۸۸	۰/۴۰۸	۰/۳۹۳	۰/۳۹۴	۰/۳۹۷	۰/۳۹۸	۰/۴۰۰	۰/۴۰۱	۰/۴۰۶	۰/۴۰۸	۰/۴۱۰	۰/۴۵۱	۰/۴۱۸	۰/۴۲۳	۰/۴۲۸	۰/۴۳۶	۰/۴۴۵	۰/۴۵۴	۰/۴۶۳	۰/۴۷۱
۲۳	۰/۴۰۴	۰/۴۰۶	۰/۴۲۶	۰/۴۱۰	۰/۴۱۲	۰/۴۱۵	۰/۴۱۵	۰/۴۱۷	۰/۴۱۹	۰/۴۲۳	۰/۴۲۶	۰/۴۲۸	۰/۴۳۲	۰/۴۳۶	۰/۴۴۱	۰/۴۴۵	۰/۴۵۴	۰/۴۶۳	۰/۴۷۱	۰/۴۸۰	۰/۴۸۹
۲۴	۰/۴۲۱	۰/۴۲۳	۰/۴۴۳	۰/۴۲۸	۰/۴۲۹	۰/۴۳۲	۰/۴۳۳	۰/۴۳۵	۰/۴۳۶	۰/۴۴۱	۰/۴۴۳	۰/۴۴۵	۰/۴۴۹	۰/۴۵۴	۰/۴۵۸	۰/۴۶۳	۰/۴۷۱	۰/۴۸۰	۰/۴۸۹	۰/۴۹۷	۰/۵۰۶
۲۵	۰/۴۳۹	۰/۴۴۱	۰/۴۶۱	۰/۴۴۵	۰/۴۴۷	۰/۴۴۹	۰/۴۵۰	۰/۴۵۲	۰/۴۵۴	۰/۴۵۸	۰/۴۶۱	۰/۴۶۳	۰/۴۶۷	۰/۴۷۱۴	۰/۴۷۵	۰/۴۸۰	۰/۴۸۹	۰/۴۹۷	۰/۵۰۶	۰/۵۱۵	۰/۵۲۴
۲۶	۰/۴۵۶	۰/۴۵۸	۰/۴۵۸	۰/۴۶۳	۰/۴۶۴	۰/۴۶۷	۰/۴۶۸	۰/۴۶۹	۰/۴۷۱	۰/۴۷۶	۰/۴۷۸	۰/۴۸۰	۰/۴۸۴	۰/۴۸۹	۰/۴۹۳	۰/۴۹۷	۰/۵۰۵	۰/۵۱۵	۰/۵۲۴	۰/۵۳۲	۰/۵۴۱
۲۷	۰/۴۷۴	۰/۴۷۸	۰/۴۷۸	۰/۴۸۰	۰/۴۸۲	۰/۴۸۴	۰/۴۸۵	۰/۴۸۷	۰/۴۸۸	۰/۴۹۸	۰/۴۹۶	۰/۴۹۷	۰/۵۰۲	۰/۵۰۶	۰/۵۱۱	۰/۵۱۵	۰/۵۲۴	۰/۵۳۲	۰/۵۴۱	۰/۵۵۰	۰/۵۵۹
۲۸	۰/۴۹۱	۰/۴۹۳	۰/۴۹۶	۰/۴۹۷	۰/۴۹۹	۰/۵۰۲	۰/۵۰۳	۰/۵۰۴	۰/۵۰۶	۰/۵۱۱	۰/۵۱۳	۰/۵۱۵	۰/۵۱۹	۰/۵۲۴	۰/۵۲۸	۰/۵۳۲	۰/۵۴۱	۰/۵۵۰	۰/۵۵۹	۰/۵۶۷	۰/۵۷۶
۲۹	۰/۵۰۹	۰/۵۱۱	۰/۵۱۳	۰/۵۱۵	۰/۵۱۷	۰/۵۱۹	۰/۵۲۰	۰/۵۲۲	۰/۵۲۴	۰/۵۲۸	۰/۵۳۱	۰/۵۳۲	۰/۵۳۷	۰/۵۴۰	۰/۵۴۵	۰/۵۵۰	۰/۵۵۹	۰/۵۶۷	۰/۵۷۶	۰/۵۸۵	۰/۵۹۳
۳۰	۰/۵۲۶	۰/۵۲۸	۰/۵۲۸	۰/۵۳۲	۰/۵۳۴	۰/۵۳۷	۰/۵۳۸	۰/۵۳۹	۰/۵۴۱	۰/۵۴۵	۰/۵۴۸	۰/۵۵۰	۰/۵۵۴	۰/۵۵۹	۰/۵۶۳	۰/۵۶۷	۰/۵۷۶	۰/۵۸۵	۰/۵۹۳	۰/۶۰۲	۰/۶۱۷

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

برای محاسبه مقدار حد مجاز خم‌کاری 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، به‌طوری 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 مرحلهٔ ۵ با فشردن کلید calculate ، مقدار حد مجاز محاسبه می‌شود که در مرحله ۶ نشان داده شده است.



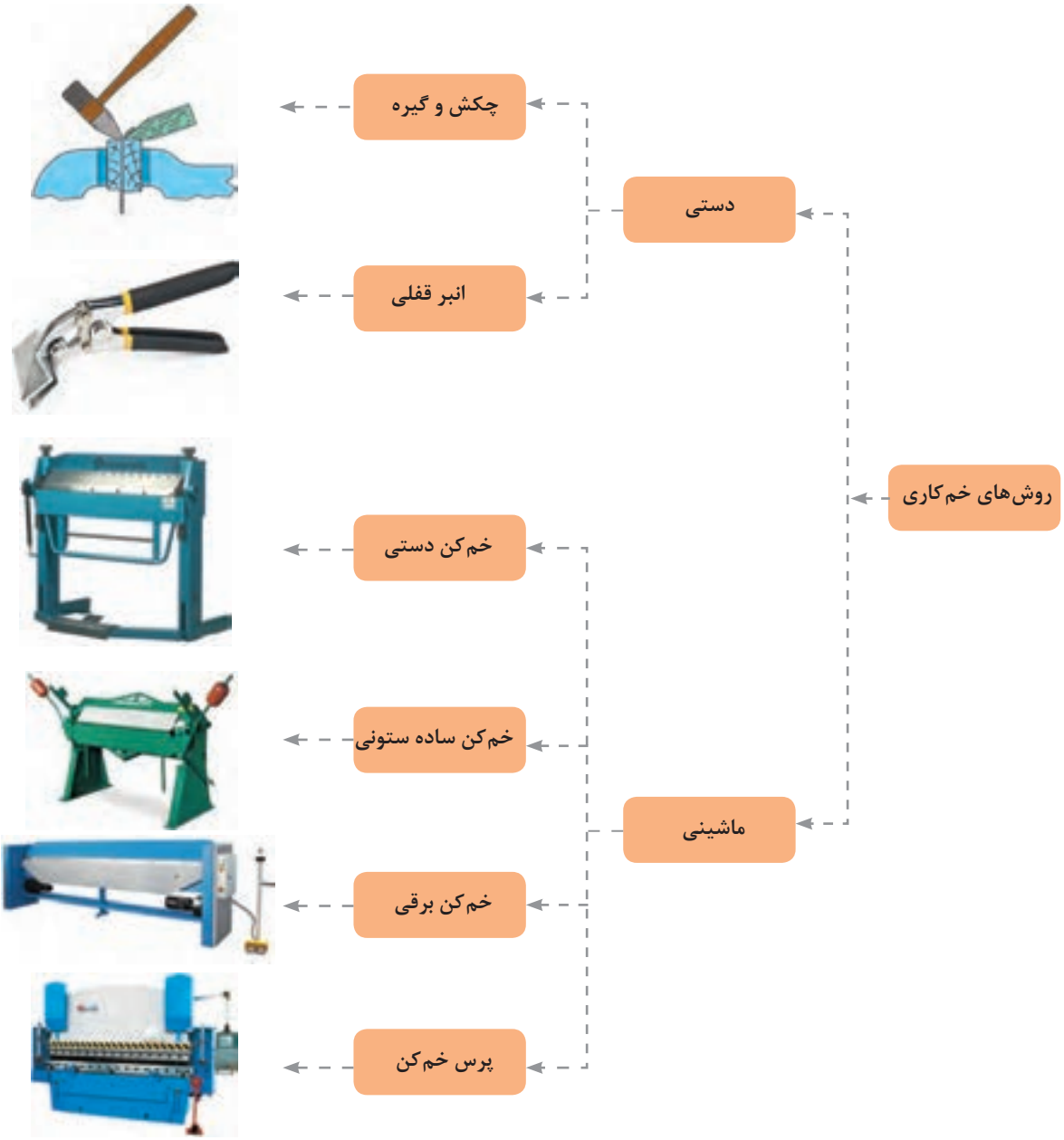
Bend Allowance Calculator

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 ۱۳ـ مراحل محاسبه حد مجاز خم

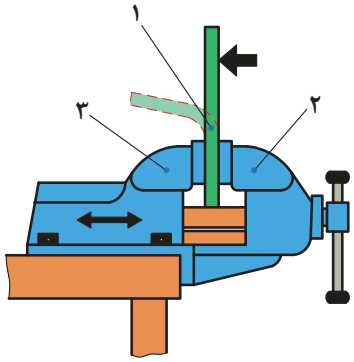
روش‌های خم‌کاری ورق

روش‌های خم‌کاری ورق را به طور کلی به دو گروه دستی و ماشینی تقسیم بندی می‌کنند. نمودار درختی روش‌های خم‌کاری ورق در شکل ۱۴ نشان داده شده است. به نظر شما این گروه بندی بر چه اساسی است و تفاوت بین این خم‌کن‌ها در چیست؟



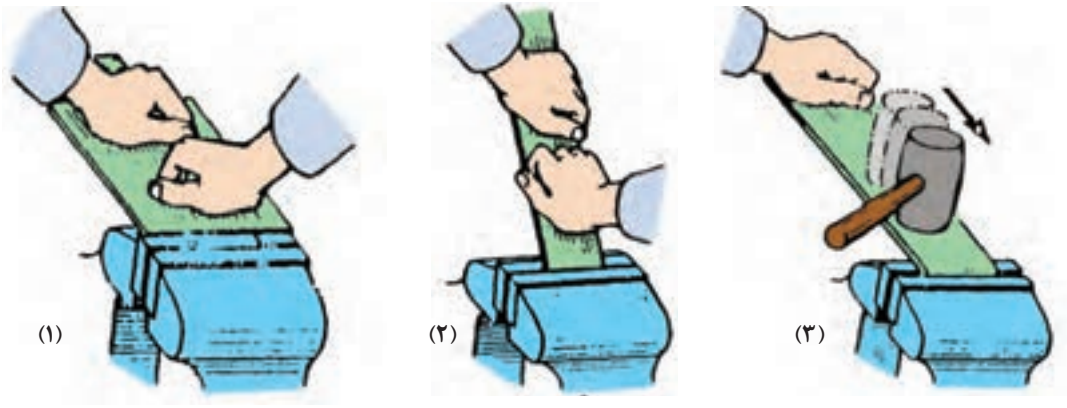
شکل ۱۴ـ دسته‌بندی خم‌کن‌های دستی و ماشینی

خم‌کاری به صورت دستی و ماشینی می باشد:
براساس شکل خم، ضخامت ورق و ابزارآلات و دستگاه‌های موجود، از روش‌های خم‌کاری دستی و ماشینی در حالت سرد و گرم استفاده می‌کنند. در روش خم‌کاری 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 خم‌کاری ضربه می‌زنیم تا ورق خم شود.



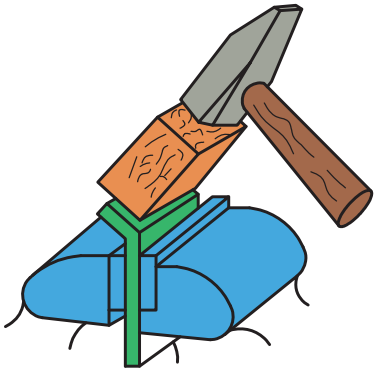
شکل۱۵ــ ۱ــ ورق ثابت شده، ۲ــ فک متحرک گیره، ۳ــ فک ثابت گیره

ورق‌های نازک با طول زیاد با لبه‌های خم‌کاری 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.



شکل۱۶ــ مرحله ۱ــ خم‌کاری دست، مرحله ۲ــ خم‌کاری با پلیت، مرحله پایانی خم‌کاری با چکش

برای جلوگیری از تشکیل ترک در لبه خم و اثر چکش، مستقیماً بر روی ورق ضربه نزنید. مانند شکل زیر می‌توانید از یک تکه چوب برای ضربه زدن با چکش استفاده کنید.

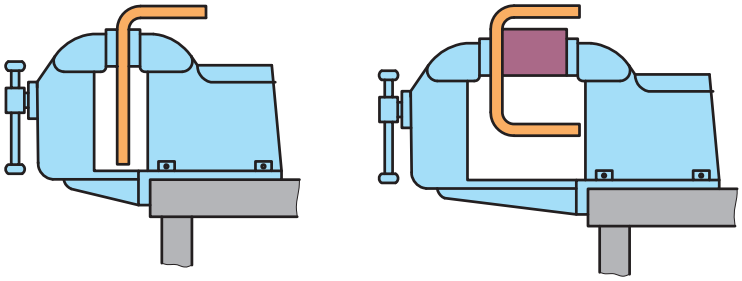


شکل۱۷ــ روش صحیح ضربه زدن با چکش

ورق‌های فلزی ضخیم با لبه‌های خم کوتاه را می‌توانید به کمک چکش روی گیره خم کنید. با این حال، برای خم‌کاری ورق‌های سخت و شکننده، حداقل شعاع خم ۲/۵ برابر ضخامت ورق برای جلوگیری از شکست در ناحیه خم باید در نظر گرفت.

نکته

برای دستیابی به حداقل شعاع درنظر گرفته در حین خم‌کاری، از پلیت‌های میانی یا قالب مناسب استفاده کنید.



شکل ۱۸ــ ۱ــ خم‌کاری یک لبه، ۲ــ خم‌کاری دو لبه با پلیت میانی

نکته

ورق‌های فلزی با ضخامت بالاتر از ۰/۸ 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 خم‌کاری بخش‌های کوچک ورق‌های فلزی سخت از انبر قفلی استفاده می‌کنند. در این روش هم می‌توانید از گیره و هم از نیروی دست تان برای خم‌کاری ورق استفاده کنید.

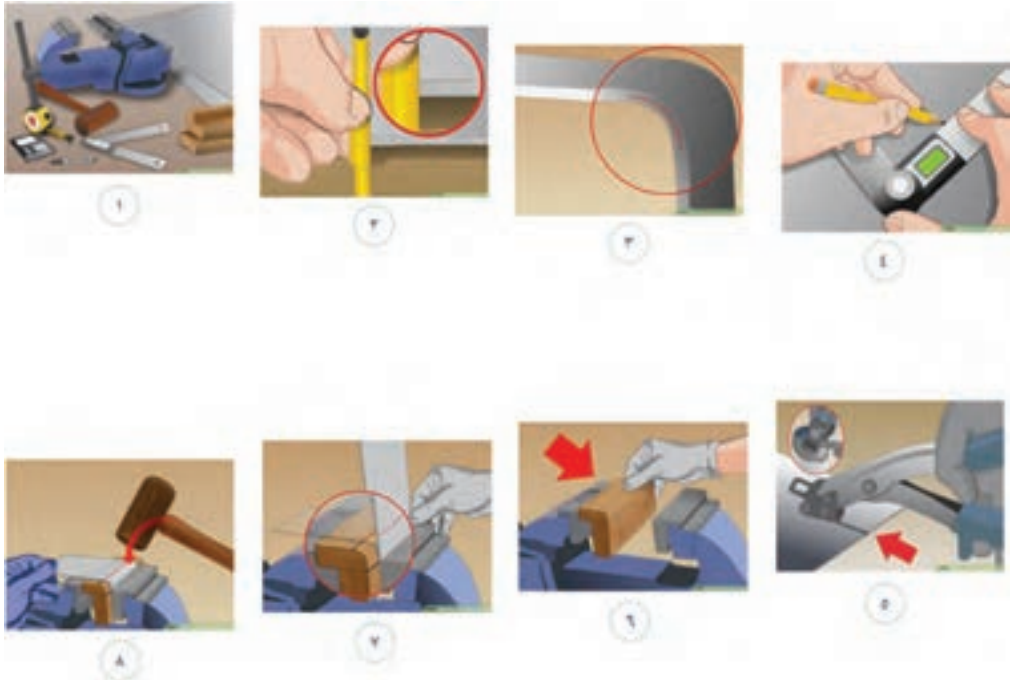
شکل ۱۹ــ خم‌کاری ورق با انبرقفلی

سؤال

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؟

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

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



شکل ۲۰ـ مراحل خم‌کاری ورق فلزی به روش دستی

با توجه به شکل بالا بگویید؛

۱ کدام تصویر مرحلهٔ پیاده‌سازی نقشه برروی ورق را نشان می‌دهد؟

۲ برای خم‌کاری یک ورق فلزی به روش دستی به چه ابزارهایی نیاز داریم؟

۳ در چه مرحله‌ای از خم‌کاری یک ورق فلزی چه به‌صورت دستی یا ماشینی، باید مقدار حد مجاز خم را محاسبه کرد؟

۴ آیا می‌توانید مراحل خم‌کاری یک ورق فلزی را با توجه به تصاویر نشان داده شده در بالا، بیان کنید؟

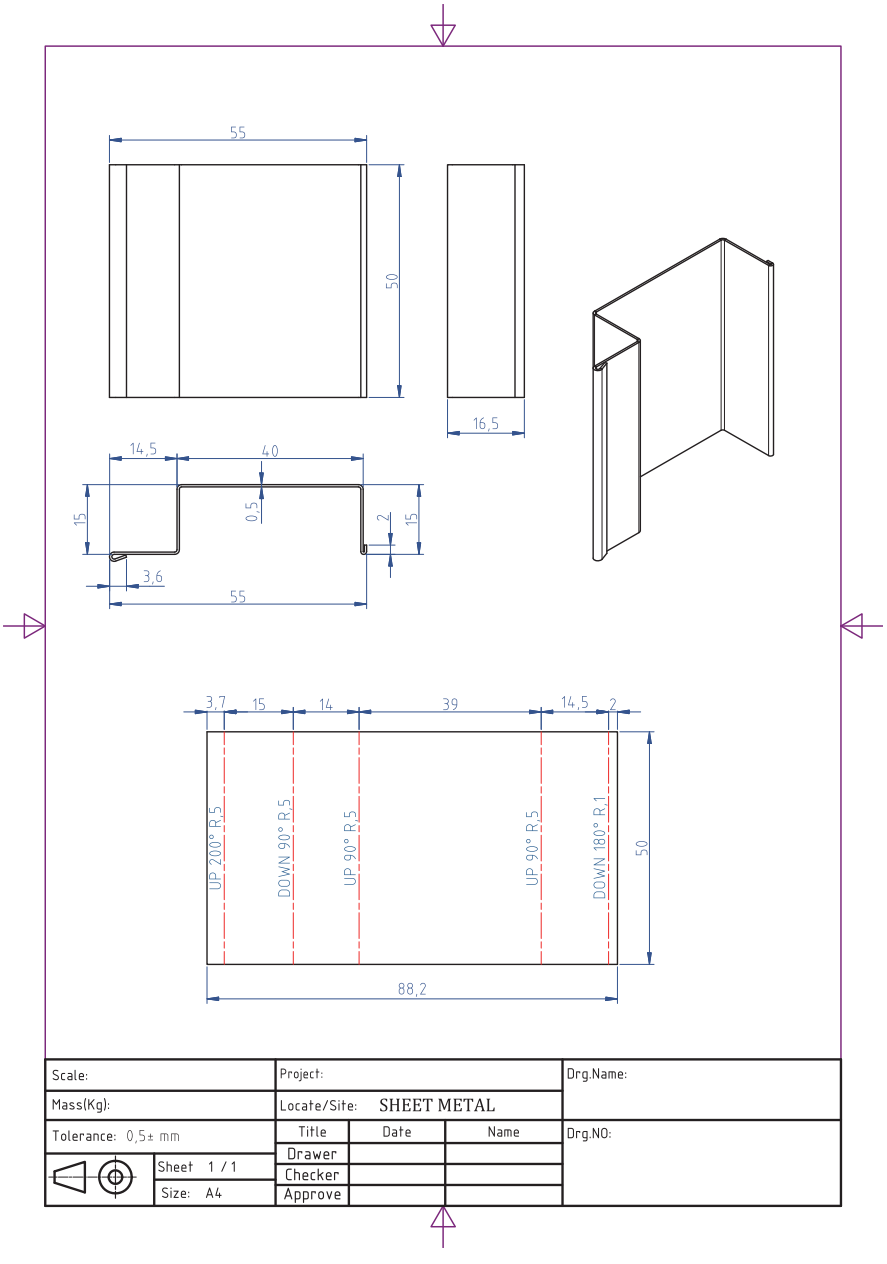
فعالیت کارگاهی

کار عملی

خم‌کاری ورق با ابزارهای دستی

شرح فعالیت: نقشهٔ شماره ۵ را برروی ورق فولادی به ابعاد ۸۸×۵۰×۰/۸ میلی‌متر پیاده کنید، در ادامه با استفاده از چکش، گیره و انبرقفلی ورق فولادی را خم کنید.

نقشهٔ شماره ۵

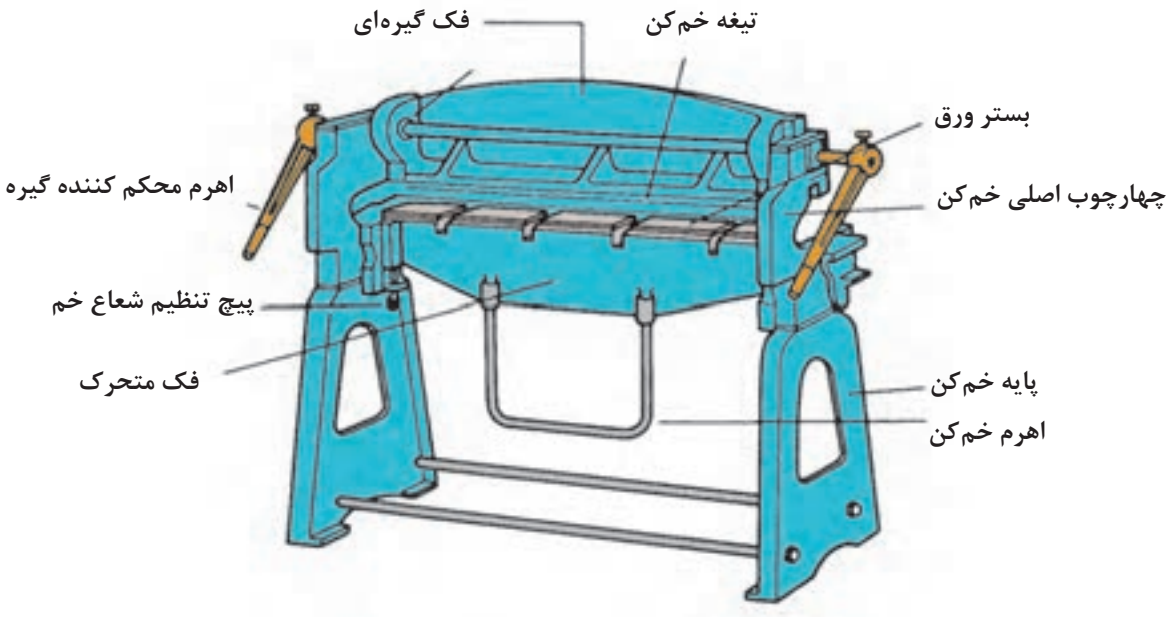


ارزشیابی تکوینی

مراحل کار	شرایط عملکرد (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	نتایج ممکن	استاندارد (شاخص‌های داوری / نمره‌دهی)	نمره
آماده‌سازی	کارگاه: کارگاه استاندارد ورق‌کاری مواد: ورق فولادی ابزار: ابزارهای اندازه‌گیری و خط‌کشی	آماده‌سازی بالاتر از انتظار	ــــــــ	۳
		آماده‌سازی قابل قبول	اندازه‌گذاری براساس نقشه، خط‌کشی براساس نقشه، پیاده‌سازی جزئیات نقشه	۲
		آماده‌سازی غیرقابل قبول	اندازه‌گذاری براساس نقشه، عدم خط‌کشی و پیاده‌سازی جزئیات نقشه	۱
شایستگی‌های غیرفنی	مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد	قابل قبول	توجه به همه موارد	۲
ایمنی و بهداشت	دستکش، لباس کار،			
توجهات زیست‌محیطی	مدیریت مواد دورریختنی	غیرقابل قبول	توجه به ایمنی و بهداشت	۱
نگرش	نقشه روی ورق برای افزایش بهره‌وری			
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				

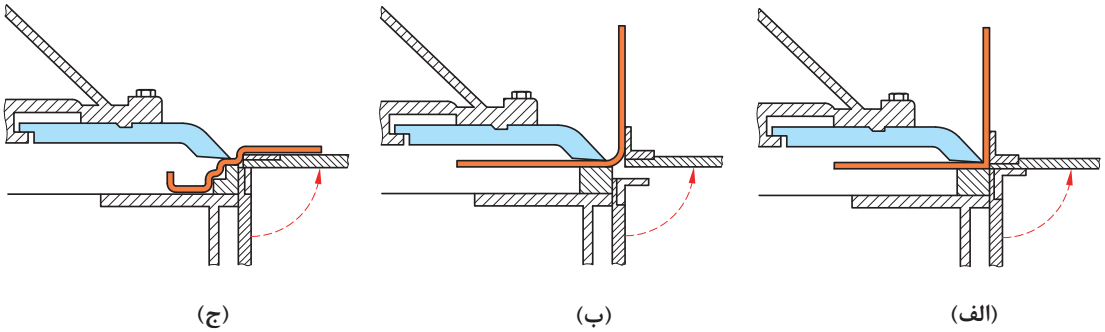
خم‌کاری ماشینی

این خم‌کن‌ها معمولاً برای خم‌کاری ورق‌های فلزی نازک تا ضخامت ۱/۶ میلی‌متر به‌کار می‌روند. نمونه‌ای از یک خم‌کن دستی را در شکل ۲۱ می‌بینید. این خم‌کن‌ها قادرند ورق‌های فلزی با پهنای ۸ تا ۱۰ برابر ضخامت ورق با شعاع خم ۱/۵ برابر ضخامت ورق را خم کنند.



شکل ۲۱ـ شماتیک یک خم‌کن دستی

شکل ۲۲ (الف)، (ب) و (ج) خم‌کاری با شعاع کوچک (خم تیز ۹۰°) و شعاع خم بزرگ با زاویه ۹۰° و خم چند مرحله‌ای ترتیبی را به کمک قالب با ماشین خم‌کن دستی مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۲ـ (الف) خم‌کاری با شعاع کوچک (ب) خم‌کاری با شعاع بزرگ (ج) خم‌کاری ترتیبی

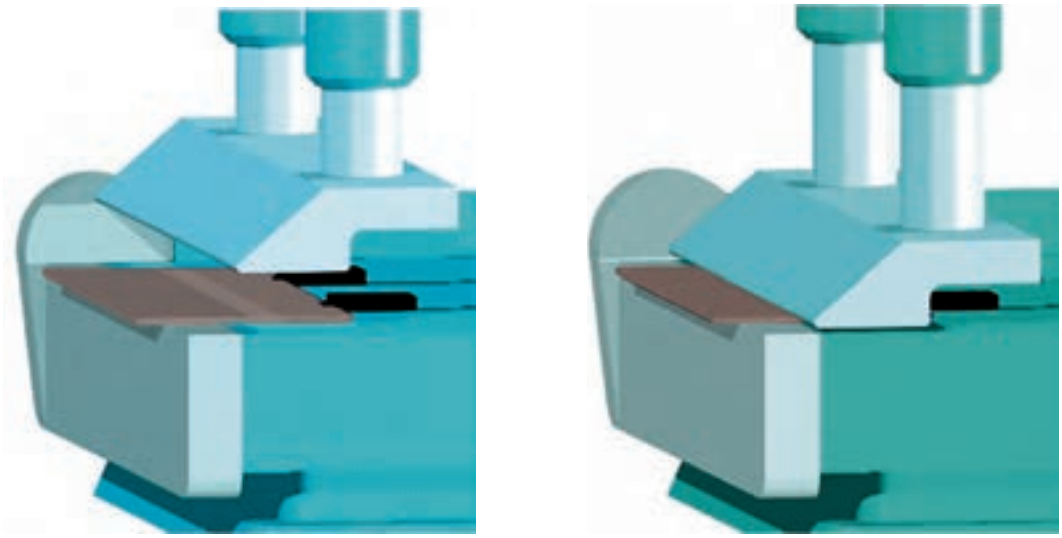
برای حالت (a) بین فک متحرک و صفحه گردون فاصله‌ای وجود ندارد. در حالت (b) بین صفحه گردون و فک متحرک فاصله وجود دارد (که فاصله هوایی) می‌گویند. که باعث ایجاد شعاع خم می‌گردد. علاوه بر نظر طراح و بحث زیبایی در ورق‌های نرم مانند مس و آلومینیوم و برنج باید شعاع خم زیاد باشد تا از ترک در خم جلوگیری کند.

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

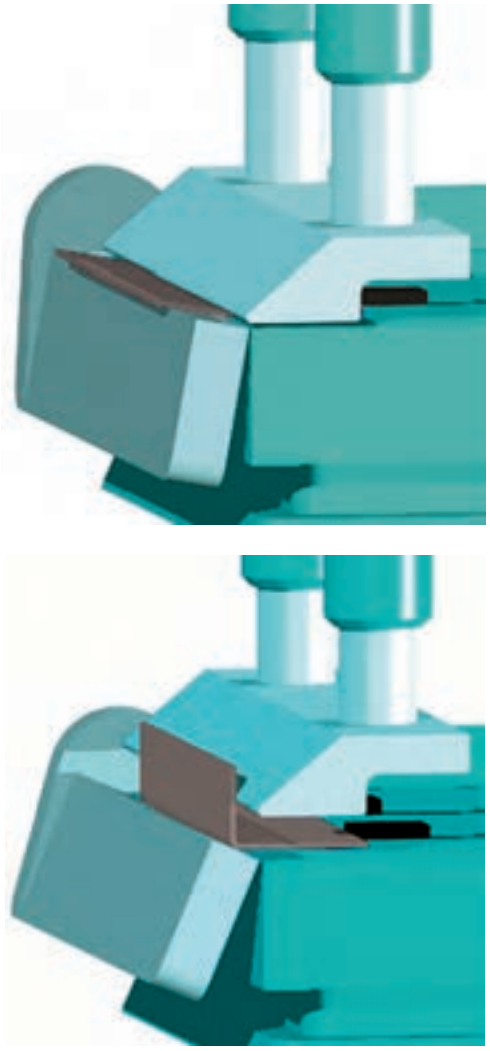
در این مرحله مقدار فاصله فک بالا بسیار مهم است باید به اندازه‌ای باشد تا اجازه دهد هنگام بستن ورق فضای خالی برای خم‌های قبل احتمالی وجود داشته باشد. (یعنی خم‌های قبلی زیر فک بالا له نشوند.) ضمناً تیغه فک بالا روی لبهٔ خط‌کشی شده به‌طور دقیق قرار گیرد.



شکل ۲۳ـ بستن ورق بر روی میز کار

مرحلهٔ دوم: خم‌کاری

در این مرحله فک بالا توسط اهرم سفت‌کننده به سمت پایین می‌آید و ورق در جای خود محکم می‌شود. سپس اهرم خم‌کاری را به سمت بالا می‌آوریم تا زاویه در نظر گرفته شده خم‌کاری شود.
توجه داشته باشید که اهرم مقداری بیشتر بالا بیابد، 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، می‌توان شعاع خم را تغییر داد.



شکل ۲۴ـ خم‌کاری

مرحله سوم: خارج کردن ورق از خم‌کن

در این مرحله پس از باز کردن فک بالا باید قطعه به‌راحتی از خم‌کن خارج شود. اگر ترتیب خم‌کاری به‌طور صحیح انجام نشود ممکن است قطعه داخل خم‌کن گیر کرده و به‌راحتی خارج نشود و باعث مشکلات گردد. بنابراین از قبل باید در این مورد پیش‌بینی کرد.

شکل ۲۵ـ خم‌کن‌های لقمه‌ای

در مورد خم‌کاری اشکال یا طرح‌های پیچیده و یا مواردی که قطعه سخت از داخل خم‌کن بعد از خم‌کاری خارج می‌شود، خم‌کن‌های لقمه‌ای طرح و به بازار عرضه شده‌اند.
فک بالایی این خم‌کن‌ها مطابق شکل بـه‌صورت چند تکه بـا عرض‌های مختلف ساخته شده‌اند تا بتوان با فک‌های متحرک، قطعه‌هایی با ابعاد و اندازه‌های مختلف را خم نمود بدون اینکه لبه‌های خم دچار لهیدگی شوند.

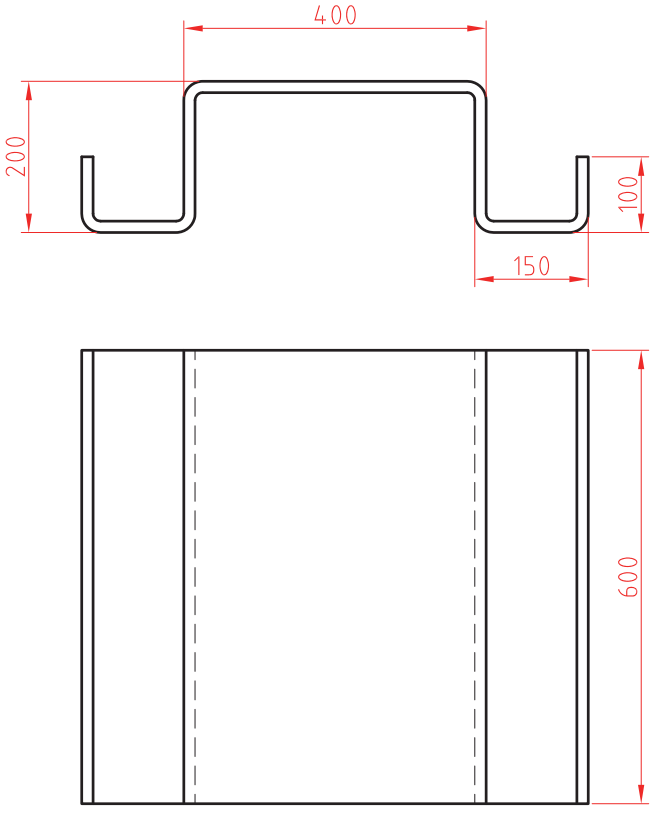
فعالیت کارگاهی

کار عملی

خم‌کاری ورق با خم‌کن ماشینی ـ دستی

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

نقشه شماره ۶



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

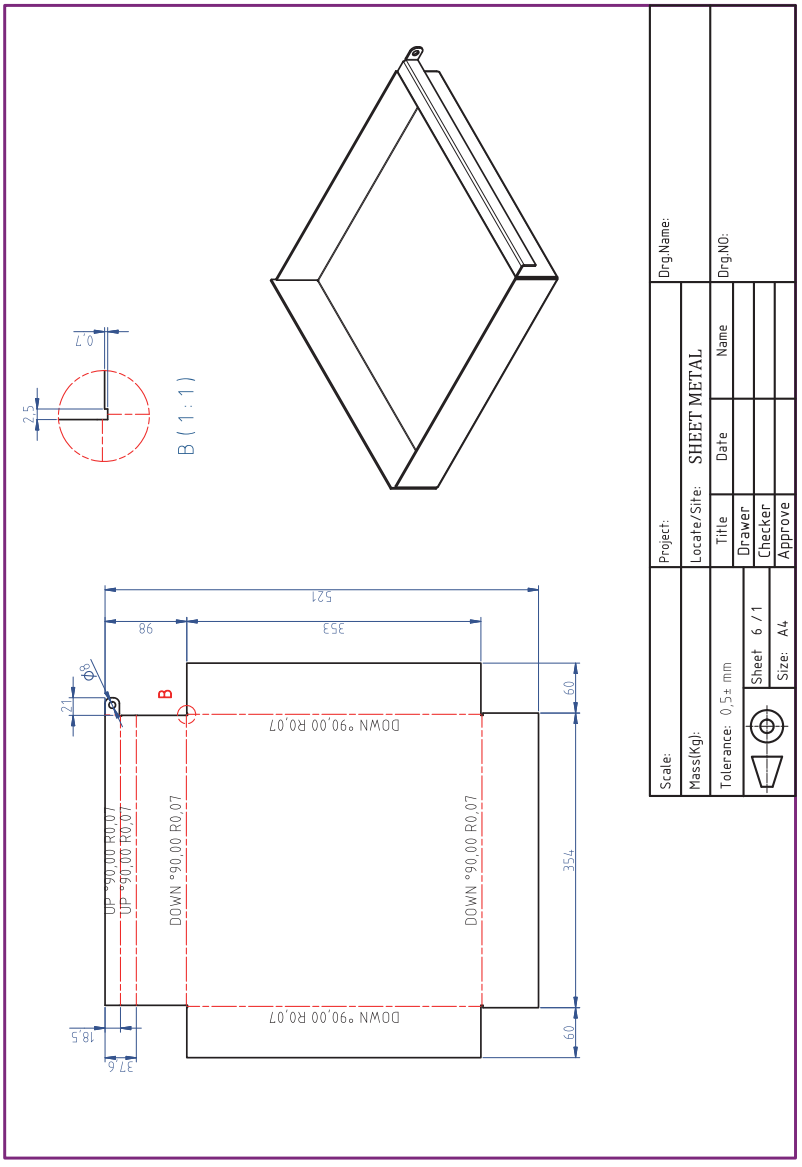
ابزار	کاربرد	تعداد	توضیحات

کار عملی

خم‌کاری ورق با خم‌کن 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 خم‌کن دستی ورق را خم کنید.

نقشه شماره ۷



نکات ایمنی

در هنگام استفاده از ماشین خم‌کاری، از دستکش‌های چرمی استفاده کنید. همچنین در هنگام بالا بردن اهرم خم‌کاری مطمئن شوید که خطری شما ، هم‌کلاسی‌هایتان را تهدید نمی‌کند.
هنگام خم‌کاری مراقب انگشتانتان باشید.

ارزشیابی تکوینی

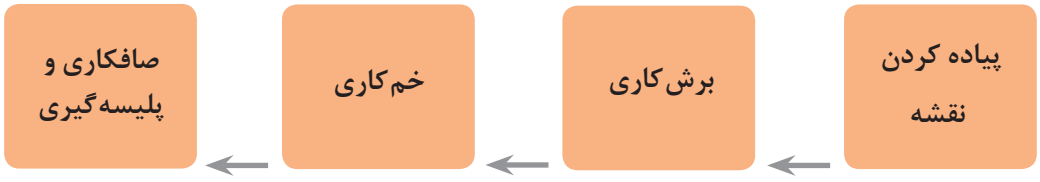
مراحل کار	شرایط عملکرد (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	نتایج ممکن	استاندارد (شاخص‌های داوری / نمره‌دهی)	نمره
خم‌کاری	کارگاه: ابزارآلات خم‌کاری، دستگاه خم‌کن	آماده‌سازی بالاتر از انتظار	فاق‌بری برابر نقشه، زاویه خم و شعاع خم درست، خم‌کاری درست	۳
		آماده‌سازی قابل قبول	فاق‌بری برابر نقشه و خم‌کاری نادرست	۲
		آماده‌سازی غیرقابل قبول	فاق‌بری برابر نقشه، زاویه خم و شعاع خم درست، خم‌کاری درست	۱
شایستگی‌های غیرفنی	مدیریت مواد و تجهیزات	قابل قبول	توجه به همهٔ موارد	۲
ایمنی و بهداشت	استفاده از لباس کار و دستکش			
توجهات زیست‌محیطی		غیرقابل قبول	توجه به ایمنی و بهداشت	۱
نگرش				
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				

ارزشیابی پایانی

کار عملی

خم‌کاری ورق

شرح فعالیت : ورق فولادی براساس نقشه‌های شماره ۸ انتخاب کنید، سپس مراحل زیر را با دقت انجام دهید؛



ابزار مورد نیاز

ابزارهای مورد نیاز خود را برای برش‌کاری ورق در جدول فهرست کنید.

ابزار	کاربرد	تعداد	توضیحات

نکات ایمنی

در حین پلیسه‌گیری مراقب لبه‌های تیز ورق باشید، از دستکش چرمی برای پلیسه‌گیری و صافکاری استفاده نمایید.

شاخص‌های ارزیابی

۱ انتقال دقیق ابعاد و اندازه از نقشه به ورق، خط‌کشی صحیح
۲ برش‌کاری بر اساس نقشه ـ فاق‌بری دقیق
۳ خم‌کاری بر اساس نقشه کار
۴ انطباق نقشه، صافکاری سطوح خم‌کاری شده

نقشه شماره ۸