

اصول شکل دهی خم کاری رول کاری ورق ها

- ❖ مفهوم شکل دهی و آهنگری یا فرم دهی قطعات
- ❖ آهنگری یا فرم دهی دستی
- ❖ فرم دهی و آهنگری ماشینی
- ❖ موارد ایمنی

۱- مفهوم شکل دهی^۱ و آهنگری^۲ (فرم دهی^۳)

این در حالی است که بسیاری از هزاران قطعه ریز و درشت اطراف شما در زندگی روزمره، اشکال پیچیده اما وظایف ساده و متنوعی دارند. بنابراین استفاده از ابزارهای برش برای ساخت آنها به دلیل افزایش زمان تولید، فرسایش ابزار و دورریز شدن اضافات به هیچ وجه مقرون به صرفه (اقتصادی) نیست.



حتی اگر شکل کالا (محصول کارگاه فلزکاری)، پیچیده نبوده و برای ساخت آن تنها به وسایل برش نیاز باشد، از بین رفتن (پرت) بخشی از مواد اولیه (نیم ساخته) به عنوان بُراده و دورریز و نیز کندشدن تدریجی ابزار برش ما را وادار به ایده پردازی برای یافتن روش های دیگر ساخت می کند.



علاوه بر مزیت اصلی استفاده از روش شکل دهی نسبت به روش برش کاری که مقرون به صرفه بودن در کار با فلزات گرانبها و توانایی تولید قطعات پیچیده

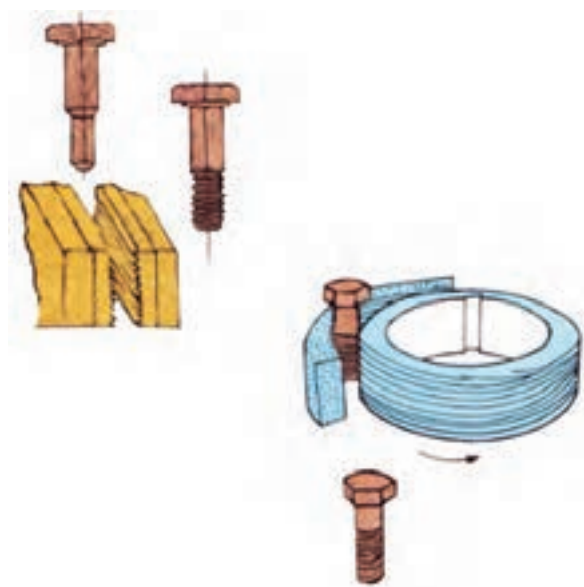
-
1. Shaping
 2. Forging
 3. Forming

ابزارهای کارگاهی به دلیل اشکال پیچیده و قابلیت‌ها و سختی مورد نیاز برای دوام بالا تماماً با روش‌های مختلف شکل‌دهی (سرد یا گرم) ساخته می‌شوند.



هدف از بیان مطالب فوق در کارگاه فلزکاری سبک، تنها یادآوری مزایای روش‌های شکل‌دهی (بدون براده‌برداری) قطعات کار است تا به خاطر داشته باشید که پرس یا خم‌کاری (شکل‌دهی) تنها بخشی از فرایند ساخت یا پروژه تولید یک قطعه خاص مانند پروژه فلزکاری شما نیستند، بلکه این روش‌ها می‌تواند رقیب جدی نقشه‌کشی و اجرایی شما در طراحی یک

اما ارزان قیمت است، گاهی شرایط فیزیکی و حتی شیمیایی قسمت‌هایی از محصول با وجود شباهت جنس (مثلاً تماماً فولاد) یکسان نیست. یعنی با توجه به وظیفه محصول، ساختار مولکولی قسمت‌های مختلف کالا باید قدری با هم متفاوت باشند تا ویژگی‌های خاصی در آنها ایجاد شود. این قابلیت نیز تنها توسط روش‌های شکل‌دهی قابل ایجاد است. در تصاویر فوق ملاحظه می‌کنید که علاوه بر دورریز نشدن مقدار زیادی براده در تولید پیچ به روش آهنگری، قسمت گل‌پیچ (قابلمه پیچ) که نیاز به استحکام ویژه‌ای دارد، دچار فشردگی مولکول‌ها شده است.

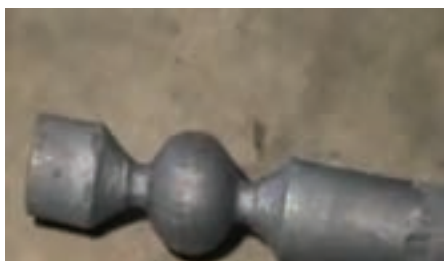


۲- آهنگری دستی

مسیر برای ساخت یک قطعه باشند.



مهم‌ترین بخش از روش‌های شکل‌دهی بدون بُراده قطعات، بخش «ریخته‌گری»^۱ است که در واقع به دلیل قابلیت این شاخه از صنعت در ساخت انواع قطعات ساده و پیچیده، سبک و سنگین و با خواص متفاوت در قسمت‌های گوناگون قطعه، به آشیزخانه صنعت معروف است. اما از آنجا که ریخته‌گری با مذاب فلزات سروکار دارد و ما در کارگاه فلزکاری قصد ذوب کردن مواد اولیه را نداریم (شکل‌دهی در کارگاه فلزکاری اغلب سرد انجام می‌شود). کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه صنعتی را به هنجرو و امی‌گذاریم.



اگر ریخته‌گری را از مجموعه فلزکاری و کارگاه آن جدا کنیم، آن وقت می‌توان تمام روش‌های تولید

1. Casting

چنانچه برای شکل دهی به قطعه کار به دلیل ضخامت کم آن یا تعداد محدود، از ابزارهای دستی مانند چکش، انبردست، آچار شلاقی و تکیه گاه هایی مانند سندان یا قالب های فرم دهی دست ساز استفاده کنیم، درواقع آهنگری دستی انجام داده ایم. این مسئله تا هنگامی که جای نیروی دست و اهرم بندی های مکانیکی را روغن های هیدرولیک و فرمان دهی الکترونیک نگیرند صادق است.



۱-۲- آهنگری قوس ها با دست (فرفرژه و رول کاری)^(۱)

در صنعت چنانکه پیشتر نیز گفته شده دو نوع منحنی وجود دارد. منحنی هایی که مرکز مشخصی ندارند و تنها به ملاحظه زیبایی، کاهش خطر در کار (افزایش ایمنی) و یا ساده تر کردن کارایی کالا، ایجاد می شوند و به قوس یا منحنی غیر مهندسی (غیر ریاضی) معروفند و منحنی ها یا

را به دو گروه اصلی فرم دهی یا آهنگری و براده برداری یا تراش کاری تقسیم بندی کرد. هرچند این دو گروه با زیرشاخه های خود در صنعت به ده ها نام دیگر شناخته می شوند اما اساس کار در همه زیرشاخه ها ایجاد فرمی خاص در قطعه کار با استفاده از تکنیک آهنگری^۱ (کشیدن یا فشردن، سرد یا گرم) و یا تراش کاری^۲ (جدا کردن براده حتی به صورت پودر یا مذاب و بخار) خواهد بود.

آهنگری شاخه ورق کاری را نیز شامل می شود چرا که مواد اولیه ورودی به کارگاه فلزکاری ممکن است به صورت تیر آهن، شمش، پلیت، مفتول، لوله و یا ورق باشند. همچنین اگرچه با شنیدن عنوان آهنگری بلافاصله نام کوره، شعله و حرارت دَمشی به ذهن می آید، اما کلیه فعالیت های تولید قوس های مرکزدار (مهندسی) و آزاد یا بی مرکز (غیر مهندسی) و کُنج ها و زوایا بر روی ورق و پروفیل ها در این عنوان می گنجد.

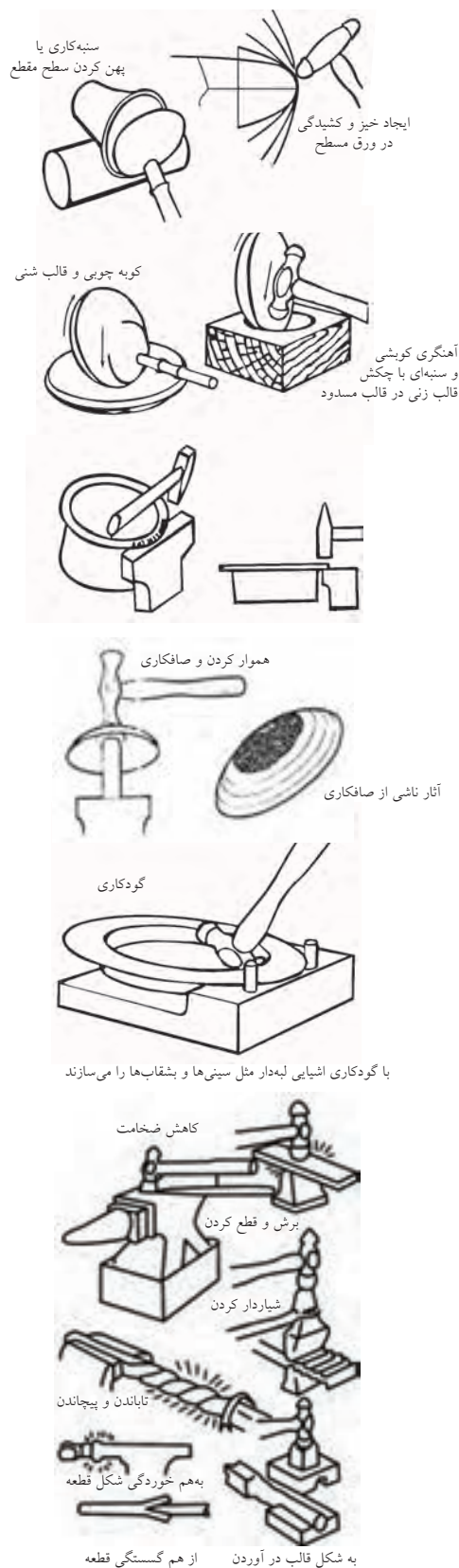


1. Rolling

1. Forming: Forging, Mixing, Coating, Bonding,...

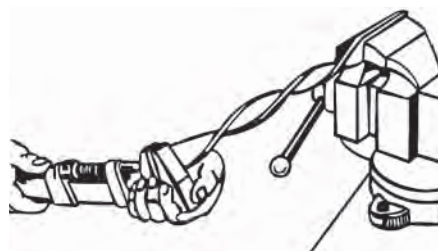
2. Separating: Turring, Shearing, Millinig, Sawing, filling,...

برای بازرسی قوس در حال ساخت در اختیار بگیرید.



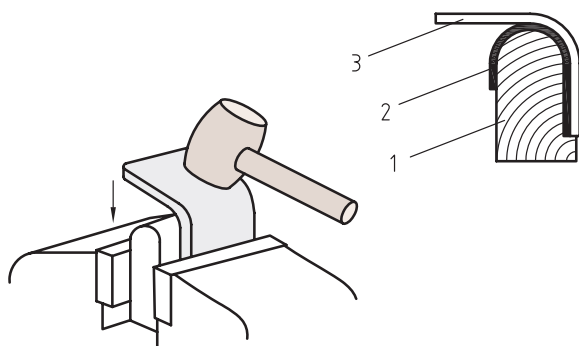
قوس هایی که به دلیل رعایت استانداردهای طراحی و با مرکز مشخص (حتی در دور از دسترس) و شعاع معلوم، در نقشه قطعه آورده و اجرا می گردند.

نوع اول را به طور عموم اجرای فرفورژه و دومی را که معمولاً با غلتک انجام می شود رول کاری (نورد قوس) می نامند.

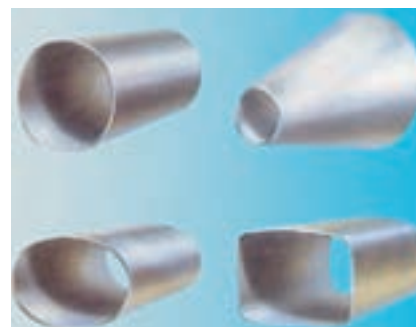


چنانکه در تصاویر مشاهده می شود، برای اجرای یک طرح فرفورژه یا قوس غیر فنی، داشتن چکش نرم (بر حسب جنس و ظرافت آن) یا فلزی (جهت صاف کاری قوس) و یا چکش های خاص (ابزار صاف کاری) و گیره رومیزی به همراه حداکثر یک قالب فرم قوس که از قبل آماده و در جایی نزدیک گیره ثابت شده است کفایت می کند. همانند حرفه صاف کاری و در استفاده از ابزارهایی خاص به هنگام آهنگری دستی قوس ها (مانند سندان دستی صاف کاری)، یا باید از روی شکست نور از روی سطح و مشاهده آن درستی کار خود را ارزیابی کنید و یا آنکه شابلون هایی را

آنها را برای ساخت فرهای فلزی به کار می گیرند.



استفاده از قالب فرم و تلاش برای انطباق کامل قطعه با آن وقتی اهمیت ویژه‌ای پیدا می کند که حجم کار فرفورژه بسیار بالا و طاقت فرسا و یا قیمت مواد اولیه مانند حرفه زرگری بسیار زیاد باشد. در حرفه درودگری (نجاری) نیز ایجاد قوس به دلیل نقش زیادی که در زیبایی محیطی زندگی افراد دارند، ظرافت ویژه‌ای را می طلبد.



تصویر زیر، قالب دست‌سازی را برای آهنگری فرها و ایجاد قوس نشان می دهد. در صورتی که قوس فلزی از ماده اولیه مفتولی باشد، می توان از یک میله راهنمایی برای ایجاد فر و یا حتی فنی کردن آن مفتول (مطابق تصویر) استفاده کرد.



علاقه و پی گیری صنعتگران فلزکار برای طراحی قالب های فرم دهی تسمه ها، مفتول ها و ورق های فلزی، به ساخت «گیره فرم» هایی منجر شده است

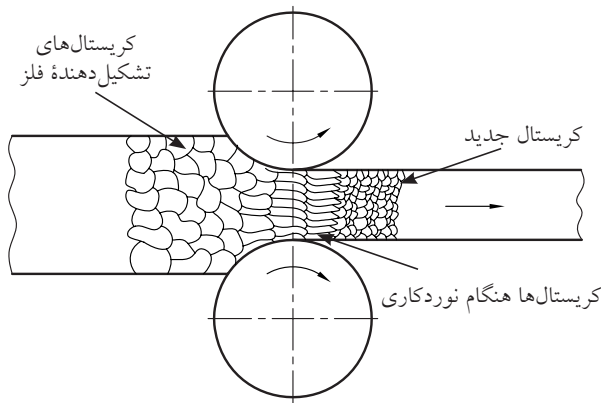
قالب فرم را در کارهای سبک از جنس چوب های بادوام مانند چوب گردو و راش می سازند و سپس با محکم کردن آن روی میز با استفاده از گیره یا پیچ و مهره،

که در تصاویر زیر نمونه‌هایی از آنها را مشاهده می‌کنید.

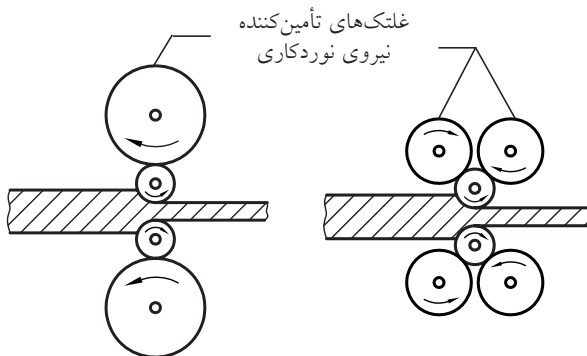


این ایده درواقع از آنجا شروع شد که برای قوس‌دهی به ورق‌های بسیار نازک از میله‌ها، محورها و شفت‌های گرد استفاده کردند.

پیش از این، در صنعت از روی هم لغزیدن غلتک‌ها، که باعث مخالف چرخیدن آنها و در نتیجه ایجاد حالت مکش می‌شد، برای دربرگرفتن و له کردن صفحات ضخیم ورق‌های فولادی استفاده می‌گردید.



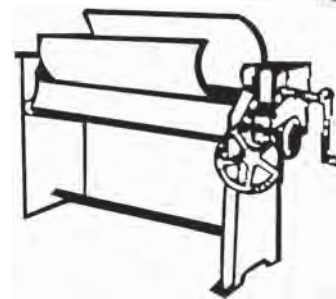
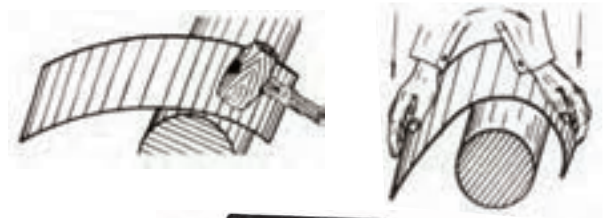
چنانکه در تصویر ملاحظه می‌شود این عمل که آن را «نورد» می‌نامند به کمک چهار، شش و یا تعداد دیگری از غلتک‌های حامی حرکت انجام می‌گردد.



حال اگر با تغییر موقعیت غلتک‌ها، ترتیبی دهیم که به جای کاهش ضخامت ورق‌ها، بتوان با درگیری نیروهای زیر و بالای ورق قوسی را در آن ایجاد کرد، فرایند را «رولکاری» یا «غلتک‌زنی» می‌نامند. البته هنوز هم در

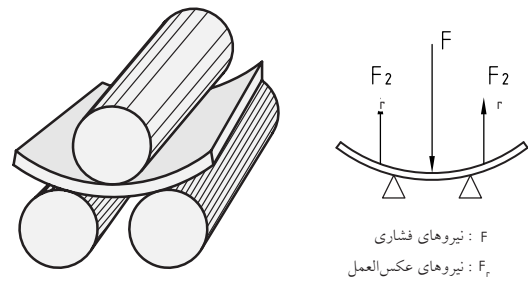


چنانچه فرم مورد نظر یک منحنی مرکب‌دار باشد، می‌توان «گیره فرم» را با کمک فک‌های غلتکی و به گونه‌ای ساخت که در جریان عبور قطعه در میان غلتک‌های در گردش و در اثر فشار، فرم مورد نظر در قطعه به روش «رولکاری» ایجاد شود.

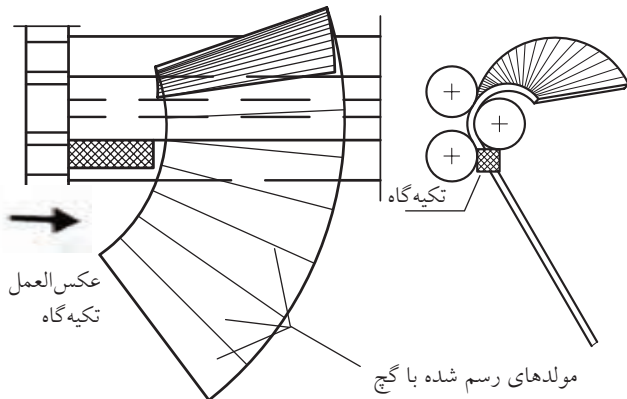


صنعت، اسامی فعالیت‌ها گاهی مشترک است و واژه «نورد» برای قوس‌دهی نیز استفاده می‌شود.

هنگامی که یک خودرو در حال طی کردن مسیری منحنی است، چرخ داخل قوس سرعت کمتر و چرخ بیرونی سرعت بیشتری خواهد داشت که وظیفه متعادل کردن این دو و ایجاد این تفاوت، به عهده تنظیم‌کننده (دیفرانسیل) خواهد بود. حال اگر بخواهیم مخروطی از ورق مانند تصویر را با کمک غلتک‌های رولکاری بسازیم، باید ترتیبی داد که طرف کوچک‌تر مخروط دیرتر و طرف بزرگ‌تر (قاعده مخروط)، سریع‌تر از زیر غلتک‌ها گذر کنند. برای این منظور از لقمه‌های فلزی (نیشی یا هر چیز دیگر) به عنوان تکیه‌گاه سمت کوچک استفاده می‌کنیم تا در مقابله با آن نیروی عکس‌العمل، سمت بزرگ مخروط را با سرعت بیشتری از زیر غلتک‌ها عبور دهد.



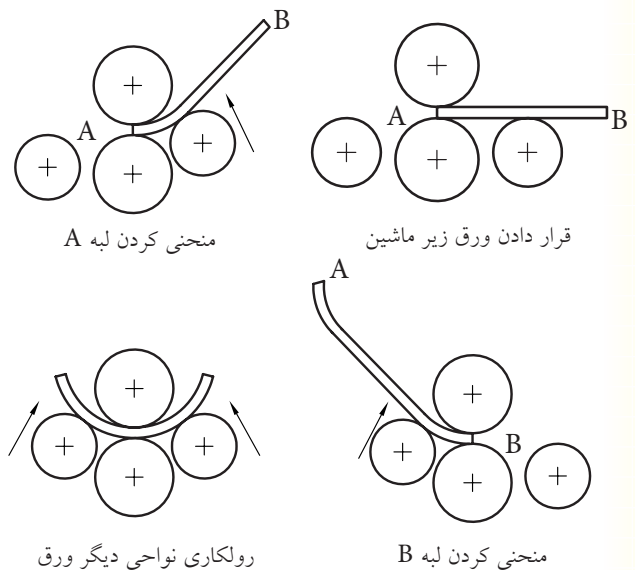
چنانچه مایل به ایجاد کنگره یا طرح دیگری در ورق باشیم، می‌توان سفارش ساخت غلتک‌های فرم‌داری را برای دستگاه رولکاری داد. این نوع رولکاری را «رُخ‌زنی» می‌نامند.



در نورد سبک، نیروی رانش قطعه به داخل دستگاه توسط مکانیسمین تأمین می‌شود که به آن «تغذیه» با دست می‌گویند.

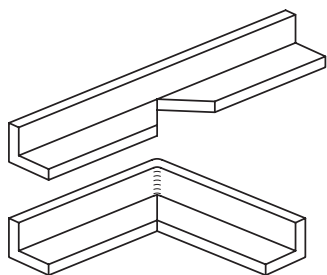
با گرفتن ایده از عملیات نورد می‌توان فک‌های چرخان

چنانکه در تصویر مشاهده می‌کنید، برای قوس‌دهی به ورق با کمک غلتک‌ها، باید مراحل را با توجه به ضخامت ورق در نظر گرفت.



1. Feeding

«ورق کاری» یا «صنایع فلزی» و به صورت جدا از حرفه مذکور در صنعت مطرح شده است.



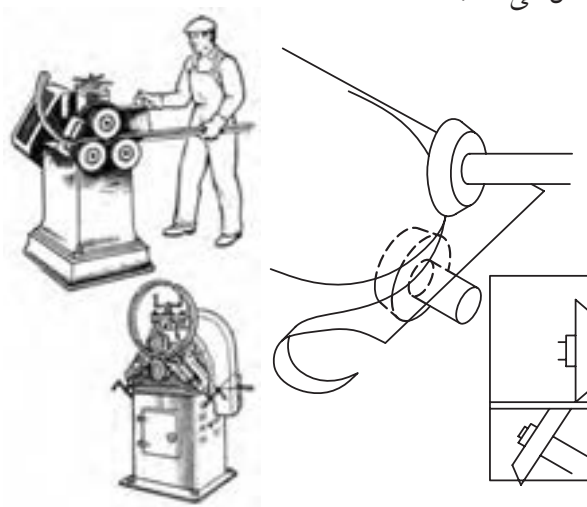
با رعایت کامل ایمنی و استفاده از دستکش ضخیم، خم کاری ورق های نازک را می توان با فشار دست آغاز کرد. در این صورت از مناسب بودن تکیه گاه ورق پس از خم شدن و مستقیم بودن «خط خم» اطمینان حاصل کنید.



تصاویر زیر، ایده های خوبی در استفاده از گیره و ابزارهای مناسب برای خم کاری زاویه قائمه تسمه های فولادی را نشان می دهد. در صورتی که به جای تسمه با قطعه ای ورق برای خمش روبه رو باشید، بهتر است که با تدبیر مناسب سطح تماس فک های گیره را افزایش دهید. برای کاهش اثر ضربات چکش بر قطعه می توان از یک تکه چوب به عنوان واسطه استفاده کرد (تصویر را ببینید).



را برای برش و یا خال جوش زنی ممتد (درز جوش) استفاده کرد. در تصویر، تیغه های مخروطی قیچی های گردبرد را که نسبت به هم مایل قرار می گیرند و می توانند ورق های تا 4mm را بدون تغییر فرم سطحی برش بزنند نشان می دهد.



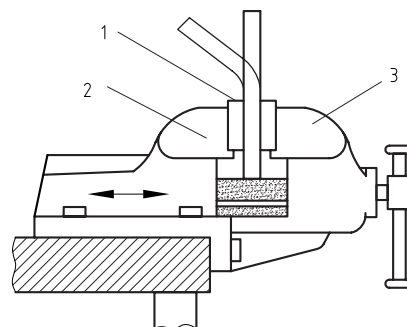
۲-۲- آهنگری کُنج ها (خم کاری و سازه)

ایجاد زاویه در قطعه کار به روش آهنگری و برای تکمیل پروژه ساخت، به مراتب دشوارتر از فرم دهی قوس ها و منحنی هاست. زیرا این بار به جای زیبایی، ایمنی و ساده تر کردن کاربری، الزامات طراحی و کار محصول پایانی، ما را در مسیر ساخت دقیق کالا تحت فشار می گذارد. مثلاً برای ساخت یک کُنج گونیا (90°) در یک قطعه، مجرا (کانال) و پیکره فلزی (سازه) راهی جز محاسبه دقیق و استفاده از زاویه سنج ها نداریم. در صورت نیاز به قالب خم کاری نیز با آزمون و خطا (شکست ناپذیری) باید به درست ترین طرح دست پیدا کنیم. اهمیت ایجاد دقیق زوایا در خم کاری برای عملکرد صحیح سازه های فلزی به حدی است که این بخش از آهنگری تحت عنوان

تصویر زیر، قالب خم دست‌سازی را نشان می‌دهد که می‌تواند تکیه‌گاه خم‌کاری‌های نسبتاً سنگینی باشد.



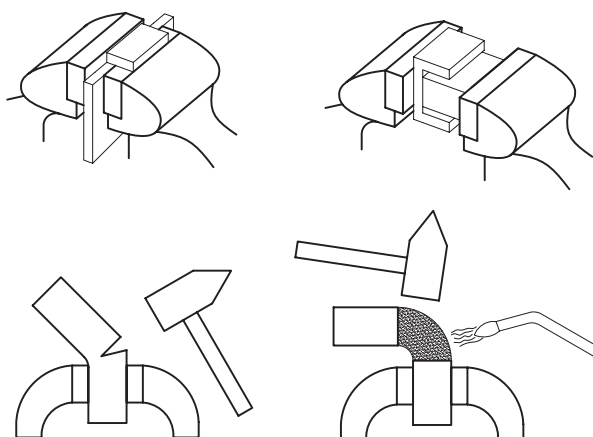
برای جلوگیری از انحناء نامناسب تسمه یا ورق فلزی درگیرشده در گیره (به دلیل قوس ملایم برجستگی فک‌ها به سمت ریل گیره)، می‌توان قالب خمی را تهیه کرده و زیر قطعه‌کار در میان فک‌های گیره بست. به این ترتیب قطعه به جای خمش روی گیره، روی قالب خود خم می‌شود (تصویر را ببینید).



در پایان خم‌کاری سبک ورق‌ها و تسمه‌های نازک، روی خط خم را با چکش لاستیکی بکوبید. این مسئله باعث نزدیک‌تر شدن دو راستای قطعه پس از خم‌کاری هم شده و شعاع خم‌کاری گوشه (کُنچ) کم می‌شود. تغییر فرم نامتناسب با جنس قطعه‌کار ممکن است به ترک برداشتن و یا حتی شکست آن منجر شود. پس به عنوان راه چاره، باید زاویه خم را کاهش داده و نیروی کمتری به قطعه وارد ساخت و یا محل خم‌کاری را در ابتدای اعمال نیرو، گرم کنیم.



در «خط خم»‌های بلند استفاده از ضربات چکش که



باعث ایجاد پستی و بلندی در طول خط می‌شود، توصیه نمی‌شود.

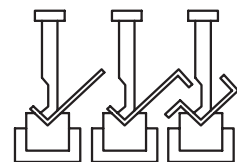
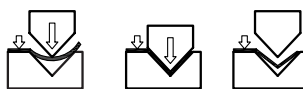
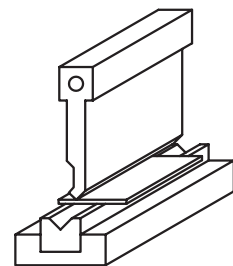
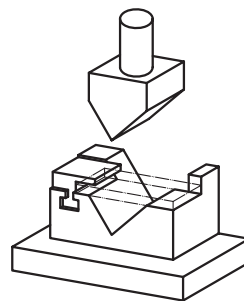
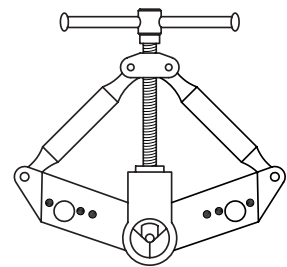
به‌علاوه ابزارهایی که قطعه را از یک نقطه خم می‌کنند، اغلب بر اساس بازوهای قرقره‌ای که درگیری نقطه‌ای داشته با چرخش خود تغذیه قطعه به ابزار را ساده می‌کنند، طراحی می‌شوند.

این دو راهکار (چکش و قرقره) در مورد خط خم‌های بلند جای خود را به «گونه‌های بلند (تیغه) می‌دهد که می‌توان آن را با فشار دو دست (اهرم) مانند تصاویر به طول خط خم فشرد و با کمک تکیه‌گاه مناسب شکاف‌دار، خم قائم یا زاویه مشخصی را اجرا کرد.



۳- آهنگری ماشینی

برای انجام ساده‌تر، سریع‌تر و دقیق‌تر فرایند خم‌کاری (مانند سایر فرایندها) و با تجربه خم‌کاری‌های دستی که خطاهای قابل پیش‌بینی و در نتیجه قابل پیش‌گیری را برای ما مشخص می‌کنند، می‌توان به طراحی و ساخت ماشین‌های آهنگری پرداخت. در این ماشین‌ها معمولاً نیروی مستقیم دست انسان که دقت کافی ندارد در تغذیه قطعه‌کار به داخل (زیر) ابزار آهنگری، حذف می‌شود و اجرای محاسبات آهنگری در طراحی محصولات پیچیده یا با تعداد بسیار زیاد، امکان‌پذیر می‌شود. مثلاً تجربه کار دستی نشان می‌دهد که قطعات کار پس از نورد یا فر و خم، دچار تغییر طول می‌شوند و در صورتی که این تغییر طول قبلاً در نظر گرفته نشده باشد، محصول آهنگری ناکارآمد خواهد بود. چنانکه در تصاویر می‌بینید در محل خم‌کاری، قسمتی از قطعه (بیرون خم)، دچار کشیدگی و افزایش طول و قسمتی دیگر (داخل خم) فشرده می‌شود. و تنها می‌تواند گفت خط محور قطعه (تسمه، میله یا لوله)، تغییر ابعادی پیدا نمی‌کند. این خط فرضی میانی را، به همین دلیل که تغییر ابعادی و کریستالی پیدا نکرده است، «تار



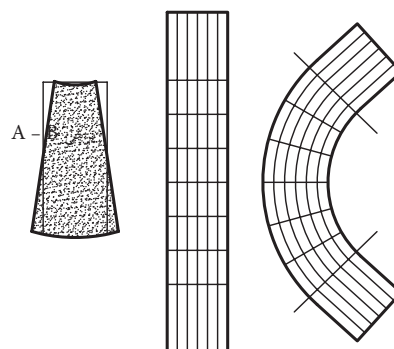
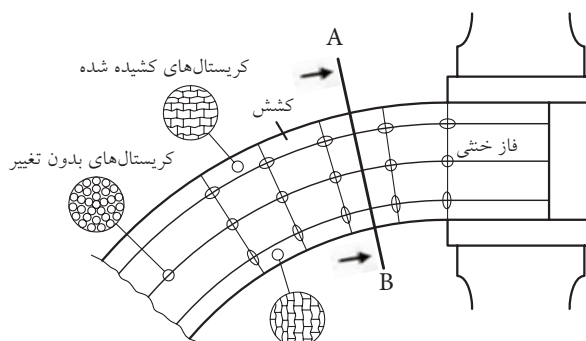
۱-۳- آهنگری قوس‌ها (فرورژه اتومات و نورد سنگین)

افزایش تعداد، حجم و حساسیت قطعات فرم‌شده صنعتی، آهنگری قوس‌ها را هم از نظر طراحی دقیق‌تر قالب فرم و هم محافظت ساختاری قطعه‌کار متحول کرده است. علاوه بر آن نیروی متغیر و محاسبه‌نشده‌ی دست صنعتگر در روش‌های ماشینی با نیروی ثابت، مستمر و دقیق باد (پنوماتیک)^۲ یا روغن (هیدرولیک)^۳ جایگزین شده است.



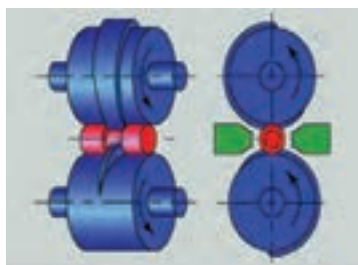
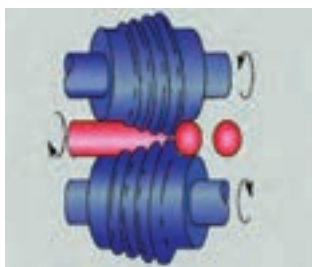
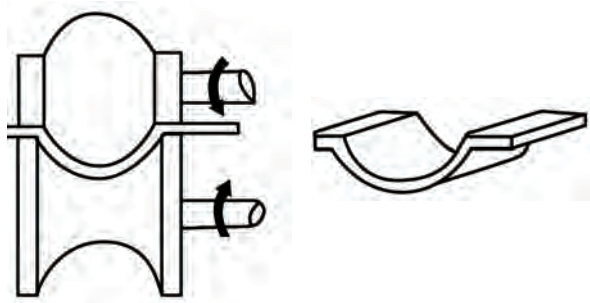
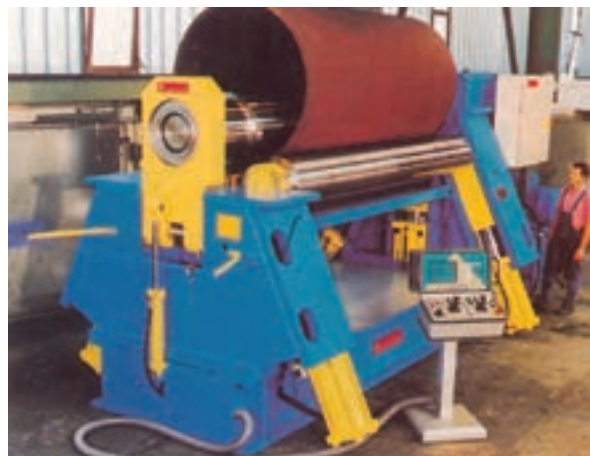
خنثی» می‌نامند.

در ماشین‌های آهنگری محاسبه قطعات کار که پی‌درپی توسط ماشین خم می‌شوند بر اساس ابعادِ تار یا فاز خنثی انجام می‌شود تا بر اساس آن بتوان قالب خم یا فاصله غلتک‌های فر و نورد را به درستی طراحی کرد و قطعه پس از تغییر شکل کوتاه نشود.

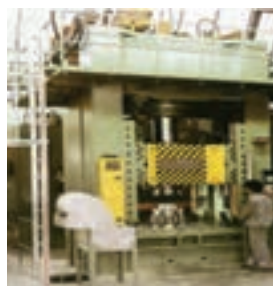


1. Computer Numerical Control (CNC)
2. Penumatic
3. Hydraulic

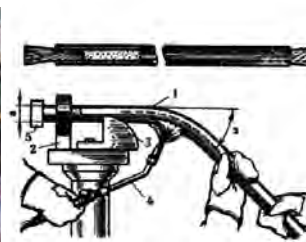
ماشین آلات نورد یا رولکاری سنگین نیز می توانند علاوه بر ایجاد انواع لوله های با قطر زیاد در ورق های بسیار ضخیم (تا ۲۰۰mm)، به دلیل توان بالا و پیوستگی قدرت هیدرولیک، انواع غلتک های رُخ و فرم را پذیرا باشند.



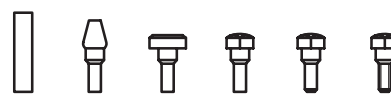
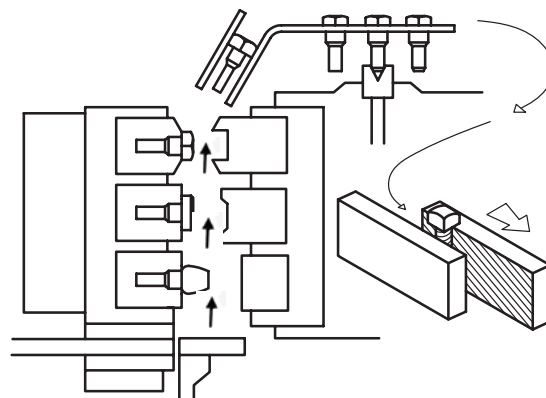
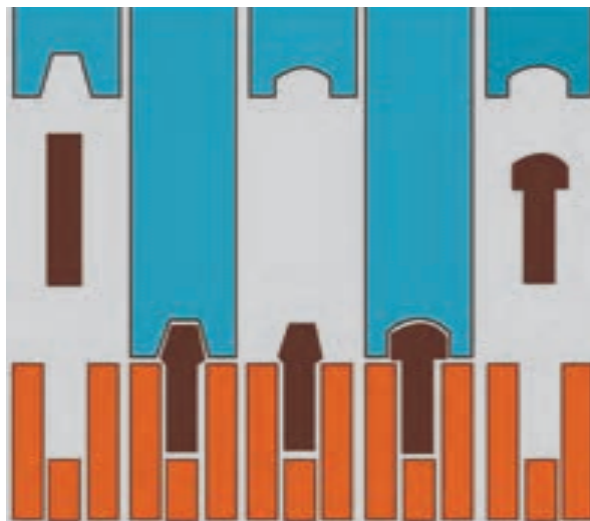
تصویر زیر، توسعه ماشین های آهنگری از چکش های کوبش هیدرولیکی قطعات گداخته تا پرس های فرم دهی سرد و گرم سنگین نشان می دهد.



در صورت نیاز به استفاده از حرارت برای فرم دهی، ماشین آلات آهنگری که دارای فک ها و گیره های مخصوص و سیستم های تبرید (خنک کاری) کنترل شده هستند، برخلاف روش های دستی فرم دهی گرم، باعث تفاوت های هندسی در نتیجه چین خوردگی نمی شوند. در تصویر سرد کردن بلا درنگ لوله با فشار هوا، پس از سرخ شدن و خم کاری در مشعل مخصوص (حرارتی یا مغناطیسی) را مشاهده می کنید.



از ایده غلتک‌های نورد رُخ (طرح) زن، در ماشین‌آلات تولید پیچ استفاده می‌شود.

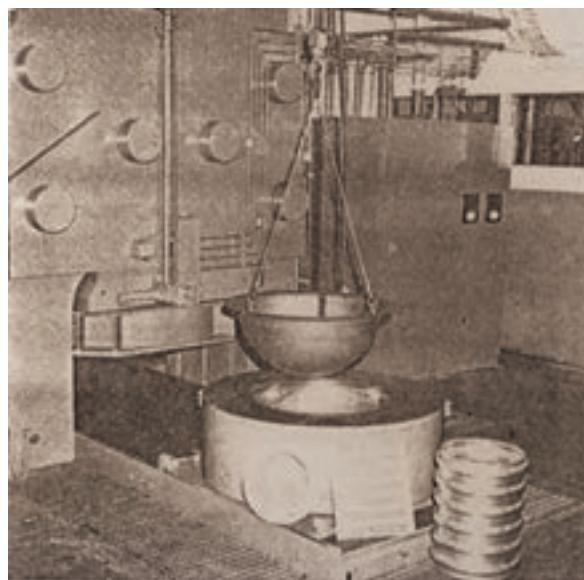


۲-۳- آهنگری کنج‌ها (خم‌کاری و سازه)

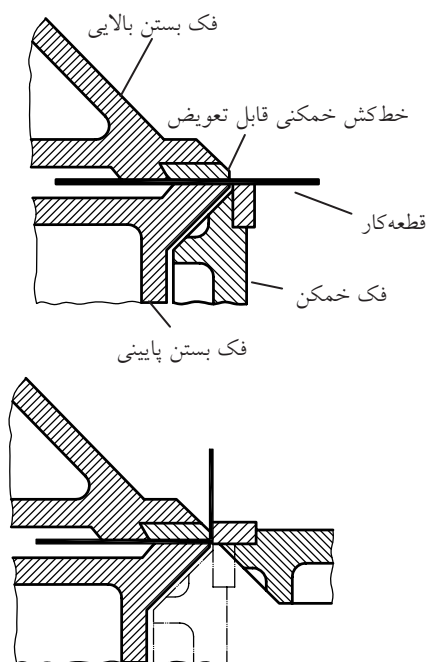
مهم‌ترین و در عین حال گران‌ترین روش شکل‌دهی به ورق‌های فلزی استفاده از پرس‌های قالب‌فرم است که موضوع رشته قالبسازی را به خود اختصاص داده است.



در مواردی که طراحی مکانیکی پیچیده‌ای در ساخت فرم و قوس حاکم باشد، از شیوه‌هایی مانند فرم‌دهی انفجاری (مطابق تصویر) نیز استفاده می‌شود.



خم کاری هیدرولیکی برای ایجاد کنج قائمه در ورق فولادی را مشاهده می کنید.



با توجه به تصاویر زیر، طراحی مناسب قالب خم (سنبه و ماتریس) در کنار قدرت بالای ضرب زنی و حرکت تک یا دوگانه فک های ماشین های خم کاری، انواع زوایای خم را به دست می دهد.



با کمک این پرس و قالب ها حتی می توان به شکل دهی انواع ورق ها و صفحات پلاستیکی پرداخت. قبلاً فقط از طریق «تزریق» یا «روزن رانی»^۱ و بافتن یا «روزن کشی»^۲ تولید قطعات پلاستیکی را انجام می دادند که این روش های شکل دهی (و نه فرم کاری) فقط در کارخانه ها و کارگاه های بزرگ قابل انجام بود. اما با توسعه تکنولوژی مواد مصنوعی و نیز طراحی قالب های بی خطر برای صفحات پلاستیکی، امروزه فرم کاری ورق ها در کارگاه های کوچک هم میسر شده است.

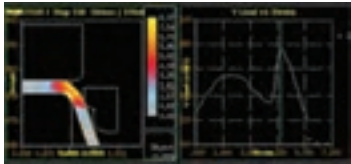
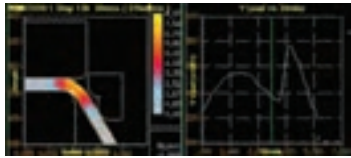


در تصویر بعد شیوه درگیر شدن تیغه های دستگاه

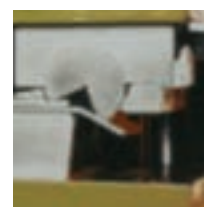
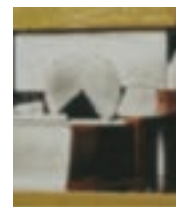
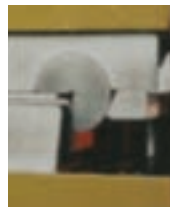
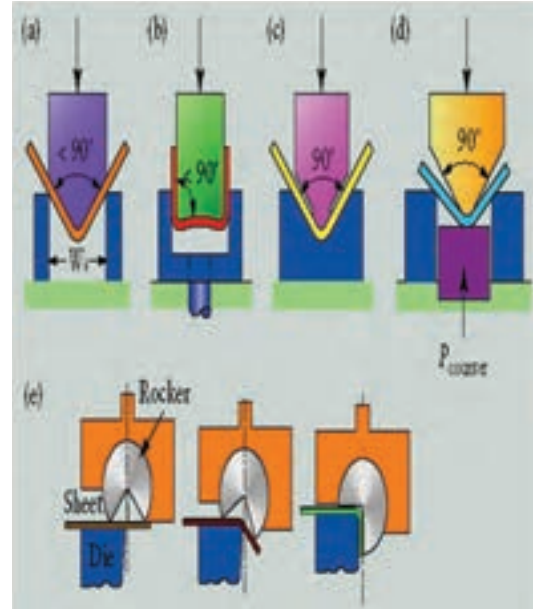
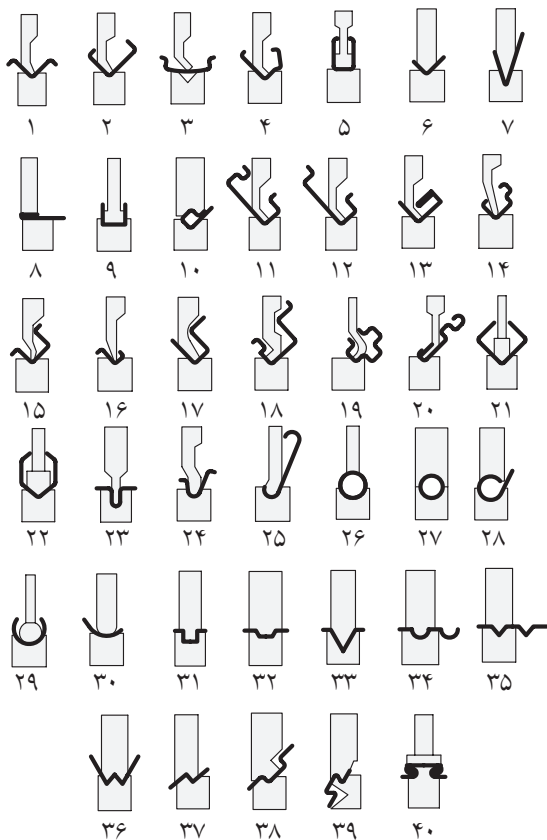
1. Extrusion

2. Paltrusion

در نتیجه با طراحی دقیق فرایند مورد نظر و کنترل آن در حین انجام کار (توسط پانل یا صفحه نمایشگر دیجیتال دستگاه خم)، احتمال نیاز به فرایندهای تکمیلی جهت کاهش قوس انتهای زاویه خم (شعاع خم) کاهش می‌یابد.



در تصویر ملاحظه می‌کنید که فرایند خم کاری توسط نرم‌افزار مخصوص پیش از انجام شبیه‌سازی شده و اشکالات احتمالی آن به اپراتور (کاربر) دستگاه گزارش می‌شود.



۴- موارد ایمنی

قالب‌های شکل‌دهی فلزات (یا غیر فلزات) به‌دلیل استفاده مداوم و بی‌وقفه، باید از سخت‌ترین جنس فولاد ساخته شوند تا در اثر ضرب‌زنی فرسایش کمتری بیابند. این مسئله در کنار نیروی اهرمی یا روغنی تجهیزات فرم‌دهی و خم‌کاری، چکش‌های صنعتی بسیار خشنی را در موضوع فرم‌دهی فلزات خلق می‌کند که بی‌احتیاطی در کار با آنها، صدمات قطعی جبران‌ناپذیر به دنبال خواهد داشت.



گاهی در کار با ماشین آلات فرم‌دهی از انبرک‌ها، اهرم‌ها و حتی ربات‌های صنعتی برای انجام کار و برداشتن و خوراندن (تغذیه) قطعات استفاده می‌شود.

