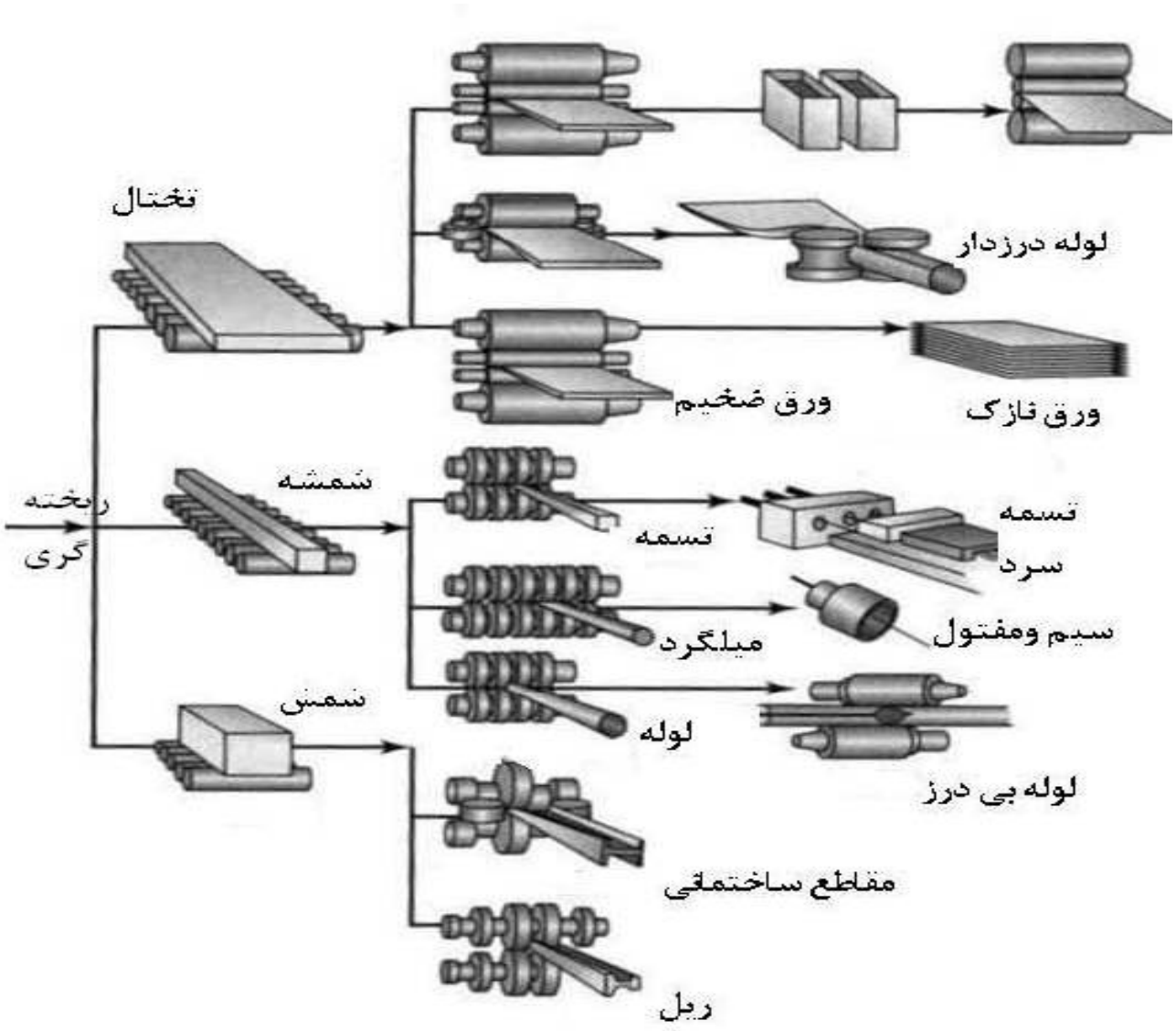
بسمه تعالی

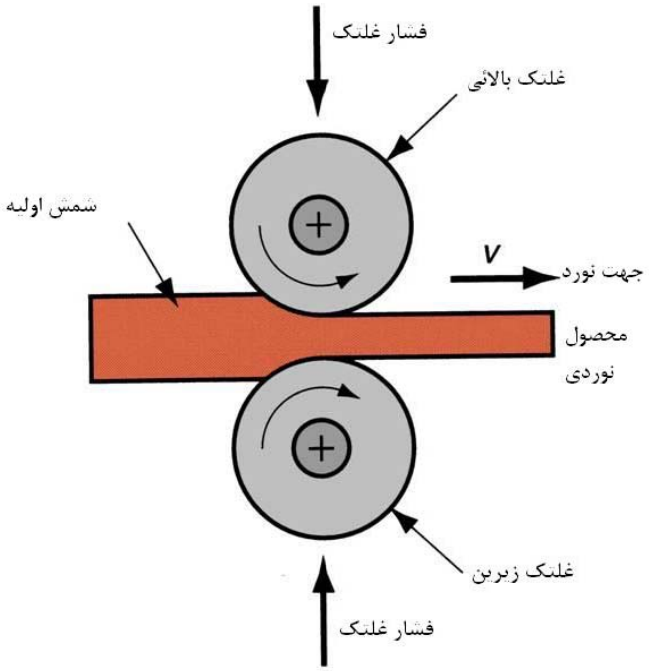
آشنائی مقدماتی با تکنولوژی شکل دادن فلزات

تهیه کننده:

اکبر زمانیان



www.iran-mavad.com مرجع اینترنتی مهندسی مواد



نورد:فر آیند تغییر شکل فلز با عبور آن از بین دو غلتک که در خلاف جهت هم می چرخند.نورد یکی از رایج ترین فرآیند هـای شکل دادن فلزات است که برای تولید محصولات طویل با سـطح مقطع ثابت مثل تیر آهن –نبشی – میلگرد و ... بکار میرود.

در نورد فلز تحت یک نیروی فشاری نسبتا بالا قرار میگیرد که ناشی از فشار غلتک ها و همچنین اصطکاک بین فلز و غلتک است.

تاریخچه نورد:اولین طرح نوردابتدا توسط لئوناردو داوینچـی ارائه شد اما قرن ها گذشت تا ایـن ایـده عملـی شـد . در قـرن نوزدهم نورد در صنایع آهن و فولاد اهمیت پیدا کرد . در نیمه اول قرن بیستم محصولات نودی به تولید انبوه رسید و بعـد از جنـگ جهانی دوم نورد از حالت انحصاری خارج و جهانی و فراگیر شد .

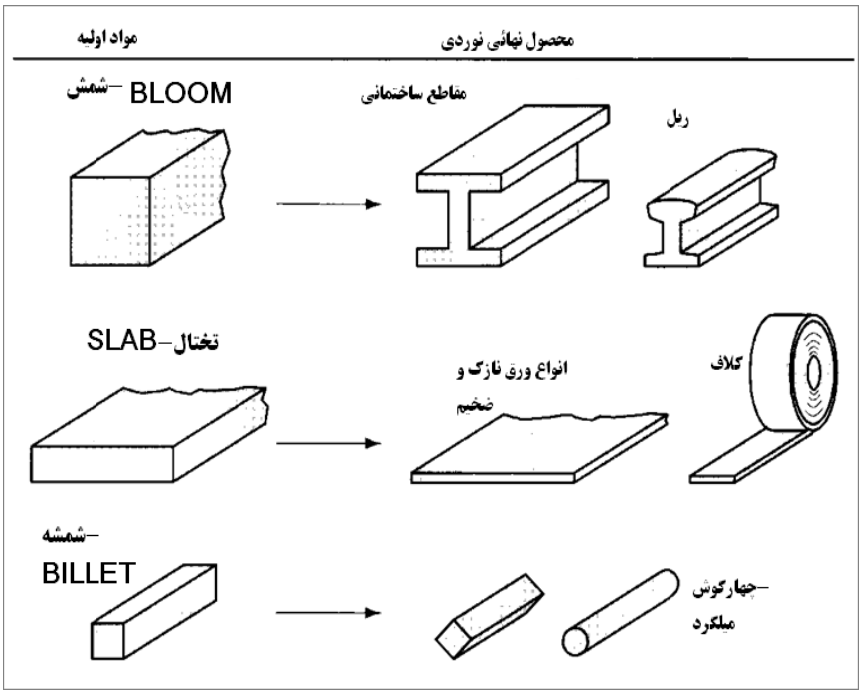
طبقه بندی فرآیند های نورد:روش های مختلفـی بـرای طبقه بندی فرآیند های نورد وجود دارد که مهمترین آنها عبارت است از:

۱- **طبقه بندی براساس دما** : که به دو گروه نورد گرم ونورد سرد طبقه بندی میشود . نورد گرم تغییر شکل بالای دمای تبلور مجـددو نـورد سرد تغییر شکل زیر دمای تبلور مجدد و معمولا در دمای محیط انجام میشود . نورد گرم برای تغییر شکل های سنگین بکار میـرود . مثلا تولید انواع مقاطع ساختمانی مثل تیر آهن- نبشی –ناودانی و... . در حالت گرم نیروی نورد بنحو قابل ملاحظه ای کاهش یافته و میتوان تغییر شکل های زیاد ایجاد کرد.

نورد سرد فلزات نقش مهمی در صنعت دارد. برای تامین ورق,تسمه, فویل با سطح نهائی خوب و مقاومت مکانیکی بالا و دقت ابعادی بالا بکار میرود .

۲- **طبقه بندی بر اساس محصول تولیدی** :بر اساس محصول خروجی طبقه بندی میشود مثل نورد میلگرد –نورد تیر آهن- نورد ریل و ...

۳- **طبقه بندی بر اساس تکنولوژی**:نورد مداوم-نیمه مداوم –غیر مداوم



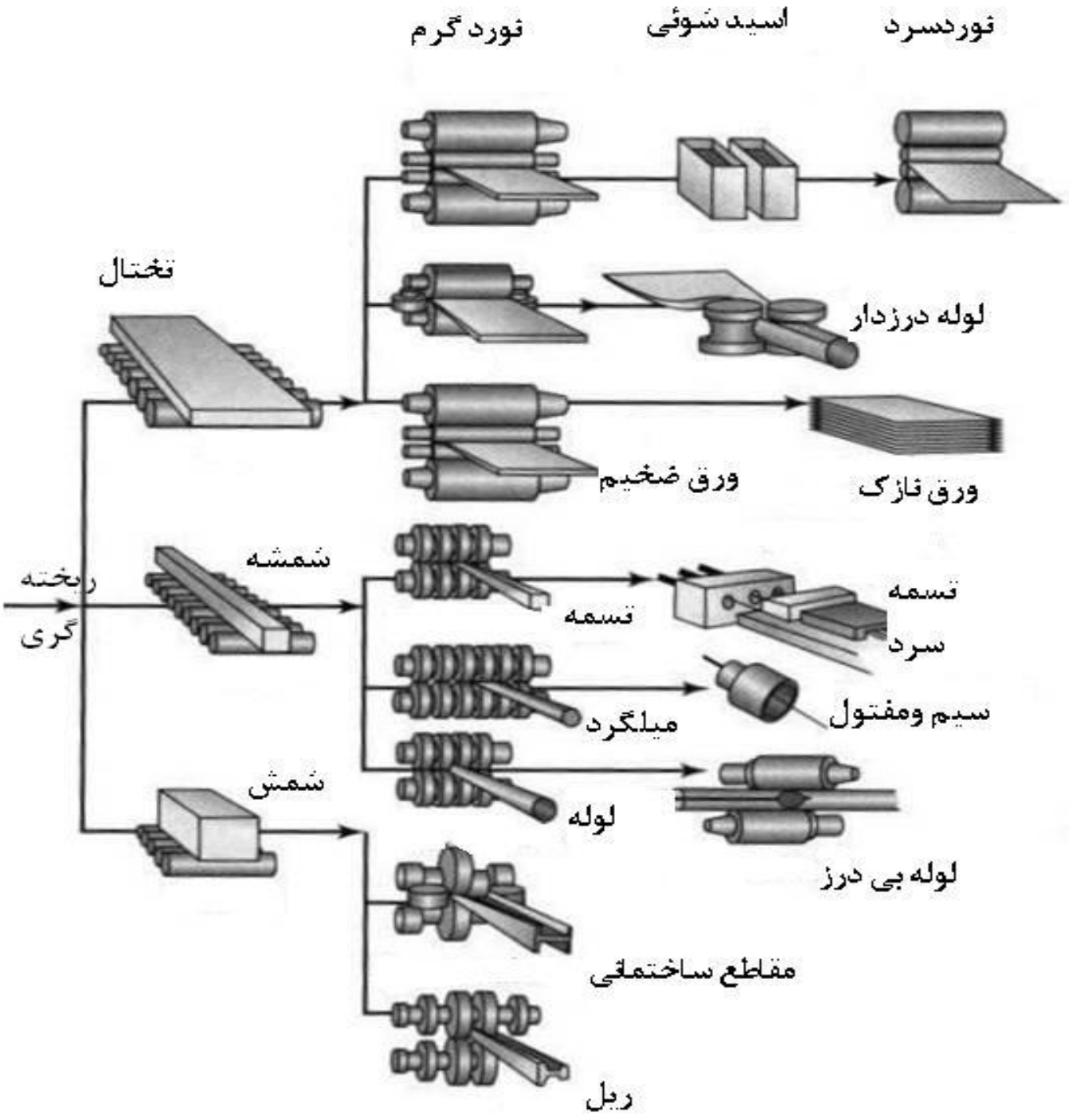
مواد اولیه نورد:ماده خام اولیه مصـرفی در نـورد شمش –تختال و شمشـه اسـت کـه دو مـورد اول مستقیما از ریخته گـری مـداوم و شمشـه از نـورد شمش تامین میشود.

شمش:دارا سطح مقطع مربـع یـا مسـتطیل اسـت . شمش دارای سطح مقطع بیشتر از ۲۳۰ سانتی متـر مربـع اسـت و بـه ابعـاد ۲۵۰*۲۵۰ و ۲۰۰*۲۰۰ و ۳۵۰*۲۵۰ ریخته گری میشود . شمش بیشتر بـرای تولید مقاطع سنگین مثل تیر آهن- ریل –ناودانی و شمشه بکار میرود.

تختال: به محصولات با مساحت سطح مقطع بیشتر از $100\ cm^2$ و با عرض بیشتر از دو برابر ضخامت گفته میشود.ابعاد رایج آن عرض ۶۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی متر و ضخامت ۵۰ تا ۲۲۰ میلی متر است

شمشه: این محصول از نورد شمش بدست می آید.به محصولات با مساحت سطح مقطع بیشتر از $25 cm^2$ و ابعاد رایج آن عرض ۵۰*۵۰ میلی مترمربع تا ۱۲۵ * ۱۲۵ میلی مترمربع است .

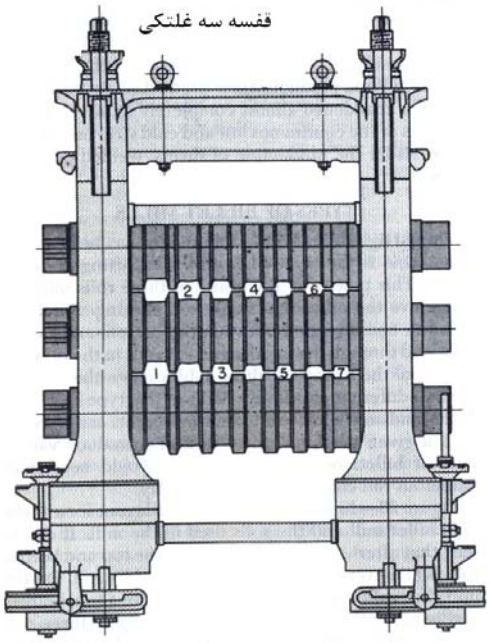
محصولات نوردی:به دو گروه محصولات تخت و محصولات شکل دار (پروفیل) تقسیم بندی میشود.محصولات تخت شامل انواع ورق – ورق نازک – تسمه و کلاف می باشد. محصولات شکل دار شامل انواع مقاطع ساختمانی مثل تیر -نبشی- قوطی-ناودانی و اچ (H)می باشد .



ورق Plate: به محصولات با ضخامت بیشتر از ۶ میلی متر اطلاق میشودکه به روش نورد گرم تولید میشوند. عرض رایج آن در ایـران ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ میلیمتر است ولی اخیرا در اهواز واحد نورد ورق عریض راه اندازی شد که میتواند ورق با عرض ۲۰۰۰ میلـی متـر تولیـد کنـد.فـولاد مبارکه تا ضخامت ۱۶ میلی متر و اهواز با ضخامت های بیشتر از ۵ میلی متر تولید می کند.

ورق نازکSheet: به محصولات با ضخامت کمتر از ۶ میلی مترو عرض بیشتر از ۶۰۰میلی متر اطلاق میشودکه به روش نورد سرد تولید میشوند.این محصول میتواند بصورت تخت یا کلاف به بازار عرضه شود.

تسمهStrip: به محصولات با ضخامت کمتر از ۶ میلی مترو عرض کمتر از ۶۰۰میلی متر اطلاق میشود.

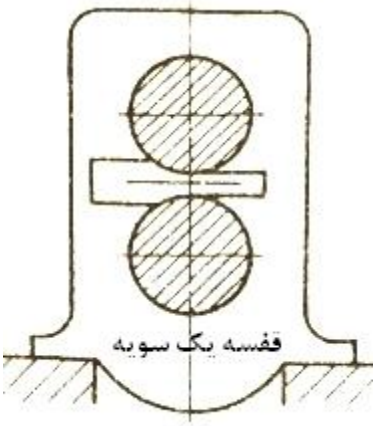


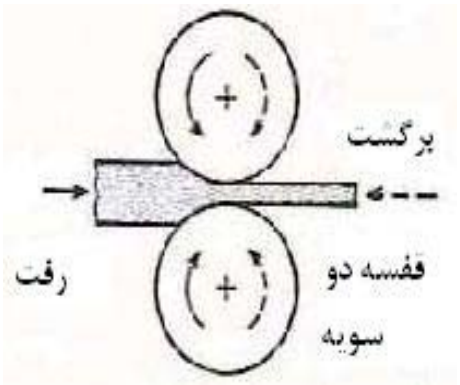
تجهیزات نورد: یک واحد نورددارای واحد ها و تجهیزات مختلفی می باشد که مهمترین آنها قفسه ها-قیچی های سرد بر و گرم بر-کوره پیش گرم-بستر خنک کننده- و واحدهای گریس-روغن-آب-گاز-واحد بسته بندی و توزین می باشد .

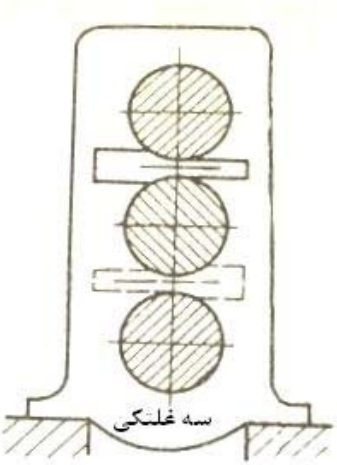
قفسه های نورد:به مجموعه شاسی- غلتک ها – یاتاقان هاو کلیه تجهیزات همراه یک غلتک که برای نورد استفاده میشود قفسه (STAND) گویند.شکل زیر یک قفسه سه غلتکی را نشان میدهد. قفسه ها بر اساس تعداد غلتک و نحوه استقرار آنها در شاسی به انو اع مختلف طبقه بندی میشود:

انواع قفسه :

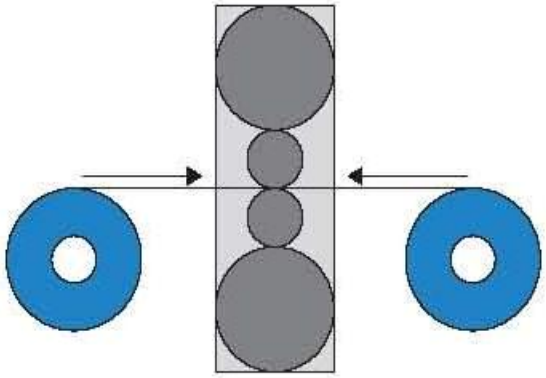
- قفسه دو غلتکی یکسویه:در نورد های مداوم و نیمه مداوم استفاده میشود .جهت حرکت شمش فقط به یک سو است و غلتک ها فقط در یک جهت می چرخند .
- -قفسه دو غلتکی رفت و برگشتی(دو سویه):در این حالت غلتک ها در دو جهت قادر به چرخش هستند. با عبور قطعه کار از بین غلتک ها جهت چرخش عوض شده و قطعه کار در جهت عکس وارد غلتک میشود و با چند بار رفت و برگشت میتوان به ضخامت مورد نظر رسید.در نورد های سنتی و قدیمی و یا در نورد های مدرن ورق سرد استفاده میشود . بخاطر اینکه در هر بار عبور بایستی موتور های غلتک ها خاموش و در جهت عکس بچرخند راندمان تولید پائین است .
- -قفسه سه غلتکی :مطابق شکل سه غلتک روی هم قرارگرفته و رفت از جفت غلتک پائینی و برگشت از جفت غلتک بالائی است. در این حالت میز های بالا برنده ای در دو طرف قفسه قرار گرفته و قطعه کار را بالا و پائین می کند.شکل بالا یک قفسه سه غلتکی را نشان میدهد که برای تولید چهارگوش بکار میرود . همانطور که در شکل دیده میشود شمش یک در میان از کالیبر ها شماره گذاری شده عبور می کند.



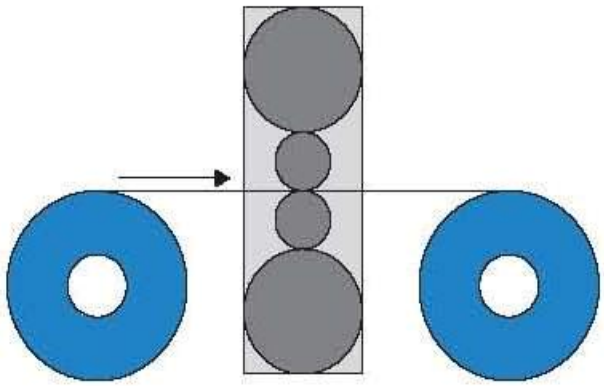




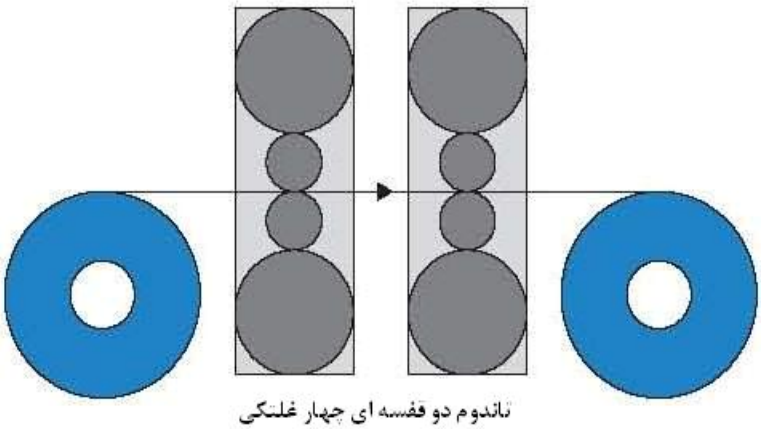
➢ قفسه ۴ غلتکی :غلتک هایی با قطر کمتر(صلبیت واستحکام پایین تر)که به غلتک کاری معروف هستند با غلتک های پشتیبان باقطر بیشتر حمایت می شوند.این قفسه برای تولید ورق نازک بکار میرود .چون در نورد ورق نازک قطر غلتک کاری کم است و خطر شکستن آن در اثر فشار وجود دارد بنابراین از غلتک های بزرگتر در پشت آن استفاده میشود که به غلتک پشتیبان معروف است .غلتک های کاری با نیروی موتور می چرخند ولی غلتک های پشتیبان هرز گرد هستند و محرکه ندارند .شکل زیر سه نوع قفسه چهار غلتکی که برای تولید ورق سرد بکار میرود را نشان میدهد.



قفسه چهار غلتکی رفت و برگشتی

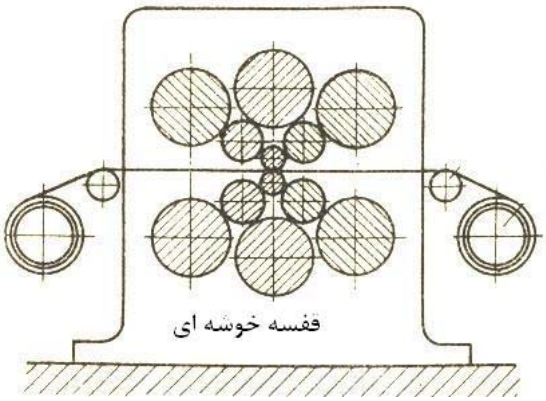


قفسه چهار غلتکی یک سویه



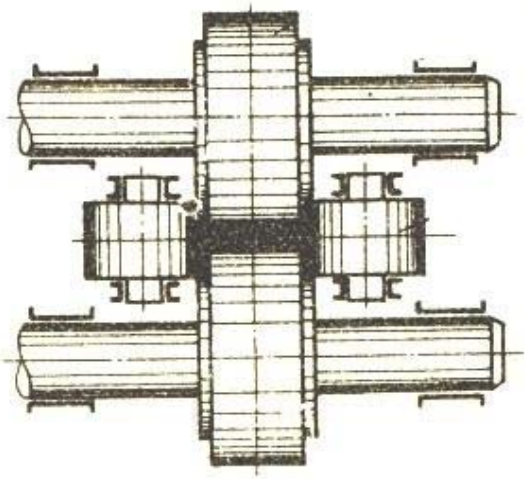
تاندوم دو قفسه ای چهار غلتکی

➢ قفسه خوشه ای یا سندزیمر:برای تولید فویل های فلزی قطر غلتک کاری خیلی کوچک میشود و از طرفی امکان استفاده از غلتک پشتیبان بزرگ هم وجود ندارد . بنابراین از یک سری غلتک پشتیبان استفاده میشود که به قفسه خوشه ای معروف است. هرکدام از غلتک های کاری با دو غلتک پشتیبان حمایت میشود. معمولا سه غلتک بالائی محرکه هستند و بقیه غلتک ها در اثر اصطکاک میچرخند.

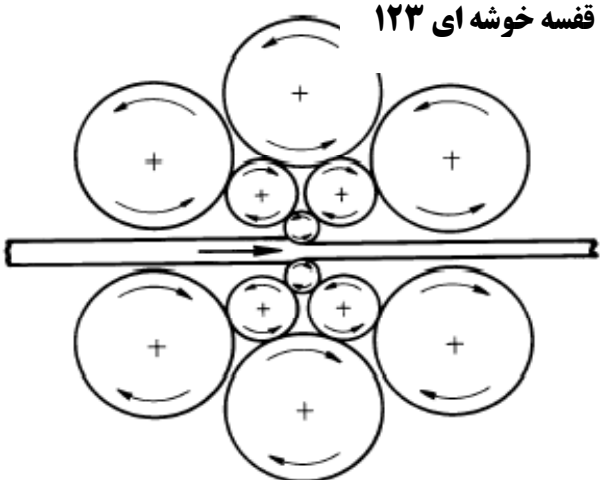


قفسه خوشه ای

➢ قفسه یونیورسال:ترکیبی ازغلتکهای افقی و عمودی است . در این حالت غلتک های افقی در دو طرف غلتک های عمودی قراردارد. یک نوع قفسه یونیورسال فقط برای پرداخت نهائی محصول بکار میرود و هیچ تغییر شکلی در جسم ایجاد نمیکند .مثلا قفسه آخر در کارگاه نورد تیر آهن که از قفسه پرداخت

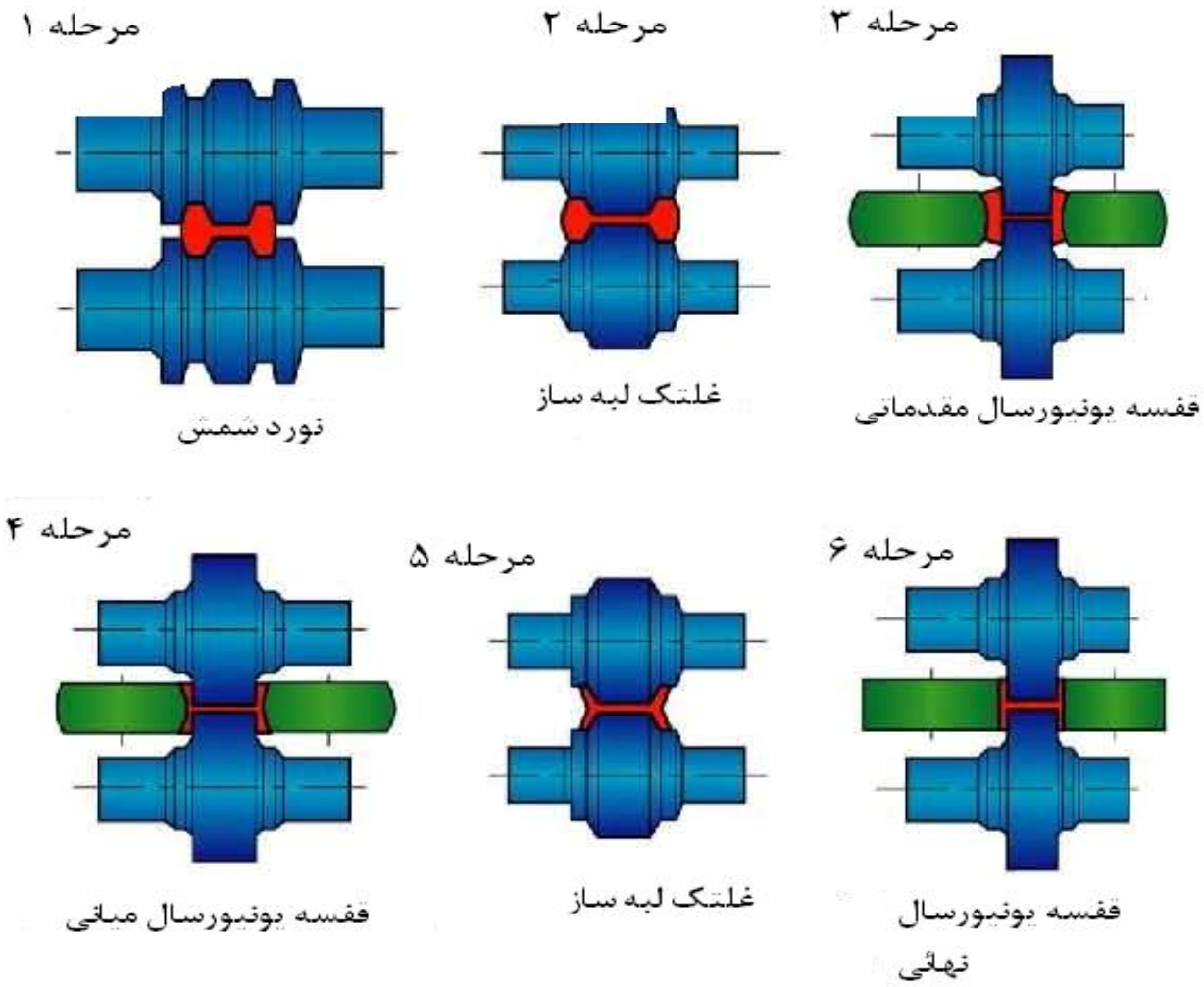


قفسه خوشه ای ۱۲۳

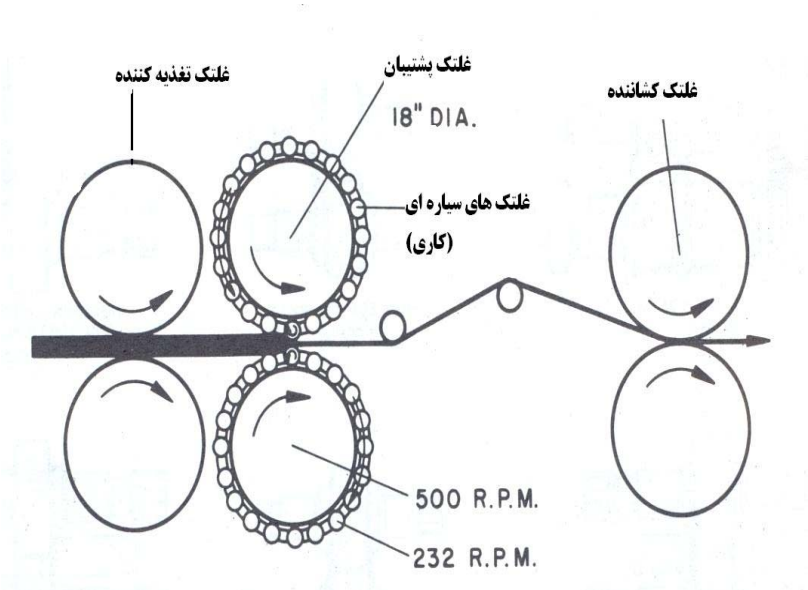


استفاده شده و برای تابگیری تیر آهن استفاده میشود و اگر احیانا تیر آهن تابیدگی داشته باشد رفع عیب میکند.

نوع دیگر قفسه یونیور سال که به GRAY STAND معروف است برای تولید مقاطع H استفاده میشود که هم غلتک های افقی و عمودی با هم تغییر شکل در قطعه ایجاد میکنند. شکل زیر مراحل تولید مقطه Hرا نشان میدهد.



قفسه سیاره ای: شامل یک جفت غلتک پشتیبان سنگین است که توسط تعداد زیادی از غلتک های کوچک سیاره ای احاطه شده است.هرغلتک سیاره ای با دوران حول محور خود وحول محورغلتک پشتیبان و در لحظه تماس با قطعه کار تقریبا یک مقدار ثابتی ضخامت تختال را کاهش میدهد.

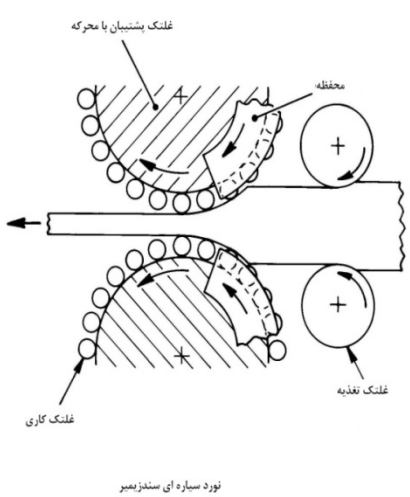


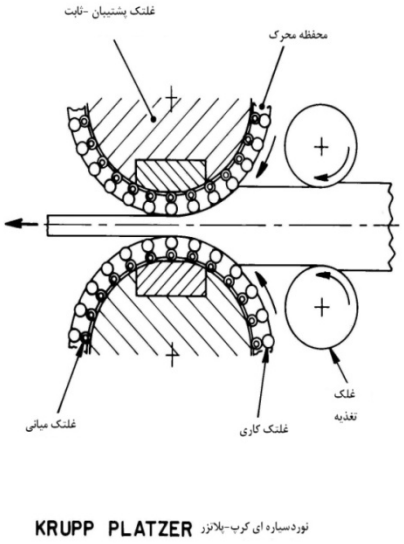
همانطور که هر جفت ازغلتک های سیاره ای از قطعه کار جدا می شوند یک جفت دیگر از غلتک ها به قطعه برخورد میکنندو کاهش را تکرار می کنند.

کاهش کلی مجموع یک سری کاهش های کوچک توسط هر یک جفت از غلتک های سیاره ای است.بنابراین قفسه سیاره ای می تواند یک اسلب گرم را در یک پاس به تسمه نازکی تبدیل کند.این عملیات نیاز به غلتک های تغذیه کننده دارد تا تختال را بدرون غلتک اصلی هدایت کندویک جفت غلتکها در خروجی برای بهبود سطح نهایی تسمه است.

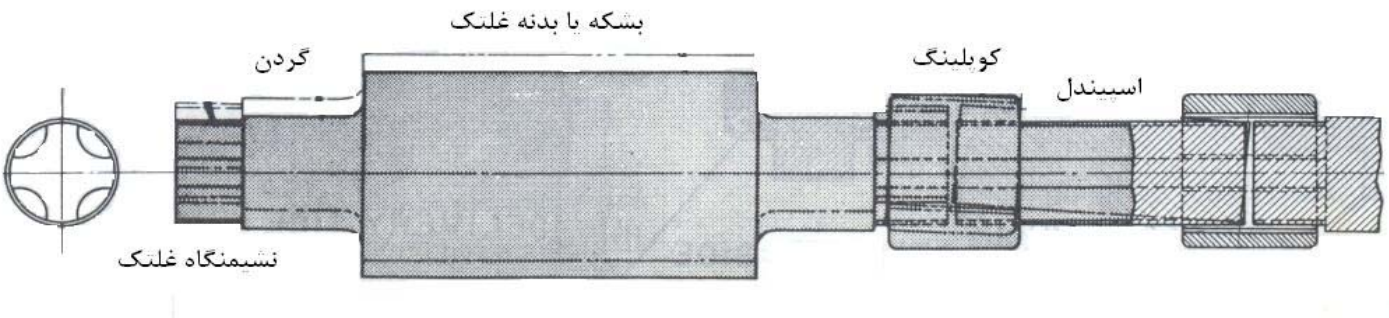
برای نورد سیاره ای دو نوع تکنولوژی وجود داردیکی توسط سندزمیر طراحی شد که شکل بالا می باشد .غلتک ها ی پشتیبان دارای نیـروی محرکه هستند و غلتک های کوچک هم توسط یک مکانیزم می چرخد .

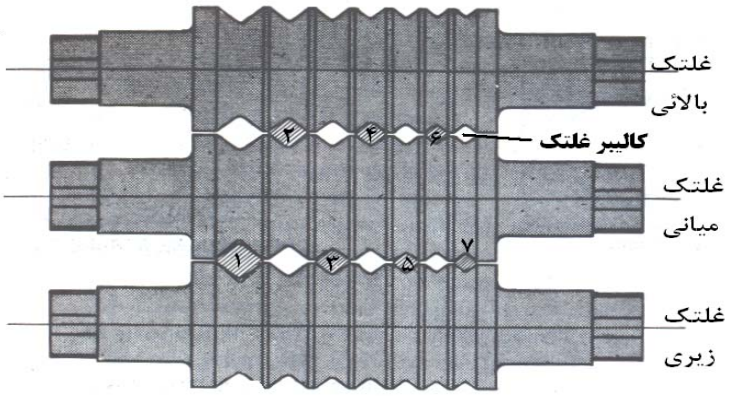
تکنولوژی دوم توسط کراپ(krupp)طراحی شد . غلتک خهای پشتیبان ثابت و غلتک های کاری توسـط غلتـک هـای کـوچکی از غلتـک پشتیبان جدا شده اند . این دو نوع غلتک توسط محرکه ای می چرخند .مزیت این روش حذف سیستم هل دهنده ورق بداخل غلتک است .



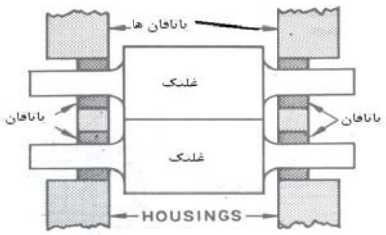


غلتک های نورد :غلتک نورد دارای دو قسمت است :یکی بدنه یا بشگه غلتک که قسمت اصلی غلتک است و کـار تغییـر شـکل را انجام میدهدو دیگری قسمت گردن غلتک که محل اتصال غلتک با موتور و گیربکس است و سر دیگر غلتک که روی یاتاقانهای قفسه قـرار میگیرد. شکل زیر نحوه قرار گیری غلتک های نورد را در یاتاقان ها نشان میدهد.

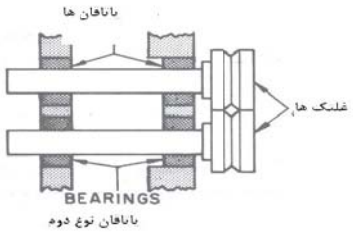




قفسه سه غلتکی که طی ۷ پاس رفت و برگشتی تغییر شکل انجام میشود



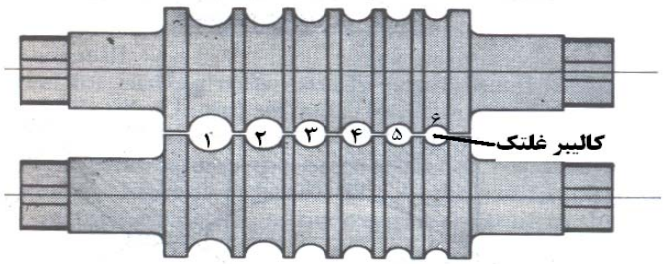
نوع رایج قرار گیری غلتک در یاتاقان ها

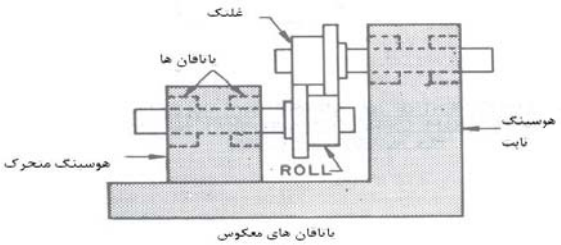


یاتاقان نوع دوم

نحوه استقرار غلتک در یاتاقان ها

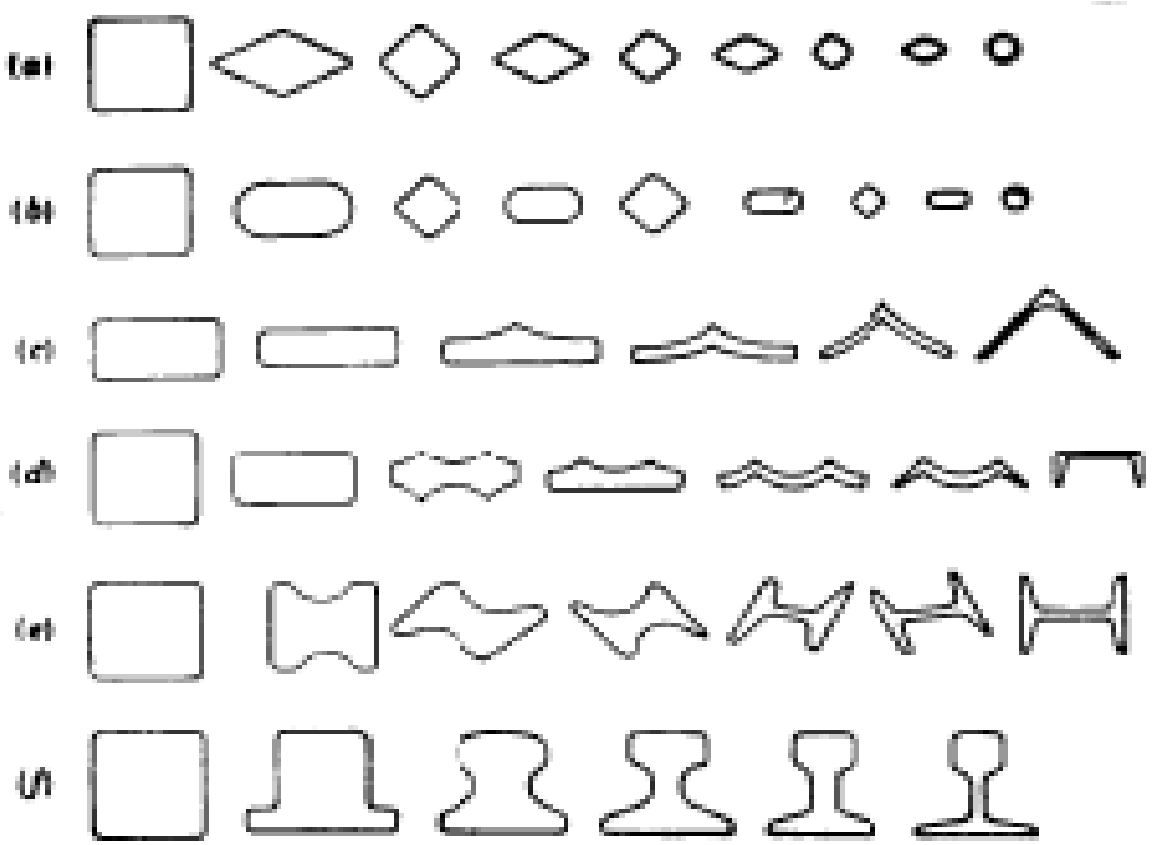
قفسه دو غلتکی رفت و برگشتی



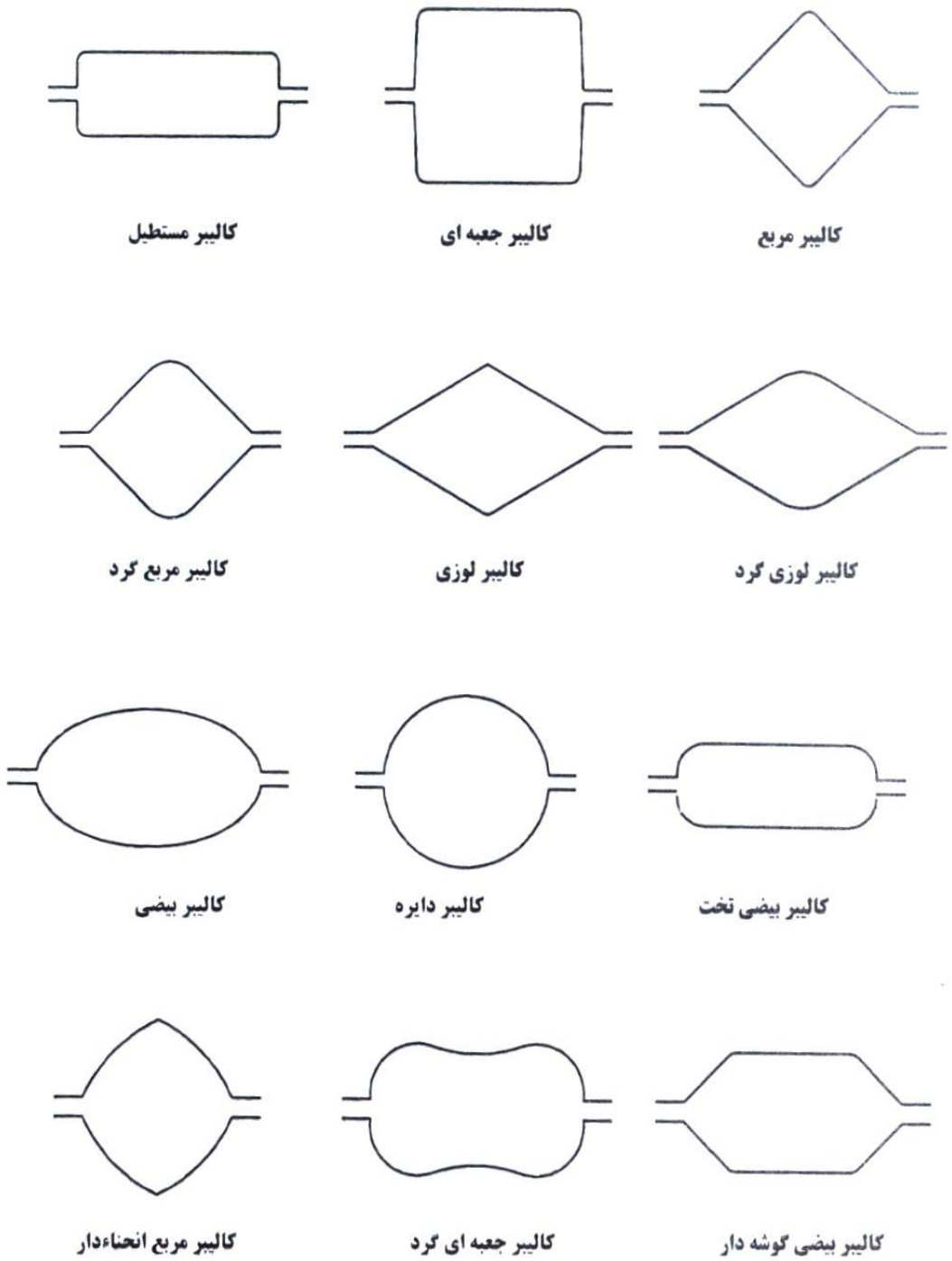


یاتاقان های معکوس

برای تولید ورق بدنه غلتک تخت است ولی برای تولید مقاطع بدنه غلتک به شکل مورد نظر نراشکاری میشود که شکل تراشکاری شده را کالیبر غلتک گویند. واحد طراحی کالیبر نقشه های تراشکاری غلتک را تهیه کرده و کارگاه تراش غلتک شکل کالیبر را روی بدنه غلتک ماشینکاری می کند . شکل صفحه بعد چند نوع محصول نوردی و شکل قطعه در هر کالیبر را نشان میدهد



شکل زیر چند نوع کالیبر را نشان میدهد.



شمای عمومی کالیبرهای آغازین و یا پیش نورد گرم مقاطع

فرآیند های مختلف نورد:

فرآیند های های نورد را به روش های مختلف طبقه بندی می کنند که مهم ترین این طبقه بندی ها عبارتند از :

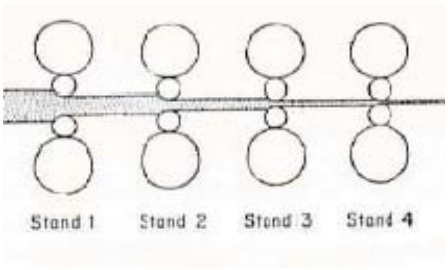
www.iran-mavad.com مرجع اینترنتی مهندسی مواد

نورد مداوم –نیمه مداوم و غیر مداوم

نورد عرضی

نورد مقاطع نورد حلقه نورد پودر نورد پیچ

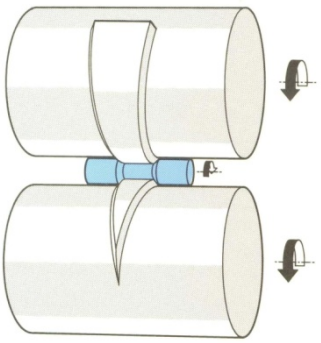
ریخته گری ونورد گرم مداوم



نورد مداوم : استفاده از یک سری قفسه که به فاصله های مشخص از هم قرار گرفته انـد.در هر لحظه قطعه کار در تمام قفسه ها وجـود دارد .بخـاطر قـانون حجـم ثابـت و کـاهش در ضخامت سرعت غلتک ها در هر قفسه با هم متفاوت است. سـرعت ورودی بـه هـر قفسـه معادل سرعت خروجی از قفسه قبلی است .نورد های امروزی از نوع مداوم هستند .

در نورد نیمه مداوم قطعه کار در یک گروه از قفسه ها قرار دارد و در غیر مداوم قطعه کار در هر لحظه تنها در یک قفسه است.

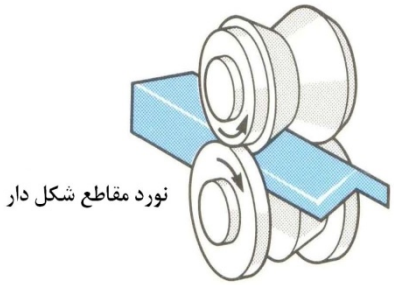
نورد عرضی



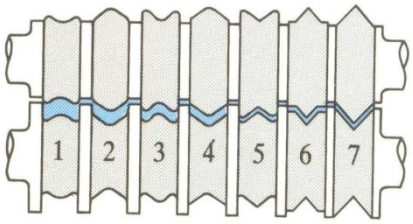
نورد عرضی: در این روش از غلتک گوه ای مدور استفاده میشود. میله حرارت داده شده بـه طـول مشخص بریده شده و بداخل غلتک ها بصورت عرضی وارد میشود. غلتک ها در یک جهت می چرخند.

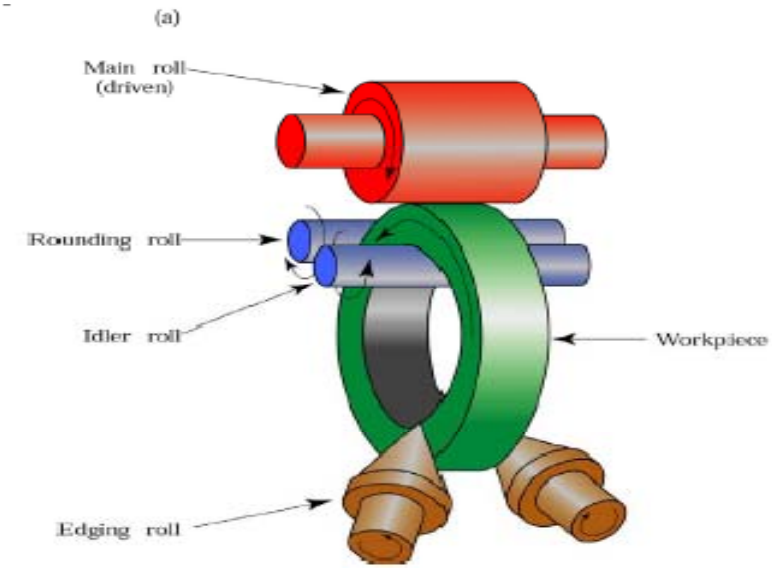
نورد ورق شکلدار: نوع خاصی از نورد سرد است که در آن ورق تخت به تدریج با عبور از یک سـری غلتک ها خم می شود وبه اشکال پیچیده تبدیل میشود .هیچ تغییری در ضـخامت فلـز در طـول فرآیند بوجود نمی آید.این روش برای تولید قطعاتی مانند کانالهای با شکل نا منظم بکار میرود .

نورد حلقه :شکل زیر نورد حلقه را نشان میدهد ، کـاهش ضـخامت باعـث افـزایش قطرحلقه می گردد. در این روش از حلقه های اولیه حلقه یا رینگ های نازک و بزرگتر تولید میشود .معمولا رینگ های بزرگ در حالت گرم و رینگ هـای کوچـک در حالـت سردتولید میشوند. پوسته بلبرینگ ها – حلقه های فولادی- رینگ مخازن تحت فشار از کاربرد های این روش است.

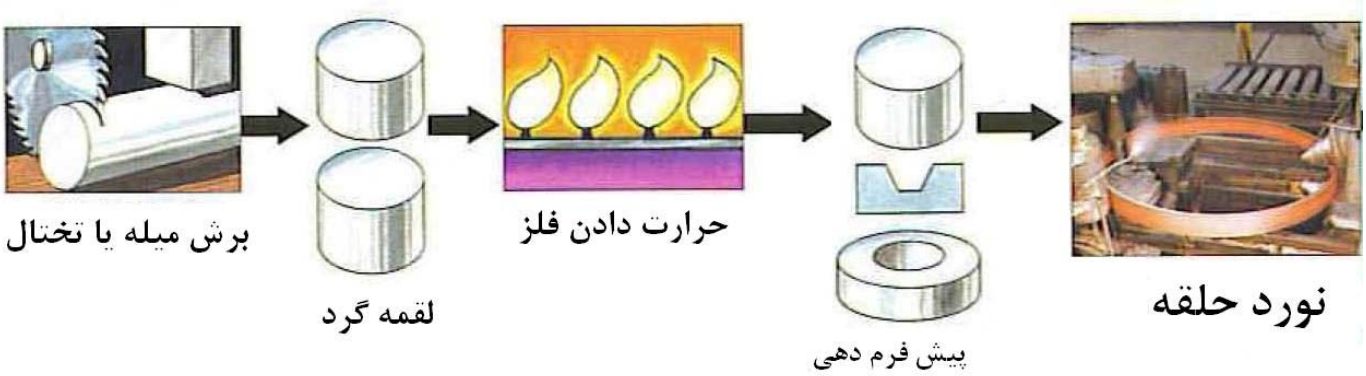


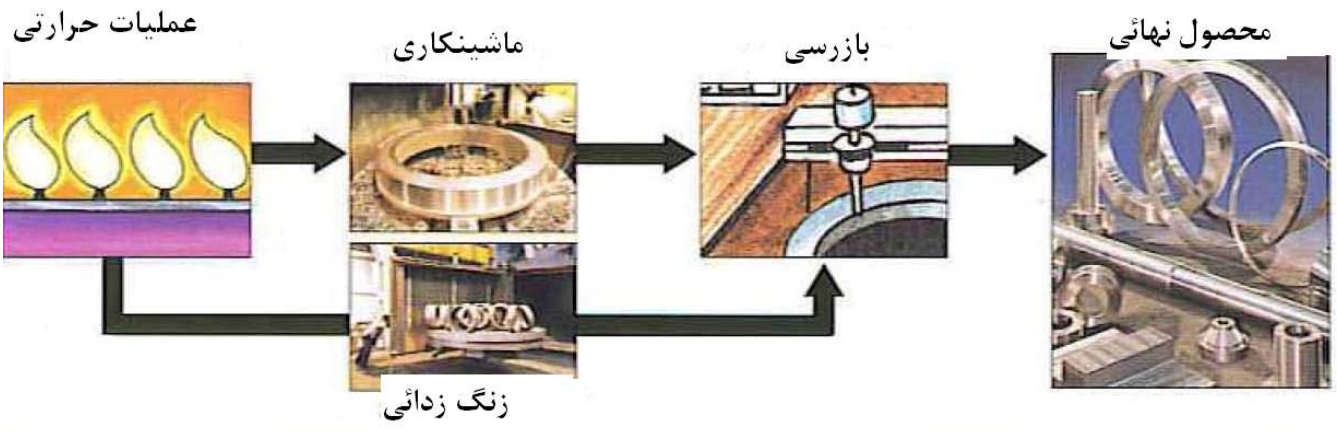
نورد مقاطع شکل دار



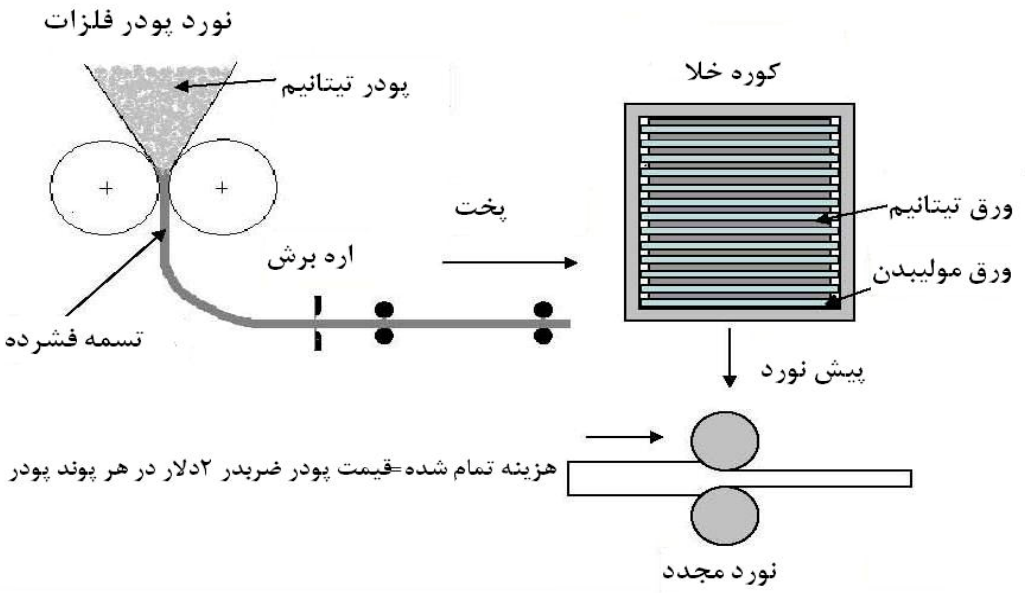


شکل صفحه بعد مراحل تولید حلقه را نشان میدهد.

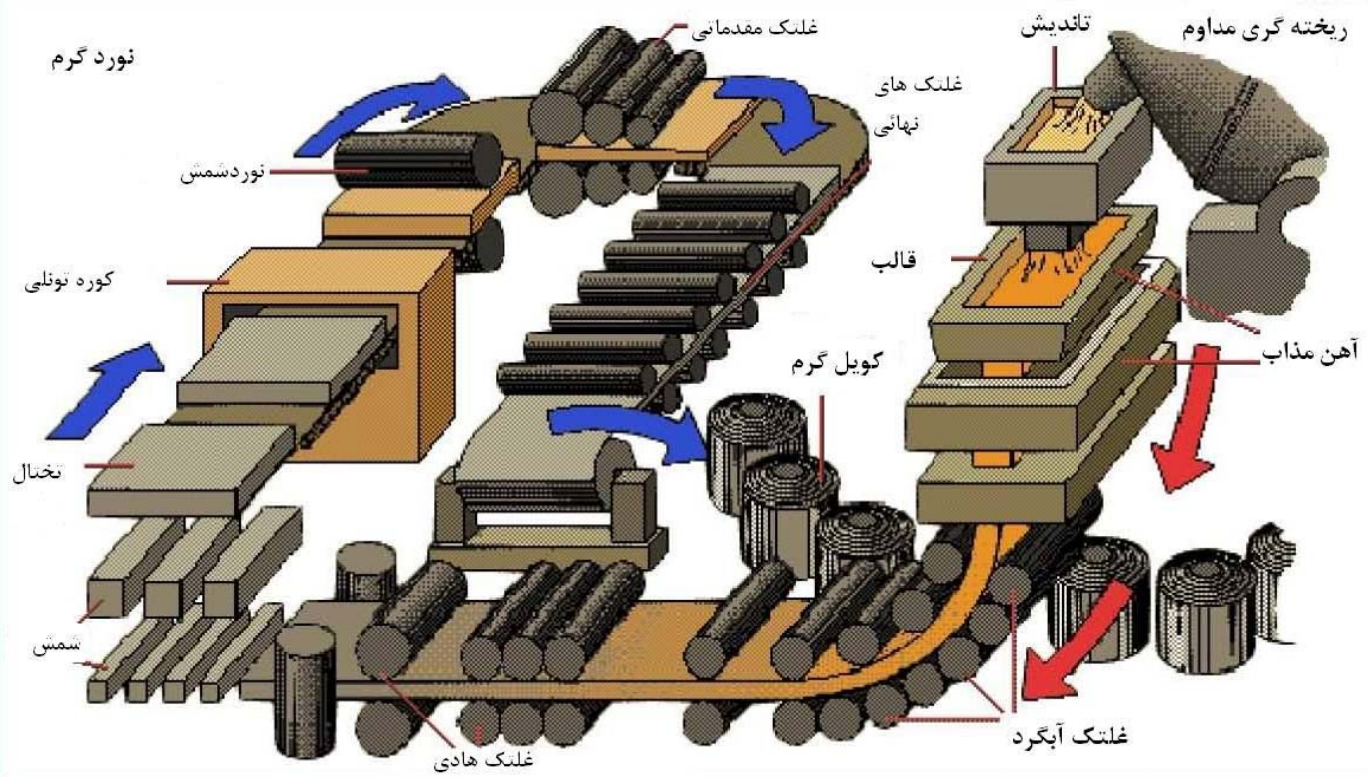




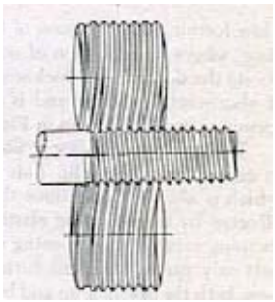
نورد پودر: پودرفلزدر بین غلتک ها ریخته شده و در اثر فشار به تسمه خام تبدیل میشود. این تسمه استحکام کافی نـدارد چـون اتصـال پودر ها بهم مکانیکی است. این تسمه در مراحل بعدی وارد کوره پخت شده و تف جوشی میشود تا استحکام کافی بدست آورد . در مراحـل بعدی تغییر شکل سرد یا گرم روی آن انجام میشود.این روش برای تولید قطعات با کیفیت بالا از نظر دانه بندی و ریز بودن دانـه هـا بسـیار خوب است.

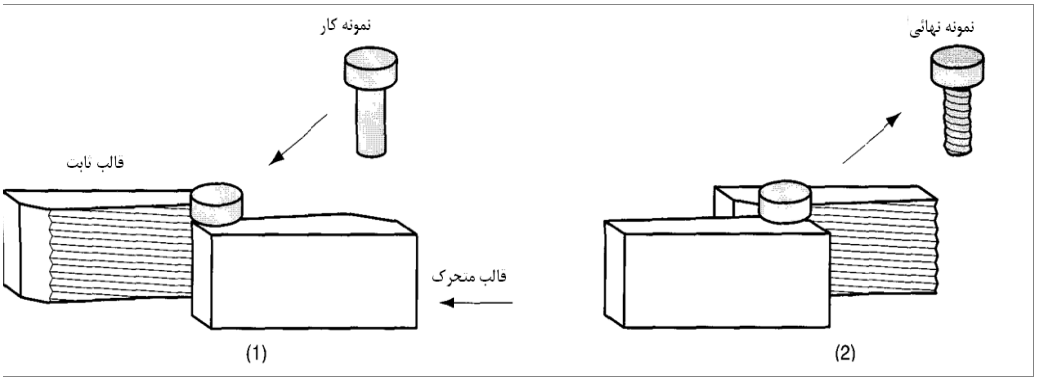


ریخته گری ونورد گرم مداوم :نمونه آن میتوان به طرح سبا فولاد مبارکه اشاره کرد. در واحد های قدیمی شمش یا تختال درواحد ریخته گری تولیدشده و بعدا حین انبارداری حرارت خود را از دست میداد . واحد نورد گرم مجبور بود این شمش را برای نورد مجددا در کوره پیش گرم حرارت دهد. ملاحظه میکنید که در هر دو مرحله اتلاف انرژی زیادی خواهد بود . در واحد ریخته گری و نورد مداوم شمش بدون توقف مستقیما از واحد ریخته گری به واحد نورد ارسال و نورد میشود . چون حین انتقال کمی حرارت خود را از دست میدهد از کوره تونلی برای جبران این حرارت از دست رفته استفاده میشود . در این طرح مصرف انرژی بنحو قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.



نورد پیچ: قالبها به سطح استوانه ای قطعه فشارمی آورند.در نتیجه فلز حالت خمیری پیدا کرده و شکل دندانه ای به خود میگیرد.





نورد گرم:در نورد گرم عمل تغییر شکل بالای دمای تبلور مجدد انجام میشود . برای فولاد های کربنی دمای نورد حدود ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد می باشد . برای گرم کردن شمش و رسیدن به این دما شمش قبل از نورد در کوره هائی حرارت داده میشود .اولین مرحله در نورد گرم حرارت دادن شمش یا تختال در کوره است . کوره های نورد به کوره پیش گرم معروف هستندو از نوع کوره های مداوم هستند . یعنی شمش سرد از یک طرف وارد شده و شمش گرم از سمت دیگر خارج میشود و شمش در کف کوره حرکت می کند .این کوره ها به سه گروه کلی تقسیم میشوند.

۱- کوره ساده یا پوشری ۲-کوره گام بر دار ۳-کوره غلتکی

کوره ساده یا پوشری :کوره های هل دهنده یا پوشری ساده ترین نوع کوره های نورد هستند.چون مکانیزم حرکت شمش در کوره با هل دادن شمش می باشد به این کوره ها پوشری یا هل دهنده گویند .ساختمان این کوره ها بسیار ساده می باشد . تشکیل شده است از یک

اطاقک فلزی که کف و دیواره های آن نسوز کاری شده و قسمت دیواره ها توسط سیستم آبگرد خنک میشود که دمای بدنه از حدی بیشتر نشود . عرض این کوره ها بستگی به طول شمش مورد استفاده دارد و طول کوره بستگی به راندمان حرارتی کوره دارد . معمولا طول بین ۱۵ تا ۳۵ متر و عرض ۲ تا ۱۱ متر است. هر چه سرعت انتقال حرارت از کوره به شمش بیشتر باشد زمان توقف شمش در کوره کمتر و در نتیجه طول کوره کوتاه تر است . این کوره ها بر اساس میزان شمش خروجی از کوره مشخص میشوند . مثلا کوره با ۱۰۰ شمش در ساعت . گرم کردن شمش در کوره توسط مشعل هائی می باشد که در دیواره و در طول کوره به فاصله های مشخصی نصب شده است . سوخت این مشعل ها گاز طبیعی یا در واحد هائی مثل ذو ب آهن ترکیبی از گاز طبیعی و گاز کوره بلند است . گاز طبیعی با هوای گرم ۶۰۰ درجه سوخته و گرمای مورد نیاز را تامین می کند .

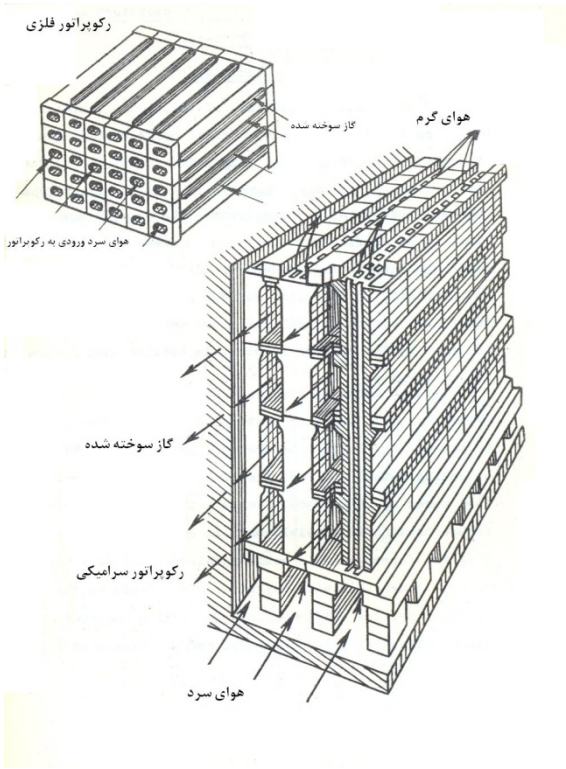
شارژ شمش در این کوره ها توسط سیستم شارژ که یک بازوی هل دهنده می باشد انجام میشود . شارژ کوره معمولا از بغل یا از پشت کوره می باشد . به ازای هر شمشی که به کوره شارژ میشود شمشی از سر دیگر کوره خارج و وارد خط نورد میشود .

مکانیزم انتقال حرارت در این کوره ها در قسمت اول کوره(منطقه پیش گرم) بر اساس همرفتی و در انتهای کوره بر اساس تابش می باشد . کوره ها را به سهمنطقه حرارتی تقسیم می کنند .

قسمت پیش گرم قسمت ورودی کوره می باشد . طول منطقه پیش گرم ۳۵ تا۵۰ درصد طول کوره است .در این منطقه برای شمش های با ضخامت کم مشعل ندارد ولی برای شمش ضخیم دارای مشعل میباشد . در این قسمت دمای شمش از دمای محیط تا حدود ۷۰۰ درجه سانتی گراد می رسد . مکانیزم انتقال حرارت در این قسمت همرفتی است . با عبور گاز های سوخته شده که جهت حرکت آنان عکس حرکت شمش است و با برخورد آنها به سطح بالائی شمش انتقال حرارت انجام میشود . به همین خاطر سقف این قسمت کوره پائین تر است تا بر خورد گازها به سطح شمش بیشتر باشد .

قسمت حرارتی:در این قسمت دمای سطح شمش به دمای مورد نیاز نورد می رسد ولی مرکز شمش هنوز به دمای مطلوب نرسیده است . مکانیزم انتقال حرارت در این قسمت کوره تا بشی است به همین خاطر سقف کوره را کنگره ای می سازند تا سطح تابش بیشتری باشد .طول منطقه حرارتی ۳۰ تا ۴۰ درصد طول کوره است.درجه حرارت کوره در این منطقه ۱۴۰۰تا ۱۴۵۰ درجه سانتی گراد است .

قسمت یکنواخت کننده:این قسمت که انتهای کوره است شمش مدتی در کوره می ماند تا دمای سطح و مرکز آن یکی شود به همین خاطر منطقه یکنواخت کننده گویند . مکانیزم انتقال حرارت در این محدوده نیز تابشی است . طول منطقه یکنواخت کننده بین ۱۰ تا ۳۰ درصد طول کوره است .

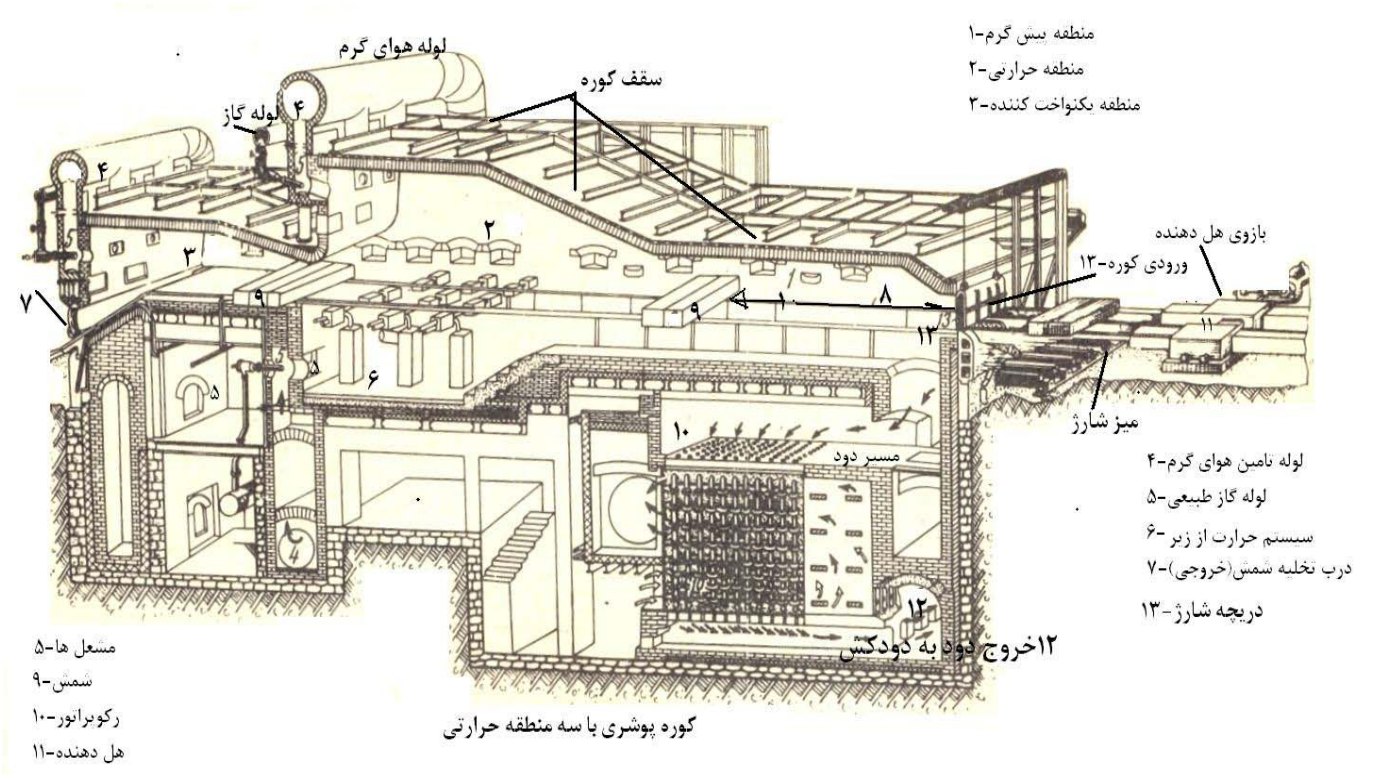


برای تامین هوای گرم مورد نیاز مشعل ها از سیستم رکوپراتور استفاده می کنند . در زیر کوره زیر زمینی هست که گاز سوخته شده بعد از خروج از کوره وارد این زیر زمین میشود.

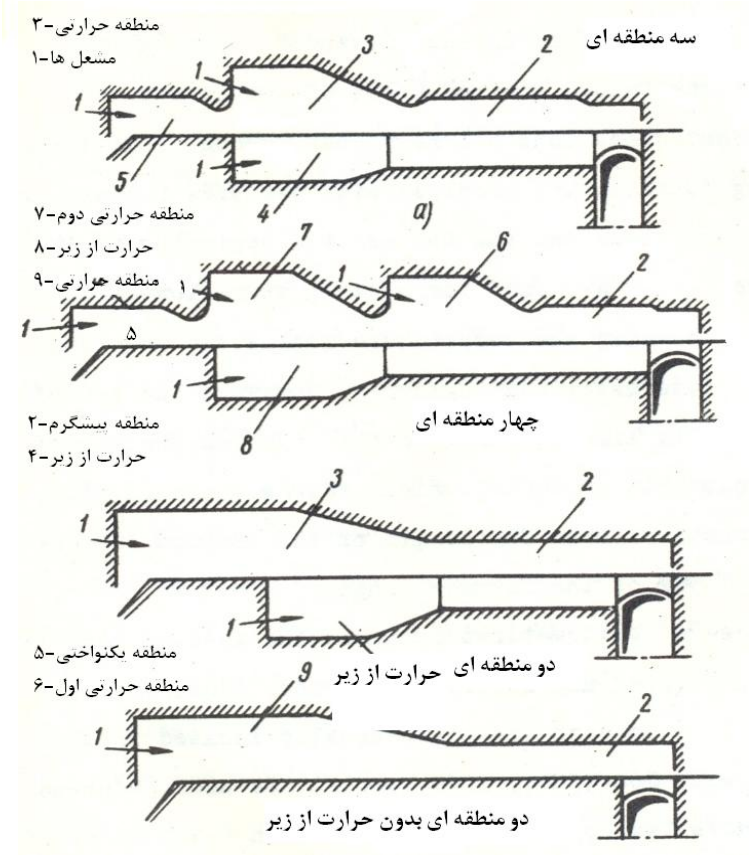
رکوپراتور ها دو نوع هستند .نوع اول لوله های فولادی هستند که از داخل آنها هوای سرد عبور می کند. گاز سوخته شده از طریق این زیر زمین وارد دود کش میشوند . گاز های سوخته شده در برخورد با این لوله ها گرمای خود را به هوای سرد داخل لوله ها داده و در نتیجه هواگرم شده و وارد مشعل ها میشوند . دمای هوا در این لوله ها به ۳۰۰تا ۴۰۰ درجه سانتی گراد میرسد . نوع دوم رکوپراتور های سرامیکی هستند که دمای هوا در این رکوپراتور به ۵۰۰تا ۶۰۰درجه میرسد. گاز سوخته شده در ورودی رکوپراتور ۸۰۰تا ۱۰۰۰درجه سانتی گراد و در خروجی آن به ۶۰۰تا ۸۰۰ درجه میرسد . ملاحظه می کنید که در دود خروجی کوره مقدار زیادی انرژی گرمائی وجود دارد که وارد اتمسفر میشود . شکل روبرو دو نوع رکوپراتور سرامیکی و فلزی را نشان میدهد .

کوره ها را براساس تعداد مناطق حرارتی نیز طبقه بندی می کنند که به یک منطقه ای دو –سه- چهار منطقه ای میتوان تقسیم کرد .

در کوره های پوشری چون شمش ها کنار هم قرار دارند انتقال حرارت فقط از سطح بالائی شمش انجام میشود در نتیجه مدت زمان انتقال حرارت طولانی است و این کوره ها برای شمش های ضخیم مناسب نیستند . برای این گونه شمش ها نحوه حرارت دادن از بالا و از زیر است به همین خاطر کف این کوره پوشیده نیست و شمش روی دو تیر طولی در کف کوره حرکت میکند .این تیرها آبگرد است وتعدا آن بستگی به عرض کوره دارد .شکل زیر یک کوره پوشری با منطقه حرارتی زیر و بالا را نشان میدهد .



کوره پوشری با سه منطقه حرارتی



شکل زیر انواع کوره پوشری را بر اساس مناطق حرارتی نشان میدهد .

مزایای کوره پوشری

۱-ارزان بودن در مقایسه با سایر کوره ها

۲-نفر ساعت پایین به ازای هر تن فولاد

۳-سادگی شارژ شمش و سادگی حرکت شمش در کوره

۴-کنترل بهتر دمای شمش در کوره

۵-سهولت ساخت و نصب

۶-سهولت بهره برداری

معایب کوره های پوشری

۱-سرعت کم انتقال حرارت

۲-توقف طولانی در کوره و اکسید شدن سطح شمش

۳-مصرف بالای سوخت

۴-اتلاف حرارتی بالا

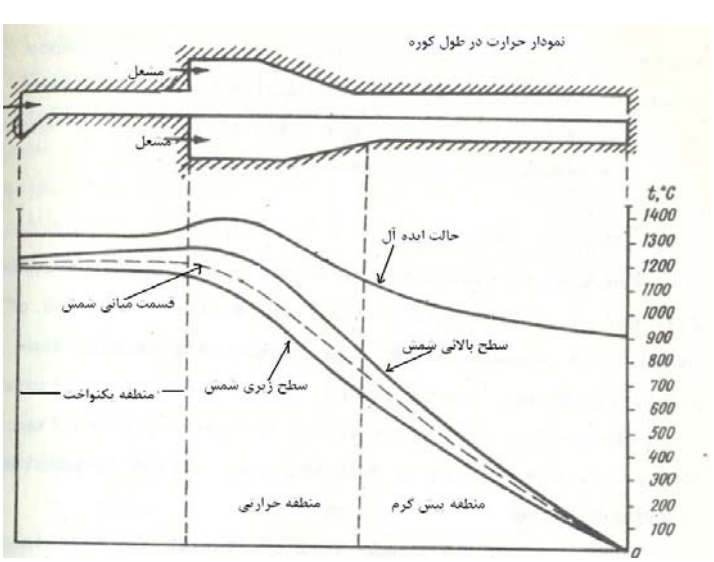
۵-پیچیدگی شمش در اثر انتقال حرارت غیر یکنواخت

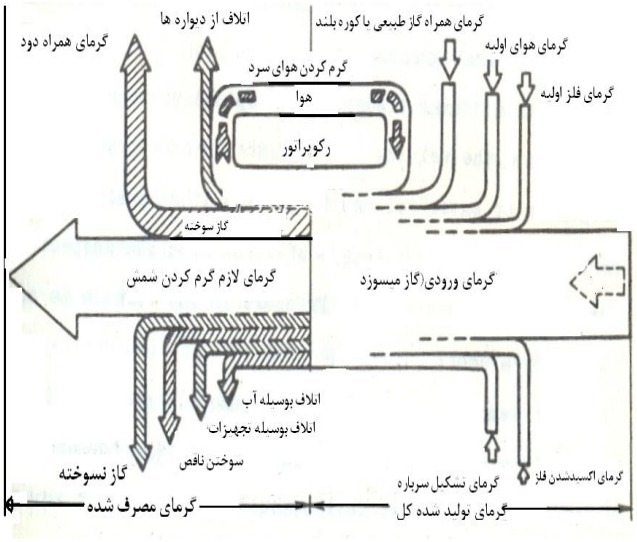
۶-برای ضخامت شمش بالا مناسب نیست.

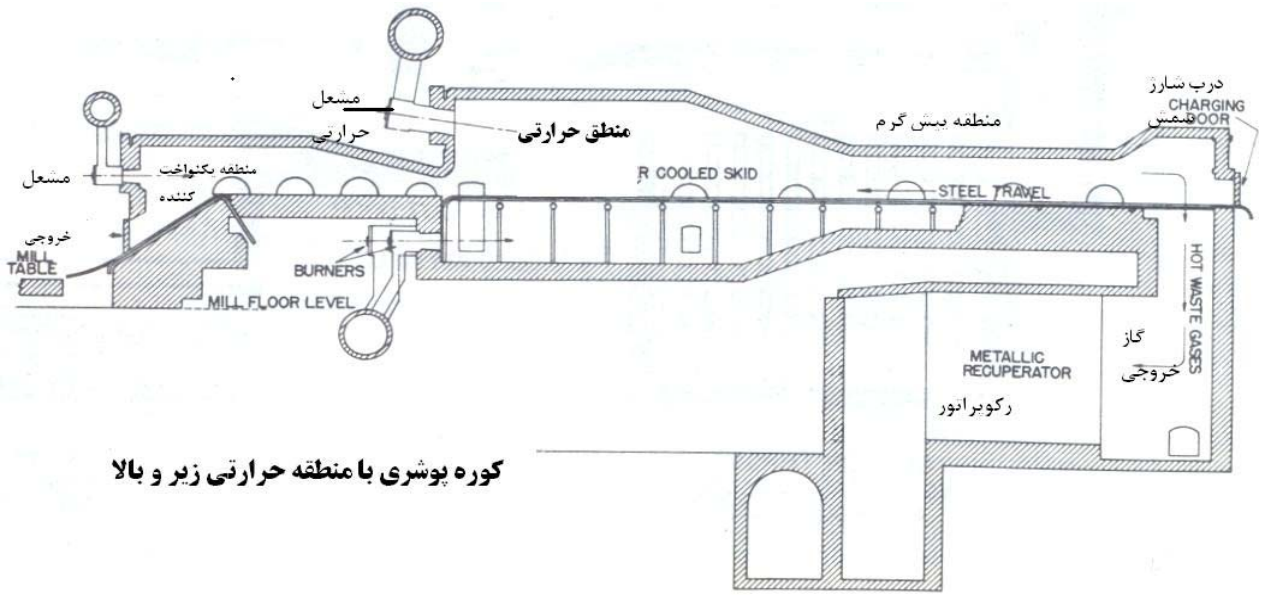
۷-سختی تخلیه شمش در مواقع تعمیرات

۸-سایش کف کوره در اثر حرکت شمش

شکل زیر منحنی توزیع حرارت در طول کوره پوشری را نشان میدهد .همچنین شکل بعدی بالانس حرارتی در این کوره را نشان میدهد.







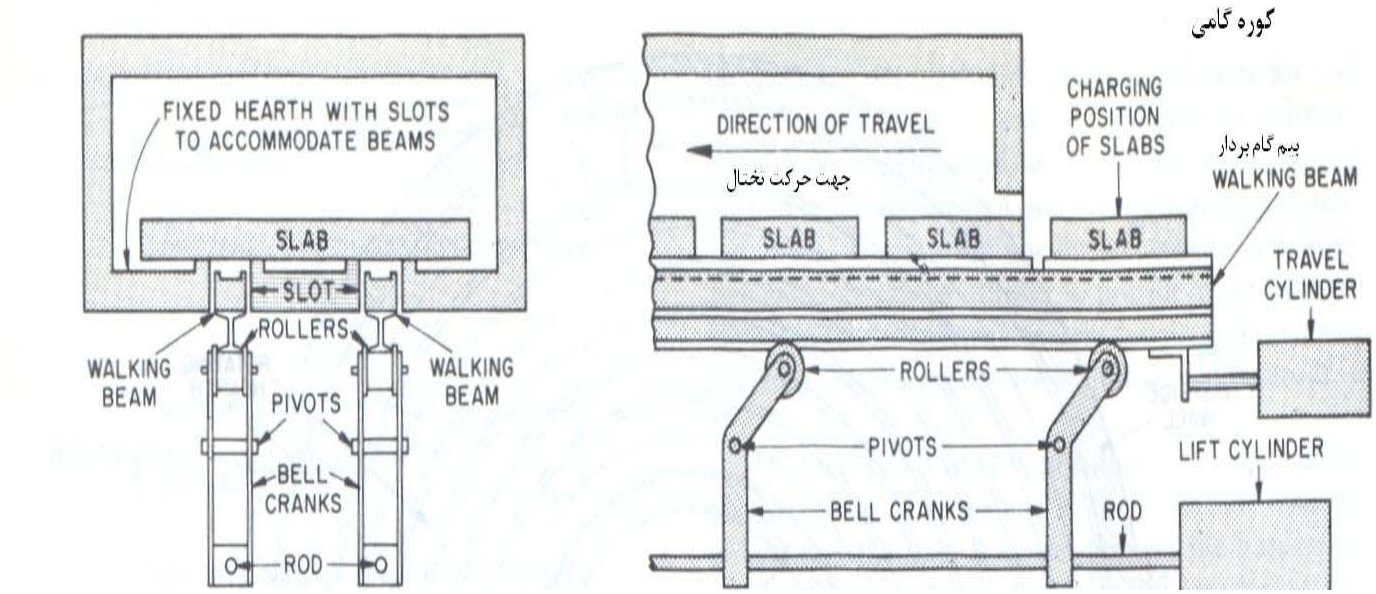
کوره پوشری با منطقه حرارتی زیر و بالا

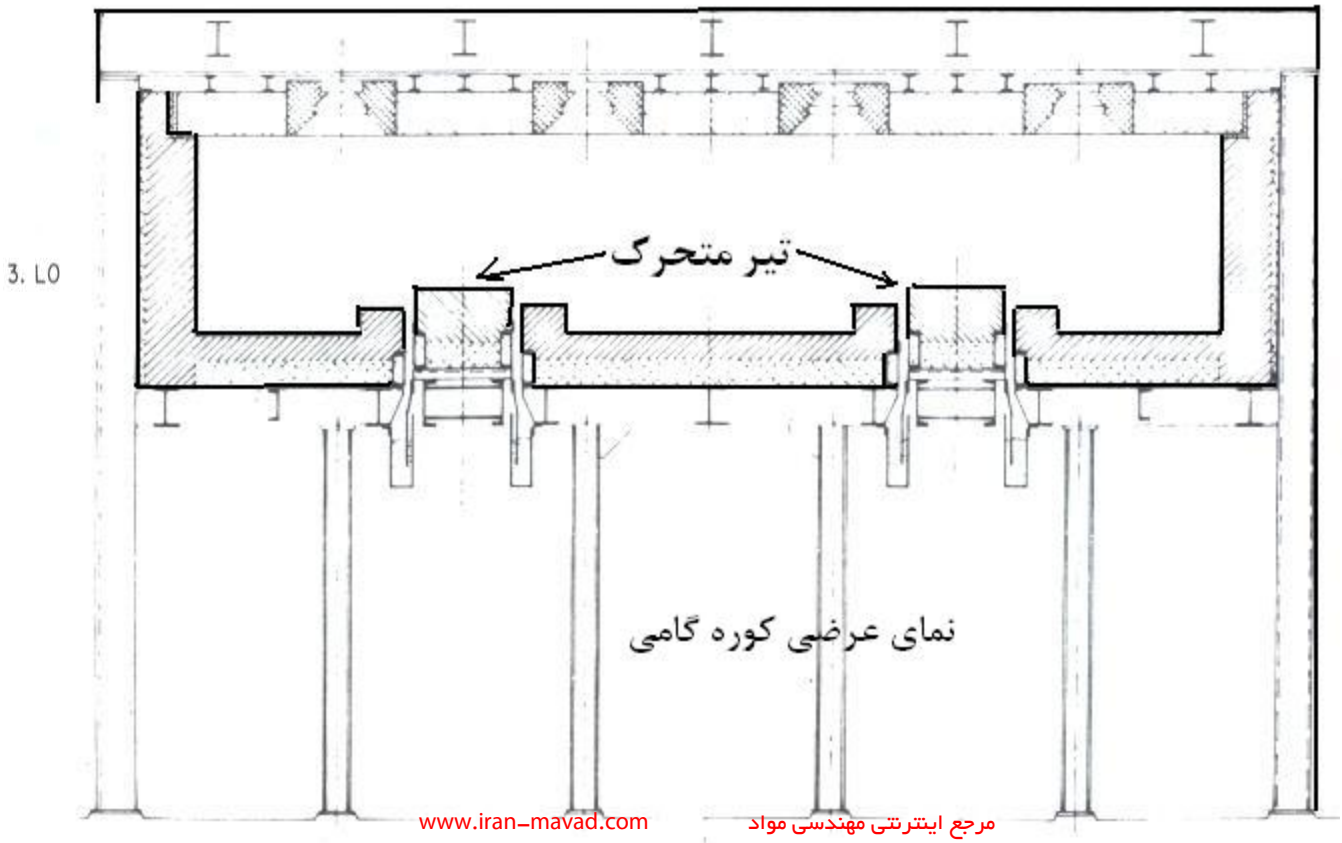
کوره گامی: نوع دیگری از کوره ای پیش گرم است . در این کوره شمش با گام بر داشتن در کف کوره به سمت جلو میرودبه همین دلیل این کوره ها را کوره های گامی یا گام بر دار گویند . این کوره با کوره پوشری چند تفاوت اساسی دارد :

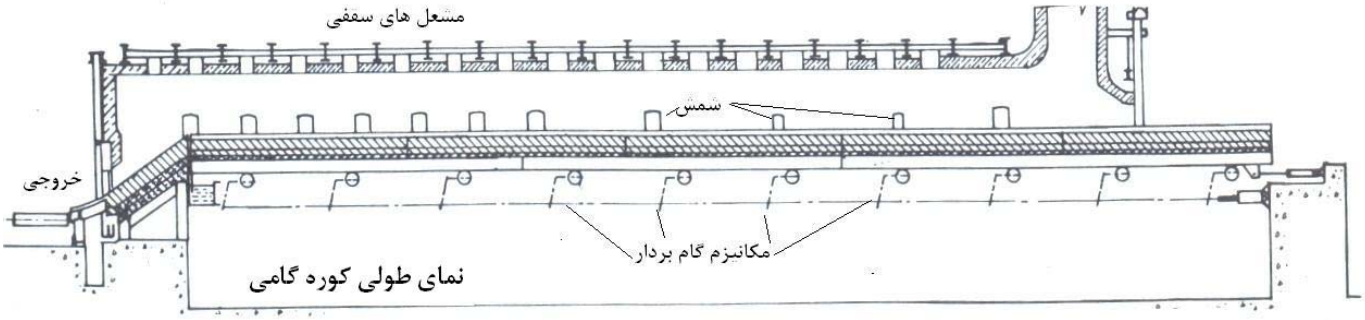
۱- حرکت شمش در کوره با گام زدن است نه هل دادن

۲- سقف کوره صاف و مشعل ها در سقف نصب شده و انتقال حرارت تابشی است .
۳- برای شمش های ضخیم تر کاربردی تر است چون بر خلاف کوره پوشری که شمش ها به هم چسبیده و انتقال حرارت از یکسو انجام میشود در این کوره ها شمش ها از هم فاصله داشته و انتقال حرارت از سه جهت انجام میشود .
۴- زمان توقف شمش در این کوره ها کوتاه است و مصرف انرژی پائین .
۵- میزان اکسید شدن شمش کمتر است .
۶- سایش کف کوره وجود ندارد
عیب این کوره ها پیچیدگی مکانیزم حرکت شمش و بالا بودن سرمایه گذاری اولیه است .

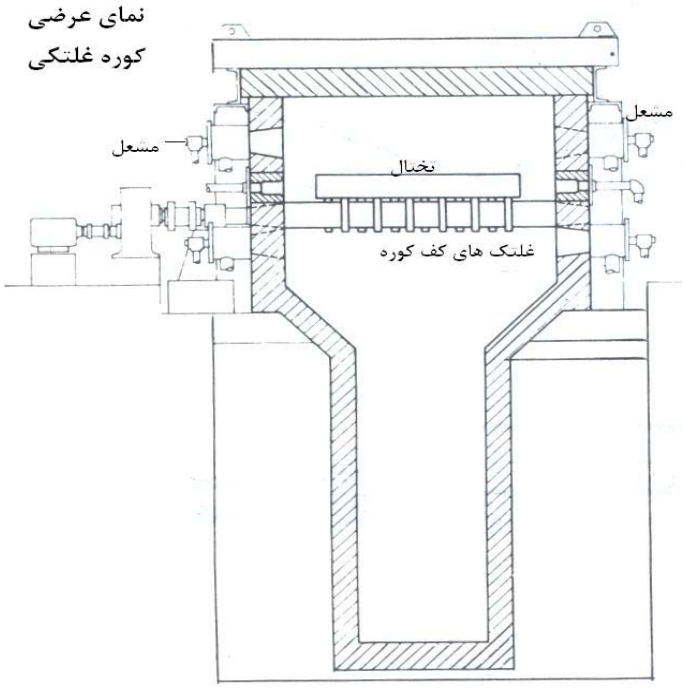
شکل زیر یک نوع کوره گامی را نشان میدهد . در کف کوره تیر هائی وجود دارد که طی چهار حرکت شمش را به جلو هدایت می کنند . این تیر ها با سیستم آب خنک میشوند .با بالا آمدن تیر ها تمامی شمش ها از کف ثابت کوره بلند شده و با حرکت تیر ها به سمت جلو شمش ها نیز به جلو حرکت می کنند . در حرکت سوم تیر ها پایین آمده و در نتیجه شمش ها در کف کوره قرار می گیرند . در حرکت چهارم تیر ها مجددا به حالت اولیه بر میگردند .





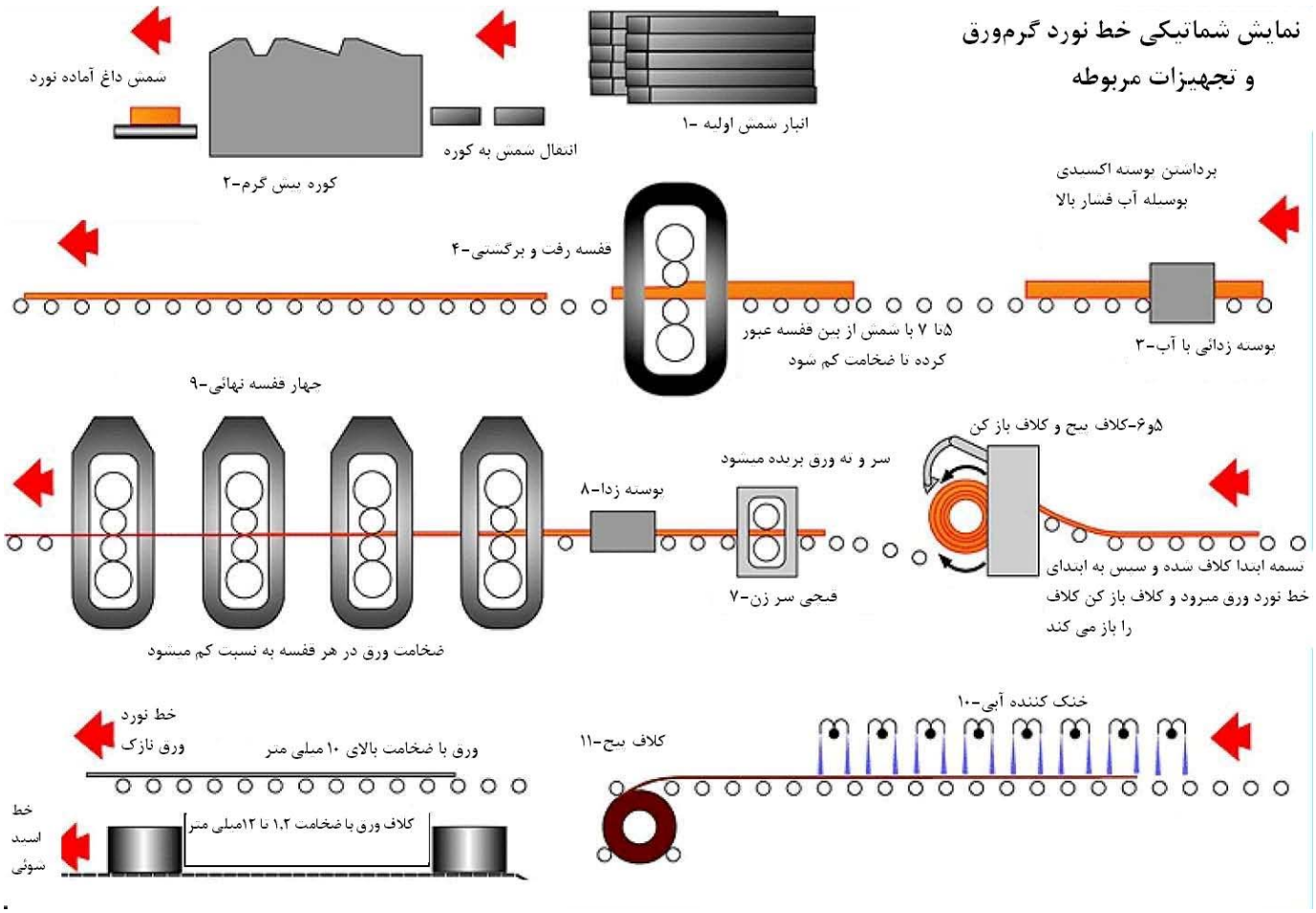


کوره های گامی و پوشری برای گرم کردن شمش و شمشه مناسب هستند و برای حرارت دادن تختال (اسلب)از کوره های غلتکی استفاده میشود .در کف این کوره غلتک هائی وجود دارد که با چرخش ملایم خود بآهستگی تختال را به جلو هدایت می کند .



این غلتک ها آبگرد هستند که بیش از حد داغ نشوند . مکانیزم انتقال حرارت مشابه کوره پوشری است . این کوره ها برای تختال طراحی شده و برای طول های بلند مناسب است .هزینه سرمایه گذاری اولیه نسبتا بالاست و بخاطر خنک شدن غلتک ها با آب اتلاف حرارتی نسبتا بالاست .

نورد گرم:شکل زیر خط نورد گرم ورق را نشان میدهد . اولین قفسه در نورد گرم از نوع دو غلتکی رفت و برگشتی است که شمش را بنحو قابل ملاحظه ای تغییر شکل میدهد. هدف از این مرحله تبدیل شمش ریخته گری شده به شمش نوردی یا تختال است. دمای نورد حدود۱۱۰۰ سانتی گراد است.



خروجی قفسه اول ورق تخت با ضخامت بالا(10 – 50 mm) است که در مرحله بعدی از میان مجموعه مختلفی از غلتک ها ی کـاری عبور داده میشود تادرهر مجموعه به طور متوالی ضخامت کاهش یابد.چون ضخامت ورق کاهش و طول آن بنحو قابل ملاحظه ای افزایش می یابد برای کم کردن فضای اشغالی ورق را بصورت کلاف در میآورند . اینکار توسط دستگاه کلاف پیچ در انتهای خط نورد انجام میشود .

در مراحل بعدی ورق با عبور از قفسه های مختلف ضخامت آن کاهش می یابد تا در نهایت به ورق ۱.۲ تا ۱۲ میلی متر ضـخامت تبـدیل میشود .پوسته های اکسیدی بایستی حتما قبل از نورد از روی سطح فلز برداشته شود چون حین نورد این پوسته ها نورد شده و باعث پوسته پلنگی شدن سطح ورق میشود . برای برداشتن پوسته از آب با فشار بالا استفاده می شود .

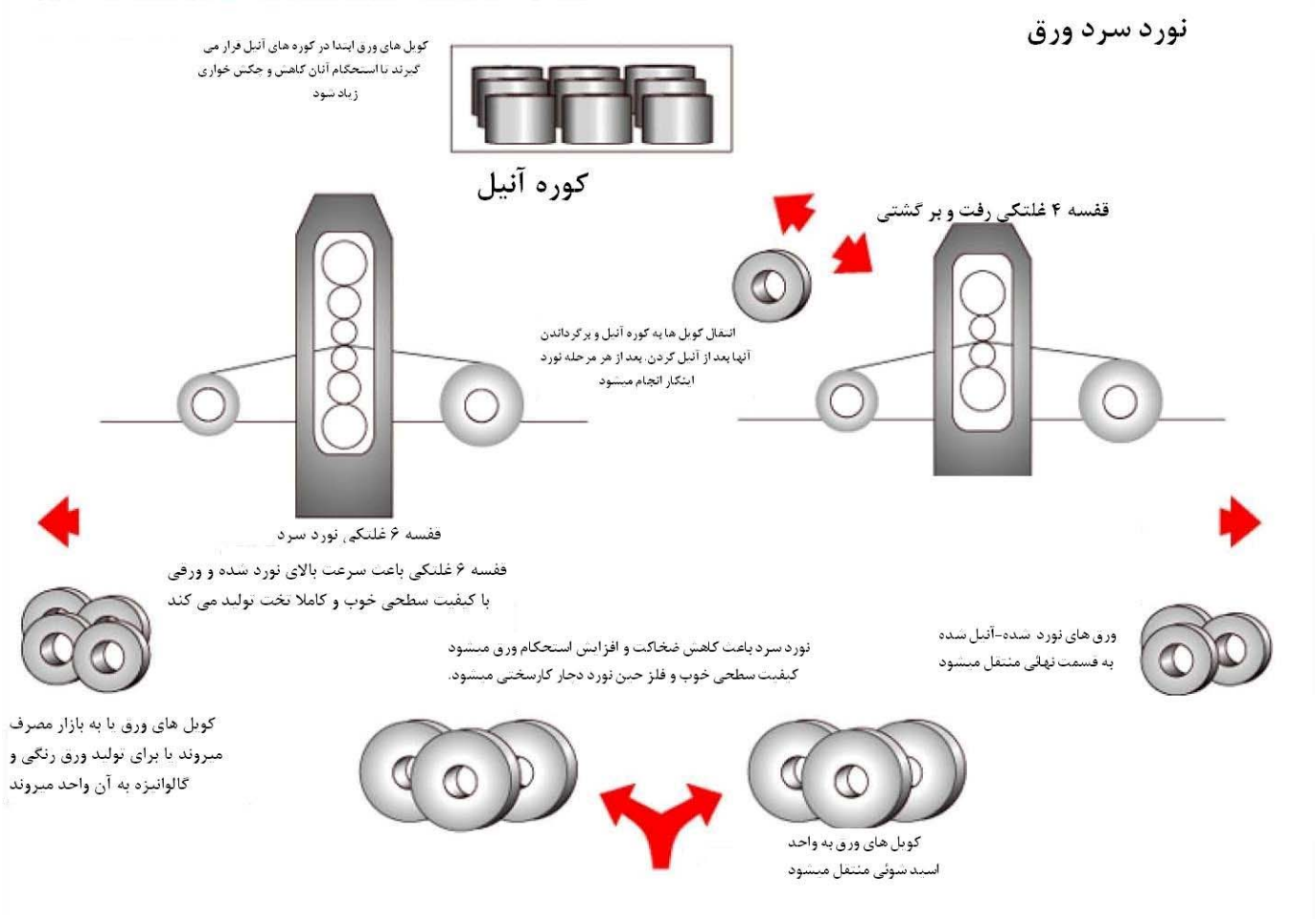
<u>نورد سرد</u>: زیر دمای تبلور مجدد انجام می شود وباعث کار سختی فلز میشود .

مواد اولیه برای نورد سرد ورق ، ورقی است به شکل کویل که در واحد نورد گرم پیوسته ورق تولید شده است.ورق قبل از نورد حتما اسید شوئی میشود تا پوسته های اکسیدی از سطح آن برداشته شود .

تغییر شکل کل حاصل شده در نورد سرد به طور کلی از حدود ۵۰٪ تا ۹۰٪ می باشد . محصول خروجی نـورد سـرد ورق یـا تسـمه بـا ضخامت۰/۰۱۵میلی متر تا ۴ میلی متر می باشد . در هر مرحله نورد بخاطر کار سختی و افزایش استحکام و کـاهش چکـش خـواری ورق هـا بایستی آنیل شوند . برای آنیل از کوره های آنیل با محیط گاز خنثی یا هیدروژن استفاده میشود .

کاهش در هر قفسه باید به طور یکنواخت توزیع شود، بدون اینکه افت زیادی زیر حداکثر کاهش برای هر بار عبور داشته باشد.به طور کلی به منظور کنترل بهتر تختی، اندازه و پرداخت سطح پایین ترین درصد کاهش در آخرین قفسه رخ می دهد

در نورد سرد محصولاتی با کیفیت سطحی عالی تولید می کنند (به دلیل دمای پایین هیچ پوسته اکسـیدی روی سـطح ورق تشـکیل نمیشود) . در مقایسه با محصولات نورد گرم به دلیل انبساط حرارتی کمتر تلورانس های ابعادی بهتری دارد.



طبقه بندی ورق نورد سرد

۱-ورق نرم(skin rolled):ورق هائی که در حالت سرد در حد .۵تا ۱ درصد نورد میشوند . در این حالت ورق دچار کارسختی نشده و سختی کمی دارد و میتوان تغییر شکل خای بیشتری روی آن انجام داد.

۲-ورق ربع سختی(quarter hard):تغییر شکل انجام شده روی ورق نسبتا بالاست . سختی ورق در حدی است که میتوان آنرا در جهت عمود بر نورد خم کرد بدون اینکه دچار پارگی شود .

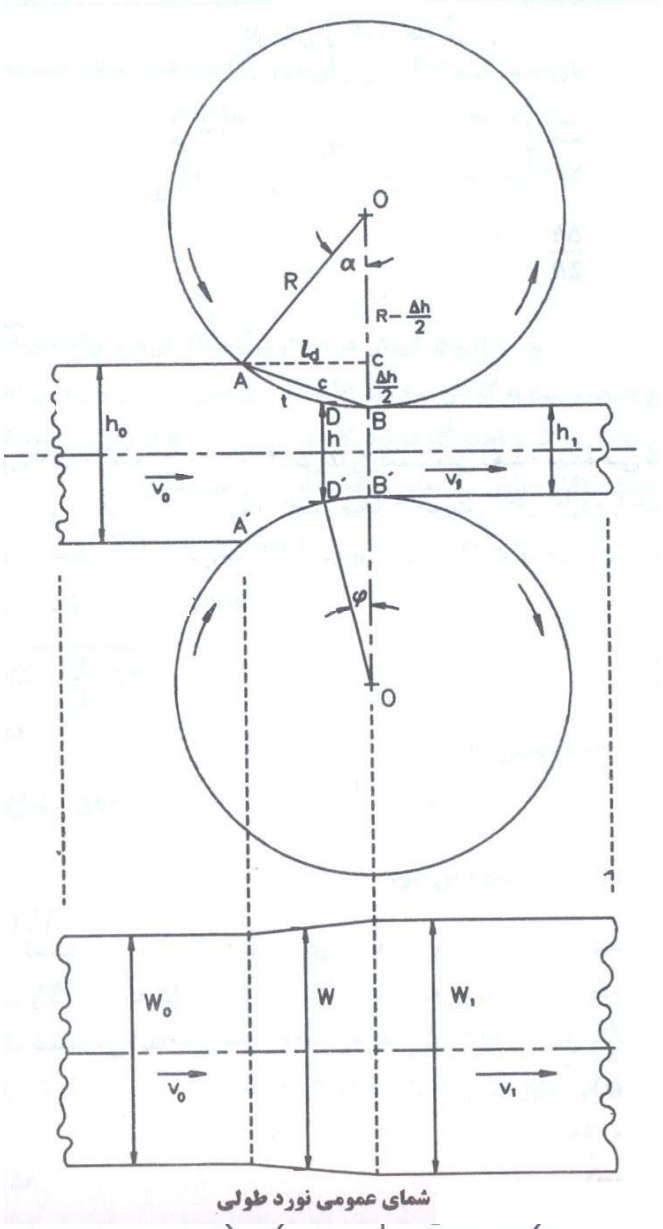
۳-ورق نیم سخت(half hard):ورق را میتوان تا ۹۰ درجه خم کرد بدون اینکه پاره شود .

۴-ورق تمام سخت(full hard):ورق را میتوان تحت نیروی فشاری تا ۵۰ درصد ضخامت را کم کرد یا اینکه تا ۴۵ درجه خم کرد بدون اینکه پاره شود .

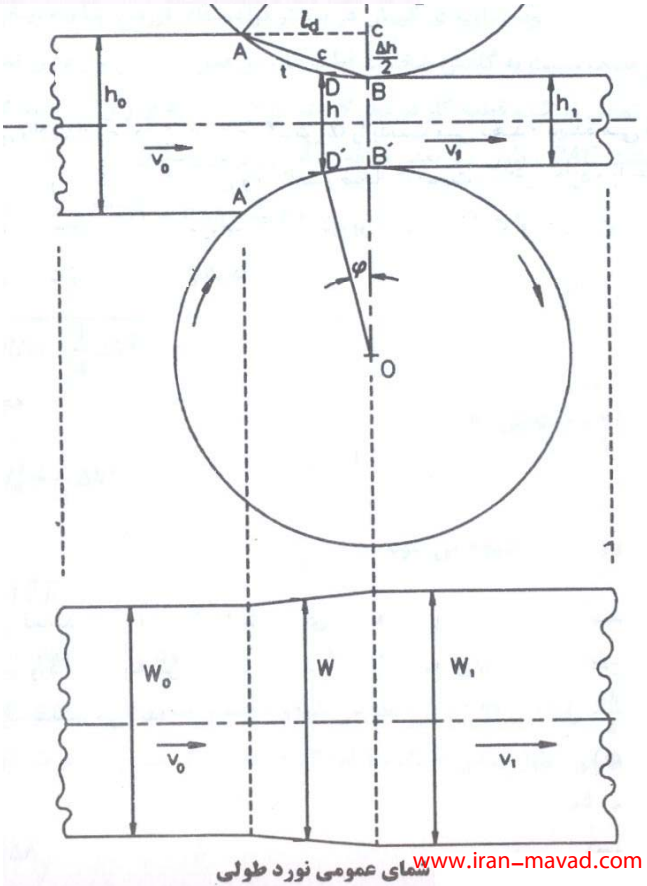
مفاهیم اولیه نورد :در این قسمت مفاهیم مربوط به نورد شامل پارامتر های تغییر شکل-نیروی نورد –کار تغییر شکل بررسی میشود. جهت سهولت کار حالت نورد ورق در نظر گرفته میشود .

پارامتر های نورد:

h0:ضخامت اولیه ورق(ضخامت ورودی به غلتک) **h_f: ضخامت اولیه ورق(ضخامت خروجی از غلتک)**



شمای عمومی نورد طولی



شمای عمومی نورد طولی

W0:عرض اولیه ورق **WF**:عرض نهائی ورق،فرض بر این است که در نورد ورق عرض تغییر نمی کند .

α:زاویه گیرش(زاویه برخورد ورق به غلتک)که نسبت به خط مرکزی اندازه گیری میشود .

φ:زاویه نورد،زاویه ای که هر قسمت قطعه در راستای افق با محور غلتک می سازد.حداکثر مقدار معادل α است

R:شعاع غلتک-برای ورق شعاع غلتک با شعاع بشکه غلتک یکی است اما در نورد مقاطع دو شعاع وجود دارد یکی شعاع بشکه غلتک که شعاع غلتک قبل از تراشکاری است و یکی شعاع کاری که شعاع غلتک در قسمت کالیبر است .

D:قطر غلتک که دو برابر شعاع است **D=2R**

V_0:سرعت اولیه ورق-سرعت ورق در ورودی غلتک

V_F:سرعت نهائی ورق-سرعت ورق در خروجی غلتک

V_R:سرعت خطی غلتک، $V=R\omega$ که ω سرعت زاویه ای غلتک بر حسب دور بر دقیقه است .

μ:ضریب اصطکاک بین غلتک و ورق

t:قوس تماس،قسمتی ازسطح غلتک که در تماس با ورق است **ADB**یا**A'D'B'**.

C:وتر قوس تماس،(طول**AB**) **L_d**:تصویر وتر قوس تماس در راستای افق(طول**AC**)

Δh:کاهش ضخامت در هر مرحله نورد $\Delta h = h_0 - h_f$

اگر زاویه ورودی معادل α باشد از روی هندسه شکل بالا میتوان نوشت:

$$\cos\alpha = \frac{R - \frac{\Delta h}{2}}{R} = 1 - \frac{\Delta h}{D}$$

از فرمول نتیجه میشود که زاویه گیرش باقطر غلتک نسبت معکوس و با کاهش ضخامت نسبت مستقیم دارد .

$$h = h_f + D(1 - \cos\varphi)$$

این رابطه ضخامت ورق زیر غلتک در زاویه φ میدهد.

L_d:تصویر وتر قوس تماس در راستای افق(طول**AC**)از پارامتر های مهم در نورد است . در واقع تمام فشار غلتک در روی این طول وارد میشود .

$$L_d = R^2 - (R - \frac{\Delta h}{2})^2 = (R\Delta h - \frac{1}{4}\Delta h^2)^{1/2}$$

www.iran-mavad.com
مرجع اینترنتی مهندسی مواد

از طرفی در مثلث ABCمیتوان نوشت:

$$AB^2 = L_d{}^2 + \frac{1}{4}\Delta h^2$$

ازساده کردن دو رابطه بالا رابطه جدید زیر بدست می آید:

$$L_d = \sqrt{R\Delta h}$$

از طرفی در مثلث OACمیتوان نوشت"

$$\sin\alpha = \frac{L_d}{R} = \frac{\sqrt{R\Delta h}}{R} = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$$

ازقانون حجم ثابت میتوان نوشت:

$$W_0 h_0 v_0 = b_f h_f v_f = b\ h\ v$$

با فرض اینکه عرض ورق تغییر نمی کند میتوان رابطه را ساده کرد و نوشت:

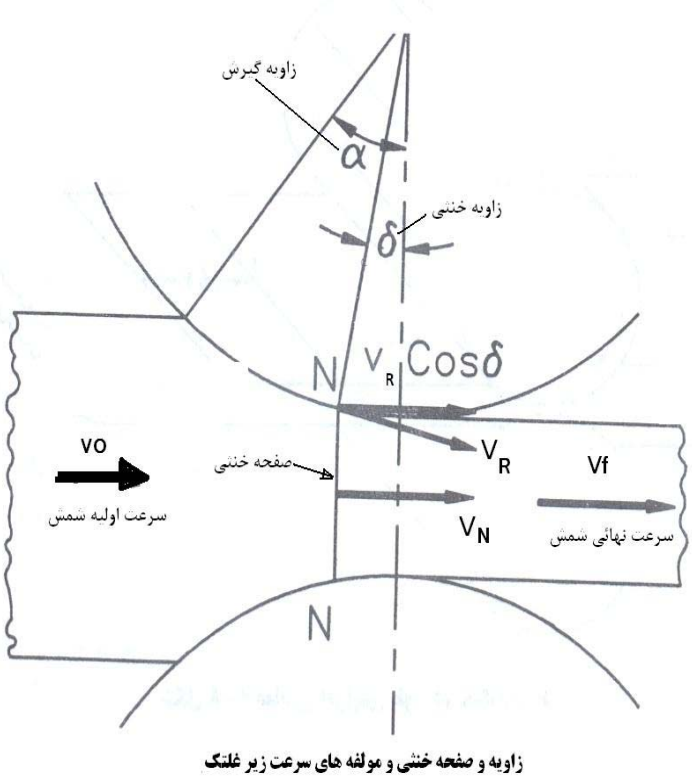
$$\frac{v_0}{v_f} = \frac{h_f}{h_0}$$

با توجه به کاهش ضخامت حین نورد سرعت بتدریج افزایش یافته که در خروجی غلتک به v_fمی رسد که بیشتر ازV_0 است .

وقتی که $h_0 > h_f$ در نتیجه : $V_0 < V_f$

سرعت در نورد وزاویه خنثی:

قبلا تعریف کردیم که سرعت خطی غلتک برابر است با $V=R\omega$ که ω سرعت زاویه ای غلتک بر حسب دور بر دقیقه است .این سرعت همواره مماس بر سطح غلتک است . با انجام آزمایش ساده ای میتوان دید که در خروجی غلتک سرعت شمش از سرعت خطی غلتک بیشتر و در ورودی سرعت خطی غلتک از سرعت شمش بیشتر است . در نتیجه در یک صفحه ای در زیر غلتک بین h_0وh_fمولفه افقی سرعت خطی غلتک با سرعت شمش برابر میشوداین صفحه را صفحه خنثی گویند و زاویه ای که این صفحه با امتداد قائم می سازد را زاویه خنثی گویند و به δو صفحه را به Nنمایش میدهند . . ناظری که از روی غلتک به شمش نگاه می کند مشاهده می کند که موادی که سمت چپ صفحه خنثی هستندبه سمت عقب (ورودی غلتک) فرار می کنند و موادی که سمت راست این صفحه هستندبه سمت جلو فرار می کنند .



زاویه و صفحه خنثی و مولفه های سرعت زیر غلتک

$$V_N = V_R COS\delta$$

$$V_0 < V_R COS\alpha < V_R COS\varphi < V_R COS\delta = V_N = V_R < V_F$$

با توجه به رابطه بالا یک اختلاف سرعت بین شمش و غلتک در دو طرف صفحه خنثی وجود دارد و این باعث سر خوردگی فلز در دو طرف صفحه خنثی میشود .

در سمت خروجی غلتک سرعت قطعه کار بیشتر از سرعت خطی غلتک است و در نتیجه مواد به سمت جلو فرار می کنند . این حالت را خزش یا لغزش به جلو گویند .

لغزش به جلو $\Delta V_F = \frac{V_F - V_R}{V_R}$

در سمت ورودی غلتک سرعت قطعه کار کمتر از سرعت خطی غلتک است و در نتیجه مواد به سمت عقب فرار می کنند . این حالت را خزش یا لغزش به عقب گویند .

لغزش به عقب $\Delta V_b = \frac{V_R \cos\alpha - V_0}{V_R \cos\alpha}$

مکانیزم گیرش در نورد

لحظه ای که شمش به فضای بین دو غلتک میرسد دو حالت ممکن است اتفاق بیفتد

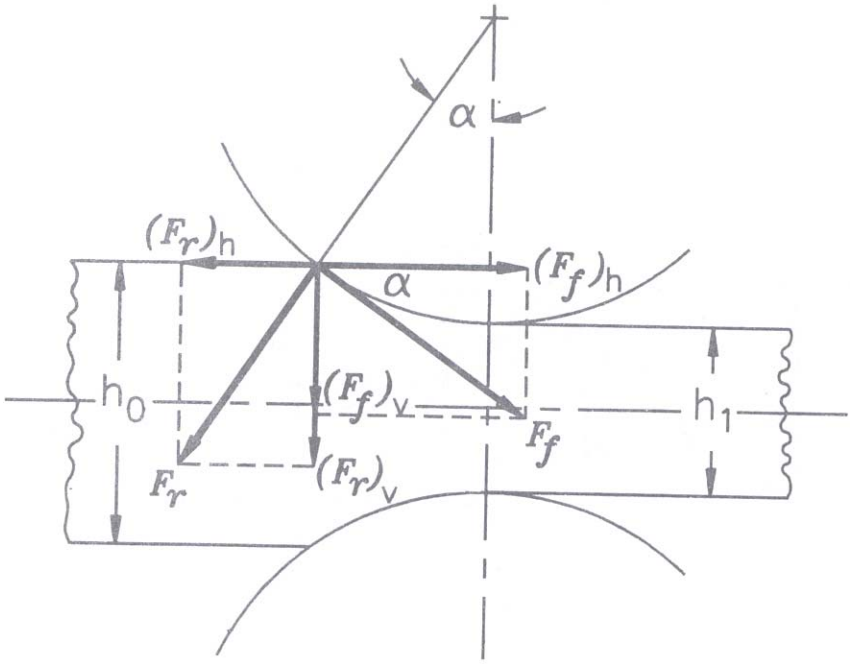
۱-غلتک بالائی و پائینی شمش را گرفته و به فضای بین خود بکشند و فرآیند نورد شروع شود . این حالت را گیرش آزاد گویند .

۲-غلتک ها شمش را پس زده و اجازه ندهند وارد فضای غلتک ها شود . درنتیجه نوردی اتفاق نمی افتد .

مقدار و اصطکاک بین غلتک وقطعه کار تعیین کننده انجام یکی از دو حالت بالاست . بر خلاف اکثر فرآیند های شکل دادن که اصطکاک مضر است در نورد اگر اصطکاک نباشد نوردی اتفاق نمی افتد . اکثرا فکر می کنند که شمش توسط نیروئی به داخل غلتک ها رانده میشود در صورتی که نورد یک فرآیند آزاد است و غلتک ها بایستی تمایل به گیرش قطعه کار داشته باشندتا نوردی شروع شود .

در زیر غلتک دو نوع نیرو وجود دارد یکی نیروئی که از طرف غلتک در امتدا دشعاع به قطعه کار وارد میشود . این نیرو عکس العمل نیروئی است که از طرف قطعه کار به غلتک وارد میشود . نیروی دوم نیر.وی اصطکاک بین غلتک و قطعه کار است .با توجه به اینکه در ورودی غلتک لغزش مواد به سمت عقب است پس جهت نیروی اصطکاک به سمت داخل غلتک و مماس بر سطح غلتک و عمود بر نیروی غلتک است . شکل زیر این نیرو ها را نشان میدهد .

نیروی غلتک دارای یک مولفه قائم و یک مولفه افقی و نیروی اصطکاک هم دارای یک مولفه افقی و یک مولفه قائم است. نیروی غلتک میخواخد قطعه کار را پس زده و اجازه ندهد شمش وارد غلتک شود اما نیروی اصطکاک تمایل دارد که قطعه کار را گرفته و بداخل غلتک ها بکشد .برای اینکه شمش به دهانه ی غلتک واردو نورد شروع شودبایستی مؤلفه ی افقی نیروی اصطکاک برابر یا بزرگتر از مؤلفه ی افقی نیروی غلتک باشد.



$$(F_f)h > (F_r)h$$

$$F_f \cos\alpha > F_r \sin\alpha$$

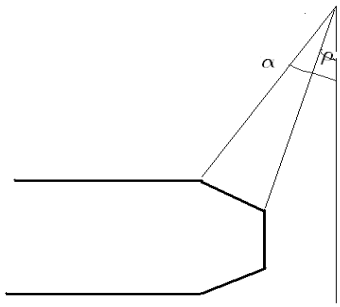
$$\mu = \frac{F_f}{F_r}$$

$$\tan\alpha < \mu$$

این رابطه به شرط گیرش معروف است و وقتی نورد اتفاق می افتد که زاویه α کمتر از آرک تانژانت μ باشد

$$\alpha \leq \text{Arc}\tan\mu$$

اگر $\tan\alpha > \mu$ ، قطعه ی کار نمیتواند بداخل غلتک کشیده شده و نورد شود



اگر $\mu = 0$ ، نورد انجام نمیشود.بنابراین گیرش آزاد وقتی اتفاق خواهد افتاد که $\mu > \tan\alpha$

افزایش مقادیر مؤثر μ ، برای مثال شیار زنی غلتک ها موازی با محور غلتک یا استفاده از غلتک های بزرگ برای کاهش $\tan\alpha$ ، یا اگر قطر غلتک ثابت باشد ، کاهش h_0 میتواند گیرش آزاد داشته باشد.

گیرش غیر آزاد : در بعضی از کارگاه های نورد روز های اولیه تعویض غلتک چون کیفیت سطحی غلتک خوب و اصطکاک کم است نورد انجام نمیشود به همین دلیل کارگران سطح غلتک را با ابزار های مختلف خط می اندازند تا ضریب اصطکاک را افزایش دهند . این امر ممکن است باعث خرابی غلتک شود . یکی از راه های انجام

نورد در چنین حالتی کم کردن زاویه گیرش است که به گیرش غیر آزاد معروف است .همانگونه که قبلا دیدیم زاویه α تابع ضخامت شمش است . هر چه شمش نازک تر باشد زاویه ورودی کوچکتر است .با پخ زدن سر شمش میتوان زاویه گیرش را کم کرد .

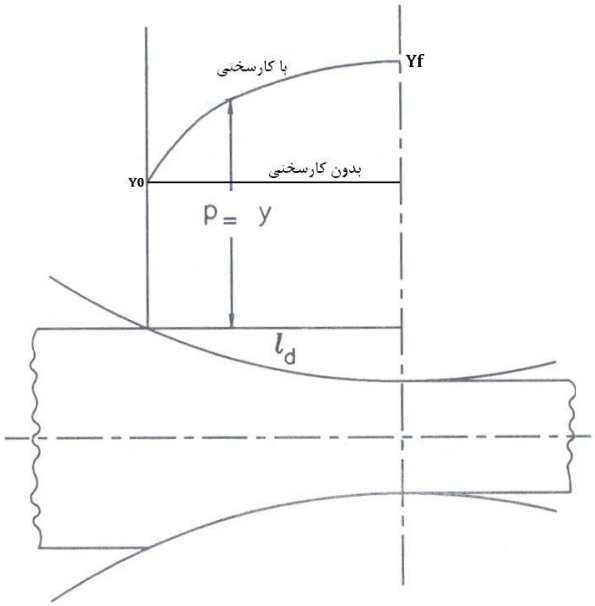
فشار و نیروی نورد

- ✓ متغیر های اصلی در نوردعبارتند از:
- ✓ قطر غلطک
- ✓ مقاومت فلز به تغییر شکل تحت تاثیر عوامل متالورژیکی، دما و نرخ کرنش
- ✓ اصطکاک بین غلطک و قطعه کار
- ✓ وجود کشش ازجلو یا عقب در قطعه نوردی

در این مبحث سه حالت را مورد بررسی قرار میدهیم:

۱. شرایط بدون اصطکاک(کار ایده آل)
۲. شرایط اصطکاک عادی
۳. شرایط اصطکاک چسبنده

حالت بدون اصطکاک(حالت ایده آل):درکار ایده آل فرض بر این است که اصطکاک و کار تلف شده وجود ندارد و همه نیرو صرف تغییر شکل فلز میشود .در این حالت فشار مقدار ثابتی است وبرابر است با استحکام تسلیم فلز . اگر فلز کارسختی نکند فشار در طول تماس غلتک مقدار ثابتی است و اگر فلز کار سختی کند استحکام تسلیم خروجی غلتک بیشتر از استحکام در ورودی غلتک است .معمولا برای حالت کار سختی یک استحکام تسلیم متوسط تعزیف می کنند و نمودار را خط صاف در نظر می گیرند .



حالت اصطکاک عادی : در مورد حالت عادی اصطکاک درشرایط کرنش صفحه ای، فشار متوسط $\overline{P}$ را میتوان بصورت زیر محاسبه کرد:

$$\frac{\overline{P}}{\overline{Y}} = \frac{1}{Q}(e^{Q} - 1)$$

در این رابطه مقدار Qبرابر است با:

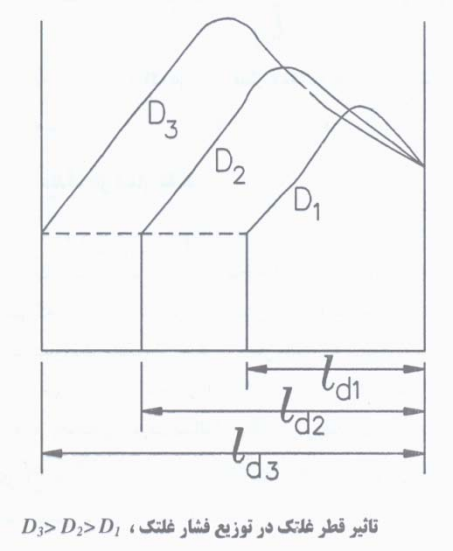
مقدار $\overline{h}$متوسط ضخامت بین ضخامت ورودی و نهائی است.

$$L_d = \sqrt{R\Delta h} \qquad Q = \frac{\mu L_d}{\overline{h}}$$

از ترکیب دو رابطه بالا بدست می آید:

نتیجه می گیریم با افزایش قطر غلتک فشار نورد افزایش می یابد . همچنین با افزایش Δhنیز فشار زیاد میشود.

نیروی نورد همچنین با نازک تر شدن ورق ورودی به غلطک، افزایش می یابد(بدلیل عبارت e^{Q}).

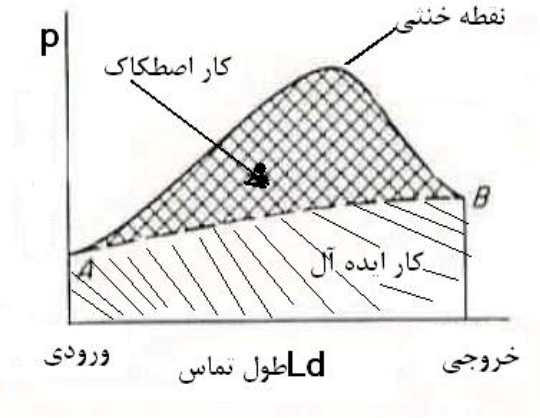


تاثیر قطر غلتک در توزیع فشار غلتک ، $D_3 > D_2 > D_1$

در یک نقطه، اگر مقاومت تغییر شکل ورق بزرگتر از فشار غلطک باشد، هیچ کاهش ضخامت اضافی حاصل نمیشود. غلطکها در تماس با ورق بصورت تغییر شکل الاستیک میدهند.

غلطکهای با قطر کوچک که توسط غلطکهای پشتیبان در مقابل کمانشرمحافظت شده اند؛ که با اینکار میتوان در ورق تغییر شکل بیشتری ایجاد کرد قبل از اینکه تخت شدگی غلتک ها زیاد شود، و بعد از تخت شدگی غلتک هیچ کاهش اضافی در ورق امکان پذیر نیست.

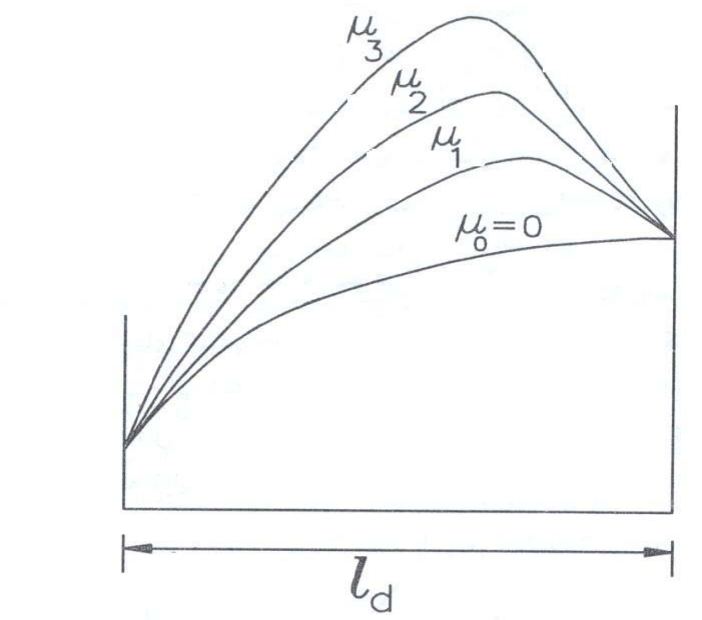
اثر اصطکاک در نورد: همانگونه که قبلا بحث شد بر خلاف سایر روش های شکل دادن که تلاش میشود اصطکاک بطور کامل حذف شود در نورد شرط گیرش و انجام نورد وجود اصطکاک است . وجود اصطکاک باعث میشود که نیروی نورد افزایش یابد و از حالت تغییر شکل همگن خارج شود . شکل زیر منحنی توزیع فشار در دو حالت با اصطکاک و بدون اصطکاک است .در صفحه خنثی فشار غلتک به حداکثر مقدار می رسد . سمت چپ صفحه خنثی بدلیل لغزش به عقب جهت اصطکاک به سمت داخل غلتک و در سمت راست صفحه خنثی بدلیل لغزش به جلو جهت اصطکاک به سمت صفحه خنثی است . با افزایش ضریب اصطکاک فشار غلتک افزایش می یابد.



اصطکاک بالا باعث افزایش نیروی نورد میشود، ودر نمودار فشار ایجاد تپه اصطکاک می کند و تمایل به تشکیل ترکهای لبه ای در ورق افزایش می یابد. اصطکاک در طول قوس تماس غلطک از نقطه ای به نقطه دیگر متغیر است. هرچند اندازه گیری تغییرات μ خیلی مشکل است ، ولی در تمام نظریه های نورد فرض بر آنست که ضریب اصطکاک در طول فرآیند و در زیر غلتک مقدارثابتی است.

برای نورد سرد با روانکاری، , $\mu \sim 0.05 - 0.10$

برای نورد گرم، $\mu \sim 0.2$ تا حالت اصطکاک چسبنده

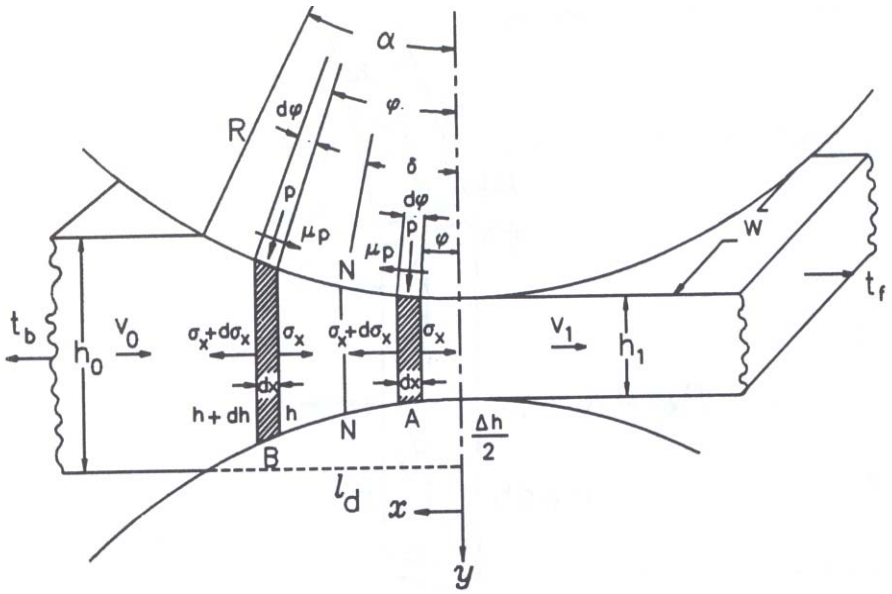


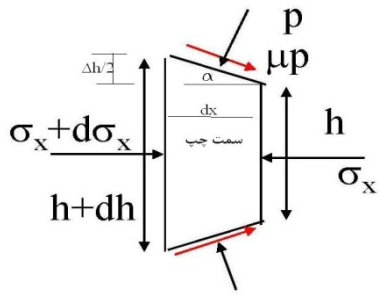
تاثیر اصطکاک در توزیع فشار غلتک در طول تماس غلتک و قطعه کار

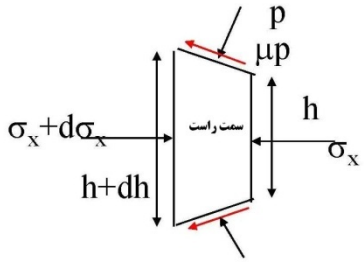
$\mu_3 > \mu_2 > \mu_1 > \mu_o = 0$

آنالیز تختال برا ی محاسبه نیروی نورد

در روش آنالیز تختال المانی به ضخامت dxدر سمت راست و یک المان نیز از سمت چپ انتخاب کرده و نیرو های وارد بر این المان را مشخص می کنیم. .







ابتدا بر آیند نیرو ها را در امتداد محور افق (x)بدست می آوریم:

$$\sum F_x = 0$$

$$(\sigma_x + d\sigma_x)(h + dh) - 2pRd\phi \sin\phi - \sigma_x h \pm 2\mu pRd\phi Cos\phi = 0$$

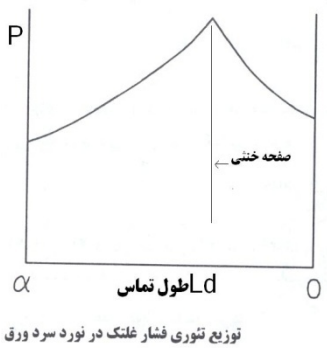
در ورودی غلتک مقدار φبرابر αاست .علامت مثبت در معادله بالا برای المان چپ و منفی برای المان راست است.

از طرفی با توجه به شرایط کرنش صفحه ای از معادله فون مایزز میتوان نوشت:

$$p - \sigma_x = Y'$$

در این معادله 'Yهمان 2KیاSاست .

با استفاده از این دو معادله میتوان فشار غلتک را حساب کرد . با جایگزینی عدد در این معادله مشاهده میشود که فرم تابع به شکل تپه ای نامتقارن است که حداکثر فشار در نقطه خنثی است . با مساوی قرار دادن این دو معادله براحتی میتوان زاویه خنثی را بدست آورد .



توزیع تئوری فشار غلتک در نورد سرد ورق

ورودی $p = Y'\frac{h}{h_o}e^{\mu(H_o-H)}$

خروجی $p = Y'\frac{h}{h_f}e^{\mu H}$

$$H = 2\sqrt{\frac{R}{h_f}}\tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{R}{h_f}}\phi\right)$$

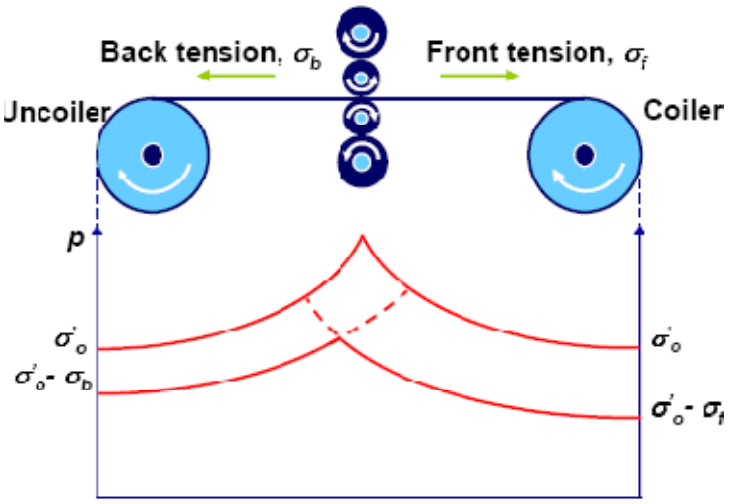
$$H_o = 2\sqrt{\frac{R}{h_f}}\tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{R}{h_f}}\alpha\right)$$

$$\phi_n = \sqrt{\frac{h_f}{R}}\tan\left(\sqrt{\frac{h_f}{R}}\frac{H_n}{2}\right)$$

$$H_n = \frac{1}{2}\left(H_o - \frac{1}{\mu}\ln\left(\frac{h_o}{h_f}\right)\right)$$

ϕ_n : زاویه خنثی

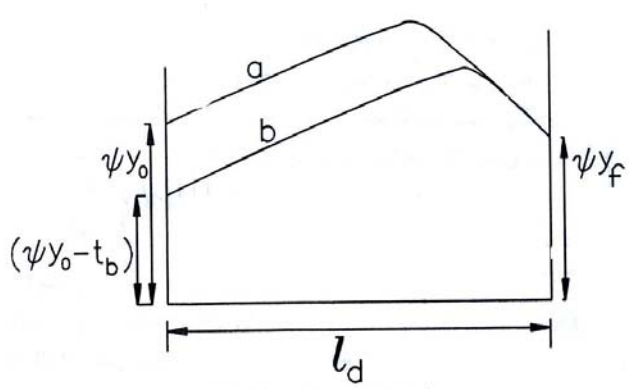
کشش از عقب و جلو



- وجود کشش از عقب و جلو در صفحه ورق ، نیروی نورد را کاهش میدهد.
- کشش از عقب با کنترل سرعت دستگاه کلاف بازکن متناسب با سرعت غلطک، تامین میشود.
- کشش ازجلو با کنترل کلاف پیچ ایجاد میشود.
- کشش عقب ، حدودا" دو برابر نیروی نوردP را در مقایسه با کشش ازجلو کاهش میدهد.
- اگر به اندازه کافی کشش عقب اعمال شود، نقطه خنثی به طرف خروجی غلطک شیفت میکند و در نتیجه غلطک سریعتر از فلز حرکت میکند.
- اگر از کشش جلویی استفاده شود نقطه خنثی به طرف ورودی غلطک شیفت خواهد کرد.
- تاثیر کشش از جلو و عقب در نمودار های زیر و همچنین در تابع زیر نشان داده شده است.

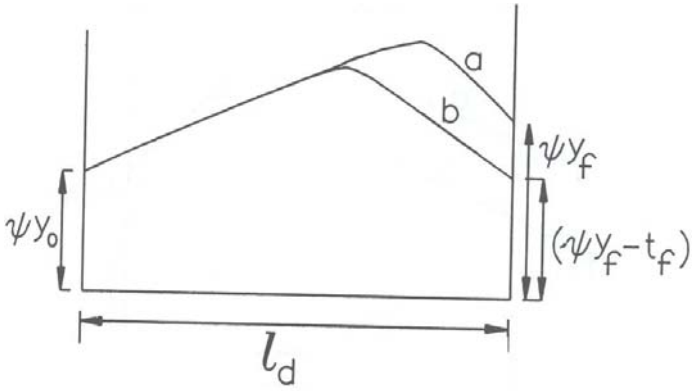
$$\text{Entry Zone}: p = (Y' - \sigma_b)\frac{h}{h_o}e^{\mu(H_o - H)}$$

$$\text{Exit Zone}: p = (Y' - \sigma_f)\frac{h}{h_f}e^{\mu H}$$



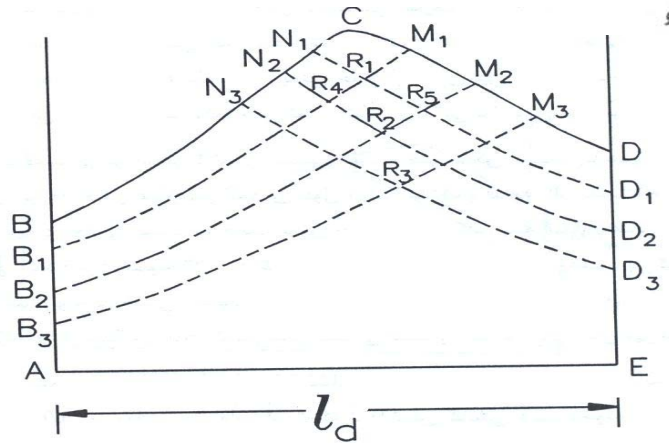
تاثیر تنش کششی عقب در فشار غلتک

(a – بدون تنش کششی عقب b) – با تنش کششی عقب



تاثیر تنش کششی جلو در فشار غلتک

a) – بدون تنش کششی جلو b) – با تنش کششی جلو



چگونگی توزیع فشار غلتک برای کمیتهای مختلف تنش های کششی عقب و جلو

بعضی ازنمودار ها ی این جزوه از کتاب اصول مهندسی نورد تالیف استاد گرانقدر جناب آقای دکتر محمد محسن مشکسار و انتشارات دانشگاه شیراز گرفته شده است .

عیوب محصولات نوردی:

طبقه بندی عیوب:

۱-عیوب ظاهری که با چشم قابل دیدن هستند

۲-عیوب ابعادی که مربوط به ابعاد و اندازه های خارجی محصول میشود .

۳-عیوب ناشی از خواص مکانیکی

۴-عیوب تشکیل شده حین حرارت دادن شمش

عیوب محصولات نوردی یا در شمش ریخته گری است یا عیوبی است که حین نورد بوجود می آید.عیوب غیر از ترک، میتوانند ناشی از تولید شمش باشد.

حباب گازی، حفره، تخلخل در شمش ریختگی در حین فرآیند نورد از بین میروند.عیوب طولی مثل آخال غیر فلزی یا شبکه پرلیتی حین ذوب و انجماد بوجود می آیند. در موارد حاد، این عیوب میتوانند منجر به تورق شوند که استحکام در جهت ضخامت را کاهش میدهند..

عیوب حین نورد

در شکل ظاهری ورق دو نکته مهم است :

۱. یکنواختی ضخامت در جهت پهنا و ضخامت ورق؛ که میتوان از طریق ابزار های دقیق مدرن کنترل شوند.

۲. تخت بودن ورق که اندازه گیری دقیق آن مشکل است.

ضخامت یکنواخت

وقتی نیروی نوردی بزرگ باشد منجر به تخت شدن و خمیدگی غلتک ها میشود، و سیستم نورد دچار پیچیدگی الاستیک میشود.

وقتی در نورد نیروی زیادی از غلطک به قطعه کار منتقل میشوند، دو نوع پیچیدگی الاستیک عمده در غلتک بوجود می آید:

۱. غلطکها در امتدادطولشان خم میشوند چونکه غلتک ها در دو سرشان مهار هستنددر نتیجه وسط غلتک فرو رفته و دو سر آن تغییری نمی کند در نتیجه ضخامت ورق در وسط عرض ورق بیشتر از لبه ها است .

۲. غلطکها در ناحیه تماس با شمش ، مسطح میشوند. شعاع انحنا غلتک در وسط افزایش می یابد. این حالت را تخت شدگی کویند.

برگشت فنری غلطک باعث میشود ضخامت ورق خروجی از غلتک بیشتر از فاصله تنظیم شده بین غلتک ها در حالت بدون بار (ضخامت تنظیمی)باشد

ضخامت دقیق ورق نیازمند ثابت الاستیک خط نورد است ومنحنی های کالیبراسیون مورد نیاز است؛ ۱-۳GN/m برای قفسه های پیچی، GN/m4 برای قفسه های هیدرولیکی)

تخت شدگی غلطک باعث افزایش فشار غلتک میشود و حتی باعث میشود غلطکها نسبت به فلز آسانتر تغییر شکل بدهد

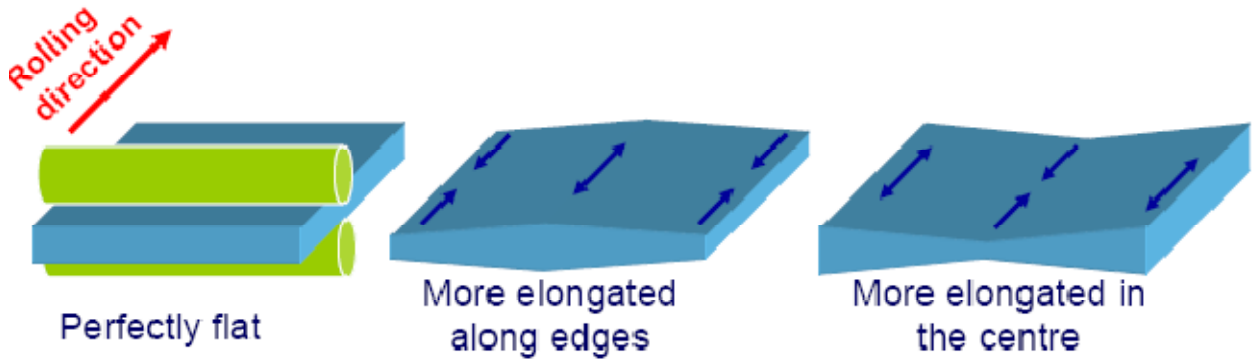
حد ضخامت تا حدودی با μ، R،Y متناسب است و با E نسبت معکوس دارد.

به عنوان مثال در غلطکهای فولادی ، حد ضخامت به صورت زیر است:

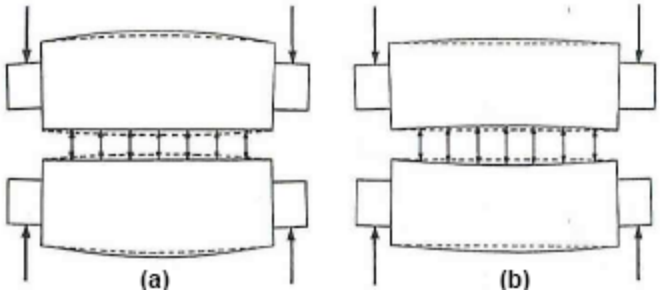
اصولا، مشکلات مرتبط با تخت شدگی وقتی است که ضخامت ورق زیر ۱/۴۰۰ به ۱/۶۰۰ قطر غلطک است .

تخت شدگی غلتک:فاصله بین دوغلطک در طول آن کاملا بایستی یکسان باشدتا بتوان ورقی تولید کرد که سطح بالائی و زیـرین آن کاملا با هم موازی باشند و ضخامت ورق در عرصض ان همه جا یکسان باشد

سرعت نورد به تخت شدگی غلتک خیلی حساس است. تفاوت در ازدیاد طول یک قطعه در ۱۰۰۰۰ نقطـه مختلـف در یـک ورق باعـث ایجاد اعوجاج میشود.



برای حل مشکل تخت شدگی غلتک که بیشتر در نورد سرد اتفاق می افتد موقع ماشینکاری غلتک شیب مخالف به اندازه تغییر شکل الاستیک غلتک میدهند و غلتک را دوکی شکل می سازند .
حین نورد در اثر فشار غلتک این قسمت دوکی شکل تخت شده و در نتیجه محصول خروجی بدون عیب است .

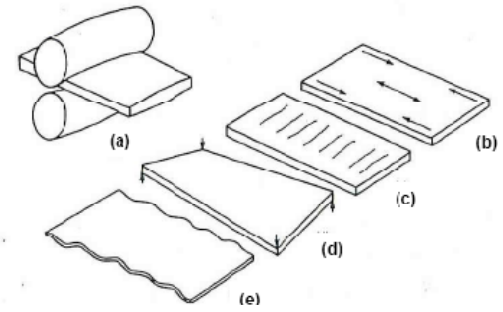


شکل الف:استفاده از غلتک دوکی شکل

شکل ب: غلتک بدون دوک که در نتیجه در اثر فشار وسط غلتک فرو رفته میشود.

ناکافی بودن تحدب غلتک منجر به عیوب زیر میشود

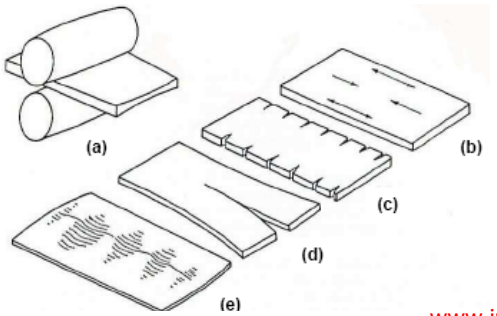
مرکز ضخیم تر به معنای این است که دو لبه غلتـک نسـبت بـه مرکـز آن بیشـتر کشـیده شـده اسـت کـه بنـام لبـه هـای بلنـد نامیده میشود.



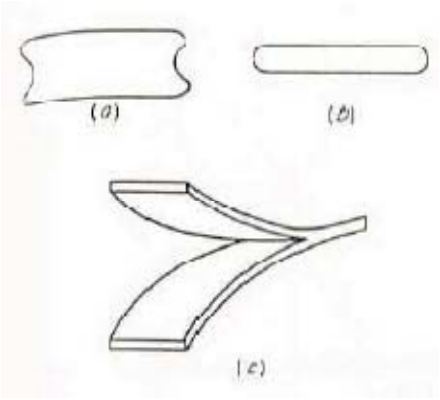
این مسئله باعث بوجود آمدن تنش های پسماند فشاری در لبه ها وتنش های کششی در خط مرکزی ورق میشود.این تنش هاباعث ایجاد ترک طولی در وسط ورق، پیچیدگی، چروکیدگی لبه ها یا لبه های موجی شکل میشوند.

زیاد بودن تحدب غلتک منجر به عیوب زیر میشود:

لبه های ضخیم تروورق نسبت به مرکز. یعنی مرکز بصورت پلاستیکی بیشتر از لبه ها کشیده میشود و در نتیجه پهن شدن عرضی در ورق ایجاد میشود.



در این حالت تنش های پسماند فشاری در وسط ورق وتنش های پسماند کششی در لبه های ورق بوجود می آید که باعث c)ترک خوردن لبه ها، d) شکافتگی مرکزی و e)چروکیدگی در خط مرکزی ورق میشود.



لبه دار شدن میتواند ناشی از تغییر شکل غیر همگن در جهت ضخامت نیز باشد.

a) اگر فقط سطح ورق تغییر شکل دهد(کاهش کم ضخامت تختال)، لبه ها مقعر میشوند .متریال یک طرف گیر دار در مرحله بعدی نورد ، فشرده نمیشود که باعث میشود این ناحیه تحت تنش کششی بوده و ترک خوردگی لبه بوجود می آید.

b) در تغییر شکل سنگین ، مرکزورق تمایل به ازدیاد طول بیشتر نسبت به لبه ها دارد در نتیجه لبه های ورق بشگه ای میشود.بدلیل بشگه ای شدن لبه ها تنش های کششی ثانویه در لبه ها بوجود می اید که باعث ترک خوردن لبه های ورق میشود .

c) تمساحی شدن ورق: وقتی ایجاد میشود که پهن شدگی عرضی در مرکز ورق بزرگتر از سطح ورق باشد (سطح ورق تحت کشش و مرکز تحت فشار) و ضعف های متالورژیکی در طول خط مرکزی منجر به این عیب میشود .

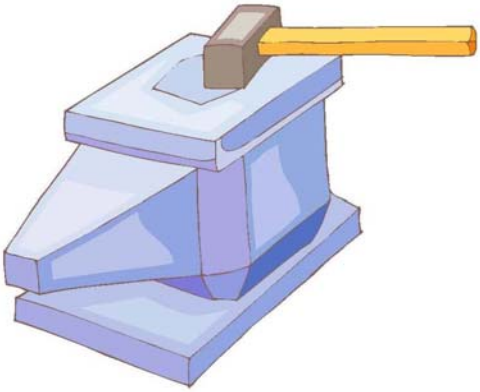
بدلیل نسبت بالای سطح به حجم ورق عیوب سطحی در نورد ، بیشتر بوجود می آیند .سنگ زنی، براده برداری یا پوسته زدایی عیوب سطحی شمش های ریختگی قبل از نورد ، توصیه میشوند.

در محصولات نوردی شکل دار مثل میلگرد و تیر آهن عیوبی وجود دارند که فقط نام برده میشود

ترکیب شیمیائی نامناسب-غیر یکنواختی در ترکیب شیمیائی-جدایش-ناهمگونی ساختاری-مک گازی-مک تغذیه ای-انقباض میان تهی-ناخالصی اکسیدی-ناخاصی های دیر گدازی-ترک طولی-ترک عرضی-ترک محوری-کمربندی-کجی شمش-لوزی بودن شمش-تحدب و تعقر شمش-پیچش شمش-خرابی سطح برش – ناهمواری سطحی-ابعاد نامنظم

عیوب دیگری در محصولات نوردی هست که از حوصله این جزوه خارج است.

آشنائی با فرآیند آهنگری



این فصل، به اصول مربوط به فرآیند آهنگری می پردازد. این اصول به ما در فهم روابط ریاضی مورد استفاده در محاسبه نیروی تغییر شکل پلاستیک در آهنگری کمک می کنند.

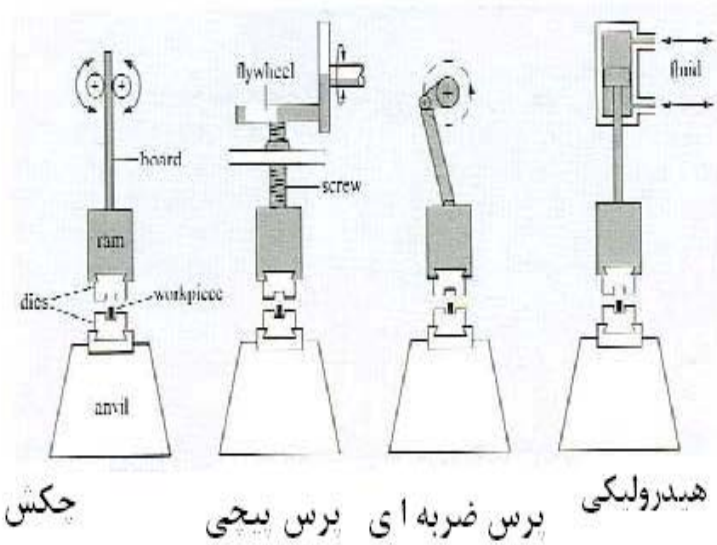
ضمن اینکه، طبقه بندی روش های آهنگری فلزات وعیوب آن شرح داده میشودوراه حل مقابله با این عیوب نیز ذکر میشود.

تعریف آهنگری: آهنگری کار روی فلز به وسیلهٔ اعمال نیروهای فشاری موضعی توسط چکشهای دستی یا مکانیکی ، پرسها یا ماشینهای مخصوص آهنگری می باشد.این نیروی اعمالی باعث تغییر شکل پلاستیک و منجر به تولید قطعه نهائی میشود.آهنگری میتواند هم به صورت گرم وهم به صورت سرد انجام پذیرد. به هرحال ، وقتی به صورت سرد انجام شود، اسامی خاصی به آن فرآیندها داده می شود. درنتیجه واژه آهنگری معمولاً به آهنگری گرم که بالای دمای تبلور مجدد انجام می شود اطلاق می گردد.

آهنگری اولین روش شکل دادن فلزات است که ابتدا ضربات چکش بوسیله دست مرد آهنگر به قطعه وارد میشد و بعد از انقلاب صنعتی و اختراع ماشین این نیرو بوسیله پرس ها و چکش ها اعمال می شد. آهنگری مدرن یک روش توسعه یافته از هنر باستانی است که توسط سازندگان زره و نعل بندهای روستایی انجام می شده است. چکشهای پرقدرت وپرسهای مکانیکی جایگزین بازوان توانمند ، چکش و سندان شده است و علم متالورژی مدرن تکمیل کنندهٔ هنر و مهارت صنعتگر در کنترل حرارت و کار با فلز شده است.

ماشین های آهنگری امروزی قادربه تولید قطعات خیلی کوچک مثل پیچ و مهره ها تا قطعات خیلی بزرگ مثل شافت توربین ها هستند.

طبقه بندی فرآیند های آهنگری: طبقه بندی فرآیند های آهنگری میتواند بر اساس نوع ماشین اعمال کننده نیرو،درجه حرارت تغییر شکل یا نوع قالب مورد استفاده باشد.



الف:طبقه بندی بر اساس ماشین آهنگری: ماشین های آهنگری به سه دسته تقسیم میشوند:

۱-ماشین های با انرژی محدود(چکش ها)

۲-ماشین های با انرژِ ی محدود(پرس های هیدرولیکی)

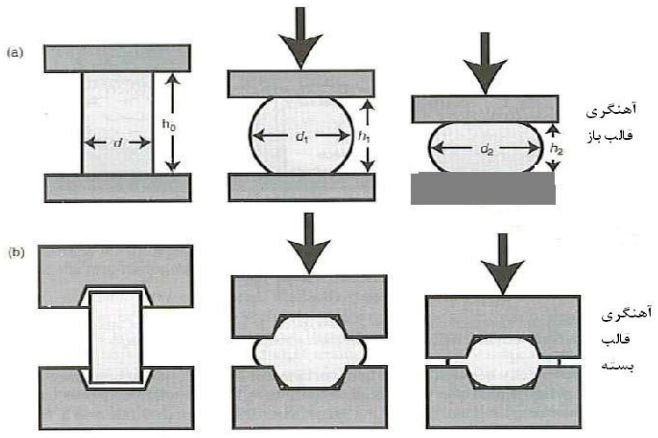
۳-ماشین های با گام محدود(پرس های ضربه ای)

ب:طبقه بندی بر اساس دمای آهنگری

۱-آهنگری داغ

۲-آهنگری گرم

۳-آهنگری سرد



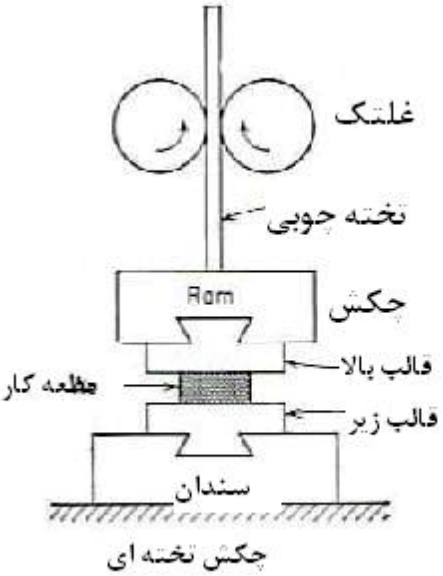
چ:طبقه بندی بر اساس نوع قالب: که به دو دسته آهنگری قالب باز و قالب بسته تقسیم میشود.

ماشین های با انرژی محدود:چکش های آهنگری وپرس های انرژی بالا از نوع ماشین های با انرژی محدود هستند . چکش دارای جرم مشخص mبوده و تا ارتفاع hبالا برده شده و سقوط می کند. در این ارتفاع چکش دارای انرژی پتانسیل mgh می باشد که در لحظه برخورد به سطح قطعه این انرژی به ضربه تبدیل و باعث تغییر شکل جسم میشود.چون ارتفاع سقوط و جرم چکش محدودیت دارد در نتیجه انرژی ضربه مقدار محدودی است به همین خاطر چکش ها را ماشین های با انرژی محدود می گویند.قبل از اختراع ماشین بخار ضربات چکش توسط مرد آهنگر وارد میشد و بنابراین میزان تغییر شکل کم بود ولی بعدا توانستند از ماشین ها و تجهیزات سنگین تر استفاده کنند و میزان تغییر شکل افزایش یافت.در چکش ها تغییر شکل آنی و بوسیله ضربه است ولی چون در لحظه برخورد همه انرژی جذب میشود میتوان تغییر شکل پلاستیک قابل توجهی ایجادکرد.تعدادضربات در دقیقه بستگی به ماشین دارد و میتواند ۶۰ تا ۱۵۰ ضربه در دقیقه باشد.

انواع چکش ها: چکشها را میتوان به دو گروه کلی زیر تقسیم کرد:

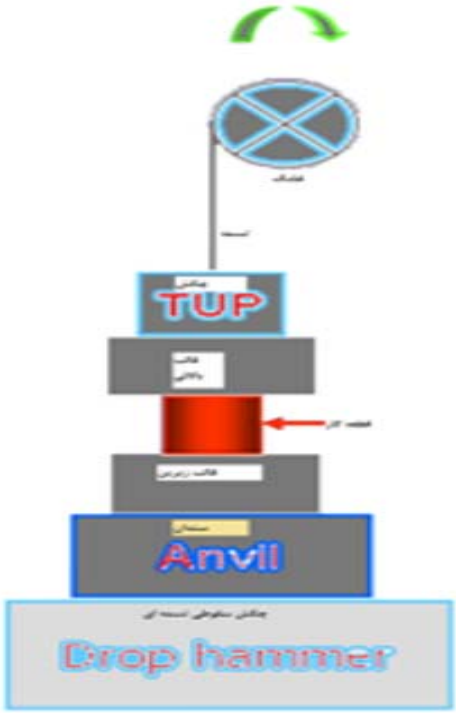
۱- چکش های سقوطی

۲-چکش های سقوطی قدرتی



۱–چکش سقوطی:در چکش های سقوطی چکش تا ارتفاع مشخصی بالابرده شده و تحت نیروی وزن بطور آزادسقوط می کند .برای بالا بردن چکش از سه روش استفاده میشودکه چکش ها نیز به همین نام مشخص میشوند:

❖ چکش های سقوطی تخته ای:این چکش ها دارای کاربرد وسیعی در صنعت هستند بخصوص برای قطعاتی که وزن آنها از چند کیلو گرم بیشتر نیست . قسمت های مختلف این چکش در شکل زیر نشان داده شده است . قالب پائینی روی سندان ثابت و قطعه کار درون آن قرار داده میشود . نیم قالب بالائی به چکش متصل و چکش نیز به یک یا چند تخته چوبی وصل است . برای بالا بردن چکش از دو غلتک اصطکاکی استفاده می کنند . با چرخش غلتک ها تخته به بالا رفته و چکش را همراه خود میبرد . تخته بدلیل سبک بودن و اصطکاک خوب با غلتک فلزی جهت جلو گیری از سر خوردن استفاده میشود. با آزاد کردن اهرم نگهدارنده، چکش تحت نیروی وزن خود سقوط کرده و به سطح قطعه کار برخورد می کند .وزن چکش از ۴۵۰ تا ۲۲۵۰ کیلو گرم وارتفاع سقوط از ۹۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی متر متغیر است .



❖ چکش های سقوطی تسمه ای:در این روش بجای استفاده از تخته از تسمه لاستیکی استفاده میشود . با چرخش غلتک تسمه بدور غلتک پیچیده و باعث بالا رفتن چکش میشود.

❖ چکش های سقوطی بادی:این چکش مشابه چکش تخته ای است با این تفاوت که برای بالا بردن چکش از فشار هوا یا بخار آب استفاده میشود. وزن این چکش ها از ۲۲۵ تا ۴۵۰۰ کیلو گرم است.

ویژگی چکش های سقوطی:

۱-وارد کردن ضربه ای سریع به سطح قطعه کار

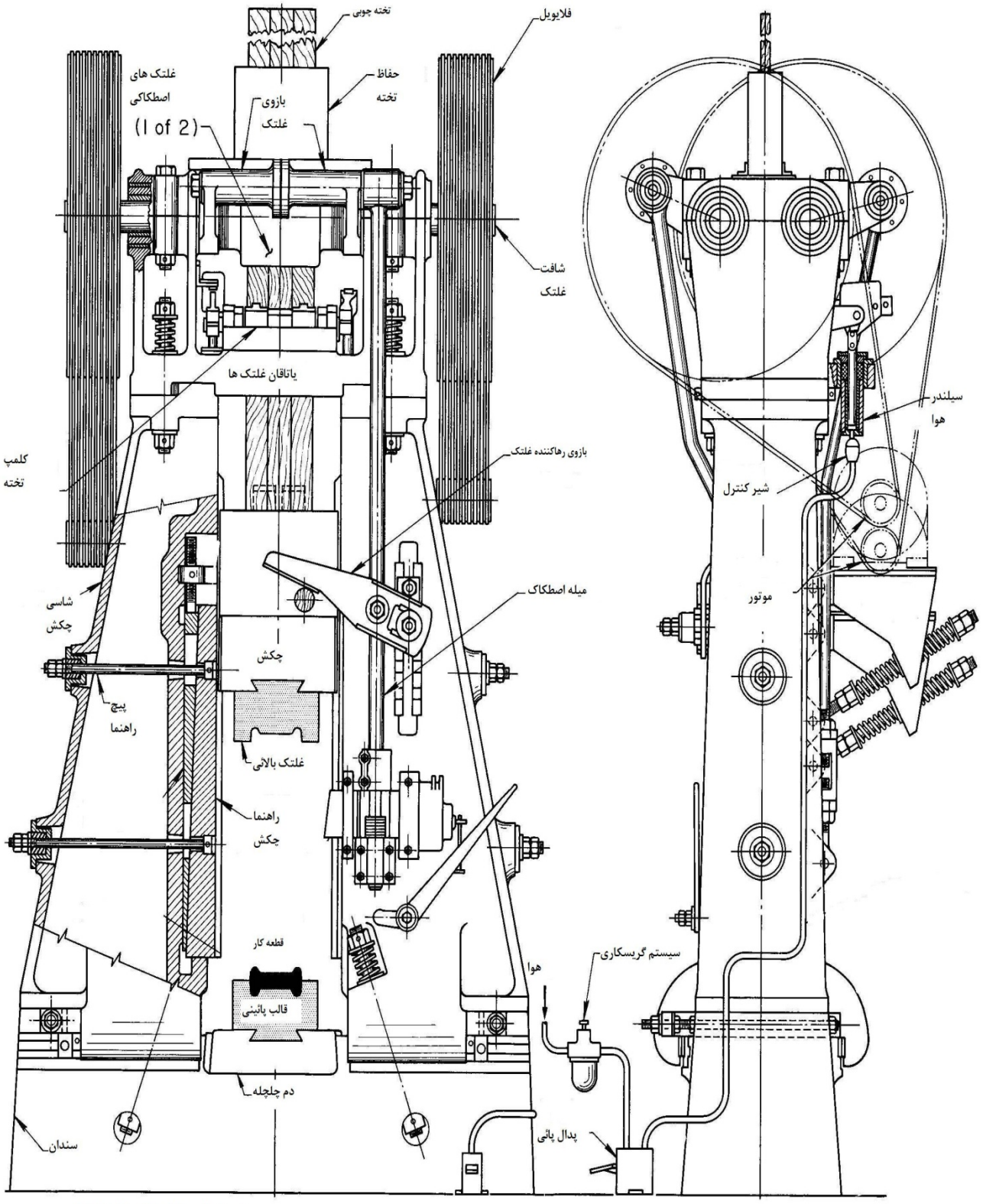
۲-قالب به شکل دو نیمه است.نیم قالب پائینی روی سندان محکم و نیم قالب بالا به چکش بسته شده است

۳-انرژی ناشی از سقوط به تمامی توسط قطعه جذب شده و در نتیجه حداکثر ضربه به جسم وارد میشود.

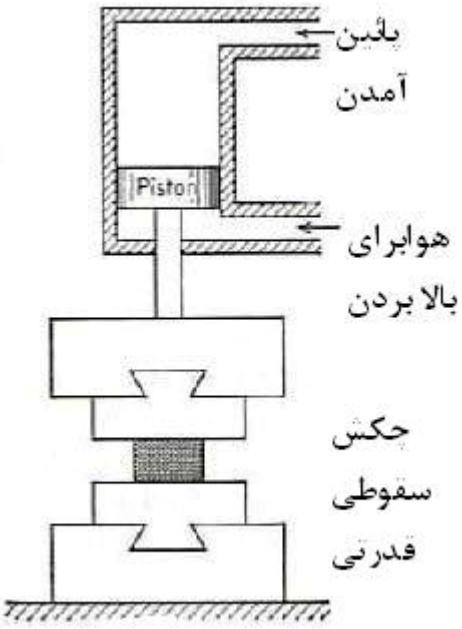
۴-قالب ها بخاطر جنس خاص و هزینه ماشینکاری گران قیمت هستند.

۵-برای تولید انبوه قطعات پیچیده مناسب هستند.

۶-انرژی مورد نیاز انرژی پتانسیل ناشی از وزن چکش و ارتفاع سقوط است.



قسمت های مختلف یک چکش تخته ای



۲–چکش های سقوطی قدرتی : چکش های قدرتی در مقایسه بـا چکـش های سقوطی ظرفیت بالاتری دارندو هنگام پائین آمدن بوسیله هوای فشرده یا بخـار شتاب اولیه ای به چکش داده میشود بنابراین علاوه بر انـرژی پتانسـیل دارای یـک انرژی جنبشی اولیه نیز می باشد.از.بخارآب یا هوابرای بالابردن چکش نیـز اسـتفاده میشود.انرژی کل در چکش سقوطی قدرت برابر است با :

$$W = \frac{1}{2}mv^2 + pAH = (mg + pA)H$$

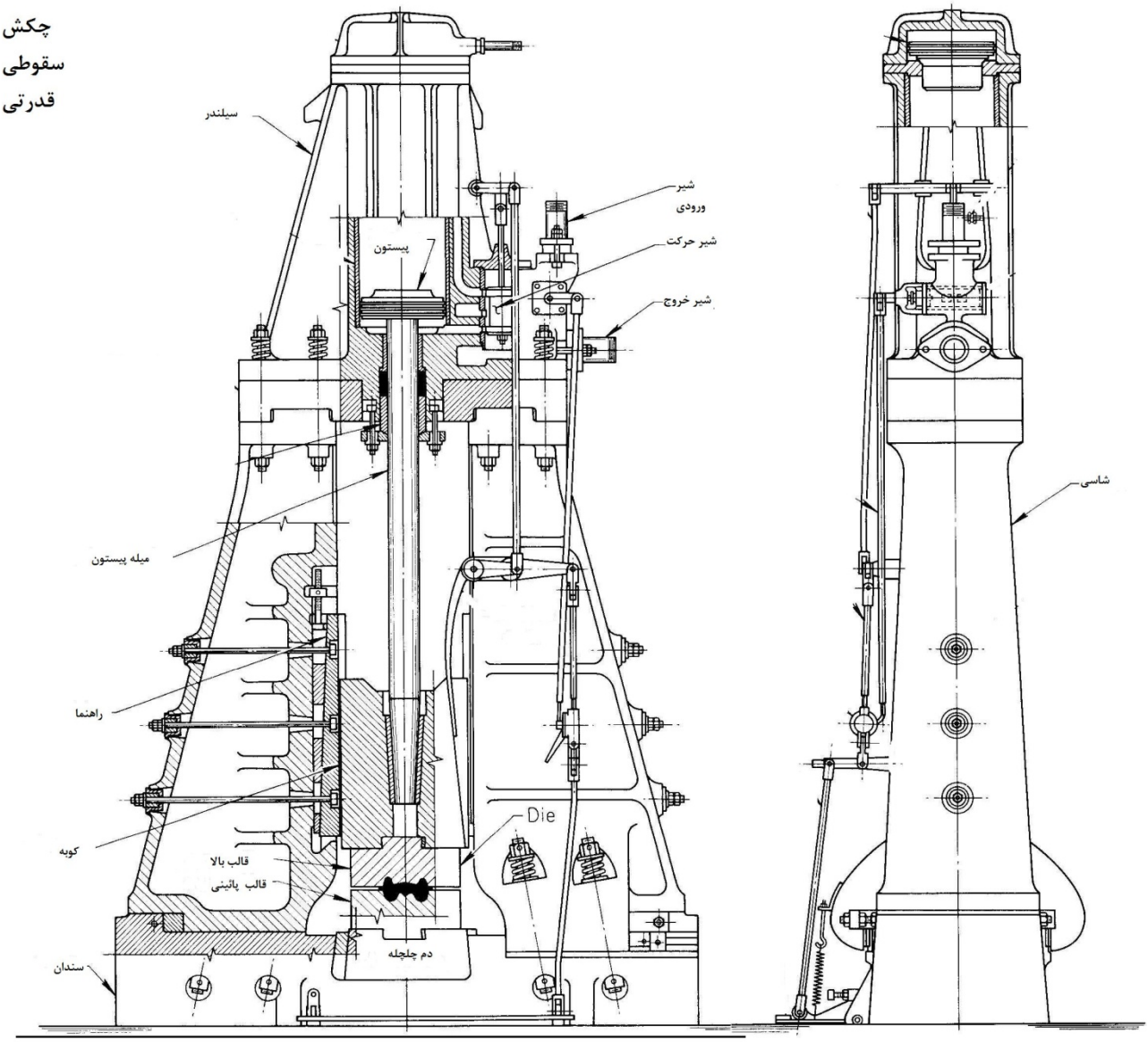
m=جرم چکش V=سرعت چکش در هنگام برخورد به سطح قطعه

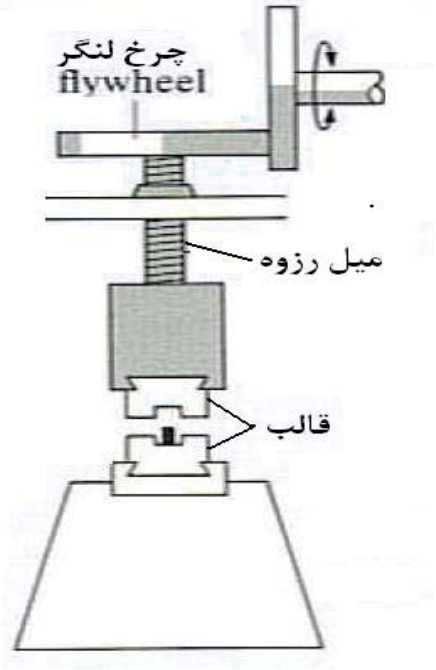
G =شتاب ثقل P=فشار هوار یا بخار آب پشت پیستون

A=سطح مقطع پیستون H=ارتفاع سقوط

شکل زیر قسمت های مختلف این چکش را نشان میدهد. وزن این چکش ها از ۴۵۰ تا ۳۲۰۰ کیلو گرم است.

چکش
سقوطی
قدرتی

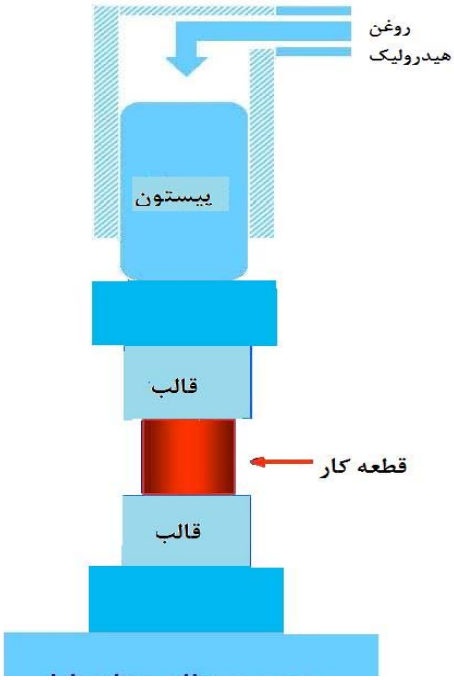




۳–پرس پیچی: اینها ماشین های با انرژی محدود هستند.انرژی ذخیره شده در چرخ طیار نیروی مورد نیاز آهنگری را تامین میکند. انرژی ناشی از دوران چرخ لنگر تبدیل به حرکت خطی پیچ رزوه ای میشود که یک سر آن به چرخ لنگر و سر دیگرش به چکش وصل است. این ماشین بیشتر برای آهنگری آلومینیم و برنج بکار میرود . قطعاتی مانند تیغه های توربین یا کمپرسور–ابزار دستی. این ماشین هم برای آهنگری قالب باز و هم قالب بسته بکار میرود. نسبت به پرس های مکانیکی دارای انرژی بیشتر است .

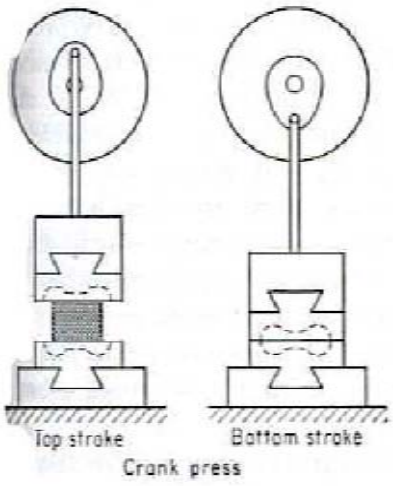
ماشین های با انرژی محدود(پرس های هیدرولیکی): پرس های هیدرو لیکی ماشین های با نیروی محدود هستند. در این پرس ها فشار روغن به پشت پیستون وارد شده واز آنجا بصورت نیروبه قطعه کار وارد میشود. پرس‌های هیدرولیک بر اساس یک قانون فیزیک عمل میکنند که فشارهای هیدرواستاتیک به طور مساوی در شبکه‌ای از لوله‌های به هم پیوسته توزیع میشوند و فشار $p\ [N/m^2]$ که بر یک سطح $A[m^2]$ اعمال شود، نیروی $F[N]$ را حاصل می‌نماید :

$$F=p.A$$



نیروی اسمی پرس از مجموع حاصل ضرب سطوح تمامی پیستون‌ها در فشار هیدرولیک به دست می‌آید. با استفاده از پرس های هیدرولیکی میتوان فلزات را آهنگری کرد وتغییر شکل با سرعت کمتر و لی پیوسته است. در پرس های هیدرولکی نفوذ در فلز بیشتر و خواص مکانیکی فلز تغییر شکل یافته بهتر است. پرس هیدرولیکی نسبت به چکش ها و پرس های مکانیکی گرانترند.نیروی کامل پرس در هر فاصله ای قابل دسترس است . بنابراین این پرس ها برای فرآیند آهنگری اکستروژنی مناسب هستند. بدلیل سرعت پائین حرکت پیستون زمان تماس قطعه و قالب طولانی و باعث ایجاد مشکلاتی مثل اتلاف حرارتی از قطعه کار و گرم شدن بیش از حد قالب که منجر به عیوبی در قالب میشود. پرس های هیدرو لیک به این دلیل ماشین های با نیروی محدود هستند که فشار روغن و سطح مقطع پیستون محدودیت دارد و با توجه به رابطه $F=P.A$ نیروی پرس محدود است.این پرس ها دارای ظرفیت ۲۰۰ تن به بالا هستندو تا ۷۰۰۰ تن میرسد . البته در قالب باز نیرو میتواند بالاتر هم باشد. سرعت در این پرس ها پائین است و حدود ۶۳۵ تا ۷۶۲۰ میلی متر بر دقیقه است.

ماشین های با گام محدود(پرس های ضربه ای) :پرسهای ضربه ای یا مکانیکی نوع دیگر پرس هائی هستند که بیشتر برای قالب های برش یا فرم دهی ورق استفاده میشود و کمتر برای شکل دادن حجمی استفاده میشود . دراین پرس ها حرکت دورانی چرخ لنگربه حرکت رفت و برگشتی محور(ضربه زن یا اسلاید) تبدیل می شودو ضربه اسلاید باعث تغییر شکل قطعه کار میشود. گام پرس (مسافت طی شده توسط ضربه زن)کمتر تر از چکش ها و پرس های هیدرولیکی است در نتیجه این پرس ها را ماشین های با گام محدود گویند. عمل پرس مکانیکی بیشتر شبیه فشرده کردن است تا ضربه زدن در نتیجه قالب ها کمتر تحت ضربه هستند و طول عمر قالب در این ماشین ها بیشتر از طول عمر آنها در چکش هامی باشد.



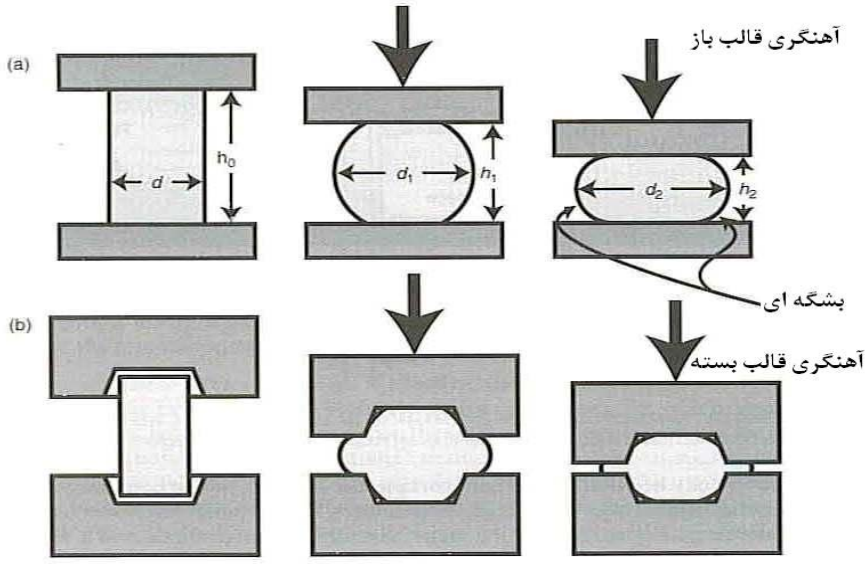
انرژی کل در یک رفت و برگشت (گام) از معادله روبرو محاسبه می شود:

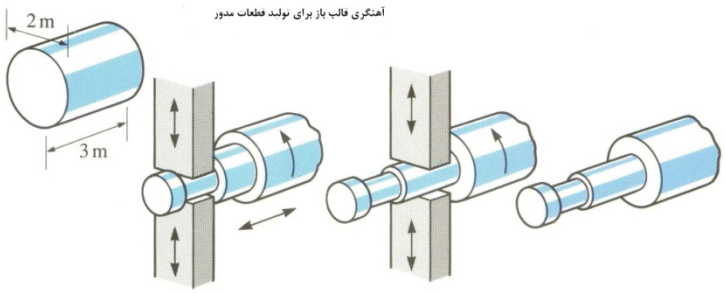
$$W=\frac{1}{2}I\left[\omega_o^2-\omega_f^2\right]$$

I گشتاور اینرسی چرخ لنگر و ω. سرعت زاویه ای اولیه(در لحظه برخورد) و ω_f سرعت زاویه ای بعد از تغییر شکل است.

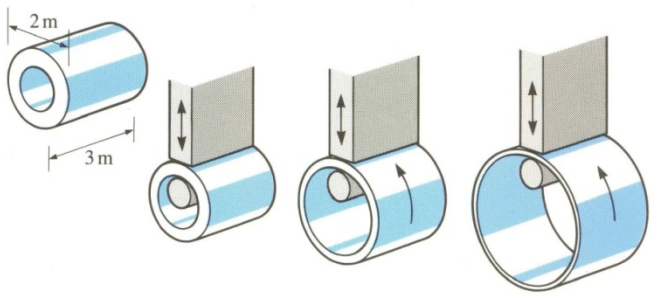
جدول مقادیر سرعت در ماشین های مختلف آهنگری

ماشین آهنگری	محدوده سرعت (متر بر ثانیه)
چکش سقوطی	۳.۶ الی ۴.۸
چکش سقوطی قدرتی	۳.۰ الی ۹.۰
آهنگری با نرخ انرژی بالا (HERF)	۶.۰ الی ۲۴.۰
پرس مکانیکی	۰.۰۶ الی ۱.۵
پرس هیدرولیکی	۰.۰۶ الی ۰.۳





تولید شافت های بزرگ توربین های بخار



فرآیند های آهنگری: فرآیند های آهنگری به دو گروه آهنگری قالب باز و قالب بسته طبقه بندی میشود.شکل زیر بطور شماتیکی آهنگری قالب باز و بسته را نشان میدهد.

آهنگری قالب باز: آهنگری قالب باز بین دو قالب کاملا تخت یا قالب های با شکل ساده انجام میشود . اساساً این روش مشابه روشی است که توسط آهنگران و نعل بندان قدیم انجام می شده ولی اکنون تجهیزات مکانیکی انبوهی درتولید پیوسته نقش دارند. فلزی که قرار است شکل داده شود به طور کلی دردمای مناسب قبل از اینکه روی سندان قرار بگیرد حرارت داده می شود. کوره های الکتریکی، گازی یا نفتی معمولاً به کار گرفته می شود، اگر چه حرارت دادن القایی برای بسیاری از کاربردها مطلوب تر و جذاب تر شده است.سپس ضربه توسط برخی انواع چکش هایاپرس های مکانیکی وارد میشود. آهنگری قالب آزاد حرکت فلز را محبوس نمیکند، پتک و سندان اغلب کاملاً مسطح هستند. اپراتور شکل دلخواه را با دستکاری قطعه کار بین هربارگرم کردن بدست می آورد. او ممکن است از ابزارهای طرحدار مخصوص یا یک قالب نقش دار بین قطعه و پتک یا سندان به منظور شکل دهی مقاطع (گرد ، مقعر ، محدب)، ایجاد سوراخ ها یاانجام عملیات های برش ، استفاده کند. ابزارهای مکانیکی برای نگهداری ودستکاری قطعات بزرگ که برخی مواقع وزن آنها چندین تن است، مورد استفاده قرار می گیرد. اگر چه برخی قطعات پرداخت شده می تواند با این تکنیک ساخته شود ولی این شیوه اغلب برای شکل دهی اولیه فلز برای برخی عملیات های دیگر همچون مواردی که برای قطعات سنگین مثل روتورهای توربین به منظور کم کردن ماشینکاری مداوم مورد استفاده قرار می گیرد.

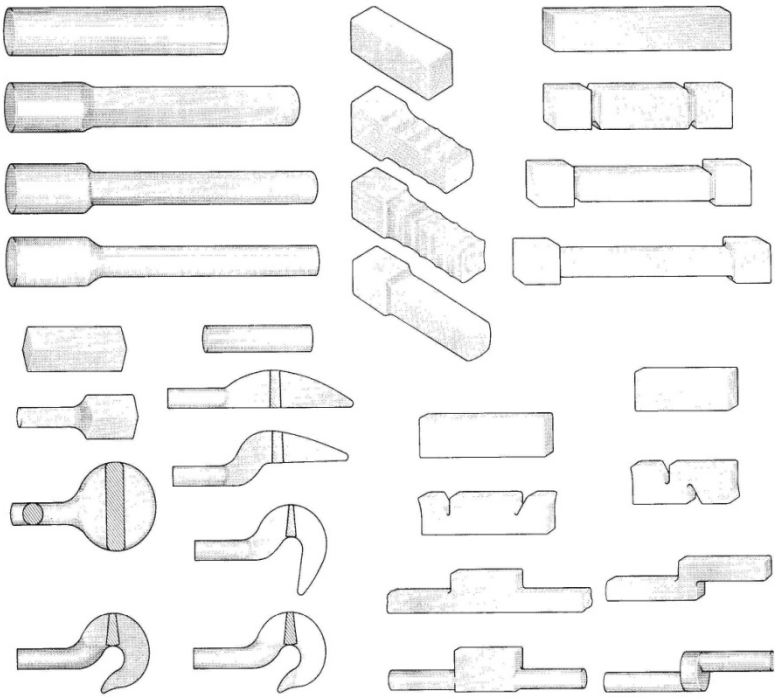
کاربرد این روش :

۱-برای قطعات خیلی بزرگ یا تعدادخیلی کم که قالب سازی مقرون بصرفه نباشد

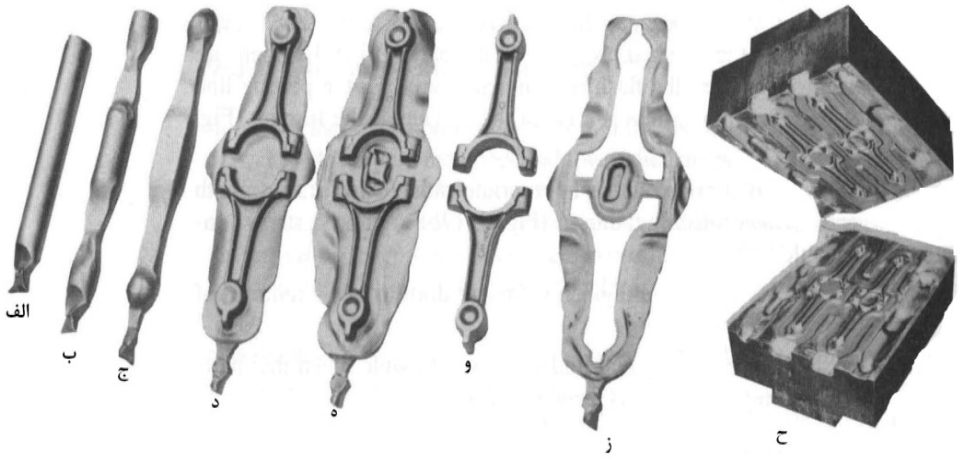
۲-در مواردی که دقت ابعادی مد نظر نباشد یا با ماشینکاری بتوان به دقت مورد نظر رسید.در خیلی از موارد آهنگری قالب باز مقدمه و پیش شکلی است برای آهنگری قالب بسته . در آهنگری قالب باز مهارت مرد آهنگر بسیار مهم است.

شکل روبرو قطعات تولیدی به روش آهنگری قالب باز را نشان میدهد .

نمونه قطعات تولیدی به روش آهنگری قالب باز



آهنگری قالب بسته:در این روش تغییر شکل در یک فضای بسته انجام میشود. وقتی نیم قالب بالائی و نیم قالب پائینی روی هم قرار گیرند تشکیل یک فضای توخالی را میدهند بنام حفره قالب که به شکل قطعه ای است که میخواهیم تولید کنیم.این روش برای تولید قطعات خیلی کوچک و در تعداد زیاد استفاده میشود.دقت ابعادی و کیفیت سطح قطعه در این روش بسیار خوب است. بدلیل ساخت قالب که هزینه بر است فرآیند آهنگری قالب بسته در مقایسه با قالب باز گرانتر است.بسته به شکل قطعه تولیدی قالب میتواند ساده یا مرکب باشد . در قالب های ساده عمل تغییر شکل در یک مرحله انجام میشود . ولی برای قطعات پیچیده معمولا تغییر شکل طی چند مرحله انجام میشود . این مراحل میتواند در چند قالب یا در یک قالب باشد که چند حفره قالب در آن ایجاد شده است.در قالب های ساده اگر قطعه کوچک باشد میتوان چندین قطعه را در یک قالب طراحی و تولید کرد. شکل زیر را مختلف تولید یک قطعه پیچیده(دسته شاتون) را نشان میدهد. همانگونه که ملاحظه میشود تولید این قطعه طی چهار مرحله بصورت زیر می باشد.



الف:ماده خام اولیه
ب:پیش فرم
ج:نوردکردن
د:شکل دهی خام
ه:شکل دهی ظریف
و:دوربری
ز:پلیسه
ح:قالب مرکب

۱-پیش فرم دهی: در این مرحله لقمه اولیه شکل داده میشود

۲-آهنگری خشن:در این مرحله شکل لقمه به شکل قطعه نزدیک شده ولی دقت ابعادی ندارد

۳-آهنگری دقیق:در این مرحله شکل قطعه به شکل واقعی دقت و با ابعاد و اندازه های مورد نظر است.

۴-دوربری:در این مرحله پلیسه دور قطعه بریده میشود.

قالب از نوع مرکب است یعنی چند مرحله تغییر شکل در یک قالب انجام میشود .بعلاوه برای تعادل نیروئی دو عدد شاتون در یک قالب قرار می گیرد . اکثر قالب های آهنگری حاوی حفره های متعدد است . نقش اولیه معمولاً یک نقش لبه دار ، شیادار و خم برای توزیع فلز در تطابق با نیازهای نقش های بعدی می باشد . نقش های میانی برای لقمه کاری فلز برای شکل تقریباً نهایی می باشند. شکل واندازه نهایی در

نقش نهایی ایجاد می شود. چون هر قطعه به صورت دسته ای از قالب ها در حفره های مشابه شکل داده شده است، همه آنها شبیه یکدیگرند وقالب د رمعرض سایش قرار می گیرد.

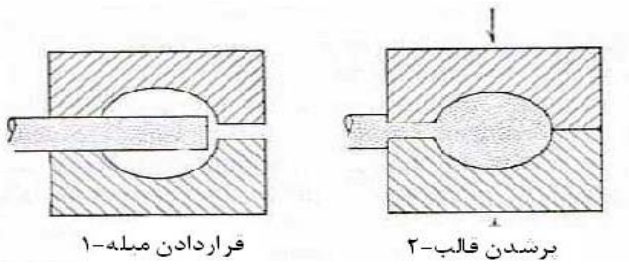
محدودیت در جریان حرکت اینست که تحمیل ابعاد خاص توسط شکل حفره موجب می شود که فلز در جهت های مطلوب حرکت کند ویک ساختار رشته ای مطلوب بدست آید. علاوه بر این، فلز ممکن است جایی که لازم است مطلوبترین مدول مقطع برای مقاومت در برابر تنش های بارگذاری فراهم شود، قرار بگیرد . این فاکتورها به همراه ساختار ریزدانه و اطمینان از نبود حفره ها ، امکان دست یابی به نسبت های استحکام به وزن بالاتری را با آهنگری نسبت به ریخته گری یا قطعات ماشینکاری شده از مواد مشابه را فراهم می کند.

جدول زیر پرس ها و چکش ها را از جنبه های مختلف با هم مقایسه کرده است

پرس ها		چکش ها	
هیدرولیکی	مکانیکی	چکشهای سقوطی/قدرتی	
سیال داخل سیلندر فشرده می شود و این فشاراز طریق پیستون به کوبه پرس منتقل میشود	حرکت دورانی چرخ لنگر به حرکترفت وبرگشتی خطی اسلاید تبدیل می شود	نیرو از طریق یک وزنه یا کوبه در حال سقوط اعمال می شود	نحوه اعمال نیرو
به فشار سیال و مساحت سیلندراستوانه ای که پیستون درون آن حرکت می کند بستگی دارد	انرژی تأمین شده در طول ضربه $0.5*I*(\omega_0^2 - \omega_f^2)$	مجموع انرژی برابر است باانرژی پتانسیل کوبه بعلاوه انرژی جنبشی اولیه د رچکش قدرتی	انرژی کل
ماشین با نیروی محدود	ماشین باکورس(گام) محدود	ماشین با انرژی محدود	نوع ماشین
تمام نیروی پرس در هر نقطه ازگام در دسترس است، گام های بلندامکان پذیر است	حداکثر نیرو انتهای گام(هنگام ضربه) حاصل می شود، تنها گام های کوتاه میسر است	تمام انرژی در زمانی بسیار کوتاه وارد می شود (بار ضربه ای)	نحوه اعمال نیرو
حداکثرظرفیت ۱۸۰۰۰تن	حداکثرظرفیت ۱۲۰۰۰تن	حداکثرظرفیت ۱۰۰۰تن	ظرفیت پرس
سرعت کم (۰/۰۶ تا ۰/۳ متربر ثانیه)، اتلاف حرارت بیشتر در هنگام تغییر شکل گرم	۰/۰۶ تا ۱/۵ متربرثانیه، اتلاف حرارتی کم در هنگام تغییر شکل گرم	سرعت بسیار بالای کوبه (۳ تا ۱۰ متربرثانیه، ۶۰-۱۵۰ ضربه در دقیقه)	سرعت
عملکرد آهسته، می توان سرعت کوبه را در حین تغییر شکل کنترل نمود و تغییر داد، میزان تولید پائین	عملکرد سریع، میزان تولید بالا	عملکرد بسیار سریع، کنترل ضعیف بر فرایند	عملکرد
دقت ابعادی خوب، تلرانسهای کم بخاطر سرعت پائین فشردن کردن	دقت ابعادی بهتر نسبت به چکشها	دقت ابعادی پائین	دقت ابعادی
بسیار بالا	بالا	پائین	سرمایه گذاری اولیه

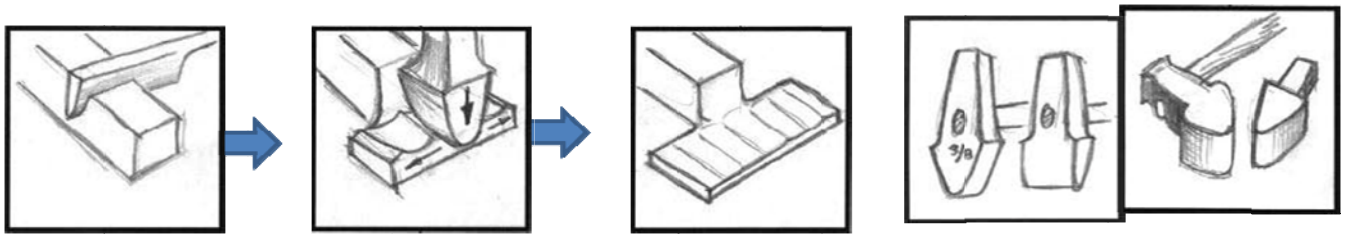
در زیر چند فرآیند ساده آهنگری شرح داده میشود:

لبه کاری برای شکل دهی لبه انتهائی میله ها بکار میرود.سیلان فلز افقی است ولی در جهات دیگر آزادانه میتواند حرکت کند تا قالب را پر کند.

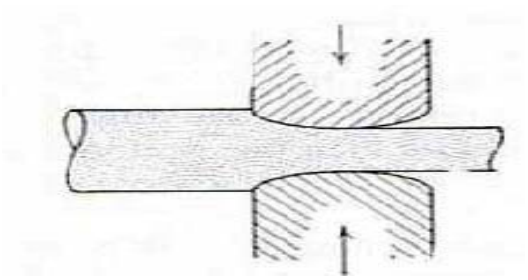


شیار زنی برای کاهش دادن سطح مقطع بخشی از قطعه کاراستفاده میشود.

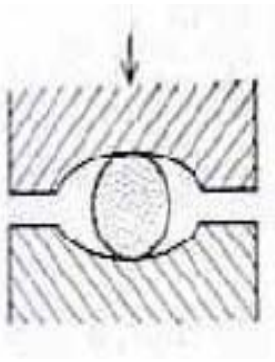
سیلان فلزبسمت بیرون واز مرکز شیار دور میشود.برای مثال تولیدشافت های اتصال در موتورهای درون سوز . شیارسریع حرکت کرده و جهت سیلان فلز عمود بر سطح شیار است.شیار ها دارای شکل های مختلفی هستند.



کشش برای کاهش سطح مقطع قطعه کار استفاده میشود.با کاهش سطح مقطع طول نمونه افزایش می یابد. در این فرآیند همزمان با حرکت افقی میله ضربات چکش به سطح آن وارد میشود

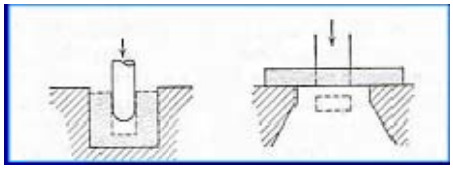


قالب زنی(swaging) برای تولید میله های با قطر کمتر بکار میرود.(از قالب های محدب استفاده میشود).محصول قالب زنی محصول نیمه نهائی است و برای فرآیند های بعدی شکل دادن بکار میرود.در قالب زنی قطعات با سطح مقطع گرد تولید می کند که مناسب برای فرآیند هائی مثل رزوه کاری –توپی زنی یا سایر فرآیند های شکل دهی بکار میرود.

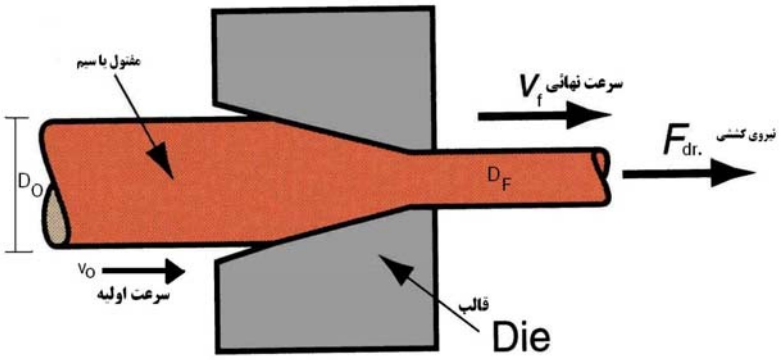


قرارکاری یک فر آیند خاص آهنگری است که فلز در اثر ضربات سریع و متوالی چکش شکل میگیرد.

سوراخ کردن:این روش برای ایجاد سوراخ و حفره در فلز به کار می رود



کشش سیم، تسمه و لوله



کشش سیم: فرآیند کشش سیم عبارت است از:

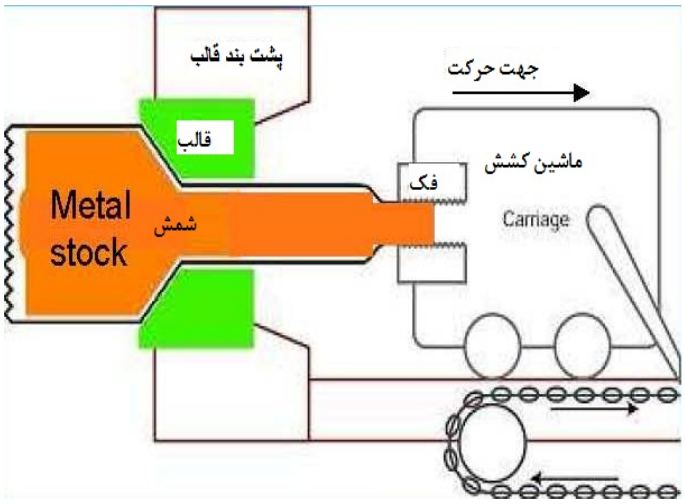
کاهش قطر یک میله یا سیم با عبور آن از یک یا چند قالب یا صفحات فلزی با اعمال نیروی کششی به میله در سمت خروجی قالب. قالب بعدی مورد استفاده برای کشش باید دارای قطر روزنه کوچکتری در مقایسه با قالب کشش قبلی باشد.

عامل تغییر شکل عکس العمل دیواره قالب است که نیروی فشاری ایجاد می شود که باعث تغییر شکل پلاستیک مفتل میشود.

مواد اولیه مورد استفاده : شمش آهنی(نورد شده) و مواد غیر آهنی (اکسترود شده) . این فلزات باید دارای چکش خواری بالا واستحکام کششی خوب باشند .کشش لوله و سیم معمولا در دمای اتاق انجام میشود به جز برای تغییر شکل های زیاد که منجر به افزایش بیش از اندازه درجه حرارت در فرآیند کشش می شود . فلز معمولا دارای یک تقارن دایره ای می باشد . (ولی همیشه این تقارن وجود ندارد، بستگی به خواسته تولید کننده دارد).

در فرآیند کشش سیم حجم ثابت باقی می ماند در حالیکه سطح مقطع کاهش و طول افزایش می یابد . اصول تغییر شکل برای کشش میله ، مفتول و سیم یکسان است فقط تجهیزات از لحاظ اندازه باتوجه به نوع محصول تولیدی متفاوت هستند. مفتول فلزی فرآورده های فلزی باقطر نسبتا بالا می باشند.سیم از لحاظ قطر کوچکتراز مفتول است ،قطر سیم معمولاکمتر از ۵ میلی متر می باشد .

فرآیند کشش مفتول «Rod»: مفتول هائی که امکان کلاف کردن آنها وجود ندارد و روی میز کشش تولید میشوند..



مراحل تولیدمفتول: ابتدا میله اولیه به طول مورد نظر بریده میشود. سپس در داخل قالب قرار داده می شود.مرحله بعد توسط گیره های ماشین کشش محکم نگاه داشته می شود ودر نهایت سیستم به وسیله یک کشنده هیدرولیکی از درون قالب کشیده میشود.

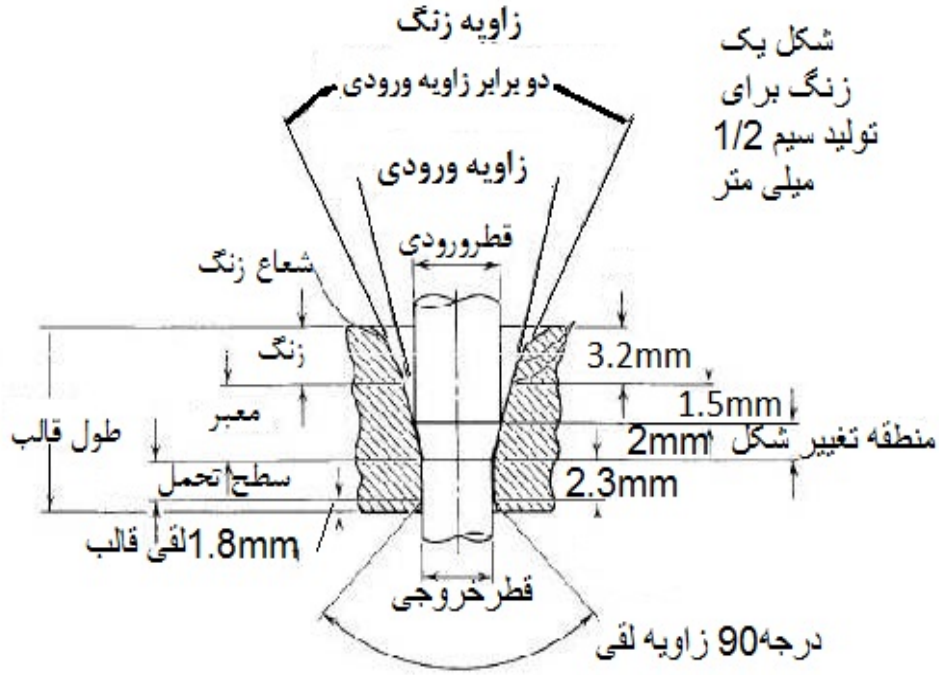
مشخصات ماشین کشش :

۱-نیروی کشش ۱۰۰۰کیلو نیوتن ۲-طول جابجائی ۳۰ متر
۳-سرعت کشش ۱۵۰ تا ۱۵۰۰ میلی متر در ثانیه

قالب مخصوص کشش سیم:

۱)قالب های مخروطی شکل:شکل زیر یک قالب کشش سیم را نشان میدهد مهمترین قسمت های قالب عبارتند از:

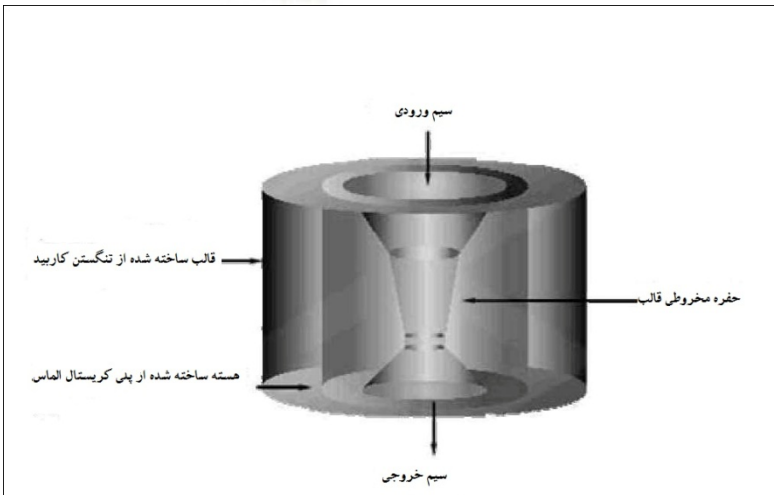
- ✓ زنگوله : در بالای قالب باعث افزایش فشار هیدرواستاتیک ومحل ریختن مواد روان کننده به داخل قالب می باشد .
- ✓ زاویه معبر : جایی که کاهش واقعی در قطرسیم رخ می دهد ، این زاویه را به ۲a نمایش میدهند و به زاویه قالب می شناسند و a را زاویه نیم قالب گویند.
- ✓ سطح تحمل یک مالش اصطکاکی روی سیم انجام میدهد وهمچنین آسیب سطحی ناشی از سایش قالب را بدون تغییر ابعاد سیم از بین می برد.



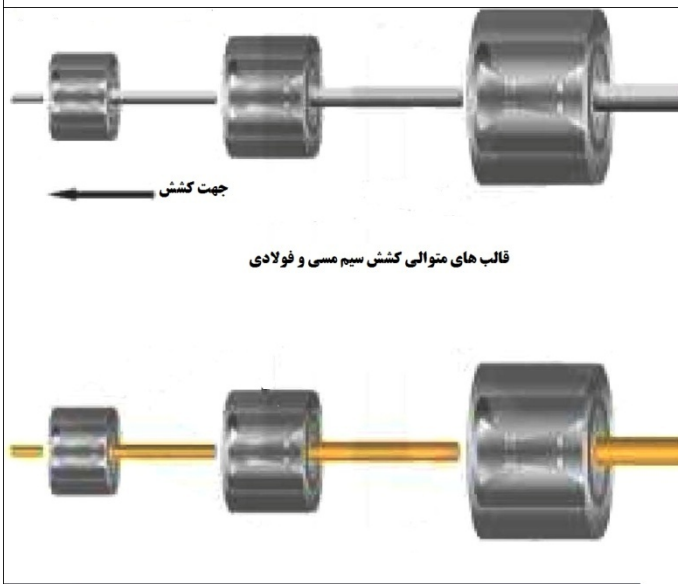
شکل یک زنگ برای تولید سیم 1/2 میلی متر

✓ لقی پشت قالب : به سیم اجازه میدهد که وقتی از قالب خارج می شودبه آرامی منبسط شود.همچنین اگر قالب تنظیم نباشد یا فرآیند کشش متوقف شود سایيدگی را به حداقل کاهش می دهد .

جنس قالب: بیشتر قالب های کشش از جنس کاربید سمانته یا الماس صنعتی (برای سیمهای نازک)هستند. چون این مواد دارای استحکام عالی-چقرمگی و مقاومت به سایش خوبی دارند. کاربید سمانته مرکب از کاربیدهای Ti ، W ، Ni ، Mo ، Ta و HF می باشند



PCD یا الماس چندبلوری برای ساخت قالب های کشش سیم های نازک و ظریف استفاده میشود. عمر طولانی قالب ، مقاومت سایشی خوب- و مقاومت به ترک خوردگی از ویژگی های این مواد می باشد. به منظور محافظت قالب درون یک پوسته فولادی ضخیم(پشت بند قالب) جا زده میشود .شکل بالا نمونه ای از قالب های مورد استفاده برای کشش سیم را نشان می دهد . شکل روبرو قالب ساخته شده از تنگستن کاربید را نشان میدهد که هسته داخلی آن از الماس پلی کریستال ساخته شده است.

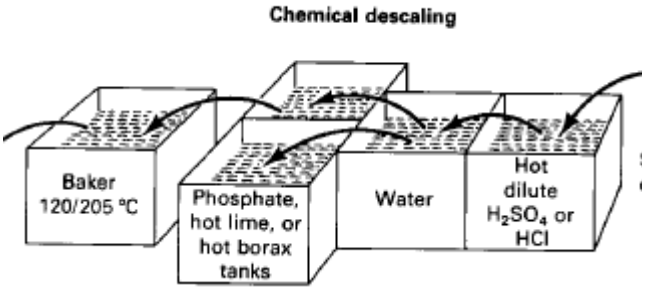


قالب های متوالی کشش سیم مسی و فولادی

ماشین های چند قرقره ای در این روش ، سیم ابتدا از حلقه و قرقره بالایی عبور داده شده سپس به سمت پایین کشیده و وارد قالب دوم میشودو از درون این قالب کشیده میشود و آماده برای تغییر شکل های بعدی میشود.بنابراین سیم از داخل تمام درام های کشش در این مجموعه در یک روش پیوسته عبور داده می شود تا قطر نهایی (مطلوب) سیم بدست آید.. سرعت هرکدام از قرقره های کشش به منظور اجتناب از ایجاد لغزش یا جابجایی در بین سیم و جعبه قرقره (استوانه ای شکل) همزمان سازی شده است.

سرعت کشش : تقریباً بیش از ۱۰m/s برای فلزات آهنی و بیش از ۳۰ m/s برای فلزات غیرآهنی می باشد

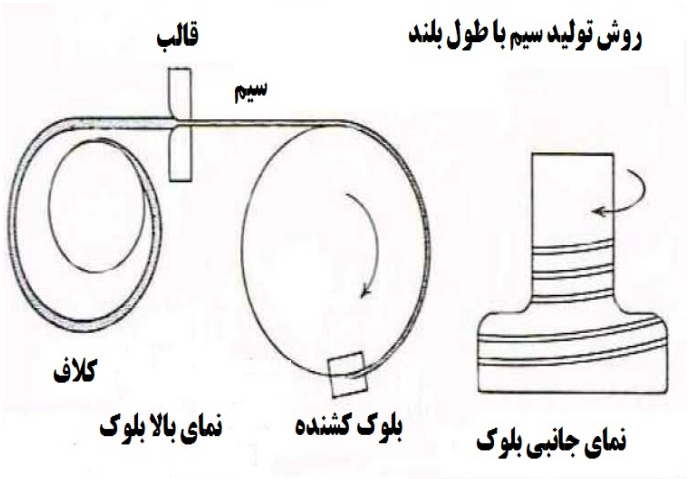
فرآیند کشش سیم (wire) : ماده اولیه مورد استفاده در کشش ، مفتول و میلگرد های تولید شده به روش نورد گرم است که ابتدا اسید شوئی شده تا پوسته های اکسیدی آن از بین برود. وجود اکسید علاوه بر سایش سریع قالب باعث پدیده پوسته پرتغالی شدن سطح میلگرد میشود.اسید مورد استفاده اسید سولفوریک یا کلرید ریک رقیق داغ می باشد.در اسید شوئی ابتدا کلاف های سیم یا مفتول در حوضچه های اسید فرو رفته و بعد از مدتی خارج کرده و با آب شستشو میدهند تا اسید آن از بین برود و بعد وارد حوضچه آب آهک می کنند تا اگر اسیدی باقی مانده است خنثی شود. مرحله بعدی خشک کردن مفتول است که تا دمای ۱۲۰ درجه در گرم خانه حرارت میدهند .



مرحله بعدی استفاده از روان ساز ها می باشد. بخاطر تماس سیم با سطح داخلی قالب اصطکاک زیادی وجود دارد که این اصطکاک علاوه بر سایش سیم یا قالب تولید حرارت زیاد کرده .همچنین نیروی کشش را بنحو قابل ملاحظه ای افزایش میدهد . پس حتما بایستی از روان ساز ها استفاده کنند که به دو گروه روان ساز های تر و خشک طبقه بندی میشوند.

روان ساز های تر گریس و روغن هستند که در تولید سیم از فلزات نرم و یا تغییر شکل های جزئی استفاده میشودچون حرارت تولیدی حین تغییر شکل کم است . اگر حرارت تولیدی زیاد باشد باعث تجزیه روغن یا گریس میشود.برای فلزات با استحکام بالا چون حرارت حین تغییر شکل خیلی زیاد است از روان ساز تر نمیتوان استفاده کرد و از روان ساز خشک استفاده می کنند

روان ساز خشک مواد معدنی مثل پودر گرافیت –تالک – پودر صابون – سولفات ها و اگزالات ها هستند.در اکثر موارد از پودر شیشه بعنوان روان کننده استفاده میشود.که حرارت تولیدی باعث ذوب شدن شیشه شده و یک فیلم نازک از مذاب شیشه سطح مفتول را پوشانده و در نتیجه از تماس فلز با فلز جلوگیری می کند. cu و sn به عنوان مواد روان کننده برای مواد با استحکام بالا مثل فولاد ضد زنگ استفاده میشوندکه در این حالت سیم را بوسیله مس یا قلع روکش داده و در مرحله کشش این روکش از بین رفته و بصورت ذرات خیلی ریز بین قالب و سیم قرار میگیرد وباعث کاهش صطکاک میشود . قلع یا مس را فلز فدا شونده گویند

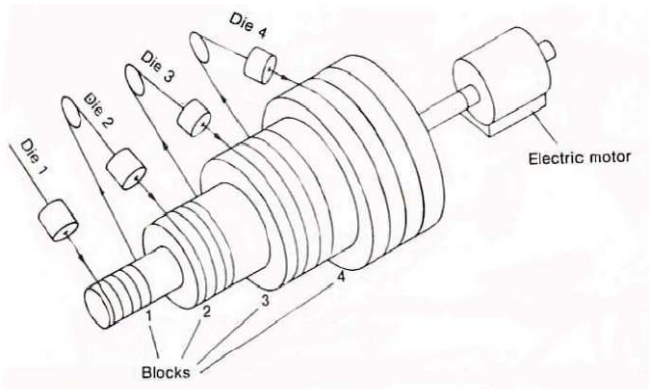


نقطه ای کردن :مرحله بعدی از فرآیند کشش نقطه ای کردن است که در این حالت نوک سیم را تیز کرده تا براحتی وارد قالب شود.

در پایان کشش است که سیم از درون قالب عبور کرده تا قطر آن کم شود. کشش به صورت بلوکی امکان تولید سیم های بلندتر را فراهم می کند.

کاهش سطح مقطع در هر مرحلهٔ کشش بندرتً بیشتر از ۳۰٪ تا ۳۵٪ درصد می شود.

کشش سیم در قالب چند تائی با مخروط پله ای :شکل زیر ، قالب کاملاً مخروطی شکل چند دنده ای را برای کشش سیم نشان می دهد . این طراحی کاملاً اقتصا دی است. از یک موتور الکتریکی خاص برای چرخاندن یک مجموعه از مخروطهای پله ای استفاده می شود .



قطر هر مخروط طوری طراحی شده است که یک سرعت محیطی معادل با یک کاهش ویژه در اندازه سیم میدهد.

مثال : کشش سیم فولادی زنگ نزن :انواع فولادهای زنگ نزن : 304 , 304L , 316 , 316L

کاربرد این فولادها در زمینه کشش مجدد ، شبکه های توری ، لوله های نرم و باریک ، ریسمان های فولادی ، فیلترها (تصفیه کننده) و ساخت فنرها.در این روش سیم های فولادی زنگ نزن که دارای قطرزیادی می باشند در ابتدا از لحاظ کیفیت سطحی مورد بررسی قرار میگیرند. ، همچنین سختی و استحکام و اندازهٔ قطرآنها اندازه گیری میشود

آماده سازی سطح سیم توسط اسیدشوئی(برای فولاد ضد زنگ فریتی و مارتنزیتی) یا شستشو در محلول های بازی (فولادهای ضد زنگ آستنتی) انجام میشود و سطح آنها با مواد روان کننده پوشیده میشود.

کشش سرد در قالب های الماسی یا قالب های کاربید تنگستن انجام شده تا قطر مورد نظر بدست آید.

سپس فرآیند تمیز کردن روغن ها از روی سطح سیم انجام شده و در نهایت سیم تولید شده عملیات حرارتی میشود (آنیل کاری در دمای تقریباً۱۱۰۰درجه)

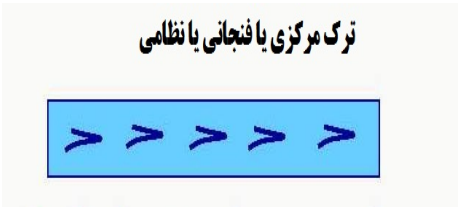
عملیات حرارتی :عملیات حرارتی تمپر کردن برای مفتول های غیرآهنی وفولاد های کم کربن بکار میرود. (ازنوع کاملانرم گرفته تا کاملا سخت)که این امربه ساختارفلز و مقدار تغییر شکل بستگی دارد .

فولادها (کربن بیشتر از 0.25٪) معمولا در محدوده 3.تا 5.درصد کربن معمولا قبل از کشش به عملیات حرارتی نیاز دارند.

مفتول های عملیات حرارتی شده چون دارای ساختار پرلیتی کاملا ریزی میشوند را میتوان تا ۹۰ درصد کاهش در سطح مقطع داد.

حرارت دادن بالای خط دمای بحرانی(۹۷۰درجه سانتی گراد) باعث تشکیل ساختار آستنیت درشت دانه میشود و با خنک کردن سریع در حمام سرب با دمای ۳۱۵و کوچک بودن قطر سیم باعث تغییر ساختار به پرلیت خیلی ریز میشود بعلاو ه فریت اولیه نیز جدا نمیشود و این ساختار بسیار عالی با استحکام و چکش خواری بالاست.

عیوب ایجاد شده در سیم یا مفتول:عیوبی که در سیم یا مفتول بوجود می آید یا در مفتول اولیه است یا حین فرآیند کشش بوجود می آیند.



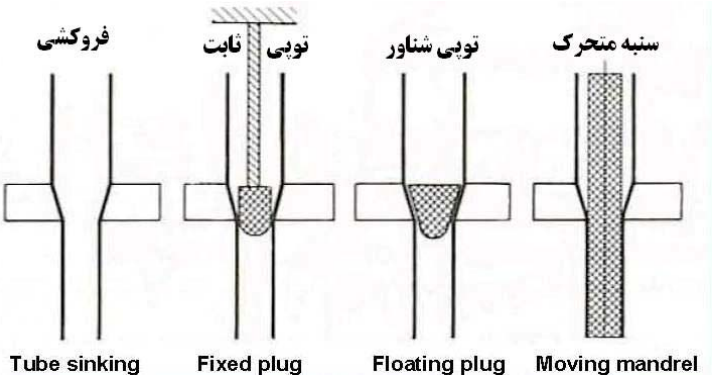
عیوبی که در ماده اولیه هست مثل درز دار بودن،براده ای بودن(یاسوراخ بودن.

عیوبی که حین کشش بوجود می آید مثل ترک های مرکزی یا ترک فنجانی .این عیوب در زاویه قالب کم و در تغییر شکل های جزئی اتفاق می افتد.

برای یک کاهش در سطح مقطع وزاویه قالب ثابت ، به منظور جلوگیری از پارگی کاهش در سطح مقطع بحرانی با افزایش اصطکاک افزایش می یابد.

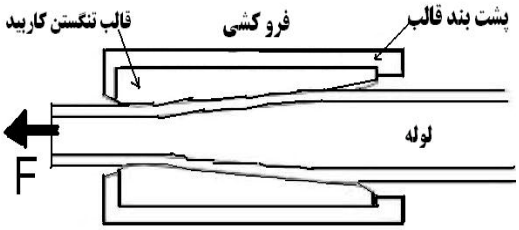
تمام بحث هائی که برای کشش سیم شد برای کشش تسمه نیز بر قرار است بجز اینکه در کشش تسمه عرض تسمه حین فرآیند تغییر نمی کند.

کشش لوله: در ادامه فرآیند نورد یا اکستروژن گرم استوانه های توخالی یا لوله ها در قالب به روش سرد کشیده میشوند تا بتوان دقت ابعادی بالا-کیفیت سطحی خوب- بهبود خواص مکانیکی یا مقاطعی با ضخامت وقطر کمتر ویا مقاطع غیر متقارن بدست آورد . چها ر روش کلی کشش لوله وجود دارد

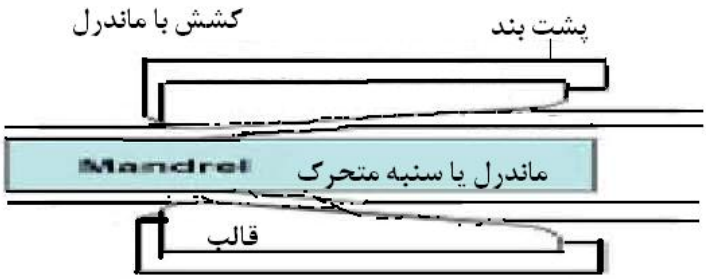


۱- فروکشی
۲- توپی ثابت
۳- توپی شناور
۴- سنبه متحرک یا ماندرل

شکل روبرو این چهار روش کشش لوله را نشان میدهد .

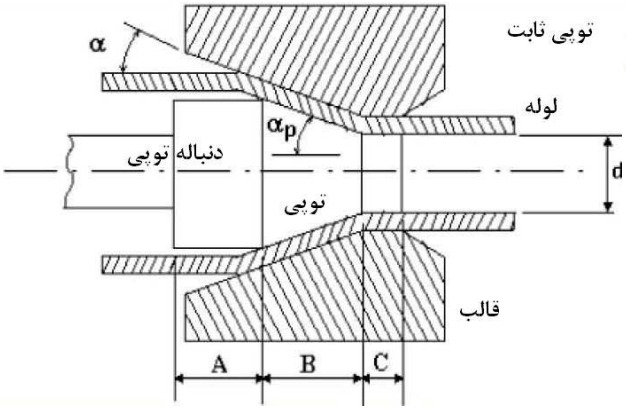


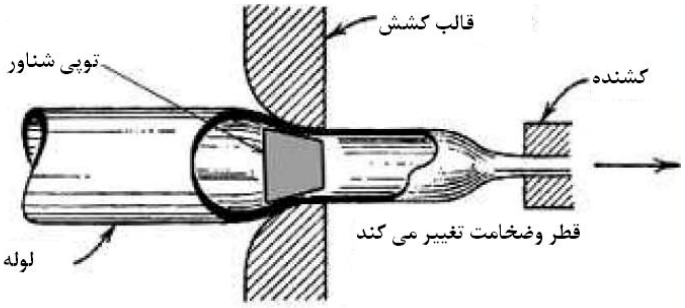
فروکشی: در این روش لوله از درون قا لبی کشیده میشود . ساده ترین و ارزان ترین روش کشش لوله است . در اثر کشش قطر خارجی کاهش می یابد ولی چون در داخل لوله تکیه گاهی وجود ندارد جداره کمی ضخیم و داخل آن نیز کمی چروکیده میشودکه این بستگی به زاویه قالب و نسبت ضخامت به قطر لوله دارد . زاویه قالب معمولا ۲۴ درجه است وکم شدن زاویه باعث ضخیم شدن لوله میشود و بالعکس .این روش معمولا برای نهائی کردن اندازه قطر خارجی لوله بکار میرود .



کشش با سنبه متحرک: سنبه متحرک یا ماندرل میله فولادی ضد سایشی است که قطر آن معادل قطر لوله است . این ماندرل قبل از کشش درون لوله جا زده میشود و همزمان لوله و ماندرل از درون قالب کشیده میشود. در نتیجه قطر داخلی لوله تغییر نکرده و ضخامت آن کم و طول لوله زیاد میشود . کیفیت سطح داخلی لوله در این روش بسیار خوب و بدون هیچگونه ناهمواری سطحی است .چون ماندرل و لوله با سرعت نهائی vF حرکت می کنند در نتیجه در داخل لوله اصطکاک بین لوله و ماندرل کمک به نیروی کشش می کند که این مورد با روابط ریاضی در فصل ۶ بحث شد .

کشش با توپی: به دو روش توپی ثابت و متحرک طبقه بندی میشود . مکانیزم فرآیند در هر دو روش یکسان است با این تفاوت که در توپی ثابت انتهای توپی به میلهای ثابت شده است و هیچ حرکتی ندارد اما در توپی شناور توپی در داخل لوله بصورت شناور قرار دارد و کمی در جای خود لرزش دارد و در نتیجه سطح داخلی لوله کمی موج دار است . قطر خارجی و داخلی لوله قابل کنترل است .توپی به شکل مخروطی و با زاویه راس مخروط که به زاویه توپی معروف است مشخص میگردد .در زاویه توپی صفر توپی استوانه ای و در نتیجه قطر داخلی تغییر نمی کند . مزیت توپی به ماندرل این است که ماندرل وقتی سائیده شد و دقت ابعادی نداشت حجم زیادی فولاد ماندرل بلااستفاده میشود اما در توپی با سائیده شدن توپی حجم کمی فلز توپی ضایع میشود . بدلیل اصطکاک زیاد بین لوله و توپی مقدار تغییر شکل زیر ۳۰ درصد است .





اکستروژنEXTRUSION

اکستروژن فرآیندی که در آن شمش یا بلوک فلزی تحت فشار بالا به روزنه قالب رانده میشود و در نتیجه سطح مقطع شمش کاهش می یابد. به طور کلی اکستروژن برای تولید مقاطع استوانه ای یا لوله های تو خالی و یا ماده اولیه برای کشش سیم یا اکستروژن سرد یامحصولات آهنگری مورد استفاده قرار می گیرد.

چون نیاز به نیروی زیاددر اکستروژن میباشد بیشتر فلزات اکسترود گرم میشوند. اشکال پیچیده را می توان از فلزات قابل اکسترود مانند آلومینیم تولید کرد. محصولات تولیدی به این روش تولیدات اکسترودی نامیده می شوند.

تماس و تقابل شمش اکسترود شونده با محفظه و قالب در تنش های فشاری بالا باعث می شود ترک خوردگی فلزکه در مرحله ریخته گری یا برش اولیه شمش بوجود آمده از بین برود.این به افزایش بهره وری فرآیناکستروژن فلزاتی که شکل دادن آن ها سخت است مانند فولادهای ضدزنگ –آلیاژهای نیکل و دیگر فلزات دمای بالا کمک می کند. مشابه آهنگری در اکستروژن گرم نیروی کوبه کمتر و ساختار در تبلور مجدد ریزدانه است. دراکستروژن سرد کیفیت سطحی بهتر و استحکام بیشتر(فلزات کارسختی شونده) بدست می آید.

محصولات اکستروژن انواع قطعات تولید شده بوسیله اکستروژن در خودرو–در ساختمان مانند چارچوب پنجره ها- ریل ها و قطعات بدنه هواپیما استفاده می شود.

آلومینیوم اکسترودشده در منازل وساختمان های تجاری مانند چارچوب پنجره و درها- خانه های پیش ساخته - پوشش فلزی سقف و دیواره- درب مغازه ها و.....به کار می رود.علاوه بر این اکستروژن می تواند در صنایع حمل و نقل مانند بدنه هواپیما- وسایل نقلیه ریلی و جاده ای وتجهیزات دریایی استفاده شو د

طبقه بندی فرآیندهای اکستروژن

چندین روش برای طبقه بندی فرآیند های اکستروژن فلزات وجود دارد:

براساس جهت حرکت فلز:

الف: اکستروژن مستقیم(اکستروژن به جلو) ب:اکستروژن غیر مستقیم (اکستروژن به عقب)

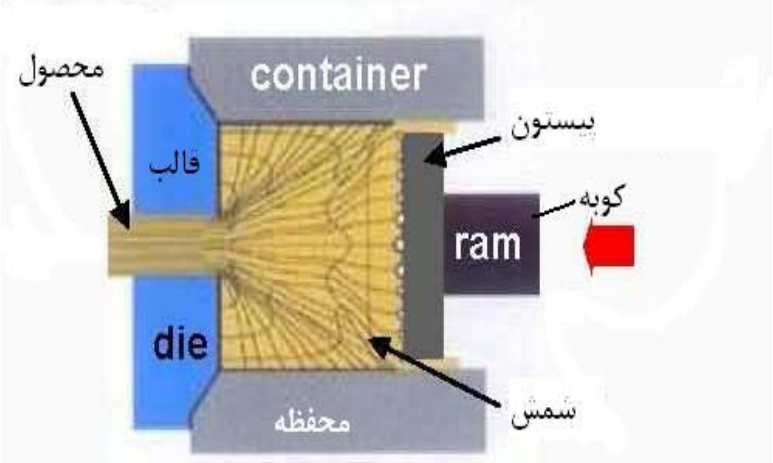
براساس دمااکستروژن:

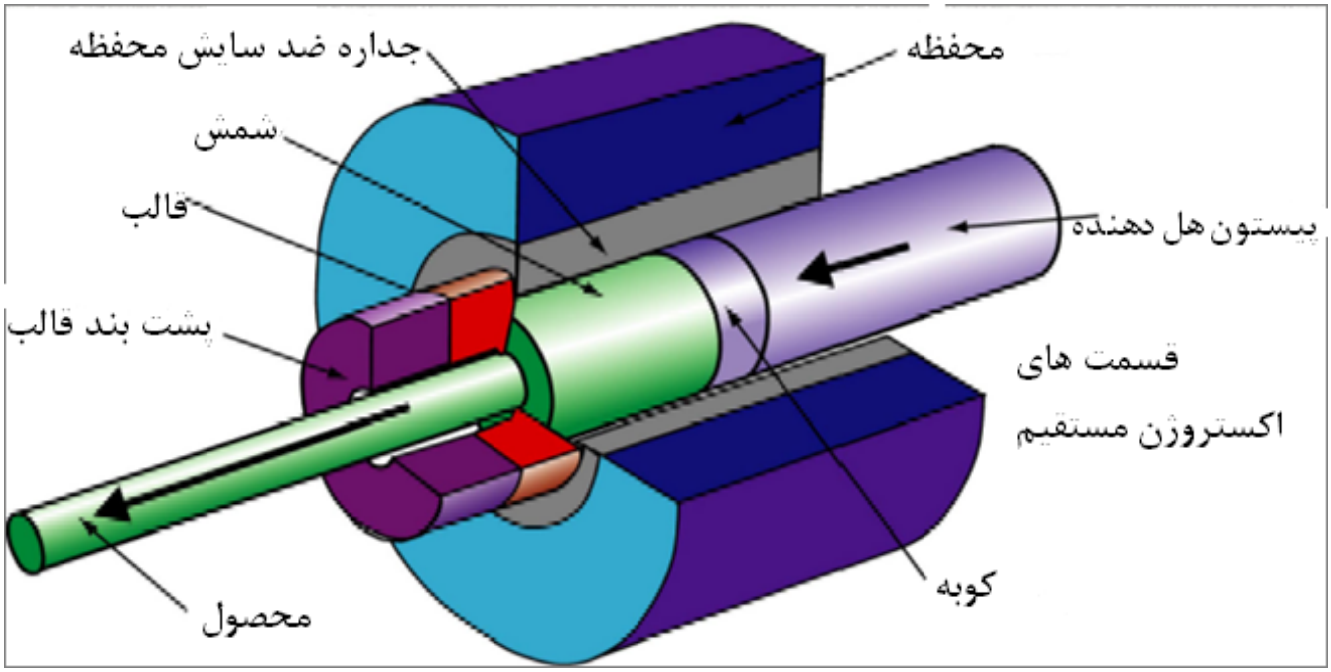
الف: اکستروژن سرد ب: اکستروژن گرم

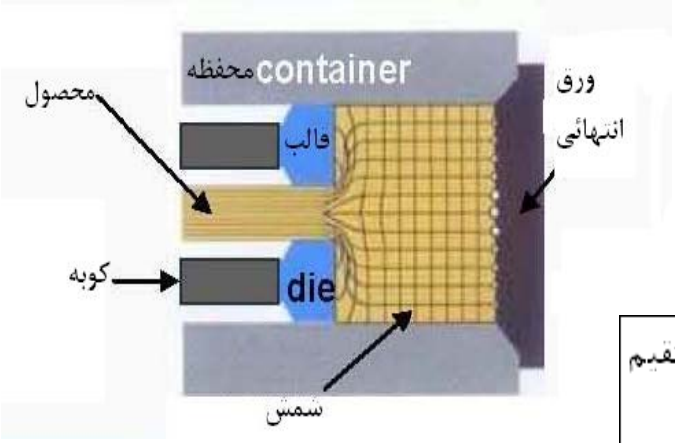
براساس تجهیزات:

الف: اکستروژن عمودی ب:اکستروژن افقی

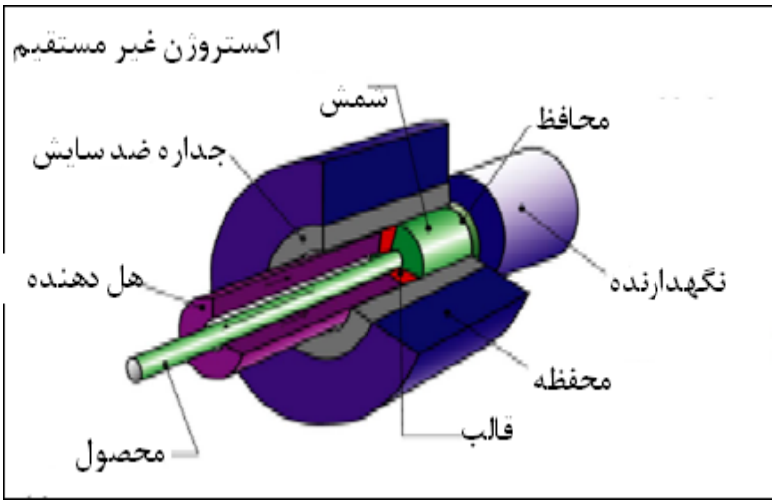
اکستروژن مستقیم (اکستروژن به جلو): در این فرآیند حرکت کوبه و سیلان فلز هم جهت هستند .شمش فلزی در محفظه قرار گرفته و توسط کوبه از قالب به بیرون رانده می شود. در اکستروژن مستقیم بدلیل اصطکاک در قالب ومحفظه احتیاج به فشار اکستروژن بیشتری نسبت به اکستروژن غیرمستقیم می باشد. قطر کوبه به بگونه ای است که سطح داخلی حفره قالب را پوشانده و مانع از برگشت مواد فلزی به عقب میشود.





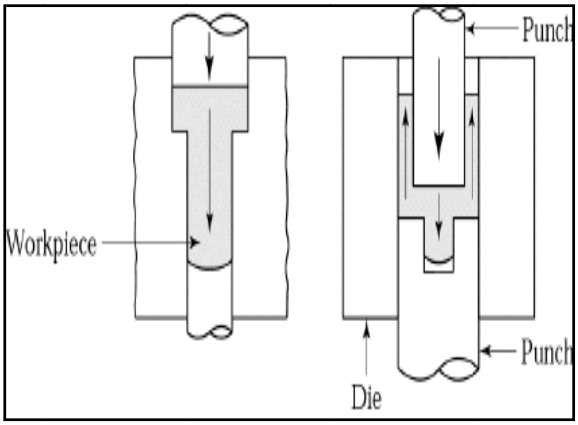


اکستروژن غیرمستقیم(اکستروژن به عقب): در این فرآیند جهت حرکت کوبه و سیلان فلز مخالف هم هستند. کوبه تو خالی حاوی قالبی که به طور ساکن نگه داشته شده است و محفظه همراه با شمش حرکت کرده و باعث تغییر شکل میشود. اصطکاک تنها در قالب وجود دارد چون محفظه و شمش نسبت به هم حرکتی ندارند. فشار اکستروژن تقریبا ثابت است.کوبه توخالی فشار اعمالی را محدود می کند.



اکستروژن سرد:فرآیندیست که در دمای اتاق یا کمی بالاتر انجام می شود. این فرآیند می تواند برای بیشتر مواداستفاده شود مشروط بر اینکه قالب بتوانددر برابر فشارهای ناشی از اکستروژن مقاومت کند. برای مثال فلزاتی که می توانند اکسترود سرد شوند شامل:سرب-قلع-آلومینیوم-مس-تیتانیوم-مولیبدینیوم-وانادیوم وفولادهستند.

قطعاتی که از اکسترود سرد تولید شده اند لوله های له شونده-قوطی آلومینیوم-سیلندر-پوسته گریبکس



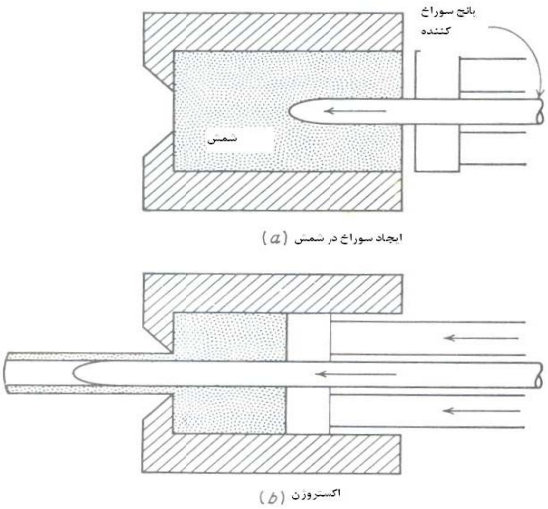
مزیت های اکستروژن سرد:

- ✓ حین تولید اکسید شدگی فلز وجود ندارد.
- ✓ خواص مکانیکی خوب بدلیل کار سختی انجام شده ،چون تغییر شکل زیر دمای تبلور انجام میشود.
- ✓ کیفیت سطحی خوب قطعه تولیدی بدلیل کاربرد روان ساز مناسب
- ✓

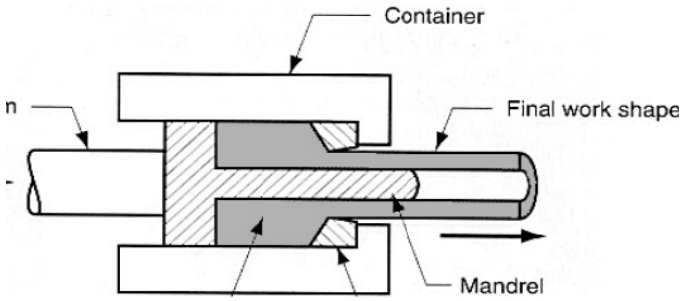
اکستروژن گرم

- ✓ اکستروژن گرم در دمای نسبتا بالا و حدود۵۰ تا ۷۵٪ نقطه ی ذوب فلز انجام می شود .
- ✓ فشار مورد نیاز برای اکستروژن در محدوده Mpa ۷۰۰-۳۵ (psi۱۰۱.۵۳۵-۵۰۷۶)می باشد.معمولا بیشتر فرآیندهای اکستروژن از نوع فرآیندهای مستقیم گرم هستند.
- ✓ شکل قطعه اکسترود شده بستگی به شکل قالب اکستروژن دارد.
- ✓ بدلیل دما و فشار خیلی بالا که اثر مهمی روی عمر قالب و سایر تجهیزات دارد در این فرآیند روان سازی از اهمیت خاصی برخوردار است.معمولا ازروغن و گرافیت در دمای پائین و پودر شیشه در دمای بالا بعنوان روانساز استفاده میشود.

اکستروژن لوله: لوله ها میتوانند بوسیله اکستروژن با وصل کردن ماندرل به انتهای کوبه تولید شوند.لقی بین ماندرل ودیواره قالب تعیین کننده ضخامت لوله است.برای تولید لوله میتوان از شمش توخالی استفاده کردیا اینکه در ابتدا مطابق شکل شمش سوراخ شده و بعد اکسترود میشوند. در این شکل سنبه یا ماندرلیدر انتهای کوبه قرار دارد . حرکت کوبه و ماندل مستقل از هم هستند . ابتدا سنبه حرکت کرده و بعد از سوراخ کردن شمش در دهانه قالب قرار می گیرد . در مرحله بعدی کوبه به حرکت در می آید و شمش را به داخل قالب فشار میدهد .

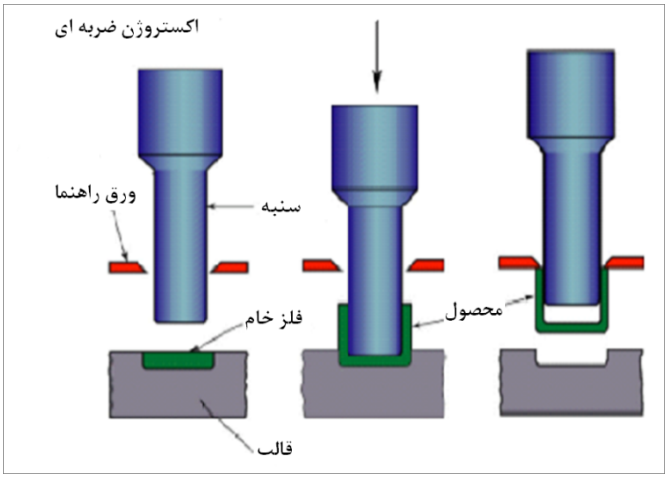


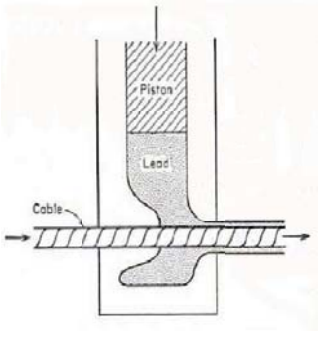
روش دیگر استفاده از شمشی است که قبلا یه روش ریخته گری یا بوسیله ابزار خاص مثل دریل کاری سوراخ شده است . در این حالت سنبه یا ماندرل به انتهای کوبه جوش خورده است و حرکت آن با حرکت کوبه است .



اکستروژن ضربه ای

اشکال تو خالی باطول کم مانند:لوله های خمیر دندان یا قوطی های اسپری که قابلیت له شدگی دارندبه این روش تولیدمیشوند. مواد نرمی مانند: آلومینیوم-سرب-مس یا قلع در این روش مورد استفاده قرار می گیرد. یک مقدار کمی از فلز جامد در قالب قرار گرفته و بوسیله یک کوبه ضربه زده میشود و باعث تغییر شکل سرد در ماده می شود که این ممکن است به صورت اکستروژن مستقیم یا غیر مستقیم باشد و معمولا به پرس های مکانیکی سرعت بالا برای انجام آن نیاز می با شد. اگرچه این فرآیند به طور کلی در حالت سرد انجام میشود ولی در اثر تغییر شکل با سرعت بالا گرمای قابل توجهی تولید میشود.از این روش برای تولید قطعات کوچک و از فلزات نرم در تعداد زیاد و دقت ابعادی بالا استفاده میشود.



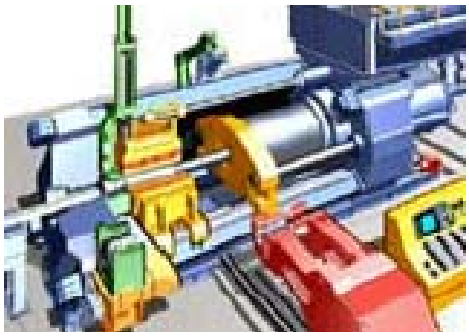


اکستروژن در ابتدا برای روکش کردن لوله های سربی بکار میرفت و بعدا برای ایجاد غلاف سربی روی کابل های برق مورد استفاده قرار گرفت.

تجهیزات اکستروژن:شامل پرس ها- قالب ها و ماشین های اکسترود می باشد.

پرس ها :عمدتا از نوع هیدرو لیکی هستند و بر اساس نحوه حرکت کوبه به دو گروه پرس های افقی و عمودی طبقه بندی میشوند.

پرس های افقی:دارای ظرفیت ۱۵ تا ۵۰ مگا نیوتن هستند. نوع خاص آن تا ۱۴۰ مگا نیوتن ظرفیت دارد .این پرس ها برای تولید قطعات تجاری به شکل مفتول یا مقاطع بکار میروند.



عیب این پرس ها :چون شمش بصورت افقی قرار دارد یک تفاوت دمائی در بالای شمش و زیر شمش وجود دارد که منجر به تغییر شکل غیر یکنواخت میشود.

پرس های عمودی(ظرفیت بین ۳-۲۰ مگا نیوتن)

بطور عمده در تولید لوله های جداره نازک بکار میرود.

مزایا:براحتی میتوان بین کوبه و خط تولید همترازی ایجاد کرد.- سرعت تولید نسبتا بالا-فضای کمتری نسبت به پرس افقی نیاز دارد.

تغییر شکل یکنواخت بدلیل سرد شدن یکسان شمش در محفظه.

معایب: چون در حالت عمودی قرار می گیرد سقف سالن تولید باید بلند باشد بخصوص برای شمش های بلند .

سرعت حرکت کوبه:در اکستروژن گرم بدلیل مشکل انتقال حرارت از شمش به قالب نیاز به پرس های با سرعت بالا می باشد.

سرعت کوبه بین۰/۴-۰/۶m/sبرای فلزات دیر گدازاست که در این حالت نیاز به اکومولاتور هیدرولیکی می باشد.

برای آلومینیوم و مس سرعت کوبه باید خیلی کم باشد چون در سرعت بالا منجر به ترک خوردگی گرم قطعه میشود.در این حالت نیاز هست که فشار مستقیم به قطعه منتقل شود که در طول فرآیند دما یکنواخت باقی بماند.

طراحی قالب:طراحی قالب مهمترین و اصلی ترین بخش یک تولید بهینه است قالب ها بایستی در برابر تنش های خیلی زیاد-شوک گرمایی و اکسیدشدن مقاوم باشند.

نکات مهم در طراحی قالب:

- ضخامت دیواره قالب: اختلاف ضخامت دیواره قالب در یک سطح مقطع نباید باشد
- سادگی شکل:تا حد امکان باید شکل قالب ساده باشد تا هزینه تولید زیاد نشود.
- تقارن:در طراحی قالب بایستی تقارن رعایت شود تا توزیع نیرو یکنواخت باشد.
- گوشه های گرد شده یا تیز:ازگوشه های تیز در طراحی قالب باید اجتناب کردچون منجر به ترک خوردگی قالب یا قطعه میشود.
- تلورانس نسبت اندازه به وزن:عبارتست از اضافه شدن بعضی از تغییرات(استانداردهای صنعتی)به دلیل پیچیدگی شکل قطعات

مواد قالب:برای اکستروژن سرد از فولاد های پرآلیاژی یا سرامیک ها ($Zirconia_Si_3N_4$)در ساخت قالب استفاده میشود.در این حالت مقاومت سایشی قالب خیلی خوب است و عمر قالب بنحو قالب ملاحظه ای افزایش یافته و نیاز به روان کاری کم میشود.

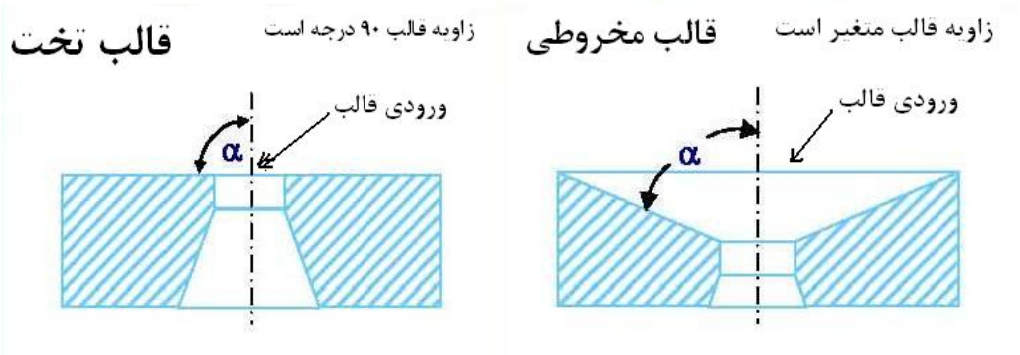
-ضخامت دیواره قالب :دیواره های کمتر از mm ۵/(برای قالب های تخت) و کمتر از mm ۰/۷(برای قالب های تو خالی) برای اکستروژن آلومینیوم می باشد..

عملیات حرارتی: از قبیل نیترید کردن(به دفعات) برای افزایش سختی(۱۰۰۰ تا HV۱۱۰۰یا ۶۵ تا۷۰راکول سی) نیاز می باشد که باعث بهبودی عمر قالب میشود.در نتیجه طولانی شدن عمر قالب نیاز به تعویض قالب کم میشود و میزان تولید افزایش و هزینه ها کاهش می یابد

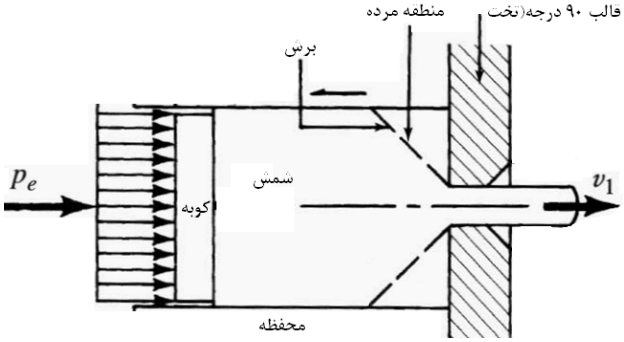
دو نوع قالب اکستروژن وجود دارد:

۱)قالب های تخت

۲)قالب های مخروطی(زاویه دار)



۱)قالب های تخت فلـز وارد شده به قالب تشکیل یک منطقـه ی مـرده در گوشـه هـای قالـب خواهد داد . این منطقه حکم دیواره قالـب را داردو لغـزش فلـز روی ایـن منطقه انجام خواهد شد. این قالب ها نیاز به روانکاری ندارد چـون فلـز در تماس با قالب نیست و از طرفی عمر سایشی قالب زیاد است . ساخت ایـن قالب ها ساده و ارزان هستند .همانگونه که در شکل ملاحظه می کنیـد در خروجی قالب زاویه پـخ معکـوس دارد . بـرای افـزایش اسـتحکام قالـب ضخامت آن را از حد مشخصی نمیتوان کمتر گرفت . این پـخ معکـوس در واقع زاویه لقی است و برای کم کردن تماس فلز با دیواره قالب است .



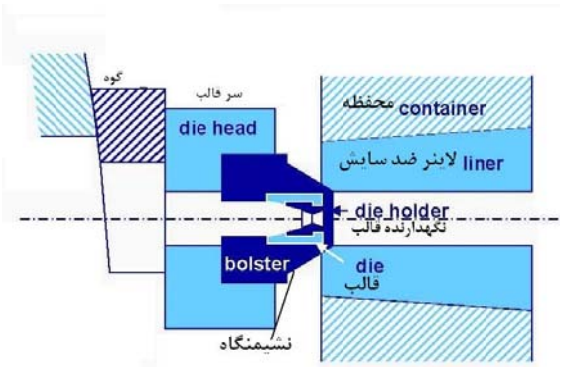
۲)قالب های مخروطی(زاویه دار) :ورودی این قالب ها زاویه دار است که زاویه راس قالب را زاویه قالب گویند و به 2a نمایش میدهند . این قالب ها بخاطر تماس فلز و قالب سریعا دچار سایش میشوند پس نیاز به روانکاری خوب دارد.

-کاهش زاویه ی قالب باعث افزایش یکنواختی ساختار فلز میشودو بعلاوه باعث کاهش فشار اکستروژن میشود.(اما اصطکاک در سطح قالب خیلی زیاد است). برای اکثر فرآیندها زاویه ورودی بین ۴۵ تا ۶۰ درجه است .

نحوه چیدمان ابزارهای اکستروژن

یک بسته قالب اکستروژن شامل قالبی است که توسط یک پشت بند قالب نگهداشته می شود و یک تکیه گا ه که همه آنها در جلو قالب قرار دارند. این مجموعه کامل مقابل محفظه بر روی یک سطح نشیمن گاه مخروطی شکل قرار دارد که توسط یک گوه به محفظه فشار داده میشود .

یک صفحه ضد سایش درسطح داخلی محفظه قرار گرفته که از سایش دیواره محفظه جلو گیری کند . این صفحه بعد از مدتی بخاطر سایش تعویض میشود .



محفظه که شمش اولیه درون آن قرار می گیرد .این محفظه میتواند فشار های خیلی بالا را تحمل کند.

یک قطعه ضد حرارت بین شمش گرم وکوبه به منظور حفاظت آن از گرما قرار گرفته است.این قطعه ضد حرارت به صورت دوره ای تعویض شده چون مرتب تحت شوک های حرارتی است و صدمه می بیند.

اثر دما در اکستروژن

با افزایش دمای اکستروژن تنش تسلیم فلز یا مقاومت به تغییر شکل کاهش می یابد

–استفاده از کمترین دما برای داشتن فلزی با شکل پذیری مناسب

– بالاترین دمای کاری باید زیر نقطه ذوب یا زیرمحدوده دمای تردی داغ باشد.

–گرما باعث اکسید شدن بیلت و ابزارهای اکستروژن میشود.

گرما باعث نرم شدن قالب ها و ابزارها میشود

در حالت گرم استفاده از مواد روانکار مناسب مشکل است

دمای قطعه کار در تغییر شکل فلز وابسته است به:

۱)دمای اولیه ابزارها و مواد

۲)گرمای تولید شده بدلیل کارتغییر شکل پلاستیک

۳)گرمای تولید شده توسط اصطکاک در فصل مشترک قالب و فلزو محفظه

۴)تبادل دمائی بین ماده تغییر شکل داده شده و قالب و محیط اطراف

توجه: دمای تغییر شکل در اکستروژن به طورمعمول بالاتر از دمای آهنگری و نوردمی باشد و دلیل آن تنش های فشاری بالا در اکستروژن می باشد که میخواهند ترک خوردگی فلز را به حد اقل برسانند.

معمولاً در فصل مشترک قالب و فلز بدلیل اصطکاک دما بالاترا ست.

اگر شیب حرارتی را نا دیده بگیریم و فلز تغییر شکل دهنده را یک ورق نازک در نظر بگیریم میانگین دمای لحظه ای در فصل مشترک ماده تغییر شکل دهنده و قالب بوسیله فرمول زیر به دست می آید:

$$T = T_1 + (T_o - T_1)\exp\left(\frac{-ht}{\rho c \delta}\right)$$

T_0=دمای فلز T_1=دمای قالب h=ضریب انتقال حرارت بین فلز و قالب δ=ضخامت فلز در قالب

اگرافزایش دما بدلیل تغییر شکل و اصطکاک باشد میانگین دمای متوسط نهائی (Tm) در زمان t برابر است با:

$$T_m = T_d + T_f + T$$

که در این فرمول :T_d= دما برای تغییر شکل ایده آل فلز (فرآیندهای بدون اصطکاک) و T_F=افزایش دمای فلز بدلیل اصطکاک

T:دمای اولیه شمش

سرعت کوبه،نسبت اکستروژن و دما

- ✓ افزایش ده برابری سرعت کوبه حدود ۵۰٪ فشار اکستروژن را افزایش میدهد.
- ✓ سرعت کم اکستروژن منجر به سرد شدن شمش می شود.
- ✓ بالا بردن دمای شمش اثر سرعت کم اکستروژن بر روی سرد شدن شمش را افزایش میدهد .یعنی هر چه دما بالاتر باشد میتوان سرعت اکستروژن را کم کرد و کاهش دما تاثیری روی فرآیند ندارد .

بنابراین در اکستروژن آلیاژ های استحکام بالا که سرعت های بالای اکستروژن نیاز است بایستی دمای شمش را افزایش داد. بهترین روش انتخاب سرعت و دمای اکستروژن مناسب برای هر فلز و آلیاژ روش سعی و خطا میباشد.

رابطه بین نسبت اکستروژن ،دما و فشار:

برای یک فشار ثابت،با افزایش دمای اکستروژن نسبت اکستروژن (R) افزایش می یا بد.

برای یک دمای ثابت با افزایش فشار اکستروژن می توان R بزرگتر به دست آورد.

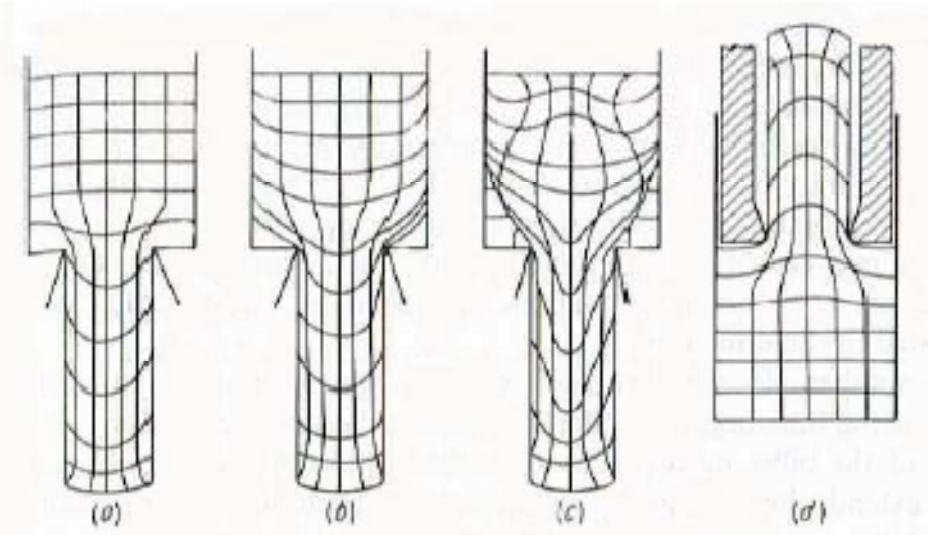
و بطور کلی افزایش دما و فشار اکستروژن باعث افزایش نسبت اکستروژن (R)میشود.

رابطه بین سرعت اکستروژن و اتلاف دمائی:

با افزایش سرعت اکستروژن اتلاف دمائی کم میشود.

کاهش سرعت اکستروژن منجر به افزایش اتلاف دمائی میشود و در نتیجه نسبت اکستروژن مجاز افزایش می یابد

تغییر شکل در اکستروژن ،روغنکاری و عیوب اکستروژن:



a)اصطکاک کم محفظه و روانکاری خوب شمش باعث تغییر شکل تقریباً یکنواخت فلز میشود .

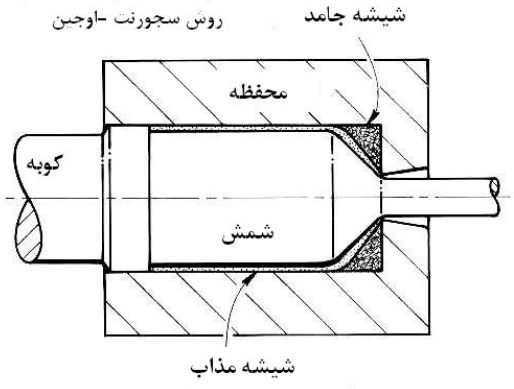
b)افزایش اصطکاک دیواره محفظه: یک منطقه مرده از فلز ساکن در گوشه ها تشکیل میشود که باعث میشود فلز کمتر تغییر شکل بدهد. ضرورتاً ازدیاد طول محض در مرکز شمش و برش های اضافی در سطوح جانبی شمش باعث کار اضافه در قالب خواهد شد.

C) اصطکاک زیاددر سطح تماس شمش و محفظه باعث میشود جهت جریان فلز به سمت مرکز شمش باشد و در نتیجه صفحات برشی داخلی در این قسمت زیاد میشود. در اصطکاک چسبنده فلزدر منطقه برشی از درون پاره میشودو یک پوسته نازک از فلز در محفظه باقی خواهد ماند و یک سطح جدید برای بیلت بوجود خواهد آمد.

d) اکستروژن غیر مستقیم با اصطکاک کم محفظه و یک شمش خوب روغنکاری شده

روانسازها در اکستروژن گرم: استحکام برشی پائین و پایداری کافی برای جلوگیری از تجزیه در دمای بالااز خواص روانسازها ی اکستروژن گرم است.

Ugine-Sejournet process



شیشه مذاب رایج ترین روان کننده برای اکستروژن گرم فولاد و آلیاژ های نیکل می باشد . در حالتی که از شیشه بعنوان روان کننده استفاده شود به این فرآیند ugine-sejournet گویند.روان کننده های پایه گرافیتی هم در اکستروژن دمای بالای مورد استفاده قرار میگیرند.

روش سجورنت -اوجین: شمش در یک اتمسفر خنثی حرارت داده می شودو قبل از اکسترودشدن با پودر شیشه پوشش داده می شود.لایه نازکی از شیشه بین قالب وشمش قرار گرفته و منبع اصلی روان کننده است. این پوشش شیشه ای در حین اکستروژن نرم و خمیری شده (ضخامت کمتر از ۲۵ میکرون) و حکم رروان کننده در قالب را دارد و علاوه بر آن چون شیشه عایق حرارتی است از انتقال حرارت به قالب و ابزار جلوگیری می کند .

ضخامت پوشش شیشه ای بستگی به کنش های پیچیده بین روانکار بهینه،دما و سرعت کوبه دارد. پوشش روانکار باید کامل و پیوسته روی سطح شمش باشدتا نقش خود را به خوبی انجام دهددر غیر این صورت عیوبی از قبیل ترک های سطحی روی قطعه بوجود می آید.

سرعت خیلی خیلی کم کوبه باعث ضخیم شدن پوشش روان کننده میشود و همرا ه با فشار اولیه کم اکستروژن باعث میشود که طول اکستروژن محدود شود .

سرعت خیلی بالای کوبه باعث تشکیل یک پوشش نازک از روان کننده میشود که بسیار خطرناک است.

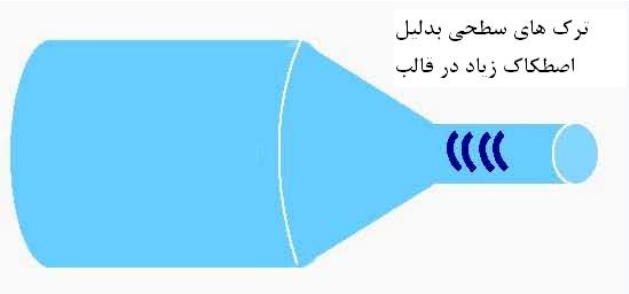
عیوب اکستروژن:

- ✓ تغییر شکل غیر یکنواخت در اکستروژن مستقیم یک منطقه مرده را در طول سطح بیرونی شمش ایجاد می کند . دلیل آن بالا بودن سرعت فلز در مرکزشمش نسبت به پیرامون آن است
- ✓ بعد از اینکه ۲/۳ شمش اکسترود شد سطح بیرونی شمش(معمولا همراه با پوسته اکسیدی) به سمت مرکز شمش حرکت کرده و از درون قالب اکسترود میشود در نتیجه پوسته اکسیدی کشیده میشود و در مرکز قطعه بصورت رینگ حلقه ای باقی می ماند.
- ✓ اصطکاک دیواره محفظه هرچه بیشتر باشد عیوب اکستروژن بیشتر است.
- ✓ دمای دیواره محفظه هرچه کمتر باشد عیوب اکستروژن بیشتر است.
- ✓ مشابه پدیده اکسیدی اگر لایه روانساز در امتدادصفحات برشی بداخل قطعه کشیده شود در نتیجه پدیده لایه لایه شدن صفحات در داخل قطعه اتفاق می افتد .

راه های حل مشکل

۱-دور انداختن باقیمانده شمش (۳۰٪طول) در جایی که اکسید های سطح شروع به وارد شدن به قالب میکند که این راه حل اقتصادی نمی باشد.

۲-استفاده از یک قطعه پیرو با قطر کمتر از قالب به منظور غربال سازی شمش و باقیماندن لایه اکسیدی در محفظه (در اکستروژن برنج)



✓ ترک های سطحی:که محدوده آن از ناهمواری های سطحی خیلی بد تا ترک های عرضی تکرار شده که مثل شاخه های درخت صنوبر می باشد.دلیل آن تولید تنش های کششی طولی است وقتیکه قطعه از درون قالب عبور میکند..در اکستروژن گرم این نوع ترک معمولاً به صورت بین دانه ای و همراه با تردی داغ می باشد.

حالت مرسوم آن سرعت بالای کوبه برای یک دمای ثابت می باشد.در دمای پایین بدلیل اصطکاک زیاد در ناحیه قالب چسبندگی ایجاد می شودوباعث افزایش فشار میشود و سپس کنده خواهد شد و باعث ایجاد ترک عرضی می شود.

✓ ترک مرکزی یا ترک نظامی

در نسبت پایین اکستروژن بدلیل اصطکاک کم در منطقه تغییر شکل قالب اتفاق می افتد

اصطکاک بالا در سطح مشترک شمش و ابزار ایجاد سر و صدا می کند. اصطکاک پایین باعث ترک خوردگی مرکزی می شود.

✓ تغییرات در ساختار متالورژیکی و خواص: بدلیل تغییر شکل غیر یکنواخت برای مثال در جلو و عقب قطعه در دو جهت طولی و عرضی باعث تغییرات در ساختار متالورژیکی و خواص جسم میشود. در شکل زیر مناطقی با رشد زیاد دانه را مشاهده می کنید که دلیل آن دمای بسیار بالای تغییر شکل است.

✓ تردی داغ(در اکستروژن آلومینیوم)

دمای بالای تولید شده حین تغییر شکل باعث ذوب موضعی می شود که آن نیز باعث ایجاد ترک در قطعه خواهد شدکه به آن تردی داغ گویند.

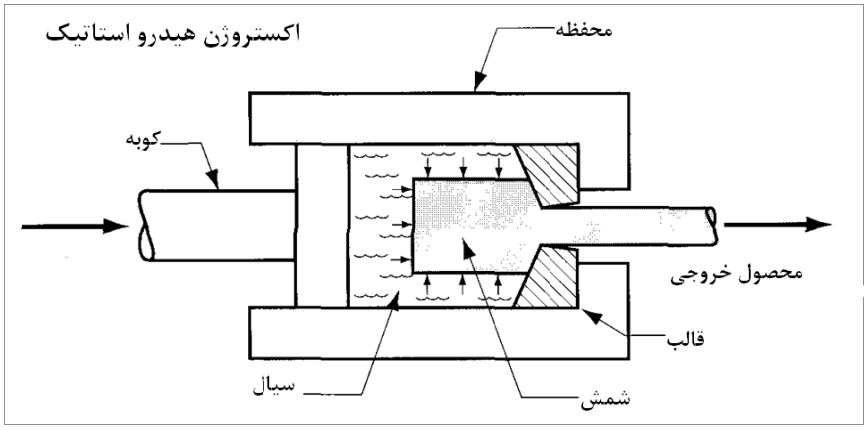
اکستروژن هیدرو استاتیک :

شمش درون محفظه بوسیله یک سیال احاطه شده است . این سیال را محیط هیدرو استاتیک گویند . شمش با فشار هیدرو استاتیک نسبتا بالا که از طرف سیال وارد میشود بدرون قالب رانده میشود .

سرعت حرکت شمش در داخل قالب لزوما با سرعت حرکت کوبه یکی نیست .اما متناسب است با حجم سیال جابجا شده.

در اکستروژن هیدرو استاتیک نسبت طول به قطر شمش میتواند بزرگ باشد بعلاوه در این روش میتوان مقاطع نامنظم را نیز اکسترود کرد .

مزایا و معایب اکستروژن هیدرو استاتیک



مزایا:

۱-بعلت عدم تماس شمش با دیواره محفظه اصطکاک در این قسمت وجود ندارد و نیروی اکستروژن تقریبا در طول فرآیند تغییری نمی کند (مشابه نمودار اکستروژن غیر مستقیم)

۲-امکان استفاده از قالب های با زاویه قالب خیلی کم (تقریبا ۲۰ درجه)وجود دارد

۳-استفاده از روانکاری هیدرودینامیکی در قالب

معایب:

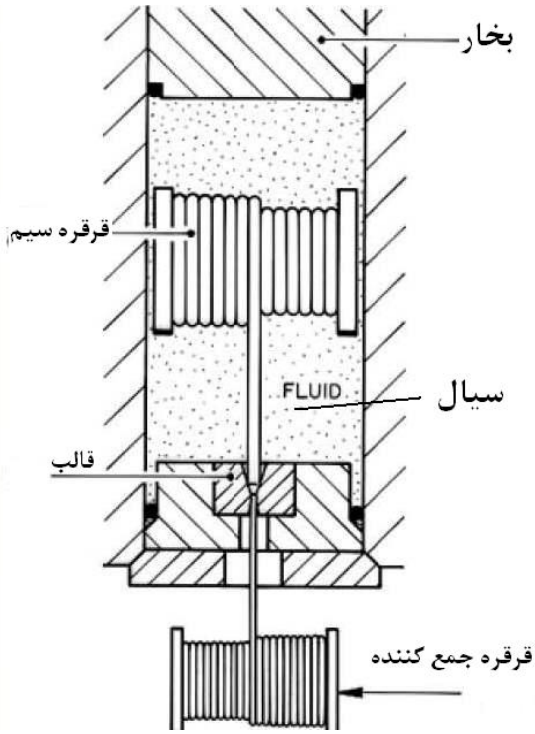
برای اکستروژن گرم مناسب نیست

برای فشار اکستروژن بالا مناسب نیست چون محفظه نمیتواند تحمل کند .(حدود ۱/۷گیگا پاسکال)

در فشار های بالا مایع نبایستی جامد شود چون نسبت اکستروژن را کم می کند .

برای فولاد ها Rکمتر از ۲۰:۱

برای آلومینیم Rمیتواند تا ۲۰۰:۱افزایش یابد .



روش اکستروژن هیدرو استاتیک تقویت شده:

بدلیل بالا بودن انرژی ذخیره شده در سیال تحت فشار، کنترل محصول خروجی از قالب میتواند مسئله ساز بشود .این مشکل را استفاده از روش اکستروژن هیدرو استاتیک تقویت شده حل کردند . به این صورت که یک نیروی محوری به شمش یا محصول وارد میکنند .

فشار سیال کمتر از مقدار مورد نیاز برای اکستروژن نگه داشته میشود و مابه التفاوت فشار سیال و فشار اکستروژن را از نیروی اعمالی تامین می کنند .در نتیجه محصول خروجی را بهتر میتوان کنترل کرد .

فرآیندهای پیشرفته شکل دهی فلزات

۱– فهرست مطالب

- مقدمه / اهداف
- شکل دهی فوق پلاستیک (سوپر پلاستیک)
- پرسکاری و تف جوشی(سینترینگ)
- پرسکاری ایزو استاتیک

۲– اهداف

- ✓ این مقاله قصد دارد که اطلاعاتی درباره فرآیندهای مدرن شکل دهی فلزات در مقایسه با فرآیندهای سنتی ارائه دهد.
- ✓ تجهیزات مورد نیاز فرآیند شرح داده میشود .
- ✓ در پایان مزایا و معایب هر روش گفته میشود .

۳– مقدمه: روش های پیشرفته شکل دهی فلزات،عبارتنداز:

- ✓ شکل دهی سوپر پلاستیک
- ✓ پرسکاری و تف جوشی(سینترینگ)
- ✓ پرسکاری ایزو استاتیک (گرم و سرد)

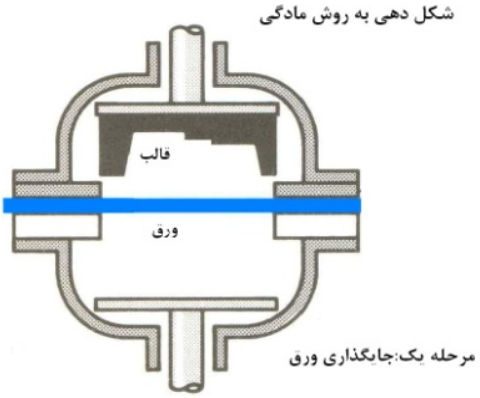
روش اول: شکل دهی سوپر پلاستیک

واژه سوپر پلاستیسیته به موادی گفته میشود که بتوانند مقدار زیادی کـرنش را بـدون اینکه به مرحله گلویی شدن کششی برسند تحمل کنند.

- ➢ شرایط کنترلی لازم همچون دما و نرخ کرنش مناسب با استفاده از نیـروی کـم فراهم می شود.

مزایاو معایب

- ➢ تولید شکل های پیچیده (سه بعدی) با ضخامت ثابت .
- ➢ کیفیت سطحی خوب.
- ➢ خزش کم بواسطه ریز بودن دانه ها
- ➢ ماشین ها و قالب ها گران هستند.



شکل دهی به روش مادگی

- ❖ ورق خام با پوشش گرافیت در پرس هیدرولیکی گرم قرار داده میشود.
- ❖ هوای فشرده ورق را به سطوح داخلی قالب می چسباند.

شکل دهی به روش مادگی پوشیده

- ❖ ورق خام با پوشش گرافیت در پرس هیدرولیکی گـرم روی سـینی قـرار داده میشود.
- ❖ هوای فشرده ورق را به سطوح داخلی قالب می چسباند.

شکل دهی به روش نری با توپی کمکی سریع

- ❖ ورق خام با پوشش گرافیت در پرس هیدرولیکی گرم قرار داده میشود.

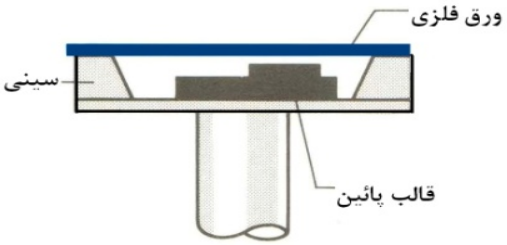
❖ هوای فشرده ورق را به سطوح داخلی قالب می چسباند.

❖ ورق خام به شکل حباب یا نیم دایره شکل داده می شود.

❖ قالب نری بداخل حباب فشرده می شود.

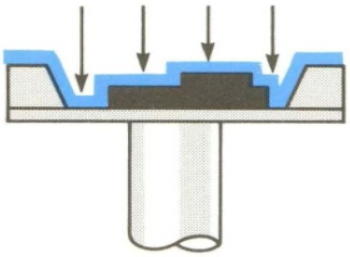
❖ هوای فشرده ورق را به سطوح داخلی قالب می چسباند.

شکل دهی با مادگی پوشیده



روش دوم :پرسکاری وتف جوشی

✓ پودر در قالب بسته ریخته شده و فشرده میشود . قطعه خام شکل داده شده دارای استحکام کافی نیست .به همین دلیل در مرحله بعد در دمای بالا زینتر(تف جوشی) میشود.



✓ تولیدقطعات سه بعدی جامد برای اغلب فلزات و سرامیک ها.

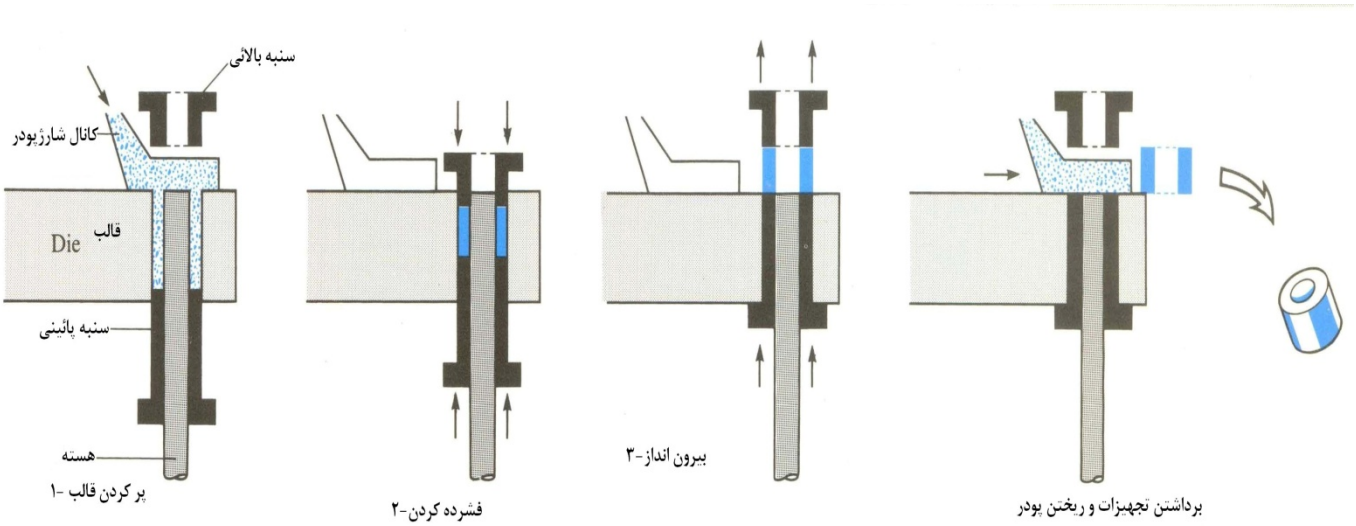
✓ دراین فرآیند قطعه تولیدی نزدیک به شکل نهائی است.

✓ در این روش ضایعات فلزی وجود ندارد و ۱۰۰٪ ماده استفاده میشود.

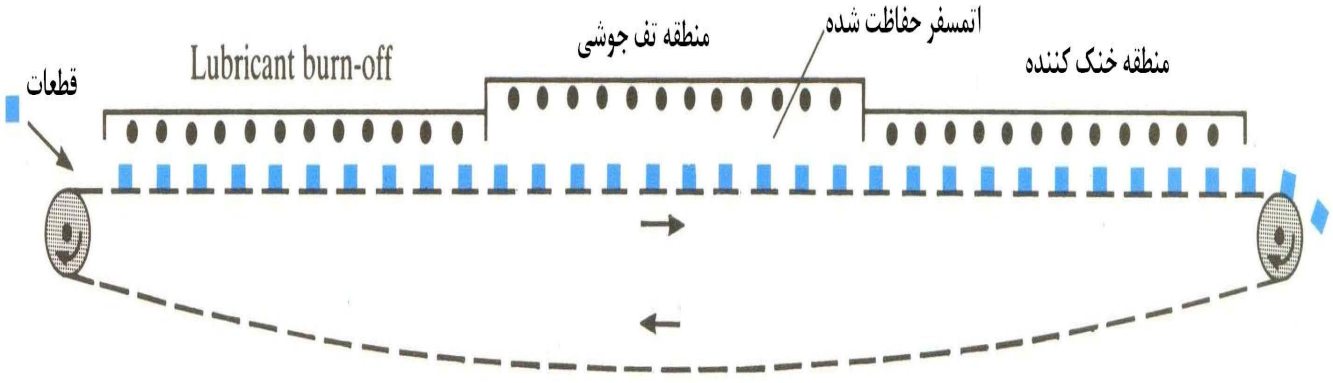
✓ ماشینهای مورد استفاده کاملا اتوماتیک میباشد.

✓ هزینه سرمایه گذاری برای ماشین آلات و قالب ها بسیار بالاست.

شکل زیر مراحل تولید یاتاقان استوانه ای را نشان میدهد .

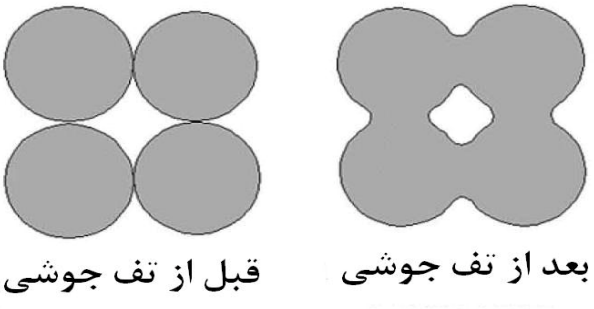


شکل زیر فرآیند تف جوشی را نشان میدهد.

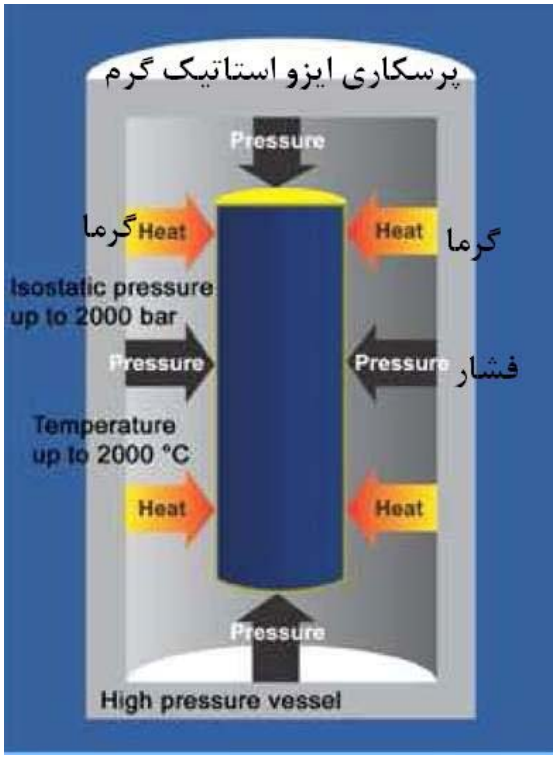


زینترینگ (تف جوشی) پودر فشرده:

زینترینگ بهم جوش خوردن ذرات پودر جداز هم در اثر حرارت است . بعد از پخت قطعه ای یکپارچه با استحکام کـافی بدسـت مـی آید . دمای زینترینگ زیر دمای ذوب ماده است ولی در یک دمای نسبتاً بالا انجام میشودکه سرعت نفوذ قابل توجه باشد .



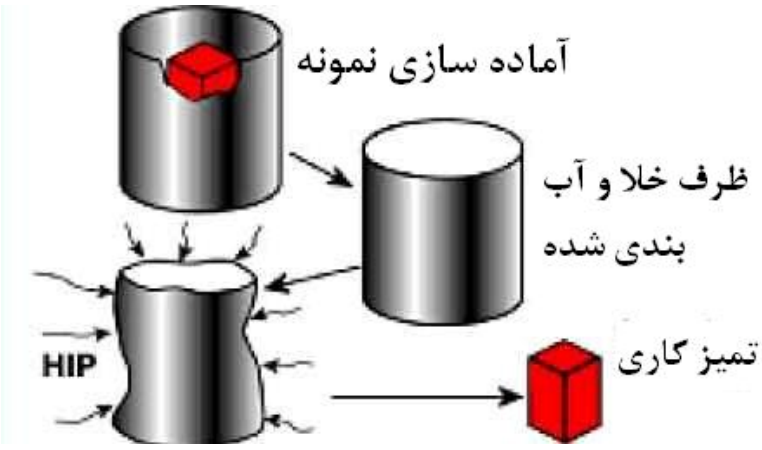
پرسکاری ایزو استاتیک



در این روش پودرفلز در یک قالب شکل پذیر ریخته شده و تحت یک فشـار هیدرواستاتیک قرار می گیرد.

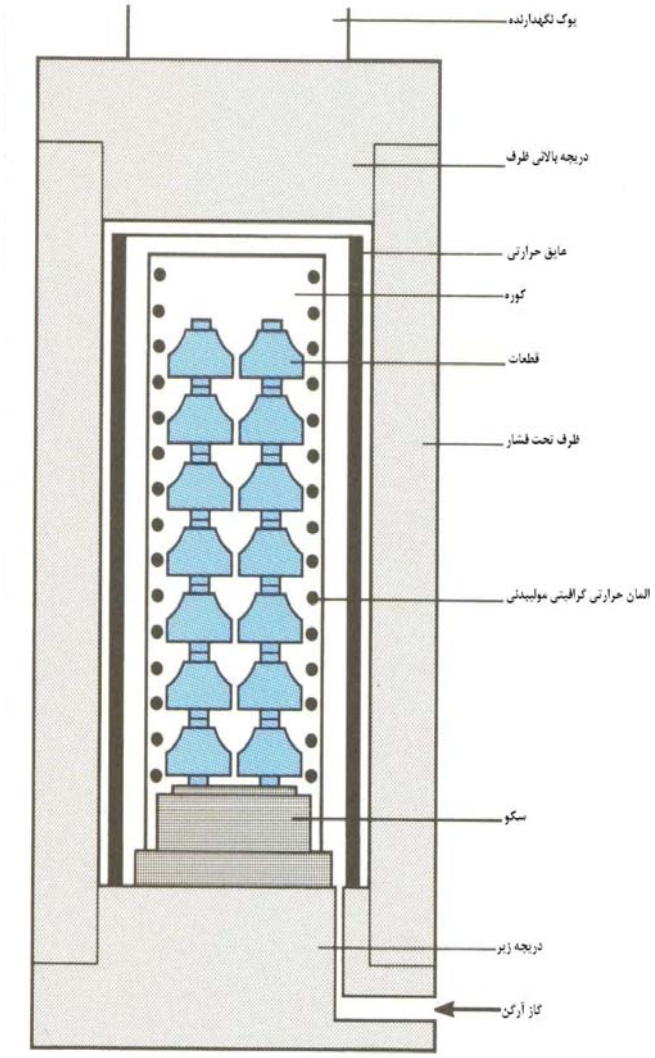
- ✓ تولیدقطعات سه بعدی جامد برای اغلب فلزات و سرامیک ها.
- ✓ متراکم شدن همزمان ویکنواخت پودر در تمـام جهـات باعـث میشـود قطعه تولیدی دارای حداقل خلل و فرج باشد.
- ✓ امکان اعوعاج در قطعات نسبتاً بزرگ وجوددارد.
- ✓ دراین فرآیند قطعه تولیدی نزدیک به شکل نهائی است.
- ✓ در این روش ضایعات فلزی وجود ندارد و ۱۰۰٪ ماده استفاده میشود.
- ✓ ماشینهای مورد استفاده کاملا اتوماتیک میباشد.
- ✓ هزینه سرمایه گذاری برای ماشین آلات و قالب ها بسیار بالاست

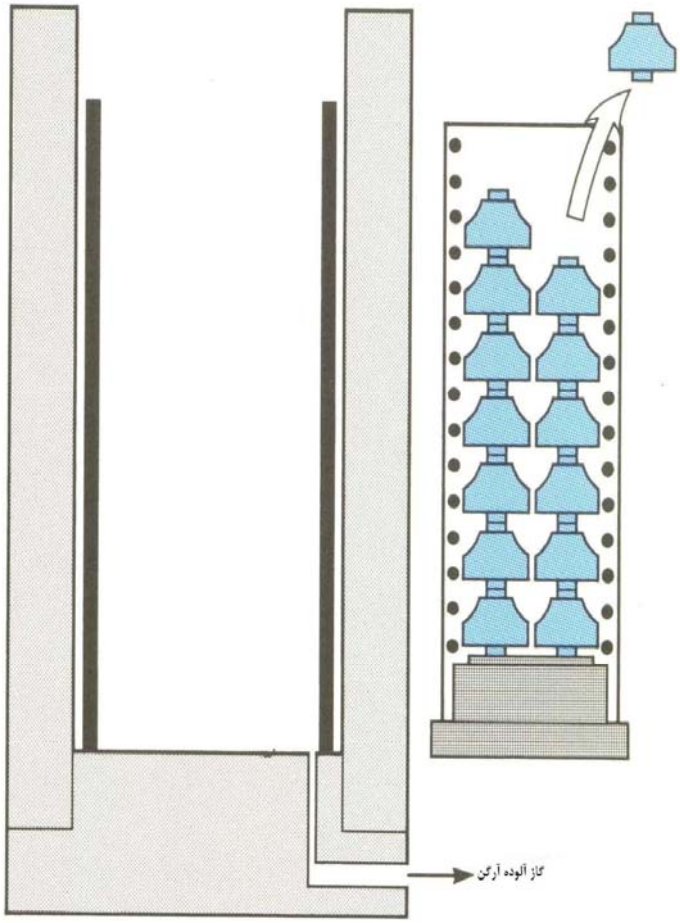
شکل زیر فرآیند پرسکاری ایزو استاتیک گرم (HIP)را نشان میدهد . فشـار هیدرو استاتیکی اعمال شده تا ۲۰۰۰ بار و دمای فرآیند۲۰۰۰ درجه سانتی گراد است .



پرسکاری ایزو استاتیک گرم (HIP):

- قطعات خام تولیدی در کوره ای شارژ میشودکه درون یک ظرف تحت فشار قرار دارد
- دما و فشار همزمان زیاد شده تا به حد مورد نیاز رسیده و ثابت نگه داشته میشوند .
- وقتی گاز محافظ آرگون ازکوره خارج شد(برای فیلتر شدن و استفاده مجدد)عمل سرد شدن کوره شروع میشودو در مرحله بعد کوره از داخل ظرف تحت فشار خارج میشود .
- قطعات رااز درون کوره خارج می کنند.

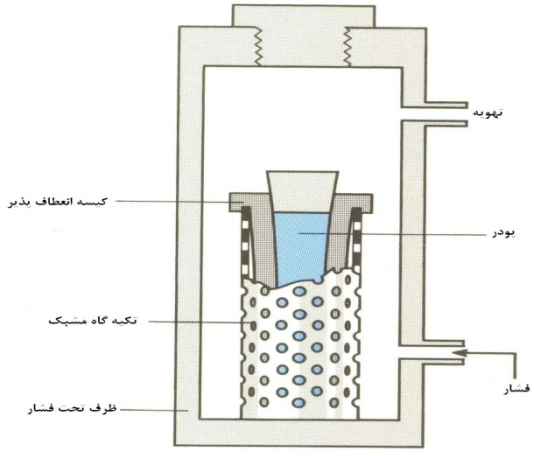




فرآیند ایزو استاتیک سرد

پرسکاری ایزو استاتیک سرد (CIP): پودر درون یک قالب

انعطاف پذیر(یا کیسه) مثلاً از جنس پلی یورتان ریخته می شود و سپس تحت یک فشار هیدرواستاتیک یکنواخت قرار می گیرد.



بلوک های گرافیتی تولید شده به روش سرد