

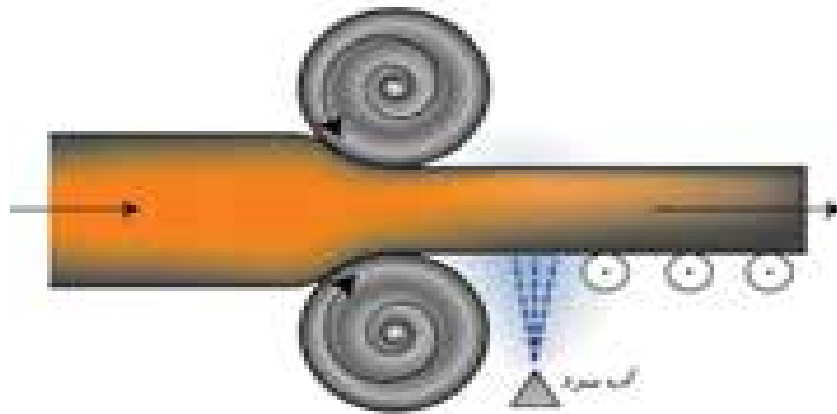


www.havaryoon.ir

اصول شکل دهی فلزات نورد

استاد: سرکار خانم مهندس رحیمی برومند

تدوین: یدا... آجری - سید ضیاء میراحمدی



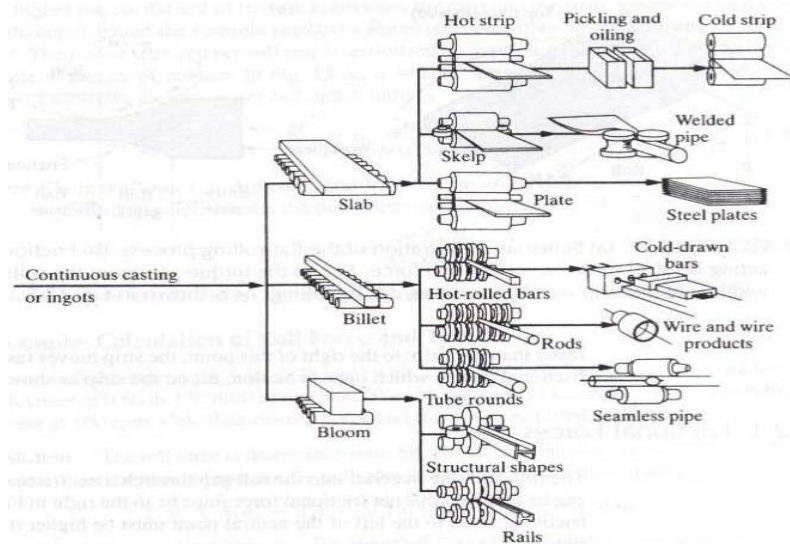
1- نورد

- مقدمه

نورد¹ روشی برای کاهش ضخامت (یا تغییر سطح مقطع) قطعات طویل با استفاده از دو یا چند غلتک می باشد (شکل 1). 90٪ قطعات فولادی تولید شده از فرایندهای شکل دهی فلزات با این روش تولید می شوند. این روش برای اولین بار در دهه 1500 گسترش پیدا کرد.

صفحه (PLATE) که معمولاً به ضخامت بالای 6mm (1/4IN) اطلاق می شود و در ساختن سازه هایی نظیر پل ها، بویلرها، پوسته راکتورهای اتمی و بدنه کشتی به کار می رود، با این روش تولید می شود. این پلیت ها می توانند به ضخامت 0.3m(12in) برای نگهدارنده های بویلرهای بزرگ، 150mm(6in) برای پوسته راکتورها، و 100-125mm (4-5in) برای کشتی های جنگی و تانکهای باشند. ورق (sheet)، معمولاً از ضخامتی کمتر از 6mm دارد و برای ساخت انواع قطعات ورقی نظیر بدنه خودروها، هواپیماها، قوطی های کنسروها، لوازم آشپزخانه و ... به کار می رود.

¹ Rolling



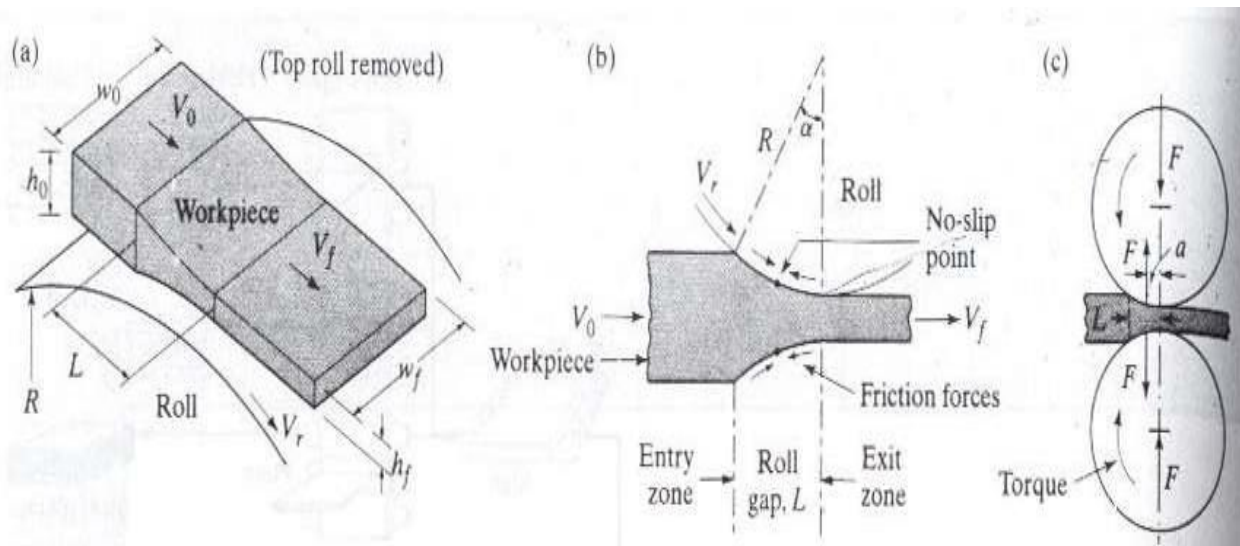
شکل 1- نمای شماتیکی از فرایندهای شکل دهی درنورد

همانطور که در شکل 1 آمده است علاوه بر پلیت و ورق، مقاطع فولادی ریل آهن، ا شکل، چهار گوش، نبشی، میل گرد، سپری و ... (قطر مقاطع گرد از 5.5mm تا 300mm متغیر است و مقاطع کمتر از 5.5mm را معمولاً دیگر با این روش نمی توان تولید نمود و بایستی توسط فرایند کشش و سیم لوله تولید کرد)، لوله و محصولات ویژه مانند چرخ واگن را تولید نمود.

2-نورد تخت

در شکل 2 تصویر شماتیک فرایند نورد تخت آمده است. نواری با ضخامت h_0 وارد فضای ما بین یک جفت غلتک شده و در ضخامت آن به h_f رسیده است (هر کدام از این غلتک ها توان خود را جداگانه بوسیله یک شفت که به یک موتور الکتریکی متصل است می گیرند). سرعت خطی غلتک ها برابر v_2 می باشد. سرعت ورودی نوار به هنگام ورود به غلتک ها برابر v_0 می باشد. وقتی که ورق به داخل فضای ما بین دو غلتک می رود، بایستی سریع تر جریان یابد چرا که ضخامت آن در حال کاهش است. سرعت نوار در نقطه خروج از غلتک ها بیشترین مقدار را دارد (v_f) با توجه به اینکه سرعت گردش غلتک ها یکسان و بدون تغییر می باشد، یک لغزش نسبی بین نوار و غلتک ها در فضای ما بین غلتک ها (λ) بوجود می آید. در نقطه خنثی یا

نقطه بدون لغزش، سرعت نوار با سرعت غلتک برابر می شود. در سمت چپ این نقطه فلتک سریع تر از نوار حرکت می کند و در سمت راست این نقطه نوار سریع تر از غلتک حرکت می کند . بنابراین نیروهای اصطکاکی همانند شکل 2-b عمل می کنند.



3- نیروهای اصطکاکی نورد

غلتک ها نوار را توسط نیروی اصطکاک به درون خود می کشند، با توجه به شکل 2-b معلوم می شود که جهت این نیرو به سمت راست می باشد . بنابراین نیروی اصطکاک در سمت چپ نقطه خنثی بایستی اصطکاک سمت راست بیشتر باشد . گرچه به نیروی اصطکاک برای انجام نورد نیاز است ولی انرژی بوسیله اصطکاک هدر می رود و افزایش اصطکاک به معنای افزایش نیرو و توان لازم می باشد. اگر h_0 و h_f به ترتیب ضخامت ورودی و خروجی ورق، R ، شعاع غلتک و μ ضریب اصطکاک باشند خواهیم داشت:

$$h_0 - h_f = \mu^2 R$$

با توجه به رابطه بالا معلوم می شود که با افزایش شعاع غلتک می توان مقدار کاهش ضخامت نوار را افزایش داد. این موضوع درست شبیه استفاده از چرخ های بزرگتر در تراکتورها و خودروهای سنگین به منظور جلوگیری از سرخوردن روی گل و لای و جاده می باشد.

4- نیرو و توان لازم برای نورد

نیروی نورد در حالت نورد تخت را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

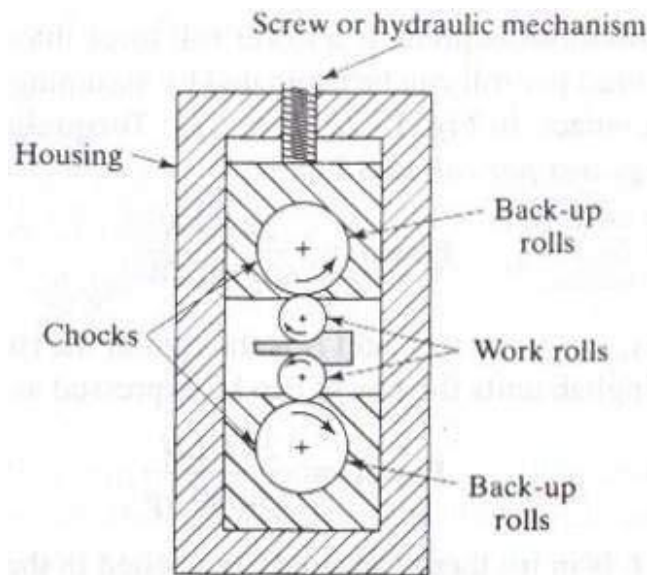
$$F = LwY_{avg}$$

که L طول نوار در تماس با غلتک، W پهنای نوار و Y_{avg} تنش متوسط نوار مابین دو غلتک می باشد. رابطه رابطه بالا در حالت بدون اصطکاک می باشد. هر چه ضریب اصطکاک مابین غلتکها و نوار بیشتر باشد، تفاوت بین نیروی واقعی و نیروی بدست آمده از رابطه فوق بیشتر می شود و رابطه فوق کمتری از نیروی واقعی را پیش بینی می کند.

با فرض آنکه نیروی F به وسط قوس در تماس اعمال می شود (شکل C-2) خواهیم داشت: $a = L/2$ گشتاور پیچشی هر غلتک برابر با حاصلضرب F در a می باشد بنابراین توان غلتک در سیستم SI از رابطه زیر بدست می آید:

$$Power = \frac{2\pi FLN}{60,000kW}$$

که F بر حسب نیوتن، L بر حسب متر و N بر حسب rpm (تعداد دور غلتک در یک دقیقه) می باشد.



5- کاهش نیروی غلتک

نیروهای غلتک می توانند باعث تغییر شکل و له شدگی غلتک بشوند؛ چنین نیروهایی می توانند برای غلتک بسیار مضر باشند و بر فرایند نورد تأثیر نامطلوبی بگذارند. همچنین تکیه گاه های غلتک ها که شامل پوسته، یاتاقان ها و غلتک های پشتیبان می باشند (شکل 3) ممکن تحت نیروها نورد دچار کشش آمدن شده، در نتیجه فاصله بین دو غلتک به میزان قابل توجهی از دیاد پیدا کند و بنابراین برای جبران این تغییر شکل و رسیدن مطلوب غلتک ها را بایستی از مقدار محاسبه شده به یکدیگر نزدیک تر نمود تا ضخامت مطلوب نوار بدست آید. با هر کدام از روش های زیر می توان نیروهای غلتک را کاهش داد:

- کاهش اصطکاک

- استفاده از غلتک هایی با شعاع کمتر

- پایین آوردن میزان کاهش ضخامت در هر مرحله از نورد

- انجام نورد در دماهای بالاتر به منظور کاهش استحکام ماده

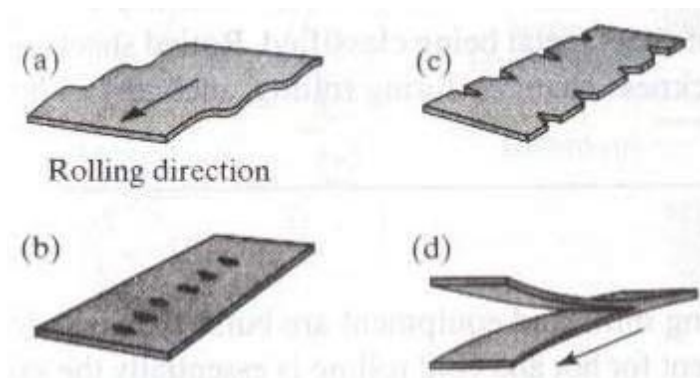
یک روش دیگر برای کاهش نیروهای نورد، کشیدن نوار در طی فرایند نورد می باشد. در این حالت به نیروی فشاری کمتری برای تغییر شکل پلاستیک ماده نیاز است. از آنجایی که برای نورد کردن مواد پراستحکام به

نیروی فشاری زیاری نیاز است، کشیدن نوار در این حالت بسیار مهم است . می توان نوار را چه در ناحیه ورودی (کشش پشتی) و چه در ناحیه خروجی (کشش جلویی) و یا هر دو تحت کشش قرار دارد.

کشش پشتی توسط اعمال نیرو به غلتک ها حامل نوار را به دورن غلتک های نورد می فرستند، اعمال می شود. کشش جلویی بوسیله افزایش سرعت غلتکهای تحویل گیرنده نوار اعمال می شود . همچنین می توان نورد کاری را بدون اعمال هیچ گونه نیروی اضافی به غلتک های نورد و فقط با اعمال نیروی کششی از سمت جلو انجام داد که به این روش نورد استکل گویند.

6-عیوب ایجادی در صفحات و ورق های نورد شده

عیوب نورد می تواند چه در سطح صفحات و ورق ها و چه در ساختار داخلی آنها بوجود آید . این عیوب چه به سبب کاهش کیفیت سطح و چه به سبب کاهش استحکام و شکل گیری تولیدات نامطلوب می باشند. تعدادی از عیوب نظیر پوسته شدن، زنگ زدگی، خراش، گدازش، حفره و ترک در ورق های فلزی شناخته شده اند . این عیوب ممکن است که سبب آخال ها (Inclusions) و یا ناخالصی های (Impurities) موجود در ماده اصلی ریخته گری شده و یا در طی شرایط مختلف مربوط به آماده سازی و فرایند نورد بوجود آمده باشند.



موج دار شدن لبه ها (شکل 4-a) نتیجه خمش غلتک می باشد. نوار در لبه ها نازک تر از مرکز می باشد؛ چرا که شکم دادن غلتک در وسط بیشتر است. ترک های بوجود آمده در شکل های 4-c, b نتیجه چکش خوار بودن ضعیف ماده در دمای نورد می باشد.

پوست سوسماری شدن (شکل 4-d) پدیده ای پیچیده می باشد که به سبب تغییر شکل غیر یکنواخت در طی فرآیند نورد و یا به خاطر وجود عیب در ماده خام ریخته گری شده بوجود می آید. از آنجاییکه لبه های ورق در فرایندهای کل دهس ورق مهم می باشد، عیوب لبه ای با برش کاری غلتکی لبه ها از بین می رود

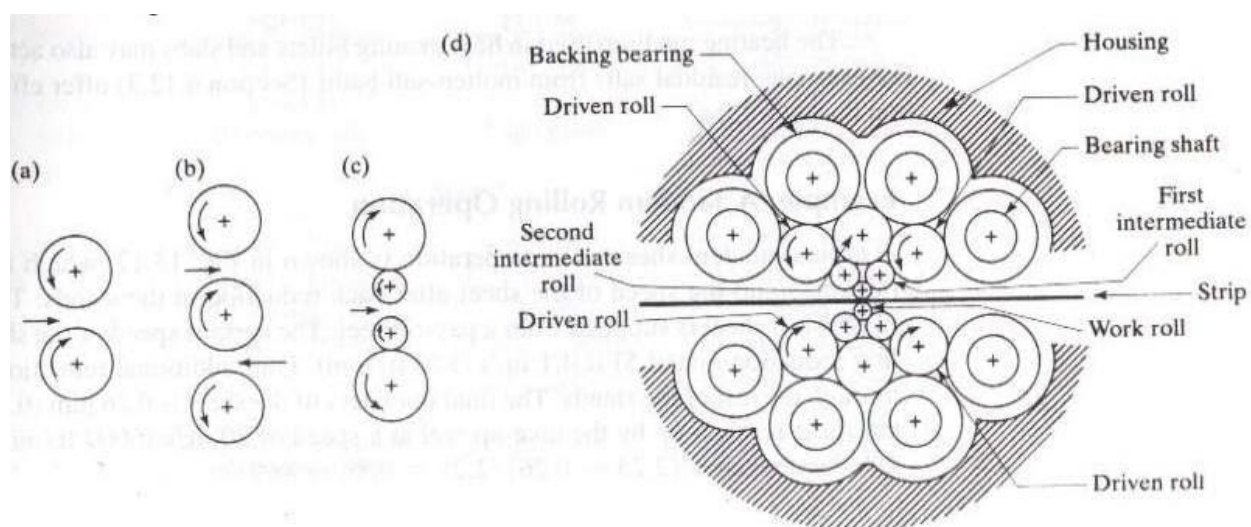
7- دستگاه ها و روش های نورد

دستگاه نورد به مجموعه ماشین آلات و ابزارهایی گفته می شود که به کمک هم محصول مورد نظر را به دست می دهد که شامل یک پایه نورد اصلی و ماشین آلات کمکی است. ماشین آلات کمکی می توانند از قبیل دستگاه تغذیه، دستگاه تحویل، سیستم خنک کننده، روغن کاری کننده، کنترل اتوماتیک (کنترل ضخامت به کمک اشعه X) و امکانات کنترل دیگر برای جلوگیری کردن از طبله شدن ورق باشند که به این تشکیلات، دستگاه نورد گویند.

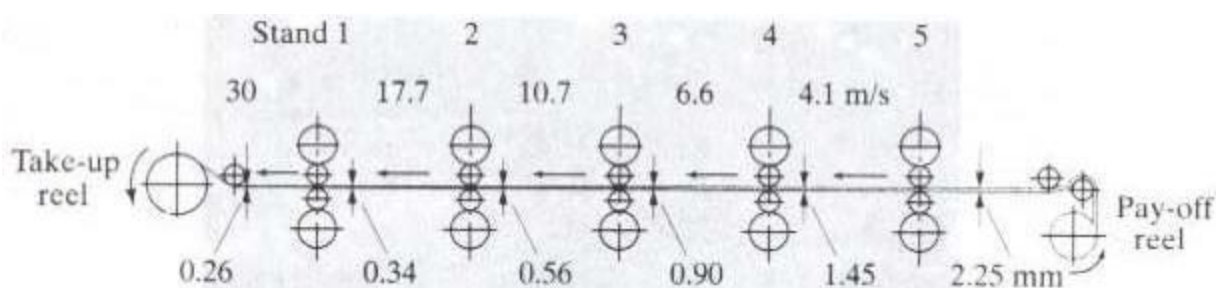
برای انجام فریند نورد چندین نوع تجهیزات و غلتک های مختلف ساخته شده است. گرچه تجهیزات اصلی لازم برای نورد سرد و داغ شبیه به هم می باشند ولی تفاوت هایی در نوع ماده نورد، پارامترهای فرایند، روانکارها و سیستم خنک کاری وجود دارد. طراحی، ساختن و عملکرد دستگاه های نورد به تحقیقات زیادی نیاز دارد. دستگاه های اتوماتیک صفحات و ورق هایی با دقت و نرخ تولید بالا به همراه قیمت ارزان تولید می کنند عرض تولید ات نورد می تواند از 5m تا 0.0025mm تغییر کند. سرعت نورد می تواند از 25m/c (تقریباً یک مایل در دقیقه) در نورد سرد و حتی سریع تر در دستگاه های تمام اتوماتیک و کنترل شونده با کامپیوتر تغییر کند.

از دستگاه های نورد دو یا سه غلتکی (شکل 5-a,b) برای انجام مراحل مقدماتی نورد (خشن کاری یا پیش نوردکاری) شمش ریخته گری شده در ریخته گری پیوسته استفاده می شود. قطر این غلتک ها از 0.9m تا 1.4m متغیر است. در نورد سه غلتکی یا رفت و برگشتجهت حرکت ماده پس از هر مرحله تغییر میکند؛ صفحه نورد شده مکرر را به بین دو غلتک بالایی رفته و سپس توسط انبر ماشینی (Manipulator) و بالا برنده های مختلفی به بین دو غلتک پایین فرستاده می شود

دستگاه های نورد چهار غلتکی و خوشه ای (سندزیمیزیت دستگاه Z شکل 5-d) بر این اصل پایه گذاری شده اند که غلتک های کم قطر تر به نیرو و توان کمتری نیاز دارند و موجب کاهش پخش شونده گی (Spreading) می گردد. علاوه بر این استفاده از غلتک های کم قطر این مزیت را دارد که در هنگام آسیب دیدن و مستهلک شده، به جای تعویض غلتک های بزرگ گران قیمت یک غلتک کوچک تعویض شود. گرچه هزینه تجهیزات نورد خوشه ای به میلیون ها دلار می رسد ولی برای نورد سرد ورق های نازک و پر استحکام مناسب است. معمولاً پهنای محصولات نورد از 0.66m تا 1.5m می باشد.



در نورد ردیفی (شکل 6) نوار به صورت پیوسته در چند ایستگاه نورد می شود تا در آخرین آنها به کمترین ضخامت ممکن برسد. هر ایستگاه شامل یک سری غلتک و سایر تجهیزات لازم می باشد. به یک گروه از این ایستگاه ها قطار نورد می گویند. کنترل سرعت و فاصله ها در این نوع نورد بسیار مهم است و از کنترل کننده های کامپیوتری و هیدرولیکی زیادی (خصوصاً در نورد دقیق) در این روش استفاده می شود.

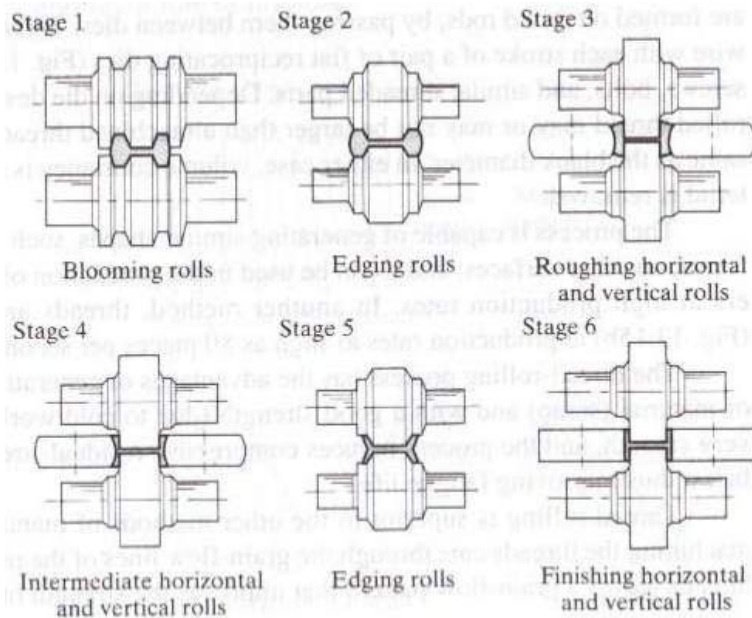


غلtek ها ماده مورد استفاده برای ساخت غلتك ه ا باید از پر استحکام و مقاوم به سایش باشد .موادی که معمولاً برای این منظور به کار می روند، چدن، فولاد ریخته گری و فولاد فورج شده می باشند . در غلتك های کم قطر (نظیر غلتك های نورد خوشه ای) از تنگستن کار باید می باشند . فولاد فورج شده نسبت به چدن دارای استحکام، سفتی و چقرمگی بیشتری است . غلتك های نورد سرد به منظور ایجاد سطح صاف سنگ زنی می شوند و در بعضی از موارد پولیش کاری می گردند . از غلتك های نورد سرد نباید برای نورد داغ استفاده شود چرا که حرارت موجب ترک برداشتن و پوسته شدن سطح غلتك می شود

روانکارها نورد داغ آلیاژهای آهنی معمولاً بدون روانکار انجام می شود گرچه شاید از گرافیت استفاده شود. از محلول های آبی خنک کردن غلتك ها و کندن پوسته های روی ماده نورد شده استفاده می شود . آلیاژهای غیر آهنی با استفاده از ترکیب روغن ها قابل حل در آب و روانکارهای با لزجت پایین مثل روغن های معدنی، امولسیون ها، پارافین و روغن های چرب انجام می شود.

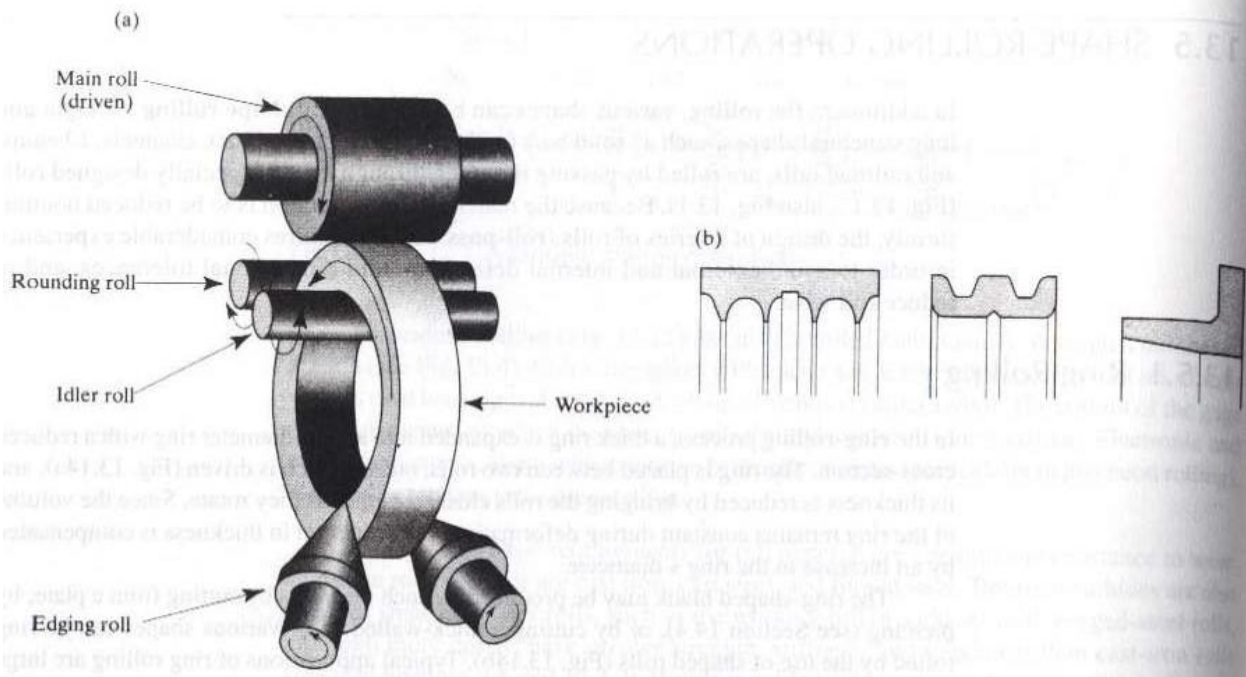
8- تولید اشکال مختلف با استفاده از نورد

علاوه بر نورد تخت، اشکال مختلفی را می توان با نورد پروفیل تولید نمود. قطعات مستقیم و طویل سازه ها مثل میل گردها (با قطرهای مختلف) کانال ها، تیرهای I شکل و یل های قطار (شکل های 1 و 7) با این روش تولید می شود . از آنجاییکه سطح مقطع ماده به صورت غیر یکنواختی تغییر می کند، برای طراحی غلتك های لازم به تجربه زیادی نیاز است تا قطعات تولیدی عاری از عیوب داخلی و خارجی باشند.



8-1 نورد رینگ ها

در فرایند نورد رینگ ها قطر یک رینگ ضخیم با کاهش سطح مقطع آن، افزایش می یابد. رینگ ما بین دو غلتک که یکی از آنها محرک است قرار گرفته (شکل 8) و با نزدیکتر شدن غلتک های چرخان جبران می شود. قطعه خام اولیه (بلانک) از برش لوله های ضخیم و یا با سنبه کاری (PIERCING) بدست می آید. از قطعات که معمولا با این روش تولید می شوند می توان رینگ های بزرگ در راکت ها، توربینها، رینگ های چرخ دنده ها، رینگ های بلبرینگ و رلبرینگ ها، فلانچ ها و رینگ های تقویت کننده لوله ها نام برد



خط نورد گرم در کارخانه فولاد مبارکه اصفهان



بعضی از محصولات فولادی تولید شده به وسیله عملیات نورد

یادآور می شود قسمت اعظم فلزات و آلیاژها در کارخانه های تولید مواد فلزی به صورت شمش یا نیم ساخته تولید می شوند و سپس در کارگاه های صنعتی توسط دستگاه های نورد به ورق، تیر آهن، تسمه، میشود.