به نام خدا

مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

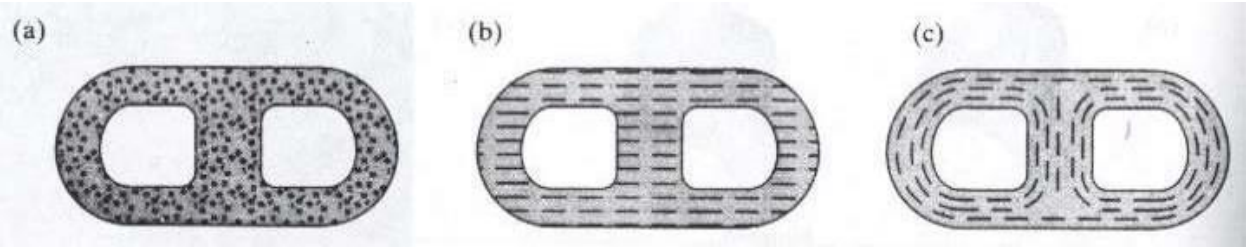
www.Iran-mavad.com

فورج (آهنگری)

به فرايندي گفته ميشود كه قطعه با تغيير شكل پلاستيك به خاطر اعمال نيروهاي فشاري توليد ميشودفورج يكي از قديمي ترين فرايندهاي فلزكاري شناخته شده ميباشد

(با قدمتي در حدود ٤٠٠٠ سال قبل از ميلاد مسيح),

از اين روش براي ساختن قطعات با اشكال، اندازه وجنسهاي مختلف استفاده ميشود ,با ا ين روش ميتوان جريان فلز وساختار دانهاي آن را كنترل نمود ودر نتيجه به استحكام و چقرمگي خوبي دست يافت,از اين روش براي توليد قطعاتي كه
شرايط كاري تنش بالا و بحراني كارمي كنند استفاده ميشود (شكل ١)
از قطعات معروفي كه امروزه با استفاده از اين روش توليد ميشوند ميتوان به ميل لنگ شاتون،ديسكهاي توربينها،چرخدندها،چرخهاوابزارالات اشاره نمودفورج را ميتوان دردما ي اتاق(فورج سرد) يا در دماهاي بالاتر(فورج گرم و فورج داغ بسته به دما) انجام داد.



شكل ١- قطعة ساخته شده با سه روش a ريخته گري b ماشينكاري c فورج.

در فورج سرد به نيروهاي فوق العاده بزرگي براي شكلدادن قطعه نياز است و مادة خا م بايستي به اندازة كافي قابليت چكش خواري داشته باشد، در عوض قطعة توليدي با

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

اين روش داراي سطح پاياني و دقت ابعادي خوبي است در فورج داغ به نيروي كمتري نياز است ولي قطعات توليدي با اين روش داراي سطح پاياني و دقت ابعادي چندان خوبي نيستندمعمولا قطعات توليدي توسط فورج به عمليات اضافي (پایانی) جهت تبديل شدن به قطعه مناسب كاروحصول دقت مطلوب نياز دارند.

با استفاده از روش فورج دقيق ميتوان اين عمليات را به حداقل رساند قطعهاي كه با استفاده از فورج توليد ميشود را نيز ميتوان با ساير روشها نظير ريخته گري ، متالورژي پودروماشينكاري توليد نمود وهمانطوركه انتظارميرود هركدام ازاين روشها داراي مزايا و محدوديتهاي مربوط به خود از نظر استحكام ، چقرمگي، دقت ابعادي سطح پاياني و نقصهاي ساختاري هستند

۲ - فورج با قالب باز

آسانترين روش فورج، فورج با قالب باز ميباشد. در اين روش قطعه كار بين قالبهاي تختي كه فلز را به طور كامل محدود نميكنند كوبيده ميشود. در اين روش قطعه به شكل قالب

درنميآيد، بلكه به كمك حركتهاي دست، پرس و پتك شكل مييابد با استفاده از اين روش قطعاتي با وزن۱۵kg-500kg تا حتی 300tonساخته شده است اندازه اين قطعات ممكن است از قعطات كوچک تاشفت هايی با طول (23m)مورد استفاده درپروانه كشتی ها متغير باشد .

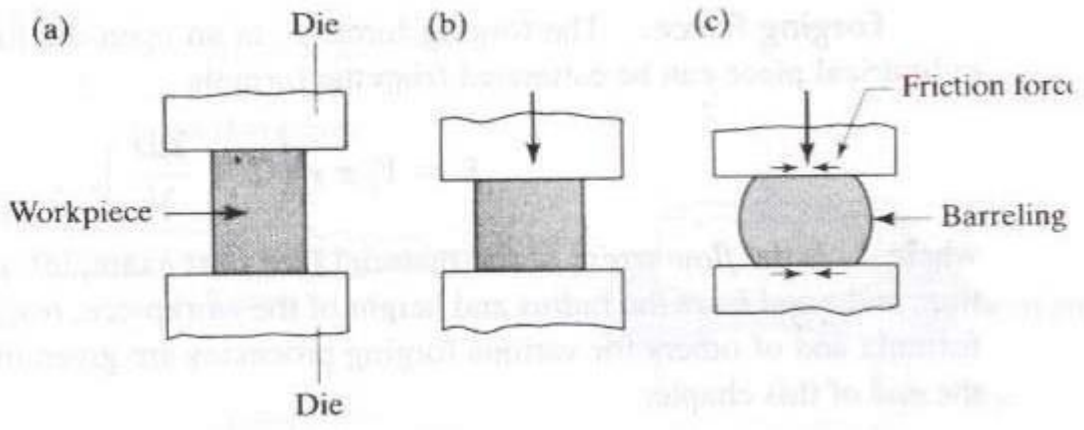
www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

فرایند فورج با قالب باز را میتوان به صورت قرار دادن قطعه مابین دو کفه قالب و کاهش ارتفاع قالب به سبب نیروهای فشاری (شکل ۲) تعریف نمود به این روش چاق کردن (upsetting) ویا فورج با قالب تخت نیز گفته میشود اگر شرایط کاملا ایده آل (اصطکاک وجود نداشته باشد) قطعه به صورت شکل 2-bدرمیاید ودر حالت واقعی به سبب نیروهای فشاری(شکل ۲) تعریف نمود به این روش چاق کردن (upsetting)ویا فورج با قالب نیز گفته میشود اگر شرایط کاملا ایده آل (اصطحکاک وجود نداشته باشد)قطعه به صورت شکل 2-bدر میاید ودرحالت واقعی به سبب نیروهای

1 Forging
2 Precision forging
3 Flat-die forging

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

اصطحکاکی قطعه بشکه ای شکل میشود . این فرایند همچنین کلوچه ای شدن یا بشکه ای شدن نیز نامیده میشود .بعضی از این قالب ها ممکناست vشکل یا نیم دایره ای باشند.



۲ شکل - (a) يك قطعه مكعبی كه بين دو قالب تخت درحال چاق شدن است. (b)تغيير شكل يكنواخت درنبود اصطكاك (c)تغيير شكل با وجود اصطحكاكتوجه شود كه بشكه ای شدن مكعب به سبب نيروهای اصطكاک بين قطعه وسطح قالب ميباشد

نیروی فورج . نیروی فورج ، زدریک فرایندفورج قالب باز برای یک قطعه استوانه ای شکل ازرابطه زیر تخمین زده میشود :

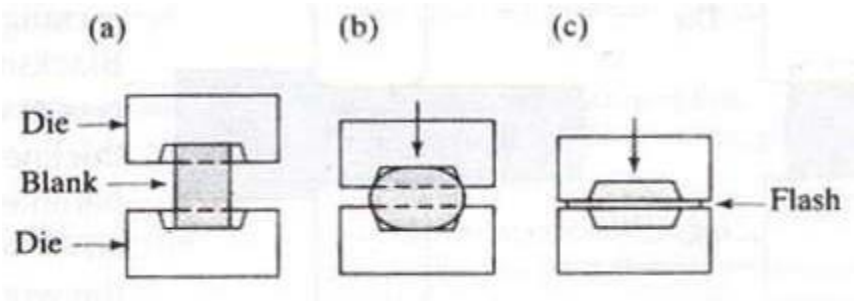
$$F = Y_f \pi r^2 \left(1 + \frac{2\mu r}{3h}\right)$$

۳. فورج با قالب حفرهدار و قالب بسته

در فورج با قالب حفرهدار قطعه خام توسط نيروهاي فشاري پرس به شكل حفره هاي قالب در ميآيد(شكل ۳) توجه شود كه مقداري از ماده بين دو نيمه قالب به صورت زائده باقي ميماند. زائده نقش بسيار مهمي در جريان ماده در قالب هاي حفره دار ايفا ميكند اين زائده كوچك سريعا خنك مي شود و به سبب مقاومت اصطكاكي، مادة داخل حفره هاي قالب را تحت فشار بالا قرار ميدهد و باعث پر شدن كامل حفرههاي

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

قالب ميشود



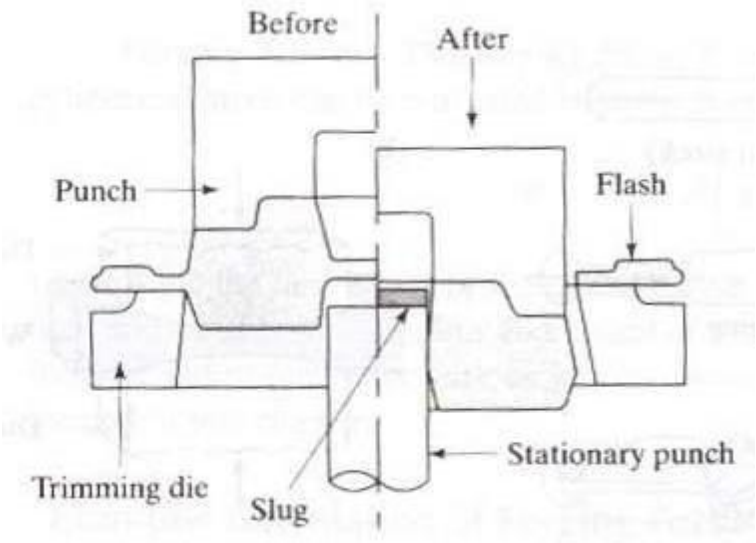
شكل ٣- مراحل شكل دهي بيلت در قالب حفره دارتوجه

دو بين در زائده صورت به اضافي مادة از مقداري كه شود
نيمة قالب باقي ميماند كه بعدا بايستي بريده

ماده خام(بلانک) ممكن است از فرايندهايي نظير ريخته گري، متالورژي پودر، برشكاري و يا فورج بدست آمده بيايد. اين بلانك روي نيمة پاييني قالب قرارميگيرد و با پايين آمدن نيمة بالايي قالب به تدريج شكل ميگيرد . همانطور كه در شكل ٤ شكلدهي يك شاتون نشان داده شده است .

1 Pancaking
2 Barreling
3 Impression-die
4 Flash or Fin

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

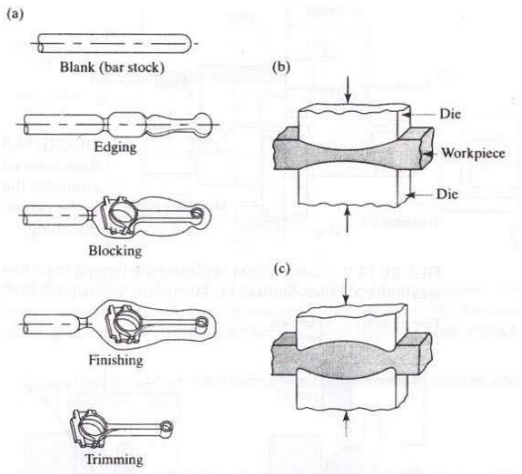


شكل ٥- برش زائده يك قطعة فورج شده .به مادة نازك كنده شده توسط پانچ در وسط توجه شود .

از فرايندهاي ماقبل شكلدهي نظير باريكسازي ١ ولبه زنی ٢ برای توزيع ماده به قسمتهای مختلف بلانک استفاده ميشود .

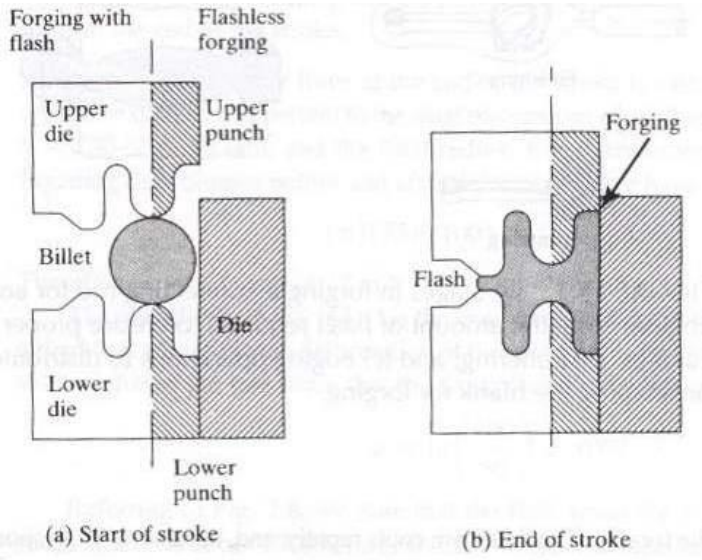
در باريكسازي ماده از يك ناحيه به سمت بيرون دور ميشود و در لبهزني در يك ناحيه جمع ميگردد . سپس قطعه توسط فرايند لقمه كاري ٣ و با استفاده از قالبهاي لقمهزني به صورت ظاهري شاتون درميآيد. درآخرين عمليات فورج قطعه توسط قالب هاي حفرهدار به شكل نهايي را به خود ميگيرد. در انتها زائده برشكاري ميشوند.

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد



شکل ٤-a- مراحل فورج شاتون مورد استفاده در موتورهاي احتراق داخلي .به مقدار زائده مورد نياز براي اطمينان از پر شدن كامل حفره هاي قالب توجه شود .(b) مراحل باریک سازی و(c) لبه زنی به منظور توزیع ماده به منظور آماده سازی قطعه خام برای فورج.

در شکل ۵و a-6مثالهایی ازفورج درقالبهای بسته آورده شده است . البته درفورج دقیق یا بدون زائده ، زائده ای شکل نمی گیرد و ماده قالب را به طور کامل پر میکند.(سمت راست شکل a-6) برای تولید یک قطعه با ابعاد, تلرانسهای دقیق طراحی صحیح قالب ضروری میباشد. در این روش بلانک کوچکتر از اندازه باعث پر نشدن کامل قالب و بلانک بزرگتر از اندازه موجب ایجاد فشارهای فوقالعاده که سبب تخریب قالب میشود، میگردد. در جدول ۱مزایا و معایب هرکدام از روشهای معول فورج آمده است.



www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

شکل۶- مقایسه بین فورج با قالب بسته و فورج دقیق یا بدن زائده یک قطعه

جدول 1- مقایشه مزایا و محدودیت های انواع روش های فورج

فرایند	مزایا	محدودیتها
قالب باز (open die)	ساده؛ قالبهاي ارزان؛ مفيد براي تعداد كم؛ توليد با ابعاد مختلف؛ خواص استحكامي خوب	محدود به اشكال ساده؛ به سختي ميتوان به تلرانسهاي دقيق دست يافت؛ نرخ پايين توليد
قالب بسته (closed die)	كم شدن محدوديت نوع ماده خام : معمولا داراى خواص بهتر نسبت به قالب باز :دقت ابعادى خوب : نرخ توليد بالا :قابلبت تكرار پذيرى خوب قيمت نرخ توليد بالا	محدوديت در نوع ماده خام؛ نياز به مهارت بالا قيمت بالاي قالب براي توليد كم؛ اغلب نياز به ماشينكاري ميباشد نياز به ماشينكاري به منظور عمليات پاياني ضروري
نوع كانونشنال((Conventional type)	نسبت به نوع بلاكر نياز به ماشينكاري خيلي كمتري	است؛ داشتن قوسهاي بزرگ و پرهاي ضخيم
نوع دقيق Precision type)	داردنرخ توليد بالا:استفاده مناسب از ماده تلرانسهاي دقيق: اغلب نيازي به ماشينكاري نميباشد ممكن بودن توليد فلانج و پرههاي خيلي نازك	ضروري است گاهي اوقات گرانتر از نوع بلاكر است نياز به نيروهاي بالا، قالبهاي پيچيده و مشكلات خروج قطعه از قالب

٤.سکه زنی

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

سکه زنی اساسا یک فرایند فورج قالب بسته برای شکل دادن سکه ها ، مدال ها وجواهرات(شکل ؟؟؟؟؟؟)میباشد . برای رسیدن به ابعاددقیق به فشارهایی تا پنج یا شش برابر استحکام ماده نیاز ادست . دراین فرایند از مواد روانکار نمی توان استفاده نمود زیرا باعث پرشدن حفره های قالب شده ودر این فشارهای اعمالی رفتار غیر قابل ترادکم داشته واز شکل دهی دقیق قطعه جلوگیری میکنند از فرایند سکه زنی با فورج برای ایجاد دقت ابعادی روی سایر قطعات نیزاستفاده میشود. این فرایند، اندازه کردن ۱ نامیده مي شود. فرایند اندازهکردن به همراه فشارهاي بالا و تغییر شکل قطعه میباشد حك کردن حروف و اعداد روي قطعات را میتوان با فرایندي شبیه به سکه زني

با سرعت انجام داد.

۵.نیروی فورج

نیروي فورج،f، لازم در فرایند فورج با قالب حفرهدار از رابطة زیر بدست مي آید:

$$F = kY_f A$$

که kیک ضریب (از جدول ۲بدست میاید)Yf تنش سیلان ماده در دماي فورج و a سطح مورد فورج به همراه زائده میباشد در فورج داغ فشار واقعي فورج از 550 MPa تا1000 MPa تغییر میکند

جدول ۲- مقادیر k برای محاسبه نیروی فورج	
اشکال ساده بدون زائده	3-5
اشکال ساده با زائده	5-8
اشکال پیچیده با زائده	8-12

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

6.طراحی قالب های فورج

طراحي فالبهاي فورج به دانش زيادي دربارة خواص استحكام، چكشخواري، حساسيت به نرخ تغييرشكل و دما، اصطكاك و شكل قطعه نياز دارد اعوجاج قالب تحت بارهاي بالاخصوصا در توليد قطعات با تلرانس كم قابل ملاحظه ميباشد مهمترين قانون در طراحي قالب اين است كه قطعه در هنگام عمليات فورج در جهتي كه داراي كمترين مقاومت است . جريان مي يابد

بنابراين قطعه(شكل مياني) بايستي به گونهاي شكل داده شود تا تمامي حفرههاي قالب پر شود. در شكلa-4 مثالي از شكلدهي مياني يك شاتون آمده است.

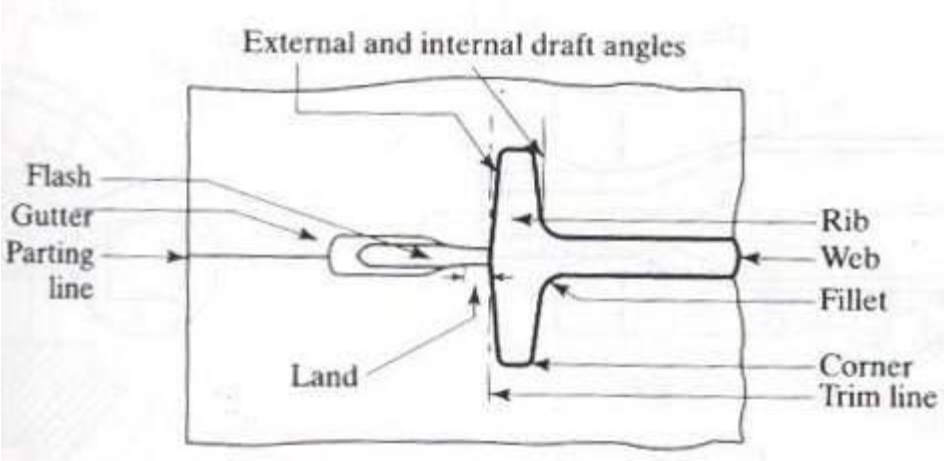
شكل دهي اوليه ۳ در شكل دهي اوليه قطعه، ماده نبايد به آساني به سمت زائده حركت كند.

الگوي جريان دانهاي بايستي مطلوب باشد و لغزشهاي شديد بين قطعه و قالب بايستي به حداقل برسد تا فرسايش كاهش يابد انتخاب اشكال نيازمند تجربة زيادي بوده ، شامل محاسبات سطوح مقطع در هر موقعيتي از فورج ميباشد. از آنجاييكه ماده در اين فرايند تحت تغييرشكلهاي مختلفي در مناطق مختلف حفرههاي قالب ميباشد، خواص مكانيكي بستگي به موقعيت فورج دارد.

طراحي قالب در شكل۷ اجزاي استاندارد قالب هاي مختلف فورج بسته معمولي آمده است

در ادامه درباره اين اجزا توضيح داده شده است، بعضي از آنها شبيه به موارد گفته شده درباره ريخته گري ميباشد.

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد



شکل ۷-اجزای استاندارد قالب های مختلف فورج بسته معمولی

در اغلب قطعات فورج شده، خط جدایشParting line درست در مکان بزرگترین سطح مقطع قطعه قرار دارد.در قطعات متقارن خط جدايش معمولا خط مستقيمي در مركز قطعه مي باشد اما در قطعات پيچيده اين خط در يك صفحه قرار ندارد. اين قالب ها به گونه اي طراحي ميشوند تا هنگام كار قفل شده و از حركتهاي عرضي قالب جلوگيري شود در اين حالت تعادل نيروها و هم محوري قطعات قالب حفظ مي گردد. بعد از آنكه قالب پر شد به اضافة مواد اجازه داده ميشود كه به داخل سيمراههGutter راه پيدا كند اين موضوع باعث ميشود كه اين مواد اضافي باعث بالا بردن فشار قالب نشوند. معمولا ضخامت زائده Flash برابر۳% بيشترين ضخامت قطعه فورج كاري ميباشد طول تكة مسطح Land معمولا دو تا پنج برابر ضخامت زائده مي باشد در طي سالها چند طراحي مختلف براي سيمراه ارائه شده است در اغلب قالب هاي فورج به زاوية شيب Draft angle مناسب براي بيرون آمدن قطعه از قالب نياز ميباشد قطعه در هنگام اغلب قالبهاي فورج به زاوية شيب Draft angle مناسب براي بيرون آمدن قطعه از قالب نياز ميباشد قطعه در هنگام خنك شدن هم از نظر طولي و هم از نظر شعاعي منقبض مي شود بنابراين زواياي شيب داخلي بزرگتر از زواياي شيب خارجي ساخته ميشوند زواياي داخلي در حدود ۷ تا ۱۰ درجه و زواياي خارجي در

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

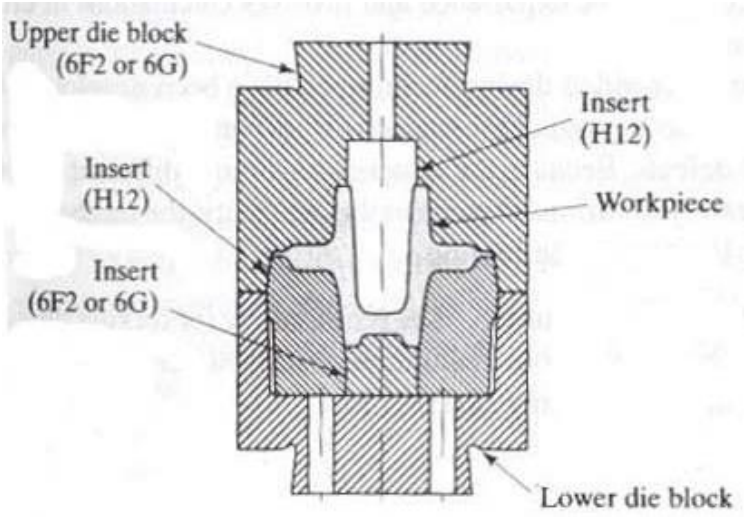
حدود ۳ تا ۵ درجه میباشند انتخاب صحیح اندازة شعاعها و گوشه ها به منظور اطمینان خاطر از جریان آرام فلز به داخل حفرهها و افزایش عمر قالب بسیار مهم است .

معمولا شعاع هاي كوچك غيرمطلوب مي باشد، چراكه جريان فلز را با سختي مواجه كرده، فرسايش قالب را بالا م قالب ميشود ببرد(به دليل ايجاد تمركز تنش و حرارت) قوس هاي كوچك همچنين سبب ايجاد ترك هاي ناشي از خستگي در بنابراين مقدار اين قوسها تا آنجاييكه طراحي قطعة فورج كاري اجازه ميدهد بايد بزرگ باشد.

در فرايند فورج، خصوصا براي قطعات پيچيده ميتوان از قالب هاي چندتكه به جاي قالب هاي يك تكه استفاده نمود(شكل ۸)

اين موضوع باعث كاهش هزينه هاي ساخت قالب هاي مشابه مي شود اين تكه ها(مغزها)

را ميتوان از مواد پراستحكام تر و سخت تر ساخت . در صورت فرسايش و شكست اين تكهها آنها را به راحتي ميتوان تعويض نمود.



شکل ۸- مغزی های استفاده شده درقالب فورج هوزینگ اکسل خودرو

۷.جنس قالب ها وروانکار ها

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

مواد قالب . اغلب عمليات فورج خصوصا در مورد قطعات بزرگ، در دماهاي بالا انجام ميشود. بنابراين مواد قالب بايستي(الف) داراي استحكام و چقرمگي در دماهاي بالا باشند(ب) سختي پذير بوده و بتوان آنها را صورت يكنواخت سخت كاري نمود(ج) در مقابل شوكهاي حرارتي و مكانيكي مقاوم باشند و(د) در مقابل سايش به سبب پوسته شدن در فورج داغ مقاوم باشند.

انتخاب جنس قالب به فاكتورهايي نظير ابعاد قالب، تركيب و خواص قطعه، پيچيده بودن قطعه دماي فورج نوع فرايند فورج هزينة مواد قالب و تيراژ قطعه بستگي دارد همچنين انتقال حرارت از قطعة داغ به قالب(و بنابراين اعوجاج قالب)فاكتور مهمي ميباشد از مواد كه معمولا در ساخت قالبهاي فورج استفاده ميشوند، ميتوان به فولادهاي داراي كرم، نيكل، موليبدن و وانا ديم اشاره نمود.

روانكارها، روانكارها به شدت بر ميزان اصطكاك و سايش تاثير ميگذارند. بنابراين در مقدار نيروها و جريان فلز به داخل حفرهها موثرند همچنين به عنوان حايل حرارتي بين قطعة داغ و قالب نسبتا خنك عمل كرده، باعث پايين آمدن نرخ خنكشوندگي قطعه و بهبود جريان فلز ميگردد. نقش مهم ديگر روانكار عملكردن به عنوان عامل جدايش و جلوگيري كننده از چسبيدن قطعه به قالب ميباشد.

در فرايند فورج از روانكارهاي مختلفي ميتوان استفاده نمود در فورج داغ از گرافيت، ديسولفيد موليبدن و در بعضي استفاده ميشود در فورج داغ معمولا قالب مستقيما به روانكار آغشته ميشود، در فورج سرد قطعه به روانكار آغشته ميشود.

روش كاربرد و يكنواخت نمودن ضخامت روانكار روي بلانك در كيفيت محصول مهم است.

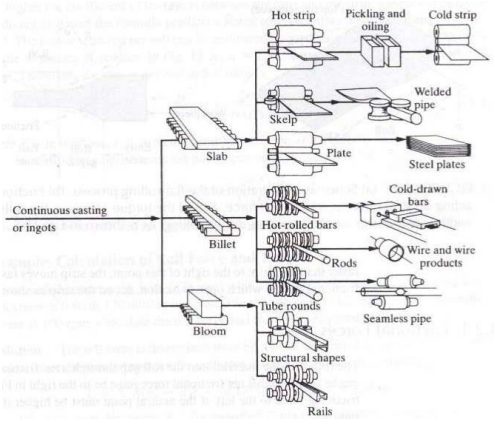
www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

نورد

۱-مقدمه

نورد[1] روشی برای کاهش ضخامت (یا تغییر سطح مقطع) قطعات طویل با استفاده از دو یا چند غلتک می باشد(شکل۱). ۹۰% قطعات فولادی تولید شده از فرایندهای شکل دهی فلزات با این روش تولید می شوند. این روش برای اولین با در دهه ۱۵۰۰ گسترش پیدا کرد.

صفحه (PLATE) که معمولا 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 (4-5in) 100-125mm برای کشتی های جنگی و تانکرهای باشند. ورق (sheet)، معمولا 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.



شکل۱- نماي شماتيکي از فرايندهاي شکل دهي در نورد

[1] 1 Rolling

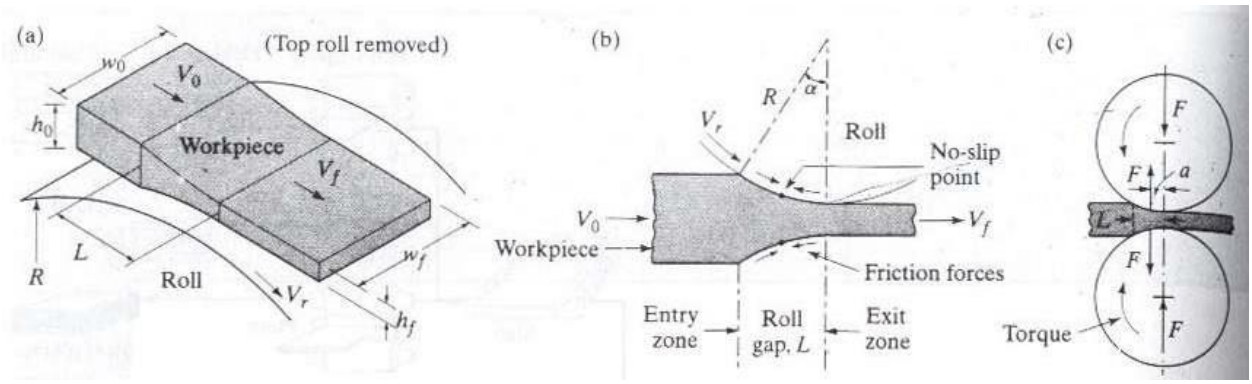
www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

همانطور که در شکل ۱ امده است علاوه بر پلیت و ورق، مقاطع فولادی ریل آهن، I شکل،چهرگوش،نبشی، میل گرد، سپری و ...(قطر مقاطع گرد از 5.5mm تا 300mm متغیر است و مقاطع کمتر از 5.5mm را معمولا 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.

۲-نورد تخت

در شکل ۲ 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 مابین 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 (I) 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 ۲-b عمل می کنند.

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد



۳-نیروهای اصطحکاکی نورد

غلتک ها نوار را توسط نیروی اصطکاک به درون خود می کشند، با توجه به شکل ۲-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_o 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.

۴-نیرو و توان لازم برای نورد

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

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

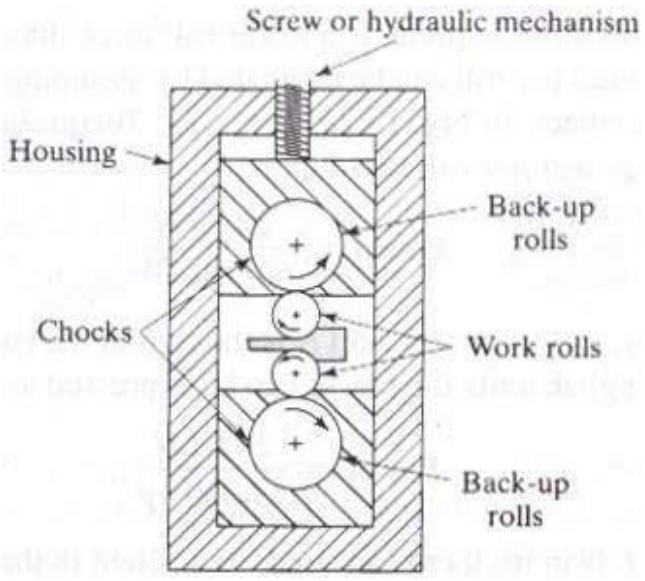
$$F = LwY_{avg}$$

که L طول نوار در تماس با غلتک ،W پهنای نوار و Y_{avg} تنش متوسط نوا 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 2-C) 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.



www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

۵-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 (شکل۳) ممکن تحت نیروها نورد دچار کشش آمدن شده، در نتیجه فاصله بین دو غلتک به میزان قابل توجهی از دیاد پیدا کندوبنابراین برای جبران این تغییر شکل و رسیدن مطلوب غلتک ها را بایستی از مقدار محاسبه شده به یکدیگر نزدک 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 آنجاییکه برای نورد کردن مواد پراستحکام به نیروی فشاری زیاری نیاز است، کشیدنن نوار در این حالت بسیار مهم است. می توان نوار را چه در ناحیه ورودی (کشش پشتی) وچه 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 نیروز اضافی به

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

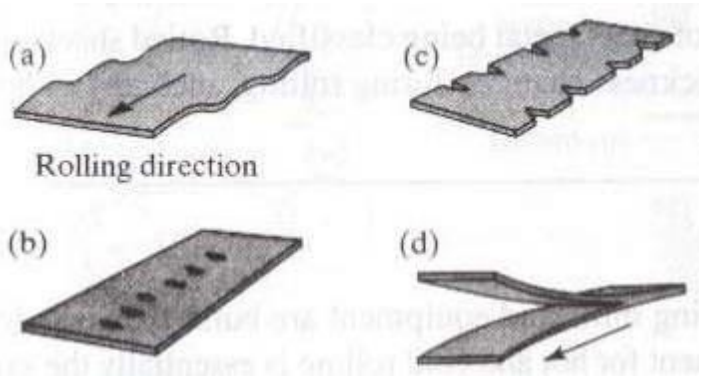
غلتک های نورد و فقط با اعمال نیروی کششی از سمت جلو انجام داد که به این روش نورد استکل گویند.

۶-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 ۴-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 ۴-c,b نتیجه چکش خوار بودن ضعیف ماده در دمای نورد می باشد.

پوست سوسماری شدن (شکل ۴-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

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

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.

۷-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.

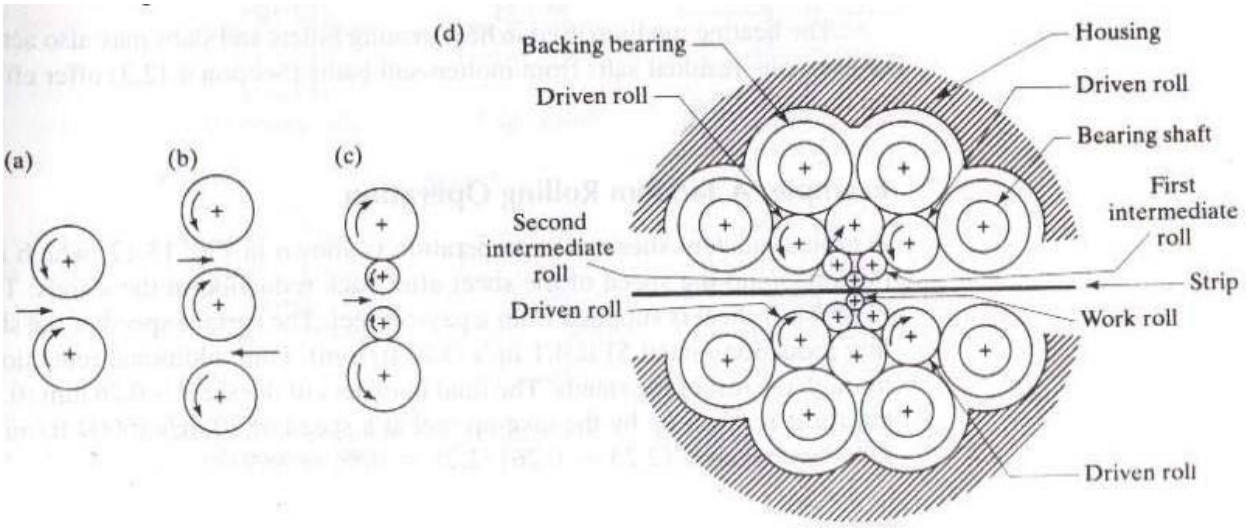
برای انجام فریند نورد چندین نوع تجهیزات و غلتک های مختلف ساخته شده است.گرچه تجهیزات اصلی لازم برای نورد سرد و داغ شبیه به هم می باشند ولی تفاوت هایی در نوع ماده نورد، پارامترهای فرایند، روانکارها و سیستم خنک کاری وجود دارد. طراحی، ساختن و عملکرد دستگاه های نورد به تحقیقات زیادی نیاز دارد. دستگاه های اتوماتیک صفحات و ورق هایی با دقت و نرخ تولید بالا به همراه قیمت ارزان تولید می کنند عرض تولیدات نورد می تواند از 5m تا 0.0025mm تغییر کند. سرعت نورد می تواند از 25m/c (تقریبا 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 ۵-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 برگشت جهت حرکت ماده پس از هر مرحله تغییر میکند؛ صفحه نورد شده مکرر را به بین

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

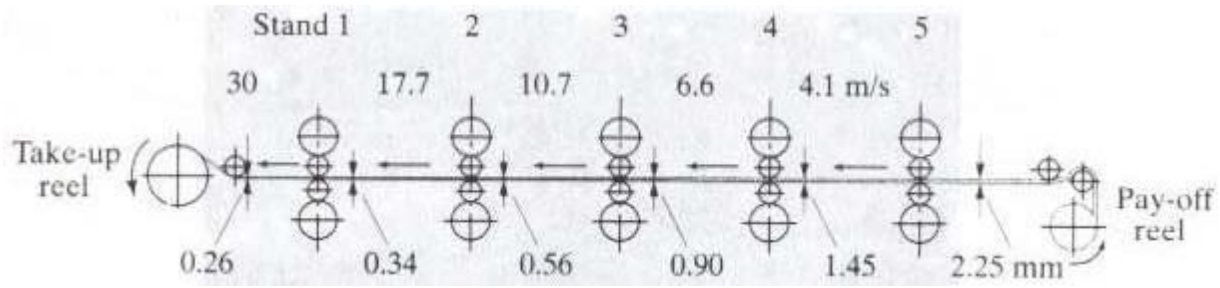
دو غلتک بالایی رفته و سپس توسط انبر ماشینی(Manipulator) و بالا برنده های مختلفی به بین دو غلتک پایین فرستاده می شود.

دستگاه های نورد چهار غلتکی و خوشه ای (سندزیمیز یت دستگاه z شکل ۵-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 شوندگی (Spresding) 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 یه 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 (شکل۶) 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 وهیدرولیکی زیادی(خصوصا در نورد دقیق) در این روش استفاده می شود.

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد



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

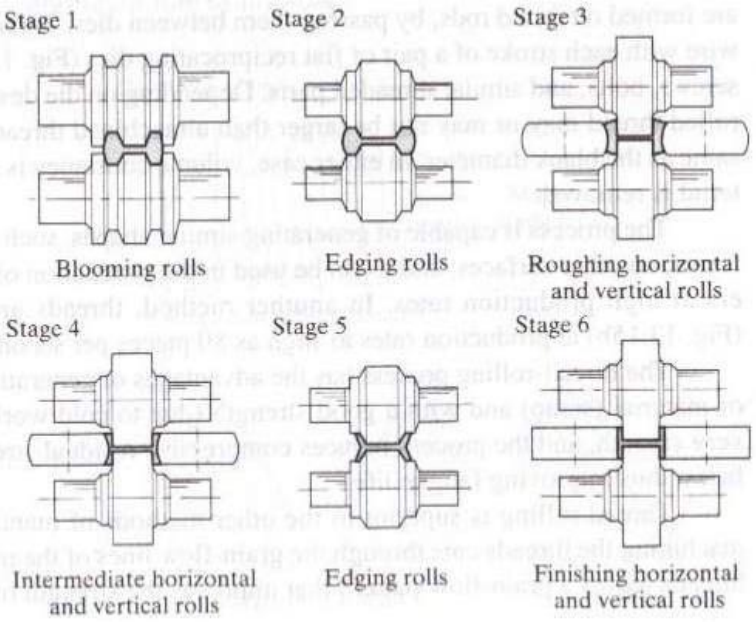
روانکارها نورد داغ آلیاژهای آهنی معمولا بدون روانکار انجام می شود گرچه شاید از گرافیت استفاده شود. از محلول های آبی خنک کردن غلتک ها و کندن پوسته های روی ماده نورد شده استفاده می شود.آلیاژهای غیر آهنی با استفاده از ترکیب روغن ها قابل حل در آب و روانکارهای با لزجت پایین مثل روغن های معدنی، امولسیون ها،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

۸-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

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد

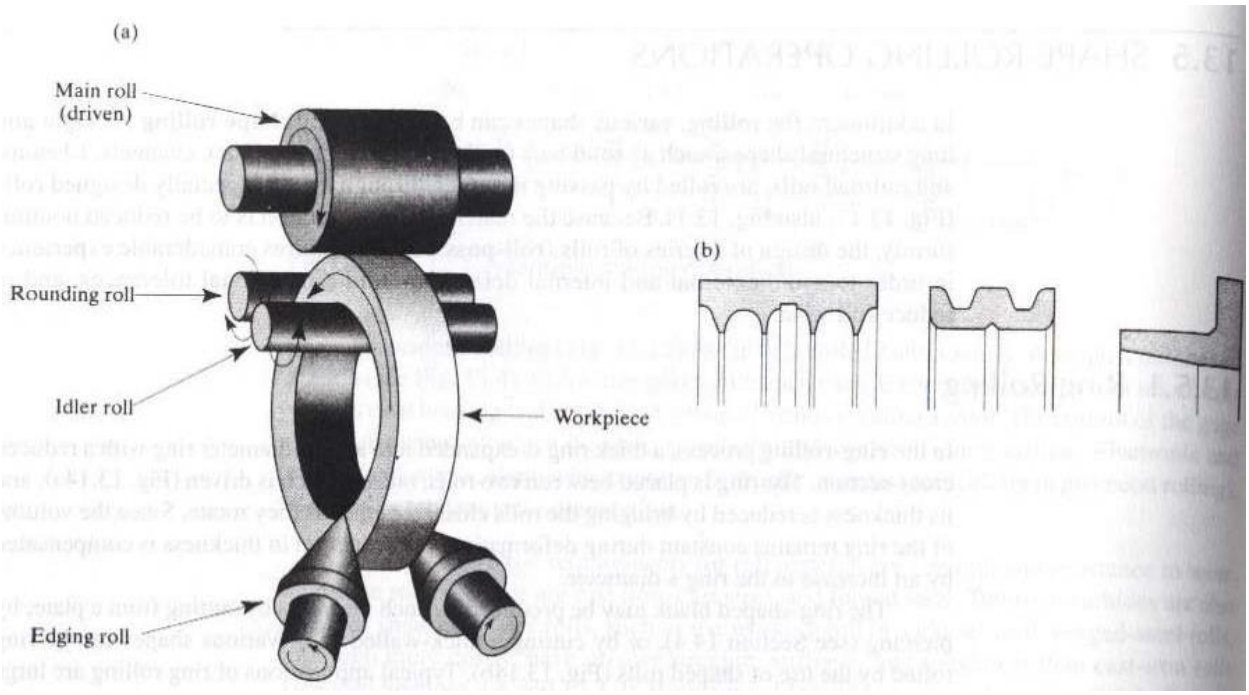
قطار (شکل های ۱و۷) با این روش تولید می شود. از آنجاییکه سطح مقطع ماده به صورت غیر یکنواختی تغییر می کند، برای طراحی غلتک های لازم به تجربه زیادی نیاز است تا قطعات تولیدی عاری از عیوب داخلی و خارجی باشند.



۸-۱نورد 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 (شکل۸) 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.

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد



موفق و سربلند باشید

پژمان خلیلی

۱۳۹۲/۵/۲۵

www.iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد