فهرست

مطالب صفحه

فصل ۱.
تاریخچه کوتاهی از صنعت مفتول آهنی ..... ۸ ـ ۱

فصل ۲.
ریخته‌گری پیوسته ..... ۲۴ ـ ۹

فصل ۳.
تولید میلگرد ـ تئوری اولیه نورد میلگرد..... ۳۸ ـ ۲۵

فصل ۴.
کنترل خنک‌کاری مفتول..... ۶۴ ـ ۳۹

فصل ۵.
عیوب میلگرد..... ۹۴ ـ ۶۵

فهرست جلد ۲ و ۳..... ۹۶ ـ ۹۵

مقدمه

*می‌دانستم که کتاب **Ferrous wire handbook** یکی از منابع مهم و معتبر در صنعت مفتول‌های فولادی است و علی‌رغم گسترش صنعت مفتول و نیاز روزافزون مهندسان و تکنسین‌های این صنعت در ایران، هیچ منبع معتبر و علمی مربوط به مبانی دانش فنی و شناخت مفتول‌های فولادی و کشش آن در دسترس نیست. در جستجوی آن کتاب و منابعی مشابه بودم که کتاب مذکور را یکی از دوستان که می‌دانست در جستجوی این گنج که نه! بلکه این گنج‌نامه هستم، از آمریکا تهیه و برایم ارسال نمود. با همان شوقی که با خرید هر کتاب، در کتاب‌خوانان سراغ داریم و با ولع فراوان، فصل‌هایی را برحسب مورد انتخاب کرده و مطالعه می‌نمودم و همزمان نیز یادداشت‌هایی برمی‌داشتم که به کار روز و هر روز کاریم مرتبط باشد.*
این خوشه‌چینی یادداشت‌ها به انباشتی رسیده بود که دغدغه همیشگی مرا به یادم آورد "این کتاب و ترجمه‌هایش به کار دیگران در این صنعت خواهد آمد".
*اگر چه ترجمه متون علمی، تخصص اصلی من نیست ولی همواره ترجمه متون مورد نیاز خود را درحد بضاعت خویش انجام داده بودم و در انتقال به دیگران نیز به همان بسنده می‌نمودم. ولی این بار قصد آن داشتم که ترجمه را درحد دانش فنی خوانندگان دانش‌پژوه ارتقاء داده و امیدوار باشم که حاصل کار، در شأن علمی و تخصصی کتابی که توسط آقای پروفسور **Robert M.Shemenski** تدوین شده است نیز باشد.*
ترجمه و نشر این کتاب و ۱۴ فصل از فصل‌های منتخب آن در ۳ جلد برنامه‌ریزی شده است که نخستین آن با نام مبانی صنعت مفتول به عنوان دومین کتاب از سری کتاب‌های آموزشی شرکت ایروف به همکاران و دانش‌پژوهانی که در صنعت مفتول دستی بر آتش دارند تقدیم خواهد شد. ناگفته نماند همانطور که خوانندگان کتاب نیز استحضار دارند صنعت مفتول آمیزه‌ای است از علوم متالورژی، مکانیک و شیمی و این کتاب سرشار از واژه‌ها و اصطلاحاتی در میدان معانی آن علوم، اگر چه همه تلاشم را به میان آورده‌ام، نیک می‌دانم در ترجمه و

انتقال برخی از مفاهیم و اصطلاحات نارسایی‌هایی خواهید یافت. نخست آن که کاستی‌ها را بر من ببخشایید و دوم این‌که با تماس‌هایی از آن‌گونه که آسوده‌تریـد، در انعکاس و رفع آن کاستی‌ها در نگارش‌های بعدی یاری نمایید.

در انتقال برخی از اشکال و جدول‌ها از زبان اصلی استفاده شده است تا کلمات و عبارات علمی را با واژگان مبدا به خاطر بسپاریم.

هیأت‌مدیره و مدیرعامل شرکت ایروف که همواره به روز آمد کردن دانش فنی صنعت کشش مفتول و اشاعه آن نزد پرسنل مهندسی خود و سایر دست‌اندرکاران این صنعت را سرلوحه برنامه‌های درازمدت خویش قرار داده‌اند نیز چون همیشه مشوق اصلی و تأمین‌کننده شرایط و امکاناتی شدند تا بتوانم این راه نرفته را پای به راه شوم. حمایت‌های مادی و معنوی بی‌دریغ آقایان مسعود جعفری رییس هیأت‌مدیره و مهندس محسن صمدبیک مدیرعامل شرکت ایروف نیز از آن جمله است.

در پایان از سرکار خانم حقیقی که در تحریر این ترجمه همکاری صمیمانه‌ای داشتند و واحد روابط‌عمومی که انتشار این کتاب و کتاب‌های قبلی واحد آموزش را عهده‌دار بودند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

اسماعیل مدرس ــ پاییز ۱۳۹۴

فصل ۱

تاریخچه کوتاهی از صنعت مفتول آهنی

ساخت مفتول غیرآهنی در دوران باستان

مفتول را می‌توان محصول همه‌جا حاضر نامید. زیرا سودمندی آن برعکس محصولات فلزی سنگین مانند تیرآهن‌های ساختمانی، ریل‌های خط‌آهن و قطعات بزرگ ریخته‌گری به صورت آنی محسوس نمی‌باشد. به‌دلیل غیرمحسوس بودن سهم مهم آن در تمدن مدرن ما اغلب نادیده گرفته شده است. بدون مفتول اجرا موفق بسیاری از پروژه‌های امروزی از فضاپیماها گرفته تا فنرهای خودکار نوک ساچمه‌ای تا گیتارهای الکترونیک و لوازم جراحی، امکان‌پذیر نمی‌باشند.

شواهد باستان‌شناسی گواهی می‌دهند که مفتول فلزی از هزاران سال پیش مورد استفاده بوده است. مفتول طلایی در تزیین مومیایی‌های دفن شده مصر باستان و گورهای تمدن پرو یافت شده‌اند. این مفتول‌ها احتمالاً به وسیله چکش‌کاری یا تا کردن صفحات فلزی شکل‌پذیر درست شده‌اند و سپس از سوراخی جهت گردی کامل و فشردگی خوب عبور داده شده‌اند.

کتاب «مهاجرت» یکی از قدیمی‌ترین کارهای ادبی غرب در قلمرو دانش، شامل شرح دقیقی از اینگونه فعالیت‌ها می‌باشد. موارد مصارف خانگی ساخته شده از مس و نقره مربوط به ۲۸۰۰ سال قبل از میلاد در باستان‌شناسی‌های ایتالیا کشف گردیده است.

عملیات کشش مفتول که ویژگی متمایز صنعت مفتول می‌باشد، در آثار روم ٤٠٠ سال بعداز میلاد نامی از آنها برده شده است. هر چند دوزه‌های عهد عتیق در مکان‌های مختلف کشف گریده‌اند، اولین نوشته قابل اعتماد تشریح عملیات کشش مفتول توسط تئوفیلیوس پرسبیتر (Theophilus presbyter) (۱۱۲۵ـ۱۰۷۰ بعداز میلاد) ارائه گردیده است که توضیح می‌دهد: آهن‌هایی به پهنای سه انگشت، از قسمت سر نسبتاً نازک می‌گردد و در سه یا چهار ردیف سوراخ فرو برده می‌شوند و از این طریق مفتول‌ها کشیده می‌شوند.»

تکنیک تولید پر زحمت کوبش فلز شکل‌پذیر از شکل شمش به ورق، سپس برش به صورت نوارهای باریک و نهایتاً کشش نوارها و تبدیل آنها به مفتول باعث گردیده بود که کاربرد مفتول‌های آهنی محدود به موارد تجملی باشد. از قرن دوازدهم به بعد در اروپا مکرراً به دوزه‌های کشش اشاره شده است. در آن زمان تمایز آشکاری بین روش یک آهنگر که مفتول را با کوبیدن آن با چکش و سندان به وجود می‌آورد با مفتول‌کشی که از صفحه سوراخ‌دار یا صفحه کشش برای کاهش سایز استفاده می‌کرد، به وجود آمد. روستای آلتنا در آلمان در آن زمان‌های دور مرکز تولید مفتول بود. یک موزه تاریخی در آنجا تکامل محصولات مفتولی از زره زنجیری قرون وسطی تا محصولات مدرن مفتول را به نمایش گذاشته است.

در قرن سیزدهم در پاریس صنعتگران به طور کامل به عنوان «مفتول‌کش» شناخته شدند. در یک سند صنعتی مربوط به سال ۱۲۷۰ در پاریس خوانده می‌شود:

"۱ـ مفتول‌کش می‌بایست به طور کامل حرفه خود را بداند و سرمایه کافی در حیطه کار خود داشته باشد.

۲ـ مفتول‌کش ممکن است کارآموزان و خدمه بیش از نیاز خود داشته باشد و ممکن است آنها شب‌های زیادی را، علیرغم میل خود کار کنند.

۳ـ مفتول‌کش نیازی به پرداخت مالیات در ارتباط با حرفه خود ندارد چه آن چه در پاریس می‌خرد و یا می‌فروشد.

٤ـ به کارآموزان مفتول‌کش‌ها تا ده‌سالگی حق‌العملی پرداخت نمی‌گردد و پس از آن بیست‌سو (معادل یک فرانک) پرداخت می‌گردد."

آشکارا این مقررات قسمتی از توافق امضاء شده بین شهرداری و صنف مفتول‌کش‌ها برای منافع متقابل بوده است. چندین مصرف خیلی قدیمی مفتول یا میله‌آهنی که فقط در طول‌های کوچک مورد استفاده قرار می‌گرفتند، تا زمان حاضر نیز باقی مانده‌اند.

۲ مثال از اینها سوزن و پین صنعتی و محصولات زینتی هستند که به عنوان مفتول لیونیک شناخته شده می‌باشند. (رشته‌های مفتول بافته و چرخیده یا مفتول زرق و برق‌دار مورد استفاده در لباس‌های تزئینی). سوابق مفصل تکامل صنعت مفتول لیونیک به سال‌های ۱۵۰۰ برمی‌گردد. در

قرون وسطی حرفه کشش مفتول به‌حدی متداول بوده که در بازمانده کتاب الفبا مشاهده می‌گردد که برای توضیح حرف D کشش مفتول (drawing of wire) به عنوان یک عامل تشخیص مورد استناد قرار گرفته است.

ظهور کشش مفتول ماشینی معمولاً به رودلف در نورنبرگ حدود سال ۱۳۵۰ میلادی نسبت داده می‌شود. او ماشین کشش با نیروی آب را ارائه نمود که به عنوان اولین دستگاهی شناخته شده است که به میزان زیادی باعث کاهش نیروی کار و هزینه‌های تولید و درنتیجه قیمت تمام شده گردیده است و تحرکی در استفاده بیشتر از مفتول های آهنی و برنجی ایجاد نمود. از مهمترین این مصارف جدید، مفتول‌های کوتاهی بود که در دندانه شانه‌های آماده‌سازی الیاف در نساجی مورد استفاده قرار گرفتند. رشد صنعت پارچه‌های پشمی مشوقی برای تولید این دستگاه شانه‌زنی مفتولی در مناطق تولید پشم از قبیل یورکشیر بود که امروزه بزرگترین مرکز کارخانجات کشش مفتول در انگلستان می‌باشد.

سال ١٥٦٤ به ویژه در تاریخ ساخت مفتول آهنی قابل توجه می‌باشد زیرا در آن سال به دعوت ملکه الیزابت اول یک گروه مفتول‌کش از ساکسونی در تاینترن، مانمونتشیر و ولز مستقر گردیدند. این کشش‌کاران آلمانی یک دستگاه با نیروی محرک آبی ساختند و به دلیل مهارت و بهترین دانش و تجربیات آلمان، در زمان نسبتاً کوتاهی صنعت موفقی را تأسیس نمودند. اقدامات حمایتی اولیه شاه ادوارد چهارم در حفاظت از صنعت کشش در انگلستان و ایجاد مشاغل کشش تاینترن دو تأثیر گسترده در صنعت کشش انگلستان به وجود آورد. اول صاحبان مشاغل کشش این تضمین را دریافتند که حرفه آنها برای تولید مفتول آهنی و برنجی انحصاری گردد. دوم عملیات کشش مفتول با نیروی آب برای اولین بار در انگلستان به کار گرفته شد. چرخ‌های آبی تمام تجهیزات شکل‌دهی آهن را به کار انداخت و استفاده از چنین ماشین‌آلاتی نیز شامل انحصار می‌گردید. بنابراین، تقریباً فوری انواع مفتول بزرگتر و با کیفیت بهبود یافته برای مصرف فراهم گردید.

قبل از این در تمام انگلستان مفتول توسط وسیله‌ای به نام براک با دست کشیده می‌شد. این وسیله در حقیقت اهرم‌دستی بوده است که برروی یک میز نصب می‌شده به نام میز کشش (drawing bench) که شکل تغییر یافته آن امروزه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. متصدی

دستگاه محصول خود را بیرون می‌کشد و تحویل کارگر بعدی می‌دهد که او نیز تغییر سایز بیشتری برروی مفتول انجام می‌دهد. کارگران برروی صندلی با حرکت الاکلنگی، مهار شده و مفتول را می‌کشیدند. یک انبر به حلقه‌ایی که به دور بدن کارگر قرار داشت نصب شده بود و توسط آن انبر سر مفتول گرفته می‌شد و با حرکت خم و راست کردن پاهابدن خود را تغییر مکان می‌دادند و سپس مفتول‌کش دیگری با استفاده از یک هندل نصب شده برروی یک بلوک چوبی آخرین سایز مفتول را کشیده و برروی بلوک چوبی جمع می‌کرد.

بلوک کشش مفتول که به خوبی شناخته شده بود و در سال‌های ۱۶۰۰ مورد استفاده قرار می‌گرفت را می‌توان در بسیاری از نقاشی‌های آن دوره از جمله نقاشی‌های لئوناردو داوینچی مشاهده کرد. تا زمانی که برای کشش مفتول از نیروی انسانی استفاده می‌شد، کلاف‌ها یا بندیل‌های مورد معامله کوچک بودند. به دلیل این که میلگرد با طول بلند برای شروع عملیات وجود نداشت، کشش یک طول بلند و پیوسته مفتول دشوار بود.

در منطقه بریستول انگلستان قوانین بسیاری در حمایت از مفتول‌کش‌ها تصویب گردید. پذیرش کارآموز مستلزم این بود که متقاضی آزادزاده باشد و هیچ‌گونه تضادی با قوانین کشوری نداشته باشد. کارآموزی برای یک دوره هفت ساله بود. در پایان این زمان، کارآموز می‌توانست فوراً یا بعد از چند سال کار با مزد به عنوان کارگر ماهر تحت نظر یک استادکار، خود استادکار شود. اصناف از اعضای خود در برابر رقبا حمایت می‌کردند. کشش مفتول ماشین نساجی و ساخت آن ماشین‌آلات اختصاصاً منحصر به اعضای صنف یا کارکنان آنها بود. سرپرستانی انتخاب می‌شدند که صنف را اداره می‌کردند و نظارت بر مقبولیت کالاهایی که تولید می‌شد را برعهده داشتند. آنها مجاز به عیب‌یابی مواد بودند، که اولین کنترل کیفیت و برنامه بازرسی بدین‌صورت تشکیل گردید.

انتقال فن‌آوری در هنرنورد میلگرد

تا قبل از ایجاد روش‌های جدید نورد میلگرد، کل تولید سالیانه جهانی مفتول خیلی کم بود. مفهوم یک میلگرد به عنوان یک قطعه بلند فلز سفت، که صاف بوده و یا گاهی برروی خود خم شده باشد، به عنوان نقطه شروع کشش مفتول مورد تصدیق بوده است.

آهن ساخته شده با قطر ۹/۵ میلیمتر چنین کیفیتی از نظر سختی را دارا بود. آهنگران ماهر میلگـرد اصلی را می‌ساختند. این میلگرد که به عنوان «میلگرد چکش‌کاری» شده شناخته شده بود به ایـن روش ساخته می‌شد که یک سر آن را با دست می‌گرفتند و سر دیگر حرارت دیده را بـا چکشـی که با نیروی آب کار می‌کرد می‌کوبیدند تا افزایش طول یابد. این تکنیک مترقی چکش‌کاری برای رسیدن به کاهش قطر نیاز به یک پیشگرم ثابت داشت که توسط کارگر و کاملاً متناسب با سختی فلز صورت می‌گرفت.

اولین قدم به سمت ساخت میلگرد بلند، که به عنوان "Slit rod" شناخته می‌شـد، تولیـد یـک صفحه از فلز توسط دو نورد بزرگ با غلطک‌های ساده و تخت بود. ورق‌هـا توسـط دو دسـتگاه نورد بزرگ دیگر که مجهز به غلطک‌هایی با شیار و برآمدگی بودند، به صـورت نوارهـای نـازک بریده می‌شدند. اینگونه نوردهـا در اروپـای ۱۶۸۳ معمـول بودنـد. اعتقـاد بـر ایـن اسـت کـه کریستوفرپلهم در سوئد اولین کسی بود که تلاش نمود تا کاهش قطر میلگرد را مستقیماً با عبـور بیلت گرم شده، بدون پتک زدن، از شیارهای به ترتیب کوچک شونده غلطک‌هـای نـورد، انجـام دهد، اما تلاش‌های او با موفقیت کامل همراه نبود.

آهن خامی که در نورد تاینترن استفاده می‌شد به عنوان «آهن آزموند»، بهترین نـوع آهـن سـاخته شده و ذوب شده توسط یک نوع ذغال چوب مخصوص معروف بود. از سـال ۱۸۰۰ بـه بعـد در انگلستان آهن آزموند به عنوان یک ماده اولیه جای خود را به آهن پودلاژ آهن ذوب شده در یک حوضچه مذاب داد. مورخان اغلب این کار را به هنری کورت نسبت می‌دهنـد او در سـال ۱۷۸۳ اختراع آهن پودلاژ را به ثبت رساند. به علاوه، این اختراع به یک سر کارگر آهن‌کار ولزی به نـام پیتر اونیونز هم نسبت داده شده است. سهم هنری کورت قابل توجه می‌باشد زیرا این اختـراع بـه ترکیب هم‌زمان آهن پودلاژ با کاربرد غلطک‌های شیاردار نورد او متصل شده است. کـورت یـک عصر مدرن نورد میلگرد را آغاز نمود.

محصولات نورد کورت در مقایسه با استانداردهای امروزی خیلی ضعیف بودند یعنی طول بیشـتر از ۵ متر و قطر کمتر از ۱۳ میلیمتر را نداشتند. با این حال بسیار ارزان‌تر از محصولات روش‌هـای قبلی بودند و به سرعت بر بازار تسلط یافتند. این قطر میلگرد به مبدأ اعداد سنجش مورد اسـتفاده

در سایز کردن مفتول، تبدیل شد، «صفر» این مقیاس سنجش، کمترین قطری بود که نورد گرم می‌توانست داشته باشد. اعداد بزرگتر در این سیستم نشان‌دهنده تعداد مراحل کشش سردی بود که می‌توانست برروی محصول نوردگرم صورت گیرد.

بین سال‌های ۱۸۱۲ تا ۱۸٦۰ در اروپا و آمریکا اختراعات زیادی به وقوع پیوست که لازمه توقعات بیشتر ایجاد شده نسبت‌به مفتول‌های قدیمی بود. اگر چه مفتول‌های ریسندگی به عنوان محصول غالب تولیدشان ادامه می‌یافت، همه ساله کاربردهای جدید بازار را بزرگتر می‌کرد. مفتول پل‌های معلق در سال ۱۸۱٦، مفتول بادبان و طناب‌های کشتی در ۱۸۲۹، طناب سیمی، کابل‌ها، و پرچ‌ها در ۱۸۳٤، سیم تلگراف در ۱۸٤۰ و سیم پوشاک خانم‌ها در ۱۸۵۰، پدیدار گردیدند. سیم تلگراف به طور ویژه نیاز به یکپارچه و بدون تکه بودن داشت و این باعث شد که مطالعات جدیدی در مورد چگونگی نورد میلگرد در قطعات بلندتر صورت گیرد. اولین باری که مفتول آهنی در سیستم تلگراف مورد آزمایش قرار گرفت، نمونه مفتول موجود در بازار فقط ۱۵ پاند وزن داشت. در بازه زمانی قبل از انقلاب آمریکا عدم وجود دوره‌ای مفتول انگلیسی باعث شده بود که صنعت مفتول در مستعمرات آمریکای شمالی رشد پراکنده داشته باشد. اینگونه رشدها اغلب وقتی مفتول انگلیسی می‌توانست مجدداً مهیا گردد از بین می‌رفتند.

مفتول نساجی نیاز اولیه صنعت نوپای نساجی بود، اما قبل از سال ۱۸۰۰ در آمریکا تعرفه حمایتی از مفتول‌سازها وجود نداشت و یا خیلی جزیی بود و تحریم‌های تنبیهی رییس جمهور توماس جفرسون در مقابل کالاهای وارداتی در واقع اثر منفی داشت. این وضعیت در هنگام جنگ ۱۸۱۲ وقتی که تأسیسات دائمی به وجود آمدند، به سرعت تغییر کرد. برای مثال، یک کارگاه خانگی صنعت مفتول در اسپنسرو ماساچوست بنا شده توسط چارلز واتسون و ویندسورهاچ تا بعداز جنگ جهانی دوم جان سالم بدر بردند. سپس نام شرکت به **Wickwire-spencer** تکامل یافت و بعداز آن توسط **Colorado fuel & Iron** خریداری گردید و به شرکت فولاد **CFI** تبدیل گردید. بعداز سال ۱۹٦۰ وقتی نرخ ارز مطلوب و نیروی کار مناسب شرایط انتقال تکنولوژی به کشورهای حاشیه اقیانوس آرام از قبیل ژاپن، کره و چین را فراهم نمود، ابقاء شرکت‌های قدیمی مفتول به طور فزاینده‌ای کم شد.

پیشرفت‌های جهانی در نورد میلگرد و کشش مفتول

مهمترین انگیزه داده شده به صنعت مفتول آمریکای شمالی بعداز سال۱۸۱۲ ظهور معدن ذغال‌سنگ آنتراسیت و ذوب‌آهن در پنسیلوانیا بود. این منبع انرژی ارزان و در دسترس به همراه وجود سنگ آهن مرغوب کافی، تحرک گسترده‌ای در صنعت آهن آمریکایی بعداز سال ۱۸٤۰ به ویژه برای تولید ریل‌های خط آهن، ایجاد نمود. تقاضای ریل بنوبه خود مشوقی بود برای یافتن راه‌هایی که عملیات نورد فلزات را شتاب بخشد.

حدود سال ۱۸٦۰ در اروپا یک نوع جدید نورد میلگرد معروف به نورد بلژیکی معرفی گردید. تمایز مقطع ماده اولیه از مقطع محصول خروجی، افزایش سرعت غلتک‌های نهایی را مجاز می‌کرد. با اصلاح این نوع نورد مفهوم حلقه معرفی گردید. کشف گردید که حرارت کافی می‌تواند در میلگرد تا رسیدن به مقطع مناسب باقی بماند، سر میلگرد توسط کارگر با انبر گرفته شود و با چرخش ۱۸۰درجه‌ایی به غلتک‌هایی واگذار شود که در جهت عکس می‌چرخند. این کار شرایط تولید میلگرد با طول ۳۰۰ متر و وزن ۵۰ پاند را فراهم نمود. حداکثر سرعت نورد فقط به دلیل توانایی کارگران که سر میلگرد را می‌گرفتند محدود می‌گردید زیرا آنان حداکثر سرعت ۳۰۰ متر بر ثانیه میلگرد را می‌توانستند مهار کنند.

در منچستر انگلستان محدودیت سرعت نورد مورد مطالعه قرار گرفت و توسط جرج بدسون کارمند ریچارد جانسون و نفیو، این سرعت ارتقاء یافت. در سال ۱۸٦۲ بدسون نوردی با غلتک‌های پشت سرهم نصب نمود، بنابراین غلتک‌های عقب و جلو برنده حذف گردیدند. این شاید مهمترین لحظه پیشرفت در تاریخ این حرفه بود به طوری که این نوردها قادر بودند کلاف‌های ٤۵ کیلوگرمی یا بیشتر را تولید نمایند. در سال ۱۸٦۹ در ورچستر ماساچوست شرکت واش‌برن یک نورد میلگرد بدسون را راه‌اندازی نمود و خیلی سریع پیشروترین مفتول‌ساز در آمریکای شمالی گردید. در ورچستر یک سرپرست نورد به نام چارلز مورگان برخی فرصت‌ها

جهت بهبود طراحی نورد را ذکر کرد. او غلطک‌های افقی مجهز به راهنماهای پیچ‌دهنده اختراع نمود که فلز به طور مناسب بین هر مرحله نورد بتواند برگردد. نورد او که در سال ۱۸۷۸ شروع به کار کرد پس از آن قادر بود ۲میلگرد را همزمان در کنار هم نورد نماید، یک ویژگی که در نورد بدسون دست نیافتنی بود. پیشقدم شدن مورگان در پیشرفت‌ها، عصر جدیدی در توسعه نورد میلگرد را گشود. در سال ۱۸۸۲ ویلیام گارت از یک شرکت نورد میلگرد در کلیولند اوهایو، تجهیزات نورد بلژیکی کارفرمای خود را به دو قسمت تقسیم نمود و هریک را با سرعت‌های متفاوت راه‌اندازی کرد. گارت اولین کسی بود که ۲ میلگرد را همزمان به نورد نهایی تغذیه نمود. با بهبودهای دیگر، اصولاً با کاربرد راهنماهای پیچ‌دهنده (برگرداننده میلگرد) و فکر نورد واسطه بین نورد تغذیه و نورد نهایی، او توانست از یک بیلت خیلی بزرگ استفاده کند و میلگرد نورد شده نهایی خود را به ٦٨کیلوگرم برساند. ظهور کلاف‌های طویل‌تر و سنگین‌تر بستر توسعه ماشین‌آلات کشش مفتول را فراهم نمود. در دهه ۱۸۷۰ مخترعان متعددی در آلمان، انگلستان و آمریکا ماشین‌آلات چند بلوکه را توسعه دادند. این مقارن شد با پیدایش فولاد جدید ارزانتر، تقریباً در ۱۸٦۰ که سریعاً جانشین آهن ساخته شده به عنوان فلز برگزیده گردید. به‌طور همزمان جمیز هارسفال و ویلیام اسمیت روش باز پختی به نام «پتنت» را کشف کردند که باعث افزایش کافی مقاومت کششی مفتول می‌گردید. با ساخت بسته‌های مفتول سنگین‌تر شرایط کاهش هزینه‌ها به وجود آمد. بهره‌برداری از ماشین‌آلات جدید کشش ادامه یافت تا جایی که عمر کوتاه دوزه‌های صفحه‌ای مانعی در این راه شد. بنابراین تولید دوزه‌های کششی که بتوانند با سرعت زیاد و عمر طولانی کار کنند، اجتناب‌ناپذیر شد. کمپانی اسرام که تولیدکننده اصلی فیلامان لامپ‌های الکتریکی بود فرآیندی برای قالبگیری و پخت ذرات تنگستن کاربید ابداع نمود. در سال ۱۹۲۵ دوزه‌های کشش به نام **"Widia"** (شبه الماس) در آمریکا به کار گرفته شدند. در سال ۱۹۲۹ شرکت **Union Wire die Company**، متشکل از فرت استرلینگ و جنرال‌الکتریک دوزه‌های تنگستن کارباید را تولید نمودند. دوزه‌های کشش اکنون قادر به تولید خیلی بیشتر از دوزه‌های قبل بودند در نتیجه ماشین‌آلات کشش مفتول پیوسته، متداول شد و تاکنون درحال توسعه می‌باشند.

فصل ۲

ریخته‌گری پیوسته

سابقه

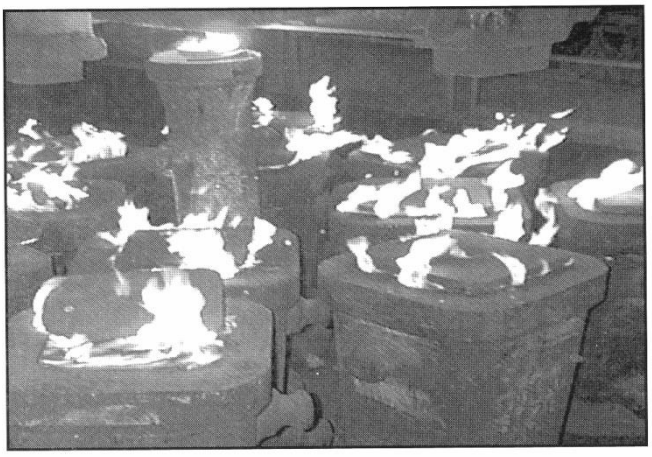
تاریخ عمومی ریخته‌گری: پیدایش مفاهیم ریخته‌گری فولاد بـه دهـه ۱۸۸۰ و ریختـه‌گـری سـایر فلزات به دهه۱۸٤۰ برمی‌گردد. در سال ۱۹۵۲ در انگلستان اولین بیلت فولادی کربنی آلیاژ پـایین جهت تولید به خط برده شد. اوایل دهه ۱۹٦۰ استفاده از روش ریخته‌گری پیوسته برای فـولاد در حجم‌های بزرگ با تولید عمده نسبتاً جدید بود.

امروزه برای محصول با کاربردهای خاص تلاش‌هایی صورت می‌گیرد تا فولاد ریخته‌گری شده به صورت شمش یا بیلت مستقیماً جهت نورد و سپس تبدیل به میلگرد مورد استفاده قرار گیرد.

ریخته‌گری پیوسته در مقابل ریخته‌گری شمش: ریخته‌گری پیوسته فـولاد ثبـات کیفیـت بیشـتر و کاهش هزینه تولید نسبت‌به تولید شمش فولادی را فراهم می‌سازد. در ریخته‌گری شمش فولادهـا از قالب‌های آهنی استفاده می‌شود که توسط واگن‌های خـط‌آهـن بـه کارخانجـات ذوب حمـل می‌گردند. شکل قالب‌ها ممکن است گرد، چهارگوش یا مستطیل باشد اما اغلب ٦۱۰×٦۱۰ میلیمتر یا بزرگ‌تر هستند. بعداز ریخته‌گری فولاد در قالب‌های بزرگ، شمش‌ها در کنار هم قرار می‌گیرند تا زمانی که کاملاً سفت شوند و سپس با واگون به مکانی جهت برش منتقل می‌گردند. بعداز برش قطعات برش خورده در یک کوره بازپخت حرارت داده می‌شوند و به دنبال آن نورد می‌شوند تـا بیلت مورد نیاز نورد میلگرد، فراهم گردد.

ریخته‌گری پیوسته این شرایط را فراهم می‌سازد تا فولاد مستقیماً به سایز نهایی مـورد نیـاز نـورد میلگرد، ریخته‌گری شود. قالب‌ها در روش ریخته‌گری پیوسته بسیار کوچکتر از قالـب‌هـای روش ریخته‌گری شمش هستند. در نتیجه زمان سفت شدن مذاب کوتاه می‌گردد و جدایش شیمیایی نیـز

کاهش می‌یابد. به علاوه سر و ته شمش‌ها در ریخته‌گری قالبی به دلیل شکل گرفتن ناپیوستگی درحین ریخته‌گری یا انجماد، می‌بایست بریده شوند و این باعث کاهش سودمندی محصول می‌گردد. به دلیل کاهش تجهیزات و مراحل عملیات در ریخته‌گری پیوسته، انرژی کمتری مورد نیاز می‌باشد. بنابراین ارتقاء کیفیت، کاهش انرژی، و محصول بیشتر باعث می‌گردد که ریخته‌گری پیوسته تولیداتی با هزینه کمتر نسب‌به ریخته‌گری شمش داشته باشد.

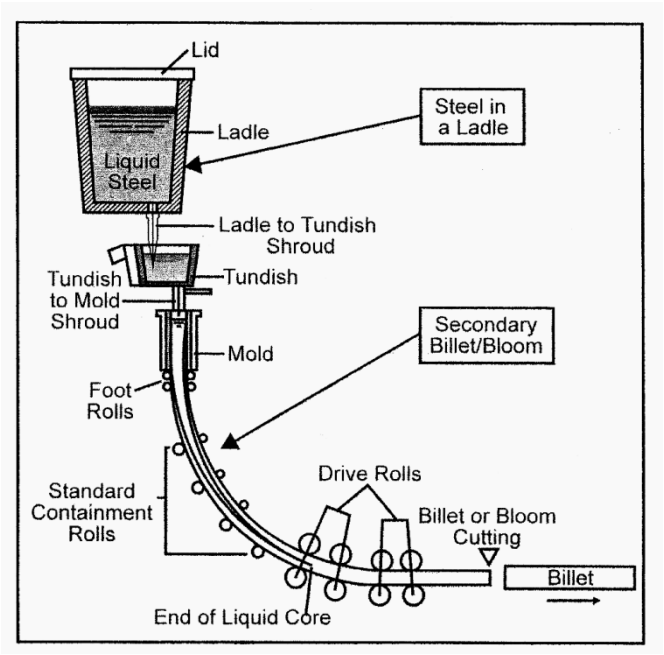


شکل ۱ ـ شمش فولاد ریخته‌گری شده

تجهیزات عمومی ریخته‌گری بیلت: تجهیزات اولیه و عمومی که در ریخته‌گری پیوسته فولاد مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل؛ پاتیل، قیف بارریزی و قالب‌ها می‌باشند و فرآیندها شامل شیوه خنک‌کاری کمکی یا ثانویه محصول برش خورده (اندازه شده) و بستر خنک‌کن می‌باشند.

پاتیل ـ یک پاتیل در بالای خط ریخته‌گری پیوسته قرار دارد که پر از فولاد مذاب می‌باشد. بدنه پاتیل فولادی است که پوششی از آجرنسوز دارد که می‌تواند فولاد در دمای بالا را حفظ و نگهداری کند. نسوز پاتیل متشکل از یک لایه ایمن آلومین بالا یا آجر مقاومت بالای عایق در برابر حرارت با روکش دولومیت یا آجر آلومین می‌باشد.

عایق حرارت بسیار مهم می‌باشد، زیرا دمای مذاب فولاد ممکن است بـه ۱۴۸۲ تـا ۱۶۴۹ درجـه سانتیگراد برسد و متناسب به نوع عملیات و زمان ریخته‌گری بین ۳۰ دقیقه تـا ۳ سـاعت ممکـن است زمان لازم باشد. اغلب برای ثابت نگاه داشتن دمای مناسـب ریختـه‌گـری، بـرروی مـذاب موجود در پاتیل پودر نسوز عایق می‌ریزند. همچنین گاهی اوقات برای ابقاء دمـای ذوب از درب پاتیل اندود شده با مواد نسوز عایق استفاده می‌گردد. پاتیل یک دریچه نسوز و سیسـتم تخلیـه در قسمت تحتانی دارد که اجازه می‌دهد به میزان کنترل شده، مذاب به یک قیف ریخته شود. برای به حداقل رساندن جذب نیتروژن و اکسیژن توسط مذاب که شناخته شده‌ترین ناخالصی‌ها در فـولاد می‌باشند. معمولاً از نازلی برای ریختن مذاب در قیف استفاده می‌کنند که به پاتیل نصب و عـایق نیز گردیده است. این عایق نازل معمولاً از ترکیبات سیلیکا یا آلومیـن ـ گرافیت می‌باشد. یک گاز بی‌اثر مانند آرگون نیز در آن ناحیه تزریق می‌گردد تا اکسید شدن فولاد به حداقل برسد.



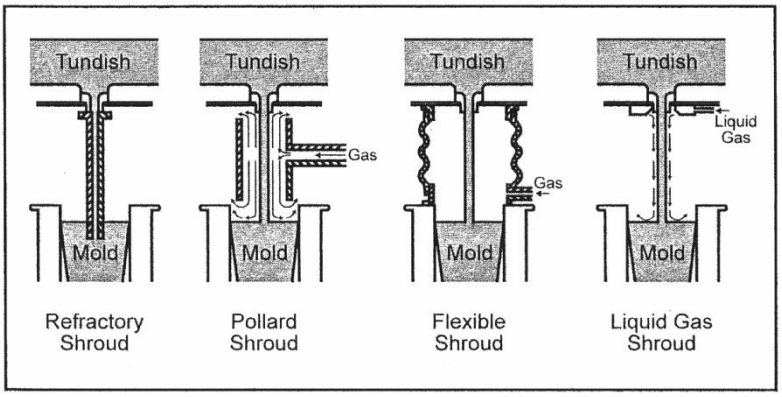
شکل۲ـ طرح معمولی ریخته‌گری پیوسته بیلت

قیف یا پاتیل میانی ـ ظرفی است که در زیر پاتیل تعبیه گردیده و برای نگهداری و توزیع مذاب به قالب‌های ریخته‌گری با حداقل افت دما مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً قیف از ورق فولادی ساخته می‌شود که پوشش نسوز دارد. انتخاب‌های متعددی برای پوشش وجود دارد که عبارتند از: آجر یا پوشش یکپارچه از ورقه‌های مواد نسوز با پاشش مواد یا ترکیبات فعال قلیایی. مواد روکش قیف دارای مقادیر زیادی اکسیدمنیزیم با سلیکا می‌باشد. پودر قیف نیز برروی مذاب ریخته می‌شود تا از اتلاف انرژی و اکسیداسیون مذاب و یا جذب نیتروژن توسط مذاب جلوگیری گردد. معمولاً شکل قیف مستطیل شکل می‌باشد ولی انواع مختلف آن نیز (T شکل یا دلتا شکل) برای اطمینان از پیوستگی جریان مذاب به داخل نازل‌ها، وجود دارد. حجم یا وزن فولاد موجود در قیف می‌تواند از ۳ تا ۳۰تن متغیر باشد. تلاش‌های اخیر به سمت قیف‌هایی با حجم بالاتر می‌باشد تا زمان ریخته‌گری افزایش یابد. درنتیجه ناخالصی‌ها در دام پودر قیف گرفتار گردند. به علاوه سدها و موانعی (معروف به تجهیزات قیف) ممکن است جهت انحراف مذاب از خروج مستقیم از نازل تعبیه گردد که باعث شناوری بیشتر ناخالصی‌ها شده و یکنواختی شیمیایی مذاب نیز بهبود یابد. ریختن مذاب از قیف به قالب‌ها ممکن است به طرق زیر کنترل گردد.

- **اندازه‌گیری نازل‌ها:** در هنگام باز شدن دهانه نازل‌ها برای کنترل میزان خروجی فولاد ریخته شده در قالب‌ها کله‌گی فرواستاتیک یا کنترل سطح فولاد در قیف، به کار گرفته می‌شود. نازل‌ها اگر مسدود شوند در هنگام کار ممکن است توسط سیستم تعویض نازل هیدرولیک تعویض گردند.
- **میله کنترل:** میله عایقی در قیف با کم و زیاد کردن، میزان ریختن مذاب در هر قالب را کنترل می‌کند. این روش در ریخته‌گری مواد فرساینده از قبیل؛ فولادهای پرسیلیسیم یا گوگرد با نازل‌های بزرگ و یا ریخته‌گری فولادهای تصفیه شده با آلومینیم به دلیل انسداد نازل‌ها توسط آلومینیم، مفید می‌باشد. نازل‌های بزرگ قیف برای ثابت نگاه داشتن میزان تغذیه به قالب‌ها مورد نیاز می‌باشند.

- **دروازه کشویی:** یک دروازه کشویی برای کنترل ریختن موادمذاب در هر قالب مورد استفاده قرار می‌گیرد به‌طوری که درحین ریخته‌گری می‌توان نازل‌ها را تعویض نمود. این وسیله می‌تواند به بهره‌وری فولادهای فرساینده نازل‌ها که در بالا اشاره گردید، کمک نماید. سیستم دروازه کشویی شرایط ریختن مواد بیشتری نسبت‌به سیستم میله کنترل را فراهم می‌سازد و هزینه میله کنترل و نصب آن در قیف را حذف می‌نماید.
- **سیستم لفاف:** حدفاصل قیف به قالب پوششی برای مذاب در برابر هوا ایجاد می‌نماید تا از شکل‌گیری ناخالصی و جذب گازهایی از قبیل نیتروژن توسط مذاب جلوگیری به عمل آید. به علاوه فشار گاز بی‌اثر (آرگون یا نیتروژن) در این محدوده سیلان متراکم فولاد به سمت قالب‌ها را فراهم می‌سازد که پاشش در سطح یا انحناء را به حداقل می‌رساند که بهترین کیفیت سطح بیلت به دست می‌آید. انواع مختلف لفاف قالب عبارتند از:
- **ریختگی باز:** هیچ لفافی بین قیف و قالب وجود ندارد که این ارزان‌ترین انتخاب می‌باشد.
- **نازل ورودی مستغرق (SEN):** این نازل از جنس مقاوم و نسوزی مانند آلومین ـ گرافیت ساخته شده است که از یک طرف نصب به قیف می‌باشد و از طرف دیگر در فولاد ریخته شده در قالب غرق می‌باشد. اغلب گاز آرگون برای محافظت از فولاد در برابر جو مورد استفاده قرار می‌گیرد. SEN همچنین به دلیل غوطه‌ور بودن لوله، پاشش سطوح نزدیک جدار قالب را بر طرف می‌نماید که این باعث بهبود کیفیت سطح می‌گردد.
- **لفاف یا پوشش بدون سر:** از لوله فولادی ساخته شده است که اجازه مشاهده جریان یافتن فولاد در قالب ریختگری را فراهم می‌سازد. این روش پوشش، برخی محافظت‌ها از جو را فراهم می‌سازد.

- **پوشش انعطاف‌پذیر:** یک پوشش انعطاف‌پذیر از مواد برزنتی با پوشش آلومینیوم ساخته شده است. نیتروژن یا آرگون به عنوان گاز بی‌اثر می‌تواند برای محافظت از اتمسفر مورد استفاده قرار گیرد. لفاف ممکن است برای بازرسی فشردگی جریان مذاب برداشته شود.



شکل۳ ـ نمونه پوشش محافظ حدفاصل پاتیل میانی (قیف) تا قالب

- **قالب‌ها:** اینها ظروف و محفظه‌هایی هستند که فولاد اولیه در آنها به شکل مناسب برای نوردکاری سفت شده و شکل می‌گیرد: شکل قالب عمدتاً چهارگوش، مستطیل، گرد و یا هر شکل به‌خصوص دیگری می‌تواند باشد. بیلت برای اندازه مورد دلخواه نوردکاری می‌تواند با مشعل از شمش ریخته‌گری شده یک تکه **(Slab)** بریده شود.

ضخامت و کیفیت دیواره‌های قالب می‌بایست برای کاربرد مورد نظر بیلت ریخته شده، تلرانس، کیفیت سطح، جدایش شیمیایی و ساختار مورد نظر را فراهم سازد.

قالب‌های ریخته‌گری پیوسته به منظور کمک به کیفیت سطح و طول عمر بیشتر، از لوله یا ورق‌های مس آلیاژی با روکش معمولاً کروم (نیکل یا نیکل کروم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند) ساخته می‌شوند. ابتدا و انتهای قالب‌ها برای ورد و خروج فولاد باز هستند. قالب در میان سیستم

خنک‌کاری ثانویه به‌طور سفت و محکم نصب گردیده و آب با حجم و فشار زیاد بر قالب مسی و جداره ریختگری برای کنترل میزان گیرش (سفت شده) فولاد ریخته می‌شود. واسطه‌های روانکاری که برای کمک به خارج شدن فولاد از قالب مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل روغن (گیاهی، معدنی یا هر نوع روغن سبک)، سیال‌ساز یا پودر می‌باشند. برای جدا شدن فولاد از قالب، از لرزش و نوسان قالب نیز کمک گرفته می‌شود. این وسیله مکانیکی با کورس و تعداد سیکل لرزش در دقیقه تنظیم شده برای بهترین کیفیت سطح و گرید محصول، چسبندگی فولاد به قالب را کاهش می‌دهد. پودر قالب همچنین به ثبات دمای فولاد، کاهش جذب هوا که جذب نیتروژن و اکسیژن را می‌کاهد و کاهش جذب ناخالصی‌ها و تکه‌های جدا شده از فولاد قبل از سفت شدن، کمک می‌نماید. تمام انواع روانسازها به انتقال حرارت از فولاد به قالب ریخته‌گری کمک می‌نمایند.

خنک‌کاری ثانویه: این شیوه متشکل از یکسری نازل‌های پاشش آب نصب شده بعداز قالب می‌باشد که میزان و سرعت سرد شدن فولاد را کنترل می‌نماید.

نازل‌های پاشش طوری پیکربندی شده‌اند که سرعت سرد شدن از پیش تعیین شده تا مرحله سفت شدن کامل فولاد و پیش از برش طول را فراهم سازند. کنترل دما برای بهینه‌سازی کیفیت سطح، ساختار داخلی و جدانشینی شیمیایی بسیار بحرانی و با اهمیت می‌باشد. معمولاً نازل‌ها در مجموعه‌ای بعداز قالب قرار گرفته‌اند که آب را درحالی که فولاد در میان غلطک‌های مهارکننده در حرکت می‌باشد، به سطح آن می‌پاشند.

بیرون کشیدن: اغلب سیستم‌های ریخته‌گری عمودی از دستگاه‌هایی بعداز قالب برای راهنمایی و افقی کردن و آماده برش نمودن بیلت ریخته‌گری شده استفاده می‌کنند. این سیستم بیرون کشنده متشکل از یکسری غلطک‌های صاف‌کن و راهنما به همراه غلطک‌هایی با نیروی محرکه می‌باشد که تنش‌های مکانیکی که می‌توانند باعث ترک‌های سطحی یا داخلی گردند را نیز به حداقل می‌رسانند.

تکان‌دهنده الکترو مغناطیسی: از هنگام اجرای صنعتی آن در دهه ۱۹۸۰، تکان‌دهنده الکترومغناطیسی (EMS) نقش اساسی در تولید بیلت ریخته‌گری پیوسته ایفا نموده است. روش

معاصر EMS از یک میدان مغناطیسی گردان با فرکانس پایین که به‌وسیله کلاف‌های القایی ۲ یا۳ فاز تولید می‌شود، استفاده می‌کند. بیشترین سیستم‌های EMS در ریخته‌گری بیلت برای جابه‌جایی مذاب فولاد در قالب نصب گردیده‌اند (M-EMS).

هم زنی قالب موجب بهبود سطح و کیفیت درونی محصول می‌گردد. جریان فولاد مایع که توسط M-EMS در حال جنبش می‌باشد میزان اکسیژن آزاد در فولاد مایع را قبل از شکل‌گیری تخلخل سطحی و زیرسطحی افزایش می‌دهد. همچنین حباب‌های گازی و ناخالصی‌های غیرفلزی چسبیده به دیواره‌های درحال سفت شدن را پاک می‌نماید. در نتیجه این عمل هم زدن در قالب در نواحی انحناهای کشش سطحی، تخلخل سطحی و زیرسطحی و ناخالصی‌های غیرفلزی به مقدار زیادی کاهش می‌یابند، بنابراین کیفیت بیلت افزایش می‌یابد.

حرکت تکان‌دهنده، بخش‌هایی از شکل‌گیری شاخه‌ای کریستال‌ها در موقع سفت شدن فولاد را خرد می‌کند. برخی از قطعات خرد شده دندریت‌ها (شکل شاخه‌ای کریستال‌ها)، معمولاً قطعات کوچک‌تر، در یک فوق گرمای سریع مجدداً ذوب می‌گردند که وضعیت مناسبی برای قطعات دیگر دندریت فراهم می‌نمایند تا ابقاء گردند و به دانه‌های تقریباً مساوی در همه امتدادها رشد کنند. بنابراین تکان دادن با یک شدت مشخص، منطقه قابل ملاحظه‌ای از ناحیه هسته فولاد را از نظر ساختاری اصلاح و دانه‌ها را یک اندازه می‌نماید. این ساختار دارای دانه‌های یک اندازه در تمامی جهات، میزان تخلخل انقباضی و جدایش را کاهش می‌دهد و حساسیت به ترک را کم می‌کند. بهبود کیفیت در ذوب به توسعه فرآیندپذیری منجر می‌شود و بهبود کیفیت محصولات نورد شده را در پی خواهد داشت. برای مثال، کاهش جدایش مرکزی کربن در بیلت، قابلیت کشش میلگرد را به دلیل کاهش شکل‌گیری سمنتیت و مارتنزیت بهبود می‌بخشد. همچنین، تمیزی زیر سطحی بیلت‌های روش EMS میزان نامرغوبی میلگردها را کاهش می‌دهد.

در روش M-EMS به دلیل بهبود یکنواختی ضخامت دیواره‌ها سرعت ریخته‌گری افزایش می‌یابد و فوق گرمایی بالاتر حداقل تأثیر را بر کیفیت داخلی می‌گذارد.

در موارد دستیابی به ملزومات دقیقاً کیفی در ارتباط با صحت ساختاری و جدانشینی شیمیایی برای برخی گریدهای فولاد از قبیل فولادهای خیلی پرکربن یا فولادهای بلبرینگ‌ها، علاوه‌بر روش M-EMS ممکن است لرزش ناحیه نهایی سفت شدن نیز ضروری باشد.(F-EMS)

بیلت‌ها و شمش‌ها

کنترل طول بیلت و شمش: معمولاً طول محصولات ریخته‌گری به وسیله مشعل اکسیژن ـ استیلن، ماشین‌های برش، و اره‌های گرم‌کار بریده می‌شوند.

خنک‌کاری: یک بیلت یا شمش تا زمانی که بدون خم شدن بتوان آن را به انبار یا محلی برای انجام عملیات دیگر حمل نمود، بر یک بستر خنک‌کن جهت سرد شدن قرار می‌گیرد.

محصولی که مستقیماً مورد استفاده بعدی نورد قرار می‌گیرد بلافاصله بعداز ریخته‌گری برای عملیات نورد حمل می‌گردد و بعداز پیش‌گرم برای نورد بر بستر مخصوصی قرار می‌گیرد تا صافی مورد نیاز در دمای بالا را حفظ نماید.

شناسایی: شماره ذوب یا شناسایی محصول برروی یک بیلت یا شمش به منظور اطمینان از یکپارچگی و قابلیت ردیابی مهر زده می‌شود یا به وسیله گچ مخصوص یا لیبل مشخص می‌گردند.

آزمایش و شایسته‌سازی بیلت و شمش

تست شیمیایی: امروزه در اغلب موارد تست فولادها، روش‌های ابزاری جانشین روش شیمیایی تَر گردیده است. تکنیک‌های انتشار نوری، اشعه ایکس و احتراق رایج‌ترین آنها می‌باشند. در طیف سنج انتشار نوری، یک نمونه فولاد به وسیله تخلیه جرقه تبخیر می‌گردد. الکترون‌های اتم‌های موجود در بخار به سطح بالاتری از انرژی برانگیخته می‌شوند. این الکترون‌های برانگیخته شده تمایل دارند به حالت سکون درآیند و در انجام این کار، انرژی فوق‌العاده به عنوان یک فوتون انرژی تابشی منتشر می‌کنند. تابش‌های ساطع شده از میان پراکنده ساز طیف سنج (اسپکترومتر) عبور می‌کنند به طوری که انرژی تابشی براساس طول موجش به خطوط طیفی جداسازی می‌گردد. از روی دامنه طول موج‌های منتشر شده به وسیله هر عنصر، به وسیله لوله افزاینده

فوتوالکتریک مناسب‌ترین خط اندازه‌گیری می‌شود. شدت اندازه‌گیری شده که متناسب با میزان عنصر موجود در نمونه می‌باشد، به وسیله منحنی پیمایش ذخیره شده در دستگاه محاسبه می‌گردد و غلظت (میزان) عنصر مستقیماً گزارش می‌شود.

آزمایش macroetch (اچ کردن زیاد): این روش برای ارزیابی کیفیت سطح، ریزساختار و همگن بودن کلی فولاد بیلت مورد استفاده قرار می‌گیرد. برش‌های عرضی و طولی بیلت در یک معرف اچ کردن (معمولاً اسیدسولفوریک یا اسیدکلریدریک) به منظور پاک کردن پوسته‌ها و آشکار شدن ریزساختار فولاد غوطه‌ور می‌گردند. نمونه برای عیوب سطحی مانند مک‌های سوزنی، ترک‌ها، خروج ناخالصی‌ها و سرباره‌ها با چشم یا میکروسکپ مورد بازرسی قرار می‌گیرد و سپس با استانداردهای ثبت شده مقایسه می‌گردد. همچنین نمونه برای بازرسی ترک‌های داخلی و جدایش می‌تواند مورد تراشکاری قرار گیرد.

نقش گوگرد یا نقش باومان: این روش برای تشخیص الگوی انجماد و یکنواختی فولاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. قطعات طولی یا عرضی برش خورده بیلت ماشینکاری گردیده و چربی و کثیفی سطح کاملاً بر طرف می‌گردد. کاغذ عکاسی معمولی در مایع اسیدی خیسانده می‌شود (معمولاً اسیدسولفوریک) و بر سطح فولاد قرار داده می‌شود تا توزیع گوگرد در فولاد آشکار گردد. نقاط سیاه شده برروی کاغذ نشان دهنده تمرکز گوگرد در آن نواحی می‌باشد، اکنون می‌توان این میزان گوگرد آشکار شده را با استانداردهای ثبت شده مقایسه نمود.

بازرسی بیلت: محصولات ریخته‌گری شده جهت مشاهده بهتر عیوب ممکن است قبل از بازرسی شات پلاست گردند. بیلت‌ها به طور چشمی بر بستر خنک‌کننده درحین ریخته‌گری یا در نزدیکی بستر خنک‌کننده مورد بازرسی فوری قرار می‌گیرند و با فرآیندهای استاندارد مقایسه می‌شوند تا بازخورد عملکرد کیفی فوری در اختیار اپراتورهای ریخته‌گری قرار گیرد. تلرانس ابعادی بیلت، طول، وضعیت سطح و کیفیت برش محصول شامل بازرسی‌های استاندارد می‌باشند. هرگونه عیوب قابل تغییر شکل می‌تواند در نورد بیلت به سایز کوچک‌تر، ازدیاد طول پیدا کند. تولیدکنندگان، ذرات مغناطیسی، رنگ مایع نافذ، الکتراسونیک یا سایر روش‌های غیرمخرب دیگر را برای ارزیابی کیفیت سطحی یا داخلی محصول به‌کار می‌گیرند.

شایسته‌سازی: پس از بازرسی، عیوب سطحی در بیلت‌ها ممکن است با سنگ‌زنی موضعی به‌وسیله دستگاه‌های دستی یا دستگاه‌های قوی‌تر بر طرف گردند. انتخاب دیگر این است که تمام سطوح و گوشه‌ها به منظور از بین رفتن عیوب سطحی توسط دستگاه‌های قوی سنگ‌زده شوند.

نمونه عیوب بیلت‌ها و درنتیجه نقص‌های میلگرد

علت‌های عیوب بیلت‌ها عبارتند از:

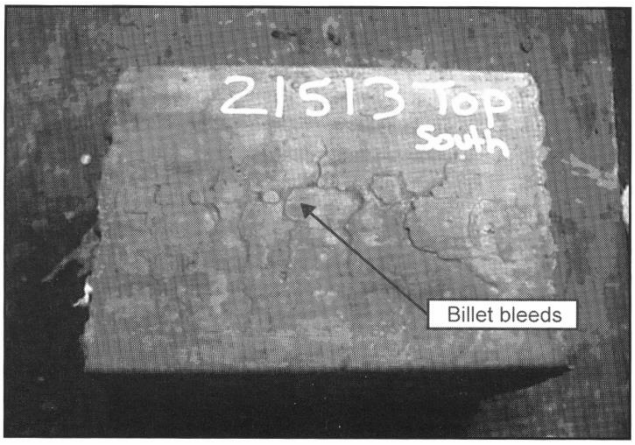
بیرون‌زدگی بیلت: بیرون‌زدگی‌های بیلت زخم‌ها یا خراش‌های کوچکی روی سطح بیلت می‌باشند. علت‌های اصلی آن عبارتند از دمای زیاد فولاد با زمان ناکافی برای شکل‌گیری دیواره بیلت، نادرستی نازل قیف یا پاتیل ثانویه، کیفیت پایین آب خنک‌کننده قالب که باعث انتقال حرارت ضعیف می‌گردد، روانکاری نامناسب قالب، عایق و پوشش‌کاری نامناسب حدفاصل قیف تا قالب ریخته‌گری، لرزش قالب و خنک‌کاری ناکافی ثانویه. بعداز نوردکاری بیرون زدگی‌های بیلت می‌تواند باعث عیوبی از نوع تراشه در میلگرد گردد.

ترک‌های بیلت: ترک‌های بیلت ممکن است در هنگام نوردکاری باعث ایجاد چاله گردد. علت‌های ایجاد ترک‌های بیلت شامل شیب غلط قالب، دمای قیف، کیفیت قالب، خنک‌کاری ثانویه نامناسب، یا ناپیوستگی باشد.

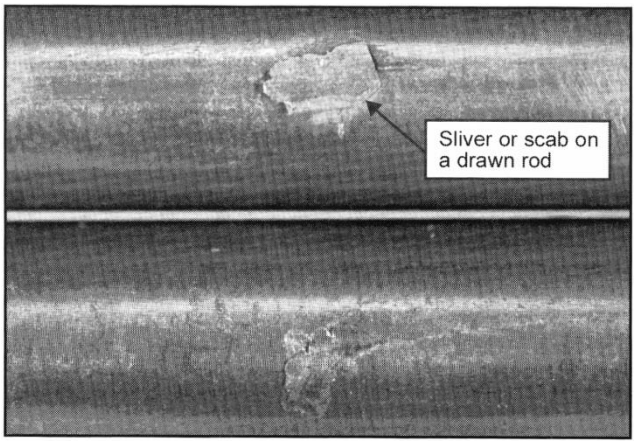
آخال‌ها یا ناخالصی‌ها: ناخالصی‌های غیرفلزی از صنایع مختلفی سرچشمه می‌گیرند از قبیل سرباره پاتیل، کوچک بودن قیف برای افزودن پودر قیف، یا دمای پایین فولاد در قیف که اجازه نمی‌دهد ناخالصی‌ها به خوبی شناور شده و جذب پودر حباب‌گیرگردند. یک مثال برای ناخالصی در میلگرد در شکل ۸ نشان داده شده است.

مک سوزنی/ مک گازی: مک‌های سوزنی بیلت‌ها یا نوع بزرگتر آنها، مک‌های گازی، به دلایل زیر می‌توانند به وجود آیند:

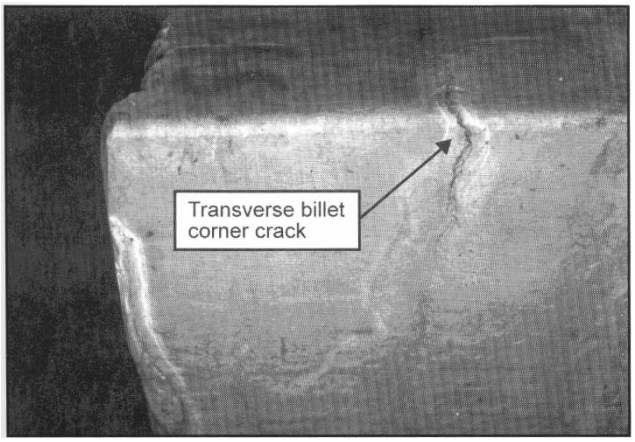
مقدار زیاد گاز حل شده در مذاب، ورود هوا به فولاد، نسوز خیس، روانسازی نامناسب قالب، آب موجود در روغن روانسازی یا تلاطم در قالب.



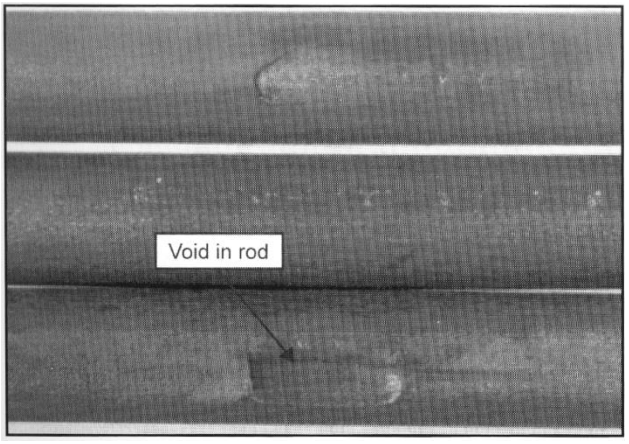
شکل۴ـ برجستگی برروی سطح بیلت



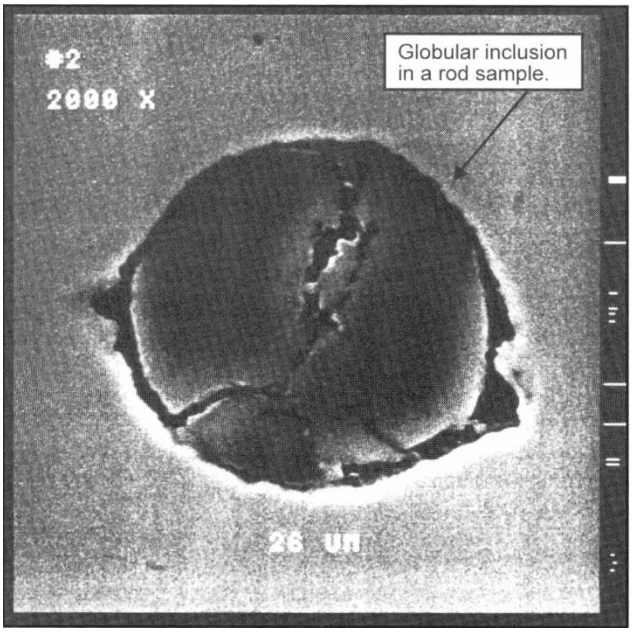
شکل۵ ـ تراشه میلگرد حاصل از برجستگی بیلت



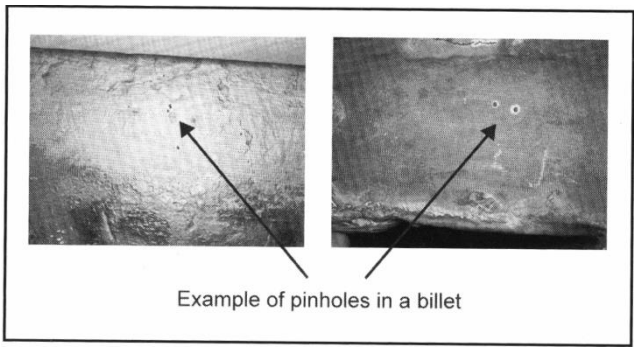
شکل۶ ـ ترک عرضی گوشه بیلت



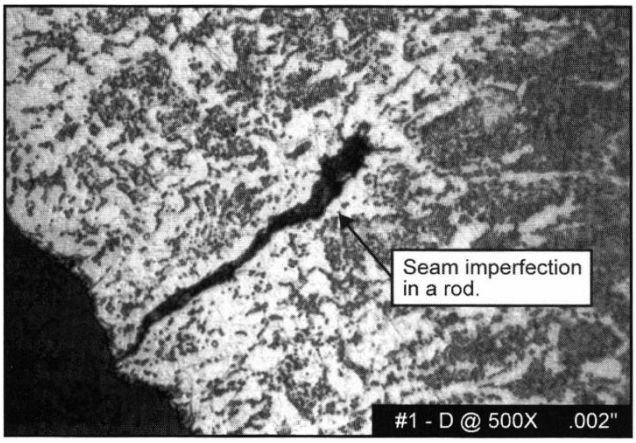
شکل۷ ـ ترک بیلت که نتیجه آن چاله برروی میلگرد می‌باشد



شکل۸ ـ ناخالصی در نمونه میلگرد ـ بزرگنمایی×۲۰۰۰



شکل۹ ـ مُک‌های بیلت



شکل۱۰ ـ درز در میلگرد ناشی از مُک‌های سطح ـ بزرگنمایی×۵۰۰

خلاصه

ریخته‌گری پیوسیته یکی از پر اهمیت‌ترین توسعه‌های تکنولوژیکی در صنعت مدرن فولاد می‌باشد، جایگزینی است برای ریخته‌گری شمش و عملیاتی برای تولید محصولات نیمه تمامی مانند اسلب یا بیلت است. اجزاء ریخته‌گری پیوسته عبارتند از:

- **پاتیل**
- **پاتیل ثانویه یا قیف ریخته‌گری**
- **قالب**
- **خنک‌کاری ثانویه**
- **برش و خنک‌کاری**
- **بازرسی**

مزایای روش ریخته‌گری پیوسته در مقایسه با ریخته‌گری شمش عبارتند از:

- **هزینه کم**
- **پربازده، کم ضایعات**
- **انعطاف‌پذیری عملیات**

- **سازگاری بیشتر با ترکیبات و ابعاد**
- **کارایی بیشتر انرژی**
- **کارگر کمتر**

فن‌آوری ریخته‌گری پیوسته برای کارنجات مدرن کوچک مجهز به کوره‌های فولادسازی قوسی و به جهت مقرون به صرفه بودن، در کشورهای درحال توسعه بسیار ایده‌آل می‌باشد.

فصل ۳

«تولید میلگرد»

تئوری اولیه نورد میلگرد

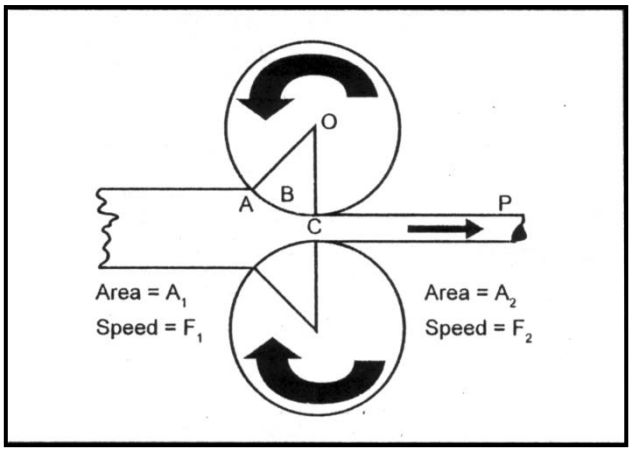
فولاد به دلیل ساختمان کریستالی و چکش‌خوار بودن می‌تواند به وسیله اعمال نیروی مناسب تغییر شکل دهد. نیرو ممکن است به وسیله اکسترود (بیرون کشیدن از حدیده یا قالب)، قالب‌گیری، چکش‌کاری یا پرسکاری اعمال گردد ولی در مورد محصولاتی با طول بلند از قبیل میلگرد شاخه یا کلاف، نورد روش بسیار مناسبی می‌باشد.

به دلیل ساختمان فولاد این عملیات تغییر شکل به صورت سرد و گرم امکان‌پذیر می‌باشد. به‌علت تحرک زیاد اتم‌های کربن و آهن در حرارت بالا، فولاد خام به شکل شمش یا بیلت ممکن است سریع‌تر، اقتصادی‌تر و راحت‌تر کاهش سایز اولیه لازم برای تولید مفتول، تسمه یا دیگر مقاطع فولادی پیدا کند. در نورد گرم علاوه بر کاهش سایز فولاد عیوبی از قبیل لوله‌ها و حفره‌ها و عیوب سطحی که در موقع ریخته‌گری فلز به وجود آمده‌اند به حداقل خواهند رسید.

عبور یک مقطع گرم فولاد بین دو غلطک که درجهت مخالف یکدیگر در حال چرخش هستند یک کاهش در سطح مقطع به همراه افزایش طول به وجود می‌آورد.

شکل ۱ یک میله فلزی در پروسه نورد را نشان می‌دهد. در نقطه **A** جرم حرکت کندتر نسبت به سرعت محیطی غلطک دارد. علت آن پس زدن میله به وسیله غلطک‌ها در نقطه اولیه تماس و کند کردن حرکت به وسیله نیروهای اصطکاکی و فشاری می‌باشد. در نقطه **B** سطح میله و غلطک‌ها دارای سرعت یکسان می‌باشد و بعد از اینکه فلز از نقطه **C** خارج شد سرعت بیشتری نسبت به غلطک‌ها خواهد داشت. میله ذاتاً به دلیل اینکه فشرده شده است از غلطک‌ها می‌جهد.

به دلیل تأخیر حاصل شده بین **A** و **C** زاویه **AOC** به طور قطعی محدوده لغزش میله برروی غلطک‌ها می‌باشد، در صورتی که این زاویه از ۳۰ درجه تجاوز کند قدرت خیلی زیادی برای به حرکت در آوردن غلطک‌ها لازم است. زاویه نورد به وسیله شیار زدن یا آج‌زدن سطح غلطک جهت افزایش گاز گرفتن فلز توسط غلطک در نوردهای بیلت یا شمش کارآیی بیشتری پیدا می‌کند.



شکل ۱ ـ اصول نورد

اصول نورد عبارتند از:

- حجم ورودی به غلطک‌ها برابر با حجم خروجی از آنها می‌باشد. (به شکل ۱ نگاه کنید)

$$A_1 \times F_1 = A_2 \times F_2$$

- سرعت برروی سطح غلطک بین نقاط **A** و **C** افزایش می‌یابد. بنابراین تا زمانی که سطح غلطک با سرعت ثابتی حرکت می‌کند، بین غلطک و جنس درحال نورد می‌بایست سرش وجود داشته باشد. به طور تئوریک این سرش بین نقاط **A** و **B** به سمت جلو می‌باشد و بین نقاط **B** و **C** به سمت عقب است و نقطه **B** خنثی می‌باشد.

● افزایش سرعت را با چیزی غیر از این نمی‌توان شرح داد که کشش طولی در جهت **BP** در نتیجه کشش‌های مماسی در سطح غلطک است که به محض تماس جسم در نقطه **A** و تا خروج در نقطه **C** به وجود می‌آیند. این نیروهای مماسی برابر با نیروی اصطکاک می‌باشند.

● بنابراین، با افزایش فشار غلطک اصطکاک افزایش می‌یابد، با افزایش کشش‌های مماسی و به تبع آن کشش‌های طولی در جهت **CP** خروج جسم تندتر می‌شود. بنابراین افزایش سرعت در ازاء کاهش صورت گرفته در سطح مقطع جسم می‌باشد.

تکامل نورد میلگرد

نقطه شروع برای کشش مفتول محصولی است که میلگرد نامیده می‌شود.

سابقاً به منظور پیدا کردن کیفیت سفتی در میلگردها آنها را درحد متوسطی می‌کوبیدند. برای دست‌یابی به مقادیر بیشتر کاهش به وسیله چکش‌کاری، کارگر میلگرد را ضمن اینکه در دست داشت به زیر چکش هدایت می‌کرد. فرق اصلی بین میلگردهای آهنی این بود که کدام‌یک در چکش‌کاری سفت نباشد. تمام سایزهای کوچکتر مفتول (سیم) شناخته می‌شدند. امروزه تلاش در این زمینه را نوردگرم می‌نامند. محصول نوردگرم را میلگرد گویند و هر آن چه از میلگرد توسط نورد سرد یا کشش سرد تولید می‌شود را مفتول می‌گویند.

وظیفه اصلی یک نورد مدرن تولید اقتصادی یک میلگرد با سایز، شکل و کیفیت مناسب برای ماشین‌آلات سریع و تناژ بالای امروزی می‌باشد و این هدف مهندسین نورد از زمان ساخت اولین نورد در اواخر قرن ۱۷ تاکنون بوده است. ساخت میلگرد به وسیله چکش‌کاری بر می‌گردد به پیش از میلاد مسیح، فلز با چکش به ورق تبدیل می‌شد و سپس باریکه‌هایی از ورق بریده می‌شد و بعد این باریکه‌ها با چکش‌کاری به مفتول تبدیل می‌گردید. اولین نوردهای میلگرد برای مفتول دو نورد بزرگ با غلطک‌های ساده بودند. محصول تخت حاصل از این نوردها به وسیله دست بریده شده و تبدیل به باریکه می‌شدند. اما بعدها با کمی پیشرفت یک سری غلطک که برروی آن تیغه نصب شده بود در فاصله نزدیک غلطک‌های اولیه قرار گرفتند و کار برش باریکه‌ها در این ایستگاه (استند) انجام می‌گرفت.

پیشرفت‌های مهندسی در دو قرن اخیر نوردهای ساده را به نوردهای سرعت بالای امروزی تبدیل کرده است. انواع بیشماری از نوردها از زمانی که در انگلستان طی سال‌های ۱۷۸۳ و ۱۷۸٤ برای اولین بار توسط **Henry Cort** نورد با غلطک شیاردار ابداع شد، اختراع شده‌اند. **Geroge Bedson** در سال ۱۸٦٤ در انگلستان نوردی طراحی نمود که برای اولین بار به‌طور پیوسته میلگرد آهن را با استفاده از استندهای چند مرحله‌ای پشت سرهم نورد نمود. اولین نوردهای ساده میلگرد در آمریکا در سال ۱۸۳۹ ساخته شد و به دلیل تقاضای زیاد برای مفتول آهنی و فولادی با رشد تجارت ملی، نورد میلگرد توسعه‌های قابل توجهی تاکنون در آمریکای شمالی پیدا کرده است.

خانواده **Washburn** در ماساچوست اولین نورد پیوسته تیپ **Bedson** را در آمریکا ساختند. استندها پشت سرهم و به فاصله نزدیک قرار گرفتند تا میلگرد داغ در معرض زیاد هوا قرار نگیرد. با افزون چندین استند عمودی هر چهار طرف جنس مورد نظر نورد قابل کار بود و نیاز به چرخاندن نبود و گیره‌های بین استندها نیز حذف گردید، وجود شیار به اشکال مختلف در استندها قابلیت تبدیل مقطع چهارگوش به گرد را فراهم نمود.

برای تطبیق دادن افزایش طول میلگرد که طی عملیات نورد مرتباً افزایش می‌یابد، سرعت غلطک‌های متوالی به تناسب افزایش طول، افزایش داشتند. استندها متناوباً افقی و عمودی قرار داشتند. استندهای افقی برای عبور مقطع لوزی شکل و استندهای عمودی برای مقاطع چهارگوش و گردهای نهایی به کار گرفته می‌شدند و آخرین مقطع بیضی شکل استند افقی داشت. استندهای عمودی همگی با یک شفت که در زیر کف قرار داشت، حرکت می‌کردند که به دلیل ریختن آب و خاک و گریس برروی شفت و دنده‌ها، تعمیرات بسیار سخت و پر هزینه بود. مشکل دیگر تنظیم نگاه داشتن دقیق غلطک‌های عمودی به دلیل فرسایش یاتاقان‌های پایینی بود.

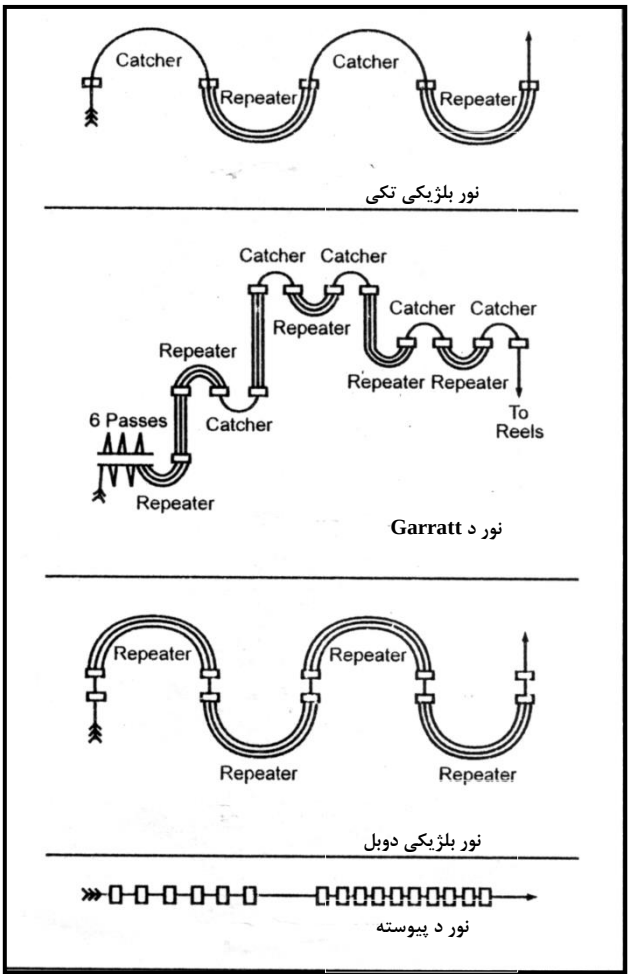
در سال ۱۸۷۸ **Charles H.Morgan** تمام مشکلات نورد ابتدایی **Bedson** را مرتفع نمود. او یک نورد پیوسته با استندهای فقط افقی طراحی کرد و ساخت. در این نورد او راهنمایی پیچشی برای برگشت فلز بین استندها و هدایت دقیق به غلطک‌ها ارائه کرده بود که آنها امکان عبور دو یا چند میلگرد را به طور هم زمان فراهم می‌ساختند.

در همان زمان در بلژیک و آلمان نیز نوردها پیشرفت داشتند و روش نورد چهار غلطک رفت و برگشتی را که معروف به روش حلقه و تکرار بود، ابداع کردند. این نوع نورد میلگرد را نورد بلژیکی می‌نامیدند. (به شکل ۲ نگاه کنید) یک کارگر بسیار ماهر سر جلو میلگرد را به محض بیرون آمدن از غلطک‌ها به وسیله انبر می‌گرفت و با دادن یک چرخش به بدن خود دوباره آن را به استند برمی‌گرداند. روش حلقه و تکرار اجازه می‌داد تا بیلت‌های بزرگتر و سنگین‌تر نورد شوند و کلاف‌های بزرگتری تولید شود بدون این‌که برای نورد پیوسته، ساختمان با طول زیاد مورد نیاز باشد.

در سال ۱۸۸۲ **William Garrett** یک نورد میلگرد اساساً متفاوت در شرکت «کلیولند رولینگ میل» در شهر اوهایو طراحی و ساخت. آن نورد، بیلت خیلی بزرگ را به وسیله سه مرحله نورد خشن‌کاری کاهش سایز می‌داد و از آنجا که به وسیله روش حلقه (دور زدن میلگرد در حال نورد) تحویل اولین مرحله نورد نازک‌کاری می‌داد.

در آنجا این محصول وارد نوردی می‌شد که به شکل پلکانی سرعت‌ها افزایش می‌یافت تا بزرگ شدن حلقه برگشت به حداقل برسد. (به شکل ۲ نگاه کنید) با این طرز قرار گرفتن غلطک‌ها او بر بسیاری از معایب هر دو نوع نوردهای بلژیکی غلبه کرد، عمل اصلی در این روش، نورد چند مرحله‌ای غلطک‌ها بود که این توانایی را فراهم می‌ساخت که تناژ تولید بسیار زیاد شود.

در کارکرد یک نورد **Garrett** ، در مراحلی از نورد که مقطع چهارگوش بود عمل حلقه (دور زده جسم در حال نورد) با یک وسیله مکانیکی اختراع شده توسط **Mekallip** انجام می‌شد در حالی که مقطع بیضی بود برای انجام حلقه هنوز نیاز به کارگران گیرنده سر میلگرد بود که امر سبب می‌شد تا حدود ۳۰ نفر کارگر برای این عملیات مورد نیاز باشد در حالی که با حدود نصف این نفرات همان تناژ تولید توسط نورد پیوسته انجام می‌شد. نهایتاً این عیب جدی منجر به رها کردن اغلب نوردهای **Garrett** شد. علیرغم هفت برابر بودن تناژ خروجی آنها وزن کلاف‌های تولید شده توسط نوردهای **Garrett** حدود ۱۵۰ پاند بود که در آن زمان بی‌نظیر بود. تغییر و تبدیل‌های این نورد منجر به نوردی شد که نورد مرکب نامیده شد که مشتمل بر یک نورد خشن‌کاری و دو نورد نازک‌کاری با هر دو روش حلقه و پیوسته بود.



شکل ۲ ـ نقشه انواع خطوط نورد میلگرد

تجهیزات نورد میلگرد

خصوصیات اساسی نوردهای میلگرد بیش از یک قرن پیش بنا نهاده شدند، تمامی تغییرات بعدی فقط پالایش طرح‌ها و عملیات بودند. استند (ایستگاه)های نورد میلگرد معمولاً به سه طبقه تقسیم می‌شوند، خشن‌کاری، میانی و نازک‌کاری یا پایانی. اولین استند نزدیک کوره حرارت دهی بیلت نصب گردیده و بقیه آنها معمولاً در نزدیکترین حالت ممکن به یکدیگر بدون نیاز به نصب راهنما و تغییر دهنده‌های جهت، قرار دارند. قطر غلطک‌های خشن‌کاری کمی بیشتر از قطر غلطک‌های میانی می‌باشد.

نوردهای میلگرد مجهز به قیچی هستند یکی قبل از اولین استند و دیگری بعداز آخرین استند میانی در مرحله نورد خشن‌کاری، هدف از تعبیه این قیچی‌ها، برش قطعات کم کیفیت و کاهش احتمال پیچیدگری سر میلگرد که از استند خارج می‌شود، است. یک فضای حدود ٦ متری بین آخرین استند خشن‌کاری و اولین استند نازک‌کاری ممکن است وجود داشته باشد. با وجود این فاصله، قابلیت انعطافی برای تنظیمات نورد فراهم می‌شود و به اپراتور قیچی این اجازه را می‌دهد که بعداز برش چنانچه مشکلی در مرحله نازک‌کاری به وجود آید، شمش در حال نورد را به سمت کف کارگاه هدایت نماید. میلگرد بعداز خروج از آخرین استند نازک‌کاری به سمت قسمت کلاف‌کن هدایت می‌شود. در واحدهای تولیدی تناژ بالا تأکید بسیار زیادی بر استفاده از کلاف‌های بزرگ وجود دارد، بنابراین نورد پیوسته با وجود پیچیدگی، هزینه اولیه و نگهداری زیاد و مقدار کمی ضایعات بیشتر، مطلوب می‌باشد زیرا قادر است سرعت بالا و تناژ زیاد را ارائه کند که هزینه سر بار تولید هر تن را پایین می‌آورد.

غلطک‌های نوردمیلگرد یا از غلطک‌های‌آهن تبریدی با سطح پولیش و سخت شده و دارای مقاومت کم در برابر تنش هستند یا از غلطک‌های چدن‌خاکستری با سطح نسبتاً سخت ولی مقاوم‌تر در برابر شکست نسبت به غلطک‌های آهنی تبریدی می‌باشند. در برخی موارد ضرورت

افزایش مقاومت و تحمل تنش در نتیجه فشارهای زیاد، بهبود آلیاژ غلطک‌ها را ضروری می‌سازد. غلطک‌های فولادی آلیاژی نسبت به غلطک‌های آهن تبریدی عمر عبوری خیلی کمی دارند.

اغلب نوردها در مرحله خشن‌کاری برای کاهش‌های زیاد، غلطک‌های چدن خاکستری مخصوص یا فولاد آلیاژی دارند. در استندهای میانی استفاده از غلطک‌های چدن خاکستری با یک مقدار مقاومت شبیه فولاد و کمی سختی سطح، مناسب‌تر از غلطک‌های فولادی می‌باشد. استندهای پایانی (نازک‌کاری) معمولاً مجهز به غلطک‌های آهن تبریدی با سطح بسیار سخت یا غلطک‌هایی با جاسازی مواد بسیار سخت از قبیل تنگستن کار باید می‌باشند. این سطح سخت یک سطح صاف و تمیز برای میلگرد تولید شده فراهم می‌سازد که این سطح برای تهیه مفتول با کیفیت بالا ضروری است. سطح غلطک‌های نازک‌کاری گاهاً اصلاح می‌شوند و قطر آنها ممکن است کاهش یابد و درنتیجه باعث کاهش سرعت تنظیم شده برای نورد شود.

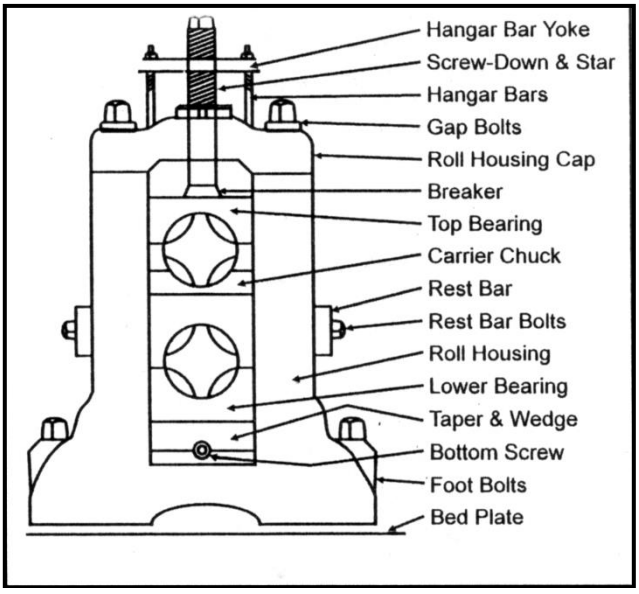
غلطک‌ها در محفظه‌ای **U** شکل از فولاد ریخته‌گری شده قرار دارند (به شکل ۳ نگاه کنید). بعداز اینکه غلطک‌ها در این محفظه جاسازی شدند، یک درب سنگین بر بالای آن پیچ می‌شود. در این درب پیچی با مکانیزم جغجغه تعبیه شده که تنظیم سریع غلطک‌ها در هنگام کار را میسر می‌سازد. محفظه همچنین مجهز به پیچ‌های **(Yokes)** در بالا و پایین برای تنظیم عمودی غلطک‌ها با عبور جنس در حال نورد، می‌باشد. هر محفظه‌ای به صفحه کف (صفحه ستون) پیچ شده است. بعداز اینکه غلطک‌ها در محفظه قرار گرفتند و محور آنها با گیربکس کوپل گردید، راهنماها در جعبه راهنما قرار گرفته که خود جعبه به پایه‌ای پیچ شده است که این پایه به بدنه محفظه نصب گردیده است. راهنماها به طور محکم به محفظه غلطک نصب شده‌اند و برای جهت دادن محصول از یک استند به استند بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

راهنماها معمولاً از چدن یا چدن آلیاژی ساخته شده‌اند که دارای شیار داخلی می‌باشند. انواع مختلف راهنماها در نوردها برای اهداف گوناگونی به کار گرفته می‌شوند. راهنماهای ورودی یک شکل قیفی دارند که به محض ورود میلگرد، آن را به طرف غلطک هدایت می‌کند. راهنماهای خروجی میلگرد را به پاس بعدی هدایت می‌کند و راهنماهای پیچ، میلگرد را ۴۵ یا ۹۰ درجه به وسیله شیار مارپیچی ملایم تعبیه شده در آنها، برمی‌گرداند. شیارها گاهی اوقات قبل از سنگ‌کاری

به وسیله فرز ایجاد می‌گردند. چنانچه شیارها سنگ‌کاری نشوند و استندها کاملاً در یک خط نباشند ممکن است خراش یا آسیبی در میلگرد ایجاد شود.

برای کار همه نوردهای غلطکی مقدار ثابتی آب خنک‌کننده ضروری می‌باشد. در نورد میلگرد در تمام مدت عملیات، میلگرد و استند توسط اسپری آب خنک می‌شود. آب، غلطک‌ها، گلویی غلطک و یاتاقان‌ها را خنک می‌کند و پوسته‌های حاصل از نورد را نیز می‌شوید. پوسته‌ها که ارزشمند و قابل بازیافت هستند آب را آلوده می‌کنند و نصب تجهیزات بازیافت و فیلتر ضروری می‌باشد.

وجود دو قیچی برروی نورد میلگرد برای دو هدف مختلف به کار گرفته می‌شوند و بنابراین بسیار متفاوت ساخته شده‌اند. قیچی ساکن که قبل از اولین استند خشن‌کاری نصب گردیده یک قیچی سرشاخه‌زن می‌باشد که سر بیلت را در صورت داشتن ایراد قبل از ورود به مرحله خشن‌کاری قطع می‌کند. یک قیچی متحرک گردان در انتهای دیگر مرحله خشن‌کاری نصب گردیده درست قبل از عملیات پایانی (نازک‌کاری) به طوری که می‌تواند سر جلو میلگرد که ممکن است در عملیات خشن‌کاری چاک خورده یا ترک برداشته باشد را قطع کند از این قیچی همچنین می‌توان



شکل ۳ ـ اجزاء محفظه غلطک

برای برش شاخه میلگرد چنانچه بخواهد نقصی در عملیات نازک‌کاری ایجاد نماید، نیز استفاده شود. شاخه بریده شده سپس می‌تواند به سمت کف کارگاه هدایت شود.

از آنجایی که نوردها کلاف‌های سنگین‌تر را با سرعت‌های بیشتر نورد می‌کنند، پیشرفت‌هایی در سیستم‌های کلاف مورد نیاز می‌باشد. در نوردهای میلگرد قدیمی، استندهای نهایی طوری قرار می‌گرفتند که میلگرد خروجی برروی کف کارگاه ریخته می‌شد تا توسط عملیات جداگانه‌ای کلاف و بسته‌بندی شود. انتهای میلگرد به قرقره‌ای متصل می‌شد و یک کارگر آن را به دور قرقره می‌پیچید، زمانی که طول میلگرد در نوردهای جدید مدام افزایش یافت دو نوآوری مهم برای آماده‌سازی کلاف‌های بزرگ‌تر به وقوع پیوست، آنها پیچیدن کلاف و ریختن کلاف (کلاف‌کن) بودند. در پیچیدن کلاف، مخزن یک قرقره ثابت بود و میلگرد مستقیماً به وسیله عمل چرخش یک راهنما که لوله پیچنده نامیده می‌شد به روی قرقره پیچیده می‌شد. این عمل میلگرد را کمی تاب‌دار می‌کرد و بنابراین در اغلب تأسیسات مدرن ریختن میلگرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ریختن کلاف‌ها، میلگرد از میان لوله تخلیه به کلاف‌کن رسانده می‌شود و میلگرد پس از عبور از یک سری قرقره‌های کوچک نصب شده برروی یک صفحه گردان در یک ظرف استوانه‌ای ریخته می‌شود. یک اپراتور کل عملیات را کنترل می‌کند و سرعت کلاف‌کن را با سرعت خروجی میلگرد منطبق می‌کند. بعداز این‌که میلگرد کلاف گردید، اپراتور کلاف‌کن را متوقف کرده و کلاف میلگرد را برروی سطح تسمه نقاله تخلیه می‌کند. سپس کلاف‌های تولید شده با جرثقیل به ساختمان دیگری منتقل می‌شوند. تمام میلگردها درحین عبور از نظر فیزیکی بازرسی شده، ضمن آرایش و بسته‌بندی و تست، برحسب زده می‌شوند.

خنک کردن میلگرد

کنترل دقیق دما در نورد میلگرد به دو دلیل همواره بسیار مهم می‌باشد.

- یک میلگرد سریع سرد شده گسترش بیشتری خواهد داشت و درحین نورد تمایل به ایجاد زائده دارد که سبب به‌وجود آمدن پره یا روی‌هم افتادگی می‌گردد.

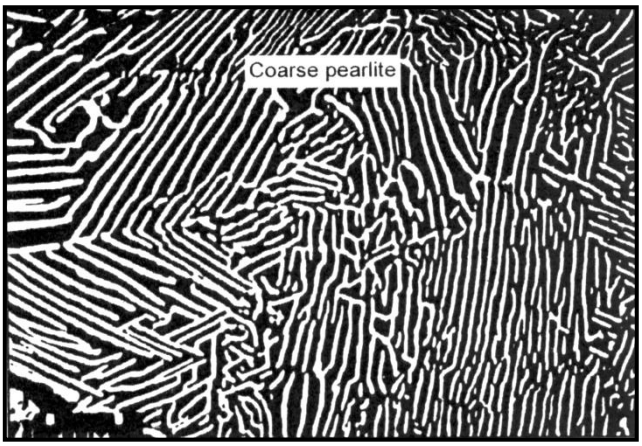
● نقاط سرد و گرم در میلگرد باعث یک گوناگونی در مقطع می‌گردد و این می‌تواند باعث عدم قبولی در تست کیفیت شود.

دمای بحرانی برای خنک کردن فولاد در نوردگرم بستگی به درصد کربن آن دارد. برای C= ٪۰/۷۷ این دما ۷۲۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بالای این دما کربن در آهن به صورت محلول جامد است و براساس ساختمان کریستالی پرلیت نامیده می‌شود. اگر میلگرد به وسیله هوا از این دما به پایین خنک شود، صفحات پرلیتی بسیار درشت می‌باشند. (به شکل ٤ نگاه کنید) میلگرد با چنین ساختمان میکروسکپی خیلی سریع موقع کشش مفتول کار سخت می‌شود به طوری‌که کاهش سطح مقطع کلی صورت گرفته قبل از نیاز به آنیل‌کاری کاهش می‌یابد.

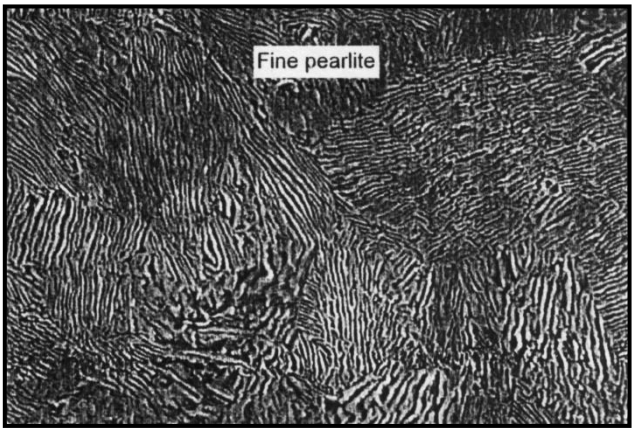
اگر عملیات خنک کردن تا دمای $٦٤٩^{\circ}C$ خیلی سریع انجام شود، به طوری که پرلیت در دمای پایین‌تر شکل بگیرد، صفحات پرلیتی نازک‌تری به وجود خواهند آمد و میلگرد برای کشش بسیار مناسب خواهد شد. (به شکل ٥ نگاه کنید) میزان انجام کار سرد بدون آسیب در کشش مفتول بستگی به نازکی صفحات پرلیتی دارد. بهترین لایه‌ها وقتی به وجود می‌آیند که پرلیت در دمای ۵۳۸ تا ۵۵۱ درجه سانتی‌گراد شکل گیرد. پایین‌تر از این دما، در حدود ۵۱۰ درجه سانتی‌گراد کربن به سرعت لایه سمنتیت تشکیل می‌دهد که یک ساختمان سوزنی شکننده دارد و به بینیت معروف است. (به شکل ٦ نگاه کنید)

به علاوه جهت دستیابی به بهترین ساختمان کریستالی فولاد به وسیله کنترل پوسته اکسید، صرفه اقتصادی در این است که فولاد به سرعت خنک شود. خنک‌کاری مناسب می‌تواند پوسته اکسید را تا ٪۷۵ کاهش دهد و هم زمان از شکل‌گیری پوسته ثانویه بسیار سخت که در عملیات اسیدشویی قبل از کشش به سختی برداشته می‌شود، جلوگیری به عمل می‌آید. این عوامل روشن می‌سازد که خنک کردن سریع میلگرد تا دمای حدود ۵۳۸ درجه سانتی‌گراد بسیار مطلوب می‌باشد. درحالی که در ارتباط با سرعت نورد میلگرد و فضاهای سنتی محدود بین غلطک‌های خروجی و قرقره‌های جمع‌کن، یک میزان خنک‌کاری خوب بدون عملیات خنک‌کاری مضاعف سطح میلگرد بسیار دشوار می‌باشد. خنک کردن در نمک مذاب مانند سایر تکنیک‌ها از قبیل خنک کردن داخلی لوله‌هایی که میلگرد را به طرف قرقره‌های جمع‌کن هدایت می‌کنند، جهت کاهش

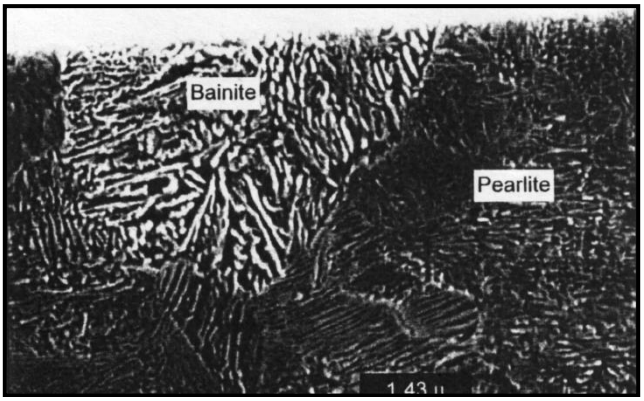
دمای میلگرد تا C° ۸۱۶ ـ ۷۶۰ نیز مورد توجه قرار گرفت. خنک‌کاری بیشتر را به وسیله اسپری مستقیم آب یا دمیدن هوا بر کلاف میلگرد می‌توان به دست آورد. روش‌های مختلف خنک کردن از سال ۱۹۲۶ تاکنون توسط کارخانجات مختلف ابداع و گسترش یافته‌اند که برخی از این روش‌ها در فصل «کنترل خنک کردن کلاف میلگرد» با ذکر جزییات شرح داده شده است.



شکل ۴ ـ ساختمان میکروسکپی پرلیت درشت



شکل ۵ ـ ساختمان میکروسکپی پرلیت نازک



شکل ۶ ـ ساختمان میکروسکپی باینیتیت

انبار کردن میلگرد

زمانی که انبار سرپوشیده کافی وجود نداشته باشد انبار کردن کلاف‌های میلگرد (Wire rod) در فضای باز غالباً یک مشکل می‌باشد. کلاف‌های میلگرد معمولاً برای تولید محصولاتی با سطح صاف کشیده می‌شوند، این‌گونه مفتول‌ها هرگز نباید در زمان زیادی در فضای باز، انبار شوند. همچنین این امر در مورد مفتول‌هایی که به صورت مکانیکی زنگ‌زدایی می‌شوند نیز صادق است. زنگ‌زدایی مکانیکی مفتول‌هایی که زنگ زرد یا قرمز در سطح دارند مشکل می‌باشد. سه فاکتور مهم حاکم بر میزان زنگ سطح میلگردهای نورد شده که در انبار به وجود می‌آید، به شرح زیرند:

- **پوسته سطح ـ میزان شکنندگی پوسته بر جای مانده بر سطح می‌تواند باعث زنگ‌زدگی شود. آسیب‌های فیزیکی هنگام انبار کردن می‌تواند در نقاطی پوسته را برداشته و به سرعت باعث زنگ‌زدگی شود.**
- **محیط انبار ـ یک مطالعه در ایالت‌های شمالی آمریکا نشان داد که انبار کردن فولاد به مدت ۳ ماه در معرض هوا برای هیچ نوع فولاد بالای ۰/۳٪ کربن مضر نمی‌باشد. در حالی که هشت ماه انبار کردن باعث ایجاد سطح رنگ برگشته بر انواع فولاد می‌شود. اگر چه این مطالعه برای همه مناطق صدق نمی‌کند، اما آن چه به نظر می‌رسد این است که انبار کردن میلگردها در فضای باز**

برای مدت زیاد یا باید دارای دلیل معقولی باشد یا برای کشش محصولاتی استفاده شود که کیفیت سطح به خصوصی را نیاز نداشته باشند.

- **کف انبار:** نوع خاک یا مواد قلیایی که میلگرد برروی آن قرار می‌گیرد نیز می‌تواند بر زنگ‌زدگی مؤثر باشد. میلگردها هرگز نباید مستقیماً برروی سرباره‌های ریخته‌گری چه در فضای باز و چه در فضای سرپوشیده قرار گیرند. استحاله و استهلاک سرباره‌ها باعث فساد سریع سطح میلگرد در نقاط تماس می‌شود. به طورکلی بهترین روش بالا نگاه داشتن میلگردها از سطح زمین با استفاده از بلوک‌های چوبی یا فلزی می‌باشد.

فصل ۴

کنترل خنک‌کاری مفتول

مقدمه

در سال ۱۹٦۵ وقتی هندبوک مفتول به چاپ رسید، کمتر از یک سال بود که عملیات خنک‌کاری تمام عیار درحال اجرا بود و شرکت فولاد کانادایی اولین کارخانه نورد میلگرد بود که نورد مستقیم مورگان را با سیستم خنک‌کاری **Stelmor** پیوند داد. وقایعی که منجر به این عملیات گردید در اکتبر سال ۱۹٦٤ طی یک مقاله سه بخشی در نشریه **Wire Association** به چاپ رسید (توسط یک نفر از کارخانه مورگان و دو نفر از کارخانه فولاد کانادا).

تقریباً ده سال توسعه و عملیات آزمایشی منجر به پروسه کامل **Stelmor** گردید که تبدیل به مهمترین پیشرفت عملیات نورد میلگرد در قرن گردید.

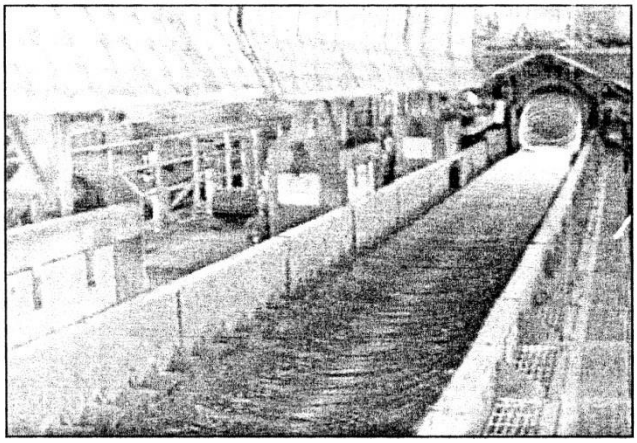
روش **Stelmor** اولین تلاش برای کنترل خنک‌کاری در نوردگرم نبود، تولیدکنندگان قبلی برکاهش وزن پوسته میلگرد متمرکز بودند. اولین تفکر ساخت در مورد سیستم خنک‌کاری میلگرد نوردگرم در آمریکا به نام ویکتور ادواردز در سال ۱۹۱۷ ثبت گردیده است. به دنبال این اختراع، تسمه نقاله خنک‌کن حلقه‌های میلگرد و خنک‌کاری درحین کلاف کردن با دمش هوا در داخل کلاف، به ثبت رسیدند. سپس **Dartrey Lewis** امکان استفاده از آب بین ایستگاه‌های نورد و بین نورد پایانی و کلاف‌ها را کشف نمود. نتیجه این کار در اکتبر ۱۹۵۷ قبل از نشریه **Wire Association** در ثبت اختراعات آمریکا طی مقاله‌ایی پذیرفته شد.

خنک‌کاری محصولات با استفاده از این روش‌ها، قبل یا بعداز کلاف کردن، در کلاف‌ها نه تنها در میزان خنک‌کردن و حتی وزن آنها که فقط ۲۷۲ کیلوگرم بودند، بلکه در وزن پوسته و خواص فیزیکی آنها نیز تغییراتی به وجود آورد. افزایش وزن کلاف‌ها به مقادیر بزرگتر از ۱۰۰۰ پاند تا ۵۰۰۰ پاند مشکلات بزرگی در پیش‌رو د اشت. راه حل روش **Stelmor** بود که در ادامه شرح داده می‌شود.

فرآیند Stelmor

فرآیند Stelmor یک روش محقق شده برای کنترل خنک‌کاری میلگردهای فولادهای کربنی بلافاصله بعداز نورد پایانی می‌باشد. بیش از پنجاه سال، تلاش‌ها برای بهینه‌سازی خواص میلگردهای پرکربن و نوردکاری آنها با موفقیت همراه نبود. در سال ۱۹٦٤ با استقرار اولین عملیات استاندارد Stelmor این امر محقق گردید.

این فرآیند موفقیت‌هایی در کنترل پوسته میلگرد و بهبود خواص فیزیکی و متالورژیکی میلگردها درپی داشت. تغییرات چندی که می‌توان با استفاده از این فرآیند در نوردهای میلگرد به وجود آورد عبارتند از: استاندارد، تأخیر در خنک‌کاری، خنک‌کاری آرام و خنک‌کاری مختلط فرآیند Stelmor می‌باشد. یک خط با پروسه خنک‌کاری استاندارد Stelmor در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ـ خط خنک‌کاری استاندارد **Stelmor**

قبل از ابداع این روش، در ارتباط با دستیابی به ریز ساختار چقرمه و مناسب برای کشش مفتول و تغییر شکل، کلاف‌های میلگرد عملیات حرارتی یا پتنت می‌شدند. پتنت بدین‌ترتیب بود که کل کلاف تا دمای بالاتر از نقطه بحرانی حرارت داده می‌شد و آنها به وسیله هوا یا حمام سرب مذاب و یا در برخی موارد در حمام نمک سرد می‌شد تا ساختار آستنیتی به دست آید. این عملیات

حرارتی میلگرد ریزساختار یکنواخت و خواص مکانیکی چقرمه در کل طول میلگرد در کلاف را باعث می‌گردد.

با استفاده از این فرآیند، رشته میلگرد خروجی از نورد نهایی به وسیله آب تا دمایی که از قبل تعیین گردیده است خنک می‌شود، و با استفاده از دستگاه مخصوص حلقه‌کن به صورت حلقه‌هایی برروی هم برروی تسمه نقاله ریخته می‌شوند. این عمل، خنک‌کاری یکنواخت به میزان کنترل شده را فراهم می‌سازد. در انتهای تسمه نقاله، حلقه‌ها جمع‌آوری و به صورت کلاف کامل بسته‌بندی می‌گردند و به انبار منتقل می‌شوند. این عملیات برای نوردهای مدرن امروزی نه تنها سرعت زیادی را مهیا می‌سازد بلکه کلاف با وزن بیشتر و ریزساختار مناسب برای عملیات فرم‌دهی بعدی را تولید می‌کند.

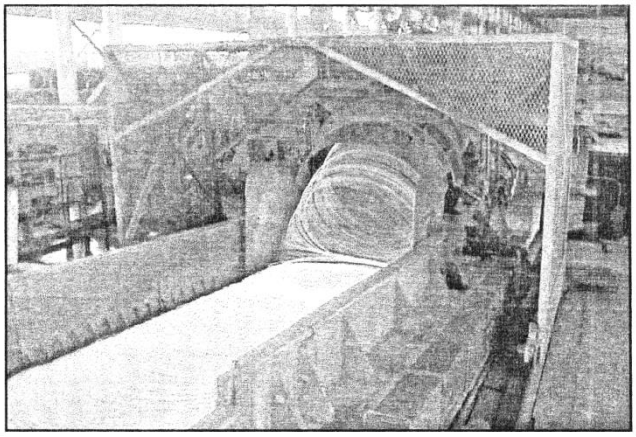
تجهیزات Stelmor

همانگونه که قبلاً هم گفته شد، دستگاه حلقه‌کننده در ابتدای این فرآیند میلگرد را به صورت حلقه در آورده و آنها را برروی تسمه نقاله در حال حرکت به طور پیوسته می‌ریزد. یک نمونه از نقاله این فرآیند دارای سرعتی بین ٦ تا١٢ متر در دقیقه می‌باشد. دستگاه حلقه‌کن مجهز به صفحات لغزنده قابل تنظیم می‌باشد. این صفحات براساس سرعت دستگاه جهت یکنواختی و در مرکز تسمه نقاله ریختن حلقه‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شکل ٢ حلقه‌های فولاد کم‌کربن که از دستگاه سرعت بالای حلقه‌کن برروی نقاله **Stelmor** می‌ریزد را نشان می‌دهد.

دمای حلقه کردن در خنک‌کاری **Stelmor** بسیار مهم می‌باشد زیرا تأثیر زیادی در شکل‌گیری پوسته برروی مفتول نهایی دارد. به عنوان مثال نوردهای مدرن براساس نوع موادی که کلاف می‌گردند، دمای ٧٥٠ تا ٩٥٠ درجه سانتی‌گراد را برای این کار در نظر می‌گیرند.

برای فولادهایی که اندازه درشت دانه برایشان مفید است مانند فولادهای ساده کم و پرکربن، دمای کلاف کردن ٨٥٠ تا ٩٢٠درجه سانتی‌گراد مورد استفاده قرار می‌گیرد. فولادهای دانه ریز مانند آنهایی که قابلیت سخت‌کاری و یا کوبش سرد دارند و یا محصولات فنری، دمای پایین‌تر از ٧٥٠ تا ٨٥٠ درجه سانتی‌گراد جهت کلاف کردن برایشان مفید است.



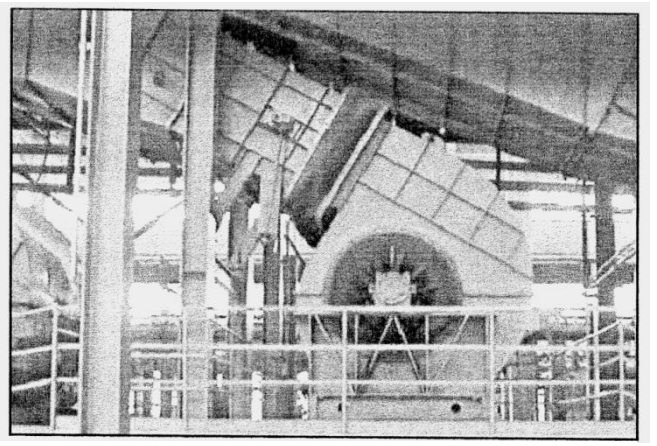
شکل ۲ـ دستگاه حلقه‌کن سرعت بالا برای فولاد کم کربن

خنک‌کاری برروی تسمه نقاله به وسیله مقدار هوایی که از بین حلقه‌های میلگرد عبور می‌کند کنترل می‌گردد. فن دمنده گریز از مرکز که در زیر تسمه نقاله نصب گردیده است، با کانال و سیستم تنظیم نوری برای توزیع هوا، بهترین کارایی خنک‌کاری را فراهم می سازد. (به شکل ۳ و ٤ نگاه کنید)

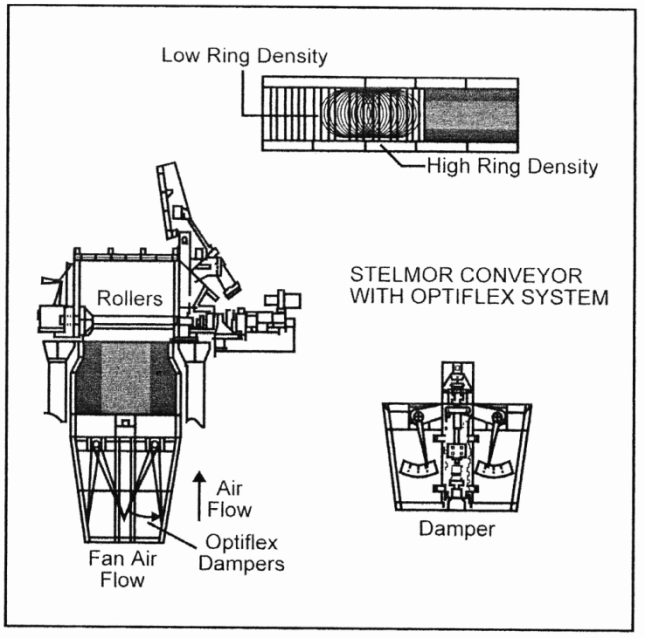
سرعت موتور فن‌ها می‌تواند ثابت و یا متغیر باشد. برای موتورهای دور ثابت، فن‌ها مجهز به دریچه‌های قابل تنظیم هستند که می‌توانند میزان جریان هوا را تنظیم کنند. در مورد موتورهای دور متغیر، به راحتی سرعت دورانی فن‌ها برای جریان هوای مورد نیاز قابل تنظیم می‌باشد. سابقاً در سیستم‌های قبلی Stelmor حجم هوادهی فن‌ها ٦٣٠٠٠ مترمکعب بر ساعت بود و امروز این مقدار به ١٥٤/٠٠٠ مترمکعب بر ساعت برای سیستم‌های جدید رسیده است. فن‌های جدید می‌توانند سرعت هوا تا ٥٠متر بر ثانیه را تأمین نمایند که برای خنک‌کاری سریع مواد پرکربن مورد نیاز می‌باشد.

به دلیل روی هم افتادن حلقه‌ها، انباشتگی حلقه از لبه به سمت مرکز تسمه نقاله متغیر می‌باشد و در لبه‌های بیرونی نقاله بیشترین تراکم وجود دارد. در نتیجه در این لبه‌ها نسبت‌به مرکز نقاله خنک‌کاری بیشتری مورد نیاز می‌باشد. سیستم تنظیم نوری برای بهبود یکنواختی خنک‌کاری طراحی گردیده است، که نتیجه آن در یکنواختی مقاومت کششی در دور تا دور حلقه میلگرد

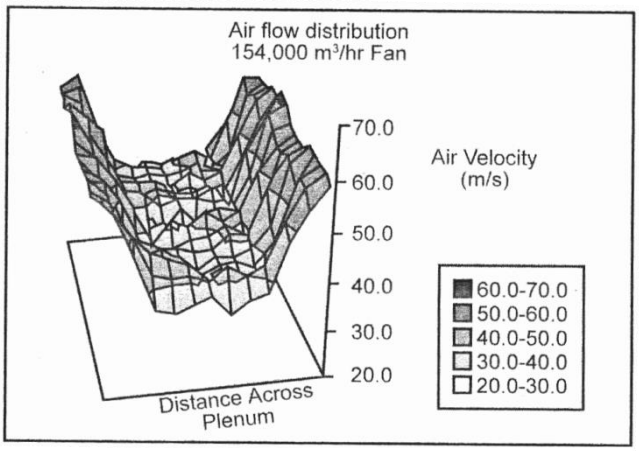
خواهد بود. این سیستم شامل دریچه‌های داخلی می‌باشد که توزیع جریان هوا در عرض نقالــه را کنترل می‌نماید همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل۳ـ فن‌های گریز از مرکز ظرفیت بالا



شکل۴ـ سیستم تنظیم نوری



شکل۵ ـ توزیع سرعت هوا در عرض نقاله

سیستم مش‌نوری توسعه نسبتا جدیدی است که می‌تواند مکمل یا جایگزین سیستم تنظیم نوری باشد. این سیستم شامل قراردادن صفحات سوراخ‌دار در زیر بستر نقاله در مقابل نازل‌های هوای می‌باشد که براساس میزان سوراخ‌ها یا فضای باز مش‌ها توزیع هوا کنترل می‌گردد. این سیستم نیز مانند سیستم نوری قابل تنظیم می‌باشد، بنابراین انعطاف‌پذیری عملیات برای نیازمندی‌های محصولات مختلف فراهم می‌گردد.

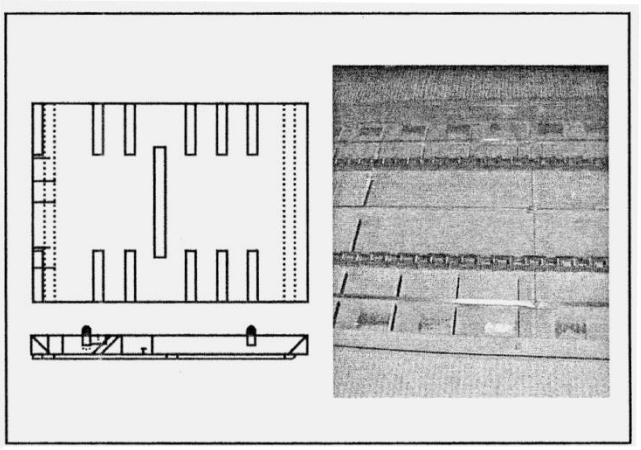
تاریخچه بستر خنک‌سازی

نسل اول

نقاله زنجیری **Stelmor** (شکل٦) شامل یک جفت زنجیر دندانه‌دار بود با انگشتی‌های بیرون‌زده از زنجیر که در طول نقاله در زیر حلقه‌ها برای کشیدن آنها حرکت می‌کرد. حلقه‌ها به وسیله زنجیر و دو یا چند غلطک برروی نقاله هدایت می‌شوند. یک دریچه یا نازل برای هدایت هوا برروی نقاله نصب گردیده است.

یک مشکل ذاتی نقاله زنجیری یکنواختی خنک‌کاری می‌باشد که عمدتاً به دلیل سد کردن جریان هوا به وسیله زنجیر و غلطک‌ها مناطق گرم در عرض نقاله باقی خواهند ماند. پیوستگی زنجیر همچنین باعث ممانعت از تغییر سرعت در طول نقاله می‌گردد، تغییر سرعت در طول نقاله کمک می‌کند که حلقه‌ها برروی هم هدایت شوند، بنابراین تأثیر خنک‌کاری نقاط تماس حلقه‌ها کاهش

می‌یابد. مشکل اصلی دیگر زخم‌ها و دیگر آسیب‌های سطحی ناشی از برخورد با زنجیر و همچنین چرب شدن میلگرد می‌باشد.



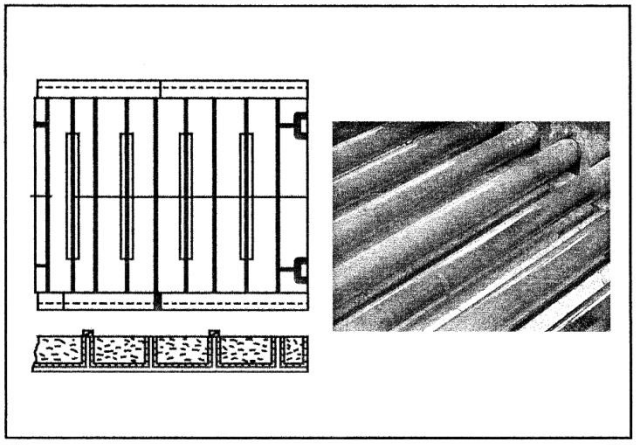
شکل۶ـ نقشه و عکس نسل اول نقاله زنجیری

نسل دوم

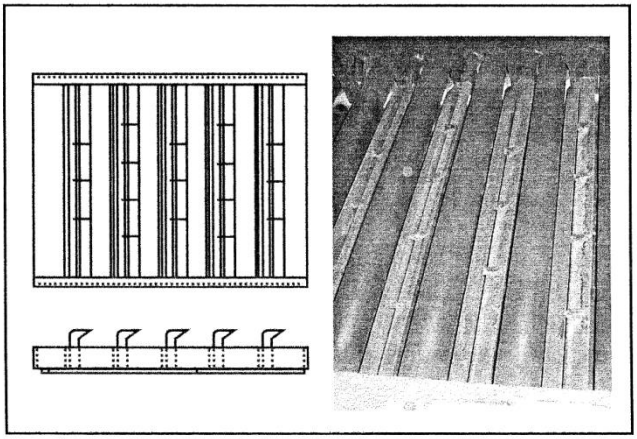
در نسل دوم نازل‌های هوا با نقاله‌های غلطکی مورد استفاده قرار گرفتند و نازل‌ها در زیر و بین غلطک‌ها نصب شده بودند. (شکل ۷) با این طراحی تلاطم جریان هوای خنک‌کننده قبل از برخورد با میلگرد صورت می‌گیرد. همچنین، نسبت‌به طرح قدیمی فاصله نازل هوا با میلگرد افزایش یافته است. توزیع هوا در عرض ناحیه عبور میلگرد (عرض نقاله) به‌وسیله سیستم تنظیم نوری کنترل می‌گردد.

نسل سوم

نسل سوم (شکل۸) سیستم هوا را با سرعت زیاد و نزدیک به حلقه‌ها ارائه می‌کند و این کار تحت یک زاویه انجام می‌گیرد تا حداکثر تماس با میلگرد وجود داشته باشد، بنابراین خنک‌کاری بهبود می‌یابد. توزیع هوا با سیستم نوری و یا مشی کنترل می‌گردد.



شکل۷ـ نقشه و عکس نسل دوم خنک‌کاری

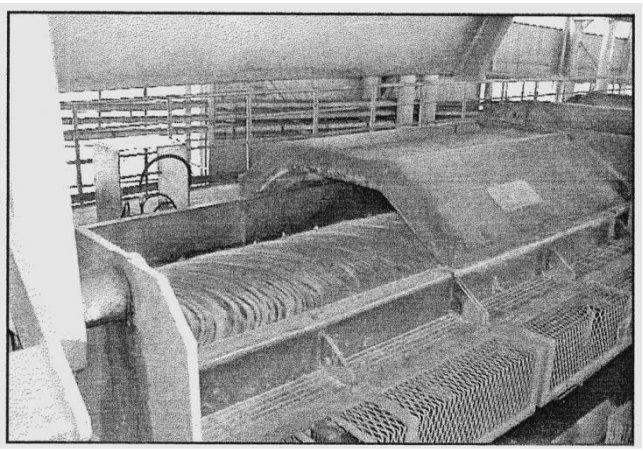


شکل۸ ـ نقشه و عکس نسل سوم پهنه خنک‌کاری

درب‌ها و هودهای عایق

درب‌های عایق برروی نقاله امکانی فراهم می‌سازد تا میزان خنک‌کاری کاهش یابد تا ریزساختار درشت به دست آید که حاصل، کمترین حدممکن مقاومت کششی می‌باشد.

درب‌ها و هودهای عایق برای فولادهای کم‌کربن جهت دستیابی به ریزساختار دانه درشت، فولاد آلیاژی که ریزساختارش به فریت و پرلیت برسد و فولادهای سیلسیم ـ منگنز بالای میلگرد جوشکاری برای کاهش احتمال شکل‌گیری آستنیت یا مارتنزیت که می‌توانند اثرات منفی در کوبش یا کشش داشته باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برخی موارد درب‌ها و هودهای عایق جهت حذف عملیات حرارتی بعدی مانند آنیل‌کاری قبل از کله‌زنی سرد، ممکن است به کار گرفته شوند. شکل ۹ درب‌ها و هودهای عایق مورد استفاده برای تأخیر در خنک‌کاری میلگرد متوسط کربن کله‌زنی سرد را نشان می‌دهد.

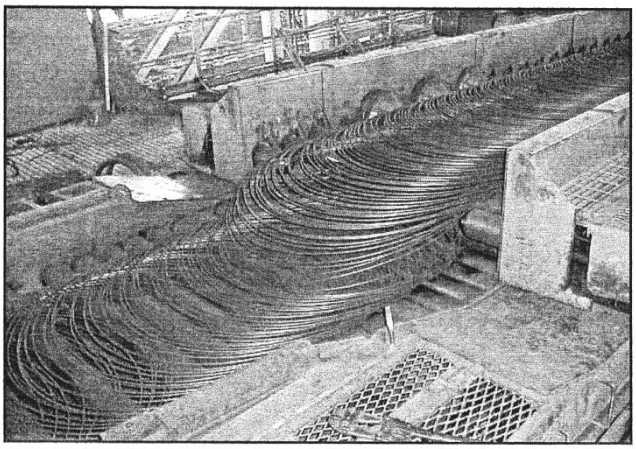


شکل۹ـ مواد کربن متوسط مناسب برای کله‌زنی سرد تحت عملیات خنک‌کاری تأخیری

پله‌های نقاله Stelmor

پله‌ها در طول نقاله دو هدف دارند، اولین هدف فراهم کردن امکان افزایش سرعت (مثلاً ۵ تا۱۵درصد) که یکنواختی را با کشیدن و جداسازی حلقه‌ها و کاهش نقاط تماس داغ، بهبود می‌بخشد. دومین هدف همخوان شدن سرعت‌های نقاله با تسریع خنک‌کاری بر مواد پرکربن می‌باشد، جایی که سرعت‌های نقاله از ٦٠ متر بردقیقه تجاوز می‌نمایند. تحت چنین شرایط کاری، پله‌ها برای کاهش سرعت در انتهای نقاله مورد استفاده قرار می‌گیرند، به این ترتیب سرعت‌های

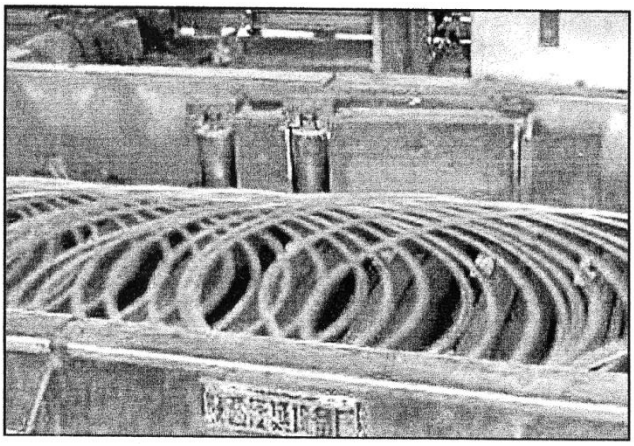
کمتر بهسازی امکان‌پذیر می‌گردد. ارتفاع پله‌ها از ٦٠ تا ٣٥٠ میلیمتر متغیر هستند و متناسب با ارتفاع دلخواه می‌توانند قابل تنظیم باشند. شکل ١٠ یک پله کاهش سرعت بزرگ در نقاله را نشان می‌دهد.



شکل ١٠ ـ پله ٣٠ سانتی کاهش سرعت

بازوهای غلطکی مرکز کننده

بازوهای غلطکی مرکز کننده (شکل ١١) قطعات لولایی هستند که به دیواره‌های نقاله نصب گردیده‌اند و به کنترل وضعیت حلقه‌ها کمک می‌کنند. این بازوها با دست تنظیم می‌گردند. وقتی به درستی تنظیم شدند، بازو به غلطکی که کناره‌های حلقه را لمس می‌کند فشار وارد می‌آورد و آنها را به مرکز نقاله هدایت می‌کند. این وسیله باعث می‌شود که تمامی حلقه‌ها به مرکز نقاله هدایت شوند و خنک کاری به خوبی انجام شود. بنابراین در نقاله **Stelmor** یکنواختی خنک‌کاری و حداقل خراش و ساییدگی حلقه‌ها فراهم می‌گردد.



شکل۱۱ـ بازوی مرکز کننده غلطکی

فرآیند مدرن Stelmor

طرز عمل یک نقاله مدرن **Stelmor** اغلب به انواع عملکردهای زیر تقسیم می‌گردد.

خنک‌کاری تأخیری ـ عملیاتی با به کارگیری درپوش‌های عایق به منظور آرام خنک کردن یا تأخیر در خنک‌کاری میلگرد می‌باشد. در این روش دامنه میزان خنک‌کاری از ۰/٤ درجه سانتی‌گراد بر ثانیه برای محصولات میلگرد قطور تا ۰/۸ درجه سانتی‌گراد بر ثانیه برای محصولاتی با قطرهای کوچکتر می‌باشد. این روش خنک‌کاری وقتی فولادهای آلیاژی مانند **AISI9254** ، ۸٦۵۰ و ٤۱٤۰ مورد عملیات باشند، بسیار رایج می‌باشد.

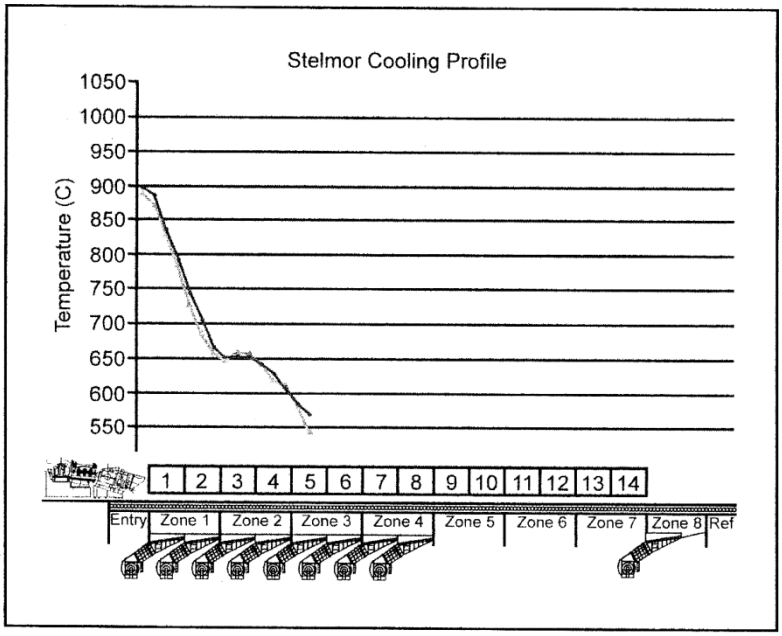
خنک‌کار عادی ـ فرآیندی برای خنک‌کاری میلگرد در نقاله **Stelmor** در هوای محیط است. نه درپوش‌های عایق و نه هوای فشرده مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. در این روش دامنه خنک‌کاری از ۲ درجه در ثانیه برای قطرهای بزرگ تا ٦ درجه در ثانیه برای قطرهای کوچکتر متغیر می‌باشد. این روش بر عملیات فولادهای کم‌کربن و کاربردهای غیربحرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

خنک‌کاری با شتاب ـ از هوای ارسالی توسط فن بزرگ گریز از مرکز که هوا را به نازل‌های قرار گرفته بین غلطک‌ها منتقل می‌کند، استفاده می‌شود. به دلیل روی هم افتادگی حلقه‌ها، تراکم در مرکز نقاله کمترین و در لبه‌ها بیشترین می‌باشد. برای بر طرف نمودن این مشکل، سیستم تنظیم

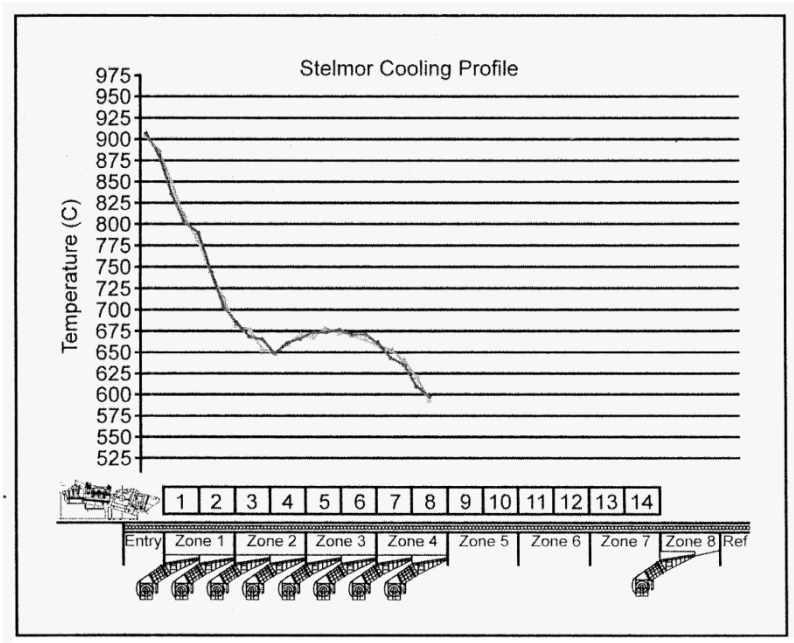
نوری، هوا را در سه ناحیه توزیع می‌نماید. در این روش خنک‌کاری میزان خنک‌کاری از ۸ درجه در ثانیه برای قطرهای بزرگ تا ۲۲ درجه در ثانیه برای قطرهای کوچک متغیر می‌باشد. این روش خنک‌کاری معمولاً برای فولادی‌های متوسط کربن برای کاربری مستقیم کشش، مواد پرکربن برای فولادهای فنر، طوقه لاستیک، طناب سیمی و مفتول پیش تنیده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

خنک‌کار مختلط ـ هر ۳ روش خنک‌کاری در نقاله **Stelmor** که در بالا شرح داده شده به کار گرفته می‌شوند. این روش برای خنک‌کاری فولادهای یاتاقان از قبیل **(AISI 52100)** که احتمال شکل‌گیری کاربایدها در مرزدانه‌ها زیاد می‌باشد، عمومیت دارد. میلگرد سریعاً تا دمای حدود ۶۰۰درجه سانتی‌گراد در بخش کوچکی از نقاله خنک می‌گردد و به دنبال آن با خنک‌کاری تأخیری تا زیر دمای ۳۵۰درجه سانتی‌گراد خنک می‌گردد.

شکل ۱۲ و ۱۳ نمودار خنک‌کاری سریع برای محصولات قطر کم و قطر زیاد را نشان می‌دهد.

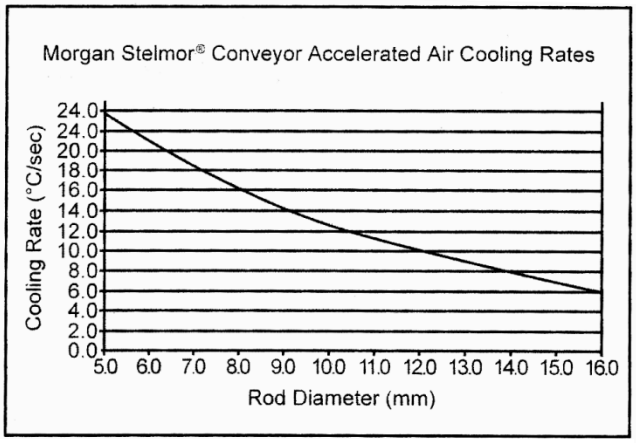


شکل۱۲ـ منحنی خنک‌کاری شتاب‌دار برای فولاد پرکربن با کاربرد طوقه لاستیک با قطر کوچک



شکل۱۳ـ منحنی خنک‌کاری با شتاب برای میلگرد پیش‌تنیده با قطر بالا

شکل ١٤ میزان خنک‌کاری سریع برای یک نمونه محصول پرکربن را نشان می‌دهد. قطر میلگرد از ۵/۵ تا ١٦ میلیمتر برای کاربرد طناب پیش‌تنیده می‌باشد. دامنه دما در این شکل از ۹۲۰ تا ٦۵۰درجه سانتیگراد با استفاده از ١۵٤۰۰۰ مترمکعب هوا در ساعت می‌باشد.



شکل۱۴ـ میزان (ریت) خنک‌کاری سریع برای محصولات پرکربن

جنبه‌های متالورژیکی فرآیند Stelmor استاندارد

فرآیند استاندارد **Stelmor** یک محصول با ریزساختار شبه پتنت در میلگرد مستقیماً درحال نورد گرم شدن ایجاد می‌نماید. میلگرد از نورد نهایی با دمایی بین ۸۰۰ تا ۱۰۹۰ درجه سانتیگراد خارج می‌گردد و توسط نازل‌های آب در کمتر از یک ثانیه به دمای ۷۸۵ درجه سانتیگراد می‌رسد. میلگرد سپس به صورت حلقه برروی نقاله با حرکت پیوسته ریخته می‌شود. نقاله حلقه‌ها را در یک‌سری نواحی خنک‌کاری با هوای پرفشار حمل می‌نماید.

میلگرد به طور پیوسته با سرعت ۷/۸ درجه سانتیگراد برثانیه برای مفتول قطر زیاد (۱۴/۲ میلیمتر) پرکربن طناب پیش‌تنیده و تا ۲۲/۲ درجه سانتیگراد برثانیه برای قطر ۵/۵ میلیمتر، خنک می‌گردد. این ریت خنک‌کاری درحین تغییر ساختار، سریع‌تر از پتنت‌کاری در هوا می‌باشد. ریزساختارهای حاصل شده در فرآیند **Stelmor** حدمتوسط ریزساختارهای پتنت سربی و هوایی در نسبت پرلیت‌های ریز و غیرمحلول و پرلیت‌های درشت و محلول می‌باشند.

به‌طور معمول، ریزساختار میلگرد خنک شده **Stelmor** شامل پرلیت ریز غیرمحلول و ۱۰ تا ۲۰ درصد پرلیت محلول می‌باشد. مقدار درصد فریت تابعی از آنالیز شیمیایی فولاد و در درجه اول درصد کربن می‌باشد. فریت به صورت یک خط شبکه‌ای مشخص به دور مرز دانه‌های آستنیت ظاهر می‌گردد. در این شیوه به دلیل یکنواختی خنک‌کاری با توجه به نقاط پرتراکم میلگرد و به تبع آن هوای بیشتر برای خنک‌کاری به نسبت نقاط کم تراکم مرکز نقاله، ریزساختار و به دنبال آن خواص مکانیکی به طور قابل ملاحظه‌ای در تمام طول میلگرد یکنواخت خواهد شد.

شکل ۱۵ عکس ریزساختار فولاد ساده پرکربن ۰/۷۵ درصد کربن خنک‌شده با فرآیند **Stelmor** را نشان می‌دهد.

شکل۱۵ـ ریزساختار استاندارد **Stelmor**

خواص مکانیکی میلگرد استاندارد Stelmor

میلگرد Stelmor در مقایسه با میلگرد خنک شده با روش‌های مرسوم هوایی با قطر و آنالیز شیمیایی یکسان، مقاومت کششی بالاتری از خود نشان می‌دهد. این مقاومت بالاتر ذاتاً مربوط به تصفیه دانه آستنیت و سرعت بالای خنک‌کاری درحین تغییر ساختار از آستنیت به فریت می‌باشد. میلگردهای خنک شده در این روش برعکس نسبت‌به میلگردهای روش مرسوم پتنت سربی مقاومت کششی کمتری از خود نشان می‌دهند که مربوط به کمی درشتتر بودن ریزساختارشان می‌باشد.

جدول ۱ متوسط مقاومت کششی میلگردهای Stelmor پرکربن از ۰/٤ تا ۰/۸ درصد را نشان می‌دهد. این جدول ۹ رده فولاد ساخته شده با کوره اجاق باز اکسیژنی الکتریکی فرآیند توماس را نشان می‌دهد که با تجهیزات Stelmor خنک‌کاری شده‌اند. مقادیر مقاومت کششی برای مقدار منگنز ۰/٦ درصد به عنوان پایه تنظیم گردیده‌اند.

AISI Grade	T.S. Min. (kg/mm^2)	T.S. Max. (kg/mm^2)	T.S. Min. (Ksi)	T.S. Max. (Ksi)
1040	68.8	83.4	97.8	118.5
1045	75.6	90.1	107.3	128.0
1050	81.2	95.7	115.3	136.0
1055	83.4	101.3	118.5	144.0
1060	89.0	106.9	126.5	152.0
1065	94.6	112.5	134.4	159.9
1070	100.2	118.1	142.4	167.9
1075	101.3	119.2	144.0	169.5
1080	111.4	132.7	158.3	188.6

جدول۱ـ مقاومت کششی متوسط برای میلگرد ۵/۵ میلیمتر پرکربن سرد شده با روش**Stelmor**

کاربرد میلگردهای Stelmor استاندارد

در بسیاری از موارد، میلگردهای پرکربن **Stelmor** جایگزین میلگردهای روش‌های مرسوم پتنت هوایی یا پتنت سربی گردیده‌اند. میلگرد پرکربن برای کشش به سایزهای ریز بعداز نوردگرم می‌بایست پتنت گردد. بنابراین در صورت استفاده از روش **Stelmor** عملیات پتنت حذف می‌گردد. قابلیت کشش میلگرد روش **Stelmor** برابر یا بیشتر از قابلیت کشش مفتول سرد شده پتنت هوایی با قطر و آنالیز شیمیایی یکسان، می‌باشد. این قابلیت کشش برای مفتول قطر ۵/۵ میلیمتر خنک‌کاری شده با روش **Stelmor** برای فولاد ۰/٤ تا ۰/٤۵ درصد کربن و کل کاهش سطح مقطع ۹۰ تا ۹۵درصد و یا ۸۰ تا ۸۵درصد کاهش سطح مقطع برای فولاد ۰/۷۵ تا ۰/۸۰ درصد کربن با اسیدشویی، روکش، روانکاری و دوزه مناسب قابل دسترس می‌باشد.

برای سایزهای بزرگتر با ترکیبات یکسان، جهت دستیابی به خواص مکانیکی یکسان در مفتول کشیده شده نهایی با دو روش **Stelmor** و پتنت، یک تنظیم مختصر در درصد کربن مورد نیاز می‌باشد. بنابراین جهت دستیابی به استحکام کششی مشخص برای مفتول کشیده شده از میلگرد نوردگرم شده روش **Stelmor** به نسبت روش پتنت هوایی مقدار جزیی درصد کربن می‌بایست کمتر باشد و برعکس نسبت‌به روش پتنت سربی این میزان می‌بایست مقدار کمی بیشتر باشد.

مسأله مهم که می‌بایست توجه داشت این است که افزایش استحکام کششی مربوط به کار سختی در هنگام کشش سرد الزاماً برای فولادهایی با ترکیبات یکسان و تولید شده با روش‌های مختلف، یکسان نخواهد بود. در یک نورد خاص برای تعیین دقیق سطح تنظیم کربن برای هر محصول نهایی ممکن است تجربه ویژه‌ای مورد نیاز باشد.

شایستگی میلگرد **Stelmor** برای کشش مفتول با گسترش استفاده آن در کشورهای مختلف به درستی تأیید گردیده است. با این حال موفقیت در کشش مفتول علاوه‌بر خواص میلگرد به خیلی عوامل دیگر بستگی دارد. طراحی و جنس دوزه، میزان کاهش سطح مقطع در هر کشش، روانکاری، سرعت خطی و خنک‌کاری حین عملیات نیز ملاحظات مهم می‌باشند.

روش خنک‌کاری آرام Stelmor

این روش خنک‌کاری انعطاف‌پذیری زیادی در خنک‌کاری میلگرد را دارا می‌باشد. این روش برروی یک نورد میلگرد اخیراً مدرن شده معرفی گردید. نقاله این روش خنک‌کاری در سه قسمت اولیه خود مجهز به مشعل و درب‌های قابل برداشتن می‌باشد که دمای میلگرد را کنترل می‌کند و یک سرعت خنک‌کاری به شدت آرامی را برای محصول نهایی برروی نقاله فراهم می‌سازد. به‌علاوه، سرعت نقاله این روش کمتر از نوع استاندارد خنک‌کاری **Stelmor** می‌باشد. حداقل سرعت نقاله ۰/۰۵ متر برثانیه یک حداقل خنک‌کاری حدود ۰/۲٤ درجه سانتی‌گراد برثانیه را به دنبال خواهد داشت. حلقه‌های میلگرد به‌صورت لایه نازکی برروی نقاله گسترده می‌شوند و به‌دلیل سرعت کم نقاله در فرآیند خنک‌کاری آرام کلاف بزرگتری از میلگرد را می‌توان بسته‌بندی نمود.

با روش خنک‌کاری آرام، فولادهای کم‌کربن و کم‌آلیاژ فرم‌پذیری و نرمی بیشتری نسبت‌به روش خنک‌کاری استاندارد **Stelmor** از خود نشان می‌دهند که این مزیتی برای مفتول‌کش‌ها و کله‌زنی‌های سرد می‌باشد. فولادهای کم‌کربن این روش دارای مقاومت کششی کمی کمتر از آنهایی هستند که با روش استاندارد **Stelmor** تولید شده‌اند.

فولادهای متوسط کم‌کربن یا متوسط پرکربن متناسب با کاربرد آنها ممکن است مستقیماً برای کوبش مورد استفاده قرار گیرند. این روش خنک‌کاری آرام به همراه هوای فشرده جهت تطابق با

روش استاندارد برای خنک‌کاری فولادهای پرکربن یا سایر رده‌های فولاد نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

خنک‌کاری کُند شده Stelmor

به دنبال دو سیستم قبلی که مورد بحث قرار گرفت، سیستم خنک‌کاری کُند **Stelmor** از لوله‌ها و محفظه آب برای خنک‌کردن میلگرد بین نورد پایانی و قسمت حلقه‌کن و نقاله استفاده می‌کند. اختلافی در روش عملکرد میلگرد برروی نقاله وجود دارد. با این سیستم جدید، یک نقاله با عرشه عایق، دیواره‌ها و درپوش‌های لولایی قابل برداشتن، افت دما در مواد را کاهش می‌دهد. به دلیل سرعت پایین نقاله که حدود ۰/۰۵ متر بر ثانیه می‌باشد وزن کلاف‌های قابل بسته‌بندی سنگین می‌باشد و افت دما به وسیله تشعشع کاهش می‌یابد و بازده خنک‌کاری به کندی ۰/۹ درجه در ثانیه می‌رسد. استفاده از حرارت موجود در میلگرد باعث حذف مشعل‌های گرم‌کننده گردیده و در خنک‌کاری آرام مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل تجمع مقدار زیادی میلگرد برروی نقاله و ابقاء دما به دلیل سرعت کم، تجهیزات با مواد بسیار مقاوم حرارتی طراحی گردیده‌اند.

فرآیند خنک‌کاری کُند مزایای زیادی برای مصرف‌کنندگان میلگرد به همراه خواهد داشت. فولادهای کم‌کربن این فرآیند در مقایسه با فولادهایی که در فرآیند استاندارد تهیه شده‌اند دارای ٤ تا ۱۰ درصد مقاومت کششی کمتری هستند، در نتیجه قابلیت کشش بیشتری خواهند داشت و پس از کشش نیز پسماند شکل‌پذیری بیشتر خواهد بود. به علاوه ضرورت انتخاب دما برای فولاد با ویژگی پایین شیمیایی برای فراهم نمودن مفتول‌کششی نرم، کاهش می‌یابد. فولادهای متوسط کم‌کربن و متوسط پرکربن با این روش خنک‌کاری بدون عملیات پیشگرم حرارتی می‌توانند مستقیماً برای مصارف کوبش استفاده شوند.

از آنجایی که روش خنک‌کاری کُند **Stelmor** می‌تواند با خنک‌کاری هوای پرفشار نیز کار کند، مزایای اصلی روش استاندارد **Stelmor** نیز می‌توانند وجود داشته باشند.

فرآیندهای خنک‌کاری آرام و کُند **Stelmor** در این محدوده‌های زمانی اعمال شده نمی‌توانند به ساختار کروی دست یابند. بهبود خواص و فرم‌پذیری کوبشی سرد در فولاد کربنی مرتبط با به

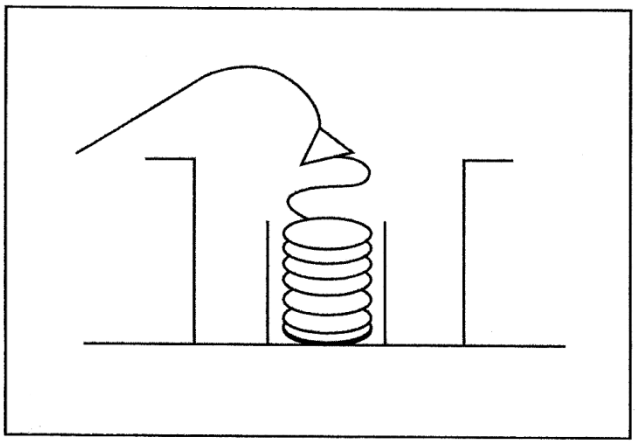
حداکثررسانی تغییر ساختار به فریت اوتکتوئیدی می‌باشد. برای فولادهای آلیاژی تغییر ساختار در دماهای بالاتر در مقایسه با شرایط استاندارد **Stelmor** ایجاد پرلیت و حتی بارزتر از آن ایجاد مغایرت در خواص می‌نماید.

وزن پوسته برای مفتول قطر ۵/۵ میلیمتر در روش استاندارد **Stelmor** ۰/۲ تا ۰/٦ درصد می‌باشد در صورتی که در روش خنک‌کاری آرام و کُند این وزن ۰/٦ تا ۱/۲۵ درصد خواهد بود. وزن و ترکیبات پوسته حاصل شده برروی مفتول در روش خنک‌کاری آرام و کُند برای عملیات زنگ‌گیری مکانیکی و اسیدشویی رضایتبخش می‌باشد.

سایر روش‌های خنک‌کاری

از دهه ۱۹٦۰ تاکنون به غیر از روش **Stelmor** متدهای دیگر خنک‌کاری پیوسته که به طور خلاصه در زیر شرح داده شده‌اند، مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

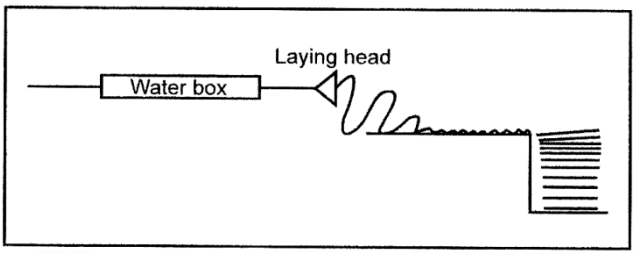
حلقه کردن معمولی ـ این روش قبل از مباحث کنترل خنک‌کاری به کار گرفته می‌شد و مبتنی‌بر ریختن حلقه‌های مفتول برروی هم بود. با روش‌های معمولی (به شکل ۱٦ نگاه کنید) سرعت نهایی محدود خواهد بود. معمولاً با این روش و سرعت بیش از ۲/۳ متر برثانیه شکل کلاف تولید شده نامناسب خواهد شد. میزان خنک‌کاری به مقدار زیادی بین داخل حلقه‌ها و قسمت خارج آنها متفاوت خواهد بود. بنابراین به دلیل تغییرات زیاد فیزیکی کیفیت میلگرد کم خواهد شد. در فولادهای کم‌کربن مقاومت تسلیم و مقاومت کششی خیلی کمی ایجاد می‌گردد. به دلیل غیریکنواختی خنک‌کاری در فولادهای کربن متوسط پرلیت قالبی ایجاد می‌گردد. فولادهای پرکربن دارای پرلیت درشت و فریت حجیم پرواوتکتوئیدی می‌شوند.



شکل۱۶ـ حلقه کردن معمولی

فرآیند دماگ ـ این فرآیند که در شکل ۱۷ نشان داده شده است. سطح میلگرد را مورد سیکل سرد کردن و گرم کردن متوالی قرار می‌دهد. وقتی میلگرد تا زیر دمای شروع مارتنزیت **(Ms)** سرد می‌شود، یک لایه نازک مارتنزیت برروی سطح میلگرد ایجاد می‌گردد. دمای مرکز میلگرد این لایه مارتنزیت سطح را بازپخت می‌کند. مرکز میلگرد آستنیت است و به لایه‌های نازک پرلیت و فریت تغییر ساختار می‌دهد. مارتنزیت بازپخت شده سطح تا حداکثر ۳۳درصد سطح مقطع میلگرد محدود خواهد شد.

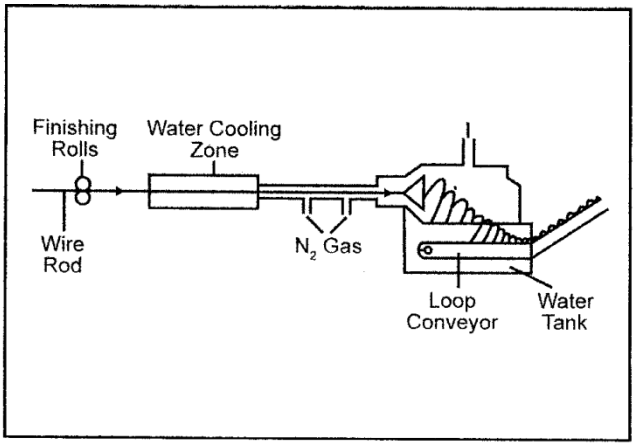
این فرآیند برای فولادهای کربنی ۰/۲ تا ۱درصد و حداکثر عناصر آلیاژی ۱/۷درصد به کار گرفته می‌شود. قطر میلگرد در این فرآیند حداکثر ۱۳ میلیمتر می‌باشد. تغییرات مقاومت کششی در یک کلاف ۱٦۵ مگاپاسکال و تا ۲۰۰ مگاپاسکال در کلاف‌های یک کوره نوردگرم می‌رسد.



شکل۱۷ـ فرآیند **Demag**

فرآیند Tempcor (فرآیند خنک‌کاری و بازپخت) ـ این فرآیند مشابه فرآیند **Demag** است اما کاربرد آن محدود به میلگردهای تقویت شده بتن می‌باشد. بعداز عبور از نورد نهایی، میلگرد وارد ناحیه خنک‌کاری با آب می‌گردد که خنک‌کاری شدید مارتنزیت به‌وجود می‌آورد، در حالی که مرکز آستینیت باقی می‌ماند. در قسمت پایانی وقتی میلگرد بر بستر خنک‌کاری قرار می‌گیرد، ریزساختار نهایی مارتنزیت بازپختی با یک لایه خارجی خیلی مقاوم می‌باشد، در ادامه در یک ناحیه گداز مقاومت رفته رفته به اندازه مقدار مقاومت مرکز میلگرد کاهش می‌یابد. با این روش با استفاده از فولاد کم‌کربن و کم‌منگنز می‌توان به خواص مکانیکی میلگرد آجدار معمولی دست یافت.

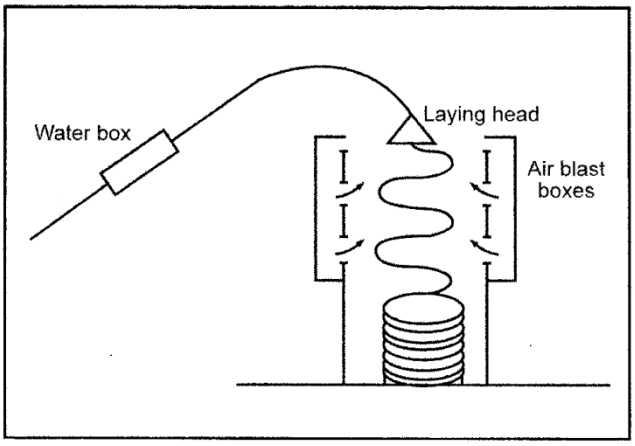
فرآیند Kobe ـ این فرآیند برای تولید فولاد **AISI 1008** با ضخامت پوسته ۳/۵ تا ٤/۵ میکرون با ترکیب **FeO** به طوری که بتوان آن را بدون تمیز کردن کشید، توسعه یافته است. جهت محدود نمودن اکسیداسیون بیشتر، میلگرد سریعاً بعداز حلقه شدن با ورود به مخزن آب، خنک می‌گردد. در نتیجه مقاومت کششی چنین میلگردی ۱۹۳ مگاپاسکال بیشتر از میلگرد خنک شده در روش معمول می‌باشد. فرآیند **Kobe** در شکل ۱۸ نشان داده شده است.



شکل۱۸ـ فرآیند **Kobe** برای خط تولید با پوسته نازک

در عملیات کشش، سطح میلگرد مفتولی که با این روش خنک‌کاری شده است، به دلیل بازمانده‌های پوسته، تیره به نظر می‌رسد. سطح مفتول خشن می‌باشد و زبری سطح حدود دو برابر مفتولی خواهد بود که با عملیات شیمیایی زنگ‌گیری شده باشد. ضخامت پوسته ۵ میکرونی با روانکارهای معمولی باعث گریپاژ دوزه می‌گردد. مقاومت بالا و پیشگیری مؤثر از زنگ‌زدگی استفاده صنعتی از این پروسه را به چالش کشیده است.

فرآیند برج Demag (بازپخت D) ـ این فرآیند برای عملیات پتنت مستقیم طراحی شد و در کارخانه نورد **AB** برای عملیات سایزهای بالاتر از ۸ میلیمتر نصب گردید. میلگرد در این فرآیند تا حدود ۵۰۰ درجه سانتیگراد بعداز آخرین مرحله نورد سرد می‌شد و به وسیله زنجیرهای عمودی از روی دکل (برج) به یک کلاف‌کن ادن‌برن **(Edenborn)** ریخته می‌شد. جریان هوای پرفشار میلگرد را تا دمای ٤٥٠ درجه سانتیگراد خنک می‌کرد. یک نما از این فرآیند در شکل ۱۹ نشان داده شده است. معایب این روش که شبیه معایب خنک‌کاری معمولی هستند شامل محدودیت قطر، محدودیت سرعت و وزن کم کلاف‌ها می‌باشند.



شکل۱۹ـ برج Demag «D-patenting»

فرآیند کشش آسان (ED) ـ مورگارد شامر و سُومی‌تومو فرآیند **ED** را توسعه دادند. بعداز نوردگرم، میلگرد در حمام آب جوش کلاف می‌گردد که خنک‌کاری طی چهار مرحله صورت می‌گیرد: نهفتگی، جوشش لایه‌ای، جوشش هسته‌ای و انتقال گرما. در مرحله اول سطح غوطه‌ور شده میلگرد به سرعت خنک می‌گردد و آب احاطه کننده میلگرد تا دمای جوش گرم می‌گردد. در مرحله دوم یک لایه بخار سطح میلگرد را می‌پوشاند که باعث کاهش نرخ (میزان) خنک‌کاری میلگرد می‌گردد. ضریب انتقال دما کم و اغلب ثابت می‌باشد. در مرحله سوم (بعداز رسیدن میلگرد به دمای بحرانی)، حباب‌ها به شدت از سطح مفتول برمی‌خیزند. اکنون ضریب انتقال دما زیاد است و میزان خنک شدن افزایش می‌یابد. در آخرین مرحله میلگرد به درجه حرارتی می‌رسد که انتقال دما فقط به شکل جابه‌جایی حرارتی **(Convection)** صورت می‌گیرد و در این لحظه ضریب انتقال دما کم می‌باشد.

میلگرد پس از عبور از آخرین مرحله نورد از میان چند اسپری آب فشار قوی عبور می‌کند تا ضمن تمیز شدن سطح درجه حرارت آن نیز به ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد برسد. پس از آن میلگرد وارد ظرفی می‌شود که حاوی آب گرم و مقدار کمی فعال‌ساز سطح می‌باشد. یک نمونه عامل فعال‌ساز الکل‌پلی‌ونیل ۰/۰۵ درصد می‌باشد. پس از تکمیل تغییر شکل کریستالی **(Transformation)**، کلاف از مخزن خارج و برروی نقاله ریخته می‌شود.

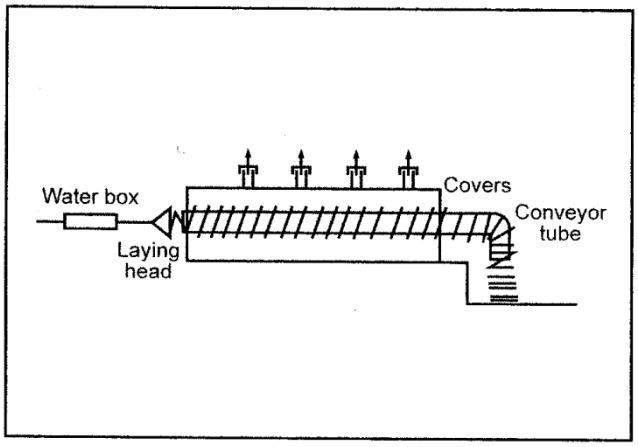
مزایای فرآیند کم حجم بودن، هزینه کم عملیات، نصب آسان، هزینه کم تعمیرات و خواص فیزیکی یکنواخت می‌باشند. دامنه انحراف استاندارد مقاومت کششی برای یک مقاومت متوسط ۱۰۷۶ مگاپاسکالی حدود ۱۹ تا ۲۶ مگاپاسکال می‌باشد. معایب این فرآیند عبارتند از دمای بحرانی آب، از بین رفتن پوسته سطح که ممکن است باعث ایجاد ساختار مارتنزیتی موضعی گردد، وزن کم و سرعت محدود، و اینکه مخزن برای فولاد کم‌کربن می‌بایست تخلیه گردد.

نقاله کشش آسان (EDC) ـ فرآیند **EDC** و سوپر **EDC (SEDC)** فرآیند پیشرفته **ED** می‌باشد. میلگرد بعداز خروج از آخرین مرحله نورد به صورت حلقه در می‌آید و برروی نقاله کوتاهی ریخته می‌شود. این نقاله میلگرد را به نقاله دیگر منتقل می‌کند که از میان مخزن آب گرم

عبور می‌کند (برای فولاد پرکربن) یا برای فولاد کم‌کربن نقاله دوم از میان تونل هوا عبور خواهد کرد.

با این فرآیند دستیابی به کلاف‌های بزرگتر امکان‌پذیر می‌باشد و برای فولادهای کم‌کربن بهبود خواص نیز میسر می‌گردد. مانند فرآیند **ED** دمای آب داغ و وضعیت پوسته سطح ممکن است مشکل‌زا باشند. مارتنزیت موضعی وقتی که دمای آب کمتر از ۸۸ درجه سانتیگراد باشد ممکن است شکل بگیرد. دستگاه‌های این روش در لوگزامبورک و بریتانیا ساخته شده‌اند.

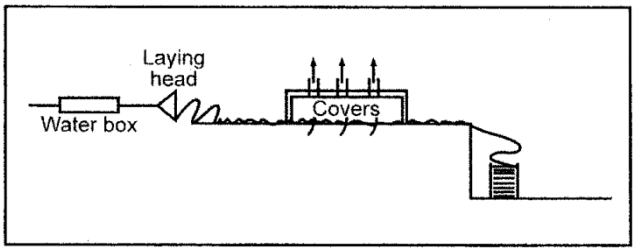
فرآیند Krupp ـ با فرآیند کروپ، میلگرد سریعاً تا دمای ۵۲۱درجه سانتیگراد خنک می‌گردد، از یک سیستم حلقه‌کن افقی عبور نموده و به صورت عمودی برروی نقاله‌ایی به طول ۳۵ متر ریخته می‌شود (به شکل ۲۰ نگاه کنید). هوای فشرده خنک‌کننده دما را ۲۶۰ درجه سانتیگراد پایین می‌آورد. این روش سرعت نورد را به خاطر حرکت یکنواخت میله داغ در ناحیه خنک‌کاری، محدود می‌نماید.



شکل ۲۰ـ فرآیند کروپ

فرآیند Ashlow ـ این روش براساس سیستمی است که توسط شرکت فولاد منچستر توسعه یافته است. خط اصلاح شده **Schloemann** به کار گرفته می‌شود (به شکل ۲۱ نگاه کنید). سیستمی که در پوهانگ کره جنوبی نصب گردید، ممکن است برای فولادهای کم و پرکربن مورد

استفاده قرار گیرد. میلگرد تا دمای ۷۰٤ درجه سانتیگراد خنک می‌گردد و سپس برروی نقاله‌ای روباز به طول ۱۰ متر ریخته می‌شود. حلقه‌ها سپس در دمای حدود ۳۹۸ درجه سانتیگراد در یک ناحیه سرپوشیده به طول ۲۷/٤ متر برروی نقاله در مدت زمان کافی برای کربن به منظور رسوب دادن از فریت، حرکت می‌نمایند و یا در مورد فولادهای پرکربن میلگرد در مدت زمان لازم برای خنک‌کاری با هوای فشرده برروی این نقاله سرپوشیده حرکت می‌نماید.

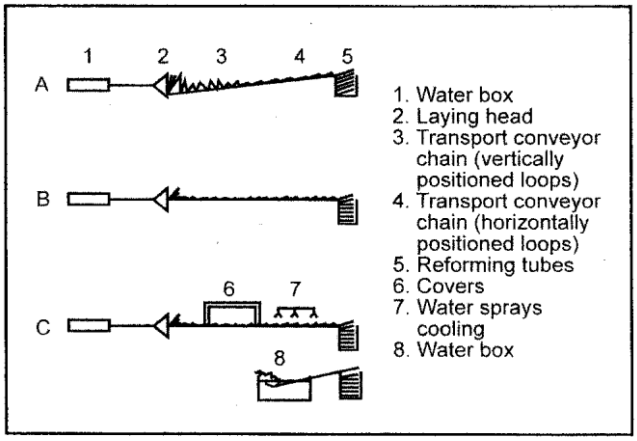


شکل ۲۱ـ فرآیند **Ashlow** (فولاد منچستر)

فرآیند Schloemann ـ شکل ۲۲ سه حالت ممکن برای استقرار این خط را نشان می‌دهد. دمای میلگرد در بخش حقله‌کن به حدود ٦٤۹ درجه سانتیگراد رسیده است که حلقه‌ها می‌توانند به صورت افقی یا عمودی قرار گیرند. نقاله نوع **A** طوری طراحی گردیده است که حلقه‌ها را در ابتدا به صورت عمودی و سپس به صورت افقی حرکت می‌دهد. نقاله نوع **B** برای سرعت خنک‌کنندگی کمتر در نظر گرفته شده است، زنجیرهایی که حلقه‌ها را به صورت عمودی نگاه می‌دارند، حذف شده‌اند. نقاله نوع **C** برای فولادهایی با خنک‌کاری آرام و یا آنهایی که زمان زیادی برای تغییر ساختار نیاز دارند، طراحی گردیده است و به این منظور مجهز به درپوش می‌باشد و در مواقعی که در مرحله کلاف کردن نیاز به دمای پایین باشد، این نقاله مجهز به اسپری آب می‌باشد.

مزایای این فرآیند یکنواختی خواص مکانیکی و وزن کمتر پوسته می‌باشد و محدودیت وزن کلاف فقط مربوط به ابعاد بیلت می‌باشد. معایب این فرآیند سرعت خنک‌کاری پایین در نتیجه

مقاومت کششی پایین‌تر برای فولادهای پرکربن می‌باشد. این فرآیند اخیراً امتیاز همـراه شـدن بـا **Stelmor** را کسب نموده است.



شکل۲۲ـ فرآیند **Schloemann** با روش‌های مختلف کنترل خنک‌کاری

خلاصه

فرآیندهای خنک‌کاری پیوسته در اینجا شرح داده شد که می‌بایست توجه کرد که محصول فرآیند خنک‌کاری **Stelmor** عموماً ریزساختار و خواص آن به یکنـواختی محصـول روش‌هـای پتنـت هوایی و پتنت سربی نخواهد بود، این مطلب با بررسی نقطه به نقطه طول میلگرد یا مفتول کشیده شده محقق می‌گردد. در سال‌های اخیر توسعه دقیق فرآیندهای جداگانه بـه بهبـود قابـل تـوجهی منجر گردیده است و امروزه میلگردهایی با خنک‌کاری کنترل شده، در بسیاری از کاربردهای مهم مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهبود خنک‌کاری هوایی و آبی به مقـدار زیـادی در آینـده نیـاز بـه میلگرد پتنت شده را کاهش خواهد داد.

فصل ۵

عیوب میلگرد

پیشرفت در فولادسازی و عملیات نورد و اجرای کنترل فرآیند در سال‌های اخیر کیفیت مفتول‌های نورد گرم را گسترش داده است. با این حال هنوز عیوبی در میلگردهای نوردگرم اتفاق مـی‌افتـد. بنابراین برای شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد عیوب تشخیص انواع آنها مهم می‌باشد.

شمار زیادی از عیوبی که در این بخش شرح داده خواهند شد عبارتند از:

۱ـ درزها (ترک‌ها)

۲ـ روی هم افتادگی‌ها (Laps)

۳ـ پره یا پلیسه‌ها (Overfill)

٤ـ ورود ذره خارجی به نورد

۵ـ خراش‌ها

٦ـ اثرات غلطک (داغ غلطک)

۷ـ اثرات ترک خوردگی آتشی (ترک خوردگی درحین گرما دیدن)

۸ـ زبری

۹ـ پوسته‌ها

۱۰ـ جدانشینی داخلی

۱۱ـ دِکربورگی سطحی

۱۲ـ سختی موضعی

۱۳ـ آسیب‌های مکانیکی

١٤ـ گرم شکنندگی و فولاد سوخته

۱۵ـ ناخالصی‌های غیرفلزی

١٦ـ به دام افتادن سرباره

درزها (ترک‌ها)

درزها ناپیوستگی‌ها یا ترک‌هایی هستند که از سطح میلگرد به داخل آن نفوذ کرده‌اند. درزها معمولاً در مسیر مستقیم هستند و متناسب‌با محور طولی میلگرد در طول و زاویه نفوذ متغیر هستند.

ریشه‌یابی: درزها در میلگردهای نوردگرم شده ممکن است در هر نقطه از سیکل فولادسازی تا خروج محصول از نورد، ایجاد شوند. در فولادسازی، عیوبی مانند ترک‌های تنشی، سوراخ‌های پوستی، حفره‌های زیرپوستی، زخمک‌های روی بیلت یا شمشال مربوط به نواقص قالب و حفره‌زایی کلی در هنگام ریخته‌گری و انجماد مذاب روی می‌دهند. به دلیل ازدیاد طول در نوردکاری تمامی این عیوب باعث ایجاد درز می‌گردند. در کارخانه نورد، پیش‌گرم نامناسب، شکل نامناسب شیار غلتک‌ها، زبری بیش از حد یا خرابی سطح غلتک‌ها، خراشیدگی راهنماها در مراحل خشن‌کاری نوردهای اولیه، پوسته درشت نوردشده بر سطح محصول و شرایط بد باعث ایجاد درز می‌گردند.

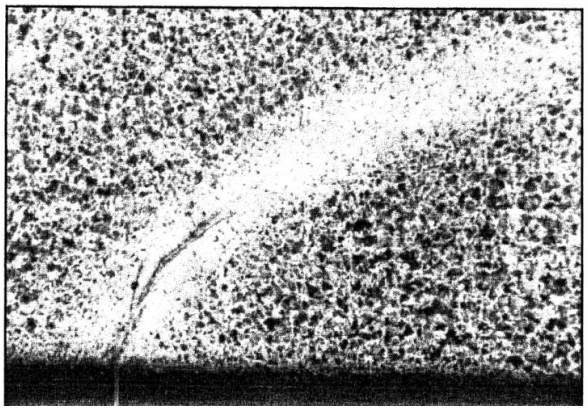
شناسایی: درزهای متوسط و بزرگ بعداز تمیزکاری مکانیکی یا شیمیایی میلگرد با چشم غیرمسلح یا بزرگنمایی کم قابل مشاهده هستند. آزمایش‌های ساده فشاری یا پیچشی بدون پوسته‌گیری اولیه،درزها را آشکار می‌سازد. همچنین تست‌های مگنافلاکس، چاق‌سازی گرم و سرد و جریان گردابی نیز می‌توانند برای بازرسی درزها مورد استفاده قرار گیرند.

این آزمایش‌ها برای تعیین مکان درزها مفید می‌باشند، اگرچه عمق و جهت درزها می‌بایست جداگانه مشخص گردند. سوهانکاری و سنگ‌زنی اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما نتایج خیلی دقیق می‌توانند به وسیله بررسی ریزساختار به دست آیند زیرا یک نمونه پولیش و اچ شده اطلاعاتی راجع‌به منشاء درز را می‌تواند در اختیار قرار دهد.

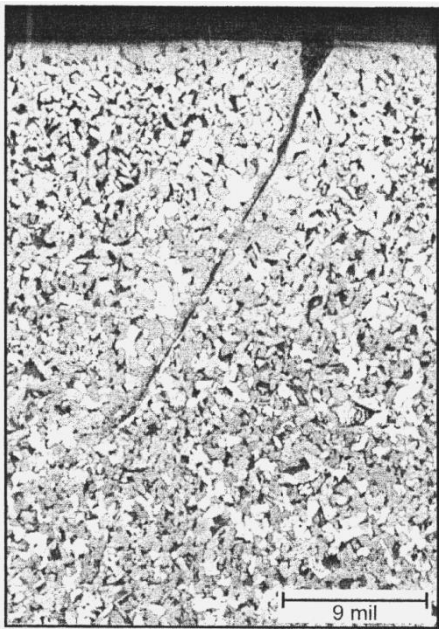
درزهای بیلت اغلب توسط پوسته‌ها و درجه خاصی از دِکربورگی دو طرفه ترک، پر می‌گردند. وجود پوسته و یک لایه دِکربورگی حاکی از موجود بودن نقص درحین پیش‌گرم قبل از نوردکاری بوده است. درزهای نورد عموماً نازک‌تر و بدون پوسته و دِکربورگی مربوط به دمای بالای حین نوردکاری، می‌باشند.

سوء تعبیر: درزها ممکن است با روی هم افتادگی، خراش‌ها یا خط‌های عمیق، بقایای پوسته‌ها، ناخالصی‌ها یا حتی محبوس شدن پوسته، اشتباه گرفته شوند.

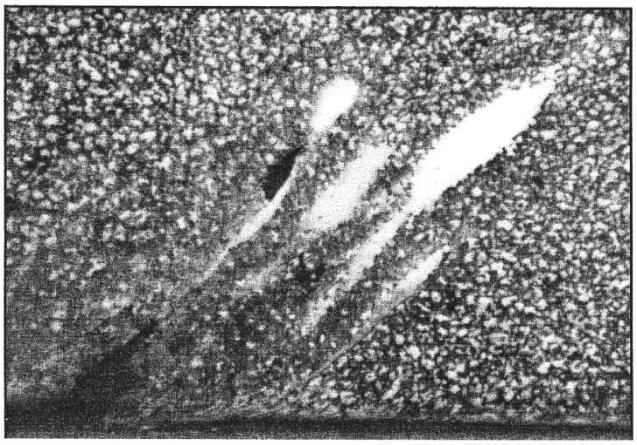
شکل ۱ و ۲ درزهای طولی بیلت را نشان می‌دهد که با پوسته سطحی پرشده و به سمت مرکز بیلت جوش‌خورده است. دِکربورگی دو طرف درز نشان می‌دهد که درز قبل از پیش‌گرم و نوردگرم وجود داشته است. پوسته‌ای که از ابتدا وجود داشته می‌تواند باعث دِکربورگی داخلی گردد.



شکل۱ـ درز طولی بیلت

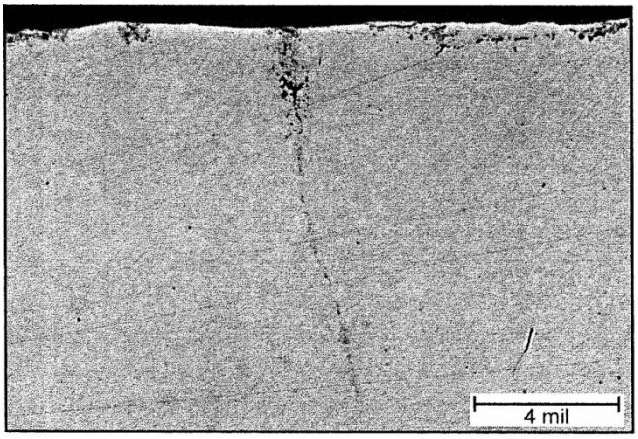


شکل۲ـ درز طولی بیلت



شکل۳ـ درزهای طولی ناشی از سوراخ‌های سطحی

سوراخ‌های زیرپوستی منجر به درز درحین تغییر شکل



شکل۴ـ درز طولی نورد برروی بدنه بیلت

روی‌هم افتادگی‌ها: ناپیوستگی‌های مواد هستند که معمولاً به صورت طولی و تحت زاویه‌ای با سطح مفتول ایجاد می‌شوند. آنها معمولاً از نظر شکل کاملاً طویل و یکنواخت هستند.
یک یا چند عیب ممکن است به طور یکنواخت برروی محیط میلگرد مشاهده گردند، گاهی اوقات آنها به صورت خطوط موازی می‌باشند.

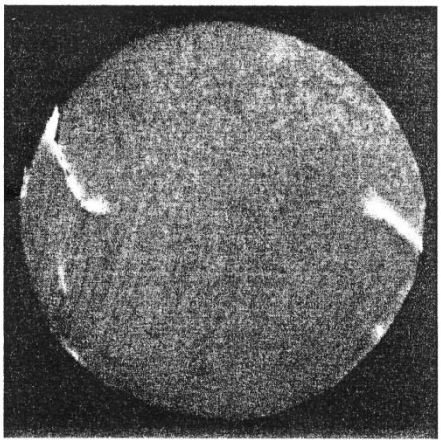
ریشه یابی: نورد پلیسه یا پره رایج‌ترین علت روی‌هم افتادگی‌ها **(laps)** می‌باشد. در عملیات نورد، ماده از فاصله بین غلتک‌های نورد بیرون می‌زند و به صورت پره برروی سطح میلگرد ظاهر می‌گردد که در مرحله بعدی نورد برروی سطح میلگرد نورد می‌گردد. در عملیات نورد وقتی کاهش خیلی زیاد باشد یا طراحی نورد غلط باشد، پره برروی میلگرد ایجاد می‌گردد. همچنین روی‌هم افتادگی ممکن است در حالتی که در نورد پرشدن کامل مقطع صورت نگیرد اتفاق بیافتد به‌طوری که ناحیه لاغری در سطح مقطع ایجاد گردد. راهنماهایی که به صورت بد قرار گرفته باشند می‌توانند باعث به وجود آمدن روهم افتادگی در یک طرف مقطع باشند.
پره‌های ابتدا و انتها می‌توانند باعث روهم‌افتادگی باشند. در نوردهای چند مرحله‌ای پیوسته، حتی با تنظیمات دقیق در نوردهای اولیه خشن‌کاری نمی‌توان از ایجاد پره‌های انتهایی یا ابتدایی میلگرد اجتناب کرد. روی هم افتادگی‌ها همچنین می‌توانند به دلیل غیریکنواختی گسترش یافته در ارتباط

با نوسانات شدید در دمای نوردکاری، عیوب ماده از قبیل مک‌های لوله‌ای، ناخالصی‌ها، آخال‌ها مواد غیراصلی و غیره به وجود آیند. این عیوب باعث ممانعت در رفتار عادی تغییر شکل می‌گردند.

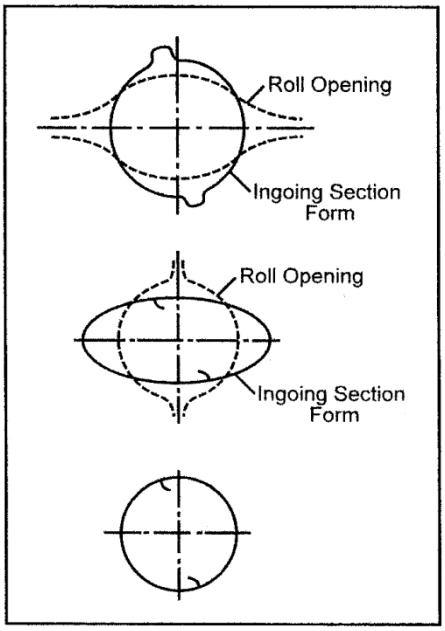
شناسایی: **آزمون‌هایی که قبلاً به آنها اشاره گردید مانند پوسته‌گیری، پیچش، فشار ساده، مگنافلاکس و جریان گردابی برای بازرسی و تعیین عمیق روی‌هم افتادگی‌ها مفید می‌باشند. گاهی اوقات تشخیص روی‌هم افتادگی از سایر عیوب مشابه، مانند درزها مشکل خواهد بود. پیکربندی و آرایش نقص‌ها معمولاً روی‌هم افتادگی را از درزها تمیز می‌دهد. روی‌هم افتادگی‌ها به صورت خطوط موازی یا غیرپیوسته به طور یکنواخت تحت زاویه‌ای برروی محیط میلگرد ظاهر می‌گردند. آنها اغلب در لبه‌های عیب در نزدیکی سطح میلگرد دِکربورگی را به نمایش می‌گذارند.**

سوء تعبیر: **روی‌هم افتادگی ممکن است با درزها، خراش‌ها یا سایش‌ها، بقایای پوسته‌ها یا گرم‌شکنندگی‌ها اشتباه گرفته شوند.**

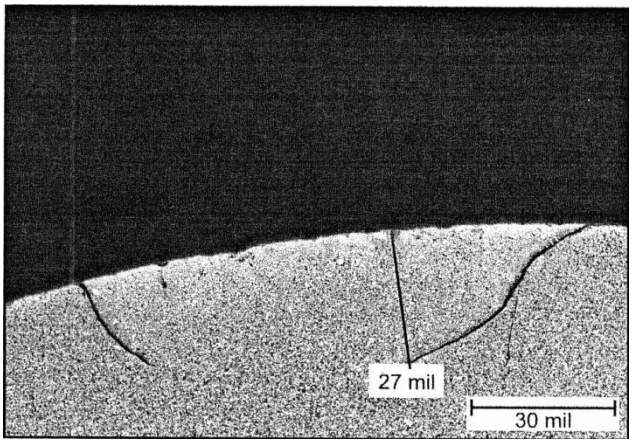
شکل ۵ روی‌هم افتادگی دو طرف مقابل سطح میلگرد را نشان می‌دهد. ماده در مجاورت عیب دِکربوره شده است. عیب در اثر ایجاد پرده در مراحل خشن‌کاری نورد به وجود آمده است.



شکل۵ ـ روی‌هم افتادگی در اثر ایجاد پرده در
مراحل خشن‌کاری نورد



شکل۶ـ روی‌هم افتادگی در اثر ایجاد پره در مراحل خشن‌کاری نورد

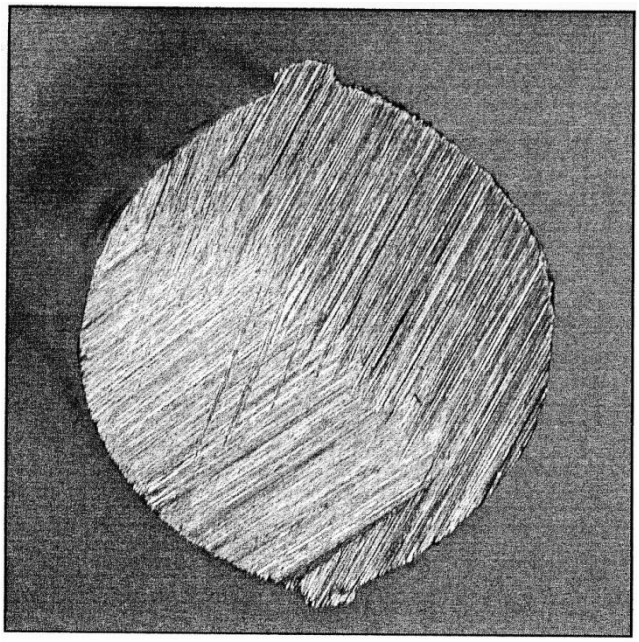


شکل۷ـ روی‌هم افتادگی در اثر نورد تحت زاویه نسبت‌به سطح میلگرد

پره‌ها (پلیسه‌ها)

پره‌ها برآمدگی‌های نازک فلز هستند که به صورت طولی در امتداد محور میلگرد به‌وجود می‌آیند.

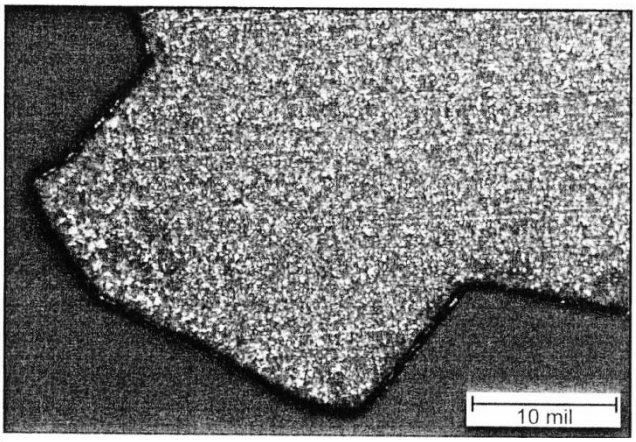
ریشه‌یابی: بیرون‌زدگی نورد نهایی به دلیل تنظیم نامناسب غلطک می‌تواند باعث ایجاد پره‌های یکنواخت در محیط میلگرد گردد. اگر فقط یک پره برروی میلگرد وجود داشته باشد، اصطلاحاً آن را «خارج از سوراخ» **(off-the-hole)** می‌نامند که اغلب به دلیل خارج از مرکز قرار گرفتن راهنمای نورد به وجود می‌آید. پره‌ها ممکن است در تمامی طول کلاف وجود داشته باشند. وقتی ماده‌ای در خط نورد چند مرحله‌ای پیوسته نورد می‌گردد، پره‌ها اغلب در انتها و ابتدای کلاف به دلیل کشش در میلگرد شکل می‌گیرند. سروته پره‌دار کلاف می‌بایست قطع گردند. از بین رفتن یا به هم پیوستگی پره‌ها و تغییر در ضخامت آنها وقتی به وجود می‌آید که نوسانات شدیدی در دمای نوردکاری وجود داشته باشد. جدانشینی‌های درشت، مک‌های لوله‌ای و ناخالصی‌های بزرگ می‌توانند علت پره‌هایی با شکل‌ها و طول‌های مختلف باشند.



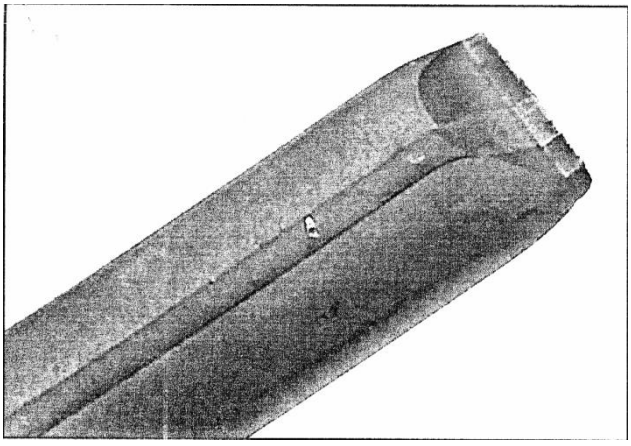
شکل۸ ـ پره‌ها روی میلگرد

شناسایی: پره‌ها با چشم غیرمسلح قابل تشخیص می‌باشند. قطع یا برش مقطع نمونه برای نمایش عیوب داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در میلگردهای قطور آزمون التراسونیک نیز می‌تواند عیوب را آشکار سازد.

سوء تعبیر: پره‌ها با عیوب دیگر اشتباه گرفته نمی‌شوند.



شکل۹ـ پره‌ها روی میلگرد



شکل۱۰ـ پره‌ها روی میلگرد

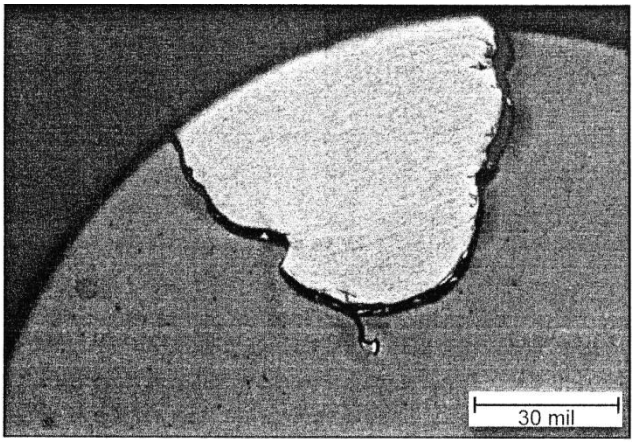
ورود ذره ناخالصی به نورد

این نوع عیب وقتی روی می‌دهد که جسم خارجی با انواع و سایزهای مختلف همراه میلگرد نورد شوند.

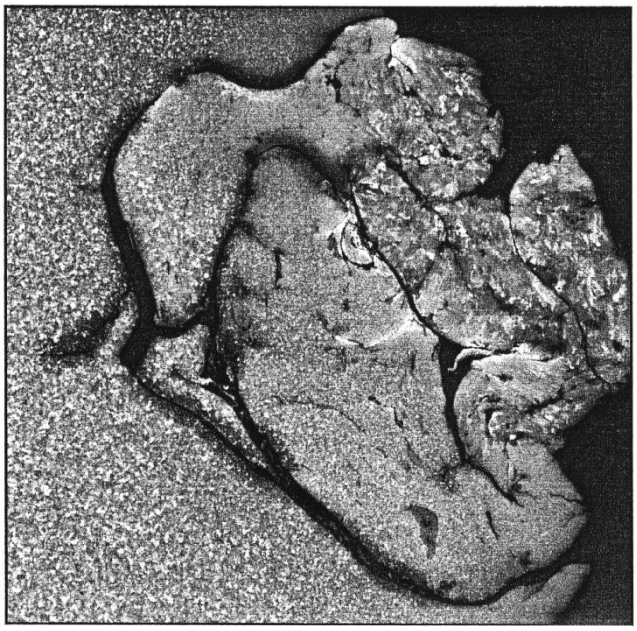
ریشه‌یابی: در هنگام نورد گرم، ماده اولیه ممکن است با موادفلزی یا غیرفلزی تماسی داشته باشد. پوسته اولیه (پوسته کوره که قبل از عملیات نوردکاری تمیز نشده باشد) یا چیزهای خارجی مانند سیم‌ها یا تسمه‌های بسته‌بندی یا موادی که برای جداسازی گریدهای مختلف در کوره مورد استفاده قرار می‌گیرند به غلطک مرحله اول نورد می‌چسبند. به‌علاوه راهنماها ممکن است گشاد یا شکسته شوند و محصولات نیمه تمام منشاء پوسته باشند، تراشه‌هایی از محصول نورد شده جدا گردد یا باقی‌مانده پوسته‌ها در راهنماها کنده شوند. این ذرات جدا شده ممکن است در سطح میلگرد جاسازی گردند یا در هنگام نورد به ماده‌اولیه جوش فلزی بخورند که باعث به وجود آمدن عیوب حین نورد می‌شوند.

شناسایی: ورود اجسام به نورد می‌تواند با چشم غیرمسلح و یا بزرگنمایی کم قابل رویت باشد. تست میکروسکپی یا آنالیز شیمیایی جسم خارجی می‌تواند منشاء آن را تعیین نماید.

سوء تعبیر: عیب ورود جسم خارجی به نورد با عیوب دیگر نمی‌تواند اشتباه گرفته شود.



شکل۱۱ـ ورود جسم خارجی به نورد



شکل۱۲ـ ورود جسم خارجی به نورد

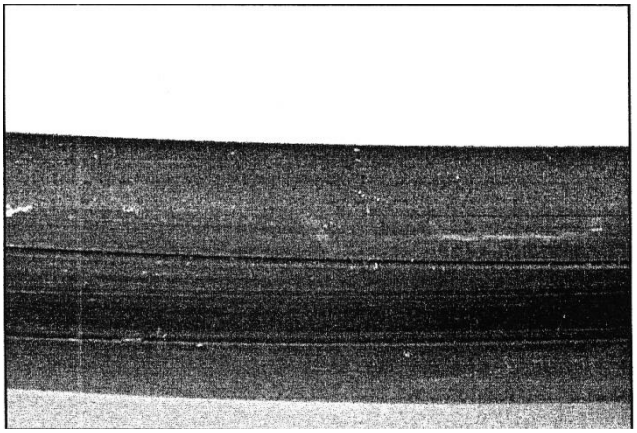
خراش‌ها

خراش‌های نورد، شیارها یا فرورفتگی‌های شخم گونه‌ای هستند که همیشه در طول میلگرد به‌وجود می‌آیند. شکل و اندازه آنها به مقدار زیادی وابسته به نوع خراش می‌باشد. خراش‌ها ممکن است از جزیی، تیز و دندانه‌های ترک مانند تا بزرگ، کانال شکل و با لبه‌های روی‌هم افتاده، متغیر باشند.

ریشه‌یابی: توسط اشیاء برنده یا نوک تیز خراش‌ها برروی میلگرد ایجاد می‌گردند. برای مثال؛ راهنماهای بدتراش خورده، مستعمل یا شکسته می‌توانند باعث خراش‌ها گردند و یا سطح ناصاف راهنما در مجاورت پوسته یا موادخارجی می‌تواند باعث خراش گردد. تکه‌های میلگرد که در راهنماهای ورودی گیر افتاده‌اند، به مانند سایش در راهنماهای ثابت و ورودی‌ها درحین نوردکاری می‌توانند این نوع عیب را باعث شوند. خراش‌های ناشی از مراحل اولیه نورد در مراحل بعدی می‌توانند غلطک خورده و نورد گردند.

شناسایی: خراش‌ها با چشم غیرمسلح یا بزرگنمایی کم حتی برروی میلگردهای پوسته‌دار قابل بازرسی هستند، اگر چه بعداز پوسته‌زدایی راحت‌تر دیده می‌شوند. برخلاف درزها یا روی هم افتادگی‌ها، خراش‌ها اغلب در تست پیچش و چاق‌سازی **(Upseting)** باز می‌شوند.

سوء تعبیر: خراش‌های روی داده بر میلگرد در آخرین مرحله کاهش قطر در نورد نمی‌تواند با عیوب دیگر اشتباه گرفته شود. در حالی که در مراحل اولیه نورد خراش‌ها ممکن است شبیه درزها یا روی‌هم افتادگی‌ها به نظر آیند.



شکل۱۳ـ خراش پیوسته برروی میلگرد

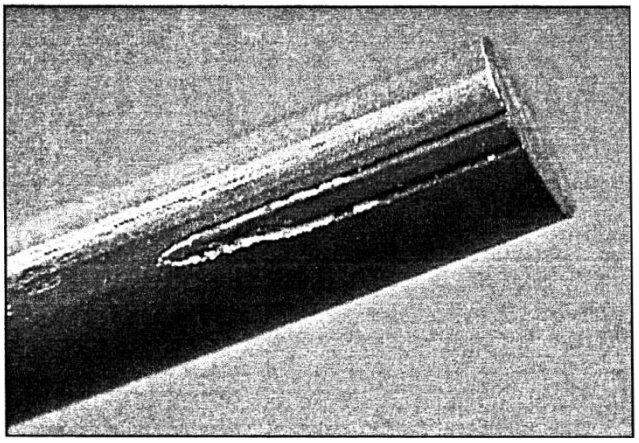
اثرات غلطک

اثرات غلطک برآمدگی یا فرورفتگی‌های متناوبی هستند که کاملاً در شکل و اندازه متغیر می‌باشند.

ریشه‌یابی: فرورفتگی‌های غلطک‌های نورد ناشی از آسیب کارگرم یا نصب و راه‌اندازی باعث ایجاد برآمدگی در سطح میلگرد می‌گردند. چسبیدن پلیسه‌های ریز یا تراشه‌ها یا پوسته‌های باقی‌مانده برروی غلطک‌ها می‌توانند فرورفتگی در میلگرد نورد شده ایجاد کنند. زنجیرهای مورد استفاده در سیستم بسته‌بندی و تسمه‌کشی نیز ممکن باعث ایجاد فرورفتگی در میلگرد گردد.

شناسایی: این عیب معمولاً با چشم غیرمسلح یا بزرگنمایی برروی میلگردهایی با پوسته یا پوسته‌گیری شده قابل بازرسی و ردیابی می‌باشد.

سوء تعبیر: اثرات غلطک می‌تواند با اثرات ترک‌خوردگی گرمایشی یا گرم شکنندگی اشتباه گرفته شود.



شکل۱۴ـ اثرات غلطک یا راهنما برروی میلگرد

اثرات ترک‌خوردگی درحین گرما دیدن

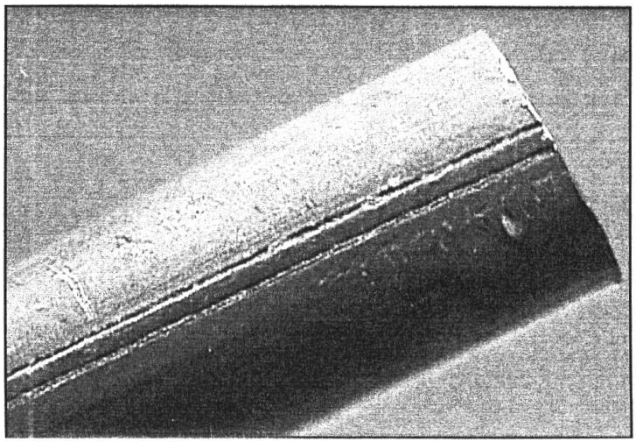
اثرات ترک‌خوردگی درحین گرما دیدن برآمدگی‌های متناوب و عمود بر محور نورد هستند.

ریشه‌یابی: درحین نوردگرم، سطوح غلطک‌ها به‌طور پیوسته گرم و سرد می‌شوند. اگر غلطک‌ها از جنس نامناسب ساخته شده باشند یا خنک‌کاری نامناسب باشد، ترک‌های تنشی در شیار غلطک‌ها به‌وجود خواهد آمد. خنک‌کاری مناسب به همراه تعویض و اصلاح به موقع غلطک‌ها می‌تواند ترک‌های تنشی را به حداقل برساند.

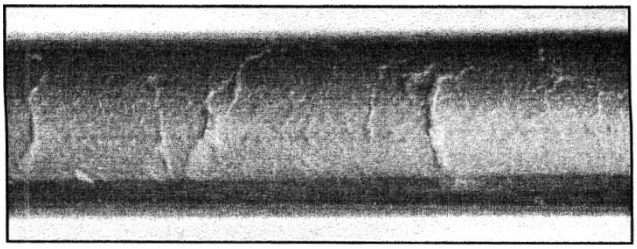
فرورفتگی‌ها برروی سطح غلطک باعث برآمدگی‌های مربوطه برروی محصول نوردشده می‌گردد. اگر چه اثرات ترک‌خوردگی درحین گرما دیدن ناشی از مراحل اولیه نورد در مراحل بعدی هموارتر می‌شوند، آنها می‌توانند منجر به عیوبی از قبیل درزها، روی‌هم افتادگی‌ها یا پلیسه‌ها گردند.

شناسایی: به دلیل فرم مشخصه‌شان با چشم معمولی یا با کمی بزرگ‌نمایی قابل بازرسی هستند.

سوء تعبیر: اثرات ترک‌خودرگی درحین گرما دیدن ممکن است با اثرات غلطک (داغ غلطک) اشتباه گرفته شوند.



شکل۱۵ـ اثر راهنما یا غلطک برروی میلگرد



شکل۱۶ـ نمونه‌های اثرات ترک‌خوردگی حرارتی برروی غلطک‌های نهایی تحت زاویه ۹۰درجه با محور نوردکاری

زبری

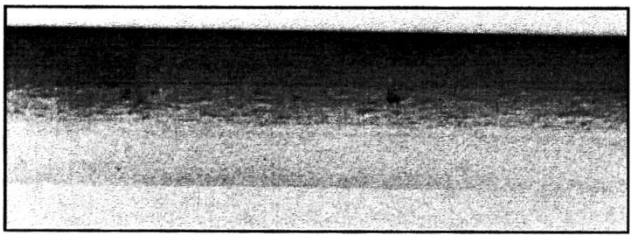
فرورفتگی و یا برآمدگی‌های نامنظم پیوسته مکرر سطح میلگرد به عنوان زبری شناخته می‌شوند.

ریشه‌یابی: یک سطح زبر میلگرد ناشی از فرسایش شیار غلطک می‌باشد، به‌ویژه در مرحله نورد پایانی. یک سطح صاف بعداز نورد نیز به دلیل سرعت کم خنک‌کاری و ایجاد پوسته ضخیم

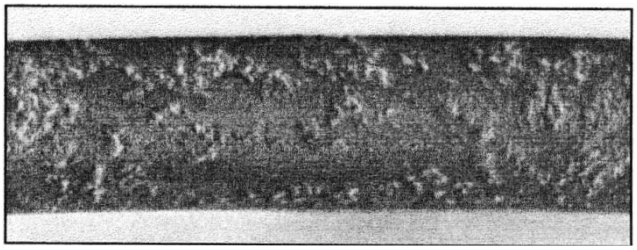
اکسید، تبدیل به سطح زبر می‌گردد. خوردگی و زنگ در اثر انبار کردن در محیط مرطوب و خورنده می‌تواند باعث زبری سطح گردد.

شناسایی: زبری سطح برروی نمونه‌های پوسته‌گیری شده به راحتی با چشم معمولی و یا بزرگنمایی کم قابل بازرسی هستند. درجه زبری سطح با آزمایش میکروسکپی می‌تواند تعیین گردد یا به وسیله پروفیلومتری لیزری سه بعدی اندازه‌گیری مقداری گردد.

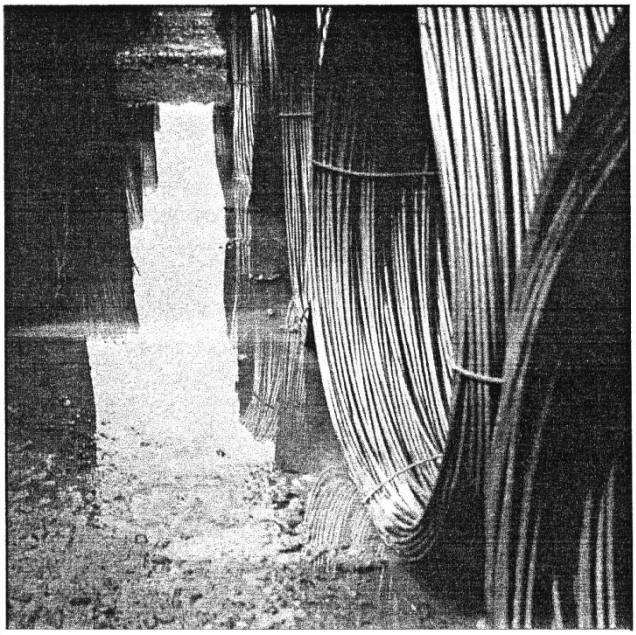
سوء تعبیر: زبری با سایر عیوب نمی‌تواند اشتباه گرفته شود.



شکل۱۷ـ زبری به دلیل فرسایش غلطک در مراحل اولیه نورد



شکل۱۸ـ زبری برروی میلگرد مربوط به خوردگی دراثر زمان زیاد در معرض هوا بودن



شکل۱۹ـ کلاف میلگرد انبار شده در محیط خورنده

پلیسه Silver (Shell)

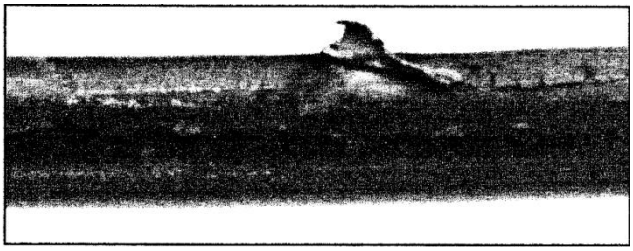
پوسته یا پلیسه یک نقص می‌باشد که عبارت است از یک برآمدگی خیلی نازک و طویل که از یک سر به صورت شل به سطح فلز چسبیده است. پلیسه‌ها در پروسه نورد تا خورده و به سطح میلگرد نورد می‌گردند. آنها در شکل و اندازه متغیر هستند، و پوسته اکسید یا مواد غیرفلزی معمولاً فضای بین میلگرد و پلیسه را پر می‌کند.

ریشه‌یابی: پلیسه‌ها به دلیل پاشش در هنگام ریخته‌گری شمش، یا توسط مکُ‌های گازی نزدیک سطح، به‌وجود می‌آیند. از طرفی پلیسه‌های به وجود آمده در مسیر مستقیم می‌تواند نتیجه پاره شدن یا لایه‌برداری از عیوب سطحی شمش‌ها، بیلت‌ها یا محصولات نیمه تمام باشد که خود عیوب محصولات نیمه تمام ناشی از لیز خوردن مواد به درز بین غلطک‌ها یا فرسایش بیش از اندازه آنها می‌باشد. ناخالصی‌های غیرفلزی زیر سطحی شمش یا بیلت ریخته‌گری شده می‌توانند شکسته شوند و باعث ایجاد پلیسه گردند. درزهای عرضی و طولی ناشی از عیوب ریخته‌گری یا دمای نامناسب نورد نیز می‌تواند در مراحل بعدی نورد موجب پلیسه گردد. برای بهبود سطح

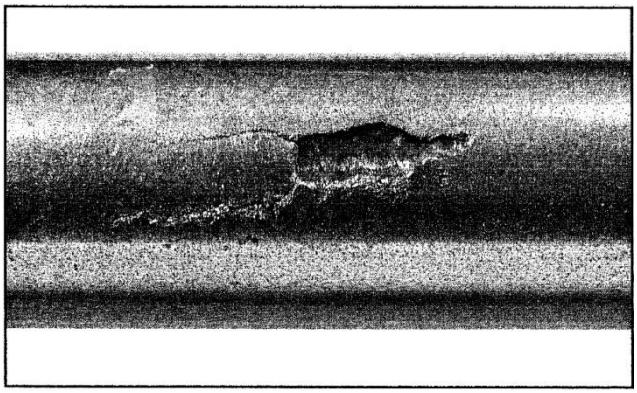
نامناسب به وسیله حذف عیوب توسط مشعل گازی، تراشه‌برداری یا سنگ‌زنی می‌توان عیوبی را که منجر به ایجاد پلیسه می‌گردد، برطرف نمود.

شناسایی: معمولاً پلیسه‌ها را برروی میلگردهای با پوسته یا پوسته‌گیری شده با چشم غیرمسلح می‌توان تشخیص داد. آزمایش‌های آپ‌ست، پیچش یا مگنافلاکس می‌توانند پلیسه‌های خیلی ریز را نمایان سازند.

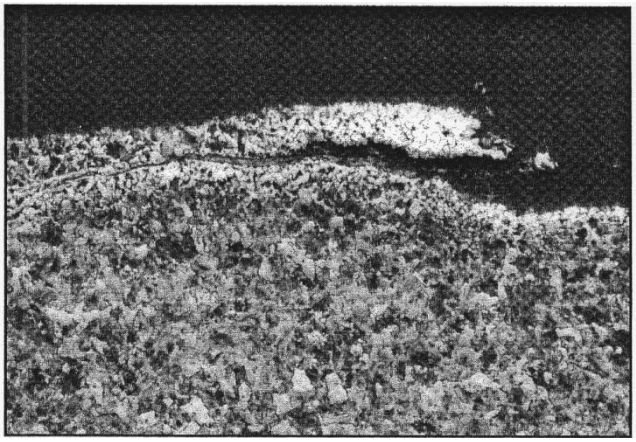
سوءتعبیر: پلیسه‌ها ممکن است با روی هم افتادگی‌ها یا گرم شکنندگی‌ها اشتباه گرفته شوند، از این‌رو معمولاً آزمایش متالوگرافی می‌تواند علت ریشه‌ایی عیب را مشخص نماید.



شکل ۲۰ـ بیرون‌زدگی بزرگ پلیسه و روی‌هم افتادگی کوچک‌تر برروی میلگرد



شکل ۲۱ـ چاله ناشی از جدا شدن پلیسه از میلگرد



شکل۲۲ـ پلیسه جزیی که با پوسته و اکسید پر شده است و در اثر نورد جوش خورده است

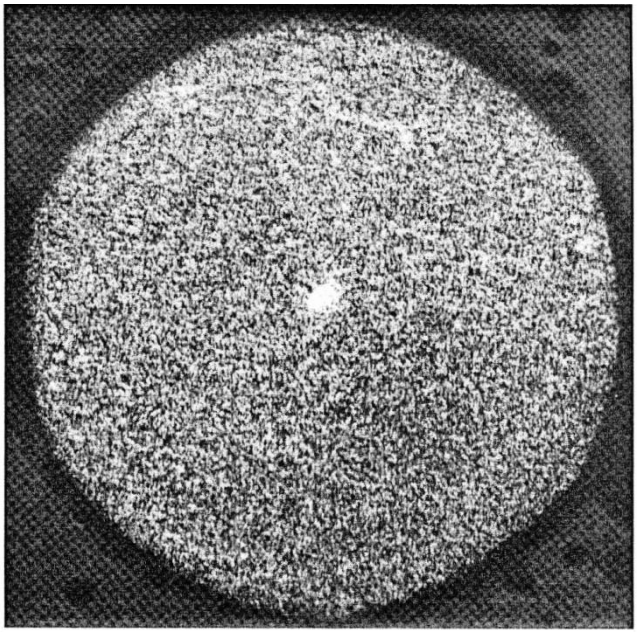
جدانشینی داخلی

جدانشینی داخلی اختلافی است بین ترکیبات شیمیایی موجود با ترکیبات اسمی در درون میلگرد.

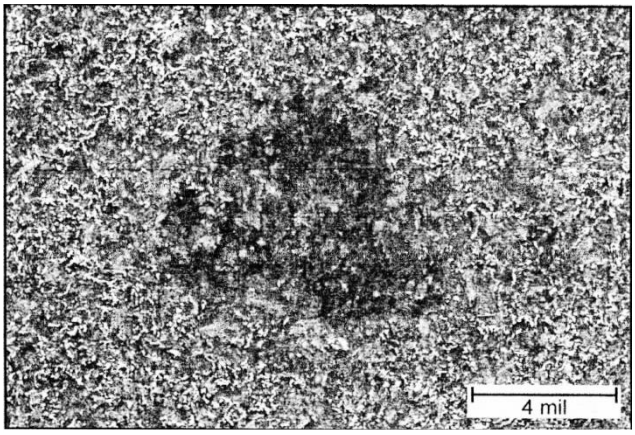
ریشه‌یابی: درحین سفت شدن مذاب، تمرکز یا غلظت اجزاء محلول در فلز مذاب به درجه حرارت بستگی دارد. با کاهش درجه حرارت، (در سطح) غلظت اجزاء در فلز منجمد شده اولیه کمتر از فاز مایع باقی‌مانده می‌باشد. بنابراین فلز مایع سفت شده نهایی در مرکز بیشترین تمرکز و غلظت اجزاء را دارد. این فرآیند را فاز جدانشینی یا جدایش فاز می‌نامند. به‌ویژه، فسفر، گوگود، کربن و بسیاری از اجزاء آلیاژ مستعد جدانشینی و جدایش فاز در مرکز بیلت یا شمش ریخته‌گری شده می‌باشند. بنابر اهداف کاربرد مواد، این‌گونه جدانشینی می‌تواند مضر باشد.

شناسایی: آزمون ماکروسکپی مقاطع طولی و عرضی جدانشینی یا جدایش فاز را آشکار می‌سازد. استفاده از آزمون میکروسکپی بسیار مفیدتر خواهد بود. آزمون‌هایی با اچ‌کاری عمیق (تمیز کردن با اسید) برای اجزاء خاص به کار گرفته می‌شوند. برای مثال آزمایش نقش گوگرد (Sulfur Prints) برای نشان دادن جدانشینی گوگرد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سوء تعبیر: جدانشینی یا جدایش فاز مرکزی ممکن است با مک‌ها در هنگام مشاهده مقطع برش یا شکستگی اشتباه گرفته شود.



شکل۲۳ـ نمایش جدانشینی مرکزی میلگرد



شکل۲۴ـ جدانشینی برروی میلگرد

دِکربورگی سطحی

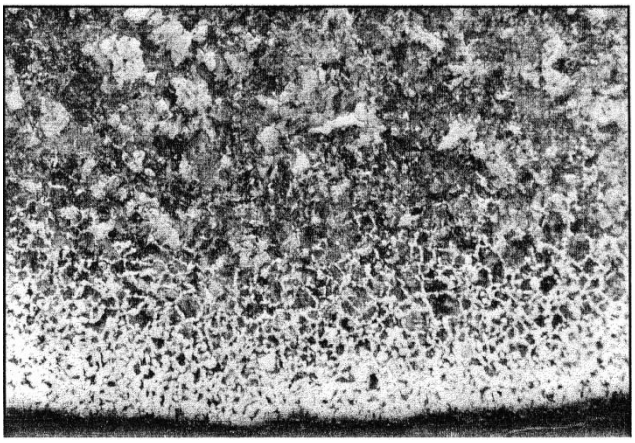
دِکربورگی سطحی از بین رفتن کربن لایه سطحی آلیاژ به دلیل واکنش یک یا چند ماده شیمیایی در تماس محیطی با سطح می‌باشد. یک ناحیه دکربوره شده ممکن است به صورت دِکربورگی

کلی و یا جزیی طبقه‌بندی گردد. دِکربورگی کلی وقتی روی می‌دهد که هیچگونه کربنی وجود نداشته باشد درحالی که دِکربورگی جزیی به معنی کاهش میزان کربن در آن نامیده می‌باشد.

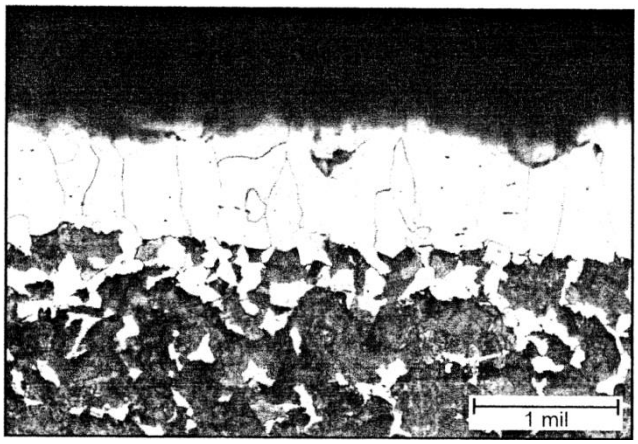
ریشه‌یابی: دِکربورگی سطحی در برخی عملیات حرارتی که در محیط اکسیدکننده صورت گیرد، طبیعی خواهد بود. زمان حرارت طولانی غیرنرمال در دمای بالا یا هوای زیاد موجود در کوره از بین رفتن کربن سطح میلگرد را تسریع می‌کند. ترکیبات اتمسفر کوره از قبیل رطوبت می‌توانند با کربن فولاد واکنش انجام داده و به دکربورگی شتاب دهد. اکسیژن اضافی در اتمسفر کوره، دما و زمان عملیات حد تخلیه کربن و عمق ناحیه فقیر را تعیین می‌نماید.

رد‌یابی: دِکربورگی کلی را می‌توان با چشم غیرمسلح برروی نمونه‌هایی که کار برروی آنها انجام نشده است تشخیص داد ولی برروی نمونه‌هایی که سخت‌کاری شده‌اند بسیار راحت‌تر می‌توان این دکربورگی را تشخیص داد. اندازه و عمق سطح دکربوره شده را می‌توان با آزمایش متالوگرافیکی یا آنالیز شیمیایی سطح از قبیل **(AES)** ، **(XPS)** و **(SIMS)** قابل تعیین نمود.

سوء تعبیر: دِکربورگی سطح با نوع دیگر عیوب قابل اشتباه نمی‌باشد.



شکل۲۵ـ دِکربورگی جزیی سطح میلگرد



شکل۲۶ـ دِکربورگی کلی برروی فولاد فنری

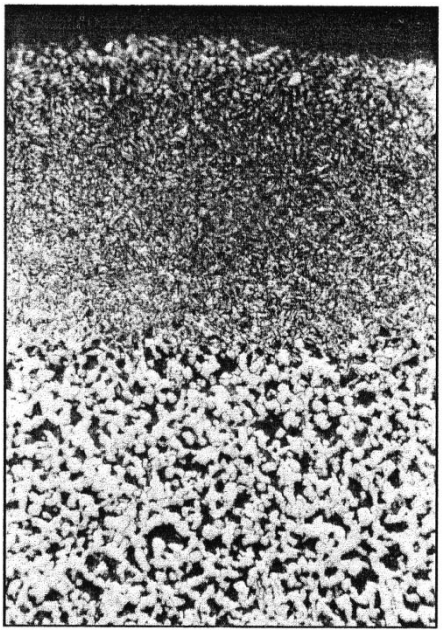
سختی موضعی

عیوبی برروی میلگرد که ناشی از شکل‌گیری ریزساختار نامناسب سخت مانند مارتنزیت یا باینیت می‌باشد را سختی موضعی می‌نامند.

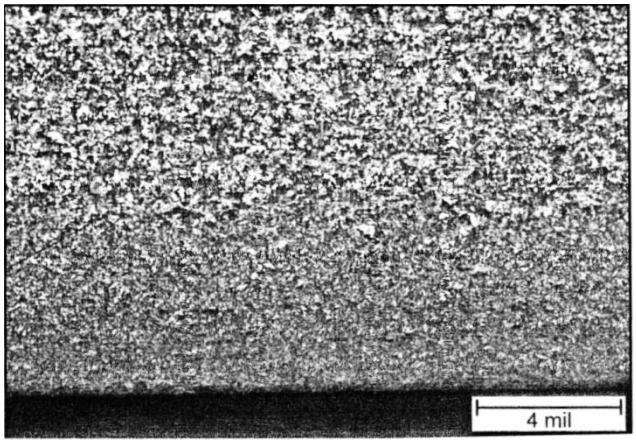
ریشه‌یابی: در فولادهای متوسط و پرکربن، یک لایه خیلی نازک پرلیت جهت دستیابی به مقاومت کششی بالا و شکل‌پذیری خوب، مطلوب می‌باشد. در عملیات نوردگرم پس از آخرین مرحله نورد، خنک‌کاری نسبتاً سریعی جهت دستیابی به این ریزساختار ضروری می‌باشد. بنابراین اگر به دلیل تنظیمات غیرصحیح فرآیند خنک‌کاری، میلگرد خیلی سریع خنک گردد، باینیت یا مارتنزیت در مقطع میلگرد به طور موضعی می‌توانند شکل بگیرند. این ترکیبات سخت در ریزساختار باعث شکست در مرحله کشش مفتول می‌گردد.

شناسایی: سختی موضعی برروی سطح میلگرد قابل شناسایی نمی‌باشد. آزمایش متالوگرافیکی و آزمون میکروهاردنس (ریزسختی) برای تعیین سختی موضعی به‌کار گرفته می‌شوند. سختی موضعی در تست‌های خم، پیچش یا تست کشش موجب ترد گسیختگی می‌شود. شکست‌های ترد عدم تغییر شکل پلاستیکی یا تغییر شکل کم را نشان می‌دهد و ممکن است سطح تیره و بلوری را به نمایش بگذارد.

سوء تعبیر: با استفاده از آزمایش متالوگرافیکی و آنالیز دقیق شکست‌نگاری، سختی موضعی به طور غیرقابل اشتباه قابل شناسایی هستند.



شکل۲۷ـ نقاط سخت‌بر سطح مفتول به دلیل خنک‌کاری خیلی سریع



شکل۲۸ـ نقاط سخت موضعی برروی میلگرد پرکربن

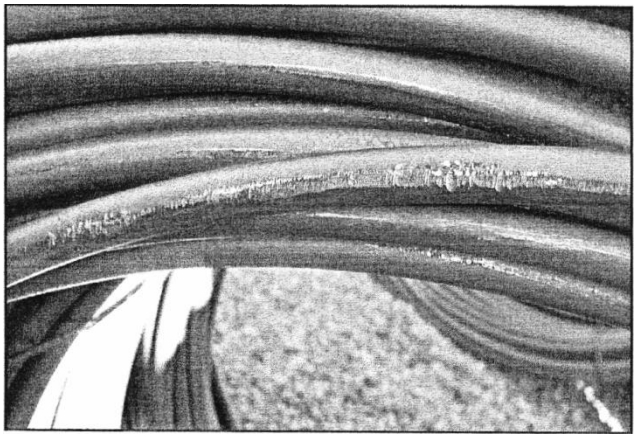
آسیب‌های مکانیکی

خط‌ها، سایش‌ها، برش‌ها و شیارها بر سطح مفتول و آسیب‌های سطح مقطع را به عنوان آسیب‌های مکانیکی دسته‌بندی می‌کنند. همچنین پیچ‌خوردگی یا کج شدن یک حلقه یا کل کلاف نیز آسیب‌های مکانیکی هستند.

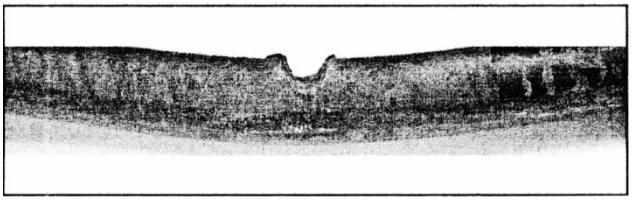
ریشه‌یابی: میلگردها بعداز خروج از آخرین مرحله نورد با بسیاری از مکانیزم‌های کمکی و ادوات حمل از قبیل مکانیزم‌های انتقال، ریل‌ها، چرخ‌دنده انتقال دهنده، زنجیرهای معلق، تسمه‌های نقاله، قلاب‌های نقاله‌ها و ... برخورد دارند. علاوه‌بر اینها مفتول ممکن است ضمن عبور از نقاط بازرسی یا دستگاه بسته‌بندی تماسی با آنها داشته باشد. کلاف‌ها با کف‌های بتنی تماس دارند، بارگیری و تخلیه آنها توسط جرثقیل و لیفتراک صورت می‌گیرد. سپس بعداز انبارش جهت مصرف‌کننده نهایی حمل می‌گردند. درحین تمامی این عملیات مفتول در خطر آسیب دیدن قرار دارد.

شناسایی: عیوب آسیب‌های مکانیکی با چشم غیرمسلح قابل تشخیص می‌باشند. نوع و وضعیت آسیب، برای مثال میزان پوسته اکسید، محل و جهت عیب، رنگ نقاط آسیب و غیره اغلب مبدأ آسیب را مشخص می‌کنند.

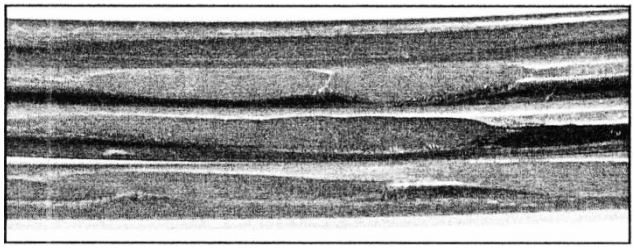
سوء تعبیر: امکان اشتباه گرفتن آنها با سایر عیوب وجود ندارد.



شکل۲۹ـ آسیب مکانیکی سایش برروی میلگرد



شکل۳۰ـ آسیب مکانیکی ناشی از بسته‌بندی میلگرد



شکل۳۱ـ لبه‌های تیز آسیب مکانیکی ناشی از سایش حین حمل‌و نقل

گرم شکنندگی و فولاد سوخته

گرم شکنندگی و تردی ناشی از فولاد سوخته عیوبی هستند که در شکل و اندازه متغیر بوده و به‌طور غیرمنظم برسطح میلگرد پراکنده می‌گردند. غالباً این عیوب حفره‌های اکسیده شده با عمق قابل ملاحظه در میلگرد هستند یا گاهی اوقات به صورت پلیسه یا فلس مانند به نظر می‌رسند.

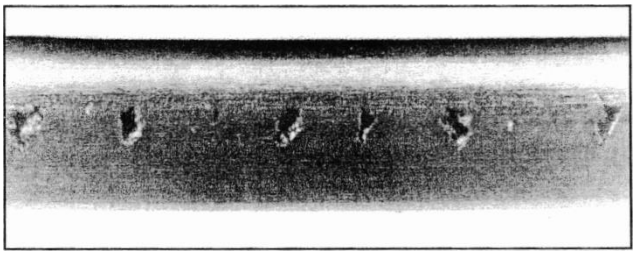
ریشه‌یابی: گرم شکنندگی گرایشی در برخی فولادها به جدایش مرزدانه‌ها است وقتی که تحت تنش یا تغییر شکل در دمای نزدیک به نقطه ذوب قرار می‌گیرند. ترکیباتی با نقطه ذوب کم مانند گوگرد، قلع یا مس اغلب به مقدار خیلی کمی وجود دارند که در مرز دانه‌ها به دلیل جدایش مرز دانه‌ای، تفکیک می‌گردند. در دامنه عادی دمای نوردکاری چنانچه غلظت اینگونه مواد (نقطه ذوب کم) زیاد شود، قابلیت گرم‌کاری فولاد به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. آسیب در میلگرد مربوط به گرم شکنندگی با تنش‌های شدید کششی روی داده در عملیات نوردکاری، تشدید می‌گردد.

فولاد سوخته یک وضعیت متخلخل یا توری مانند برروی سطح میلگرد می‌باشد که ناشی از گرما دیدن بیش از اندازه بیلت در کوره پیش‌گرم نوردکاری می‌باشد، برای مثال، وقتی که شعله‌ها خیلی

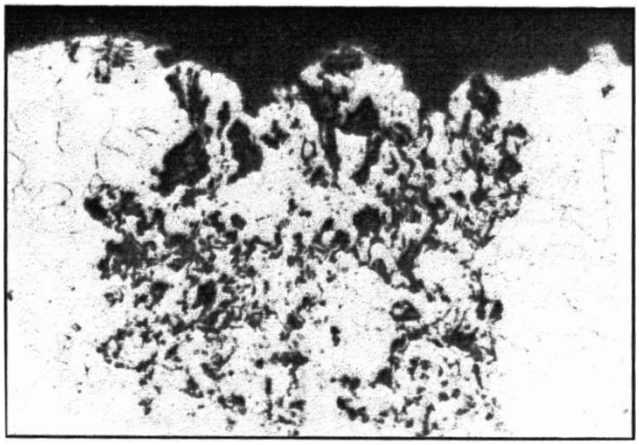
گرم باشند. سوختن باعث اکسیداسیون بین دانه‌ای و ذوب و ادغام مرزدانه‌ها می‌شود. در کار بعدی ماده در چنین نقاطی دچار گسیختگی می‌گردد.

شناسایی: این عیب با چشم غیرمسلح قابل بازرسی می‌باشد.

سوء تعبیر: گرم شکنندگی و تردی مربوط به سوختن فولاد اصولاً در مراحل اولیه نورد اتفاق می‌افتد. بنابراین ظاهر آسیب به میزان قابل ملاحظه‌ای به دلیل افزایش تغییر شکل تغییر می‌کند و ممکن است با روی‌هم افتادگی، اثرات غلطک و پلیسه‌ها برروی میلگرد، اشتباه گرفته شود.



شکل۳۲ـ تخلخل برسطح مفتول که در هنگام انجام کار گرم در زیر دمای بحرانی روی می‌دهد



شکل۳۳ـ اکسیداسیون بین دانه‌ای مربوط به گرمای بیش از حد

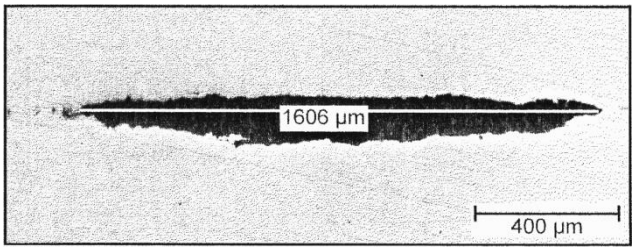
ناخالصی‌های غیرفلزی

ناخالصی‌های غیرفلزی ذرات ریز خارجی هستند که در میلگرد جای گرفته‌اند و شامل سولفیدها، اکسیدها، سلیکات‌ها، آلومینات‌ها، نیتریدها یا ترکیبات مختلفی از اینها می‌باشند.

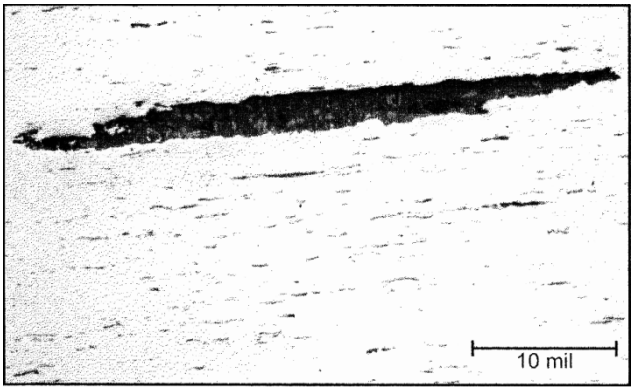
ریشه‌یابی: ناخالصی‌های غیرفلزی درنتیجه واکنش‌های متالورژیکی در فولاد مذاب به وقوع می‌پیوندد و یا در اثر فرسایش لایه‌های عایق پاتیل وارد فولاد مذاب می‌گردند. متعاقباً این مواد خارجی کاملاً از فولاد مذاب گرفته نمی‌شوند و ممکن است در میلگرد با اندازه و مقدار و ترکیبات مضر برای مفتول‌کشی یافت شوند.

شناسایی: ناخالصی‌های متوسط و بزرگ در سطوح شکست با چشم غیرمسلح قابل رویت هستند. با این حال آزمایش‌های متالوگرافیکی برای تعیین دقیق‌تر ترکیبات، اندازه و مقدار ناخالصی‌ها، به‌کار گرفته می‌شوند.

سوء تعبیر: ناخالصی‌های بزرگ‌تر ممکن است با مک‌ها یا سرباره‌ها اشتباه گرفته شوند.



شکل۳۴ـ ناخالصی سیلیکات درشت در مقطع طولی مفتول نزدیک شکست



شکل۳۵ـ ناخالصی غیرفلزی بزرگ در مقطع طولی میلگرد

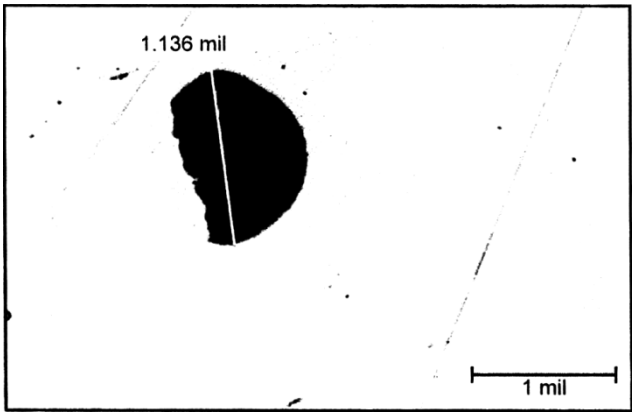
ناخالصی کوچک‌تر سولفید منگنز قابلیت ماشین‌کاری در این فولاد را بهبود می‌بخشد

گیرافتادگی سرباره یا نسوزها

سرباره محصول غیرفلزی است که ناشی از انحلال متقابل گدازآورها و ناخالصی‌های غیرفلزی در فولاد مذاب می‌باشد. سرباره درحین عملیات فولادسازی، از فلز مذاب در مقابل هوا محافظت می‌نماید و ناخالصی‌های اصلی را از فولاد مذاب بیرون می‌کشد. سرباره به‌دام افتاده در شمش یا بیلت درحین انجماد عیب طولی در میلگرد را باعث می‌گردد که بیشتر در بخشی از کلاف متمرکز می‌گردد تا اینکه در کل طول یافت شود.

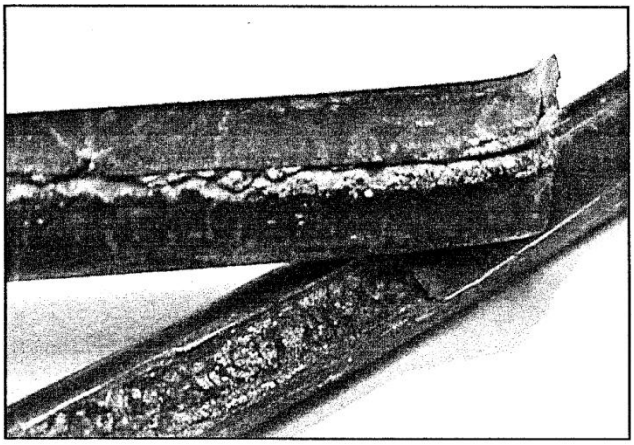
ریشه‌یابی: سرباره یک لایه غیرفلزی برسطح فولاد مایع می‌باشد که متشکل از مخلوط مواد گدازآور و ناخالصی‌های عنصری مانند سیلیکون، منگنز، آلومینیوم، گوگرد، فسفر و اکسیژن می‌باشد. درحین حرکت مذاب از کوره ذوب تا پاتیل و سپس به قیف ریخته‌گری، تلاش بر این است که از انتقال سرباره جلوگیری شود، هر چند حرکت پیچیده گردابی مذاب ممکن است موجب به دام افتادن یا گیرافتادن مقداری سرباره گردد. به علاوه هرگونه اکسیژن موجود در فولاد مایع به شکل‌گیری اکسید ناخالصی‌ها ادامه می‌دهد و آن را به سطح مذاب منتقل می‌کند. گیرافتادن سرباره در محصول نهایی وقتی روی می‌دهد که سطح مذاب در پاتیل دوم یا قیف پایین باشد. به‌طور مثال؛ در انتهای ذوب یا وقتی که بین دو ذوب تلاطمی ایجاد می‌گردد.

شناسایی: یک تکه بزرگ گیرافتادگی سرباره در مرحله نوردگرم ممکن است سبب ایجاد وصله گردد درحالی که مقادیر کمتر آن ممکن است به صورت روی‌هم افتادگی ظاهر شود.
روش‌های جریان گردابی (یک روش الکتریکی) ممکن است سرباره در میلگرد را شناسایی کند. روش چاق‌سازی **(Upsetting)** عیب سرباره را مشخص می‌نماید فقط وقتی که سرباره در محل کوبش قرار گرفته باشد. برای آنالیز ماده خارجی گیر افتاده در میلگرد از میکروسکپ الکترونی و روش طیف‌سنجی انتشار انرژی **(EDS)** استفاده می‌گردد.



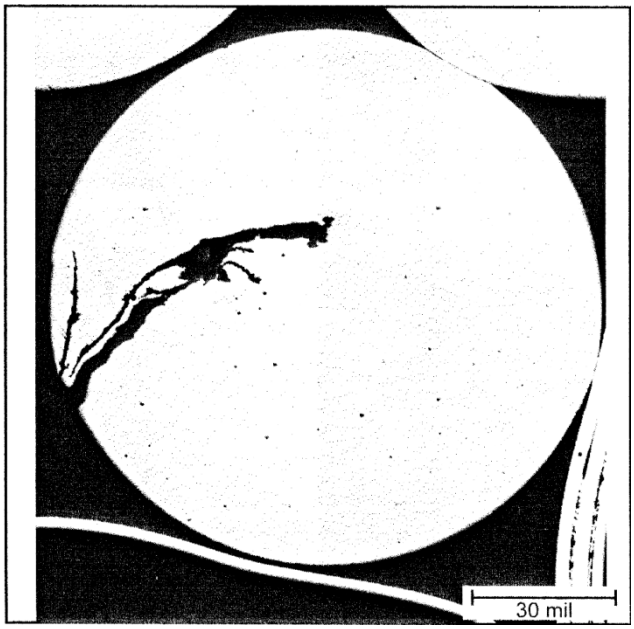
شکل۳۶ـ اکسید ناخالص گوی مانند بزرگ در مقطع طولی میلگرد

سوء تعبیر: به دام افتادگی سرباره ممکن است با به دام افتادگی کمک ذوب‌ها و آخال‌های ناشی از نسوزها، اکسایش و اکسایش‌های مجدد اشتباه گرفته شود. اگر چه این آخال‌ها در نوردگرم میلگرد شبیه هم هستند، آنالیز **EDS** می‌تواند نوع آخال را شناسایی کند، که این برای تعیین علت اصلی عیب مهم می‌باشد.



شکل۳۷ـ به‌دام افتادن سرباره در مفتول فولادی

شکل ۳۸ و ۳۹ گیرافتادگی سرباره در مقطع عرض میلگرد بدون اچ کردن رانشان می‌دهد.



شکل۳۸ـ گیرافتادگی سرباره در مقطع میلگرد

شکل۳۹ـ سرباره حبس شده در مقطع میلگرد

فهرست جلد ۲

فصل ۶.
اسیدشویی و پوشش‌دهی

فصل ۷.
پوسته‌زدایی مکانیکی

فصل ۸.
تغییر شکل در کشش سرد

فصل ۹.
تئوری کشش مفتول

فهرست جلد ۳

فصل ۱۰.
دوزه‌های کشش مفتول

فصل ۱۱.
روانکاری در کشش مفتول‌های آهنی

فصل ۱۲.
عملیات حرارتی مفتول آهنی

فصل ۱۳.
آنیل‌کاری

فصل ۱۴.
آزمون مفتول یا میلگرد آهنی