

نورد لوله‌های فولادی بدون درز به روش مانسمان، ارهارت و روشهای دیگر

نویسنده: هورست آ. وِسل

برگردان: کیارش ناویا



پروفسور دکتر فلسفه هورست آ. وِسل

- تولد: ۱۹۴۳ در بُن، آلمان
- تحصیلات: مطالعات در رشته‌های ادبیات آلمانی و تاریخ
- آزمون فیلولوژیک برای تدریس در مدارس متوسطه در رشته‌های تاریخ و زبان آلمانی
- ۱۹۷۹: دریافت درجه دکترای فلسفه (Dr. phil.) از دانشگاه بُن
- ۱۹۹۵: پایان مراحل هابیلیتاسیون و انتصاب به عنوان مدرس خصوصی (Privatdozent)
- ۲۰۰۱: انتصاب به عنوان استاد رسمی دانشگاه هاینریش هاینه دوسلدورف

سوابق حرفه‌ای:

- ۱۹۷۶-۱۹۸۳: مدیرعامل انجمن تاریخچه شرکت‌ها (GUG)
- از ۱۹۸۳: رئیس آرشیو مانسمن
- از ۱۹۹۵: مدرس خصوصی و سپس استاد تاریخچه اقتصادی در دانشگاه هاینریش هاینه دوسلدورف

آثار علمی:

- تألیف چندین کتاب در زمینه تاریخ تکنیک و تاریخ شرکت‌ها
- انتشار بیش از ۱۵۰ مقاله و مشارکت علمی

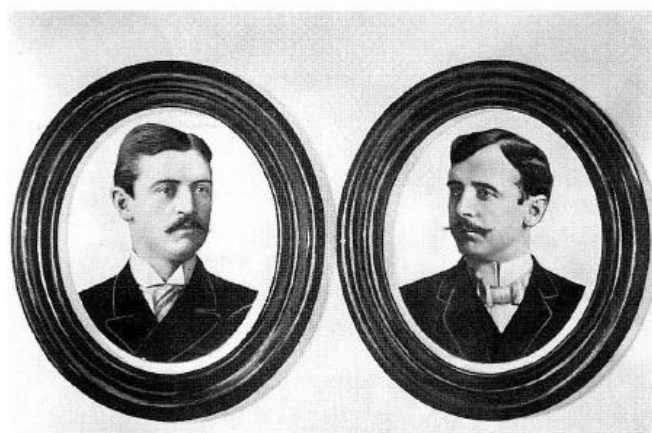
این مقاله به بررسی فرآیندهای اصلی مورد استفاده امروزی در تولید لوله‌های فولادی بدون درز می‌پردازد؛ برخی از این روش‌ها قدمتی بیش از صد سال دارند. تمرکز مقاله بر اختراع و توسعه فنی این فرآیندها و همچنین مراحل اولیه آن‌ها است، از جمله: نورد مورب (Skew Rolling) به روش مانسمن، استیفل و ارهارت، فرآیندهای نورد پیلگر، پلاگ، آسل و دیشر، کشش سرد، و همچنین نورد پیوسته در مرحله دوم تولید. در این مقاله، نقاط قوت و ضعف هر یک از این فرآیندها و کاربرد امروزی آن‌ها در صنعت نیز به‌طور ویژه مورد بررسی قرار گرفته است.

پیش از مانسمن، هیچ‌کس با استفاده از روش نورد مورب موفق به تولید لوله‌های صاف یا پروفیل‌دار از شمش‌های جامد، چه با میله ماندل و چه بدون آن، نشده بود؛ همچنین هیچ‌کس نتوانسته بود در یک مرحله عبور از میان غلتک‌ها، مقطع قطعه را تا هر اندازه دلخواه کاهش دهد (تصویر ۱).



تصویر ۱: حق ثبت اختراع نورد مورب در آلمان

با صدور این حکم، دادگاه عالی امپراتوری آلمان به‌طور قطعی قابلیت ثبت اختراع روش نورد مورب را تأیید کرد و بدون هیچ‌گونه تردید یا کاستی، حق اولویت این اختراع را به برادران رینهارد و ماکس مانسمن نسبت داد (تصویر ۲).



تصویر ۲: مخترعان روش نورد مورب رینهارد و ماکس مانسمن.

یادداشت‌های ثبت‌شده در دفتر روزانه ماکس مانسمن نشان می‌دهد که برادران مانسمن حداکثر تا نوامبر سال ۱۸۸۲ به این باور رسیده بودند که می‌توانند با استفاده از نورد مورب، تنها از طریق نوردکاری، لوله‌های بدون درز را از شمش‌های فولادی جامد تولید کنند. احتمالاً انگیزه

این ایده از عیوبی ناشی شد که در مواد اولیه مورد استفاده در تولید سوهان‌ها مشاهده می‌شد. میله‌های فولادی جامد که سطح آن‌ها روی دستگاهی به نام ریلر — (Reeler) نوعی غلتک صاف‌کننده — صیقل داده می‌شد، گاهی دارای ترک یا حتی حفره بودند. برادران مانسمن این پرسش را مطرح کردند که آیا ممکن است فرآیند صیقل‌کاری با ریلر خود باعث ایجاد این عیوب شده باشد. برای بررسی این موضوع، آن‌ها کارخانه نوردی ساختند که مانند ریلر، با غلتک‌هایی که نسبت به محور قطعه زاویه‌دار بودند کار می‌کرد. در ادامه، با تکیه بر بررسی‌های نظری پیشین، آزمایش‌های فشرده و نظام‌مندی انجام دادند که سال‌ها به طول انجامید. در این آزمایش‌ها لازم بود نه تنها زاویه بهینه غلتک‌ها و سرعت چرخش مناسب تعیین شود، بلکه پروفیل مناسب غلتک‌ها برای بهبود فرآیند تغییر شکل، شکل و موقعیت میله ماندل، و در نهایت دمای نورد مناسب برای ماده اولیه نیز مشخص گردد. سرانجام، در شب ۲۱ تا ۲۲ اوت ۱۸۸۶ — یعنی دقیقاً ۱۲۰ سال پیش از زمان نگارش مقاله — برادران مانسمن موفق شدند در دستگاه نورد مورب آزمایشی خود، از یک شمش فولادی جامد، یک قطعه توخالی سالم و بی‌عیب تولید کنند. (تصویر ۳)



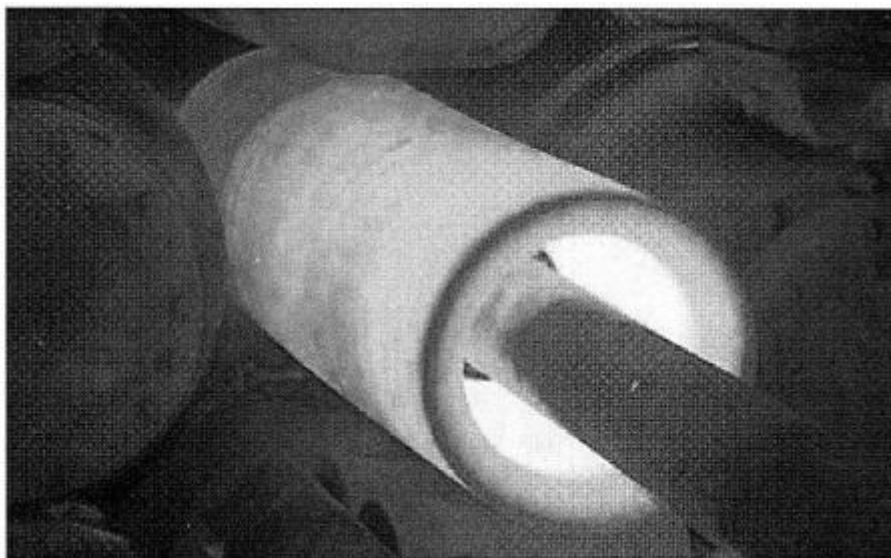
تصویر ۳: در شب ۲۱ تا ۲۲ اوت ۱۸۸۶، لوله‌های فولادی بدون درز نورد شده ساخته شدند. (نگهداری: موزه آلمان، مونیخ)

سوراخ‌کاری

تمام لوله‌های فولادی بدون درز از شمش جامد فولادی تولید می‌شوند که یا در قالب‌های ریخته‌گری ریخته شده‌اند یا به صورت شمش پیوسته ریخته شده‌اند. در مرحله اول تولید، این بلوک‌ها به یک جسم توخالی با دیواره‌های ضخیم شکل داده می‌شوند. این کار یا به روش نورد مورب که توسط مانسمن اختراع شده است، یا به روش فشرده‌سازی که توسط هاینریش ارهارت توسعه یافته است، انجام می‌شود.

نورد مورب

ابتدا باید ماده اولیه تا دمای مناسب نورد گرم شود. انتخاب دمای پیش‌گرمایش صحیح شرط لازم برای تولید یک محصول نوردی بدون نقص است. علاوه بر دما، زمان پیش‌گرمایش نیز نقش بسیار مهمی دارد؛ تفاوت دمای سطح و هسته قطعه نباید از ۳۰ درجه سانتی‌گراد فراتر رود. پیش‌گرمایش بیش از حد طولانی یا سوختگی غیرضروری، تأثیر منفی بر اقتصادی بودن فرآیند دارد. دمای قطعه در کوره به صورت آهسته افزایش می‌یابد تا از ایجاد ترک‌های ناشی از تنش حرارتی جلوگیری شود. همچنین، کوره و تجهیزات نورد باید با یکدیگر هماهنگ باشند تا از توقف نورد یا نورد شمش‌هایی که بیش از حد یا ناکافی گرم شده‌اند جلوگیری شود. ما این دانش را بر اساس بیش از ۱۰۰ سال تجربه عملی داریم و می‌توانیم با استفاده از تجهیزات پیشرفته‌تر و ابزارهای کنترل و تنظیم، شرایط بهینه برای نورد را فراهم کنیم. در حالی که مخترعان اولیه مجبور بودند خودشان این تجربیات را به تدریج کسب کنند.



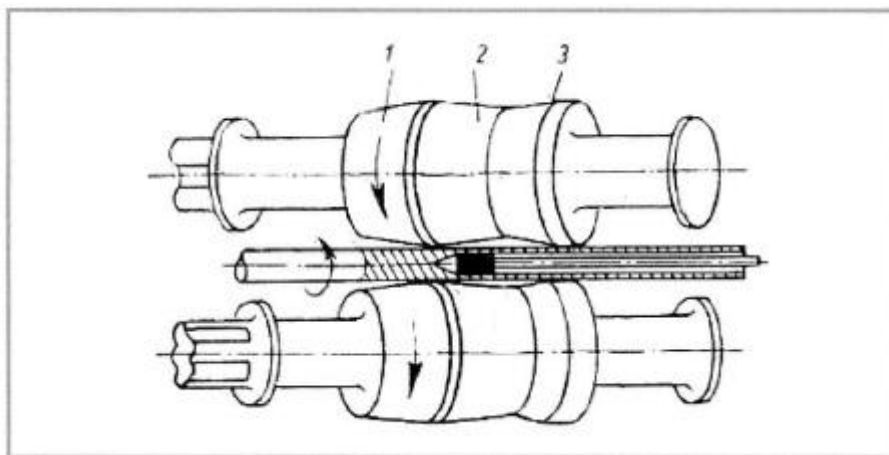
تصویر ۴: شمش فولادی جامد در نورد مورب به یک جسم توخالی با دیواره ضخیم تبدیل می‌شود.

پس از پیش گرمایش، شمش تمیزکاری شده (از زنگ زدگی پاک می‌شود) و مرکزگذاری می‌شود. سپس شمش‌ها به دستگاه نورد مورب منتقل می‌شوند. (تصویر ۴) این دستگاه دارای دو غلتک کالیبره شده است که نسبت به یکدیگر کمی مایل هستند و محورهای آن‌ها نسبت به محور قطعه زاویه دارند. یک غلتک سوم یا خط راهنما مانع از آن می‌شود که قطعه نورد شده به سمت بالا منحرف شود. در کالیبراسیون نورد، سه بخش متمایز وجود دارد:

۱. مخروط سوراخ کاری که دارای شیار نوردی به‌طور تدریجی باریک‌شونده است،

۲. قسمت نورد عرضی، و

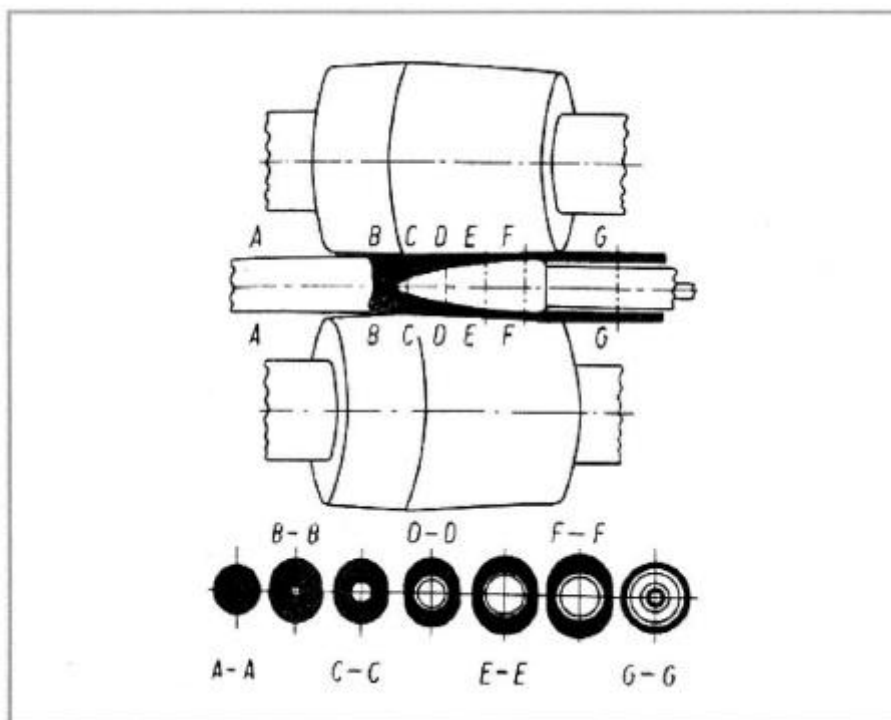
۳. قسمت نورد صاف‌کننده (تصویر ۵).



تصویر ۵: نمای شماتیک نحوه کار در نورد مورب (۱: بخش سوراخ کاری؛ ۲: بخش نورد عرضی؛ ۳: بخش صاف کاری)

زاویه دار بودن غلتک‌ها باعث می‌شود که قطعه نورد شده علاوه بر چرخش، حرکت پیش‌رونده نیز داشته باشد. قطعه به‌صورت مارپیچی از شیار باریک‌شونده مخروط سوراخ کاری عبور می‌کند، جایی که تحت فشار نورد رو به افزایش قرار می‌گیرد. تماس بین سطح بلوک و غلتک‌ها و در نتیجه تغییر شکل آن، در طول مخروط سوراخ کاری انجام می‌شود و بنابراین فقط روی یک سطح کاری بلند، باریک و منحنی رخ می‌دهد. هنگام چرخش غلتک‌ها به جهت عقربه‌های ساعت، قطعه نورد شده در جهت مخالف حرکت می‌کند و در نتیجه به‌صورت محوری کشیده می‌شود. همزمان، دو غلتک قطعه را به شکل بیضی فشرده می‌کنند. به دلیل تنش‌های متناوب فشار و کشش، هسته قطعه دچار ترک می‌شود. از آنجا که غلتک‌ها نسبت به هم مایل هستند، سوراخ کاری به‌طور پیوسته انجام می‌شود. با قرار دادن یک میله ماندل (Mandrel) که بین

غلtekها و برخلاف جهت پیشروی لوله قرار می گیرد، فرآیند سوراخ کاری تقویت می شود و در نتیجه یک جسم توخالی با دیواره ضخیم، موسوم به شل یا پوسته لوله ای، ایجاد می شود. تقریباً ۸۰٪ از کشش محوری قطعه نورددشده در این بخش اول نوردد اتفاق می افتد. (تصویر ۶).

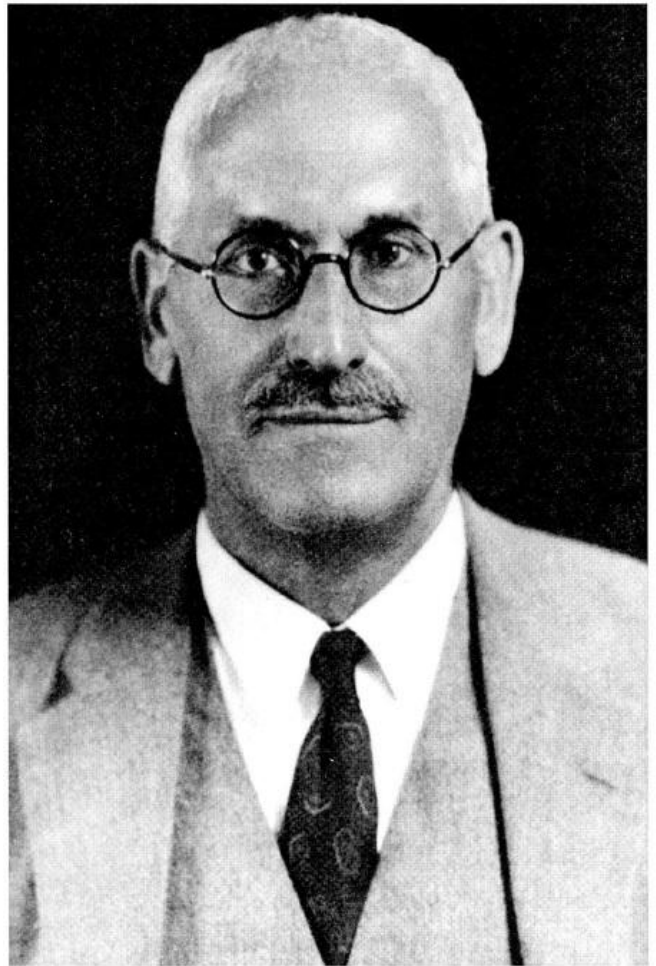


تصویر ۶: فرآیند ایجاد سوراخ در حین نوردد مورب

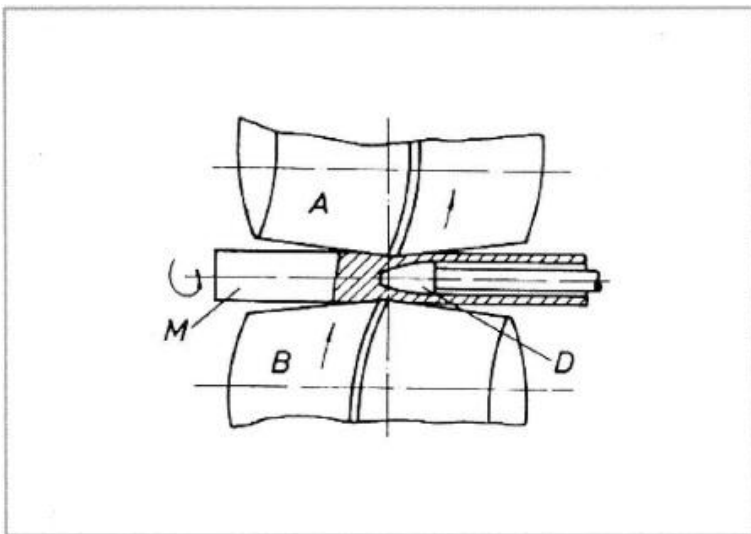
در بخش دوم نوردد، یعنی قسمت نوردد عرضی، میله ماندن نقش غلتک داخلی را ایفا می کند: بین ماندن و غلتکها، یک فرآیند نوردد به صورت عرضی نسبت به جهت حرکت جسم توخالی در حال شکل گیری آغاز می شود. از آنجا که بین دو غلتک فضای خالی (Kaliber) وجود دارد، دیواره داخلی خارج از ناحیه فشار بالا می آید. بنابراین، تغییر شکل فقط بین غلتکها و ماندن امکان پذیر است و کشش محوری تنها در حد محدودی، حدود ۲۰٪ رخ می دهد. علاوه بر این، سطح داخلی و خارجی صاف می شود، ضخامت دیواره تا حد امکان یکنواخت می گردد و جسم توخالی گرد می شود. در بخش سوم و نهایی نوردد، یعنی قسمت نوردد صاف کننده، غلتکها استوانه ای هستند و فرآیند صاف کاری را ادامه می دهند. تا این مرحله، فرآیند به گونه ای بهینه شده که غلتکها و ماندن با همکاری یکدیگر، مانع از تشکیل حفره پیش از نوک ماندن می شوند. در این فرآیند، از شمش های ریخته گری با وزنی تا ۵ تن استفاده می شود.

نوردد با غلتک های دیسکی و مخروطی به روش اشتیفل

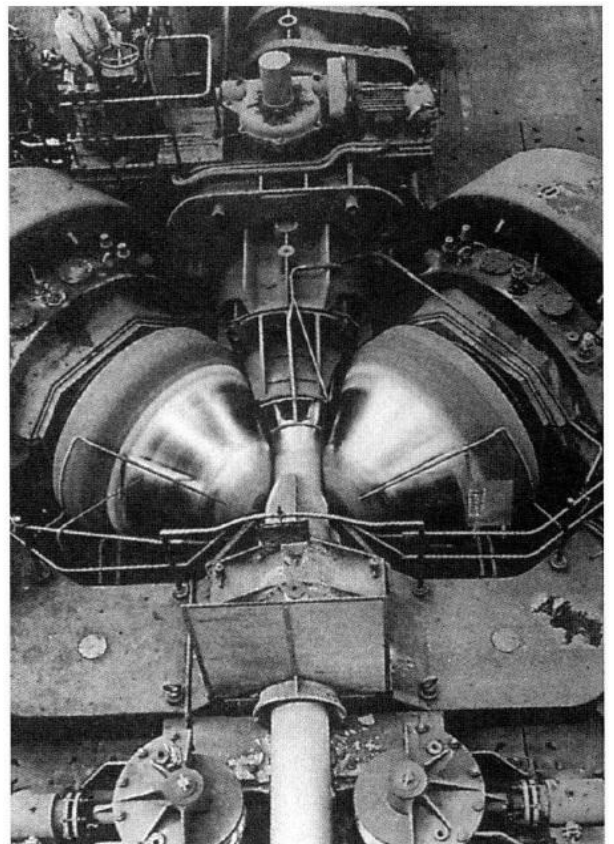
برادران مانسمن پیش تر با غلتک های دیسکی و مخروطی آزمایش کرده بودند. مزیت این روش این است که لوله های بلوک شده به خوبی قابل گشاد شدن هستند؛ به همین دلیل، در کارخانه های تولید لوله مانسمن، تقریباً همه دستگاه های نوردد دیسکی برای گشاد کردن لوله ها به کار گرفته شده اند. کارمند سابق مانسمن، کارل اشتیفل (تصویر ۷)، که ابتدا در رمشاید به امور طراحی می پرداخت و بعدها در لاندور به عنوان تکنسین ارشد کار می کرد، یک کارخانه لوله در آمریکای شمالی ساخته بود. دستگاه بلوک یا سوراخ کاری او بر اساس اصل نوردد مورب عمل می کند و از غلتک های دیسکی و مخروطی استفاده می کند. (تصویر ۸) کالیبر غلتک های دیسکی و مخروطی — مشابه دستگاه نوردد مورب مانسمن — دارای دو بخش است: مخروط سوراخ کاری و قسمت نوردد عرضی. بنابراین، تغییر شکل قطعه نیز تا حد زیادی مشابه است. تفاوت اصلی در راهنمای بسته ماده اولیه است: اشتیفل کالیبر نوردد را با راهنمای بالایی و پایینی نزدیک به هم می بندد. به این ترتیب، برخلاف مانسمن، در سطح دوم نوردد، قطعه امکان انبساط آزاد عمود بر محور خود را ندارد و مجبور می شود به صورت محوری کشیده شود. غلتک های دیسکی که بیشترین سطح کاری ممکن را ارائه می دهند، امکان اعمال نیروی کشش محوری بالا برای غلبه بر مقاومت اصطکاک بسیار بیشتر را فراهم می کنند. نوع تغییر شکل مشابه آن چیزی است که در روش مانسمن ایجاد می شود؛ با این حال، کشش، به ویژه در قسمت نوردد عرضی، بیشتر است (تصویر ۹).



تصویر ۷ - کارل اشتیفل

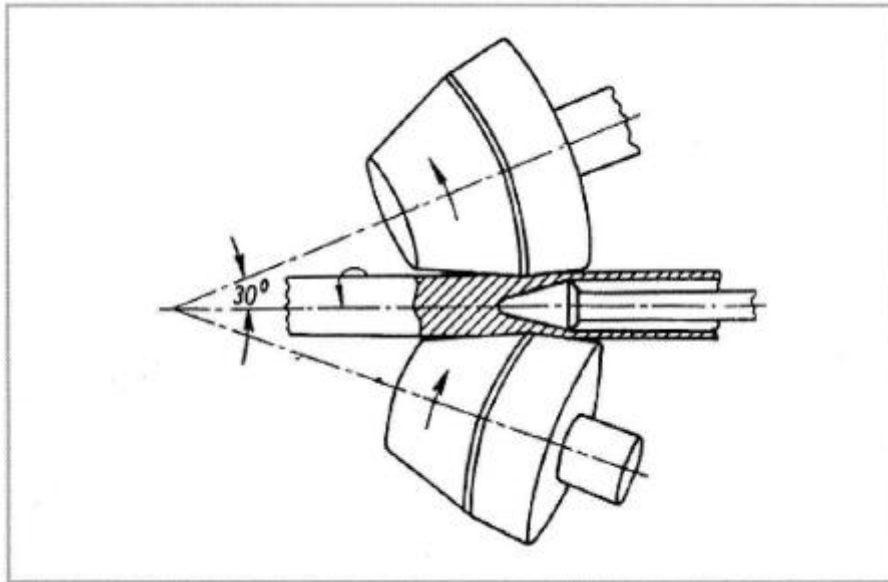


تصویر ۹ - طرح شماتیک دستگاه نورده مایل ساخته K. Stiefel



تصویر ۸ - نورده گسترش دهنده

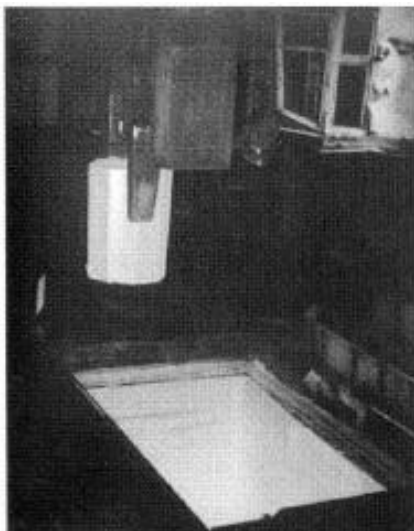
دستگاه سوراخ کاری دومی که توسط استیفل توسعه یافته است، از غلتک‌های مخروطی به شکل مخروط استفاده می‌کند. بر خلاف دستگاه مانسمن، این غلتک‌ها به صورت آزاد قرار گرفته‌اند. محورهای غلتک‌ها نسبت به محور قطعه نورد شده زاویه‌ای برابر ۳۰ درجه دارند. قطعه در امتداد زاویه نیم‌کننده از میان غلتک‌ها عبور می‌کند. کالیبر نورد همانند دستگاه نورد دیسکی استیفل به صورت بسته طراحی شده است. دستگاه‌های سوراخ کاری اولیه، راه‌حل ایده‌آل محسوب نمی‌شدند. با این حال، در مراحل بعد، دستگاه‌های نورد مورب مانسمن بر اساس مدل استیفل، با راهنمای بالایی و پایینی محکم و برای ایجاد نیروی کشش لازم، با غلتک‌های بزرگ کاری تجهیز شدند. (تصویر ۱۰)



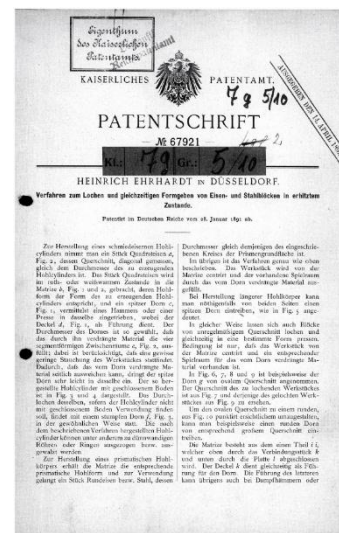
تصویر ۱۰: تغییر شکل در دستگاه مخروط سوراخ کار (بر اساس طرح استیفل)

سوراخ کاری به روش فشاری به سبک ارهارت (Ehrhardt)

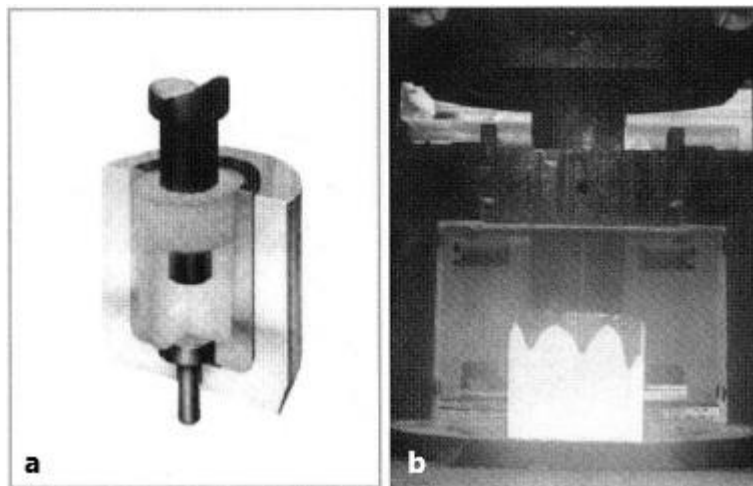
چند سال پس از اختراع نورد مورب، هاینریش ارهارت موفق شد شمش‌های فولادی جامد با مقطع مربع را با استفاده از یک پیستون گرد به عنوان میله سوراخ‌کن در قالبی به شکل کاسه شمش را سوراخ کاری کند. (تصویر ۱۱). در این فرآیند که در سال ۱۸۹۱ اختراع شد و با عنوان «روش سوراخ کاری و شکل‌دهی همزمان شمش‌های آهن و فولاد در حالت گرم» شناخته می‌شود (تصویر ۱۲)، یک شمش چهارگوش گرم‌شده در قالبی آب‌خنک با مقطع داخلی گرد قرار داده می‌شود (تصاویر ۱۳ و ۱۳b). سپس میله سوراخ‌کن تحت فشار هیدرولیکی از داخل بلوک عبور داده می‌شود. از آنجا که بلوک تنها با لبه‌های خود با دیواره گرد قالب تماس دارد، هنگام پرس قالب به طور کامل پر شده و یک مقطع کاملاً گرد ایجاد می‌شود. پس از سوراخ کاری، قطعه پرس‌شده از قالب خارج می‌شود و می‌توان آن را مانند پوسته لوله (شل) برای مراحل بعدی پردازش کرد. (تصویر ۱۴)



تصویر ۱۲ - یک شمش فولادی حجیم که تا دمای نورد گرم شده



تصویر ۱۱ - گواهی ثبت اختراع برای فرآیند پرس هاینریش ارهارت



تصویر ۱۳ - پرس، میله‌ی سوراخ‌کار (پلاگ) را به داخل شمش فولادی می‌فشارد. ماده به دیواره‌ی قالب (ماتریس) رانده می‌شود و سپس به سمت بالا جریان می‌یابد.



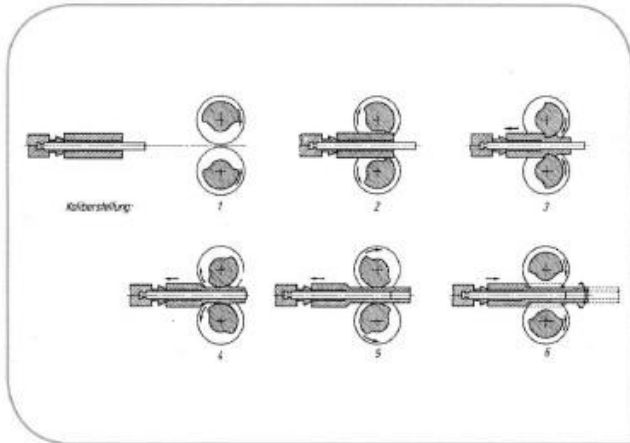
تصویر ۱۴ - شمش سوراخ‌شده به سمت پرس کشش منتقل می‌شود.

این روش نسبت به نورد مورب به روش مانسمن به‌طور قابل‌توجهی ساده‌تر است، چه از نظر تجهیزات مورد نیاز، چه ماده اولیه و همچنین نیازمندی‌های مربوط به نیروی انسانی برای کار با دستگاه. با این حال، معایب آن شامل ضخامت بسیار زیاد دیواره‌ها و طول نسبتاً کوتاه لوله‌ها است.

نورد نهایی - نورد پیلگر

قطعه‌های توخالی با دیواره ضخیم که از نورد مورب خارج می‌شوند، به لوله‌های نازک با قابلیت عرضه در بازار تبدیل می‌شوند. قدیمی‌ترین کارخانه نورد نهایی برای لوله‌لوله‌های تولیدشده در نورد مورب، کارخانه نورد پیلگر است که توسط ماکس مانسمن در سال ۱۸۹۱ اختراع شد. (تصویر ۱۵). این روش، که می‌توان آن را نورد-آهن‌گری نیز نامید، از غلتک‌های دوگانه استفاده می‌کند که هرکدام دارای دو کالیبر متفاوت هستند. بسته به موقعیت کالیبرها، یا یک گردی بزرگ یا یک گردی کوچک ایجاد می‌شود. گردی کوچک برای نورد و کشش استفاده می‌شود، در حالی که گردی بزرگ امکان پیش‌رانش و چرخش لوله پوسته‌ای را فراهم می‌کند. لوله پوسته‌ای روی یک میله ماندل قرار می‌گیرد که قطر داخلی لوله نهایی را مشخص می‌کند. ابتدا، دهانه کالیبر تنگ غلتک‌ها بخش بالایی دیواره لوله پوسته‌ای را درگیر کرده، آن را کشیده و صاف می‌کند. وقتی غلتک‌ها قطعه را رها کردند، لوله پوسته‌ای چرخانده و پیش‌رانش داده می‌شود. سپس بخش باقی‌مانده و هنوز ضخیم دیواره نیز نورد نهایی می‌شود. این فرآیند به‌صورت تکراری با حرکات جلو و عقب ادامه می‌یابد تا کل لوله پوسته‌ای به لوله نهایی تبدیل شود. این حرکت خاص جلو و عقب لوله پوسته‌ای باعث شد که این روش نورد، با الهام از رژه پرش‌گونه اکترناخ (Echternache)، نام روش گام‌های زائر (Pilgerschritt-Verfahren) یا پیلگرن (Pilgern) را دریافت کند. (تصویر ۱۶).

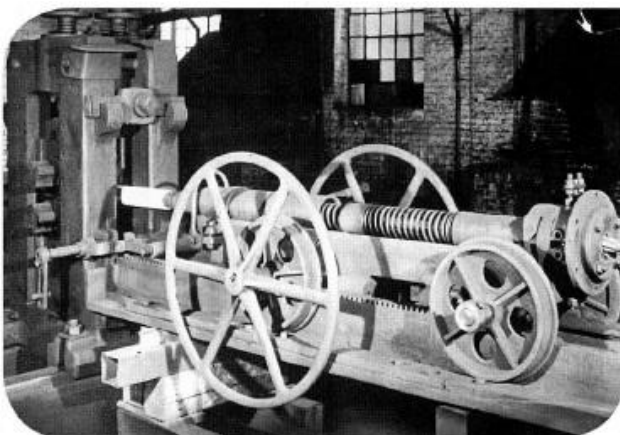
تصویر ۱۵ - ثبت اختراع برای فرآیند پیلگر



تصویر ۱۶ - نمایش شماتیک فرآیند نورد پیلگر



در حالی که نورد مورب حتی پس از بیش از ۱۲۰ سال، بهترین روش نورد برای سوراخ کاری مواد جامد باقی مانده است، روش پیلگر امروزه توسط سایر فرآیندها تکمیل یا جایگزین شده است. با این حال، دامنه ابعادی لوله‌های نازک با قطر بیش از ۳۰۰ میلی‌متر هنوز به‌طور بی‌رقیب به روش پیلگر اختصاص دارد (تصویر ۱۷). در کارخانه لوله در دوسلدورف-رات (Düsseldorf-Rath)، بزرگ‌ترین لوله‌های فولادی جهان با قطر خارجی تا ۷۱۱ میلی‌متر تولید می‌شوند؛ کمترین ضخامت دیواره ۲/۵ میلی‌متر و بیشترین طول ۳۵ متر است. ماکس مانسمن نیز قبلاً عمل طاقت‌فرسای پیش‌رانش و چرخش دستی شل را با یک «دستگاه تغذیه مکانیکی» جایگزین کرده بود (که امروزه به‌صورت یک پیش‌راندنده هوا-هیدرولیکی کار می‌کند) (تصویر ۱۸).

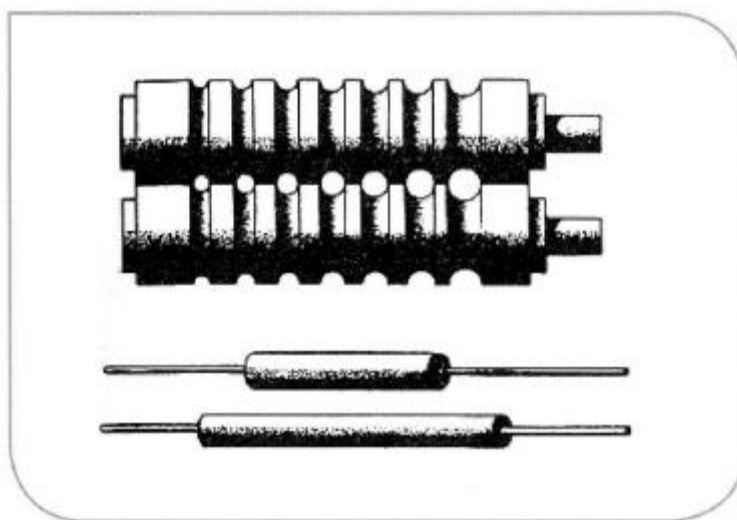


تصویر ۱۸ - پیش‌کشنده مکانیکی برای نورد پیلگر



تصویر ۱۷ - اتاق انتظار با تهویه مطبوع در کارخانه نورد پیلگر

پس از پایان مدت حفاظت پتنت نورد مورب، تلاش شد تا روش پیلگر دور زده شود. یکی از راهکارهای اولیه که به کار گرفته شد، نورد سوئدی بود تا قطعه‌های توخالی با دیواره ضخیم تولیدشده در نورد مورب یا در دستگاه سوراخ‌کاری اهرارت به لوله‌های فولادی قابل عرضه در بازار تبدیل شوند. (تصویر ۱۹)



تصویر ۱۹ - طرح نورد لوله (خیابان شویدن‌اشتراسه)، ۱۷۲۸

دستگاه نورد دارای کالیبرهای گرد با اندازه‌های مختلف است که کنار هم قرار گرفته‌اند و هر کدام توسط دو غلتک دوگانه تشکیل می‌شوند. فرآیند نورد با بزرگ‌ترین کالیبر و کوچک‌ترین میله ماندلر آغاز می‌شود. در مرحله دوم، دومین کالیبر بزرگ و دومین میله ماندلر کوچک‌تر استفاده می‌شوند. به این ترتیب، قطر خارجی و ضخامت دیواره لوله به تدریج از یک کالیبر به کالیبر بعدی کاهش می‌یابد.

در ابتدا، دستگاه نورد بدون غلتک‌های بازگرداننده کار می‌کرد و قرار دادن و جابجایی شل‌ها به صورت دستی انجام می‌شد. این کار زمان‌بر و دشوار بود و برای تکمیل فرآیند ممکن بود تا ۱۸ مرحله نورد لازم باشد؛ این روش غیر اقتصادی بود و امروزه استفاده نمی‌شود. علاوه بر این، به دلیل خطر خم شدن میله‌های ماندلر، طول لوله به حدود شش متر محدود بود. نسخه‌های بهبود یافته، دارای غلتک‌های بازگرداننده، تنظیمات خودکار گوه‌ای و بسترهای ماندلر با راهنمای بسته (به روش اشتیفل) هستند. این تغییرات باعث افزایش سرعت فرآیند نورد و دو برابر شدن طول لوله قابل تولید می‌شوند. همچنین، یک واگن بارگیری موجب کاهش نیروی انسانی مورد نیاز شد. با این دستگاه، می‌توان لوله‌هایی تا قطر ۱۶۰ میلی‌متر نورد کرد. اگرچه ظرفیت نورد نسبتاً کم باقی مانده، اما برنامه‌های تولیدی کوچک با اندازه‌های مختلف را می‌توان روی همان دستگاه بدون نیاز به تغییرات ساختاری نورد کرد. به عبارت دیگر، با داشتن تعداد کمی شمش اولیه، می‌توان دامنه وسیعی از ابعاد لوله را تولید کرد و تنش وارد بر ماده نسبتاً کم است. اکثر این لوله‌ها از فولادهای آلیاژی بالا هستند که با این روش نورد می‌شوند.

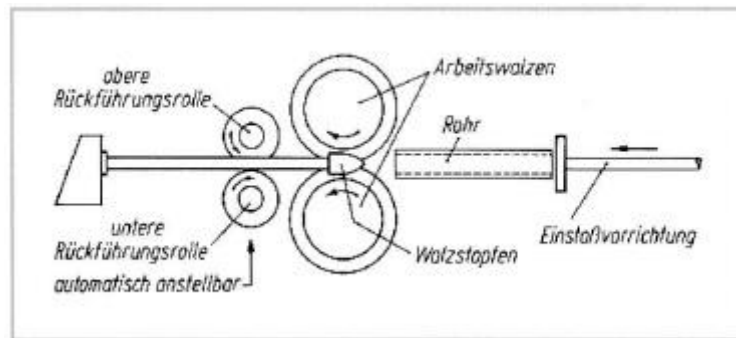
نورد با میله ماندلر یا روش اشتیفل

دستگاه نورد اشتیفل از دستگاه نورد سوئدی توسعه یافته است. کارل اشتیفل با اعمال تعدادی بهبودهای متعدد، این دستگاه را به ظرفیت و کارایی بالاتر رساند. در سال ۱۹۰۷، اولین کارخانه نورد اشتیفل در آلمان، در کارخانه Poensgen در دوسلدورف-لیرنفلد به بهره‌برداری رسید. این روش، قوی‌ترین فرآیند برای تولید لوله‌های بدون درز با قطر ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر و طول لوله تا ۱۵ متر است. از مزایای آن:

- انعطاف‌پذیری بالا

- اقتصادی بودن حتی برای تیراژهای کوچک و برنامه‌های تولیدی با تغییرات زیاد، زیرا زمان تغییر تنظیمات نسبت به سایر دستگاه‌ها کوتاه است.

دامنه برنامه تولیدی این دستگاه از قطر ۶۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر را شامل می‌شود. (تصویر ۲۰)



تصویر ۲۰ - پایه یا استند فشرده‌سازی به روش اشتیفل

در روش نورد با میله ماندل، فرآیند نورد طولی معمولی انجام می‌شود. شل‌ها در یک دستگاه نورد دوگانه بر روی میله ماندل ثابت در شکاف غلتک‌ها نورد می‌شوند. این کار معمولاً در دو مرحله انجام می‌گیرد. پس از هر مرحله، غلتک بالایی دستگاه دوگانه بلند می‌شود و سپس غلتک‌های بازگرداننده شل را دوباره به سمت نقطه ورود دستگاه هدایت می‌کنند. لوله‌لوله حدود ۹۰ درجه چرخانده شده و توسط پیش‌راننده پنوماتیک دوباره از طریق قیف راهنما به کالیبر هدایت می‌شود.

میله‌های ماندل با قطرهای متفاوت پس از هر مرحله تعویض می‌شوند. پلاگ بر روی میله‌ای آب‌خنک قرار دارد که در تکیه‌گاه سمت خروجی دستگاه پشتیبانی می‌شود و از طریق قیف‌های راهنما در جای خود نگه داشته می‌شود.

در مرحله اول نورد، دو تغییر شکل قابل مشاهده است:

۱. کاهش قطر خارجی لوله

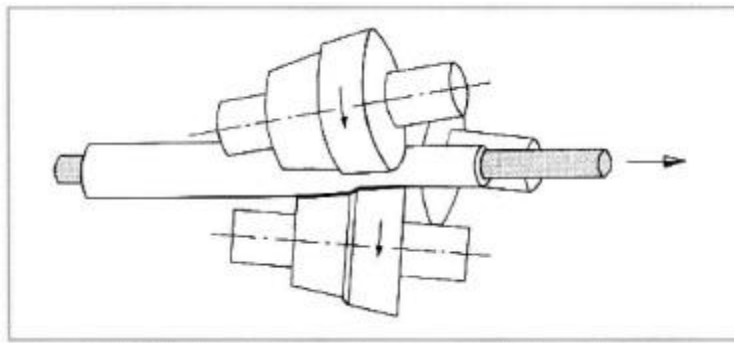
۲. افزایش قطر داخلی لوله

در مرحله دوم نورد، قطر خارجی لوله برابر کالیبر غلتک‌های دوگانه است و بنابراین قطر خارجی دیگر کاهش نمی‌یابد.

بیشترین کشش محوری در مرحله اول رخ می‌دهد و کشیدگی کل لوله‌لوله بین ۱/۵ تا ۲/۱ برابر طول اولیه آن است.

روش نورد اسل

در نیمه دوم دهه ۱۹۳۰، یک کارخانه نورد لوله بدون درز در ایالات متحده آمریکا که وارد بهره‌برداری شده بود، توجه تولیدکنندگان لوله آلمانی را نیز به خود جلب کرد. این کارخانه به نام "اسل" نام‌گذاری شد، برگرفته از نام مخترع آن، والتر اسل (Walter Assel). این دستگاه یک نورد مورب با سه غلتک است که به صورت ۱۲۰ درجه نسبت به هم قرار گرفته‌اند و هم‌جهت می‌چرخند؛ غلتک‌ها نسبت به محور قطعه نورد شده زاویه ۱۲ تا ۱۵ درجه دارند. از آنجا که تمام غلتک‌ها فاصله یکسانی از محور لوله دارند، امکان دارد با تغییر موقعیت غلتک‌ها، قطرهای مختلف لوله بدون نیاز به تغییرات ساختاری تولید شود و همچنین غلتک‌ها در صورت سایش قابل تنظیم مجدد هستند (تصویر ۲۱).

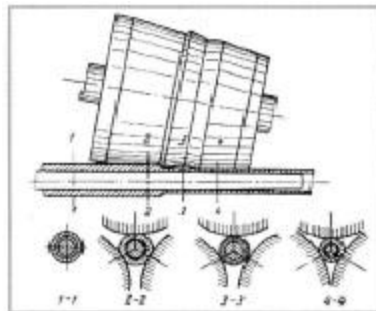


تصویر ۲۱ - فرآیند نورد در کارخانه نورد آسل

دو دستگاه پشت سر هم کار می‌کنند: اولی با پروفیل‌سازی نوآورانه آن زمان و دومی با غلتک‌های صاف.

- دستگاه اول، که غلتک‌های آن دارای شانه‌ای در ابتدای غلتک‌ها هستند، شل لوله ای را کشیده و طول می‌دهد.
- دستگاه دوم به عنوان کارخانه نورد کالیبره عمل می‌کند و لوله کشیده شده را کاهش قطر داده و کالیبره می‌کند.

معمولاً تنها یک دستگاه به کار گرفته می‌شود و پس از گرمادهی مجدد شل لوله، آن را از طریق کارخانه نورد کاهش‌دهنده و کالیبره‌کننده نورد نهایی می‌کنند و سپس به فرآیندهای سرد مانند سرد پیلگر منتقل می‌شود. یک دستگاه نورد تخصصی بوده و هست، به‌ویژه برای تولید لوله‌های با دیواره ضخیم که نیازمند دقت بالا در قطر و ضخامت دیواره هستند. این روش به‌ویژه برای تولید لوله‌های بلبرینگ کاربرد دارد (تصویر ۲۲).



تصویر ۲۲ - فرآیند تغییر شکل در کارخانه نورد آسل

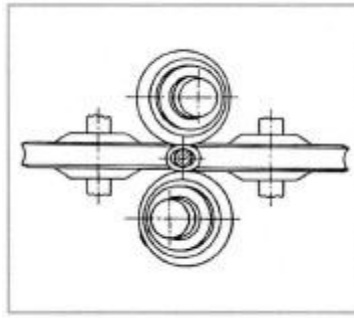
روش نورد دیشر

روش نورد اختراع دیشر (Diescher) از نظر ساختار شباهت زیادی به نورد اسل (Assel) دارد و تنها در دستگاه نورد اصلی با آن تفاوت دارد:

- به جای غلتک سوم برای تغییر شکل، در دستگاه دیشر دو دیسک محرک وجود دارد که فرآیند نورد را تحت تأثیر قرار می‌دهند.
- دیسک‌های غلتک که مطابق با کالیبر لوله تنظیم شده‌اند، سریع‌تر از دو غلتک مورب قبلی می‌چرخند. این موضوع باعث افزایش سرعت پیش‌رانش شل لوله، افزایش نیروی کشش و کشش محوری می‌شود.

در این روش، فولادهای غیرآلیاژی و کم‌آلیاژ و همچنین فولادهای بلبرینگ پردازش می‌شوند.

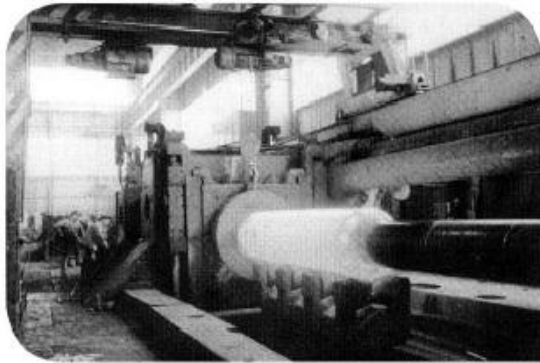
شل لوله‌های تولیدشده در دستگاه نورد دیشر از نظر قطر خارجی تقریباً با قطعه اولیه مطابقت دارند؛ ضخامت دیواره بین ۳ تا ۵۵ میلی‌متر و طول بین ۶ تا ۱۰ متر است. نقطه ضعف این روش، بارگذاری زیاد روی راهنمای دیسک‌ها است. (تصویر ۲۳)



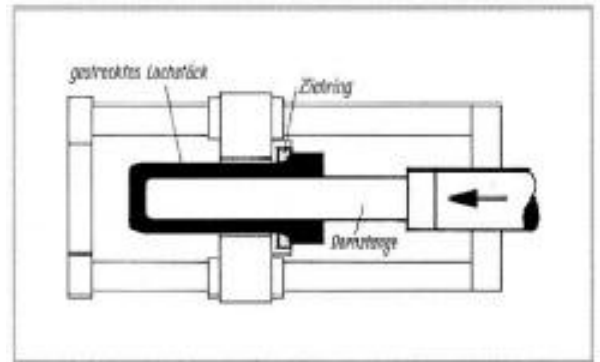
تصویر ۲۳ - فرآیند تغییر شکل در کارخانه نورد دیشر

روش کشش Ehrhardt / روش پیش رانش

در این روش، بخش دوم اختراع ثبت شده در سال ۱۸۹۱ توسط هاینریش ارهارت اجرا می شود. (تصویر ۲۴). شل لوله های سوراخ کاری شده در پرس بر روی میله ماندل قرار می گیرند، که قطر داخلی لوله نهایی را تعیین می کند، و سپس از طریق حلقه های کشش با قطرهای کاهش یافته عبور داده می شوند. (تصویر ۲۵) فرآیند ضربه یا پیش رانش به صورت مداوم انجام می شود؛ یعنی شل به طور یکنواخت توسط چندین حلقه کشش پردازش می شود. برای کاهش اصطکاک، حلقه های ثابت با حلقه های غلتکی جایگزین شدند. با این روش، لوله هایی با قطر خارجی ۵۰ تا ۱۱۰ میلی متر و طول ۳ تا ۱۰ متر تولید می شوند، بنابراین لوله های ضخیم با قطر بزرگ به دست می آیند. (تصویر ۲۶)



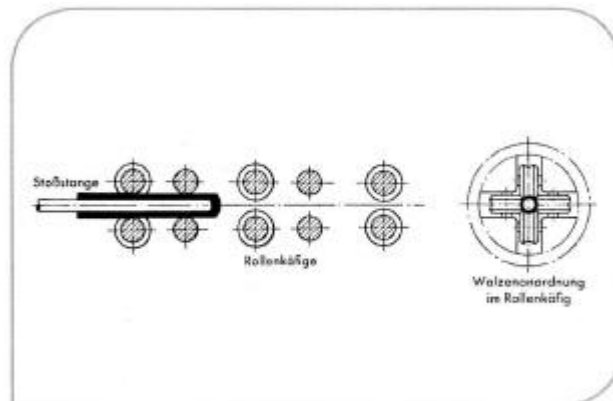
تصویر ۲۵ - شمش توخالی (شل) که روی یک میله ی پلاگ (Dornstange)



تصویر ۲۴ - طول دهی شمش توخالی در پرس کشش افقی (ارهارت) قرار

گرفته است، از میان چند حلقه کشش (Ziehrolle) عبور داده می شود.

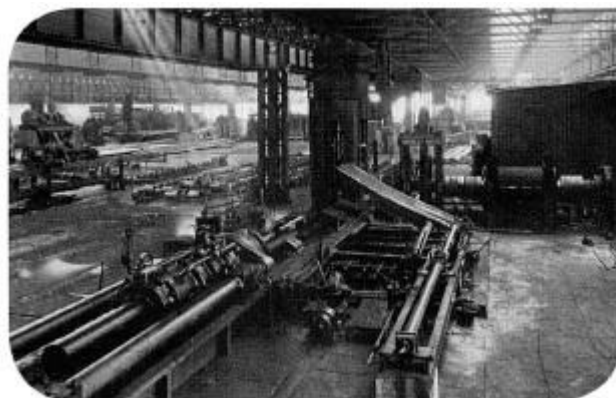
بدین وسیله قطعه کار طولانی می شود.



تصویر ۲۶ - فرآیند ضربه کاری (آهنگری) از طریق سازه ی چهار غلتکی

کارخانه نورد Fassel

برادران مانسمن پیش از این تلاش کرده بودند تا مواد اولیه حجیم را با کمترین تعداد مراحل و گرمادهی‌های میانی به لوله‌های قابل عرضه در بازار تبدیل کنند. اولین تلاش جدی برای تبدیل مداوم شل لوله‌های ضخیم تولیدشده در نورد مورب به لوله‌های با دیواره نازک توسط آلویس فاسل (Aloys Fassel)، کارمند پیشین کارخانه‌های لوله‌سازی مانسمن، انجام شد. فاسل که در Komotau و Remscheid در کارخانه‌های لوله مانسمن کار کرده بود، در طول فعالیت خود در دفتر مهندسی Remscheid، یک کارخانه نورد توسعه داد که می‌توانست به جای روش پیلگر مورد استفاده قرار گیرد. او بر اساس تجربه‌های حدود ۲۰ سال قبل در نورد لوله‌های کاهش‌یافته و استفاده از میله ماندنرل کار کرده و ایده نورد پیوسته را با مفاهیم خود و مستقل از نمونه‌های دیگر ترکیب کرده بود (تصویر ۲۷).



تصویر ۲۷ - خط لوله شماره VII در کارخانه نورد دینسلکن، ۱۹۲۱

آگوست تیسن (August Thyssen) که بسیار مشتاق بود لوله‌های فولادی بدون درز هم تولید کند، ایده فاسل را ۴۰۰'۰۰۰ مارک ارزش‌گذاری کرد. او در سال ۱۸۹۹ فاسل را به کار گرفت و به او دستور داد یک کارخانه نورد لوله بدون درز ایجاد کند. با توجه به اینکه حق ثبت اختراع نورد مورب منقضی شده بود، فاسل توانست یک نورد مورب را به ابتدای کارخانه خود اضافه کند. از آنجا، شل‌ها وارد خط نورد Fassel شدند. اولین خط، که در ۱۹۰۱ به بهره‌برداری رسید، با ۱۲ غلتک دوگانه که ۹۰ درجه نسبت به هم قرار داشتند کار می‌کرد؛ میله ماندنرل که شل‌ها روی آن قرار می‌گرفت، همراه با غلتک‌ها حرکت می‌کرد. نتیجه، لوله‌هایی به طول ۸ تا ۱۰ متر، با قطر خارجی ۵۷ تا ۱۱۰ میلی‌متر و ضخامت دیواره تا ۴ میلی‌متر بود. تجهیزات بعدی شامل ۱۴ جفت غلتک شدند. با این حال، این دستگاه‌ها به اندازه تجهیزات تولیدی با روش مانسمن قدرتمند نبودند و از نظر کیفیت، لوله‌های Fassel نتوانستند رقابت کنند. به همین دلیل، کارخانه‌ها بلافاصله پس از انقضای حق ثبت اختراع Pilger، به روش کلاسیک مانسمن تغییر یافتند.

نقطه ضعف سیستم Fassel این بود که او مجبور بود با یک موتور بخار مرکزی برای تمامی جفت‌های غلتک کار کند و سه مجموعه کامل غلتک — یکی در حال کار، یکی به عنوان ذخیره و یکی در بخش ماشین‌کاری — و همچنین تعداد زیادی میله ماندنرل داشته باشد. برای برنامه‌های نورد با دسته‌های کوچک و دامنه بزرگ قطر، این دستگاه نامناسب و غیر اقتصادی بود. علاوه بر این، اغلب مشکلات انسداد رخ می‌داد که برای رفع آن لازم بود دستگاه‌ها باز شوند و ماندنرل‌ها جوشکاری شده خارج شوند.

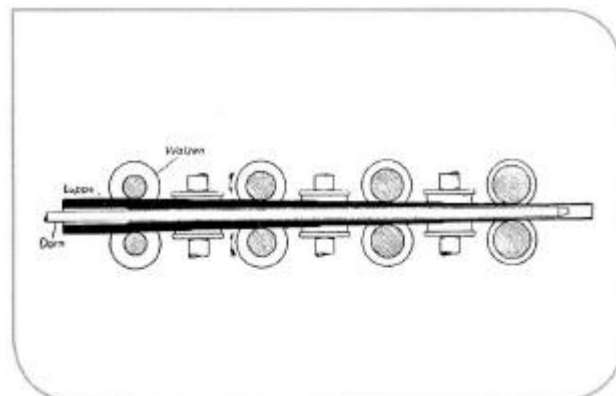
کارخانه نورد پیوسته با ساختار بهبود یافته

فقط پس از معرفی درایوهای الکتریکی مستقل و نوردهای کاهش‌دهنده کشش بود که توانستند برنامه نورد برای کارخانه‌های نورد پیوسته را به گونه‌ای طراحی کنند که تولید و در نتیجه بهره‌وری این تجهیزات به‌طور قابل‌توجهی افزایش یابد. علاوه بر این، طول لوله‌های نوردشده تا ۲۰ متر افزایش یافت (تصویر ۲۸). تنظیم غلتک‌ها ساده‌تر شد و هماهنگی سرعت‌های دستگاه‌های مختلف نیز بهبود یافت. برخلاف گذشته، شل‌ها همیشه به‌صورت آزاد روی میله ماندنرل قرار می‌گیرد.

در این حالت:

- کار کشش کم است
- فرآیند نورد نیاز به فشار غلتک کمتری دارد
- و ابزارها فشار و استهلاک کمتری را تحمل می‌کنند (تصویرهای ۲۹ و ۳۰).

تصویر ۲۸ - فرآیند تغییر شکل در کارخانه نورد پیوسته لوله



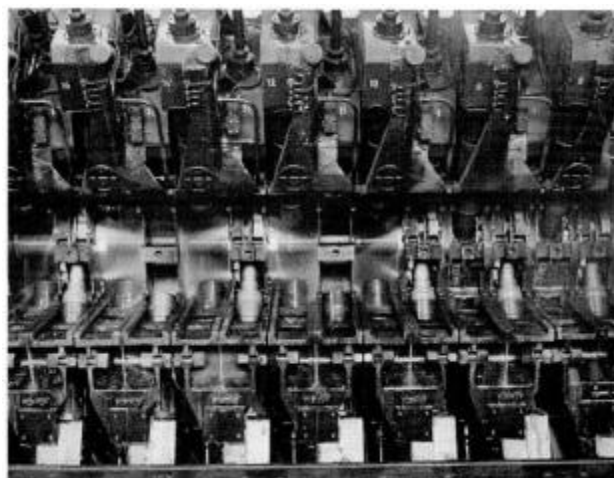
تصویر ۲۹ - کارخانه نورد پیوسته در مولهایم روی رودخانه روهر، حدود سال ۱۹۹۰ تصویر ۳۰ - بستر خنک‌کن با لوله‌هایی به طول حداکثر ۱۶۰ متر

در سال ۱۹۶۶، در کارخانه Mülheim از شرکت سابق Phoenix-Rheinrohr AG یک تاسیسات مدرن راه‌اندازی شد که برای اولین بار در جهان امکان داد لوله‌های فولادی به صورت پیوسته و با سرعتی که تا آن زمان غیرممکن تصور می‌شد تولید شوند.

در این روش:

- شل‌ها به صورت مداوم و یکپارچه از طریق دستگاه‌های دوگانه که پشت سر هم و با چرخش ۹۰ درجه نسبت به هم قرار دارند نورد می‌شوند.
- یک میله ماندل درون شل قرار داده می‌شود تا شکل و قطر داخلی لوله را تعیین کند.
- شل در جهت نورد روی میله ماندل حرکت می‌کند.
- غلتک‌ها طوری کالیبره شده‌اند که نه تنها ضخامت دیواره یکنواخت باشد، بلکه پس از پایان عبور، میله ماندل قابل خارج کردن باشد.

در آن زمان، لوله‌ها تا ۲۲ متر به شکل لوله پیوسته در می‌آمدند و امروزه این طول به ۳۰ متر رسیده است. پس از گرمادهی مجدد، لوله پیوسته در مرحله سوم شکل‌دهی روی نورد کاهش‌دهنده کشش به لوله نهایی تا طول ۱۰۰ متر تبدیل می‌شود. لوله‌ها دارای قطر ۲۶/۹ تا ۱۳۳ میلی‌متر و ضخامت دیواره تا ۲/۳۳ میلی‌متر بودند. (تصویر ۳۱).



تصویر ۳۱ - کارخانه/دستگاه نورد کاهش‌دهنده طول و قطر

در کارخانه Mülheim، تا پایان سال ۱۹۷۲، شرکت Mannesmannröhren-Werke که اکنون Mülheim زیرمجموعه آن بود، یک کارخانه نورد پیوسته لوله قدرتمندتر به بهره‌برداری رساند.

ویژگی‌های مهم این خط تولید:

- کنترل‌های خودکار، تجهیزات مکانیزه انتقال، سامانه‌های پردازش داده‌های الکترونیکی و امکانات تست غیرمخرب، امکان تولید بسیار بیشتر با کیفیت بالاتر را فراهم می‌کرد.
- برای کل برنامه تولید از ابتدا ۹۱/۳ تا ۱۳۳ میلی‌متر قطر، تنها از دو قطر مواد اولیه، یعنی ۱۴۰ و ۱۷۵ میلی‌متر استفاده می‌شد، در حالی که پیش از این حدود ۲۰ قطر مختلف لازم بود.
- جریان تولید مشابه همان چیزی است که در اولین کارخانه نورد پیوسته ۱۹۶۶ دیده شد، اما برخی ویژگی‌های خاص داشت:
 - کوره گردشی با سوخت گاز طبیعی
 - نورد مورب با عملکرد بالا برای سوراخ‌کاری شمش‌های جامد تا طول ۴ متر (قبلاً در این مرحله دو نورد مورب وجود داشت).
- طول لوله‌های پیوسته ۳۰ متر بود که یک سوم بیشتر از گذشته شده بود، و لوله‌های نهایی حتی تا ۱۶۰ متر طول داشتند.
- سرعت شکل‌دهی از شمش جامد تا لوله نهایی قابل توجه است: هر سه دقیقه یک شمش گرم شده از کوره خارج می‌شود و در نهایت لوله با سرعت ۱۸ متر بر ثانیه (۶۴ کیلومتر بر ساعت) از خط عبور می‌کند.
- این خط تولید چندین بار نوسازی شد؛ در سال ۱۹۸۳ بازسازی شد تا لوله‌های بدون درز با قطر خارجی ۲۱/۳ تا ۱۷۷/۸ میلی‌متر تولید شوند.
- این طیف گسترده تولید روی یک خط پیوسته پیش از آن در هیچ جای جهان وجود نداشت.

به طور خلاصه می‌توان گفت: تحولات در دهه ۱۸۸۰ با نورد مورب برادران مانسمن آغاز شد. این نورد مورب، به‌طور طبیعی، جزو پیشرفته‌ترین و سریع‌ترین کارخانه‌های نورد لوله بدون درز، از جمله نوردهای ماندل و پیوسته محسوب می‌شود. با بهره‌گیری از روش‌های پرس و کشش اردهارت، تمامی طیف لوله‌های فولادی بدون درز نورد گرم به‌طور بهینه پوشش داده شده است. اساس این دستاوردها اختراعاتی بود که بیش از ۱۰۰ سال پیش انجام شده و اهمیت آن‌ها تا امروز حفظ شده است.