

تکامل فرایندهای تولید لوله های فولادی بدون درز

یو . جی . گولیاف

آی . ماموزیچ

یه . آی . شفرین

مقدمه

روش های مختلف نورد گرم همچنان پر کاربردترین روش های ساخت لوله های فولادی بدون درز هستند . سابقه بیش از صد ساله توسعه فناوری تولید لوله بدون درز را می توان به طور مشترک به سه مرحله (تا سال ۲۰۰۰) تقسیم کرد.

۱-از میانه سال ۱۸۸۰ تا میانه سال ۱۹۳۰ ، شش فرایند اصلی برای غلتک کاری شل ها و تبدیل آنها به لوله های بدون درز ایجاد شده است: نورد پیلگر، نورد پلاگ طولی در نورد پلاگ **Stiefel**؛ کشش ماندل شل ها از میان سیستم حلقه ها در روش **Erhard Push Bench**؛ غلتکاری به صورت ماندل تمام شناور طولی در کارخانه های نورد لوله با چند استند **Fassel** و **Kellog** (۷ استند یا بیشتر)؛ غلتک کاری با ماندل شناور مارپیچی در نورد سه غلتک **Assel** و غلتک کاری با دیسک های مورب در نورد **Diescher**. در پایان سال ۱۹۳۰ طرح های غلتک کاری با استفاده از نورد پلاگ و پیلگر بیشترین استفاده را داشت.

مقدار کمی از لوله ها با استفاده از روش **Push Bench** و نوردهای **Assel** و **Diescher** تولید شد و در واقع از غلتک کاری توسط ماندل پیوسته استفاده نشد. از شمش های ریخته گری و آهنگری شده (**Ingot**) و شمش های غلتک کاری شده (**Billet**) به عنوان ماده اولیه در ساخت لوله استفاده می شد.

۲-در دوره میانه سال ۱۹۴۰ تا میانه سال ۱۹۸۰ ، فرآیندهای تولید لوله گرم به شدت کامل شد. اول از همه ، لازم به ذکر است که مرحله سوم کار گرم تقریباً در تمام فرآیندهای شناخته شده معرفی شده است: غلتک کاری به صورت عبور از نوردهای اندازه کننده یا سایزینگ (**Sizing**) یا کاهش - کششی (**Stretch-Reducing**) . فقط به دلیل غلتک کاری به صورت عبور به عنوان آخرین مرحله کار گرم ، نوردهای طولی ماندل شناور پیوسته با استفاده از ۷ تا ۹ استند کاربرد گسترده ای پیدا کرده اند. از سال ۱۹۶۰ به دلیل توسعه روانکارهای نوین ، روش اگستروژن گرم به صورت تجاری در تولید فولادهای آلیاژی و نیمه آلیاژی مورد استفاده قرار گرفته است. تا میانه سال ۱۹۸۰ ، نوردهای پیوسته با ماندل های نگهداشته شده و ماندل های نیمه شناور به کار گرفته شده اند. در همان زمان ، فرآیند ساخت لوله در روش **Push Bench** با کشیدن لوله از طریق کارتریج غلتکی به جای حلقه توسعه یافته است. به طور مداوم از شمش های گرد ریخته گری پیوسته (**Ingot**) به عنوان ماده اولیه استفاده می شود.

۳-در طی ۱۵ الی ۲۰ سال آخر قرن بیستم ، فناوری های زیر به صورت تجاری مورد استفاده قرار گرفته اند (جدول ۱) .

الف (کشیدگی شل های توخالی توسط غلتک کاری مورب (مارپیچ) در نوردهای سیاره ای سه غلتک ؛

ب (ریلینگ (**Reeling**) شل ها در نورد **Assel** نوسازی شده با زاویه تغذیه تنظیم شده و نورد های **Diescher** (در انواع مختلف ، از جمله نورد با دیسک و غلتک شیبدار ، به اصطلاح فرآیند **Accu-Roll**)؛

ج (غلتک کاری توسط ماندل ثابت شده طولی پیوسته در استند های دو غلتکی (**MPM**) ؛

د (کشیدگی شل ها در **Push Bench** با کارتریج غلتکی که در آن سوراخکاری شمش ها (**Billets**) به صورت پرس انجام که جایگزین سوراخکاری توسط نورد با غلتک های مخروطی (شیبدار) به صورت مورب گردیده است (فرآیند **CPE**)؛

هدف از این مقاله تکمیل فرآیندهای تولید لوله های بدون درز است.

تکمیل بودن فرآیند یک پشتوانه ضروری برای افزایش راندمان تولید لوله و تیوب است.

ماده اولیه	علتک کاری (نورد)	تکمیلی ، شکل دهی سرد ، عملیات حرارتی
قطعات تولید شده توسط ریخته گری پیوسته شل توخالی تولید شده در ریخته گری پیوسته ماده اولیه با امکان بهبود یافته برای شکل دهی گرم و سرد و کیفیت سطح برتر	PPM (Press Piercing Mill) -نورد غلتک کاری فشاری برای سوراخکاری قطعات (شمش) MPM (Multi Stand pipe Mill) -نورد پیوسته توسط دستگاه نگهدارنده ماندل -روش ایتالیایی MPM-SL (Multi Standless pipe Mill) -نورد پیوسته (بدون استند) با محفظه مشترک و دستگاه نگهدارنده ماندل -روش ایتالیایی فرآیند NEUVAL -نوع فرانسوی MPM با ماندل نگهدارنده که قبلا یک شاخه لوله بوده است -سوراخ کاری در استند غلتک کاری متقاطع (مورب) MPM-Aetna Standard Co. -نورد غلتک کاری پیوسته با یک ماندل نگهداشته شده و نیمه نگهداشته شده ، آزاد ، مثال شرکت “ VBC SUMITOMO ” MRK-S (Mannesmann Rohrkontiwalzwerk mit Striperverfahren) -روش مانسمان MRK با یک ماندل نیمه نگهداشته شده و Stripper MRK-AR (Mannesmann Rohrkontiwolzwerk mit Ausziehrohrwalzwerk) -روش مانسمان MRK با یک دستگاه نگهداری - ماندل و یک استند کشنده CPE (Crossroll Piercing Elongation) -سوراخکاری توسط غلتک کاری مورب (پیچشی) با یک کشیدگی در Push Bench CPD (Crossroll Piercing Diescher Elongation) -سوراخکاری با غلتک کاری مورب با کشیدگی در استند Diescher با ماندل نگهداشته شده ACCU-Roll -سوراخکاری توسط غلتک کاری مورب با افزل=ایش طول در استند غلتک کاری مورب با دیسک های Diescher با ماندل نگهداشته شده ، توسعه داده شده توسط Aetna Standard Co. در ۴ نوع PSW (Planeten-Schragwalzwerk) -استند غلتک کاری مورب سیاره ای برای لوله ها	توسعه روش های آزمایش غیر مخرب دستگاه های با راندمان بالا برای توسعه پوشش پلاستیکی، سنگ زنی داخلی نورد سرد پیوسته لوله ها استفاده از دستگاه های کشش چندگانه دستگاه های Tandem و چند استندی سرد و پیلگر سرد های سرد با راندمان بالا

جدول ۱- تمایل به توسعه در تولید لوله های بدون درز در طی ۱۵-۲۰ سال آخر قرن بیستم

شاخص های فن آورانه برای ۴ نورد با بالاترین توزیع در جهان (در قرن بیستم)

تاسیسات نورد غلتک کاری لوله به روش اتوماتیک (پلاگ) ، پیلگر ، نورد پیوسته و نورد غلتک پشت سر هم سه غلتکی (Assel) برای تولید لوله های بدون درز غلتک کاری شده گرم بدست آمده (در قرن ۲۰) بیشترین توزیع کاربرد در دنیا هستند. این تاسیسات از نظر شاخص فنی متفاوت هستند.

به عنوان مثال ، جدول ۲ عملکرد این نورد ها را نشان می دهد. جدول ۳ تغییر شاخص ها را با تولید غلتک کاری گرم لوله های بدون درز را نشان می دهد.

تاسیسات با نورد اتوماتیک و پیلگر وسیع ترین نوع کاربرد را دارند. تاسیسات با نورد پیوسته و نورد غلتک های پشت سر هم سه غلتک برای تولید لوله های با قطر کوچک و زاویه دار استفاده می شود که اولی برای لوله های با دیواره به نسبت نازک و دومی برای لوله های با دیواره سنگین (ضخیم) کاربرد دارد.

تاسیسات نوین با نورد پیوسته (نورد ماندل) کارایی بالایی دارند . نصب و راه اندازی نورد غلتک کاری بدون درز با نورد **Reeling** سه غلتک تضمین می کند که لوله ها در دقتی موشکافانه در مقدار ۱۵ تا ۲۰ برابر بالاتر نسبت به سایر تاسیسات بدست می آیند.

با در نظر گرفتن اینکه هزینه های فرآیند متالورژیکی در کلیه تاسیسات نورد غلتک کاری لوله های بدون درز ۱۵ تا ۴۰ درصد از هزینه محصول ، و ۶۰ تا ۸۵ درصد برای هزینه فلز (ماده اولیه) ضروری است ، ارزش عمده توسط (با) چنین شاخصی بدست می آید، به عنوان ضریب محاسبه ، که در تاسیسات پیلگر (در ارتباط با سر پیلگر در دسترس) و نورد غلتک های پشت سر هم سه غلتکی (انتهای لوله قابل توجه و لزوم تراشکاری لوله ها) بیشتر است.

علاوه بر تاسیسات نورد غلتک کاری لوله های بدون درز بصورت پیلگر و نورد **Reeling** سه غلتک با کمترین سهم از زمان اتلاف شده (زمان مرده) در دوره غلتک کاری (ریتم غلتک کاری) دارای یک توسعه (بسط) در مراحل ناپایدار پیوسته هستند.

تجزیه و تحلیل شاخص های فنی تولید لوله در تاسیسات مختلف غلتک کاری لوله بدون درز اجازه می دهد تا جهت های مرجع برای بهبود " دانش فنی " لوله ها را به شرح زیر تعریف کنیم :

-افزایش دقت لوله ها بر روی تاسیسات با نورد ماندل خودکار (خود عمل) و پیلگر؛

-گسترش نوعی تاسیسات با نورد سه غلتک و بالا بردن بهره وری آنها؛

-کاهش ضریب محاسبه (هزینه) در تاسیسات با نورد پیلگر و سه غلتک ؛

-کاهش زمان هدر رفته (مرده) در نواخت (ریتم) غلتک کاری بر روی نورد اتوماتیک و پیوسته ؛

-کاهش زمان مرحله های ناپایدار فرآیندهای انبساط در نورد پیلگر و سه غلتک؛

در جواب سوالی در مورد اعتلا بخشی تولید، داشتن فرصتی برای تاثیر گذاری بر فناوری ، طراحی و اقدامات مهندسی - سازمانی برای کارایی (بهره وری یا راندمان) تولید بسیار مهم است. این امکان انتخاب برای اندازه گیری ها و اقداماتی را فراهم می کند که بیشتر می توانند به کارایی تولید کمک کنند.

نوع نورد				شاخص ها
اتوماتیک	پیوسته	پیلگر	سه غلتک	
نوع : - قطر لوله غلتک کاری شده / میلیمتر -نسبت D/S	۴۲۶ - ۵۷ ۴/۴۵	۱۰۲ - ۳۰ ۱۰ - ۱۳	۷۰۰ - ۲۲ ۶ - ۴۰	۲۰۰ - ۳۴ ۴/۱۲
انحراف مفروض / درصد(%) -روی قطر - روی ضخامت جداره	± ۱ ± ۱۲/۵	± ۱ ± ۱۲/۵	± ۱ ± ۱۲/۵	± ۰/۵ ± ۶/۰
ظرفیت تولید ، برحسب هزار تن در سال	۷۰ - ۳۴۰	۱۱۰ - ۶۰۰	۱۹۰ - ۳۴۰	۲۲ - ۲۳۰
ضریب محاسبه	۱/۰۸ - ۱/۱۴	۱/۰۷۵ - ۱/۰۹۰	۱/۱۹۳ - ۱/۲۲۷	۱/۱۷۵ - ۱/۲۵۷
سهم زمان در نواخت غلتک کاری - محرک (ماشین) % - تکمیلی % - مرحله متغیر %	۲۰ - ۲۵ ۸۰ - ۷۵ ۱	۵۰ - ۶۰ ۵۰ - ۴۰ ۱	۷۵ - ۸۰ ۲۵ - ۲۰ ۱۵ - ۱۸	۸۰ - ۸۵ ۲۰ - ۱۵ ۲ - ۳
ضریب استخراج -در حال غلتک کاری -در حال گسترش	۱/۳ - ۵/۲ ۱/۲ - ۲/۱	۱/۸ - ۳/۰ ۳/۰ - ۶/۵	۱/۳ - ۲/۱ ۳/۰ - ۱۵	۱/۳ - ۲/۱ ۱/۸ - ۳/۲

جدول ۲- عملکرد نورد لوله بدون درز

محتوا				شاخص ها
کلی	شروع اجرا	کشش (تغییر شکل)	پایان (تکمیل)	
تلفات فلز در تولید لوله (%)	۵۰ - ۶۰	۱ - ۲۵	۲ - ۱۰	۲ - ۳۰
سرمایه مخارج (%)	۱۰۰	۲ - ۱۵	۲۰ - ۷۰	۲۵ - ۵۰
هزینه یک ساعت بهره برداری از تاسیسات (%)	۱۰۰	۲ - ۱۵	۳۰ - ۷۰	۱۵ - ۶۰
ذخیره زمان کاری سالانه تاسیسات (ساعت)	۷۵۰۰ - ۸۱۰۰	۷۵۰۰ - ۸۱۰۰	۶۵۰۰ - ۷۵۰۰	۷۵۰۰ - ۸۱۰۰

تکامل فرایند ها در شروع قرن ۲۱ ام

در شروع قرن ۲۱ ام ، به دلیل سخت تر شدن نیازهای مشتری به کیفیت محصول ، خدمات ، جهانی شدن و شدت گرفت رقابت در عرصه جهانی ، بیشتر تولید کنندگان لوله به روش گرم با مشکل نوسازی تجهیزات موجود و ساخت و ساز جدید مواجه شدند. از تعداد زیادی از ایده های بهبود فن اوری ها و تجهیزات برای ساخت لوله بدون درز نورد گرم ، جهت گیری برنامه ریزی تولید انبوه به طور عمده به سوی فن اوری ها با استفاده از نورد **MPM** پیوسته با استندهای دارای دو غلتک و نوردهای **FQM** و **PQF** با استندهای دارای سه غلتک به عنوان واحد های اصلی غلتک زنی (ریلینگ) بود. این یک تجربه موفقیت آمیز از حدود ۲۰ واحد

نورد MPM ساخته شده در پایان قرن ۲۰ام و راه اندازی واحد های FQM ، MPM ، PQF در چین ، بلاروس ، ژاپن ، روسیه و قزاقستان در سالهای گذشته است . در حال حاضر نصب نوردهای پیوسته در تعدادی از تشکیلات لوله سازی در عربستان سعودی ، چین و اوکراین و سایر کشور ها در حال انجام و برنامه ریزی است . لازم به توضیح است که نوردهای MPM با دستگاههای سوراخکاری به صورت پرسی تجهیز شده اند اما نوردهای پیوسته از دستگاههای سوراخکاری مورب که به صورت شیبدار هستند همراه با دیسک های راهنما استفاده می شود . با در نظر گرفت این واقعیت که دو یا سه اندازه از شمش در یک نورد سوراخکاری ، غلتک کاری می شوند ، طراحی آینده نوردهای سوراخکاری غلتکی احتمالاً به صورت عملکردی از دیسک های راهنما (در سوراخکاری شمش ها با قطر کم) و کفشک ها یا محورها های راهنما (هنگامی که شمش ها با قطر بزرگ سوراخکاری می شوند) در نظر گرفته خواهند شد.

استثنا و دور از ذهن نخواهد بود که نوردهای پیوسته بعدی از استندهای دو غلتک " ورودی " و سه (چهار غلتک) " خروجی " تکمیل می شوند.

از بین تمام نوآوری های امیدوار کننده در زمینه ساخت لوله های نورد گرم که می توانند در شرایط تولید در آینده نزدیک مورد استفاده قرار گیرند ، غلتک کاری شل در نورد کاهنده (کششی) - کشنده (کششی) به طور اختصاری فرایند CPS ، باید به عنوان امیدوار کننده ترین فرآیند متمایز شود. فرآیند CPS یک فرآیند دو مرحله ای است که در عملیات شکل دهی دوم وجود ندارد، یعنی نورد غلتک کاری لوله توسط ماندل (سنبه) وجود ندارد. شمش ها در یک نورد با آرایش (چیدمان) عمودی غلتک های مخروطی (شیبدار) در معرض سوراخکاری مارپیچ با نسبت کشیدگی تا ۱۲ قرار می گیرند. شمش سوراخ شده به طور مستقیم به نورد (سایزینگ ، اندازه کننده یا کالیبراسیون) کاهنده - کشنده (کاهشی - کششی) وارد می شوند. مزیت این فرآیند این است که به دلیل عدم وجود نورد غلتک کاری لوله با ماندل ، فهرست تجهیزات اصلی کاهش یافته و در نتیجه سرمایه گذاری کمتر می شود. چنین فناوری می تواند بیش از همه در تولید لوله های معمولی استفاده شود.

با توجه به نیازهای امروزی به کیفیت و دقت ابعادی محصول نهایی ، فرآیندهای سایزینگ و کشش لوله های در حال کاهش به عنوان مرحله نهایی فرآیند کار گرم از اهمیت بالایی برخوردار است. غلتک کاری مداوم چند مرحله ای به عنوان گام نهایی تولید در بیشتر الگوهای نورد ، کیفیت لوله های نورد گرم را به حد نهایی و پایانی می رساند. با توجه به روند توسعه فرآیند غلتک کاری مداوم چند مرحله ای می توان پیش بینی کرد که در آینده نزدیک این فرآیند بر اساس ایده استفاده از استندهای سه غلتک خواهد بود. استندها باید دارای درایو (محرک) های مجزا باشند که قابلیت انعطاف پذیری در تنظیمات را داشته باشند از جمله در میزان دور چرخش غلتک . علاوه بر دور بر دقیقه غلتک، شکل گذر یا عبور (Pass) غلتک نقش مهمی در تضمین کیفیت سطح خارجی و داخلی لوله های سایزینگ شده (به ویژه با روش کاهشی - کششی) ایفا می کند.

فرایند غلتک کاری چند مرحله ای (چند سلولی) معمولاً در نورد ها انجام می شود که در آن عبور غلتک در قسمت بعدی آن را در زاویه π / n (که در آن n تعداد غلتک ها در استند) نسبت به گذر غلتک پایه قبلی است. غیر قابل تصور نیست که این مفهوم در آینده نزدیک بر اساس شواهد نظری انجام شده در موسسه لوله و تحقیقات علمی و دولتی و موسسه متالورژی دنیپروپتروفسک (اوکراین تا سال ۱۹۸۰ میلادی) تجدید نظر شود. محاسبه ها نشان داده است که سطح بسیار کمتری از تغییرات ضخامت دیواره مقطع عرضی را می توان در هنگام استفاده از نوردی که دارای دو گروه استند (پایه) است و استند در یک زاویه π / n مرسوم π / n چرخانده می شود اما با گروههای استند در زاویه $\pi / 2n$ نسبت به یکدیگر چرخانده می شوند ، بدست می آید. برای اولین بار این ایده در شرایط تولید توسط طراحان EZTM JSC (روسیه) در کارخانه Dnepropetrovsk Tube Work (اوکراین) در سال ۲۰۰۸ نصب شده بود تحقق یافت.

در بهبود فرآیندهای ساخت لوله ، تجهیز خطوط فرآیند و واحدهای منفرد با سیستم های کنترل به کمک کامپیوتر در حال حاضر از اهمیت ویژه خاصی برخوردار است. در عمل تمام تاسیسات لوله سازی نوین قبلاً با ابزارهای کنترل عینی پارامترهای فرآیند اصلی و محصول مجهز شده اند. سامانه کنترل فرآیند CARTA (کاربرد فناوری غلتک کاری به کمک کامپیوتر) که توسط SMS Meer توسعه یافته است در حال حاضر به یک سیستم شناخته شده و کاربردی تبدیل شده است. وظیفه سامانه شامل اطمینان از سطح بالایی از بازده محصول و کیفیت در ساخت لوله است . تغییر قطر و ضخامت دیواره (جداره) لوله کوچکتر منجر به صرفه جویی در فلز و کاهش هزینه هم در دوره تولید و هم در طول پردازش لوله بعدی می شود.

در حال حاضر ، مشکل استفاده از سیستم های کنترل ابعاد لوله بر خط (On-Line) از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بدیهی است که به طور عملی تمام واحدهای پردازش مجهز به سیستم هایی برای اندازه گیری ضخامت دیواره لوله و قطر در آینده نزدیک خواهند بود. حسگرهای چند کاناله ابعاد خطی را اندازه گیری می کنند و نه تنها امکان ثبت تغییرات ضخامت متوسط دیواره را در طول مسیر لوله خط فرآیند، بلکه تعیین ویژگی تغییر ضخامت مقطع عرضی دیواره با وجود قیمت به نسبت بالای آنها در اولویت قرار می دهند.

نتیجه

۱- از انبوه ایده های بهبود فناوری ها و تجهیزات ساخت لوله های بدون درز نورد گرم ، می توان به ایده جهت گیری برنامه ریزی تولید انبوه به طور عمده به سمت فناوری خای استفاده از نوردهای پیوسته MPM با استندهای دو غلتک و نوردهای پیوسته FQM و PQF با استندهای سه غلتک به عنوان واحد اصلی Reeling (غلتک کاری اصلی برای تولید لوله اولیه) اشاره کرد.

۲- استثنا نیست، چه نوردهای پیوسته دیگری شامل استندهای دوغلتک " ورودی " و سه غلتک (یا چهار غلتک) " خروجی " تکمیل خواهد شد.

۳- از میان تمام نوآوری های امیدوار کننده در زمینه ساخت لوله های نورد گرم که می توانند در شرایط تولید در آینده نزدیک مورد استفاده قرار گیرند، غلتک کاری پیوسته در نورد کاهشی-کششی (فرآیند CPS) باید به عنوان امیدوار کننده ترین فرآیند شناخته شود.

۴- در حال حاضر، توسعه فرآیندهای طراحی با هدف رشد اثر بخشی هزینه و تشدید پارامترهای سرعت است.