



展望

21世紀の鋼管の冷間加工法を展望する

Perspectives on Cold Working Processes of Steel Tubes in the 21st Century

林 千博

住友金属工業(株) 社友

Chihiro Hayashi

1 はじめに

21世紀近未来の継目無鋼管および溶接鋼管の製造法については既に展望した。今回は鋼管の冷間加工法について展望する。

鋼管の冷間加工法はドローベンチによる冷間抽伸法とコールドピルガミルによる冷間圧延法に大別出来る。冷間抽伸法は1965年から1975年にかけて高速化、多本引き化、長尺化と同時に設備の大型化が進み、生産能率は大きく向上し、生産技術は顕著に革新された。しかしながら最近四半世紀の間は設備技術的に大きな技術革新は見られない。すなわち、冷間抽伸法は既に成熟期に入っているものと考えられる。鋼管の潤滑法としてはこれまでは化成処理潤滑法が主流であったが、今後は環境問題もあって油潤滑法が主流とならざるを得ない。設備技術面では著者の個人的見解ではあるが、フローティングプラグを活用し、直管のままエンドレスに冷間抽伸する連続抽伸法の開発とその実操業化を期待したい。これに対して冷間圧延法では1980年代に入って2件の技術革新がなされた。すなわち往行程のみならず、復行程でもフィードとターン角を与え、圧延能率と寸法精度を改善し、あるいはそれによって往復両行程の負荷のアンバランスを軽減することが出来る新型のコールドピルガミルが開発され、また、メカニカルな連動機構をメカトロニクス化することにより全体構造の抜本的簡略化がはかられた。そのほか、マスバランス方式などの改善もあって冷間圧延法は未だ発展期にあるように考えられる。今後は偏肉のない押出し技術の開発とあいまってコールドピルガミルの更なる高加工度圧延技術の開発が当面の目標となろう。

2 冷間抽伸法の現在と将来

冷間抽伸法の起源は必ずしも明瞭ではないが、マンネスマ

ンピアサの発明より1世紀以上古く、1782年には線引き用ドローベンチを改造し、銅管の冷間抽伸が試みられている。1838年、英国バーミンガムのチャールス・グリーンは銅系材料の継目無管の製造法を発明した。これは銅または黄銅の中空素管を鍛造し、スウェーディッシュミルでプラグ圧延して肉厚を減じ、ドローベンチで冷間抽伸する工程であった。継目無鋼管の冷間抽伸法の起源も必ずしも明瞭ではないが、1840年代には丸鋼を熱間プレスカドリルで穿孔した後、これを熱間圧延か冷間抽伸によって所定の寸法に仕上げる方法が行われている。また、円形の鋼板を深絞り加工するカップリング法の発明もあって、これらが当時の最も一般的な継目無鋼管の製造法であった。その後、1886年にマンネスマン穿孔法、1891年にはエルハルト穿孔法が発明され、冷間抽伸法はこれらの穿孔法の普及とともに発展してきた。

我が国における冷間抽伸法の起源は1905年、呉海軍工廠が英国鋼管会社より中古のスウェーディッシュミル、大型機2基、小型機2基とともに鎖式抽伸機3基、水圧式抽伸機1基を購入し、スウェーデンより中空素管を輸入してスウェーディッシュミルで延伸圧延し、冷間抽伸する工程で継目無鋼管を試作したのが冷間抽伸法の起源であり、同時に継目無鋼管製造の起源である。銅および真鍮管の冷間抽伸は1909年、住友伸銅場(安治川)で開始されたが、1912年には同じく住友伸銅場(安治川)においてマンネスマンピアサ→ピルガミル→冷間抽伸の工程で継目無鋼管の製造を開始、更に、1913年には呉海軍工廠より譲渡されたスウェーディッシュミルに加えて新たにマンネスマンピアサを購入し、マンネスマンピアサ→スウェーディッシュミル→冷間抽伸の工程の第2工場を稼働させた。少し遅れて1913年末、日本鋼管(川崎)でもマンネスマンピアサ→オートマティックミル→冷間抽伸工程で継目無鋼管の製造を開始した。その後、リロールメーカーも参加し、大戦終結直後の1945年には我が国でおよそ100基のドローベンチミルが稼働していた。そして、15年後

の1960年にはおよそ200基、更に15年後の1975年にはおよそ300基が稼働したが、その後、多本引きの普及と市況の低迷があって集約化が進められ、現在ではおよそ200基が操業している。

第2次大戦前のドローベンチはダイスの前後に1名ずつの作業員を配し、抽伸速度も遅かったが、大戦後、作業員1名で操業するドローベンチが開発された。まず、2本のマンドレルを交互に使用する1本引きのシーソ型ドローベンチが開発された後、3～5本のマンドレルをドラムの上に2セット備えたドラム型が開発された。住友金属(尼崎および海南)の例で時系列的に説明すれば、1957年、引拔力25トンのドラム回転方式を採用、1958年、引拔力45トンのシーソ型を採用して抽伸速度15m/minを実現、1963年、3本引き、35トンのドラム回転型を採用し、抽伸速度30m/min、1968年、引拔力135トンのドラム回転型シングルチェーン式を採用、1971年には5本引きダブルチェーン型、ドラム回転型を採用し、抽伸速度100m/min、更に1975年には最大引拔力200トン達成した。以上のように毎年、生産能率は向上し、同時に設備は大型化してきたが、これらの技術革新は米国、ブローノックス社の開発力に負うところが大きい。冷間抽伸設備は更なる高能率化をはかるため、ますます、高速化、多本引き化、長尺化の傾向にあり、大型設備では最大引拔力700トンの油圧プレス方式の抽伸機もあるが、ここ四半世紀の間には大きな進歩、発展は見られない。すなわち、冷間抽伸法は既に成熟期に入っているものと考えられる。

次は工具であるが、大戦直後は炭素鋼の工具鋼に硬質クロムメッキを施したダイスとプラグを使用した。1955年になるとタングステンカーバイドの超硬工具が広く普及し、ダイスにはテーパ型やR型ダイスが、冷間抽伸の主流であるプラグ引きには円筒形プラグが使われ、1959年頃よりマンドレル引き、1964年頃よりフローティングプラグ(浮きプラグ)としてテーパ型プラグが使われてきた。

話は前後するが、フローティングプラグの開発、実用化は冷間抽伸160年の歴史の中で最も画期的な技術革新であったように思われる。これによって長尺抽伸が可能となり、ブルブロック抽伸法によるコイルフォームも可能となった。我が国では1970年代初めに銅および銅合金管の製造にブルブロック抽伸が導入されたが、銅管のブルブロック抽伸は1980年、新日鉄(光)の小径電縫管工場で実操業化された。ブルブロック抽伸法の3型式を図1に比較した。著者の個人的見解ではあるが、今後はフローティングプラグを活用し、直管のままエンドレスに冷間抽伸する連続抽伸法の開発とその実操業化を期待したい。

冷間抽伸の潤滑特性には工具材質も大きく影響する。現在のダイスおよびプラグの材質は超硬のWC-Co系が一般的と

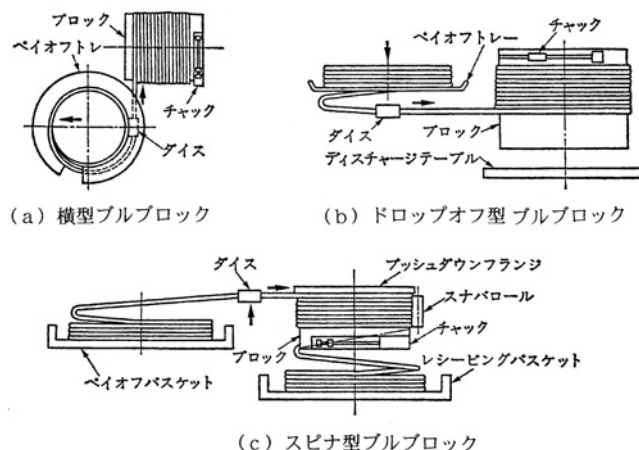


図1 ブルブロック抽伸法の3型式

なり、合金工具鋼に比較して耐摩耗性は格段に進歩した。セラミックス工具の進歩、発展も著しく、特に耐焼付性に優れるが、現在のところ、耐摩耗性などにまだ難点があるようである。線引きの分野では焼結ダイヤモンドダイスが採用され、工具寿命は大幅に延びており、銅管でも極小径の精密管への適用が有望と思われる。表面処理技術の進歩も目ざましく、耐焼付性、耐摩耗性に優れたTiC、TiN、VCなどを工具表面にコーティングした工具が使われ出した。

最後に、潤滑剤であるが、大戦後は潤滑剤には銅管の表面に塩酸で塩化鉄被膜を作った後、乳化ソリュブル油に浸漬し、時には石灰を併用したが、1955年には米国パーカライジング社開発の磷酸被膜の上にステアリン酸系の金属石鹸をコーティングする方法が採用され現在に至っている。機械構造用のように表面粗度を細かにし、美しい表面を得る磨き引きには油引きが行われる。ステンレス鋼については当初は錆びにくい材料を錆びさせようと工夫し、濃塩酸を振りかけ、筵で覆って蒸して発錆させ、乳化油に石灰粉を内外面に塗布して抽伸したこともあったようであるが、1958年にはパーカ社開発の磷酸塩被膜と金属石鹸の組み合わせによりスムーズな抽伸が可能となった。パーカ法導入以前には米国、ハングスターファ社製の樹脂系被膜の上にCl-S系の重合油を使用して急場を凌いだらしい。

一般に、潤滑は化成処理潤滑、樹脂潤滑、そして油潤滑に分類される。3種類の潤滑法を図2に比較したが、化成処理被膜法は工程が多く、かつ、煩雑であり、廃液処理を必要とする難点はあるが、潤滑性能に優れ、耐焼付性がきわめて良好であるため、現在でも潤滑の主流を占めている。炭素鋼や5%Cr以下の低合金鋼の場合は磷酸塩被膜、5%Crを超えるステンレス鋼、高合金鋼の場合は磷酸塩被膜を作り、ステアリン酸ソーダ溶液に浸漬して金属石鹸を生成する。

樹脂被膜法は塩素化樹脂に極圧潤滑油を併用する方法であり、耐焼付性に優れるが、潤滑剤の乾燥にかなりの時間を要

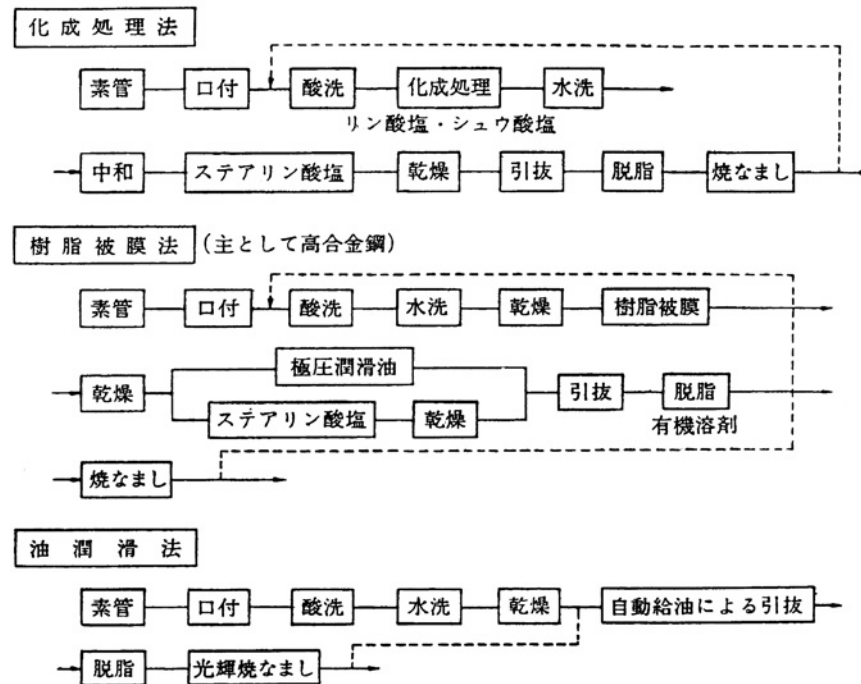


図2 冷間抽伸潤滑法の工程比較

し、また、脱脂に有機溶剤を必要とするなど工程が煩雑で、かつ、潤滑コストは高くなるが、耐食性に優れ、化成処理困難な高合金鋼には有効である。

油潤滑法は極圧潤滑油で潤滑する方法であり、全鋼種に適用出来、工程がきわめて簡略化されるので最も望ましい潤滑法であるが、耐焼付性は化成被膜法より若干劣っている。最近では潤滑油の性能向上と素材の前処理および工具材質の改良によって炭素鋼のみならずステンレス鋼の分野においても実用化の段階に達しており、近い将来、鋼管の冷間抽伸潤滑法の主流となろう。油潤滑における理想的な潤滑状態は流体潤滑であるが、冷間抽伸中は流体潤滑と境界潤滑から成る混合潤滑状態にあると言われている。そして焼付の防止には油の導入性と境界潤滑性能が特に重要である。油潤滑法で焼付が生じ易い理由は潤滑油の摩擦面への供給不足であり、通常の冷間抽伸の動圧効果では油の流入が不十分で、流体潤滑膜が十分に形成されず、むしろ、材料の表面粗さに潤滑油を含ませ、流入量を増加させるべきである。油の導入性に関しては材料の表面粗さと潤滑油の粘度が重要であり、表面粗さが粗いほど、潤滑油の粘度が高いほど摩擦面への油の導入量は多くなる。次に、境界潤滑被膜の破壊は主として摩擦面の温度上昇による吸着物質の離脱によって生ずる。従って、潤滑油としては高温まで吸着能を保持する油を選択し、潤滑性が不十分な場合はSやCl等の極圧剤の添加か固体潤滑の併用が必要である。例えば、市販の潤滑油は植物油あるいは動物油をベースとし、極圧剤として炭素鋼の抽伸にはSをおよそ10%、ステンレス鋼の抽伸にはClをおよそ30%含んだもの

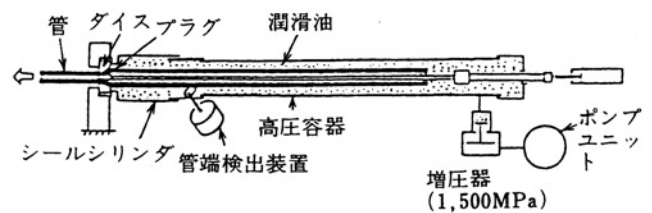


図3 高圧強制潤滑抽伸装置の構成

が用いられる。極圧剤としてのClの効果は画期的なものであり、ステンレス鋼や高合金の冷間抽伸には必要、不可欠なものである。今後は環境問題からCl添加潤滑剤の再利用の工夫、Clに代わる新しい極圧剤の模索、水溶性皮膜潤滑剤の開発が待たれる。最後に、大気圧下での油潤滑に限界がある場合や化成処理の困難な材料には高圧強制潤滑抽伸法が活用される。図3に高圧強制潤滑抽伸装置の構成を示した。潤滑油を加圧しない場合の残油量が $1\sim 2\text{g/m}^2$ 程度であるのに対し、 1000kg/cm^2 まで加圧すれば残油量は 20g/m^2 近くまで大幅に増加し、焼付が防止出来る。強制潤滑を実用化するための課題は第1に高圧シールや潤滑油の供給方法などの高圧技術であり、第2はハンドリング法の開発であったが、この課題はシールシリンダ方式の考案によって解決した。

以上、冷間抽伸法を主として潤滑法の観点から論じたが、今後の鋼管潤滑法としては環境問題もあって油潤滑法が主流とならざるを得ない。

3 冷間圧延法の現在と将来

コールドピルガミルは1928年、米国のパイプ&チューブベンディング社の機械技師、ジョージ・ニューバースによってゴルフシャフト用テーパ管の試作中に偶然に発明された。一對のテーパ状孔型を有する半円ロールを往復運動させ、テーパ管を作るはずであったが、管が止まらずに前進を続け、直管が出来てしまった。この時の断面減少率は75%に達しており、驚異的な高加工度冷間圧延法が開発される契機となった。1929年、ジョン・ホワイトはこの冷間圧延の将来性を見込んで特許を買い受け、チューブレデュースング社を設立したが、実用機の開発に手間取って1号機が完成したのは1931年になった。折悪しく、アメリカは大恐慌中で注文がなく、1933年、ヨーロッパで好評を得てからアメリカにも広まることとなる。1935年以降、ヨーロッパにおいてもチューブレデュースング社と技術提携してこのミルを製造するようになり、なかんづく、マンネスマン・デマージ社はその代表的なミルメーカーとして世界のコールドピルガミルの大部分を設計、製作し現在に至っている。これまでのコールドピルガミルの設置台数は450基に達し、最近でもこのミルの新設が続いている。

我が国において最初にコールドピルガミルを導入したのは住友金属であった。1953年、住友金属(尼崎)においてマンネスマンメーアの2-1/2インチミル(KPW)が2基稼働し、続いて1959年、3号機として同じ機種のみルが導入され、以後、1968年、近代的な1インチミルとして25VMR(KPW)、1971年から1972年にかけて3インチミルとして75VMR(KPW)が2基稼働し、更に1977年に25VMR(KPW)、1983年にマンネスマン・デマージ開発の新型コールド・ピルガミル50VMR(SKW)、1985年に住友重機械開発の新型ピルガミル25CRM(SKW)、1986年に同じく住友重機械の新型ミルとして4インチの100MCR(SKW)2基、1991年にはマンネスマン・デマージの新型ミル75VMR(SKW)が2基相次いで導入され、現在に至っている。1960年に神戸製鋼(長府北)に2-1/2インチミル(KPW)、近代ミルとしては1970年に75VMR(KPW)、1973年に25VMR(KPW)、1980年に同じく25VMR(KPW)、1990年に25VMR(KPW)と75VMR(KPW)が導入されている。1961年から1964年にかけて山陽特殊製鋼(姫路)に1-1/2インチミル(KPW)が3基、2-1/2インチミル(KPW)が3基、4-1/2インチミル(KPW)が1基導入され、近代ミルとしては1980年に75VMR(KPW)が2基、1981年に100VMR(KPW)が2基、1982年に新型ミルとして50VMR(SKW)が1基、1985年に75VMR(SKW)が1基、1989年に50VMR(SKW)と75VMR(SKW)が稼働し、1996年に5インチの新型ミルと

して125VMR(SKW)が1基新たに稼働してステンレス鋼、軸受鋼の冷間圧延に威力を発揮している。なお、日本鋼管(京浜)には1965年に4-1/2インチミル(KPW)、新日鉄(光)には1967年に3インチミル(KPW)が導入されている。ここで若干附言すれば、VMR(KPW)はマンネスマン・デマージ設計・製作の従来型のコールドピルガミルであり、往行程の開始直前でのみフィードとターンを与える機構の圧延機である。一方、VMR(SKW)はマンネスマン・デマージ設計・製作の最新のミルであり、CRM(SKW)は住友重機械設計・製作の最新のミルであっていずれも往行程の直前のみならず、復行程の直前においてもフィードとターンを与える機構を採用し、積極的に加工度を稼ぎ、生産能率を高めると同時に、毎回ターンによって寸法精度を抜本的に改善することを狙っている。図4にコールドピルガミル(KPW)の圧延機構を示した。一對の孔型ロールを組み込んだロールハウジングがクランク機構のコンロッドを介して往復運動する。その際、ロールと一体になったピニオンがラックと噛み合っており、ロールは往復運動と連動して回転が与えられる。ピルガミルは一對の孔型ロールとマンドレルから構成され、ロールはその外周面に母管寸法から仕上寸法まで滑らかに変化する孔型を有し、また、マンドレルも滑らかに変化するテーパ形状を

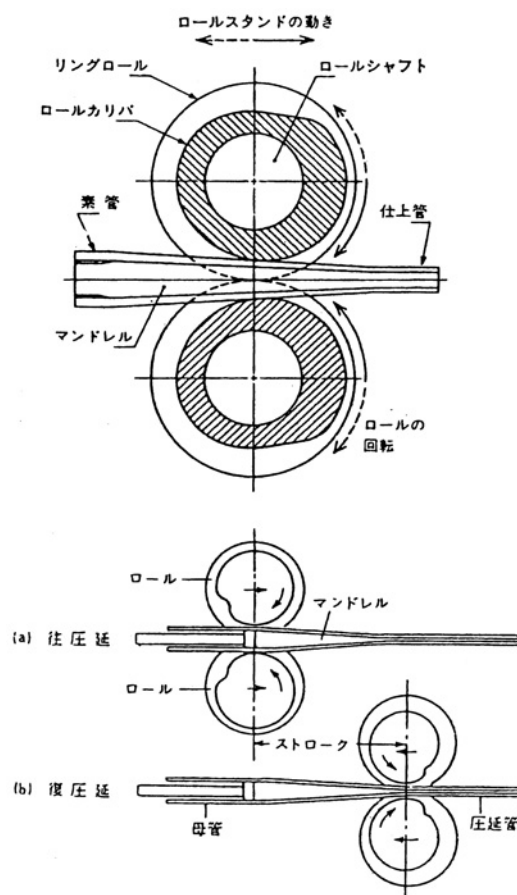


図4 コールドピルガミルの圧延機構

有する。そして、ロールを組み込んだハウジングが往復運動して管材を圧延する。ロールの回転方向は往行程と復行程で逆転する。往行程の直前には管材には所定の送り量すなわちフィードと、回転角すなわちターン角が与えられる。通常の圧延ではフィードは5～15mm、ターン角はおよそ60°である。

前述したように、1980年代に入ってマンネスマン・デマールおよび住友重機械は往行程の直前のみならず、復行程の直前においてもフィードとターン角を与え、積極的に加工度を稼ぎ、生産能率を高め、同時に、寸法精度を抜本的に改善する新型のコールドピルガミルを開発し、この潮流は世界に波及した。住友金属（尼崎）の25CRM（SKW）1基、50VMR（SKW）1基、75VMR（SKW）2基、100CRM（SKW）2基、合計6基のコールドピルガミルは新型圧延機であり、ほかに山陽特殊製鋼でも50VMR（SKW）2基、75VMR（SKW）2基、そして125VMR（SKW）1基、合計5基の新型圧延機が稼働している。なお、最近のマンネスマン・デマール社のカタログによれば、ターン角は往復両行程で与え、フィードは往行程のみで与えるように設計変更している。復行程でフィードを与えるとフィードの割には過大な荷重が発生し、設備的に過負荷になるからであろう。管の変形から見てもその方が理に適っている。

コールドピルガミルの特徴を冷間抽伸と比較して以下に列挙する。

- (1) 1回の圧延で最大90%までの高加工度圧延が可能であり、中間焼鈍や洗浄などの中間工程が省略出来る。
- (2) 圧縮応力主体の加工法であるので、難加工性材料の高加工度圧延に威力を発揮する。
- (3) 冷間抽伸法に必須の口絞り工程が不要なので、圧延歩留りに優れる。
- (4) 高加工度圧延によって素管の偏肉が矯正され、寸法精

度に優れる。

- (5) 反面、短所としてはロールハウジングの往復運動によって圧延が進行するため、冷間抽伸法に比較して加工速度がきわめて遅く、生産能率が低い。
- (6) 圧延中の変形がきわめて複雑で、ロール孔型設計がきわめて難しい。そして孔型設計の良否が圧延能率、寸法精度、ロール寿命を大きく支配する。
- (7) 孔型設計寸法にかなりの精度を要求されることもあって、ロールの加工費がきわめて高価である。しかし、最近では数値制御技術の発達でコールドピルガミルのロール加工は専用機により行われ、孔型設計寸法を入力すれば、所望の寸法精度で仕上げ加工出来るようになっている。

以上の特徴を勘案し、鉄鋼分野では高級品種、すなわち、軸受鋼、ステンレス鋼、高合金鋼、チタン、ジルカロイなどの圧延にコールドピルガミルを活用している。また、銅および銅合金の分野では仕上圧延機として使用するよりも粗圧延機として高加工度圧延の機能を活用することが多い。

従来のメカニカル方式のドライブシステムを図5に示した。ロールユニットはロールスタンドに組み込まれ、コネクティングロッドを介してクランクシャフトに連結される。主モータの駆動によりクランクシャフトが回転し、ロールスタンドは一定周期で前後に往復運動する。上下一対の圧延ロールはラックとピニオンによってロールスタンドの前後進に伴って回転し、材料を圧延する。マンドレルは先端を圧延ロールの中間に位置させ、後端をマンドレルチャックにより固定する。一方、材料は図中に示した入口チャックおよび出口チャックにより保持され、かつ、尾端には送りキャリッジが位置している。クランクシャフトの回転はベベルギア、ラインシャフトなどを介して送り用カムと回転用カムに伝達される。送り用カムはロールスタンドが一往復するごとに送りキ

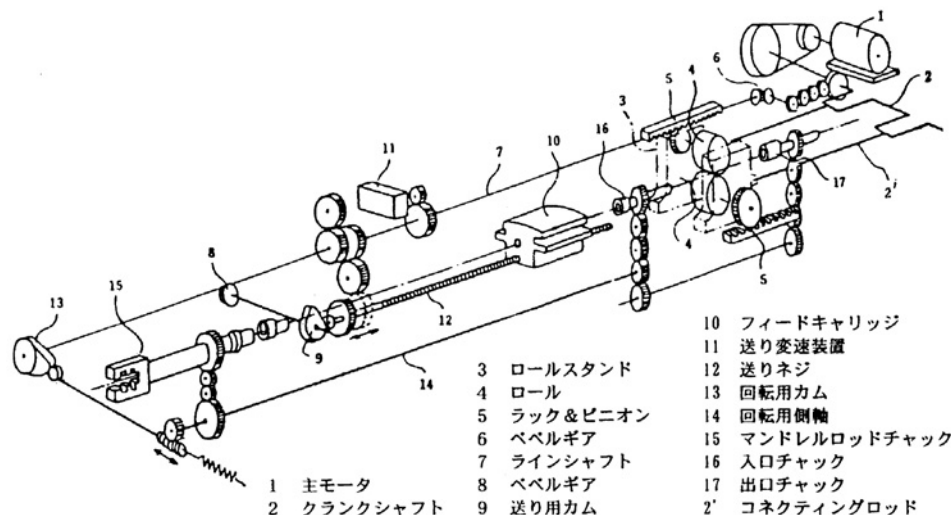


図5 メカニカル方式ドライブシステム

ャリッジをカムのリフト量だけ前進させる。一方、ラインシャフトから変速装置を介して回転する送りネジによりキャリッジは一定速度で前進し、結果として材料は所定量づつ間歇的に送り込まれる。回転カムは送りカムと同様に、圧延行程を終えるごとに回転シャフトを間歇的に回転させる。この間歇回転がマンドレルチャック、材料の入口チャックおよび出口チャックに伝達され、材料とマンドレルを同期させて一定量だけ回転させる。回転量はカムのリフト量により決定される。以上が従来のメカニカル方式のコールドピルガミルのドライブシステムであるが、その機構が複雑化するのには材料に送りと回転を与え、かつ、この送りと回転を正確に同期させなければならないからであり、しかも材料の送りと回転を直接行う機構は全体の構造のほんの一部に過ぎず、大部分は単なる動力伝達機構に過ぎない。そして機構が複雑になる結果、メンテナンス性が悪くなり、また、送り量および回転量の設定変更はカム交換などに複雑な作業を伴ない、稼働率を低下させる一因となっている。

1980年代に入ってこのメカニカルな連動機構をメカトロ化することにより全体構造の抜本的な簡略化がはかられた。メカトロ化に最初に成功したのは住友重機械と住友金属(尼崎)であり、この機構は1985年に稼働した住友金属(尼崎)の25CRMに採用され、続いて1986年、同所(尼崎)の2基の100CRM(SKW)に相次いで採用された。やがてマンネスマン・メーアもこれにならったので最近新設されたコールドピルガミルの多くはメカトロ化されている。メカトロニクス方式は主モータから複雑なメカニズムを介し、間歇駆動されていた材料の送りおよび材料とマンドレルの回転の機構をメカトロニクスにより結合することにより、主モータとは別駆動のDCサーボモータまたは油圧サーボモータにより独立駆動させる方式である。なお、主モータでクランクシャフトを回転させ、ロールスタンドを前後に往復運動させる圧延原理

は従来法と変わらない。メカトロニクス方式のドライブシステムを図6に示した。メカトロニクス方式ではクランクシャフトに取り付けられた回転位相検出器、キャリッジ送り専用駆動モータ、および材料、マンドレル回転専用の駆動モータと制御装置を備えている。検出器からの信号は制御装置に入力され、制御装置はロールスタンドの動きに同期したタイミングで送りおよび回転用の駆動モータをフィードバック制御する。すなわち、ロールスタンドの往復運動とシェルドライブの周期は電氣的制御システムにより行なわれ、ロールスタンドが圧延区域にあるか、アイドル区間にあるかの判定はクランク軸軸端の回転検出器によりクランク回転角を検出して行なわれる。その信号に基づき圧延区間からアイドル区間に移行する瞬間に駆動指令を出してシェルドライブを実行し、アイドル区間中に所定の駆動を完了する。圧延区間中、シェルドライブ系は停止保持される。

製品の寸法精度と生産性の観点からシェルドライブの制御システムには絶対精度および繰り返し精度に優れ、かつ、高速応答性に優れることが要求される。開発の初期の段階では送りドライブ系と回転ドライブ系のいずれにもDCモータを採用する方式と送りドライブ系にDCモータと油圧シリンダを、回転ドライブ系にDCモータを使用する方式の2つの方式について検討し、メカトロニクス方式の具体化の見通しを得た後、実機化に際してはDCモータより慣性の小さい油圧モータをアクチュエータに採用し、電気・油圧サーボ弁で制御して高精度、高応答性のドライブ制御システムの実現を図った。外径1-1/4インチクラスの比較的小径用コールドピルガミルでは、機械系の慣性が小さいので比例制御のみで前述の要求を満足することが出来たが、外径が4インチクラスになると機械系の慣性が大きくなり、また、摩擦などの外乱の影響も無視出来なくなり、比例制御のみで前述の要求を満足せしめることが困難である。そのため種々の補償を行い、高

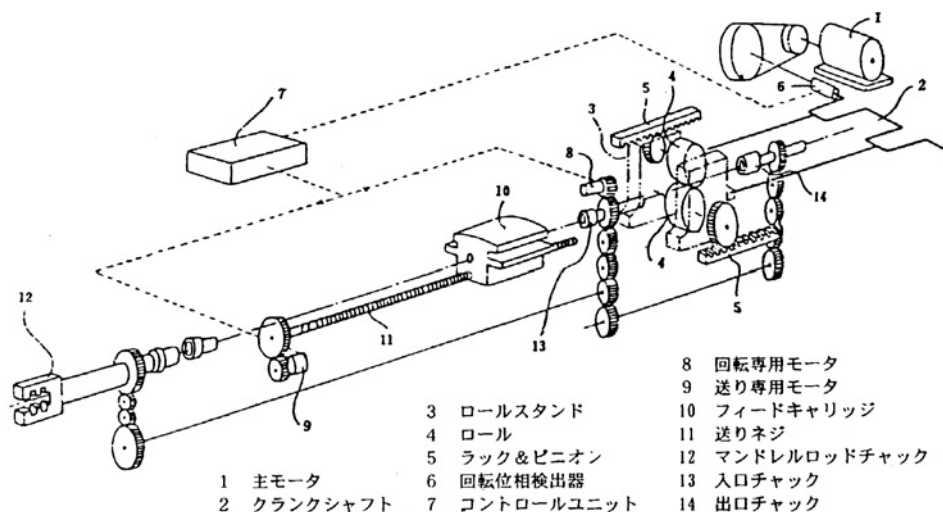


図6 メカトロニクス方式ドライブシステム

精度、高応答性のドライブシステムが完成した。

メカトロニクス・ドライブシステムの特徴を以下に列挙する。

- (1) 機械的な間歇運動を電氣的な運動機構に置き換えることにより設備の構造が簡素化し、コンパクト化がはかられる。
- (2) 長い側軸、複雑なカム機構を組み込んだギアボックスが不必要となって保守点検が容易になり、メンテナンス性が向上する。
- (3) ギア系のトータルバックラッシュ量が減少し、カム・レバー系の摩耗によるバックラッシュの影響が無くなり、フィードおよび回転角の高い精度の確保と維持が実現出来る。
- (4) 電気制御、油圧サーボ制御の採用により材料の送りおよび回転が高精度化、高応答化出来、かつ、信頼性が高い。
- (5) カムの交換など複雑な作業がなくなり、材料の送り量および回転角の設定がステップレスに簡単に行なえる。また、最適圧延条件の設定が容易になり、それによって製品品質が向上するとともに工具寿命の向上が見込まれる。
- (6) 1980年代になって往復両圧延行程で送りと回転を与え、積極的に圧延比を稼ぐミルが出現したことは前述した通りであるが、このような場合でも特に機械の改造を必要とせずに電氣的制御で簡単に対応することが出来る。

以上、冷間圧延法を設備技術の観点から論じたが、このほか連続装入法の開発やマスバランス方式の改良などもあり、冷間圧延法は未だ未だ発展途上にあるものと考えられる。

コールドピルガミルによる冷間圧延技術はユージーン押出し技術との関連において一体として考えるべきであり、今後は偏肉のない押出し技術の確立とあいまって、コールドピルガミルの更なる高加工度圧延技術が確立出来れば、特殊管の製造技術でも世界水準をはるかに凌駕することが出来る。

4 おわりに

以上、前々回の継目無鋼管の製造法、前回の溶接鋼管の製造法に続いて21世紀の鋼管の冷間加工法について展望した。再び繰り返しになるが、鋼管の冷間加工に限らず、鉄鋼業の主役は先進国から中南米、東欧、中国、インドそして東南アジアの開発途上国へ確実に移行していく。これからは総じて先進国より開発途上国の製鉄設備の方が格段に優れることになろう。鉄鋼産業は設備産業であるので、設備技術の優劣が生産技術の優劣を決定するものと考ええる。都合悪いことに最近の製鉄設備はコンピュータのソフトウェア付きで完全に自動化されており、鉄鋼技術の知識や経験がなくともそれなりの品質で製品が得られるようになっている。後発のハンデキャップは急速に小さくなって行く。更に、1985年のプラザ合意以来の円高誘導は我が国のコスト競争力を急激に弱体化させている。このような経済的逆境にあって我が国の鉄鋼産業をいかにして再生させるかについては最期の挑戦が必要であることは言をまたない。もう時間的余裕は残されていない。

詳しくは文献5)を参照されたい。但し、叢書では頁数の制約から冷間抽伸法に関する記述は止むを得ず省略している。

参考文献

- 1) 林 千博：ふえらむ，6 (2001) 9，683.
- 2) 林 千博：ふえらむ，7 (2002) 1，16.
- 3) 今井 宏：パイプ作りの歴史，アグネ技術センター，(1989)
- 4) 三瀬 真作：ふえらむ，3 (1998) 2，113.
- 5) 林 千博：鉄鋼技術の流れ，第2シリーズ，第5巻，鋼管の製造法，日本鉄鋼協会，(2000)
- 6) 林 千博：ふえらむ，6 (2001) 9，352.

(2002年3月4日受付)