

技術資料

UDC 621.774

鋼管製造技術の進歩*

三 瀬 真 作**

Progress on the Rolling Technics-Tube Manufacturing

Shinsaku MISE

1. 緒 言

一般に鋼管の生産量は普通鋼圧延鋼材の10~11%を占めている。したがって昭和47年の粗鋼生産量が1億tを越すようになり、鋼管も750万tを越し、量も世界第3位であるが、技術は第1位といつて過言でないところまで来ている。

鋼管は継目無鋼管と溶接鋼管に二大別されるが、その各々においても製法プロセスが条鋼や鋼板に比し多種多様である。すなわち継目無部門でも穿孔方式に傾斜圧延穿孔法、押出法、プレスドロ法とあり、次の工程の圧延伸張工程を組合わすと種々の方式が生れるが、世界の全方式が全部日本において稼働しており、日本人の勤勉と競争心が刺激となつて高い技術を生み出し技術輸出もなされている。

最近は特に生産能率の向上は10年前の3~4倍にも達しているが、品質は更に向上し省力化も活発である。また溶接技術の進歩は非破壊検査がミルコントロールにおよび信頼性が著しく増した。

今回は圧延技術の問題に焦点を絞り紙面の制限もあるので、その大綱を記述した。

2. 継目無鋼管製造技術の進歩

2.1 マンネスマン式製管法

マンネスマン穿孔機は主としてマンドレルミルあるいはアッセルミルとの組合せにおいて顕著な進歩が認められる。高傾斜角強制押込穿孔法の採用、マンドレルバー循環方式の採用あるいは3ロールピアサーの実用化がそ

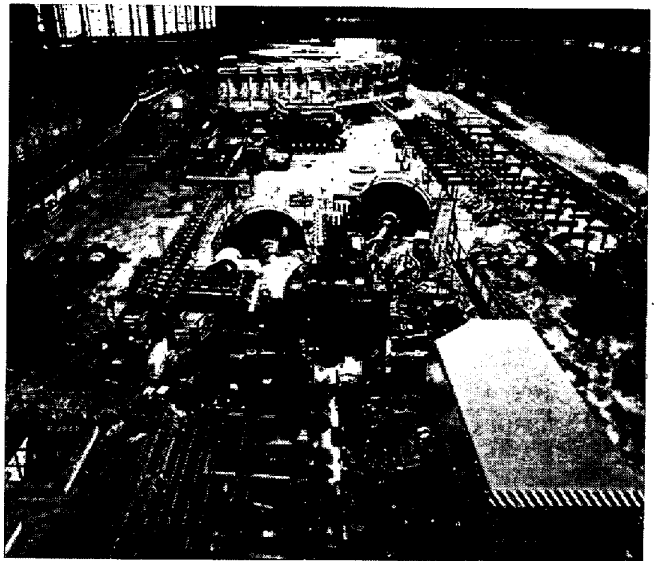


写真1 最新鋭ピアサーの外観

表1 最近のピアサー諸元比較

稼動年	1968年	1968年	1970年	1972年
諸元				
モーター出力	A.C 3 000 kW	A.C 3 500 kW	A.C 3 500 kW	D.C 3 000 kW × 2
ロール径	Max 1 180 φ	Max 1 100 φ	Max 1 100 φ	Max 1 150 φ
ロール周速	5.3~5.8 m/sec	5.4~6.0 m/sec	5.2~6.0 m/sec	5~6.5(穿孔中可変)
傾斜角	Max 12°	Max 12°	Max 12°	Max 14°
押込力	—	—	—	50 t
出口長さ	Max 11 m	Max 8 m	Max 8 m	May 9 m
出口速度	800~900 mm/sec			Max 1 100 mm/sec
アイドルタイム	11 sec			4.15 sec

* 昭和48年6月11日受付 (依頼技術資料)

** 住友金属工業(株)第二技術開発部

の主なものである。表1に最近のピアサー諸元を参考に示す。写真1は最新鋭ピアサーである。

プラグミルにおいては、プラグの自動供給装置およびパイプ回転の自動化が実用化されてきた。

2.1.1 高傾斜角強制押込穿孔法

マンネスマン-マンドレルミル方式では穿孔機が製管能率上のネックとなっており、穿孔機の能率向上のために多大の努力が払われてきた。

高傾斜角強制押込穿孔法は高速穿孔のために、ロール傾斜角を 14° ~ 17° まで上げて前進速度成分を大きくすると共に材料の嚙込みをよくし、前進効率を上げるために穿孔中管材の後方より油圧シリンダーで押し続ける方式である。

2.1.2 マンドレルバー循環方式

この方式は穿孔サイクルタイム中のアイドルタイム短縮のために開発されたもので、従来のスラストブロックが前後進するタイプとは基本的に異った方式である。

すなわち、穿孔が終了するとマンドレルバーはスラストブロックより離脱し、ホローシェルはマンドレルバーが挿入されたままキックアウトされる。つぎに別のマンドレルバーがキックインされて、スラストブロックに固定され、次の穿孔が開始される。

一方キックアウトされたホローシェルはマンドレルバーよりストリップングされ、ホローシェルはマンドレルミルへ転送、マンドレルバーは冷却される。したがって、10~15本のマンドレルバー(プラグ付)を1セットとして循環する。

2.1.3 3ロールピアサー

3ロールピアサーでは穿孔中ビレット内部に引張応力の発生がなく、2ロールピアサーに比して高品質の管を製造することができるので、世界各国で開発が進められ現在下表の3機が実用化されている。

3ロールピアサーの特徴は下記のごとくである。

① ビレット内部の引張応力の作用が少ないので、次の特徴がある。

- 内面カブレ疵の減少
- 製管可能な鋼種の拡大
- C-C ビレットの使用が可能

② 偏肉が2ロールに比して少ない。

③ 欠点としては、プラグおよびマンドレルバーのス

ラスト荷重が大きく機械が複雑でかつ能率が低いことである。

④ また材料の良質のものが得られるようになり、この必要度は弱まっていると見る意見もある。

2.1.4 プラグミルプラグ自動供給装置

従来プラグミルプラグのマンドレルへの供給は人力で行なわれていたが、これを機械的に自動供給する方法がチェコで開発された。その要領は以下のごとくである(図1)

① 回転するホイールのポケットにプラグをセットする。

② プラグはガイドプラグとワーキングプラグからなり、ホローシェルを押し込むとまずガイドプラグがシェルの先端に入り、マンドレル先端まで運ばれてマンドレルに固定される。

③ 圧延終了後シュートされたプラグは、シュート台より予定のホイールポケットに自動的にリセットされる。

2.2 マンドレル・ミル

近代的マンドレル・ミルは、1949年 National Tube Co., の Lorain 工場に設置されたのがはじまりで、その圧延能率のすぐれていることが認められ米国、欧州に6基設置されたが、主としてスタンダード・パイプの大量生産に用いられた。1966年ドイツの Thyssen Röhrenwerke A. G. が高級鋼管製造用にマンドレル・ミルを設置するにおよんで、能率、品質の高さが再認識され、日本国内はもとより欧州各国に相次いで設置された。

これら最新のマンドレル・ミルは各単位設備の自動化とコンピュータの導入により小ロット多品種といえども能率を落とすことなく製造できるシステムを確立し、生産能率は60~80 t/hrとなつた。同時に品質面においてパスデザインや潤滑剤の検討により、本質的にプラグ・ミル方式のもつ内面引掻き疵および内面精度の悪さをカバーし、生産性においてもプラグ・ミル方式にくらべ人員の減少と高能率により数段にすぐれ、品質、能率ともに完全にプラグ・ミル製管法を凌駕するに至つた。写真2は最近建設されたマンドレルミルを示す。

以下に最近のマンドレル・ミルの技術的進歩について述べる。

国名	会社名	工場名	プロセス	完成
イギリス	Tube Investments	Desford	マンネスマン・アッセルミル	1961
U. S. A	U. S. Steel	Wednesfield Gary	マンネスマン・マンドレルミル マンネスマン・アッセルミル	1969 1969

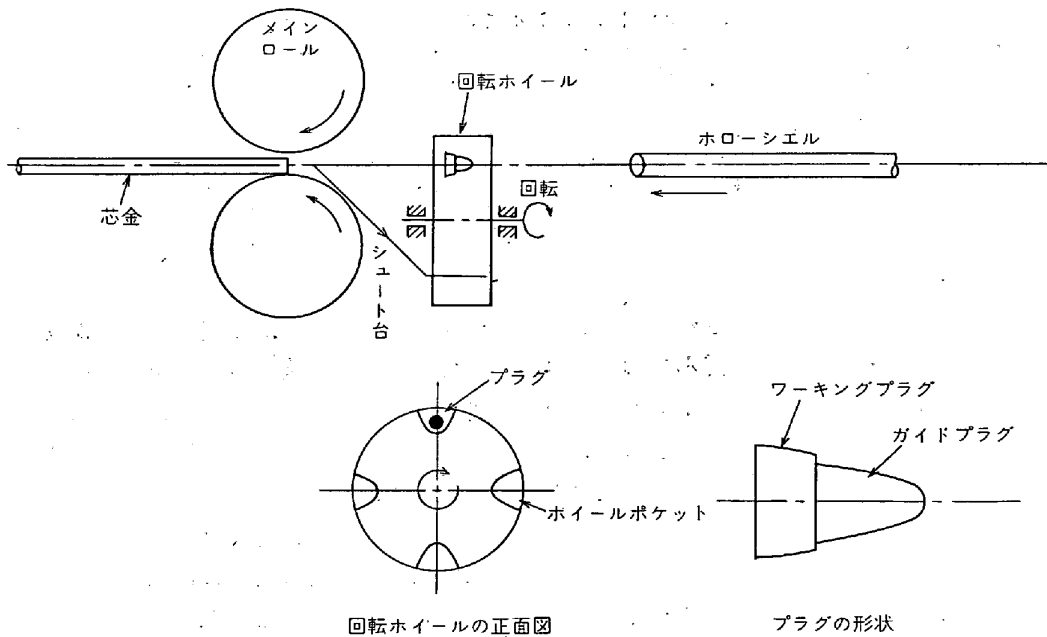


図1 プラグミルプラグ自動供給装置原理例

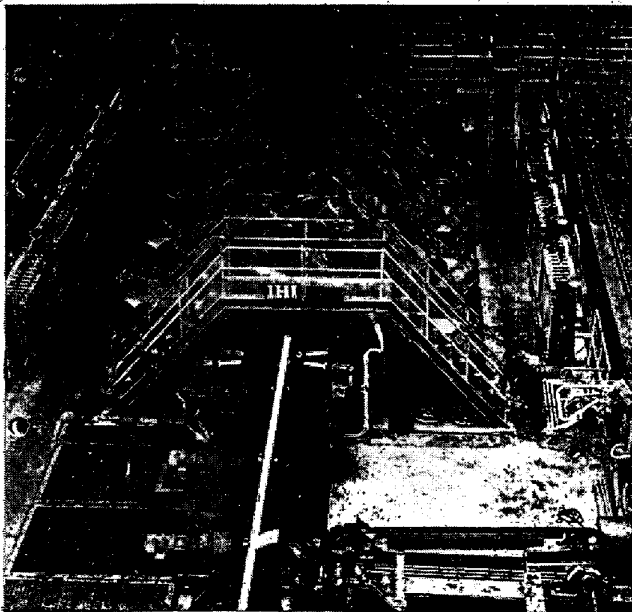


写真2 最新鋭マンドレルミルの外観

2.2.1 モータ制御技術の進歩

SCR やトランジスターを用いた制御方式の開発により、高性能かつ高速応答性が得られるようになり、マンドレル・ミル速度制御が極めて確実迅速に行なえるようになった。

2.2.2 徹底した自動化

材料の加熱炉装入から管切まし徹底した自動化が行なわれており、最近では組替時間の短縮やピアサープラグ交換装置の工夫がなされている。

2.2.3 圧延技術の進歩

① 圧延塑性論の確立

マンドレル・ロール孔型設計やロール回転数設定に関する塑性論的解析が確立されて管の品質と歩留を向上させている。圧延時に管の内面がマンドレル・バーと接触している溝底側では外圧と内圧と軸方向圧縮のもとで変形する管の問題とし、また、マンドレル・バーと接触していないフランジ側では外圧と軸方向引張のもとで変形する管の問題として、それぞれについて独立に方程式を導いたのち、両者のバランスを保つための適合条件式を求め、これらを総合し、さらに形状変化係数をも導入して有理化した基礎方程式を得た。これによつて圧延時に問題となるオーバー・フィル、アンダー・フィルについては、

$$f = \sigma_1 \cdot A + \sigma_1' \cdot A'$$

の式において、 $f > 0$ ならオーバー・フィルが、 $f < 0$ ならアンダー・フィルが発生し、 $f = 0$ なら孔型どおりに圧延されることが確かめられた[†]。(上式において、 A, A' は溝底側とフランジ側の断面積、 σ_1 と σ_1' は同じく軸方向応力を示す。) この結果と幾何学との組合せで孔型設計理論、回転数設定理論へと展開されている。さらに圧延過渡時に発生するストマック現象*についても解明され、モータ制御技術と組合せて、ストマック・コントロール技術が確立された。

② 圧延工具の改良

マンドレル・ロールは当初グレン・ロールが主流であ

参考文献

[†] 岡本, 林, 住友金属 Vol. 23, (1971) No. 4, p. 59
* マンドレルミルによつて圧延された管が両端から 4~5 m の位置において局部的に厚肉化することをストマック(stomach)現象と呼ぶ。

表 2 マンドレルミルでの製造範囲の拡大

年 代	中 空 粗 材 寸 法		マ ン ド レ ル ミ ル 仕 上 寸 法		
	外 径	肉 厚	外 径	肉 厚	圧 延 長 さ
1949~1964	125.0~155.0 mm	8.0~25.0 mm	75~130 mm	3.0~12.0 mm	14.0~20.0 m
1965~1970	130.0~175.0	8.0~30.0	108.0~148.0	2.8~20.0	25.0~33.0
1970~	110.0~205.0	10.0~35.0	90.0~175.0	3.0~25.0	20.0~33.0

つたが最近ではアダマイト・ロールが使用されているが、さらにチルド・ロールについても検討が進んでおり、ロール圧延寿命の延長をはかっている。マンドレル・バー材質についても Cr-Mo-V 鋼, Ni-Cr 鋼の使用により、バー表面の肌荒、摩耗を防止して、パイプ内面品質グレードの向上がはかられている。

③ 潤滑剤の改良

圧延時のパイプ内面とバー表面の潤滑剤の最も一般的なものは黒鉛と重油の混合物であるが、公害問題との関連から各国とも無煙性潤滑剤の開発に積極的であり、黒鉛水溶液、水溶性無煙潤滑剤が開発試用されている。

④ 寸法範囲の拡大

マンドレル・ミルでの圧延寸法範囲の拡大も当初にくらべ飛躍的に発展しており、圧延径も当初 $4\frac{1}{2}''\sim 5''$ が $7''$ まで拡大されており、将来 $7\frac{5}{8}''\sim 8''$ の圧延も可能であろう。

圧延肉厚も薄肉側については $2.8\sim 3.0$ mm まで可能であり、厚肉側も当初 $12\sim 15$ mm のものが $25\sim 30$ mm まで拡大してきている。圧延長さも最近では $30\sim 35$ m におよぶものもある。表 2 はマンドレルミルでの製造寸法範囲の拡大傾向を示す。

2.3 アッセルミル

2.3.1 トランスバルミル

最近の新しいアッセルミルはトランスバル型が多い。トランスバルミルの特徴は、圧延中に急速にハウジング回転角を変更できるスキューイング・メカニズムを有することである。

ハウジング回転角を変更すると、3つのロールの軸間距離は不変であるが、ロールで形成される穴型は変化し、回転角を大きくすると穴型は小さくなり、回転角を小さくすると大きくなる。したがって、トランスバルミルは、このスキューイングメカニズムを有することにより以下に示す利点がある。

① 圧延終了直前にハウジング回転角を下げると、圧延速度の低下と同時に圧延材の肉厚も厚くなるので、フレアリング（管後端部の膨れが大きいために3本のロールの間にはみ出す現象で、薄肉に発生しやすい。管のロ

ールからの引出しが不能になる）が防止できる。したがって、かなり薄肉（ $D/t=20$ ）のものでも安定して製管できる。すなわち、通常のアッセルミルに比して製管可能な肉厚範囲の著しい拡大ができる。

② 管の両端圧延時にハウジング回転角を大きくすると圧延材の肉厚は薄くなるので、フレアリングが問題とならない厚肉管の場合には次工程のシンキングミルにおける管端増肉現象を相殺することができる。

2.3.2 ロータリーサイザー

このミルではシンキングミルで仕上げられた管を、外径 $0.5\sim 1.0$ mm 減少しながら良好な真円度を有する管（通常 $\pm 0.5\%$ ）に仕上げる。シンキングミルとロータリーサイザーの組合せにより真円精度が向上すると同時に、基準外径以外の中間的な外径をも精度よく仕上げるのが可能であり、今後中間寸法への進出が期待されている。

2.4 ストレッチ・レデューサ

2.4.1 概 要

ストレッチ・レデューサは小径管の高効率生産用に各種製管法と組合せられて、鋼管の熱間仕上圧延機として広く普及している。1941年米国にて、各スタンドのロール回転数を自由に選択できる本格的ストレッチ・レデューサが登場し、その有利性が実証された後、国内においても1957年以来相次いで新設、更新が行なわれ、現在継目無、溶接ミルを含めて11基が稼動している。これらのミルの最も重要なロール回転数制御方式も、①直流モータによる各スタンド単独駆動方式、②油圧トランスミッションによる各スタンド調整方式、③交直流モータ組合せ方式が導入された。設備面の進歩と同時に、生産性、歩留の向上、製造可能範囲の拡大等にも多大の努力が払われ、その基礎となる連続孔型圧延理論の塑性解析にも着実な進歩が示されて、ここ10数年の圧延技術の進展には目覚ましいものがある。表3に最近新設されたストレッチ・レデューサの主要諸元の例を示す。

2.4.2 生産性の向上

製管設備の高効率化に対応して、レデューサにおいても種々の能率向上策が取られてきた。すなわち、駆動モ

表3 マンドレルミルに付帯するストレッチレデューサ設備主要諸元例

項目	会社名 N 社	S 社	K 社	マンネスマン社 No. 2 (ミュールハイム)
設置年月	1967年8月	1968年2月	1970年6月	1972年7月
型式	3ロール式 エキスターナルギア 三軸駆動型	3ロール式 インターナルギア 三軸駆動型	3ロール式 エキスターナルギア 三軸駆動型	3ロール式 エキスターナルギア 三軸駆動型
メーカー	デマーグ	ブロー・ノックス	イノセンチ	マンネスマン・メーア
主モータ	95kW × 7 St. + 125kW × 10 St. + 150kW × 7 St. (D.C. 単独駆動)	200 kW × 8 St. + 300 kW × 16 St. (D.C. 単独駆動)	200 kW × 24 St. (D.C. 単独駆動)	350 kW × 28 St (D.C. 単独駆動)
ロール回転数 制御方式	サイリスタ共通母線 界磁速度制御方式	同左	同左	
スタンド数	24 St.	同左	同左	28 St.
スタンド間隔	290~310 mm	381~394 mm	290~310 mm	310 mm
ロール径×幅	330φ × 135 mm	406φ × 152 mm	300φ × 160 mm ~300φ × 125 mm	330φ × 160 mm
母管径	133φ, 95φ	148φ, 108φ	175φ, 146φ, 90φ	146φ, 116φ
仕上外径	114.3φ ~ 27.2φ	139.7φ ~ 27.2φ	168.3φ ~ 21.3φ	133φ ~ 21.3φ
仕上肉厚	Max 24 mm	Max 15 mm	Max 16 mm	Max 20 mm
出口速度	Max 4.5 m/sec	Max 11.2 m/sec	Max 7.0 m/sec	Max 18 m/sec
冷却台 (長さ×幅)	45m × 18m	100m × 20m	66m × 18m	165m × 18m

ータの容量増大による高速圧延化、母管の大径化、長尺材圧延等が普及し、さらにロール組替装置の工夫（多スタンド同時組替）により組替時間の大幅短縮が実現されている。

2.4.3 圧延技術の向上

全歪理論に立脚する NEUMANN および HANKE の管絞り理論に端を發したレデューサ圧延機構の塑性解析は、電子計算機を用いた数値計算方法の確立により、着実な進展を示し、ロール回転数の設定法、圧延トルクの計算、ロールキャリバーデザイン法等が理論的に解明されて、パススケジュールの最適化が行なわれつつあり、その結果ストレッチ・レデューサの加工寸法範囲が飛躍的に拡大されてきた。中でもレデューサの二大欠点である内面角張および管端厚肉化現象の解明にはとくに精力が注がれ、著しい成果が挙げられつつある。すなわち内面角張については、ロール面圧力の周方向不均一分布により発生すること、孔型特性および軸方向テンションレベルの改善により克服可能であることが判明し、最近では t/D が 20% を越す厚肉管の製造も可能となっている。また管端厚肉化現象についても、その発生機構を連

続圧延機の過渡的圧延状態としてとらえ、各スタンドでの管の変形と軸方向の力の釣合をたどりながら管端肉厚分布を求める計算手法も開発されている。設備的にはインパクトドロップ防止、ドルーピング技術等に加えてさらに積極的に管端部分に特別のストレッチを与えるロール回転数制御法の開発が進められている。また、レデューサ前後の管長さの自動測定により、各スタンドのロール回転数を連続的に補正して圧延長さを制御する方策が考えられている。

2.5 ユジーン押出方式

2.5.1 生産設備

(a) 加熱設備

ユジーン方式にて現在使われている鋼材加熱設備は大別すると次の3種になる。

- ① 誘導炉直接加熱
- ② 燃焼炉予防熱と誘導炉加熱併用
- ③ 燃焼炉直接加熱

①は建設コストが低く小まわりがきくところから多種少量生産に適しており、開発初期の主として小規模なプラントに採用されたが、加熱費などのランニングコスト

が割高のため、最近のプレス容量の大型化および量産設備として、ランニングコストの低い②または③が採用されている。

燃焼炉としては回転炉床式が最も優れており、最大のもものでは最大加熱能力 73 t/hr の大容量のものが建設されている。

燃焼炉の雰囲気は、予熱炉として比較的低温で 사용되는場合は大気雰囲気のままが良いが、直接加熱炉として使用される例では、スケール防止のため還元性雰囲気加熱あるいは特定の酸化防止剤の併用などの措置が採られている。

(b) 押しプレス

機械構造用鋼管等の炭素鋼々管の分野でもその優秀性が認められ、開発初期の特殊製管設備から量産設備として、

① プレス容量の大型化

② 量産機としての機構改善

の2点が挙げられる。

プレスの大型化により能率生産性が增大することは勿論であるが、そのみならずプレス容量の増大によるコンテナポアー径の大型化のため、押出の成品寸法の拡大およびその重量の増大をはかり、石油化学工業用鋼管あるいは原子力用鋼管などの分野にも有力な方法として認識されてきている。

図2にプレス容量とコンテナポアー径との関係を示す。成品寸法範囲の拡大および能率の向上のためには、種々の方策が採用されているが、その具体例として、次の方策がある。

(A) 大型プレスとストレッチレデューサーとの組合せ

押しプレスとストレッチレデューサーを併用することにより、より小径なサイズに至るまで大径ビレットを使用してより高能率に生産可能となり、同時に単一プラントにてより広範囲な寸法範囲の生産が行なえる。

しかし押し出し時に付着する潤滑ガラスの除去について

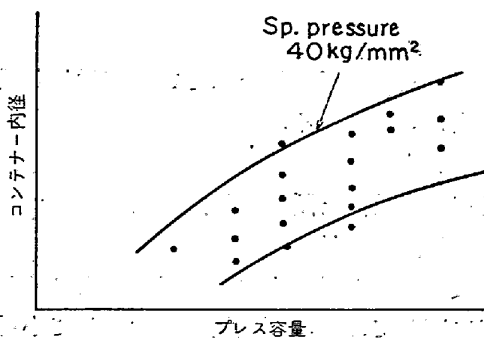


図2 プレス容量とコンテナ内径の関係

は十分な配慮が必要であり、レデューサーの入口にて高圧の水圧デスクレーにてこれを除去することにより、品質上の問題は解決された。

(B) ダブルコンテナ方式

生産能率向上のもう一つの試みとして、1プッシュ当りの所要時間を短縮するためコンテナを2コ配置して、それらをそれぞれ押し出し位置と押し残り片押し位置とで同時並行作業を行なう方式が採用された。

押し出しに付帯する各種作業が2つの位置にて順序良く並行処理されるため、その1プッシュ当りの所要時間が40秒から25秒まで短縮可能となった。

(C) 穿孔プレス

500 t 級の小容量のものでは単シリンダーであるが、最近の1000 t 級以上のものでは各段階の押し出し力に切替使用可能な複シリンダー方式が採用されている。コンテナについても回転式の2または3コンテナ方式が採用され、能率の向上が図られている。

2.5.2 特殊品の開発

(a) 中空および中実型鋼の生産

ひれ付管に代表される中空型鋼あるいはフォークリフトマスト材としての中実型鋼は、ユージン押し出し技術の工業化とともに開発された特異な分野である。

ひれ付管はエコノマイザーや水壁管などの発電用ボイラーチューブや化学工業用、熱交換器用として開発されたが、1体押し出し方式による品質の優秀さが認識されて、最近では超臨界圧の事業用ボイラーの水壁管として、炭素鋼に限らず、Cr-Mo 鋼をベースとする合金鋼にまで広く応用されてきている。

押し出し型鋼は圧延鋼材に比し、少量の生産でも経済的に行なえることおよび圧延では生産の困難な寸法、形状を生産できることの有利さから、たとえばフォークリフトのマスト材として使用されている。

(b) 特殊金属の押し出し

原子力用、特殊化学用途用などの特殊金属、すなわち、ジルカロイ、チタン、インコネルなどの管は他の加工法では極めて加工困難であり、現在まだ開発途上にあり、その量的に占める割合は小さいが、今後の技術発展にもない、その需要の増大が見込まれている。

原子力用の被覆管としてのジルカロイ管は、用途上極めてシビアな品質管理が必要であり、熱間押し出し作業においても、酸化ガスの吸収の防止ならびに良好なる押し出し管表面肌の確保のため、加熱はアルゴン雰囲気加熱を行ない、材料を内外面を3~5 mm 厚の銅にて被覆して押し出す方式が採られている。

このようにして得られた押し出し管は、内外表面とも良

好であり、酸洗により銅被覆を除去した後、そのまま次工程の冷間加工により成品に仕上げられる。

2.5.3 潤滑方法の改善

(a) グリースガラス法による脱ガラス処理の合理化
ユジーン押し法は潤滑剤としてガラスを使用するため、後処理として脱ガラス工程を必要とする。

本方式は内面の潤滑方式として、グリースをバインダーとしてガラス粉を混入し、それをマンドレルに塗布して押し出しを行なう方法であり、用途によつては押し出し後の脱ガラス処理工程を省略できる。

(b) 複合パッドによる押し出し法

押し出し用鋼片は、押し出し初期においてはその端面はやや温度が低下しており、端面のガラスが未溶のまま出て、成品の表面肌を害なう場合がある。

そのため、押し出し開始の初期のみ低粘度のガラスが作用する二層ガラスパッドを用いる方法が採られ、特に加工温度領域の狭い材料の押し出しに有効でよい。

2.6 中、大径用新ミルの開発

比較的小径用の設備については、大型押し出しプレス+ストレッチレデューサーまたはマンネスマシ-マンドレルミル

などの新しいミルが続々と設置されてきたが、中、大径サイズ用の製管設備については、基本的な変化は認められない。

しかしながら、最近ヨーロッパおよび米国でそれぞれ独自の中、大径管用の新ミルの開発が進められている。(下表参照)

3. 溶接鋼管製造技術の進歩

3.1 電気抵抗溶接鋼管製造技術の進歩

わが国で電気抵抗溶接鋼管(以下 ERW という)が製造開始したのは昭和 9 年である。続いて昭和 25 年以降に低周波回転トランス式溶接機の採用、昭和 36 年以降は高周波溶接機の採用と ERW の製造技術は大きく変遷してきた。最近の技術の進歩はこの歴史の上に積み上げ

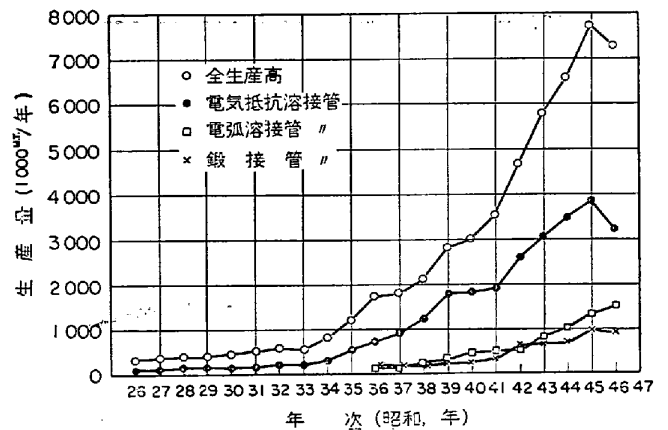


図 3 わが国の鋼管生産量変遷

たもので次の 3 つの項目に分類できる。

(a) 生産性の向上

造管機をスピードアップしての能率の向上。各機器の自動化、ライン化による省力化。

(b) 製造可能品種の拡大

外径、肉厚ともに製造範囲の拡大。寸法精度の向上。低合金鋼の製造等材質面での高級化。

(c) 品質面での保証

非破壊検査技術の向上。

かかる進歩の結果、ERW の製造原価は低減し、品質面において需要家からの信頼を得ることができた。また現在わが国で生産されている ERW は全鋼管生産量の約半量以上を占めるにいたつた。(図 3)

3.1.1 生産性の向上

昭和 36 年より各 ERW メーカーは高周波溶接機を新設のミルへの採用は勿論のこと、既存の低周波機も高周波へと改造した。その結果溶接機としては能率面で大きな飛躍が計られたが、ミルライン全体として見たとき、ミルエントリー、カッドオフマシンなどの付帯設備がミルスピードを制約するようになり、その後これらの設備の改善が計られてきた。その結果、高周波溶接機採用の小径管ミルで最大 60 m/min 程度の能率であつたものが今日では 100 m/min から 120 m/min まで改善されている。(図 4)

会社	新ミルの名称	製管プロセス	寸法範囲
Aetna Standard (U.S.A)	Multi-stand Plug Mill (M.P.M)	ロータリピアサー-M.P.M-リーラー-再加熱炉-サイザー	6 ¹ / ₂ "~13 ³ / ₈ "
Mannesmann Meer (西独)	Continuous Plug Mill (C.P.M)	ロータリピアサー-G.P.M-サイザー	6"~13 ³ / ₈ "
Carmes* (スイス)	Multi-stand Pilger Mill (M.P.M)	-P.P.M**-エロンゲーター-M.P.M-サイザー	~13 ³ / ₈ "

* Carmes は Finsider 傘下の Innocenti (イタリー) と提携している。

** P.P.M: Press Piercing Mill いずれのミルもマンドレルミルがフルフロートマンドレル法であるのに対し、セミフロートマンドレル法を採用している点が特徴である。

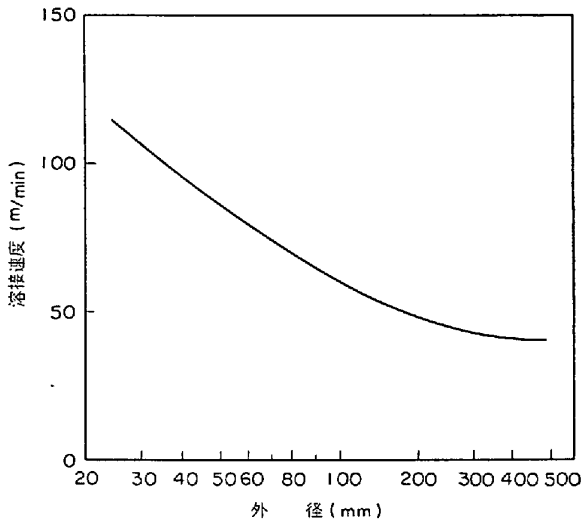


図 4 電気抵抗溶接管の作業上の最高速度

表 4 カットオフマシンの型式 (基)

造管機 サイズ (mm φ)	ディスク タイプ	ソー タイプ	ツール タイプ	プレス タイプ	計
~40	2	0	2	0	4
41~60	17	2	1	2	22
61~80	9	3	0	4	16
81~	1	0	0	7	8
計	29	5	3	13	50

(a) アンコイラーの大型化

ミルへの供給コイルを大型化することによりコイルの溶接接続回数を減らし、ミル全体の稼働率、歩留の向上が計られている。たとえば2インチミルは平均2~3tのコイルを扱っていたが、最近のミルには15tの容量を持つたものもあらわれている。またコイル操入方法の自動化を計り作業人員を2名から1名に減らす等省力化も行なわれている。

(b) ルーパーの大型化

アンコイラーの大型化に関連してルーパーも大型化した。送入コイル長さがケージタイプでは350m、天井式や地下式では180m以上になつてきている。

(c) カットオフマシンの改善

溶接速度向上にはプレスカッタの採用やディスクカッタのストローク延長による切断能力向上対策をとられている。最近わが国のカットオフマシンの形式は表4のようになつている。

(d) 精整設備全体の改善

ERW ミルにストレッチレデューサの組合せによる熱

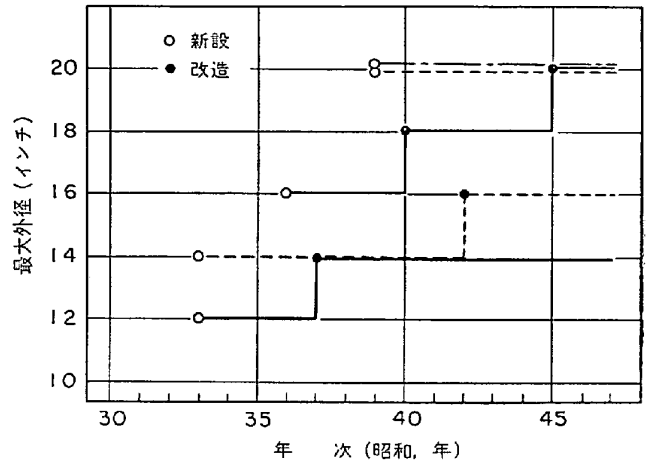


図 5 電気抵抗溶接管の最大外径の変遷

間仕上 ERW の製造も生産性向上の一つである。

小径管をアズロールで製作すると t/hr は非常に小さいが、ストレッチレデューサで中径 ERW より小径一般管の製作は鍛接管製造設備に対抗する能力を ERW ミルに果たした。

3.1.2 製造可能品種の拡大

ERW は継目無鋼管と比較するとむしろ同一寸法同一品種では値段が安いという需要家の概念で使用されてきた。それも配管用鋼管等いわゆる一般管の需要のみが ERW の分野であつた。最近では高級品種やサイズ面で ERW の生産範囲を広げることにより需要家に便益をもたらした継目無鋼管使用分野を ERW に変えて行つてのが現状である。

(a) 製造範囲の拡大

ホットストリップミルの発展により ERW の外径製造範囲は図5に示すように年々拡大され、現在 20 インチ (508 mm) までの製造が可能であるが、2200 mm のホットストリップミルの出現により今後は 24 インチ (660 mm) までの製造可能になるであろう。

また肉厚範囲についても拡大された。フォーミングミルのスタンド配列やロールカリバーの改善により、超厚肉ミルや薄肉専用ミルが出現している。最近の厚肉ミルの設置例としては、

昭和 40 年	6 ⁵ / ₈ " ミル	最大肉厚	10.5 mm
昭和 43 年	4 ¹ / ₂ " ミル		8.6
昭和 46 年	2" ミル		7.0

などがある。表5は厚肉薄肉の製造例である。

(b) 使用材料の品質向上

高級品種を製造可能にした大きな要因は材料自身の品質向上によるところが大きい。

① 脱硫技術の進歩により鋼の硫黄含有量が減少し、

表 5 厚肉・薄肉製管の例

厚肉製管の例			薄肉製管の例		
外径 (mm)	肉厚 (mm)	肉厚/ 外径(%)	外径 (mm)	肉厚 (mm)	肉厚/ 外径(%)
42.7	6.5	15.2	48.6	0.8	1.65
76.3	9.5	12.5	89.1	1.4	1.57
101.6	10.5	10.3	139.8	2.1	1.50
318.5	14.0	4.4	318.5	2.7	0.85

溶接不良率の減少など ERW 品質の向上が行なわれた。

② 真空脱ガス法により清浄度の高い素材が供給でき、溶接部の介在物を減少させた。

③ Nb, V などの特殊元素の添加により C_{eq} (炭素当量) の小さい溶接性の良い材料ができた。

④ ホットストリップの圧延技術の進歩により、帯鋼の肉厚精度が向上した結果、鋼管の偏肉精度のうるさい品種の製造を可能にした。

ホットストリップミルでの調整圧延(Controlled Rolling) 技術が確立して靱性の良好な素材を供給できた。などでめろう。

(c) 内面ビード切削技術の向上

ERW の高級化の要因としては、フォーミングの技術、溶接技術の基本的な研究と共に内面ビード切削技術の向上は重要な項目の一つである。外径 19 mm や 25.4 mm のような小径 ERW の製作を可能にしたことはビード切削工具の改善とその技術の進歩がなくてはできなかった。また内面ビードをスムーズに切削できるようになったことより、超音波探傷においてビードエコーの障害を受けずに検査できるようになった。これらはいずれも高級管の品質を保証するに欠くべからざるものである。

3.1.3 品質面での保証

ERW 溶接部の非破壊検査法として超音波探傷法や渦流探傷法が一般的であり、ERW の高級化とともに種々の改善が加えられている。

(a) 超音波探傷設備

小径管においては探触子回転式超音波探傷器の導入により鋼管全面に渡って探傷を可能し、また中径管においては両面探傷方式の採用などがありいずれも高級品種の品質保証の面で増々高度化している。

また一部のミルではオンラインコントロール用および材料のラミネーション検査用に本設備を採用し最終成品の保証ばかりでなく、ミルコントロールに大きな成果を上げている。

(b) 渦流探傷設備

とくに小径 ERW においてミルの生産性向上にともなう高能率の検査設備として渦流探傷器が大幅に採用され

た。プローブ型の渦流探傷設備の開発により一部のミルではオンラインに設置して威力を発揮している。

(c) マグナ探傷設備

従来の湿式マグナ探傷にかわる録磁テープ利用の磁気探傷法が開発され、乾式で探傷できるので、メカニカルチューブなどの検査に利用され防錆上の効果を上げている。

3.1.4 新分野への進出

前述のような ERW 製造技術の進歩によりその製品は新分野へと進出している。

(a) 高級油送管への進出

従来油送管は API 規格の 5 L-B, 5 LX-X 42, X 46 程度までであったが、近年は X 60 クラスまで大量に生産されている。これはミルラインの溶接機後のポストアニラーとそれに続く長い冷却設備の効果によるところが大きい。しかし今後の課題として X 65 またはそれ以上のグレードの製造に努力していくであろう。

(b) 油井管への進出

現在では API 規格の H-40, J-55 は生産されているが、今後は N-80 の ERW が実現するのもま近である。

(c) 高級缶管への進出

JIS 規格の STB 42, ASTM 規格の A 178-C などのボイラーチューブについては大型ボイラーにどしどし採用されるようになった。今後の課題としては 450°C 以上でも使用できる低合金鋼鋼管の実用化が進められている。

(d) 小径熱交換器用鋼管への進出

今まで冷間抽伸方式で製造されていた 19 mm や 25.4 mm の小径サイズもアズロール化され石油精製、石油化学の分野で多量に使用されるようになった。

(e) 機械構造用鋼管への進出

厚肉ミルの出現により、厚肉管や高強度の構造用鋼管への進出ははげしい。高張力構造用では今後抗張力が 70 kg/mm²~80 kg/mm² にもなる鋼管の実用化が話題となろう。

これらの各分野での将来の進出のためには、なお一層の技術向上への努力を行なう必要があり、それには各ミルの専用化、省力化が増々進められていくものと思われる。

3.2 鍛接鋼管製造技術の進歩

わが国ではフレツツムーン式連続鍛接管(以下 CW という)設備は鋼管製造設備としてもつとも生産性の高い設備の一つとして昭和 29 年に導入された。その後昭和 39 年に 2 基、昭和 44 年に 2 基、昭和 45 年に 2 基増設され、現在 7 基の設備が稼働している。ERW と同様

に、最近の CW の技術はなお一層の生産性の向上、製造可能品種の拡大に力を入れてきている。図 3 に CW の生産量の推移を示した。

3.2.1 生産性の向上

CW の生産性向上は設備の大型化によるところが大きい。とくに加熱能力の向上とミルスピードの増大にある。

(a) 加熱炉の能力向上

当初の加熱炉能力は 37 t/hr、炉長が 49 m 程度のものであったが、自動計測装置の発達により燃焼諸元が苛酷であるこの炉の温度制御技術が向上した結果、最近の能力は 65 t/hr に増大し、炉長は 58 m と大型化している。また昭和 39 年以降の設備には排ガスエネルギーを利用した予熱炉が設置され熱効率が 35% 程度まで向上している。さらに鍛接ロール手前のウェルディングホーンに酸素使用の検討、バーナーノズル形状の検討などにより大幅に燃焼原単位が低減している。

(b) レデュースングロールスタンドの増設

加熱炉の大型化にともないレデュースングスタンド 4→10→12 スタンドと増設され、ミルスピードは最大 488 m/min にも達している。図 6 はサイズ別のミルスピードを示す。

(c) ホットソーの高速化

ミルスピードの増加はホットソーを高速化しようとするロータリー型のソーを採用させた。切断用カム回転数当りの切断可能長さ範囲は従来の 2 倍となり、切断長さの変更が容易になつてきている。また冷却床上の管分割用、管端用ソーは鋸刃の交換を容易にするため 2 頭式が採用され、稼働率向上に寄与している。

(d) ストレートナ的高速化

各スタンドの負荷を軽減して十分な矯正を行なうため 2-2-2-1 タイプから 2-2-2-2-1 タイプにスタンド数が増設され、最大速度も 260 m/min から 380 m/min に

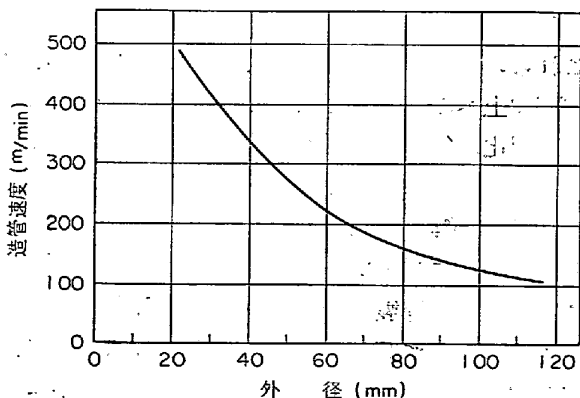


図 6 鍛接管の外径別造管速度

外径 (A) (mm)	肉 厚 (mm)					
	0	2	4	6	8	10
6	10.5					
8	13.8					
10	17.3					
15	21.7					
20	27.2					
25	34.0					
32	42.7					
40	48.6					
50	60.5					
65	76.3					
80	89.1					
90	101.6					
100	114.3					
125	139.8					
150	165.2					

図 7 鍛接管の製造可能範囲

向上している。

(e) ルーパーの自動化

手作業でおこなわれたコイルのルーピングは地上、天井走行台車式、ループスロー式を採用して自動化されている。

(f) ストレッチレデュースーとの組合せ

ERW ばかりでなく、CW の小径管の生産性向上のため CW ミルにストレッチレデュースーを組合せた設備もあり成功している。

3.2.2 製造可能品種の拡大

(a) 製造サイズの拡大

レデュースングロールの増設はミルスピードの増加以外に小径厚肉管の製造を可能とした。肉厚と外径の比は最大 20% にもおよんでいる。図 7 に製造可能寸法を示す。

(b) 品種の拡大

当初は生産量のほとんどは配管用鋼管であったが、内面ビードが発生しないことより電線管に使用されたこと、薄肉品の製造技術向上により足場管に使用されたこと、熱間仕上鋼管であるので曲げ加工の厳しい冷凍配管に使用されたことなど CW はその使用可能範囲を拡大してきている。

(c) 非破壊検査の適用

CW 品質の保証として高能率検査設備が必要であり、渦流探傷設備を採用している。通常はストレートナ直後に設置して全数検査をするが、さらに熱間渦流探傷設備が開発されてミルライン中に設置されている例もある。

3.2.3 今後の課題

CW の課題は、なお一層のコスト低減を行なうことである。加熱炉の寿命延長、燃料原単位の低減、完全自動化への努力などがさらになされなくてはならない。品質

面では熱間圧延の特徴を生かし、抽伸による材料管分野への進出が検討されている。

3-3 大径サブマージアーク溶接鋼管製造技術の進歩

近年、ますます石油、天然ガスなどに対する需要の伸びが顕著であり、アラスカ、カナダ北極地域、北海、ソ連などにて、新たな油田およびガス田の開発が進められている。このような背景のもとに、パイプラインの敷設計画も多くあり、これらに使用される大径管は今まで以上に大径化、ハイグレード化の傾向を示し、低温靱性の要求も厳しくなっている。これらの要望に答えて、わが国の大径溶接鋼管製造技術は大幅な進歩を示した。

3-3-1 ストレートシーム溶接鋼管

(a) 製造可能寸法範囲の拡大

ストレートシーム溶接鋼管の生産方式は、その成形方法により、つぎのように分類される。

U-O プレス方式

コンティニアスロールフォーミング方式

3 ロールベンダー方式

この中、大量生産に適した方式は前2者であつて、U-O プレス方式は昭和 25 年ころから、コンティニアスロールフォーミング方式は昭和 35 年頃から北米で開発建設されはじめ、現在世界 20 数カ所で本格的な大径溶接鋼管工場が稼動している。わが国では、図 8 に示すように、昭和 35 年に U-O プレス工場が稼動して以来、今までに大径化しながら、4 基のミルが稼動に入り、さらに 2 基が建設中である。図 9 はわが国の製造可能寸法範囲の現状を示すが、ここ数年内に外径 64 インチまで

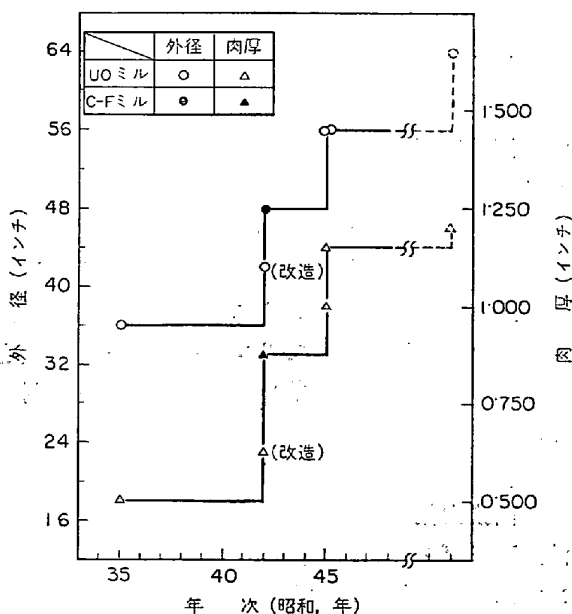


図 8 ストレートシーム大径溶接鋼管の製造範囲の拡大

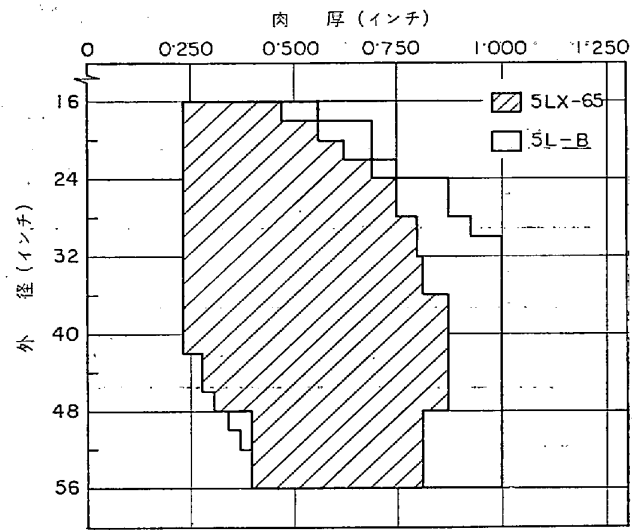


図 9 ストレートシーム大径溶接鋼管の製造可能範囲

の製造が可能となるであろう。

一方成形上の問題点としてラインパイプのハイグレード化にともない、成形困難なエッジ部分を予め曲げておくエッジベンディング設備が設けられるようになった。当初はロールタイプであつたが、最近ではプレスタイプが採用され、良好な成形が行なわれている。

(b) 仮付技術の進歩

成形された管はサブマージアーク溶接前に突合せ部を仮付けするのが普通である。従来はオープンパイプをバンドクランプで締付けて手動アークまたは半自動アーク溶接により数人の作業員でスポット的に仮付を行なっていたが、省力化、品質の安定化の面から自動化が進められている。突合せ部のオフセット防止のため、バンドや型枠で締付け、多数の自動アーク溶接機で同時に全長仮付けする方法、または電気抵抗溶接管と同じように、ロールを用いて突合せ面を密着させ、管を移動させながら全自動アーク溶接法により全長仮付けする方法などが用いられている。コンティニアスロールフォーミング方式では、成形ライン中で高周波電気抵抗溶接法により、全長仮付が行なわれている。

(c) サブマージアーク溶接技術の進歩

製管速度の向上には溶接速度を上げる必要があり、単電極から 2 電極、さらには 3 電極へと変遷しつつある。図 10 は板厚と溶接速度の関係の一例を示す。溶接速度を極端に上げると溶接部にアンダーカットを生じやすくなる。この生成傾向は溶接電源の結線方式により影響を受ける。表 6 は 2 電極方式での結線方式と溶接ビード外観の関係の一例を示す。結線としては DC-DC の組合せの場合がもつとも良いビード外観を示し、ついで AC-

表 6 溶接電源の結線方式と溶接ビード外観の関係

溶接速度 (m/min)	結線 AC-AC (V結線)	AC-AC (逆V結線)	AC-DC (先行-後行)	DC-AC (先行-後行)	DC-DC
2.5	良	アンダーカット 連続	良	アンダーカット 連続	良
2.7	微アンダーカット 少	同上	微アンダーカット 少	同上	良
3.0	同上	同上	同上	同上	良

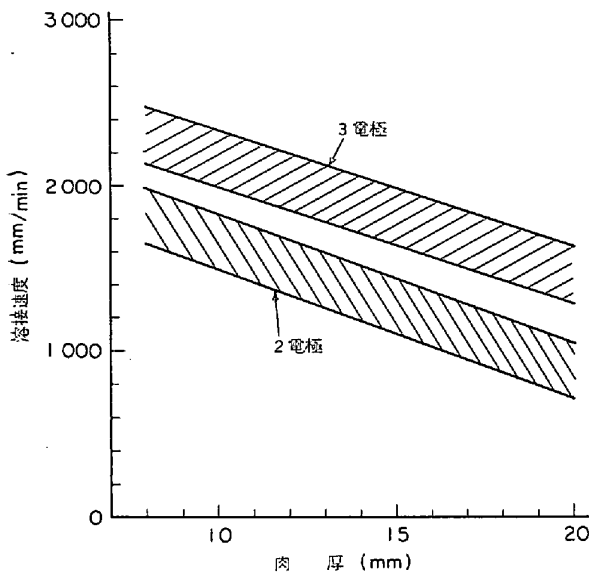


図10 ストレートシーム大径溶接鋼管の溶接速度の例

AC-V 結線および AC (先行)-DC (後行) のタンデム方式である。

(d) 拡管技術の進歩

拡管の方式としてメカニカル方式と水圧方式がある。寸法精度などの品質上の差はみとめられないが、最近の大径化や内径基準仕様の増加などから、設備費の点も考慮してメカニカル方式が増加している。

3.3.2 スパイラルシーム溶接鋼管

(a) 製造可能範囲の拡大

構造用あるいはラインパイプなどにおいて、大径化および厚肉化の要望があるため、現在では最大外径 80 インチ (2000 mm)、最大肉厚 0.75 インチ (19 mm) の溶接鋼管の製造が可能となっている。一方小径サイドでも成形技術の進歩により、今まで限度と見られていた肉厚/外径比 2.5% を超えるものの製管が可能となり、構造用の厚肉化に対処できるようになっている。

(b) 成形技術の進歩

① 成形ロール

スパイラル溶接鋼管の成形方式には、ケージフォーミング、3 ロール (プレーンロール) ベンディング方式、3 ロール (分割マルチ型) ベンディング方式などであるが、現在ではつぎの理由から、3 ロール (分割マルチ型) ベンディング方式が主流となっている。

成形後の残留応力が少ない。

帯鋼の進行方向とロール回転方向が一致するので、成形ロールおよび管体に推力がかからず、無理のない成形が可能である。

② プレフォーミング

スパイラル溶接鋼管の大きな欠点として、溶接部が管外面に突起するピーキング現象があつた。これは成形のために帯鋼を圧延方向に曲げるさいに、それと直角方向の変形が必然的に生ずることに起因している。このような欠点をなくするためには、帯鋼の両エッジを予め逆方向に曲げて置くことが有効であつて、最近の製管機では、この目的のために、成形ロールの前にプレフォーミング装置を取付けているのが普通である。

(c) 溶接速度の向上

スパイラルシーム溶接鋼管でも、ストレートシーム溶接鋼管の場合と同じように、内外面溶接ともに単電極方式から2電極方式に移行して、溶接速度の向上、溶接部品質の向上を図っている。さらに、成形ラインにて仮付けだけを行ない、別ラインでサブマージアーク溶接を行なつて厚肉サイズでの製管能率を上げることも検討されている。

3.3.3 高級ラインパイプの開発

(a) 高張力化

原油、天然ガスなどの長距離輸送を目的とするパイプラインでは、輸送効率の向上のため、高圧化あるいは大径化の傾向を示している。このために、パイプラインに使用する鋼管、すなわちラインパイプに高張力鋼が採用

されるようになってきている。表7はAPI規格の変遷を示す。これらの中、X-60、X-65級のラインパイプにおいても、その化学組成はC-Mn鋼に微量のNbま

表7 API規格高張力化推移

年	5 L X (ストレートシーム鋼管)	5 L S (スパイラル鋼管)
1964	規格内容 X-42~X52 まで	API大会でスパイラル規格について審議
1965		5 L S 規格発行
1966	X60 規格追加	
1967	X65 〃	X-60 規格追加
1968	X56 〃	X-56 〃
1969	シャルピー衝撃試験 およびDWT T追加	同 左
1970	超高張力鋼管規格 草案作成 (X100 Task Group)	
1971		X-65 規格追加
1973	X-70 規格追加	

たはVを添加する場合もつとも多く、素材としての鋼板を製造するさいに圧延温度を狭い範囲に管理することにより、高強度を確保している。

(b) 破壊靱性

ラインパイプの切欠き靱性は最近安全性の面から注目されるようになり、とくに天然ガス輸送用の大径高張力鋼管において重要視されている。したがって、API規格でも、外径20"以上、X-52以上のラインパイプを対象として、表8に示す条件のもとで、Drop Weight Tear Test または V ノッチシャルピー衝撃試験を指定できるようになっている。

最近注目されている極寒地のパイプラインでは、鋼管の破壊靱性についてAPI規格の規定よりも低温での切欠き靱性の確保を要求している。表9はその仕様の一例を示す。

脱硫技術の進歩、細粒高張力鋼を得るための調整圧延技術の進歩などにより、上記仕様を十分満足しうるラインパイプの製造が可能となった。

3.3.4 今後の課題

ラインパイプの需要は今後とも増大するが、仕様は一応厳しくなるものと予想される。今後の技術的課題とし

表8 ラインパイプに対する脆性破壊のAPI規定

対 象	鋼 種	
		X-52 以上の高級鋼種 ただし、外径 20" 以上の溶接鋼管
衝 撃 試 験	試 験 片	V ノッチ試験片 (2/3 サブサイズ)
	試 験 温 度	32°F または 50°F 注文者の指定による
	判 定 基 準	個々のチャージの平均剪断破面率 35%以上 全チャージの平均剪断破面率 50%以上
Drop weight tear test	試 験 片	API RP 5 L 3 による
	試 験 温 度	32°F.....X52~X60 肉厚 0.360" 以下, X-65 肉厚 0.344" 以下 50°F.....X52~X60 肉厚 0.450" 以下, X-65 肉厚 0.375" 以下
	判 定 基 準	全チャージの 80% 平均剪断破面率 40%以上

表9 鋼管の靱性仕様の例

	A 例			B 例			A P I 規 格		
	テスト温度	エネルギー	延性破面	テスト温度	エネルギー	延性破面	テスト温度	エネルギー	延性破面
母材 L 方向	-10°C	50 ft-lb	50%	—	—	—	—	—	—
母材 T 方向	—	—	—	-10°C	45 ft-lb	50%	0°C または 10°C	—	平均 50% 最低 35%
HAZ	0°C	30ft-lb	50%	-10°C	40ft-lb	50%	—	—	—
備 考	シャルピーサイズ ノッチサイズ		10×10 2mm V						

ては、つぎの点があげられる。

- ① 極低温用ラインパイプの製造
- ② 延性破壊伝播停止に関する検討
- ③ X-70 を超える高級ラインパイプの製造

3.4 その他

以上述べた内容以外に最近の技術進歩として各種の自動化、省力化がみられる。たとえば亜鉛メッキにおける自動引上げの実施、あるいは電気抵抗溶接管の製管ライン中にメッキ設備を配した連続亜鉛メッキ管の製造である。一方精整工程における自動ステンシルや自動結束などもある。今後なお一層自動化、省力化は進められていくであろう。

4. 冷間加工

4.1 冷間引抜

4.1.1 引抜き機の高性能化

最近の新設引抜き機は、小径管を主体とした製品の長尺化とともに、抽伸作業の高能率化をはかるため、長尺、多本引、高速化の傾向にある。型式としては小径管用にはダブルチェーンまたはデュアルチェーン式、中径管用ではシングルチェーン式の鎖式引抜き機が多い。最近の新型引抜き機の性能の一例を表 10 に示す。これらの高性能機は段取替に時間を要するため、大口品の受注、ロット集約、工程管理の適正化などによつて段取替時間を短縮することが重要である。

4.1.2 工 具

作業性の向上、加工度の増加、表面程度の向上を目的とし、小中径管用プラグ、ダイスはほとんど超硬合金に切り換り、また、大径管においても寸法精度向上を含めて、超硬合金の使用が増加しつつある。一方、引抜き機の長尺、高速化、およびより一層の作業性向上、加工度の増加をはかるため、従来使用されてきた円筒型、あるいは玉型のプラグ以外にテーパ付プラグによるフローティング引が増加してきた。

表 10 最述の新型引抜き機の性能

1	引抜き力	最 大 200 t
2	引抜き速度	最 大 100 m/min
3	キャリッジ復帰速度	最 大 200m/min
4	引抜き長さ	最 大 36m
5	同時引抜き本数	3~5 本
6	速度変換方式	直流レオナード方式

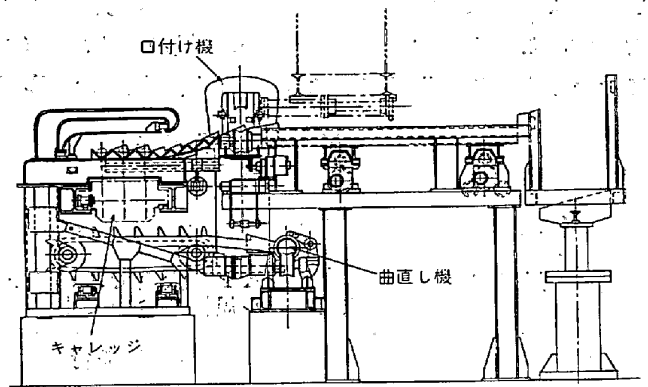


図11 抽伸ユニットシステム

4.1.3 引抜き作業の省力化

生産性向上、作業性向上のため、設備の新旧を問わずに抽伸作業の省力化がはかられている。プッシャーまたはピンチロールによる材料装入の機械化、鋼管転送アーム、コンベヤなどによる材料転出の機械化、電動機遠隔操作による芯金調整などの引抜き作業そのものの省力化のほかに、最近、口絞り-引抜き-曲直しの一連作業をコンベヤ、またはスキッドにより連結し、大幅に自動化を組み込んだ引抜きユニットシステムが現われた。(図 11)。

4.1.4 酸洗・潤滑処理

(a) 酸洗処理

従来、炭素鋼、合金鋼の酸洗は硫酸を用いたオープンパッチ槽が多く使用されてきた。最近、環境改善、処理時間短縮、表面程度向上、省力化を目的として、塩酸を用いたオートクレープ式自動酸洗装置が一部で導入されている。

(b) 潤滑処理

ここ数年間、一般品に対して、引抜き作業性向上、加工度の増加をはかるため、リン酸亜鉛+ナトリウム石けん、または蓚酸亜鉛+ナトリウム石けんの使用が増加した。最近では、反応型のナトリウム石けんのかわりに、非反応型のカルシウム石けんが一部で用いられ始めている。近年における引抜き機の高速化にともなつて、とくに小径長尺管の内面潤滑の均一性が問題となつてきている。今後は潤滑剤の種類とともに、管内面の均一潤滑処理法の開発が必要となるだろう。

4.2 冷間圧延

4.2.1 コールドピルガーのロールダイスの進歩

冷間圧延機(ゴールドピルガー)は今まで円周の1/2程度に次第に細くなる溝をもつた上下1組のロールを用いて、素管をマンドレル上で繰返し圧延する方式をとつていた。しかし、最近ロールダイスの孔型設計に大きな

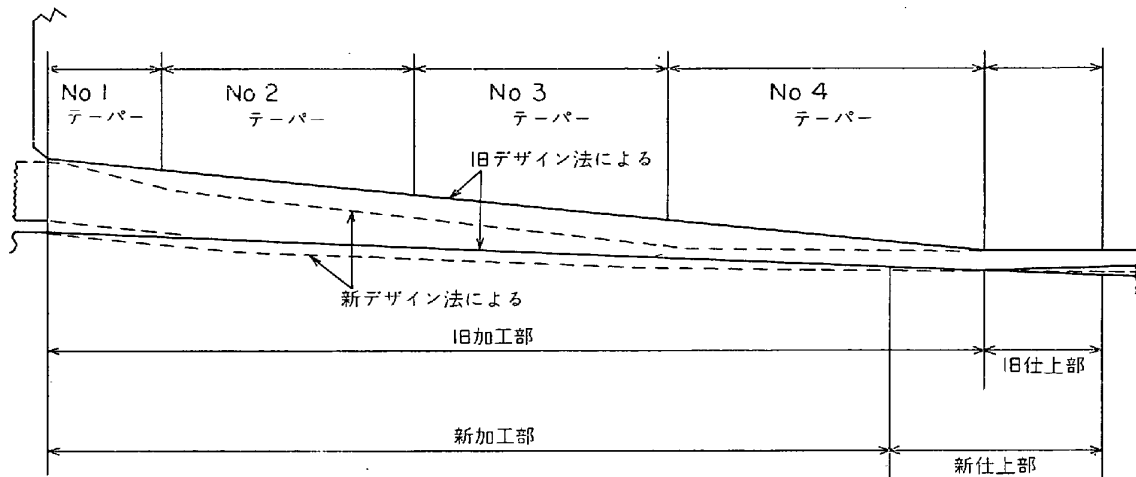


図12 新旧グループデザインの比較

進歩の跡が見られる。すなわち、最近のロールダイスは図12に示すように、加工部長さの内、入口からスタートして約30%の長さの位置までの間にて全加工の約80%を完了し、65%の位置に約95%の加工を完了するようにしている。この結果、仕上部開始点における減面率を小さくとることができる。さらに、仕上部長さは十分とるようにしている。

新しいロールダイスの使用により、圧延の高速化とともに、寸法精度の向上が認められ、冷間圧延のままでも製品の寸法公差を満足しうる管の製造が可能になった。

4.2.2 HPTR

一般に用いられているコールドピルガー方式では、肉厚と直径の比が1:40以上の管の製造はできないが、ソ連で開発された薄肉圧延機HPTRは肉厚と外径の比が1:100までの管を能率的に製造する能力を有している。この作動原理は下記の通りである。

コールドピルガーと異なり、ワーキングスタンドには同一直径の小さなロールが3個または4個装置されている。素管は円筒状のマンドレル上にて、往復運動をするロールにより圧延される。3個または4個のロールにて同時に加工されるので、コールドピルガー方式より薄肉の管を加工することが容易になる。しかし、1パス当りの加工度を大きくとれない欠点がある。

4.2.3 冷間圧延と引抜き加工の適用の考え方

(a) 冷間圧延加工を行なう場合

① 素管と製品寸法の関係から、冷間引抜きでは引抜き回数が多くなる場合、冷間圧延を採用すると大体引抜き3回分の工程を1回の圧延工程でカバーできる。

② 加工困難な材質（たとえば、純チタン、ジルカロイなど）の加工。

③ 小径管の歩留をあげる。

(b) 引抜き加工を行なう場合

- ① 寸法精度の良いものを得る。
- ② 異形管の製作

以上、これらの利点を組み入れて抽伸のみの工程にするか、あるいは冷間圧延工程を入れるかが決められる。

4.3 精整および検査の合理化

4.3.1 精整関係の合理化

冷間加工作業の高能率化のほか、ストレートナーのスピード向上、高速切断機の周速度向上および多本切り化、自動面取機の開発など精整設備の高能率化、省力化には見るべきものが多い。一方、工程の改善、とくに材料流れを円滑にするため、各設備のライン化、スタッカークレーンの活用などによる運搬の合理化にも力が注がれている。

4.3.2 非破壊検査設備の導入

非破壊検査設備の発展はめざましく、従来の磁粉探傷機のほか、外面疵深さ判定可能な自動磁気探傷機、従来の管回転式超音波探傷機以外に小径管用プローブ回転型超音波探傷機、超音波全長肉厚測定器の採用ならびに渦流探傷においては内外面同時探傷を行なう2チャンネル方式などである。

これらの非破壊検査設備の導入により、冷間引抜き品の品質保証体制は飛躍的に発展した。また、これらの非破壊検査設備の発展は製造工程の改善にも大きく寄与している。

4.4 その他

4.4.1 ブルーブロック

ブルーブロック抽伸は銅のような加工性が非常に良好な材料に対して発達してきたが、最近の技術の進歩により低炭素鋼にも適用できるようになってきている。

ブルーブロック抽伸によつて期待するところは、主と

してつぎの諸点にある。

- ① 抽伸作業有効率 (実抽伸時間/稼動時間) の向上
- ② 運搬, その他, マテリアルハンドリングの改善
- ③ 製管歩留の向上

しかし, 大幅に実用化していく上には, つぎの問題点が残っている。

④ 長尺コイルでは強制循環しても内面潤滑不良部が残る。

⑤ ドラム巻付時, コイル外面は引張応力を受け, リューダース状の凹凸を生ずる。

4.4.2 超音波抽伸

鋼管につき, 最近ソ連において引抜きダイスに約 20 kc/s の超音波振動を与えることにより, また米国ではマンドレルに振動を与えることにより, とくにステンレス

などの加工が難しいものも容易に加工でき, なめらかな美しい表面が得られ, その上工具の寿命も延長できる。

一方, 日本では振動方向変換器を使用してプラグを超音波振動させる系を製作し, プラグ力は約 90%, ダイス力は 10~20%減少することが確認された。

これらは振動系の設計規模ならびにその特徴からみて, 薄肉あるいは小径管への適用が期待できる。

5. 結 言

以上, 継目無鋼管と溶接鋼管について, 製造技術の最近の進歩発展の状況を紹介した。鋼管製造技術は現在すでに世界最高水準にあり, 今後は海外技術の導入によることなく, わが国独自の開発により独創的な製造技術の発展が期待される。