

共同研究会鋼材部会鋼管分科会報告書

1. 総 説

1.1 鋼管の生産量

最近のわが国の鉄鋼業の発展は著しいものがあるが、鋼管の生産量も、図 1.1 に示すごとく、非常な伸展を示している。

すなわち、昭和 26 年における継目無鋼管、溶接鋼管の年間生産量は、それぞれ 19 万 t、10 万 t で合計 29 万 t であったものが、昭和 36 年においては、それぞれ 55 万 t、115 万 t で合計 170 万 t と、10 年間に、継目無鋼管においては 2.9 倍、溶接鋼管においては 11.5 倍、総計において 5.8 倍という伸びを示している。

表 1.1 各国鋼管生産高 (昭和 35 年)

国 名	生産トン数 (万 t)	百分率 (%)
米 国	800	36.4
ソ 連	500	22.7
西 独	200	9.1
英 国	140	6.7
日 本	123	5.6
フ ラ ン ス	110	5.0
総 生 産 量	2,200	100.0

また、1960年 (昭和 35 年) における世界主要各国における鋼管生産高をまとめると表 1.1 のごとくなる。

これからみると、わが国は世界総生産量の 5.6% を占め第 5 位となつている。

次に、普通鋼々材生産量に対する鋼管生産量の比率を

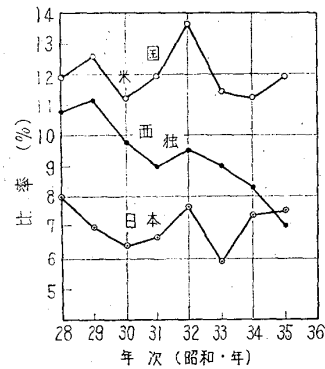


図 1.2 鋼材に対する鋼管生産高の比率

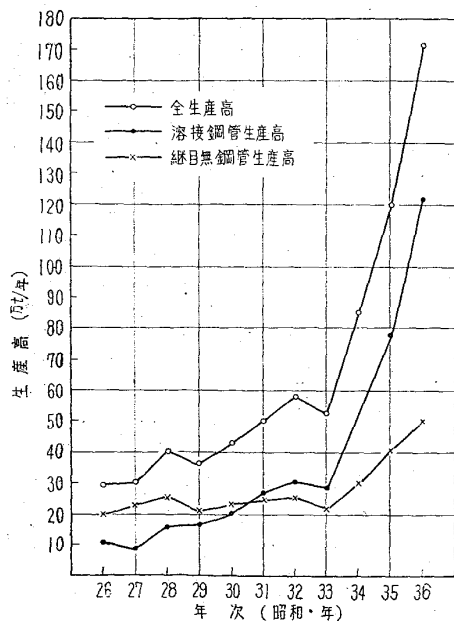


図 1.1 わが国における鋼管生産高の推移

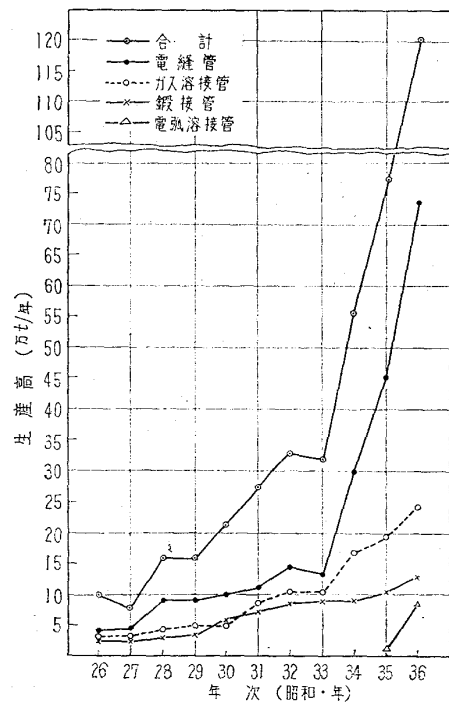


図 1.3 わが国における溶接鋼管の製造法別生産量の推移

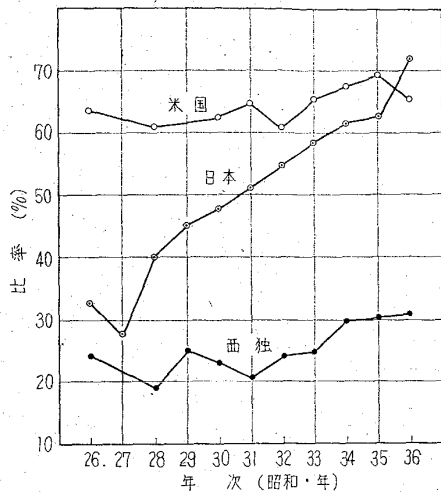


図 1.4 鋼管生産高における溶接鋼管の比率

みると、図 1.2 のごとくで、日本においては、6~8%で米国における 11~14%、西独における 7~11% よりは低い。今後輸出の拡大および新用途の開拓により、鋼管の占める割合は多くなつて行くであろう。

溶接鋼管生産量は前述のように著しく伸びているが、その製造法は多岐にわたっている。図 1.3 は、わが国における溶接鋼管製造法別の生産高の推移を示したものであるが、図から明らかなように電縫鋼管の伸びが目立っている。しかも溶接鋼管の鋼管全生産量に対する比率は、図 1.4 のごとくで、これをまとめると表 1.2 のようになる。

表 1.2 溶接鋼管の鋼管全生産量に対する比率

		昭和26年 (%)	昭和34年 (%)
米	国	62	68
西	独	24	30
英	国	54	59
フ	ラ	40	63
ソ	ン	33	62
日	本		

これからみると、最近の傾向は米国の製管業界に似てきたといえる。

1.2 鋼管製造方式

鋼管の製造法としては、鋼塊または丸鋼より出発する継目無し方式と、鋼板または帯鋼を成型溶接して作る溶接法とがある。表 1.3 に各種鋼管製造法を分類して表示した。

1.2.1 継目無し鋼管製造法

A 傾斜圧延方式 丸鋼を太鼓型またはディスク型の互いに傾斜したロール間で、圧延穿孔することにより

比較的厚肉管に仕上げ、引続いてこれを各種圧延機にかけて所要肉厚、外径に仕上げる方法であるが、この中で最も能率的かつ経済的な方法はプラグミル方式である。

B プレス穿孔鍛圧方式 大径厚肉の管を作る場合に用いる特殊な方式で、鋼塊を縦プレスでコップ状にしてから横プレスで数個のダイスを連続的に通して所要肉厚、外径とするものである。

C 押し出し方式 加熱した丸鋼をダイスと芯金との間から押し出して管に仕上げる方法であり、メカニカルプ

表 1.3 製管方式の分類

A. 継目無し鋼管

製管法	名 称	製管外径範囲 (mm)
傾斜圧延方式	穿孔法	マンネスマン穿孔機 (1885)*
		スティーフェル穿孔機 (1895)
		ピルガーマイル (1891)*
		プラグミル (1906)*
		ドイツァーミル (1931)
		アッセルミル (1936)
	コンティニューアスミル (1949)	
		76.2~355.6
		34.9~609.6
		25.4~406.4
		38.1~88.9
		57.1~152.4
		25.4~114.3

製管法	名 称	製管外径範囲 (mm)
プレス方式	穿孔法	エルハルト穿孔機 (1891)*
	鍛圧法	水平プレス (1891)
		プッシュベシチ (1922)
		~101.6
		152.4~
		1142.5
		12.7~152.4
押し出し方式	穿孔法	クランクプレス (ジンガープレス) (1930)*
		ハイドロプレス (ユジンセジュールネ法) (1951)*
	圧延法	レデュースングミル (1925)*
		38.1~101.6
		25.4~203.2
		21.7~76.2

B. 溶接鋼管

溶接法	名 称	製管外径範囲 (mm)
鍛接法	鍛接法	バッドウェルド法 (1824)
		連続式鍛接法 (1923)* (フレッツムーン)
		12.7~101.6
		12.7~101.6
ガス溶接法	ガス溶接法	酸素アセチレン溶接 (1901)*
		12.7~89.1
電気抵抗溶接法	電気抵抗溶接法	低周波 AC および DC ウェルド (1920)*
		12.7~50.8
電気溶接法	アーク溶接法	ベンディングロール方式 *
		U-O プレス方式 (1941)*
		スパイラル ウェルド方式 (1955)*
		不活性ガスアーク方式 (1930)*
		—
		406.4~101.6
		152.4~203.2
		12.7~203.2
高周波電気溶接法	高周波電気溶接法	誘導溶接方式 (1944)*
		抵抗溶接方式 (1952)*
		12.7~152.4
		12.7~914.4

括弧内は発明年度 *印は国内に設置されたもの

レスとしてはジンガープレスがあり、水圧プレスでしかも押しの際潤滑剤にガラスを用いる方式（ユジンセジュールネ法）も採用されている。

1.2.2 溶接鋼管製造法

溶接鋼管製造法の主体は、板や帯鋼を管状に成形することと、これを溶接することであるが、主体となる溶接法としては各種の様式が実用に供されている。

A. 鍛接法 帯鋼を約 1,400°C に加熱し、6～14台の溝型ロールで成型と鍛接を行なうもので、非常に高効率でスタンダード鋼管の生産に適している。

B. ガス溶接法 帯鋼をロールで成型後、継目をアセチレンガスで溶接するものであるが、能率が低く、また寸法も小径管に限られている。

C. 電気抵抗溶接法 電気抵抗による発熱を利用して溶接製管する方法であるが、用いる電源は交流の場合は 180 c/sec 程度までの低周波を用いている。

D. 電弧溶接法 電気抵抗溶接法で作れる鋼管は外径 400 mm 程度までであり、これ以上ではフォーミングロールその他が著しく大型となるので不経済である。

したがって、このような大径管は、板を水圧プレスなどで成形し、電弧溶接法で製管する。最も一般的な方法は潜弧電気溶接法である。

ただ、鋼板の成形方法によつて、U-O プレス方式とスパイラルウエルド方式とに分かれる。

E. 高周波電気溶接法 電気抵抗溶接法と同様な設備を用い、溶接装置として高周波電流による抵抗加熱かまたは誘導加熱を利用したものである。使用周波数は、

450 kc/sec と 3～10 kc/sec の二種がある。

この特徴は、

熱間圧延のコイルがそのまま使える合金鋼、ステンレス鋼にも応用できる。製管速度が大きい。などである。

1.3 生産技術

1.3.1 代表的な製管法の生産性の比較

わが国における代表的な製管法別の生産性を表 1.4 にまとめたこれからみると、プラグミル方式はビルガーマイル方式より生産性が大きいといえる。

押し方式は生産性は低いが、合金鋼、不銹鋼など加工性の劣る鋼種に対しては有利な製管方法である。

小径の規格品種に対しては、フレッツムーン方式が最も効率がよいが、大径となつて直径 6" 程度以上のものではレジスタンスウエルド方式が有利となつてくる。

継目なし製管法の応用範囲をこえた大径管は、U-O プレス方式またはスパイラルウエルド方式で作られる。生産性は高くないが、スパイラルウエルド法は設備費が安いことが特徴といえる。

小径管の製造には、最近ストレッチレデューサーが注目されてきたが、レジスタンスウエルド+レデューサー方式は今後急速に進歩するものと思われる。

1.3.2 継目無鋼管製造技術の進歩

A. 鋼片加熱に対する改良 製管に先立ち、鋼片を加熱する際に注意すべき事項は、①適正湿度への加熱、

表 1.4 代表的な製管法の生産性の比較

製管方式	製管寸法 (mm)	能率 (t/hr)	直接作業人員	生産性 (t/hr/man)	最大製管速度 ft/min
プラグミル方式	小径 50*8	21	30~35	0.7	700
	大径 244*5	5		1.5	150
ビルガーマイル方式	小径 165*1	15	30~40	0.5	150
	大径 330*2	17		0.57	150
押し式メカニカル hidroプレス	小径 25*4	4.5	7~9	0.57	550 (195本/hr) 1,400 (65本/hr)
	小径 50*8	5.5	10~12	0.55	
フレッツムーン方式	小径 21*7	26*4	13~16	2.0	1,100
	中径 114*3	47*0		3.6	160
レジスタンスウエルド方式	小径 21*7	4*0	7~10	0.5	170
	大径 355*6	63*0		8*0	70
レジスタンスウエルド + レデューサー	小径 21*7	18	11~14	1.6	800
	小径 60*5				600
U-O プレス方式	小径 457*2	43*4	97	4.5	7
	大径 101*6	75*4		7.8	7
スパイラルウエルド方式	小径 152*4	3.5	6	0.6	2~4
	大径 1625*6	7*0	6	1.2	2~4

②均一な加熱, ③スケール損失の減少である。これらの諸条件を考え合せた加熱炉の改造経過の一例を示すと、①燃料を石炭から重油に切替え, ②燃焼室の拡大, 均熱帯の設置, ③炉床の拡大, 計器操業, ④断熱耐火煉瓦の適正使用, ⑤回転炉床式加熱炉の採用である。ことに、回転炉床式加熱炉の採用により、均一加熱, スケール損失の減少, 作業員の減少, 加熱能力の増大は著しい進歩をとげている。

B. 穿孔, 圧延における研究 継目無鋼管製造に用いる鋼塊, または鋼片は, マネスマン式穿孔機における加工が苛酷であるため, とくに良質なることを要求されるが, 同時に穿孔機の段取についても種々検討が加えられた。すなわち穿孔機については, ①大径管製造に対する二重穿孔方式の採用, ②ジオメトリカルパスの採用 ③クローズドパスの採用, ④薄肉穿孔法の採用, ⑤穿孔速度の上昇などがあげられる。

①②は, 穿孔の際の疵発生を防止することであり, ③は偏肉発生防止, ④はプラグミルにおける中筋発生防止を目的としている。

プラグミルにおいては, 普通 2~3 回パスで仕上げるが, 中筋防止対策として, 穿孔機における負荷を大きくし, プラグミルでの断面減少率を低減する努力が払われさらにプラグ潤滑剤もいろいろと実験を重ね, 現在ほとくに食塩または木炭の有効さが認められている。

そのほか, 作業の能率化をはかつたプラグ自動抜取装置の採用や消費動力の節減を目指して, ロールネックベアリングに合成樹脂を用いている。

リーラーでは, プラグの当りが悪いと, かえつて内面にスパイラル状の段をつけてしまうので, プラグの形状の研究がなされており, 最近では平行部長さ約 150 mm, 全長約 300 mm のものが使われることもある。

また, ロールの圧下はロール駆動モーターの電流を一定に保つ自動制御も成功している。

サイザーは, 仕上管の寸法精度の確保のためにロールネックベアリングにテーパローラーベアリングの採用とロール調整機構の簡略化が行なわれた。またスタンド数を 5 から 7 に増加して, 外径減少率を増加し, 同一ピレットから 2 種の製管寸法を仕上げるようにし, ピレット寸法の単一化を目指した所もある。

C. 押出穿孔法 押出しによる製管法は, 圧縮加工であることと, 加工時間が短いため, ピレットに対する要求もさほどきびしくなく, さらに高合金鋼の加工も容易であるクランクプレス法は以前から用いられていたが, 潤滑剤にガラスを用いたユジンセジュールネ法も導入

され管のみならず異形管, 形鋼の製造も行なわれている。これによつて, 特殊鋼, ステンレス鋼をはじめチタンなどの製管も容易となつた。

また大径管の製造方式として, エルハルト製管法も製管材々質上からは有効であるが, 偏肉を生ずることや稼働率の低いことがなお問題である。

押出しの際のメタルフロー, 潤滑剤, ダイス形状などの研究も進められている。

D. 絞り圧延 小径管の熱間仕上げとしては, ストレッチレデュースングが, 品質, 能率の面から有利であることは早くから認められていたが, わが国で実際にストレッチレデュースャーが稼働に入つたのは昭和 32 年である。

これは各スタンドの回転数を適当に選ぶことにより仕上肉厚を調節できるものであり, 今後継目無小径管の製造のみならず溶接管設備と組合わせて用いることも大いに考えられよう。ストレッチレデュースャーを用いた時の特徴は①全外径減少率の増大, ②大径素管の使用, ③大径単一ピレット使用, ④薄肉製管の可能性, ⑤製管能率増大, ⑥シンキング, ストレッチの使い分けによる歩留の向上, ⑦管内面状況の改善, ⑧長尺製管による管切断歩留の向上のほか, 仕上外径精度の向上, 厚肉製管の可能性ロール組替の迅速化などがある。

1.3.3 溶接鋼管製造方式の進歩

最近 10 年間における溶接製管機の進歩はめざましいが, 現在実際に用いられている方式は酸素アセチレン溶接法, 低周波抵抗溶接法, 直流抵抗溶接法, サブマージドアーク溶接法, 不活性ガスアーク溶接法, 高周波誘導溶接法, 高周波抵抗溶接法, 連続鍛接法がある。

以下には, 最も多く用いられている, 低周波抵抗溶接(電縫管設備)の発展についてまとめてみた。

A. 製管寸法の拡大 電気抵抗溶接鋼管の製造範囲は戦後著しく拡大され, したがつて機械も大径用および小径用と専門化されてきており, ことに昭和 33 年以降急激に製管可能範囲が拡大されている。しかし, さらに大径のものについては, 全く別に主として電弧溶接法を用いた U-O プレス方式, スパイラルウエルド方式などが採用されている。

B. 溶接管製造法の進歩

(a) 帯鋼前処理の進歩 溶接管製造に先立つ, 帯鋼表面のスケール除去法は, 従来吊下げ浸漬式による硫酸洗滌が最も多かつた。しかし昭和 35 年頃から連続式酸洗, 回転ケージ式酸洗, ショットブラスト方式などが

設置され、それぞれの特徴に応じて効果を発揮している。

前処理設備の最近の改良された点をあげると①吊下浸漬式酸洗の場合、5~7ロールのレベラーの採用、②酸浴中における添加油の改良、③半浸漬式から全浸漬式への移行、④酸洗槽を耐火石、鉛、またはゴムライニングの利用による耐久時間の増加、原価の軽減、などが実施されている。

(b) フォーミングミルの進歩 溶接管製造における成形ロールは、管溶接の良否と表面状況に直接影響を与えるもので最も重要なものである。この問題に関しては種々検討が加えられている。

フォーミングの型式を分けると①エッジベンディング、②センターベンディング、③サーキュラーベンディングで従来、これらはそれぞれ単独で使用されていたが、現在では製管寸法に応じてこれらを組合わせた方法が採用されるようになった。

(c) 薄肉製管技術の進歩 薄肉電縫管の製造の際、ブレークダウンロールでエッジストレッチやエッジバックリングが発生しやすい。さらに電極輪下で継目がラップしたりまくれこみを生じたりする困難性が存在する。これらに対して①クラスターサイドロールを使用する②下ロール高さを調整し、フォーミングの初期に縁に張力がかからぬようにし、中期には張力をかけて、バックリングを防ぐ方法をとる。③スタンドの間隔を狭くすることにより、バックリングに対する抵抗を大きくする④フィンバスの絞りを大きくして、縁に張力を与え、バックリングを防ぐなどの対策がとられている。

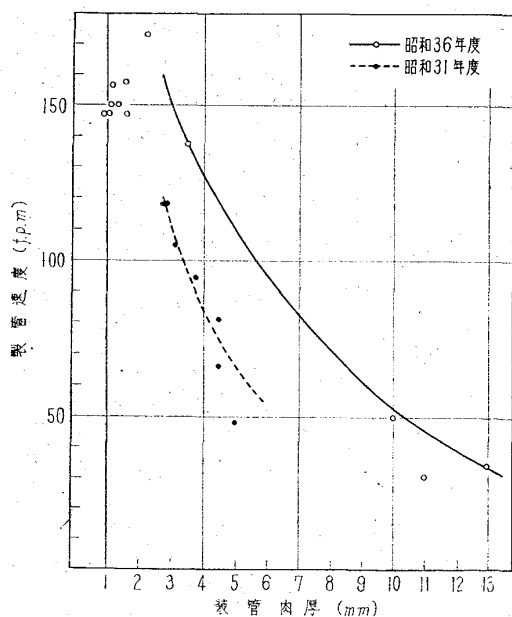


図 1.5 わが国における電縫鋼管製管速度の進歩

(d) 溶接速度の進歩 製管速度の上昇はめざましいものがある。この状況を図 1.5 に示す。これは製管機各部の改良発展によるものであり、これらを列挙すると①変圧器の進歩、② 180 c/sec 溶接機の増加、③ AC-DC 溶接機の設置、④切断機の進歩、⑤エンドウエルダーの進歩⑥帯鋼の長尺化、⑦フォーミング技術の進歩、⑧酸洗技術の進歩がある。

変圧器の進歩については、まず回転式変圧器の導入であり、さらに冷却方式の進歩である。たとえば、冷却方式の進歩による製管速度の向上の一例をあげると表 1.5のごとくである。

表 1.5 変圧器冷却方式と製管速度

冷却方式	製管速度	
	1/2" SGP	2" SGP
空冷式	80 f. p. m	55 f. p. m
水冷式	150	115
油冷式	150	115
Vapor Cool	250	130

周波数の影響についてみると、50~60%では、スティッチのために変圧器の容量を増しても溶接速度は 100 f. p. m 程度が限度と考えられるが、180~200% にすることにより、200 f. p. m 程度まで製管速度を上げることができる。最近ではさらに 360 c/sec の交流溶接機あるいは直流溶接機を使用することにより、製管速度の向上と溶接部品質の向上をはかつており、250~300 f. p. m も可能となってきた。

また後にのべる高周波抵抗溶接法の導入も製管速度向上に寄与するところが大きいと考えられる。

(e) エンドウエルダーの進歩 小径管では連続製管を行なうため、帯鋼のエンドを溶接する必要があるが、現在用いられている方法は①酸素・アセチレン溶接、②アーク溶接、③不活性ガスアーク溶接、④フラッシュバット溶接の4種がある。①②は手動で行なうもので設備費は安い、能率が悪く、薄肉以外は溶接強度に問題がある。③は④より設備費は安い、が作業者に高度の技術が要求され、帯鋼表面のスケール清浄度による影響が大きい。また消耗資材費が大きく、能率も広幅、厚肉では劣る。これらに対して、④は設備費が高いが能率、品質ともすぐれている。

(f) カットオフマシンの進歩 溶接後の管の切断には各種のカットオフマシンが用いられるが、その主なものはディスクカッター式、丸鋸式、バイト式、シヤ式であるが、切断速度の迅速化、切断面の変形防止、切断

後の仕上の容易さ、工具の寿命などの原因で、現在では大部分がディスクカッター式になつてきている。

(g) 溶接可能材質の拡大 現在の周波数 360% 以下の電縫管設備で溶接可能な材質は、炭素当量で 0.6~0.7 程度まで可能となつてきている。これはフォーミング技術の向上溶接後の冷却方法の改善などによるものであるが、最近では製管ライン中におけるシームアンニラーの設置の効果も大きくなつてきている。

また高周波溶接機の導入により、各種合金鋼の溶接も可能になつてきており、将来溶接可能材質範囲はさらに拡大されていくものと考えられる。

なおここで用いた炭素当量は次式による。

$$C_{eq} = C + \frac{1}{7}Si + \frac{1}{5}Mn + \frac{1}{7}Cu + \frac{1}{9}Cr$$

(h) 高周波溶接法の導入 溶接装置に高周波電流による抵抗加熱、または誘導加熱を用いるものであり、周波数は 3~10 kc/sec のものと 450 kc/sec のものがある。

最近では 450 kc/s を用いた高周波抵抗溶接機がわが国に 20 数台設置されている。

この方法の利点は①帯鋼の前処理不要、②帯鋼の公差範囲が広くとれる、③溶接速度が高い、④特殊薄肉管が可能、⑤各種合金鋼の溶接も可能などがあげられ、今後さらに研究発展するものと思われる。

1.3.4 精 整 設 備

従来、精整設備は、ストレートナー、切断機などの諸機械が個々に配置され、この間の材料の送りはもつぱら起重機により実施されていたが、最近ではすべてこれらの機械を流れ工程に入れ、コンベアで連結し、各機械間の材料の進行を一カ所で統合管理する方式がとられるようになってきた。それと同時に、各機械も能率向上のための改良がなされているので、簡単にまとめてみることにする。

A. ストレートナー 従来は主として 5 ロール式のものが用いられ、補助的に水圧式またはクランク式ギャグプレスなどが用いられているが、能率はよくないこれらはいずれも曲げ効果のみで曲り取りを行なうものであったが、最近では対向ロールでパイプにクラッシュを与えることにより小ねじれや管端曲りまで取れるようになり大径管用には 7 ロール式 (ロール配列 3-1-3) 小径管用には 6 ロール式 (2-2-2) が用いられている。

これら各種型式の改善とともに曲り取り速度も増大し、60~120 f.p.m から 100~300 f.p.m 程度に向上した。

B. 切断機 切断用刃物の進歩とともに、管切機自体の剛性の強化、高速度化への改良が実施されてきたと

同時に操作時間の減少を目指して半自動化または完全自動化へと発展を続けている。

(a) 切断刃物および型式 高速度鋼より超硬バイトへと移行し、切断速度は 30~40 m/min より 70~80 m/min と急上昇した。なお、単一バイト型式から 2 本バイト式ロータリーカッター式のものと進歩している。切断刃物と併行して、面取り用刃物台を有する切断機も使用されるようになった。

(b) 補助設備 管外径の変更に対して、機械本体の上下装置を有する切断機も出現し、段取替時間を短縮した。

なお機械操作も電気機器、油圧機器の広範囲な採用により自動化が進められている。

(c) その他、特殊用途に対しては砥石使用の高速度切断機も広く採用されている。

C. 熱処理 従来のバッチ型の欠点として、炉内温度分布の不均一、または材料の加熱速度、冷却速度の位置別相違により品質の安定が得難く、かつ表面スケールの発生は表面グレードの低下となつていた。

近年、光輝焼鈍炉、バレル炉、ウォーキングビーム炉などが出現し品質の向上への効果は著しい。

1.3.5 冷 間 仕 上

継目無製管法または溶接法で作つた鋼管を素材とし、冷間引抜または冷間圧延を行なうのは、①寸法精度の良い管の製作、②表面仕上程度の向上、③機械的性質の向上、④熱間仕上では不可能な寸法のもの製作などの目的である。

冷間加工技術の進歩もめざましく、生産能率の上昇、作業人員の削減を目指して種々の改良がなされた。その主なところをあげると、①引抜速度の上昇、②はさみ車の戻りの自動化、③シーソータイプの導入による無駄時間の排除、④マルチドロウの実施、⑤断面減少率の増加、⑥潤滑剤の改良、ボンデライト処理またはパーカー処理の実施、⑦熱処理設備の改良、光輝焼鈍炉、バレル炉の設置などであり、表 1.6 にこれらをまとめて示した。

また引抜方式自体としては、マンドレル引きやフローティングプラグ方式も用いられている。

表 1・6 冷間加工技術の進歩

型 式	チェーン ベンチ	マルチドロロー ベンチ	コールドレーデューサー	
内 容	シングル シングル シングル	チェーン ドロロー スピード	ダブル チェーン 1~3 ドロロー 2~6 マンドレル 可 変 速	ピルガ一式 串継ぎ送り 油 圧 送 り DC 駆 動
引 抜 速 度(m/min)	~15	~30	~6	
引 抜 力 (t)	~40	~90	—	
引 抜 長 ぎ (m)	~10	~16	~20	
引 抜 本 数 (本/hr)	30	150	20	
Reduction (%)	20~30 最 大 35	25~31 最 大 40	70	
潤 滑 剤	ソルブル油	ステアリン酸石鹼, 燐酸 蔦酸皮膜, 特殊油性潤滑 剤	ソルブル油, パーカー処 理	
備 考	手 動	自 動	特殊鋼, ステンレス鋼有 利	