

特別講演

UDC 621.774

最近における鋼管製造の発達と展望*

小 田 助 男**

Recent Development and Review of Steel Tubes and Pipe Making
in Japan

Sukeo ODA

1. 緒 言

本日は荣誉ある渡辺義介賞をいただき、本当に光栄に思っております。今から 22 年前に私は第 1 回スティーレルミッションの一員としてアメリカ鉄鋼業の視察に参りましたが、当時、初めて米国の鋼管製造工場の B & W 社の Beaver Falls 工場を見学した感激はいまだに忘れられません。そのメンバーに皆様をご存知の、もと日本鋼管におられて、のちに新日本製鉄に移られた富山英太郎氏がおられました。鋼管の製造に関しては富山氏のほうが先輩であり、鋼管の製造技術の発展に対する渡辺義介賞は、むしろ富山氏がうけられるべきものと思いますが、同氏はすでにこの世になく、皆様と一緒にご冥福をお祈りしたいと存じます。

2. 終戦後の状況

2.1 鋼管需要の変遷

太平洋戦争が終わった直後には、日本では鋼の管はもういらなくなるのではないだろうか、というのが私ども一般の概念でした。しかし表 1 に示すように、その後幾許もなく、まず石炭の増産、電力の確保、食料の増産、

表 1 終戦直後のわが国製管業の立上り

項 目	年 次
1. 産業復興のための傾斜生産方式 石炭増産のための炭坑の排水管 電力確保のための火力発電ボイラの復旧 (ボイラ管) 食料増産のための硫安製造装置用鋼管 輸送機関復旧のための機関車ボイラ管 船舶用鋼管	昭和20年 ～ 昭和23年
2. 輸出 アラビア向けラインパイプ 朝鮮向けラインパイプ アメリカ向けケーシング、チューブ ピグ	昭和23年 昭和25年 昭和27年
3. 新鋭火力発電所建設 九州電力築上発電所用ボイラ管	昭和26年

輸送機関の復旧のために鋼管の需要が現われてきたことは皆様をご承知のとおりであります。

鋼管の輸出第 1 号は Arabian American Oil 社すなわち ARAMCO 向けラインパイプであり、昭和 23 年に日本鋼管と当時の日本特殊鋼管 (現在の新日鉄) と住友金属との 3 社で生産しました。その当時までは、継目無管材には旧海軍の規格にならつてすべてリムド鋼が使われていました。しかし、この ARAMCO 向け輸出が契機になつて継目無鋼管にキルド鋼が使われるようになりました。昭和 23 年頃はいわば混乱の時代であつたといえます。

新鋭事業火力発電ボイラ用継目無鋼管の第 1 号として、昭和 26 年に九州電力築上発電所の 35 000 kW 用 140 t/hr ボイラ用のものが生産されました。このボイラは蒸気圧力 65 kg/cm²、蒸気温度 485°C であり、従来のヘダータイプではなくてウォールチューブタイプであつたので、ボイラ管の品質に対する要求は非常に厳しいものでした。

昭和 27 年にアメリカで 53 日間に及ぶ鉄鋼ストライキがあり、これによる減産をカバーするために大量の油井管をわが国に発注され、これが現在世界有数の油井管をこれが現在世界有数の油井管生産国に成長する元になりました。

2.2 設備の増強状況

終戦時には、製管設備は戦争中に酷使されたものや戦災をうけて復旧されていないものが残りました。しかし現在わが国には、世界で稼働している各種の製管方式のうち、ほとんどの方式のものが設置されて稼働していません。

表 2 に示すようにわが国の製管設備能力は、昭和 29 年末には継目無製管設備がわずか 43 万 t/年、溶接製管設備が 66 万 t/年でした。その頃の継目無製管設備は、マンネスマン・プラグミル方式やマンネスマン・スウェデ

* 昭和 47 年 4 月本会講演大会にて発表

昭和 47 年 5 月 11 日受付

** 住友金属工業(株)

表 2 わが国における製管設備増強の推移

	昭和20年	昭和21年～昭和24年	昭和25年～昭和29年	昭和30年～昭和34年	昭和35年～昭和39年	昭和40年～昭和44年	昭和45年～昭和46年
継目無製管設備	昭和20年12月末能力 4基 9.0万t/年	昭和21年～昭和24年12月末能力 10基 24.4万t/年	昭和25年3月末能力 9基 43.1万t/年	昭和30年～昭和34年12月末能力 13基 71.0万t/年	昭和35年12月末能力 16基 74.2万t/年	昭和40年～昭和44年12月末能力 19基 195.4万t/年	昭和45年12月末能力 19基 207.9万t/年
稼働	○マンネスマン・プラダミル式 ○マンネスマン・スウエディッシュ式 ○マンネスマン・ビルガミル式 ○ジョンガ式 ○エーハルハルト式			新設 ○エージェン・セジュールネサ ○ダブルピアサ	新設 ○3ロールストレッチャレデューサ	新設 ○アッセルミル ○マンドレルミル式	
増設				増設 ○マンネスマン・プラダミル式 ○エーハルハルト式	増設 ○エージェン・セジュールネサ	増設 ○エージェン・セジュールネサ	増設 ○エーハルハルト式 ○マンドレルミル式 ○エージェン・セジュールネサ
溶接製管設備	昭和20年12月末能力 36基 3.0万t/年	昭和23年12月末能力 61基 5.4万t/年	昭和29年3月末能力 105基 66.3万t/年	昭和35年12月末能力 160基 248.3万t/年	昭和39年12月末能力 201基 646.8万t/年	昭和44年12月末能力 171基 735.5万t/年	昭和45年12月末能力 175基 786.5万t/年
稼働	○低周波電縫 ○ガス溶接 ○アーク溶接 ○ヘルメ式電縫	新設 ○フレックス・マン式電縫	新設 ○フレックス・マン式電縫	新設 ○スパイラル溶接 ○中径電縫	新設 ○U-O 大径溶接 ○高周波電縫 ○ストレッチャレデューサ	新設 ○特殊厚肉電縫 ○連続ロール大径溶接	
増設	○低周波電縫	○低周波電縫	○低周波電縫	○低周波電縫	○フレックス・マン式電縫 ○スパイラル溶接 ○中径電縫	○スパイラル溶接	○フレックス・マン式電縫

基数および設備能力は稼働中のものを示す。

ィシュミル方式やマンネスマン・ピルガミル方式やジンガ方式やエールハルト方式の製管設備がありました。また溶接製管設備は低周波電縫方式やガス溶接方式でありました。

本格的な設備増強が行なわれたのは、昭和 30 年頃からであり、継目無製管設備では次の設備が新設されました。

- ダブルピアサ (昭和 32 年)
- ユジーン・セジュールネ式製管機 (昭和 33 年)
- 3 ロールストレッチレデューサ (昭和 36 年)
- アッセルミル (昭和 41 年)
- マンドレルミル式製管機 (昭和 43 年)

また溶接製管設備で新設されたものは次のとおりです。

- フレッツ・ムーン式連続鍛接製管機 (昭和 29 年)
- 中径電縫製管機 (昭和 33 年)
- スパイラル溶接製管機 (昭和 34 年)
- UO 式大径溶接製管機 (昭和 35 年)
- 高周波電縫製管機 (昭和 36 年)
- ストレッチレデューサとの組合せ (昭和 38 年)
- 特殊厚肉電縫製管機 (昭和 40 年)
- 連続ロール式大径溶接製管機 (昭和 43 年)

これらの製管設備の増強に当たって、設備メーカーであるアメリカの Aetna Standard 社の RODDER 氏が果たした役割は非常に大きなものがあつたと考えます。

2.3 鋼管生産高の推移

それでは、つぎにわが国の鋼管生産高の推移を振り返ってみたいと思います。図 1 に示すように鋼管の生産高は昭和 20 年における 5.6 万 t から昭和 33 年の 64.5 万 t まで徐々に増加し、これ以降は高度成長の波に乗って急激に上昇して昭和 45 年には 767.2 万 t に達しました。普通鋼々材に占める鋼管の比率も逐次増加し、昭和

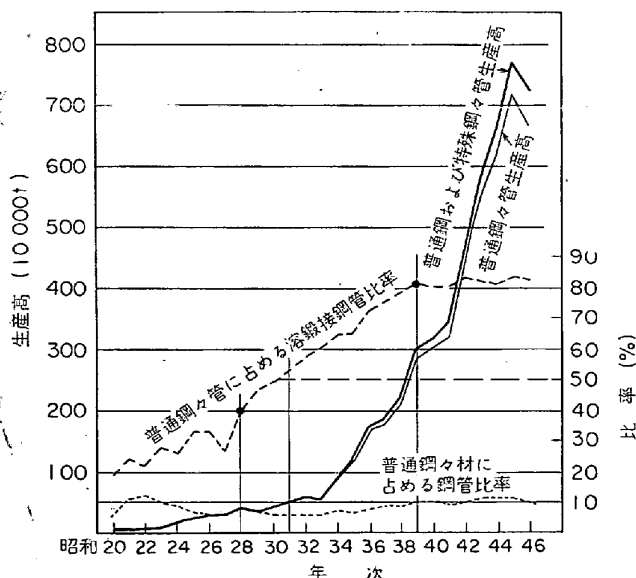


図 1 鋼管生産高の推移

39 年以降は 10% 前後になっています。

鋼管の種類別にみると、溶接鋼管の比率は昭和 20 年ときの 19% から順次が増え、昭和 31 年には遂に 50% をこえて継目無鋼管よりも多くなり、最近では 80% をこえています。昭和 31 年という年は製管屋にとってエポックの年であるといえます。

3. 品種の拡大とその技術

3.1 ボイラ用鋼管

一口に鋼管といつても種々な品種がありますが、まず代表的なものとしてボイラ用鋼管についてふれてみたいと思います。

事業火力用ボイラを例にとつてボイラ管の使用条件の変遷を図 2 に示します。この図は縦軸に年次をとり、横軸にボイラの容量、蒸気圧力、蒸気温度の推移を表わしています。昭和 20 年代の後半と現在とを比べると、ボイラの容量は 3.5 万 kW から 60 万 kW になり、さらに 100 万 kW のものが建設中です。また蒸気圧力は 65 気圧から超臨界圧の 250 気圧になり、蒸気温度は 480°C から 570°C に上昇しています。

これらのボイラの各エレメントにおける使用材質の変

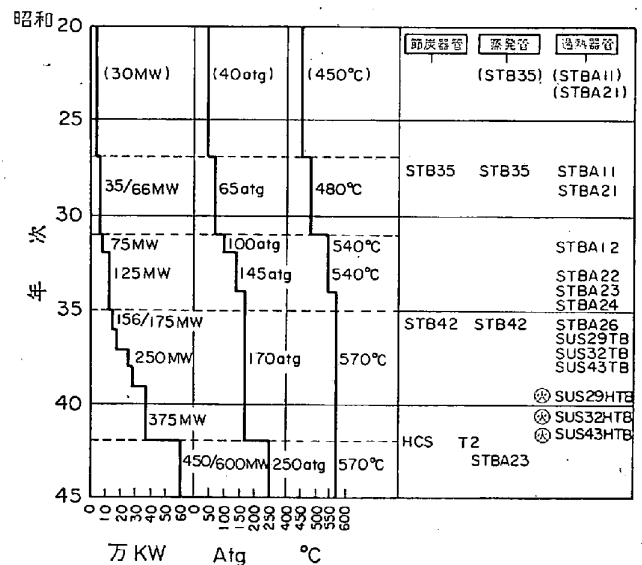


図 2 発電用ボイラの使用条件と鋼管材料の変遷

用途	ボイラ型式	管外径 (mm)			
		254	508	762	1016
節炭器管	亜臨界圧	[Bar chart showing range]			
	超臨界圧	[Bar chart showing range]			
蒸発管	亜臨界圧	[Bar chart showing range]			
	超臨界圧	[Bar chart showing range]			
過熱器管	亜臨界圧	[Bar chart showing range]			
	超臨界圧	[Bar chart showing range]			
再熱器管	亜臨界圧	[Bar chart showing range]			
	超臨界圧	[Bar chart showing range]			
		5	10	15	20
		1/D (%)			

□ : 管外径 ■ : 1/D

図 3 ボイラ用鋼管の用途別寸法範囲

遷は図 2 に示したように、エコノマイザチューブにおいては 100 気圧以下のボイラでは 35 kg/mm² 級の鋼管であつたのが、最近では 50 kg/mm² ハイテンに相当する高抗張力鋼管が実用化されています。スーパーヒータチューブにおいては、Mo鋼管からCr-Mo鋼管に進み、さらに昭和 34 年以降は 170 気圧のボイラにオーステナイトステンレス鋼が使われています。この発展は鋼管材料の長時間クリープ試験の成果によるものであり、いわばアプライドメタラジの賜物であるといえます。

ボイラの蒸気条件の上昇に伴ってボイラ用鋼管の寸法も変化し、図 3 に示すように蒸気圧力が 225 気圧をこえる超臨界圧ボイラでは、亜臨界圧ボイラに比べて蒸発管は小径化し、そのうえ非常に厚肉になつて厚さ/外径比は 20% 弱になつています。またスーパーヒータチューブも厚肉になり、厚さ/外径比は 25% に達しています。

ボイラの蒸気条件の上昇はボイラ用鋼管の寸法精度および表面程度の向上を要求し、セミコールド方式が開発されました。

3.2 油井用鋼管

油井用鋼管だけについて述べても相当長くなりますので簡単に述べます。API 規格によれば図 4 に示すように、1956 年 (昭和 31 年) 以前には耐力 56 kg/mm² のものが最高のグレードでした。しかし石油エネルギーに対する膨大な需要に応ずるために、油井深さの増加、さらに最近では海洋油井の増加によって油井管の強さに対する要求が高度化し、今日では一般に常用されているものが耐力 56 kg/mm² グレードであつて、さらに耐力が 100 kg/mm² をオーバする鋼管が油井のケーシングやチュービングに使われています。耐力 77 kg/mm² グレードの油井用鋼管では深さ 6000 m くらいの井戸しか掘れず、これよりも深い井戸には耐力 100 kg/mm² グレードの鋼管が必要であるといわれています。

この油井用鋼管の進歩はアロイイングエレメントを添加することのほかに、焼入-焼もどしなどの熱処理を併用することによつて達成されました。掘井技術の発達に伴って採油の経済性をはかるために、油井の大型化によつて油井用鋼管のうち、ケーシングが大径化し、代表寸法が従来は 5 1/2 インチであつたのに現在は 9 5/8 インチに

なつています。

3.3 ラインパイプ

つぎに今日大きな問題となつているラインパイプ、すなわち石油やガスを輸送する鋼管について述べます。手前味噌になりますが、スパイラル溶接鋼管についてはわが国が最も進んでいるといえると思います。1965 年 (昭和 40 年) に API 規格にスパイラル鋼管が規格化されましたが、当時の八幡製鉄から提出された品質データに基づいて API 日本委員として規格化を強力に推進しました。

最近新聞紙上を賑わわせているアラスカヤソ連のチュメニなどの寒冷地で使われるラインパイプの開発について説明します。アラスカ向け 48 インチラインパイプはアラスカの北部のプルドー湾からアラスカ大陸を縦断してバルデスに至る 800 マイルに及ぶ石油パイプラインに使われるものであり、新日鉄、日本鋼管、住友金属の 3 社で分割して生産しました。このラインパイプでは、-70 °C において脆性破壊を起こさず、とくに溶接部や熱影響部の低温靱性がすぐれていること、また現地での溶接性が良好なものであることが要求されました。このために、つぎのような技術を開発しました。Nb, V のほかにアロイイングエレメントとして Cu や Cr を少量添加した材質にし、安価で清浄な鋼を得るために純酸素転炉と適切な脱酸造塊法を用い、細粒鋼板を得るために鋼板圧延において低温加熱と A₃ 変態点直上での強圧下方式を用いました。製管においては成形および拡管の際の応力解析、溶接部の靱性向上のための溶接条件の選定などを行ない、さらに非破壊検査を随所に駆使して 3 社とも負けず劣らずの品質をもつた鋼管を製造できたことは日本の誇るべき技術であると考えます。

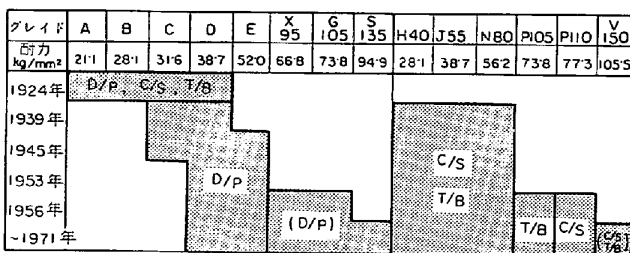
3.4 構造用鋼管

これらの鋼管のほかに皆様が街で見かけられるように、木材の代わりとしてパイプ足場とか建築物の大型化によつて鋼管構造や鋼管杭などに鋼管がさかんに使われています。これらは木材資源の保護のためにもさることながら鋼管というものが、構造体としてもすぐれていることが認識されたためであると考えます。また、機械部品としてもシリンダや各種の部材として鋼管が広く使われていることは皆様のご承知のとおりです。

4. 製管設備の発展

4.1 マンネスマン式製管機

ここで製管設備の発展状況についてふれてみたいと思います。私どもの例ですが、図 5 に示すようにマンネスマン式ロータリ穿孔機でピレットに穿孔したのちプラグミルで圧延する製管設備では、種々の工夫改良が行なわれたにもかかわらず、生産能率は昭和 35 年頃までは 20 t/hr に達しなかつたのであります。しかし後続工程としてストレッチレデュサを設置し、小径管を外径 114.2 mm 以上の大径素管から製造するようにしたために 40 t/hr 程度まで能率が向上しました。またロータリ



C/S ; ケーシング
T/B ; チュービング
D/P ; ドリルパイプ
() ; 規格化を検討

図 5 API 規格における耐力規定値の変遷

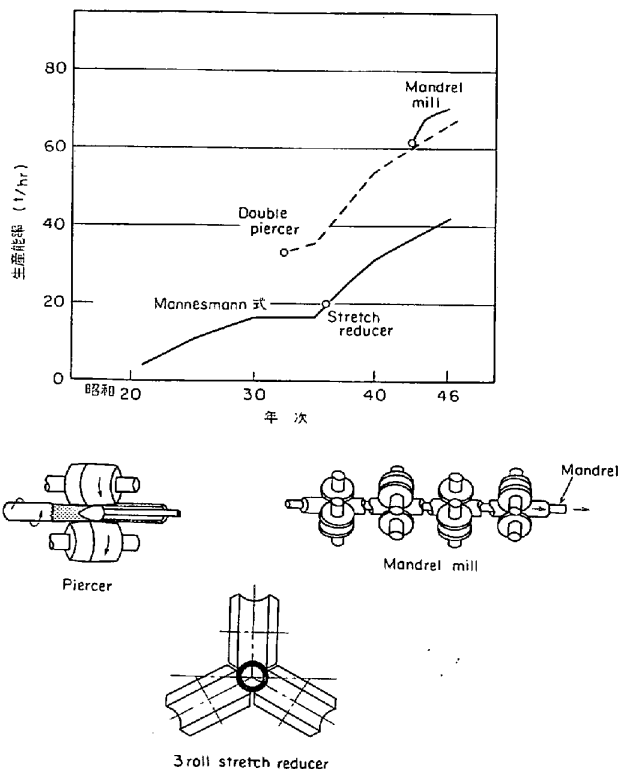


図 6 マンネスマン方式の発達

穿孔機を 2 台設置して、1 台目のものでピレットに穿孔したのち、2 台目のもので拡管を行なうダブルピアシング方式の採用によって中径管の生産能率が 60 t/hr をオーバーしました。これらはいずれも穿孔された素管の圧延にプラグミルを用いた製管設備でした。

昭和 43 年にプラグミルの代わりに、中空管にマンドレルを挿入して連続圧延するマンドレルミルが導入され、現在は小径管を 70 t/hr の能率で生産できるようになっています。これは前述の昭和 35 年頃までの生産能率の 4 倍にも匹敵します。

4.2 ユジーン・セジュールネ式製管機

マンネスマン式製管機は主に炭素鋼や低合金鋼の鋼管の量産に適した設備ですが、ステンレス鋼などの高合金鋼管の製造に適した継目無製管設備としてユジーン・セジュールネ式押出製管機が昭和 33 年に導入されました。この製管機は生産能率は非常に低く、2000 t 級の押出プレスの場合に最近でも 90 本/hr 程度であり、用いるピレットの最大重量も 300 kg 弱と軽量であるため、先程述べたマンネスマン式製管機に比べて相当に低いものであります。しかし、製管可能材質の面では威力を発揮しているといえます。

4.3 鍛接管製管機

終戦後の状況の項でも述べたように、当初は非常に筋肉労働を要するベルマウス式鍛接管設備が使われていましたが、昭和 29 年にフレッツ・ムーン式連続鍛接管設備が導入され現在はわが国で 7 基の設備が稼動しています。なお、鍛接したのちに絞り圧延を行なうレデュース

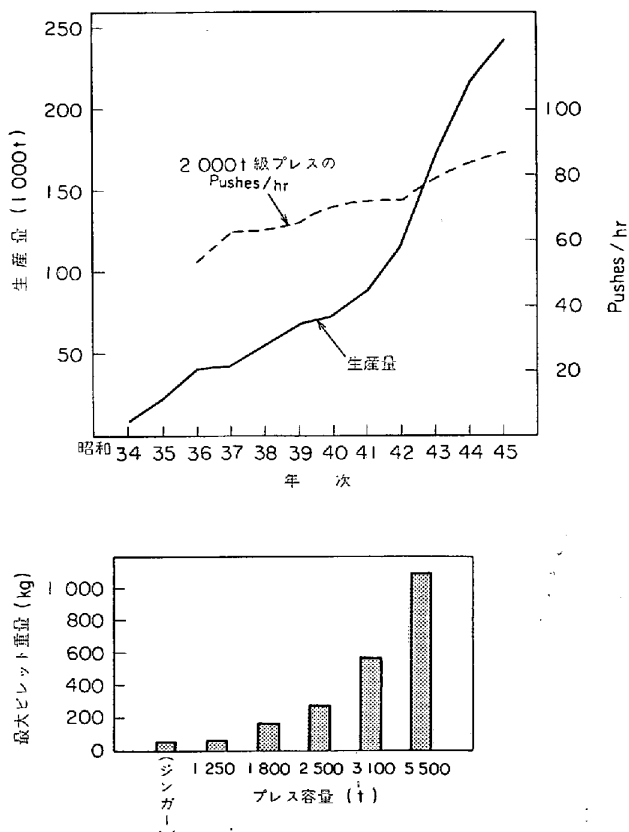


図 6 ユジーン方式の発達

ングロールは以前の設備の 8 スタンドから最近の設備では 12 スタンドになっています。さらに連続鍛接管設備に続けてストレッチレデュースを設置して生産能率の増大をはかった設備も現われています。

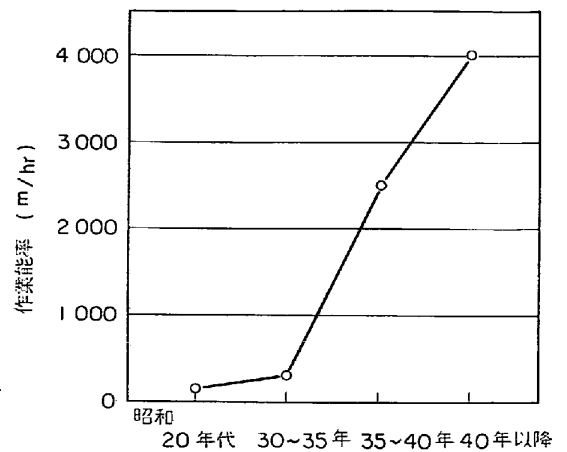
製管の初めに帯鋼を製管機に通すスレディング技術はわが国がすぐれており、製管寸法の変更を比較的短時間でこなっています。

4.4 電縫管製管機

昭和 36 年に高周波溶接方式が導入されるまでは 150 ~180 サイクルの低周波溶接方式が使われ、生産能率 40 ~50 m/min と低いものでした。高周波溶接方式の採用によって電縫部の品質が向上し、生産能率を従来の 2 倍に高めることができました。また、製管可能材質の面でも低炭素鋼だけではなく、中炭素鋼や低合金鋼にまで拡大され、用途の面ではボイラ用鋼管、油井用鋼管、高圧ラインパイプ、機械構造用鋼管に使われていることは皆様をご承知のとおりです。電縫管製管機の能率向上のために、これに続けてストレッチレデュースを設置した設備も出現しています。

わが国の中径電縫製管機の推移を図 7 に示します。新しく設置された製管機ほど順次に大型になっており、以前に設置されたものも逐次に大型に改造されています。90 インチホットストリップミルで作られる帯鋼を使えば理論的には外径 24 インチの電縫管が製造できるわけですが、図 7 にあるように各社の最大外径は 20 インチに

年次	最大外径	会社名	場所	備考
昭和 33年	14"	八幡鋼管	光	新設
昭和 33年	12 1/2"	三機工業	川崎	新設
昭和 36年	16"	住友金属	和歌山	新設
昭和 37年	14"	富士三機	名古屋	改造
昭和 39年	20"	日本鋼管	京浜	新設
昭和 39年	20"	川崎製鉄	知多	新設
昭和 40年	18"	住友金属	和歌山	改造
昭和 42年	16"	八幡製鉄	光	改造
昭和 45年	20"	住友金属	和歌山	改造



同時抽伸本数	1本引	1本引	3本引	5本引
駆動電動機	交流	交流	直流	直流
最大抽伸速度 m/min	7	20	30~50	50~100

図 8 冷間引抜加工の発達

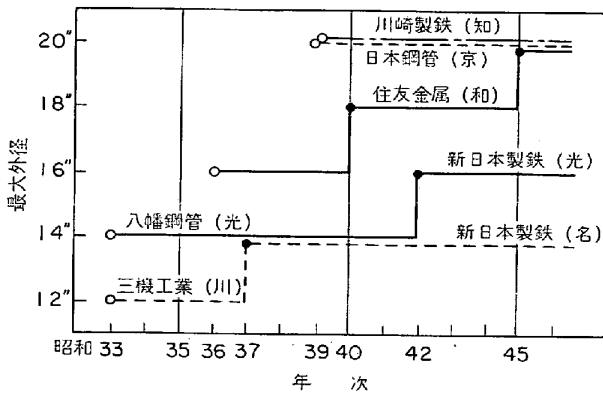


図 7. 中径電縫管ミル外径の推移

なっています。後で述べるようにこれよりも大径の鋼管の製造については議論の沸くところでもあります。

4.5 大径アーク溶接管製管機

外径 20 インチ以上の大径溶接管の製造設備として、U-O 製管機、連続ロール製管機、ロールベンダ製管機、スパイラル製管機があります。U-O 製管機や連続ロール製管機は元来アメリカで発達したのですが現在は日本がお株を奪った形になり、技術の面は日本の方がすぐれているというのが世界の通念になっています。

最近、イギリスが北海のフォーティースフィールドで大油田を発見し、ここからスコットランドに原油を海底パイプラインによつて輸送することが計画されています。これに使われる大径ラインパイプに対する仕様は非常にシビアなものでありますが、新日鉄、日本鋼管、住友金属の3社が共同受注したことは、この種の大径アーク溶接管の製造技術が国際的にみて高く評価されてよいものと自負している次第であります。

4.6 冷間引抜設備

継目無鋼管の冷間引抜設備がどのように発展してきたかを図 8 に示します。昭和 35 年頃までは管を 1 本宛冷間抽伸機によつて冷間引抜を行なつており、とくに昭和 20 年代には最大引抜速度も $7\text{m}/\text{min}$ と非常に低速でした。引抜用潤滑剤の改善、引抜用工具の材質やデザイ

ンの改善によつて 3 本または 5 本の管を同時に冷間引抜できるようになり、引抜速度も $100\text{m}/\text{min}$ に達し、また長さ 40m に達する長尺管を生産できるようになりました。さらに、引抜時に管をつかんで引張るキャリッジグリップの改造やキャリッジの自動戻り装置の開発によつて作業員の節約が行なわれました。

戦後導入された鋼管の冷間加工機械(冷間圧延機) コールドピルガ) があり、とくに高合金鋼管の加工に威力を発揮しています。

アメリカでは熱間仕上鋼管と冷間仕上鋼管との値差があまり大きくありません。ところが従来わが国では値差がかなり大きく、このために冷間仕上加工をどのように合理化していくかということが戦後私どもが最大の努力を払ってきたテーマであり、最近では以前のような大きな値差で評価しなくてもよくなったということを申し上げたい。

5. 製管用材料の発達

5.1 継目無鋼管用材料

ここで製管用材料について少しふれておきたいと思えます。継目無鋼管の場合にはその材料である管材のコストダウンが肝要であります。管材としてのリムド鋼の製造について、もとの八幡製鉄さんに非常な努力を払っていただきました。今日からみると的外れのことであつたわけですが、これが苛酷なマンネスマン穿孔加工に耐える管材の製造技術の基礎になつており、平炉製の管材から純酸素転炉製のものにスムーズに転換できた元になつていると思えます。

低合金鋼管材は主に電気炉で製鋼されますが、電気炉も今日では 50 トン以上に大型化し、製鋼コストの低下は大きいものがあります。

管材用鋼塊の大きさについてはよく考えねばならないと思います。鋼塊の大型化は品質の面から制限があり、9t 程度以下になるものと思います。また表面疵の面から下注鋼塊がベターであることは今さら言うまでもありません。

鋼の脱ガスについて DH 法, RH 法など種々な方法が開発され、低炭素ステンレス鋼の製造には Witten 法や ASEA-SKF 法などの特殊な方法が用いられていることは皆様をご存知のとおりであります。

5.2 溶接鋼管用材料

溶接鋼管用帯鋼にはインクルージョンを防ぐためにほとんどの場合にキャップド鋼が使われ、高級管では電縫性の面からアルミキルド鋼が使われています。

前にも述べたように寒冷地用大径アーク溶接鋼管の製造について、わが国は世界のトップレベルにあり、炭素当量を保つてしかも低温靱性を確保するために Nb や V のほかに Cu や Cr を少量添加し、S を極度に低いレベルに下げています。

6. 将来の展望

これまで過去ないし現在の状況について非常に端折つて述べましたが、それでは将来鋼管の製造方法はどのようになるであろうかということについて、きわめて卒直かつ大胆に述べてみたいと思います。外径7インチまでの継目無鋼管の製造には、マンドレルミルが品質およびコストの面から最良であり、これより大きい中径管の場合には使用マンドレルが相当に太くなるので別の製管法

を考えるべきであると思います。

つぎにユジーン・セジュール式製管機は種々の問題がありますが、高合金鋼管の製造には卓越したものであり、コールドピルガの発達とともにさらに伸びるものと思われます。しかし炭素鋼管に適用するのはなお検討を要します。

さらに溶接管については、今日では高周波電縫管の発達によつてたいいていの鋼管はこれに変わり、無理して継目無管を使わなくてもよいというようになってきました。前にも述べたように外径 20 インチまでの高周波電縫管がすでに製造されています。

外径 16~28 インチの範囲が議論の沸くところであつて、高周波電縫管はコストの面で有利だが電縫部の品質に注意を要し、継目無管は設備費が膨大になりすぎ、その上に C 方向の靱性に注意が必要になります。この分野は将来ともアーク溶接管になつていくと思われま

すが、非破壊検査とコンピュータとは長足の進歩を遂げましたが、さらに進歩すると考えます。各社ともに、ミルの操業にコンピュータをどのように組込んでいくかを検討しています。

最後に顧客の要求は日一日とシビヤになつていますがわれわれ技術者としてはこれに打ち勝つていき、本日の場会長が述べられたように、今日の日本の技術は教わる技術ではなくて、教える技術にまで発展していることをこの席で述べまして私の拙い講演を終わります。ご清聴を感謝いたします。