

## 技 術 資 料

### 鋼管製造技術の進歩と最近の問題点\*

原 田 芳\*\*

#### Development and Recent Technical Problems in Steel Tube Making Processes

Kaoru HARADA

#### 1. 緒 言

##### 1.1 鋼管製造業の進歩

戦後 20 年をへた今日、粗鋼生産量が世界第 3 位となっていることは衆知のことであるが鋼管の生産量においても米国、ソ連について第 3 位となった。昭和 30 年 40 万 t であつたのが、昭和 35 年には 120 万 t に伸び、さらに、昭和 40 年には、334 万 t の生産にまで発展した。この間、鋼管製造技術は飛躍的に進歩して、世界のトップレベルに達し、国際的競争力も十分に備わるにいたつたことは、鋼管輸出量をみても明白である。

しかし、ここに達するまでの経緯を見ると、いくつかの段階が見られる。すなわち、終戦直後のともかくも立ち上ろうとした時代、ついで技術導入に専念した時代、つづいて数次の好景気の波に乗って拡張と技術競争に全勢力を有効に使つた時代などをへて、今日が築かれたといえるであろう。

鋼管製造には、継目無しと、溶接法とがある。当初の技術は、スチーフエル・マンネスマン式継目無し製管法の勉強から発足した。この方式は、昭和 30 年までは 10 t/hr の能率であつたのが、昭和 40 年にはその 5 倍以上にもなる例があり、また品質も著しく向上した。このほかに最近では、100 t/hr の能率を示す連続製管法の発達やガラス潤滑剤を使用して管を抽出するユージン製管法が脚光をあびるようになり、ストレッチ・レデューサー方式と組み合わせ、広く採用されるにいたつた。

また、溶接管の伸びは、最近とくに著しく、昭和 30 年に年間生産量において継目無しを凌駕し、さらに現在では、継目無しの 3 倍の生産量になつた。これは中小メーカーを含めての小径電縫管製管機の急増、中大径の製管機の増設、高周波溶接機の発達などと同時に、溶接管の品質の信頼度が高まつたことによるものである。

##### 1.2 鋼管部会の状況

本技術研究会は、昭和 24 年に発足した。当初は主として継目無し鋼管の技術を取扱つたが、溶接管メーカーが増えるにつれて、逐次その議題も取り入れられた。昭和 30 年の再発足以来、昭和 38 年 5 月までに前後 32 回の研究会が開催され、この間において研究会で調査検討された内容は、昭和 39 年 6 月本誌別冊「鋼管分科会報告書」にまとめられている。

さらに、昭和 38 年 9 月には鋼管分科会が、鉄鋼技術共同研究会の鋼管部会となり、その下に継目無し鋼管分

科会と溶接鋼管分科会とを包含し、現在までに 6 回の部会を数えるにいたつている。本部会は年に春秋 2 回開催され、専門議題は分科会において、それぞれ討議されているが、その性質上共通的な技術事項も多く、共通議題と工場見学とは共同で実施されている。

加入メンバーも逐次増加し、昭和 30 年には 7 社・12 事業場であつたのが、昭和 40 年には 11 社・19 事業場となつた。

さる昭和 38 年 10 月、本誌に「鋼管製造技術の最近の進歩」と題して鋼管生産内容の進歩、製造範囲の拡大、生産性の向上、および新設備の紹介などについて報告した。本報告は、さらに、その後の鋼管製造技術の進歩と問題点に焦点を絞つて整理したものである。

#### 2. 継目無鋼管製造技術の進歩と問題点

##### 2.1 回転穿孔技術の改良

マンネスマン・プラグミル製管法におけるもつとも重要な工程の一つは穿孔工程である。穿孔機により全工程の能力が左右されること、穿孔機の調整不良によつて致命的な疵が発生し、後の工程では是正することができないことなどのために、マンネスマン製管法においては穿孔技術の改良に重点が置かれてきた。その主なものは、製管能率の向上、内面疵、偏肉の防止、工具原単位の低減である。

###### 2.1.1 製管能率の向上

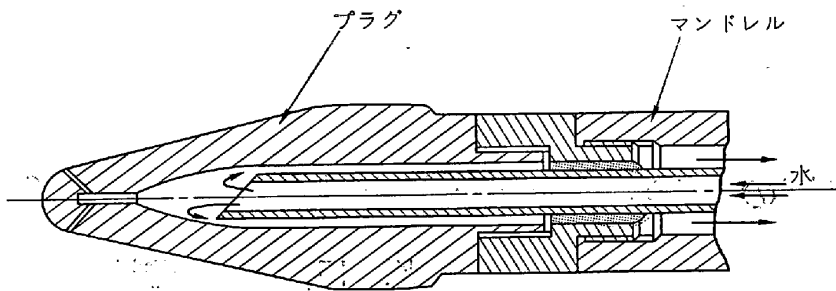
###### (a) ロール周速度の調整

製管能率向上のため、最近ロール径を大きくし、またロール回転数も可能なかぎり高める傾向が見られる。したがつて周速度は 4m/sec から 6m/sec が通常となつた。しかし、一般には交流モーター使用のため回転速度が一定であり、したがつて、削り替え後のロール周速度は相当小さくなる欠点がある（最初の 90% 程度になる）。さらにまた、高速穿孔の場合、管材頭部の噛込時および穿孔終期において、ロールと管材との間の迂りが大きく圧延が不安定で頭詰り・尻詰りを起こすことがある。この対策としては、ロールと管材との接触面積を増大させる意味で、ロール傾斜角を小さくするか、ロール周速度を落とすのが良い。しかし、前者では製管能率を下げる

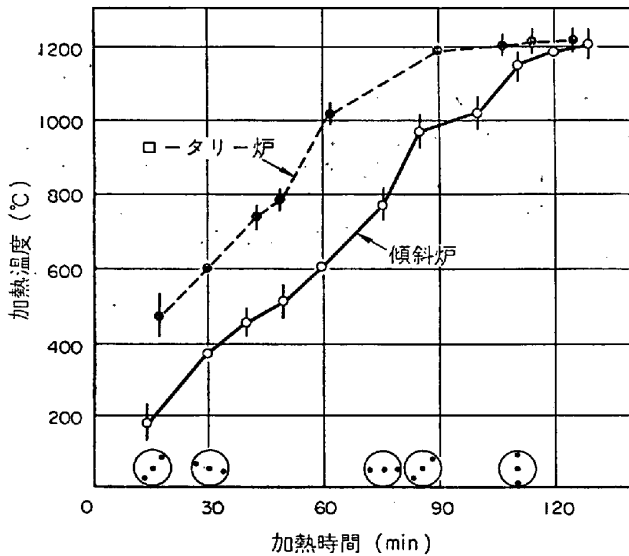
\* 昭和 40 年 10 月第 70 回講演大会共同研究会報告講演会における鋼管部会報告

昭和 41 年 11 月 7 日受付

\*\* 住友金属工業(株)和歌山製鉄所



第 1 図 ピアサーの水冷プラグの概略



第 2 図 傾斜炉と回転炉との均熱度の比較

ことのほかに、角度調整のため一時的に作業を止めねばならず得策でない。このような対策として、近年は直流モーターが使用される場合もある。すなわち、ロール径のいかに問わず、つねに一定の製管能率を保持できること、および頭詰り・尻詰りの発生したときは、一時的にロール回転数を落として良好な圧延を続けることができる利点がある。その他、高合金鋼、ステンレス鋼などの穿孔には、それぞれに最適な加工速度で圧延できることも、内面疵発生防止には有益である。

(b) 工具の改良・研究

工具については、工具取替時間の減少と原単位の低減に努力が注がれている。すなわち、大ロットの製管には、第 1 図に示すような水冷プラグについて、各社で実験を

進めている。国内でもある期間使われたこともあったが、外国ではすでに実用化され、ドイツの例では 1 個のプラグで 1000 パス以上、ソ連では 1000~2000 パス使用できたという報告もある。しかし、受注ロットが小さい場合には、プラグ取替えに問題があり、迅速取替えのできる構造の研究が必要である。

普通鋼の穿孔に使用されているプラグは、国内各社ともほぼ類似成分の低合金鋼の熱処理材であり、原単位は 0.5 kg/t 程度で、まず問題はない。しかし、特殊鋼やステンレス鋼においては 20~30 kg/t となることがあり、なお解決すべき問題が残っている。

プラグの材質改善のために、いろいろの合金元素の添加が試みられている。タングステンの溶射なども行なわれる一方、米国では純モリブデンの機械仕上げのプラグを用いて相当の効果をあげているといわれている。しかし、いずれもきわめて高価であり、わが国で実用化されるには、かなりの時間を要するであろう。

2.1.2 偏肉の防止

(a) ビレット均一加熱

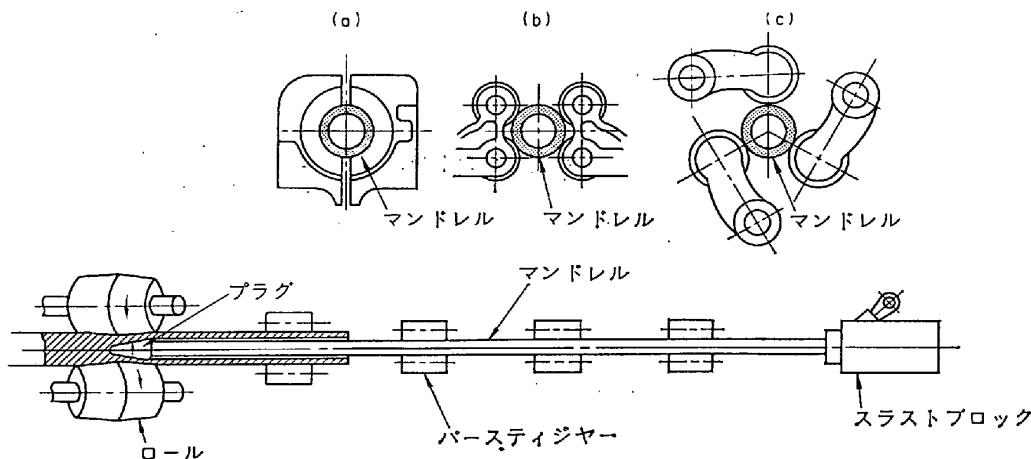
穿孔時に生ずる偏肉に影響する最大原因の一つは、不均一加熱である。この一つの解決法として、数個の加熱帯に分けられた回転炉床式加熱炉の採用がある。これによつて、適正加熱曲線を得ると同時に、最終帯で均熱を行なうよう。考慮されている。従来の傾斜炉と回転炉との加熱曲線の比較を第 2 図に示す。回転炉床式において均熱度が大中に好転しているのがわかる。

(b) プラグ偏心回転の防止

ピアサーの調整不良も、偏肉の原因となる。偏肉防止のためには、材料の中心線と機械の中心線とが一致し、しかも穿孔プラグが機械の中心線と一致して保持されることが必須条件である。このためには上・下案内盤によつて、穿孔材料を完全にクロズド・パスとし、また偏心回転しないよう、底面の直角度の正確なプラグを使用せねばならぬことが、研究の結果判明している。一方、マンダレルを支持する芯金支持方法も逐次改良された(第 3 図)。現在では 3 個のローラで支える型式(c)となつている。この型式は穿孔材が進んでくると少し開いて穿孔材を抱きかかえ、さらに、穿孔が終ると全開となつて蹴出せるような装置となつている。

第 1 表 ピアサー・プラグおよび案内盤の成分例

		成分 (%)		C	Si	Mn	Ni	Cr	Co	Mo	Cu	原単位
		日本	米国									
プラグ	普通鋼用	日本		0.30	<0.60	0.50	1.25	3.50				0.5 kg/t
		米国		0.30	0.75	≤1.00	3.00	2.50		0.40		
	ステンレス用			0.25	0.50	0.50	0.50	1.50	1.25	0.10	0.10	20~30 kg/t
ガイド・シュー	普通鋼用	日本		1.55	<0.60	0.50	8.50	25.50				0.5 kg/t
		米国		1.00	<0.75	1.10	5.00	18.00		0.10		



第3図 ピアサーのバースティジャー型式

2.1.3 内面疵の防止

(a) 加熱方法の改良

合金鋼の熱間加工性を判断する目安として、高温振り試験がある。これにより適正穿孔温度の範囲を見出すことができる。しかし、実際の操炉では、材質ごとの穿孔温度の切替えに大きな問題がある。このため、たとえば回転炉床方式加熱炉の場合、材質の変わり目は1加熱帯相当程度を空炉として、温度調整によつて適正穿孔温度を狙い、内面疵を半減した例がある。

(b) メタルフローの解析

プラステイン模型実験あるいは現場試験によつて、穿孔途中止め材における材料の変形状況、とくに剪断変形量が定量的に明らかにされてきた。これら諸試験の結果、材料の振れを小さくするには、管材の周囲長さの変化の小になるような調整を選ぶべきこと、ほかに支障のないかぎり案内盤開きを小さくすることが有効であり、その結果として円周方向剪断変形も小さくなり、疵防止に効果のあることなどが確認されている。

中面疵防止には、一般に回転鍛造作用による管材内部のクラック発生直前に、プラグ先端が出合うような調整が良好である。この確認のため、ストレート管材、テーパ管材のプラグ無し穿孔実験により、ロール圧下量

第2表 穿孔技術の比較  
(95.3f~165.1f)

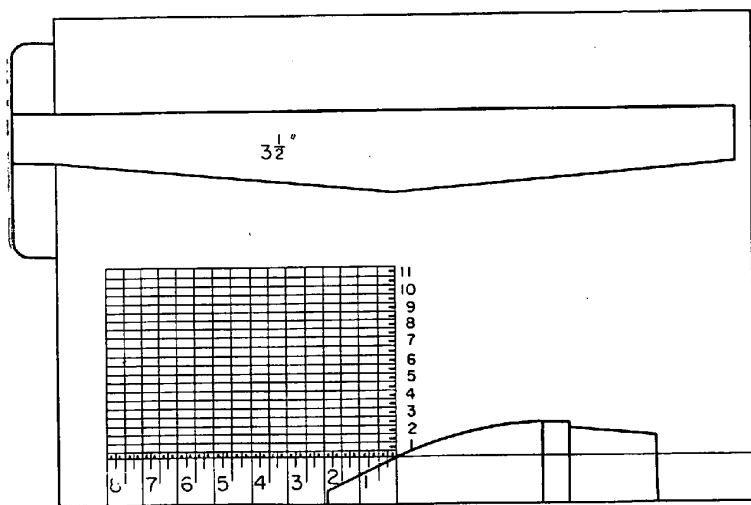
		日 本	米 国
ロール径 (mm)	最大	1004	914
	最小	950	749
ロール長さ (mm)		508	508
ロール回転数 (rpm)		100	100
材料長さ (mm)	入口	3500	3350
	出口	6500	100
グリップ (mm)		60	64
ドラフト (mm)		8	9.5
送り角度 (°)		10°	10°
穿孔本数/hr	平均	150	150
	最大	200	280

とプラグ位置との関係も見出し、現場の指針が得られている。そして現場における最適段取りの決定と管理とが即時に行なえるよう、第4図のごときセット・アップ・ボードを作つて、作業の標準化を実施している工場もある。

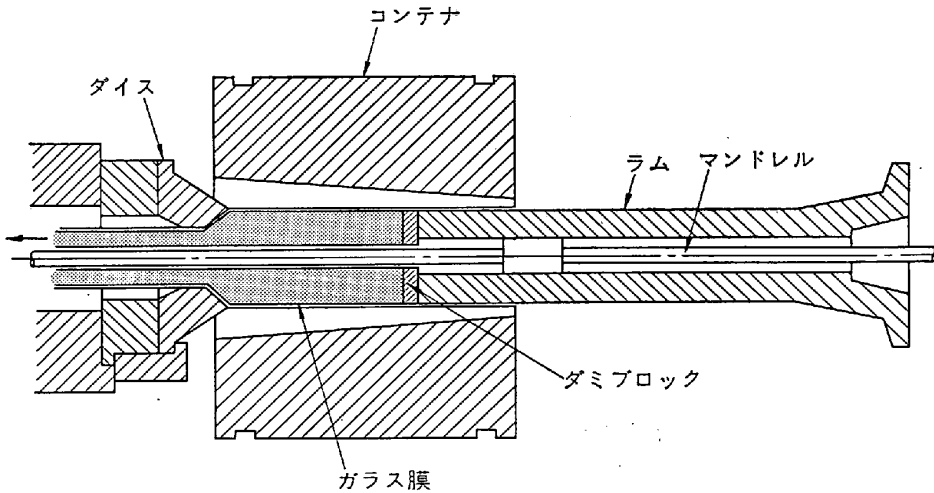
2.1.4 薄肉穿孔

ロール周速度や中疵防止の向上により、薄肉穿孔が可能となつたことは、さらに別の意義を有している。すなわち、ピアサーの減面率を大きくしてプラグミルのそれを小さくすることにより、マンネスマン・プラグミル方式の最大欠点である内面筋を軽減することができるわけである。従来のプラグミル減面率が45~50%であつたのが、最近では35~40%と減少しており管内面の品質向上に有効である。

米国とわが国との穿孔技術の一般水準を比較すると、第2表のごとくである。両者ほぼ同一水準とみなされるが、出入口材料長さとな率とにおいてわが国が、やや上廻つているといえよ



第4図 穿孔段取り決定のためのセット・アップ・ボードの例



第 5 図 ユージン・セジュールネ法

第 3 表 ユージン・セジュールネ法による全世界の鋼管生産量と各国の割合(自由諸国のみ)

昭和年度	全生産量 (t)	日本 (%)	ヨーロッパ (%)	米 国 (%)
38年	118,000	43	41	16
39年	150,000	41	45	14

う。

2.2 押し製管法の発達

押し製管法については、フランスにおいてガラス潤滑法が発明されて以来、いわゆるユージン・セジュールネ法として時代の脚光をあびるにいたつた(第5図)。わが国でも、すでに4社が本法を採用している。本法によるわが国の生産量は、第3表に示すごとく、自由諸国の約40%を占めている。

2.2.1 ピレット加熱

押し製管法においては、材料表面にスケールを生ぜしめない加熱技術が重要である。従来の方法としては、空気中予熱 600~700°C + 雰囲気調整誘導炉による急速加熱、塩浴炉か熔融ガラスによる加熱などであった。最近開発された新しいピレット加熱方法として、次の方法があげられる。

(a) 回転炉床式加熱炉による無酸化加熱

欧州で使用されている無酸化加熱の回転炉の一例を第6図に示す。燃料には天然ガスを用い、ガス・空気をそれぞれレキュペレーターで予熱したあと、加熱帯・均熱帯に、理論空気量 50% の不完全燃焼をさせ無酸化加熱を行なうものである。

(b) 横型誘導炉

従来の縦型誘導炉よりも、横型のほうが、製作費が安く、ピレットの装入、抽出操作が簡単で能力が大きい特長を有している。しかし、気密性に欠けるため雰囲気調整が不十分で、加熱後脱スケール工程を必要とする場合もある。

(c) 大型回転炉床式加熱炉 + 水圧脱スケール機

無酸化加熱方式では、設備費が高く、また大容量のも

の製作が困難であるため、通常の大型回転炉を使用し、発生したスケールは高圧水の脱スケール機で除去する方式である。大型プレスに対しては、この方法が広く採用されることとなる。

2.2.2 大型水圧プレス+ストレッチ・レデューサーの組み合わせ方式

押し製管法は、本来加工性の困難な合金鋼やステンレス鋼の製管に適し、材料費の安い普通鋼には製造コストの点で不適であると考えられていた。しかし、ここ数年間にプレスの大型化と各種改良により、生産能率が 60~70本/hr から 100~120本/hr と大巾に増

大する見通しが得られた。同時にストレッチ・レデューサーの併用によつて、中小径普通鋼鋼管の量産が、工業的に可能となりつつあり、外国にはすでに数社が本方式の採用によつて量産を始めている。その特長は次のとおりである。

(a) 内面欠陥の少ない高級鋼管の量産に適する。しかし、押し後表面に付着したガラスが、レデューサー圧延後の管表面におよぼす影響が、重要な問題である。

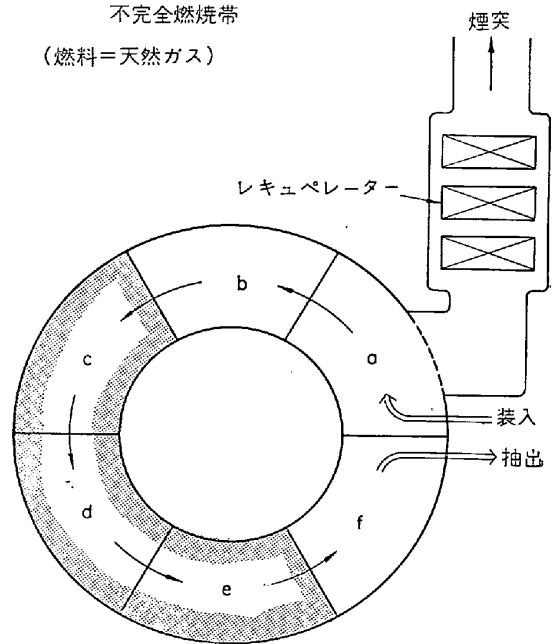
(b) 工程が簡単で生産の融通性に富む。

(c) 3000~5000 t 級の自動化された大型プレスの開発と、ダブルコンテナ・ロータリ・ダイチェンジャーおよび強力なマンダレル冷却方法などの進歩によつて、管材重量の増大、サイクルタイムの減少が可能となり、生産能率は 40~50 t/hr まで増大した。それにとりま

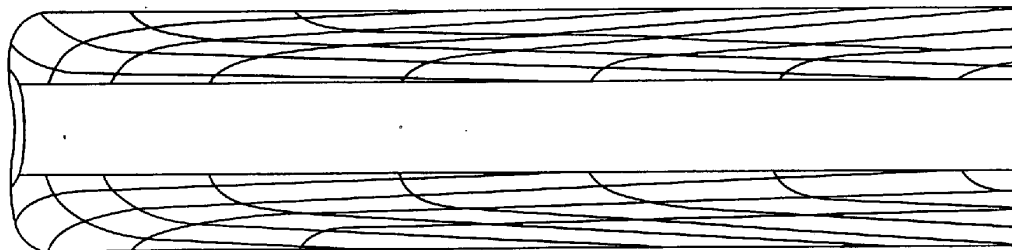
a = 予熱帯

c, d, e = 50% 空気量の不完全燃焼帯

(燃料 = 天然ガス)



第 6 図 無酸化加熱の回転炉



第7図 押し出し管の管端部メタルフローの異常性

つて、押し出し法の宿命的な欠陥といわれていた高い工具費も、かなりの低減が可能となった。

(d) 押し出し法は加工が簡単であるので、鑄造管材をそのまま使用することができる。連続鑄造法との併用により、材料費の低減が可能である。

2.2.3 押し出し管の先端異常性

押し出し管の先端部分約 400 mm 程度は他の部分に比し、実用試験の強度が劣る。これは、第7図に示すごとく、管先端の加工度が低く、靱性が劣るからである。また、18-8不銹鋼の場合には、先端に、不均一なフェライト粒と非金属介在物とが見られている。押し出し時の雰囲気は滲炭性の場合には、非滲炭性よりも拡管性が悪いことまた、熱処理によつて拡管性は改善しうることなどが知られている。現在、先端異常性の対策として、工具の形状、潤滑剤の改良などの研究が進められている。

2.3 ストレッチ・レデューサーによる圧延技術の進歩

ストレッチ・レデューサーは最近ますますその真価を發揮し、現在国内においても広く採用されつつあり、生産性の向上に大きく寄与している(第4表)。外国では使用範囲はきわめて広く、あらゆる製管法の仕上工程として採用されている。

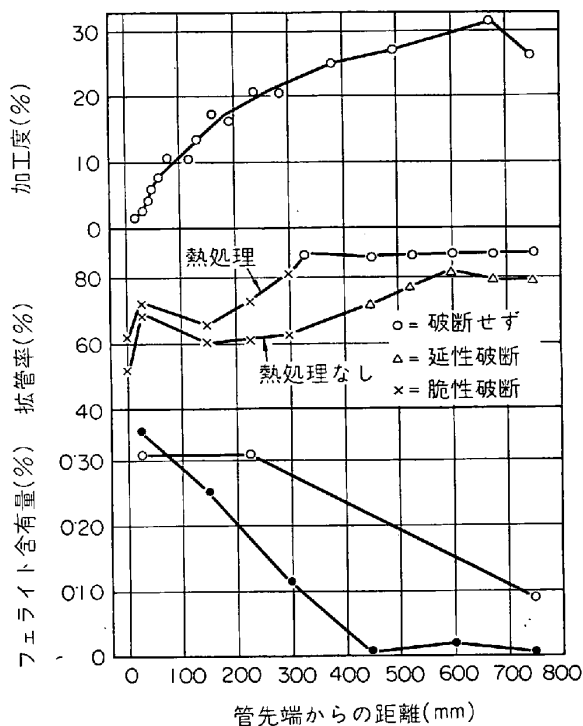
2.3.1 変速機構の種類

回転数の調整方法には、次の3種があり、それぞれ特長を生かして、使用されている(第9図)。

- (a) スタンドごとに直流電動機を有するもの。
- (b) 1個の交流電動機、補助の直流電動機および各スタンドごとの差動歯車を有するもの。
- (c) 1個の交流電動機とスタンドごとの油圧変速機

構、差動歯車を有するもの。

(a)は回転数調整範囲が広く、(b)(c)は圧延時の回転数比の安定性が優れている。



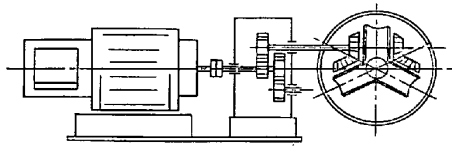
第8図 押し出し管の先端異常性(18-8ステンレス鋼)

第4表 ストレッチ・レデューサーの使用例

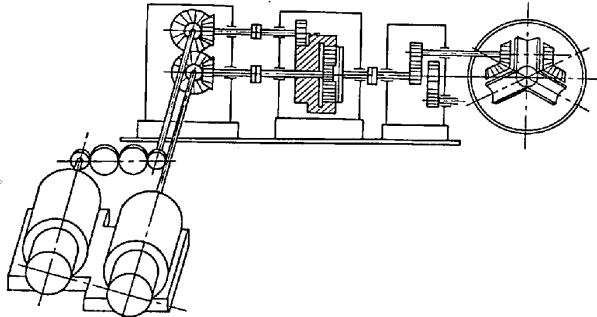
製 造 方 式	国 内 例	
	台 数	母 管 径
(内)(外) プラグ・ミル+ストレッチ・レデューサー	2	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " , 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "
(内)(外) E.R.W+ストレッチ・レデューサー	3+(1)	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " , 4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "
(内)(外) フレッツ・ムーン+ストレッチ・レデューサー	1	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "
(内)(外) 押し出し+ストレッチ・レデューサー	(1)	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "
(外) ビルガー・ミル+ストレッチ・レデューサー	—	—
(外) クランク・プレス+ストレッチ・レデューサー	—	—
(外) コンティニューアス・ミル+ストレッチ・レデューサー	—	—

(注) (内)=国内 (外)=国外, 台数 ( ) 内=計画中のもの。

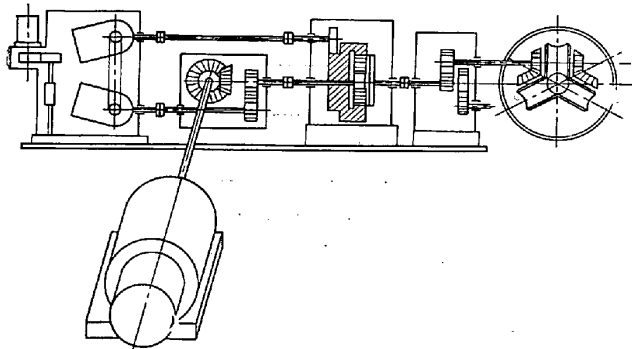
(1) 個別駆動の直流電動機



(2) 交流電動機+直流電動機+差動歯車



(3) 交流電動機+油圧変速装置+差動歯車



第 9 図 ストレッチ・レデューサー変速機構

### 2.3.2 管端切り捨て長さの短縮

管端の切り捨てについては、直接歩留に影響するので、これを最小におさめるよう。各社努力がなされている。すなわち、スタンド間隔の縮小、ストレッチ効果の早期構成が重要な因子である。とくに後者については、機械の剛性を増してスタンドあたりの断面減少率を大きくするとともに、回転速度比の安定性を高める方向に進んでいる。たとえば、直流電動機では、管の嚙込時の衝撃荷重による速度低下を防ぐため、 $GD^2$ (はずみ車効果)の大なるもの、インダクタンスの低いもの、および回転抵抗の低いものを採用することにより、従来は速度回復に 1sec 程度要したものが、最近のものは 0.3sec 程度に改善され、切り捨て長さへの速度低下の影響は無視しうようになった。

### 2.3.3 ロール型式

ロール型式には、2ロール式、3ロール式がある。2ロール式は、構造が簡単で剛性が大きく厚肉管の圧延が可能である。3ロール式は、構造がやや複雑であるが、カリバー底部と両縁部のロール周速差が少なく、カリバー楕円度を小さくすることができるので、管表面の仕上がりが良好で、内面角張りも少ない。中肉、薄肉管の圧延には、3ロール式が非常に良好である。

### 2.3.4 ストレッチ・レデューサーの傾向

前述したように、ストレッチ・レデューサーは熱間圧

第 5 表 国内・国外のストレッチ・レデューサーの比較

	継目無し鋼管		溶 接 管	
	国 内	国 外	国 内	国 外
母管径 (inch)	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ~5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ~7	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ~4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ~9
母管最大長さ (m)	~16	~22	~80	~100
仕上径 (inch)	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ~4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1/2~4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1/2~4	1/2~5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
仕上最大長さ (m)	60	100	—	—
出口速度 (m/sec)	5	10	10	10

延最終工程として、欠かすことのできないものであり、今後も大いに伸びるものと考えられる。将来は、さらに (a) 母管の大径化、長尺化、(b) 仕上り寸法範囲の拡大、(c) 圧延速度の向上、(d) 先行圧延機との直結化などによつて、能率・歩留の向上が期待される。このうち (a)(b)(c)はすでに、かなり進んでおり、第 5 表に見るごとく、外国では母管径 9", 仕上り径 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" の一例がある。(d)は ERW (電気抵抗溶接鋼管)との関連で考えられる方式であり、すでに外国にて 1 基稼動している。

### 2.4 各種製管法の比較と今後の動向

継目無し製管法は、いずれも穿孔、圧延伸長、定径の各工程から成り立っている。それぞれの工程において、いろいろの方式が開発され、それらが組み合わせられて、一つの製管法が形成されている。これらの得失を概観すると、次のごとくである。

#### 2.4.1 穿孔

##### (a) プレス穿孔法

材質には鈍感であり、普通鋼、合金鋼、ステンレス鋼とも容易に穿孔可能で、疵の発生が少ない。しかし、偏肉と能率面でまだ問題が残っている。

##### (b) 回転穿孔法

普通鋼、低合金鋼に、一応問題がなく、また能率も良い。しかし、加工性の悪い材料には、内面疵の点で不適である。

#### 2.4.2 圧延伸長

(a) プラグ圧延法 内面疵筋が発生しやすい。また芯金の坐屈から製管長さに制限がある。

(b) マンドレル圧延法 管内面状況は良好であり、また長尺製管が可能であり、量産にも適し今後の発展が期待される。

(c) 押し出し法 すべての材質に最適である。能率面や管表面状況に改善の必要がある。

#### 2.4.3 定径および絞り圧延

仕上げ工程として、ストレッチ・レデューサーが全面的に活用されるであろう。

各工程における製造方式の選定は、製造品種に応じて決定されるべき性質のものである。たとえば、高温高压用ボイラ管や合金鋼・ステンレス鋼管などにたいしては品質の信頼度および能率などを考慮して、大型押しプレス+ストレッチ・レデューサーが適当と考えられる。また、比較的low級の市場品にたいしては、製造価格の面から、ロータリー・ピアサー+コンティニューアス・ミル+ストレッチ・レデューサーの工程が適当であろう。

### 3. 溶接鋼管製造技術の進歩と問題点

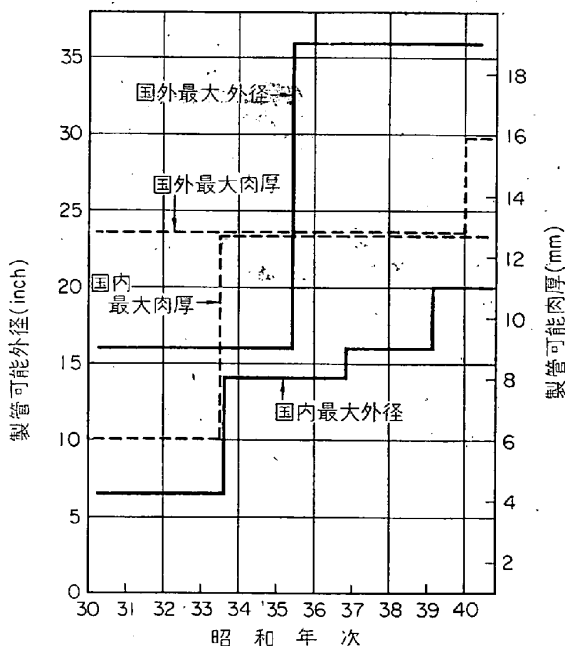
帯鋼を材料とする溶接鋼管は、帯鋼の供給の増大と品質の向上とに相まって飛躍的な発展をとげ、その生産量は鋼管の全生産量の約80%に達している。溶接鋼管は寸法、とくに肉厚の均一性について優れた特長を持っていることは、従来からも認められているところである。その最も弱点とされていたのは、溶接部の欠陥であるが溶接技術の向上、非破壊検査の実用化、および内面ビード除去技術が開発されたので、その信頼度が大きく高まったのである。

本章では、電気抵抗溶接鋼管の発達について、その製造技術上の要因を解析するとともに、共同研究会、鋼管部会で検討されてきた研究内容をも、あわせて整理した。

#### 3.1 溶接鋼管の寸法・材質範囲の拡大

##### 3.1.1 外径および肉厚範囲の拡大

第10図に、国内、国外別の電気抵抗溶接鋼管（以下ERWと略す）についての、最大外径、最大肉厚の拡大推移を示す。国内については、昭和33年に、14"中径管が初めて出現し、その後約2年ごとに、最大外径が2"ずつ上昇している。そして、現在の最大外径は20"（2社）である。外国（アメリカ）においては、すでに16"ミルが昭和10年頃に建設されており、さらに昭和35年には36"ミル（カナダ）が建設されて、順調な操業を

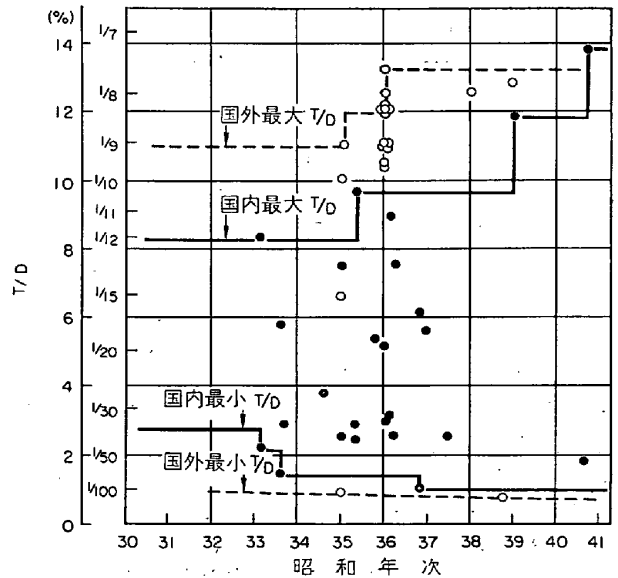


第10図 ERW(電気抵抗溶接鋼管)の最大外径、最大肉厚の推移

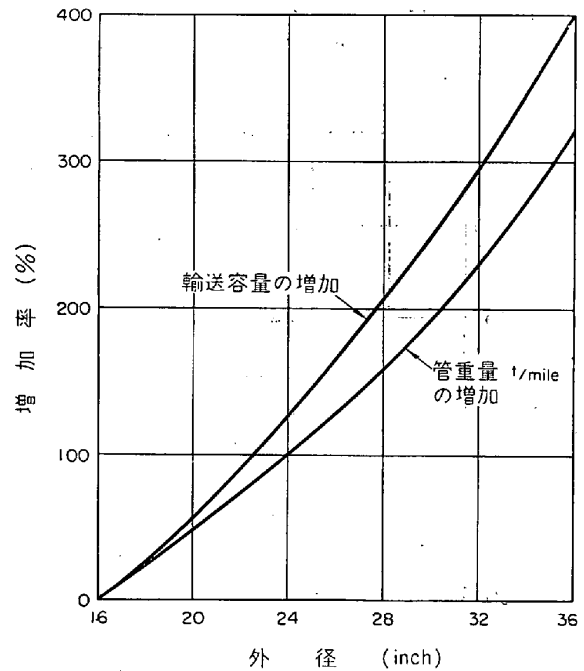
続けている。外径20"以上のERWの出現したことは、従来のUOプレス方式による鋼管の分野への進出を意味しており、将来さらにERW方式による大径管の範囲が拡大されるであろう。

肉厚については、中径寸法の製管機の出現とともに、厚さ1/2"のコイルが成形・溶接されるようになった。さらに、36"製管機では、5/8"厚さの鋼板の成形・溶接が可能となつている。

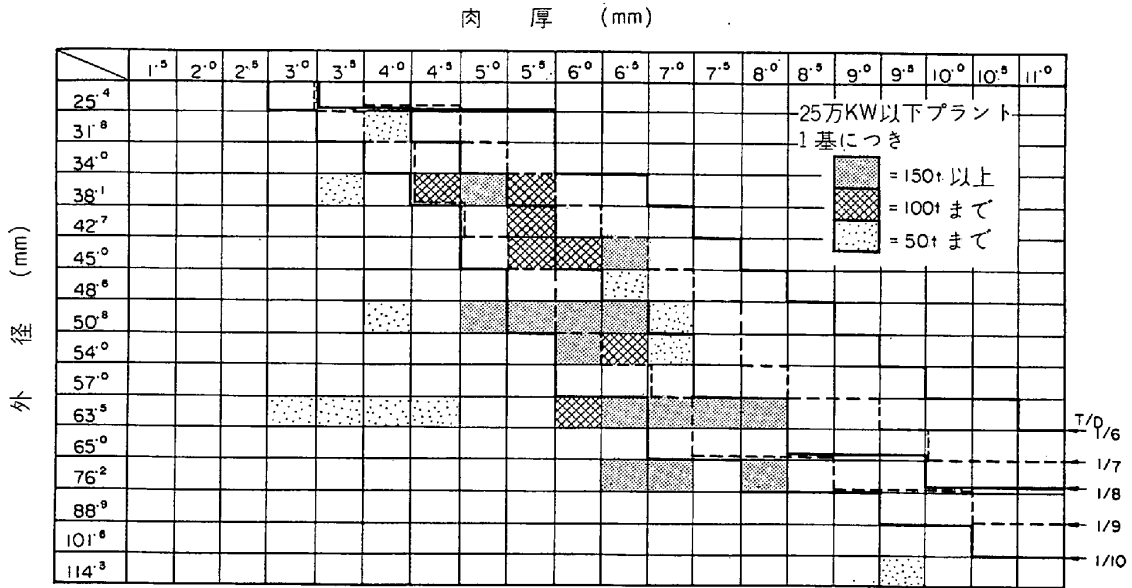
第11図に、ERWにおける肉厚/外径(T/D)の拡大の推移を示す。最大T/Dは、外径が約3"以下の小



第11図 肉厚/外径(T/D)範囲の推移



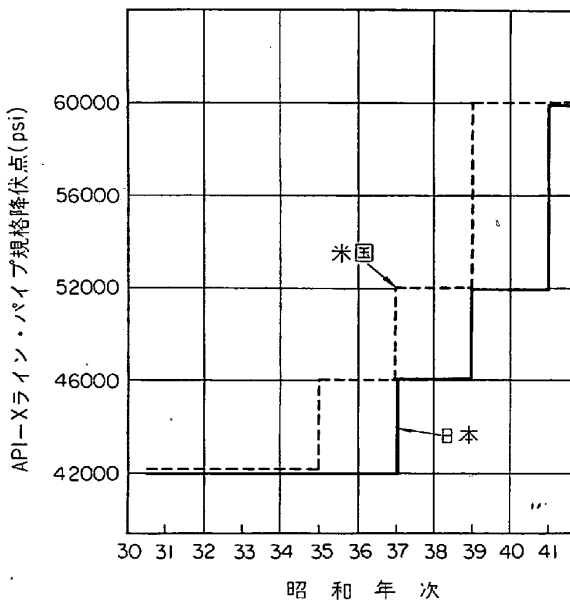
第12図 パイプ・ライン用鋼管の外径と輸送能力・鋼管重量との関係  
 { 外径16"の鋼管を0としたときの増加率を示す。  
 { 輸送圧力=56kg/cm<sup>2</sup> (800 psi)



第13図 発電用ボイラ管の外径別肉厚範囲

径寸法についてであり、最小 T/D は中径寸法の範囲についてである。ERWにおいて可能な最大 T/D は、従来では、ほぼ 1/10 といわれていたが、最近になって成形・溶接技術の進歩により、1/7 まで可能となつてきたことは、特筆すべきことである。また、最小 T/D についても、従来の 1/50 から、さらに 1/100、あるいは外国ではケージ・フォーミングによつて 1/250 までが可能となつている。

ERWの外径を増大せしめた強力な背景は、石油・天然ガスなどのパイプ・ラインの発達である。第12図に、パイプ・ライン用鋼管の外径と輸送量増加率との関係を示す。輸送圧力 800 psi の場合、36" 管は 16" 管に対して、管重量は 300% 増であるのにたいして、輸送量は 400% 増となつている。



第14図 溶接鋼管によるパイプライン用鋼管の材質の進歩

また、T/D の最大範囲を増大せしめた原因の一つに従来継目無し鋼管によつて製造されていた高温・高圧用ボイラ管のERWへの移行がある。第13図に、発電用プラントに使用されているボイラ管の肉厚とその使用量の概略を示す。T/D が 1/7 までの厚肉管が使用されているところかなりあり、将来のERWによる最大 T/D の方向を示唆するものである。

3.1.2 材質の進歩

第14図に、パイプ・ライン用鋼管として使用される溶接鋼管の材質高級化の推移を示す。グラフは、国内外ともに、量産体制に入つて、安定した品質のものを供給できた年代を示している。2年おきに、等級が数1000 psi ずつ上昇しており、材質強度の高級化の傾向には、著しいものが見られる。API-X60 級は、現在では主としてサブマージド溶接によつて製造されており、ERWとしての量産は、現在 API-X52 級までである。なお、国内の推移は、米国に比べて、ほぼ2年おきで変化を見せている。パイプ・ライン用鋼管の材質が、このように高級化してきたのは、鋼管重量の軽減、ひいてはライン敷設費の低減によるものである。第15図に、外径 30"、圧力 1000 psi の場合のパイプの降伏点と 1 マイルあたりの管重量との関係を示す。降伏点の増加に対して、管重量は反比例で減少しているのが見られる。

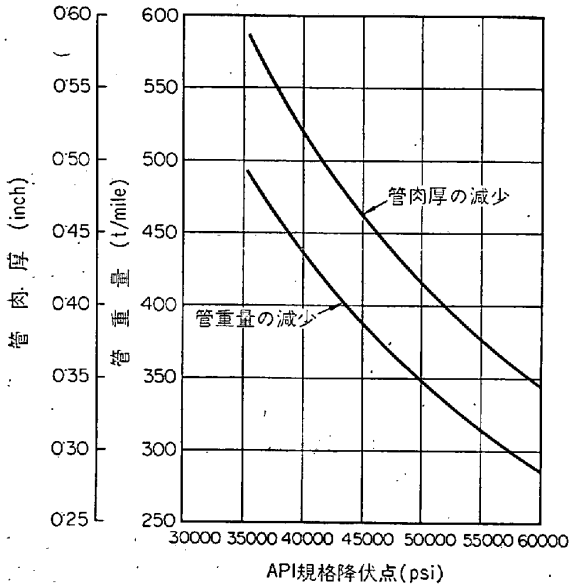
第16図に、ERWボイラ管の材質の推移を示す。国内では、昭和34年頃から、キルド鋼による STB 35 が量産に入り、さらに昭和40年には中炭素キルド鋼による STB 42 が量産化されるようになった。米国では、すでに昭和35年頃に STB 42 級の製造技術が確立されている。

3.2 成形法・溶接法の進歩

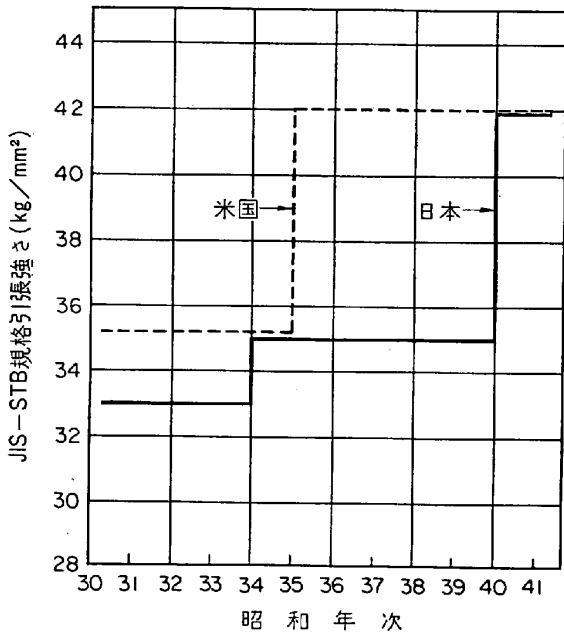
前章において、溶接鋼管とくにERWについて外径・肉厚・材質の進歩ならびに高級管への進出の状況を概観した。これらの進歩の要因となつた製造技術を列記すれば、次のごとくである。

- (a) 材質の開発、帯鋼製造技術の進歩





第15図 パイプ・ライン用鋼管の材質と肉厚・重量との関係  
外径 30", 内圧 70 kg/cm<sup>2</sup>(1000 psi) の場合



第16図 ERWボイラ用鋼管の材質の進歩

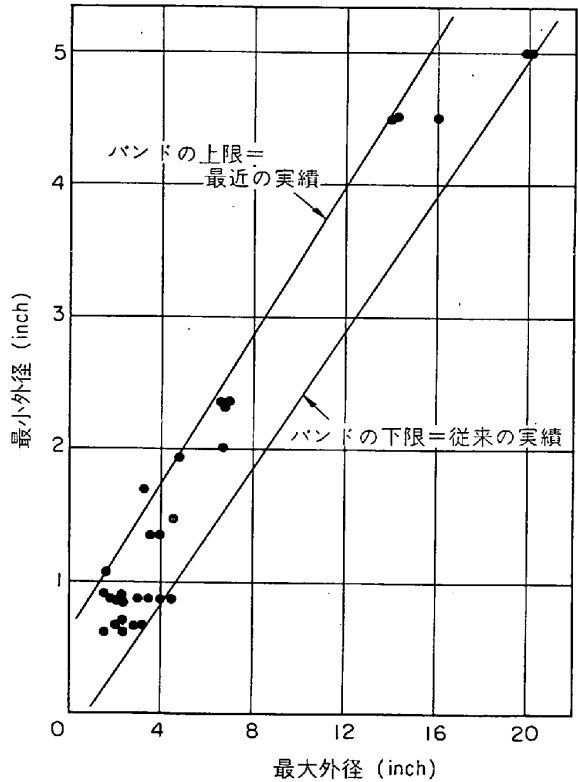
- (b) 成形技術の進歩
- (c) 溶接, 内面ビード除去, 溶接部焼鈍の技術の進歩
- (d) 非破壊検査の開発

本章では, これらのうちERW製造上の固有の技術である成形・溶接技術について, 以下にのべる。

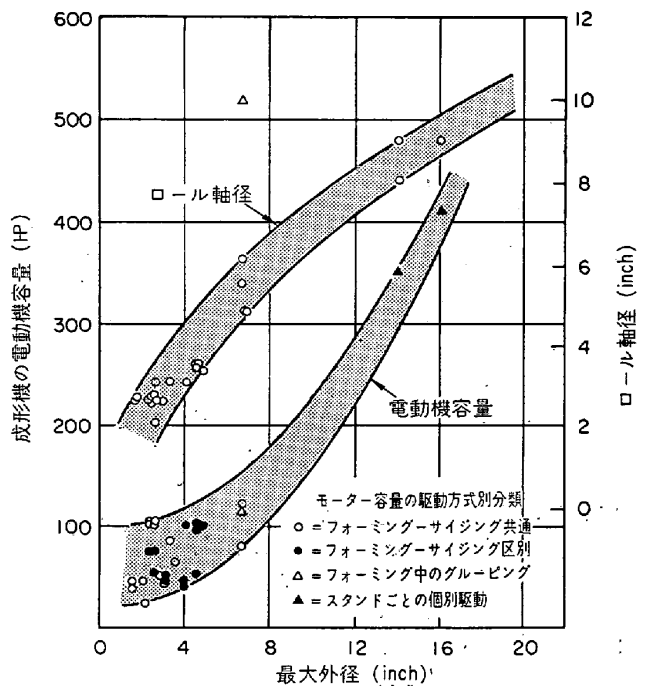
3.2.1 成形機 (Forming mill) の進歩

(a) 機械の専用化

最近の傾向として, 1台の製管機で製造される外径範囲が, 漸次狭くなってきた。機械の専用化は, 当然品質と能率との向上を計るためである。第17図は, 国内の各製管機の最大外径と最小外径との関係を図示したもの



第17図 1台の製管機で製管可能な最大外径-最小外径の関係

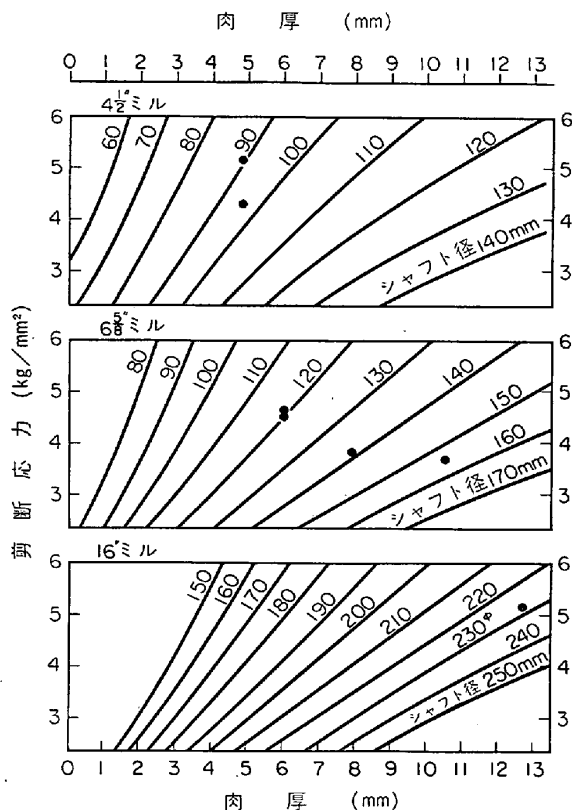


第18図 駆動容量およびロール軸径の増加

である。ここでは, その変化を1本のバンドに包含しているが, 年代とともにこのプロットは上方に移ってきているのである。将来, さらに外径別の製管機の専用化の傾向が強くなるであろう。

(b) 駆動方式・機械剛性の変化

製造寸法・材質の拡大による負荷の増大は, 駆動電動



第19図 製管肉厚とロール・シャフト剪断応力との関係

機の容量の増加、駆動方式の改善および電動機機械剛性の強化をもたらした。第 18 図は、国内現存製管機の電動機容量、ロール駆動軸径を示す。電動機馬力は製造最大外径にたいして、ほぼ 2 次曲線的に増加している。その駆動方式は、容量の増大とともに、成形機一括駆動方式より、同種スタンドの群駆動方式、あるいはスタンドごとの個別駆動方式に変わってきた。製管機の剛性を示す指標としては、ロール軸に作用する剪断応力の大きさが最も適切である。一例として、フィン・パス・ロールに作用する圧下力とトルクとを計算にて推定し、一定の軸径にたいする剪断応力を求めたのが、第19図である。

この図には、国内の若干の製管機について、応力の計算結果を図示した。その値は 3.5~5.5 kg/mm<sup>2</sup> の範囲に入っている。最近の新しい製管機のなかには、この剪断応力をやや低く見積つて、剛性の強化を計り、特殊な設計を採用するものが現われている。

3.2.2 パス・デザインの改善

(a) 成形可能範囲の検討

第 20 図に、ERWの外径と T/D 可能範囲との関係を図示した。後で説明するいろいろのパス・デザインの改良により、従来可能であった通常 ERW 範囲にたいして、厚肉・薄肉側ともに大きく拡大されてきたことは、特長的である。厚肉側の成形上の問題は、主として帯鋼両端部の成形性であり、薄肉側は、帯鋼

両端部の坐屈である。このような問題点を、大幅に解決した現在において、最大 T/D は 1/7 (外径 ≤ 2 1/2") まで、最小 T/D は 1/250 (外径 ≥ 20") までの範囲が、製造可能となつている。

(b) ロール・スタンド配列の検討

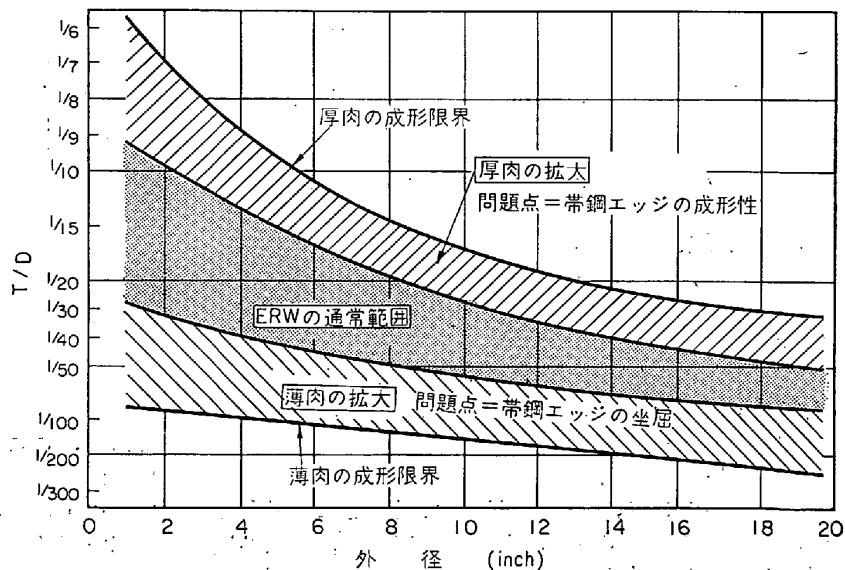
ERWの成形は、通常 3 期の成形期に分けて考えられてきた。第 I 期は、主として水平ロールによる帯鋼エッジ部の成形領域、第 II 期は、主としてサイド・ロールによる帯鋼中央部の成形領域、第 III 期は、フィン・ロールによる周長絞り領域である。最近の方向として最初のエッジフォーミング・パスと終期のレデュースング・パスとの強化によつて、成形性の向上をはかるとともに、全体を 4 期に分けて、より安定したフォーミング・パスを狙つた製管機が造られている。

(c) 孔型設計の改善

孔型の原型には、第 22 図に示すごとく、A, B, C の 3 種類のあることは、前回にも報告したとおりである。これらの原型を、各成形期に適宜組み合わせて、理想的な成形状態を得るべく、各社で検討がなされてきた。現在、代表的な孔型設計として、第 6 表の 4 種類がある。このうち、C+A+B 方式すなわちサーキュラー・フォーミングを基本として第 1 期には A を加え、中間

第 6 表 孔型設計の組み合わせとその比較

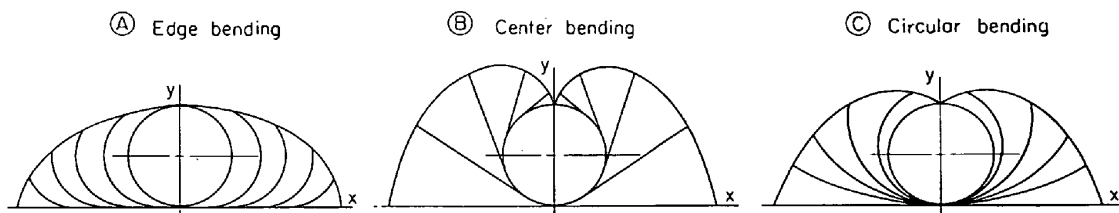
原型の組み合わせ	C	C+A	C+B	C+A+B
技術上の問題点				
①エッジの成形性	△	○	×	○
②エッジストレッチ、エッジバックリング	△	△	○	○
③負荷の均等	△	○	△	○
④揺れに対する安定性	○	△	○	○
⑤ロール疵	△	○	△	○
国内設置台数例	2"ミル 4"ミル 6"ミル 18"ミル	1 5	13 5 2 2	1 3 2



第20図 ERWの成形可能範囲

型式	I 期		II 期		III 期	年次	設置数
A	水平ロール, サイドロール交互 		水平ロール, サイドロール交互 		水平ロール, サイドロール交互 	34	13台
						36	5台
						38	6台
						40	—
B	水平ロール クラスター 		水平ロール, サイドロール交互 		水平ロール クラスター 	34	3台
						36	1台
						38	—
						40	—
C	水平ロール クラスター 		サイドロール クラスター 			34	1台
						36	2台
						38	—
						40	—
D	I 期 水平ロール クラスター 	II 期 水平ロール, サイドロール交互 	III 期 サイドロール クラスター 	IV 期 水平ロール クラスター 		34	1台
						36	1台
						38	—
						40	3台
成形区分	帯鋼エッジ部の成形領域		帯鋼中心部の成形領域		レデュースングの領域		

第21図 フォーミング・スタンド配列の諸方式



第22図 孔型設計の原型

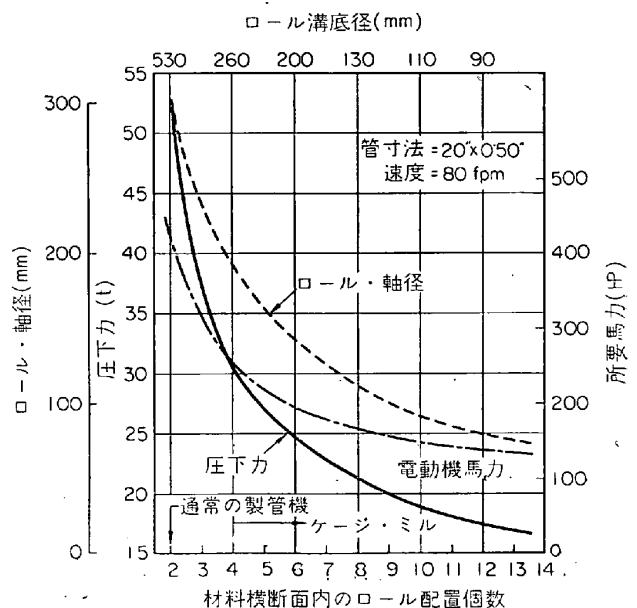
成形期には B を加えた方式が新しく現われてきた。これは、C+A 組み合わせによつて、帯鋼端部の成形性を良くし、また C+B 組み合わせによつて、帯鋼帯部の坐屈を防止することを狙つた総合方式である。

3.2.3 ケージ・フォーミングの特長

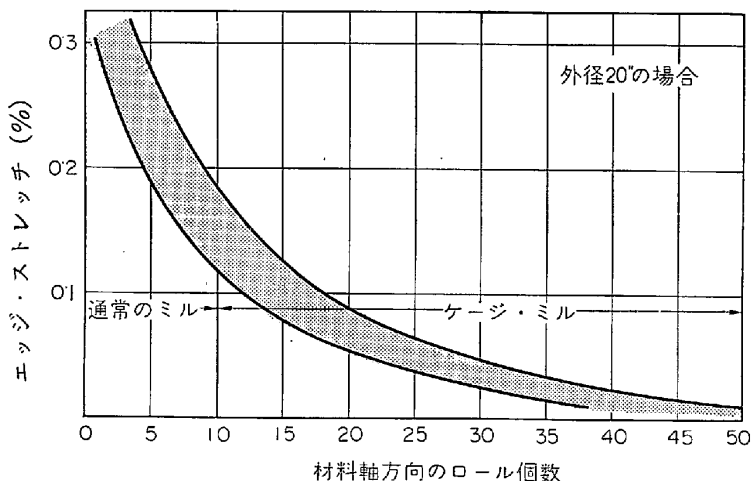
ケージ・フォーミングは、大径管のフォーミング形式として開発された新しい方式である。国内には、まだ見られないが、外国ではすでに 14 基あり、このうち 2 基は最大外径 36" であり、他は 24" 以下である。この方式は、管の軸方向、円周方向ともに、小さいロールを多数組み込んだもので、材料が丁度籠の中を通るごときものから、ケージの名が付けられたものである。

ケージ・ロールは、従来のステップ・フォーミングと違つたいわゆる Natural functional forming である。すなわち、材料エッジ部の引張歪(エッジ・ストレッチ)と附加的剪断歪とがないために、従来の成形機に比して所要馬力が少なく済み、また非常な薄肉も可能であるなどの特長を有している。第 23 図は、横断面内のロール個数(通常の成形機=2 個, ケージ・ミル=4 個以上)を関数として、① 1 個のロールに作用する圧下力 ② 同一強度におけるロール軸径 ③ フォーミングに必要な全馬力を表わしたものである。同様に第 24 図は軸方向のロール個数とエッジ・ストレッチとの関係を示している。

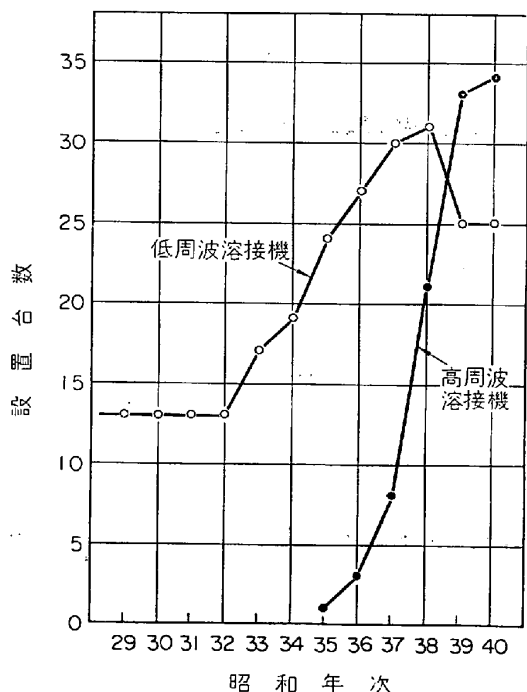
ケージ・ミルの軸方向ロール個数は、通常 20 個以上あり、そのエッジ・ストレッチは 0.1% 以下ときわめて低



第23図 ケージ・フォーミングの圧下力および所要馬力



第24図 ケージ・フォーミングのエッジ・ストレッチ



第25図 国内ERWの溶接機設置状況

く、いずれも弾性限内である。

3.2.4 国内における溶接機設置状況

第 25 図に示すごとく、高周波溶接は、著しい伸びを見せている。いつぼう、低周波より高周波への置換えが活発に行なわれ、昭和 38 年を境として、高周波の設置台数は低周波を凌駕するにいたつた。

3.2.5 高周波溶接の利点

高周波溶接と低周波溶接との本質的な差異を要約すれば、溶接部の温度と圧力との問題である。

高周波では、電流の表皮効果と接近効果とにより、エッジの突き合わせ面に、熱が集中する。その温度は、低周波に比してかなり高く、しかも熱影響部は非常に狭いため、突き合わせ圧力が高い(第 26 図)。高周波の種々の利点は、すべてこの温度・圧力の優位性から派生している。

高周波と低周波との電流の流れ方を比較すれば、第 7

表のとおりである。

高周波が低周波に比べて、その溶接性に 4 つの利点がある。

(a) 高合金鋼の材質も溶接可能である。理由；前述のごとく、突き合わせ面の温度・圧力が高い。

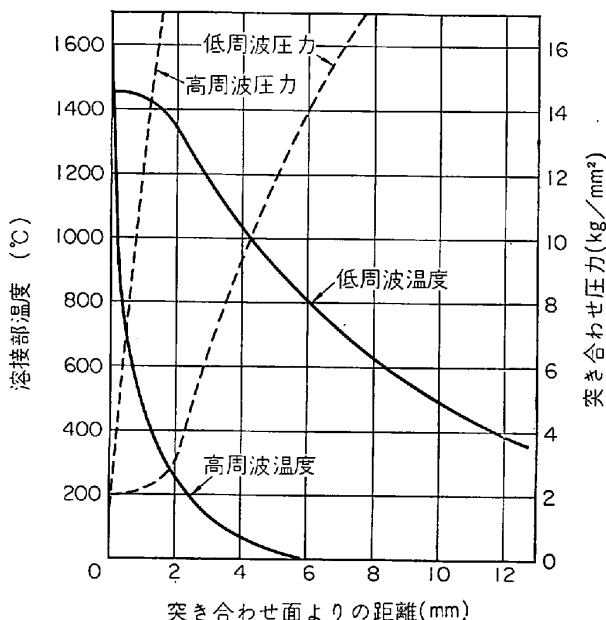
(b) 同容量の低周波に比して、溶接速度はきわめて大である。理由；スティッチおよびパーニングによる制約がない。また加熱効率が良い。(第28図, 第29図)

(c) 厚肉管の溶接が容易である。理由；パーニングによる電流の限界がない。加熱時間が大である。(第 30 図)

(d) 薄肉管の溶接が容易である。理由；回転電極によるラップがない。熱影響巾は狭い。

高周波と低周波との実際上の比較を、第 8 表に示す。

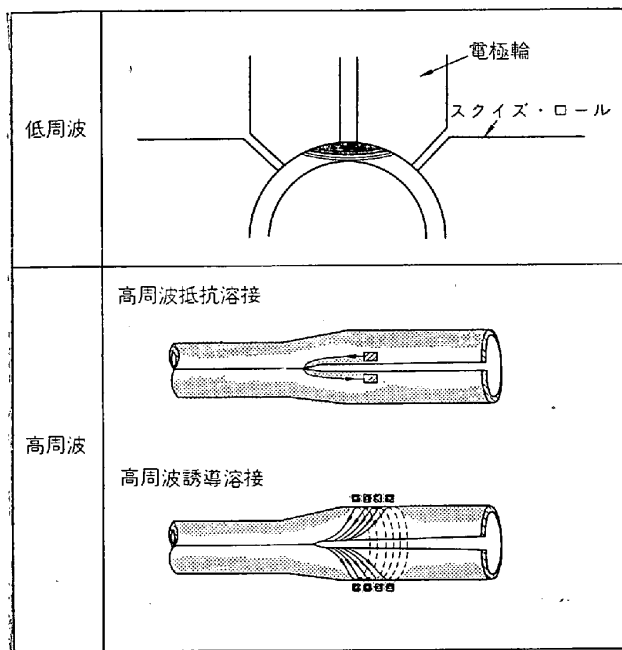
3.3 溶接性についての研究



第26図 溶接部の温度分布と圧力分布

第 7 表 電流の流れ方の比較

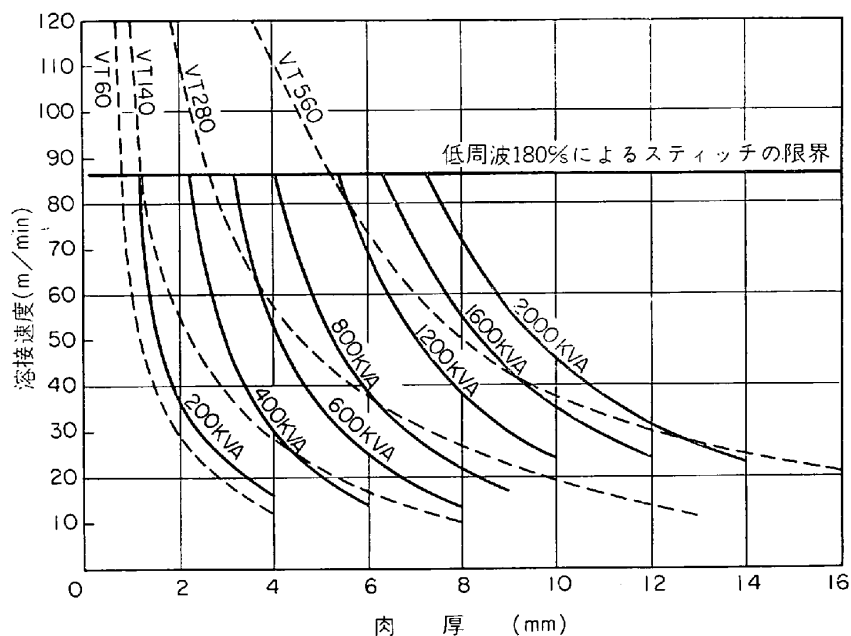
	高周波溶接	低周波溶接
加熱時間	大	小
肉厚方向の電流密度	接近効果、表皮効果により、突き合わせ面の肉厚全面に集中する	突き合わせ角度によつて相異なるが、通常は外面大きく、内面小さい
電流の大小	突き合わせ面の接触圧力の影響を受けない	突き合わせ面の接触圧力および管一電極の接触圧力の影響を受ける
熱影響巾	電極間の間隔の影響を受けない	電極間の間隔の影響を受けて、大である



第27図 低周波および高周波の電流の流れ方

第8表 低周波溶接と高周波溶接との比較一覧

		低周波	高周波
製管可能材質 (炭素当量=C+1/4Mn+1/7Si : %)		0.50	0.80
可能寸法	最大外径 (inch)	20	48
	最大 (t/day)	1/10	1/7
	最小 (t/day)	1/50	1/250
材料の前処理		要	不要
溶接欠陥	スティッチ	有	無
	コールド・ウェルド	有	有
	フック・クラック	有	有
	ペネトレーター	無	有
溶接部硬度		低	高
ビード切削性		良	やや悪い
最高溶接速度 (m/min)		85	120



第28図 低周波および高周波の溶接速度の比較

溶接鋼管の品質向上については、材料および製管作業両面における溶接性を良好ならしめることが最も重要な課題である。したがって、鋼管部会においても、過去数回にわたって、これをテーマとして討議されてきたわけである。以下、部会で採り上げられたテーマを中心として、溶接性にたいする設備操作上および材料上の要因について要約した。

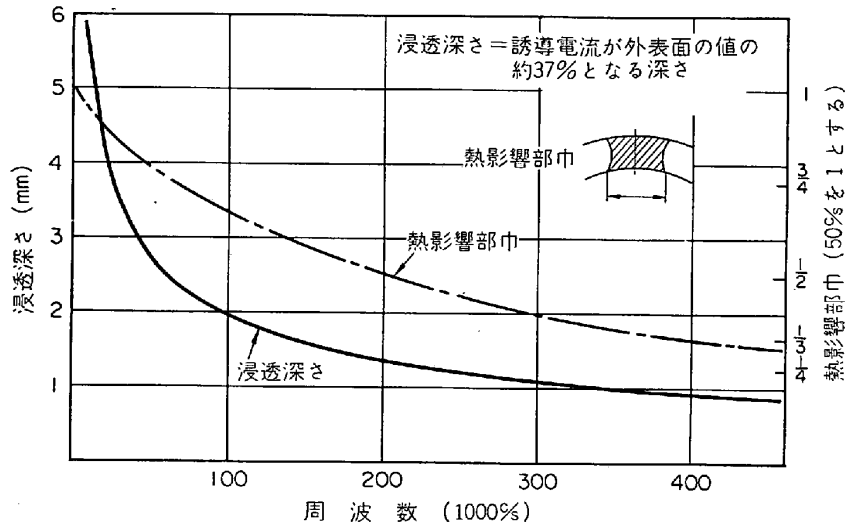
3.3.1 溶接部の臨界冷却速度

1400~1500°C に加熱された溶接部の温度は、輻射と伝導により急速に低下し、さらに、水冷によつて常温まで低下する(第31図)。急冷時のA<sub>3</sub>変態点はかなり低下するので、水冷開始点が高すぎると、溶接部が焼入れ

組織となつて硬化する。水冷開始温度と硬度との関係は第32図のごとくであり、500°C 附近より急激に硬度の上昇が見られる。炭素当量の高い材料ほど、この温度が低温に移行するので、一般にERWの臨界冷却温度として、400°C を考えるのが妥当である。

冷却速度は、空冷帯長さや製管速度によつて決まる。冷却速度を上記のごとく制限した場合、ある空冷帯長さにおける最高速度には制限がある。この関係を第33図に示す。400~500°C 附近の冷却速度が非常に小さいので、高速度の製管機においては、長い空冷帯が必要である。

上記の臨界冷却温度は、溶接部焼鈍の場合にも、そのま

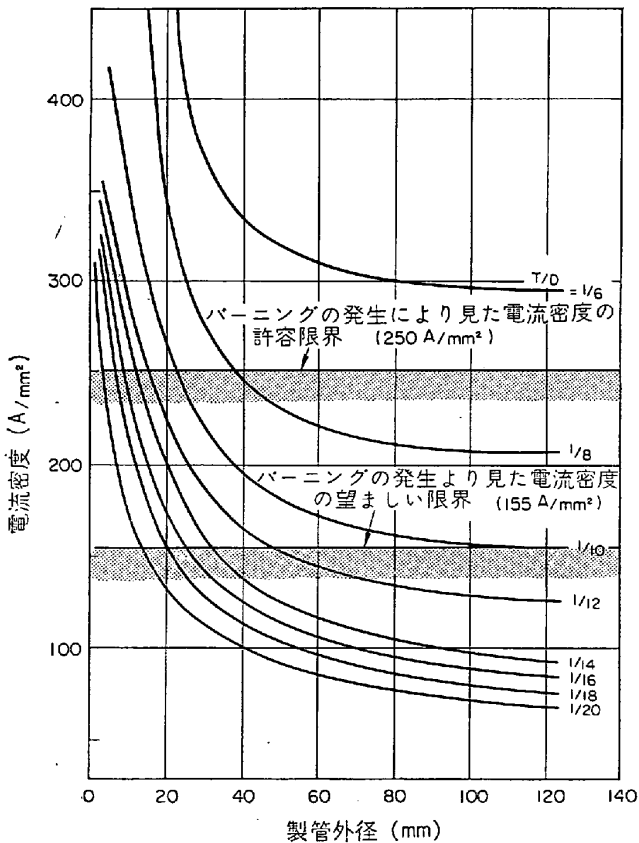


第29図 溶接機周波数と熱影響部幅との関係

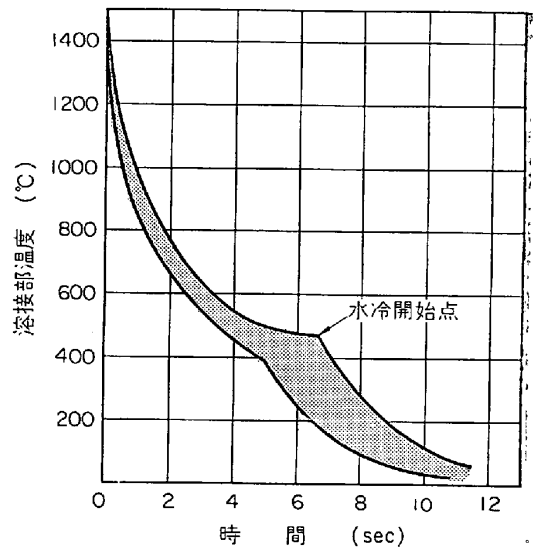
ま適用される。すなわち、溶接部焼鈍（もしくは溶接部焼準）は、溶接部の過熱・急冷組織を壊すのが目的であるから、その設置位置は溶接部の温度が、少なくとも500°C以下になったところが望ましい。また、焼鈍後の水冷開始温度も同様に、少なくとも500°C以下でなければならない。

3.3.2 溶接電流

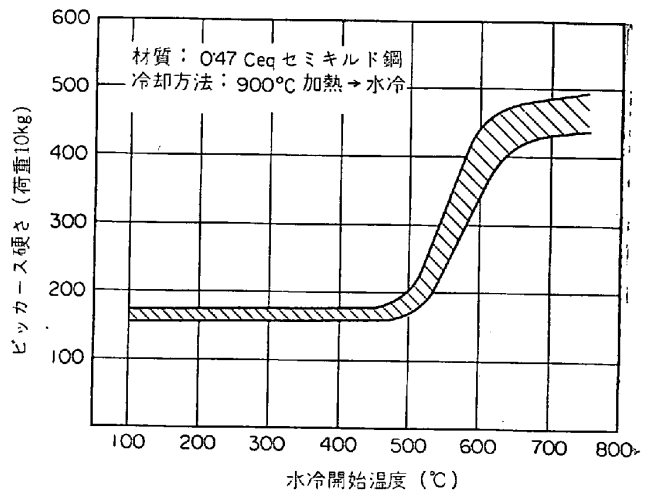
管理すべき溶接諸条件のなかで、もつとも重要なもの



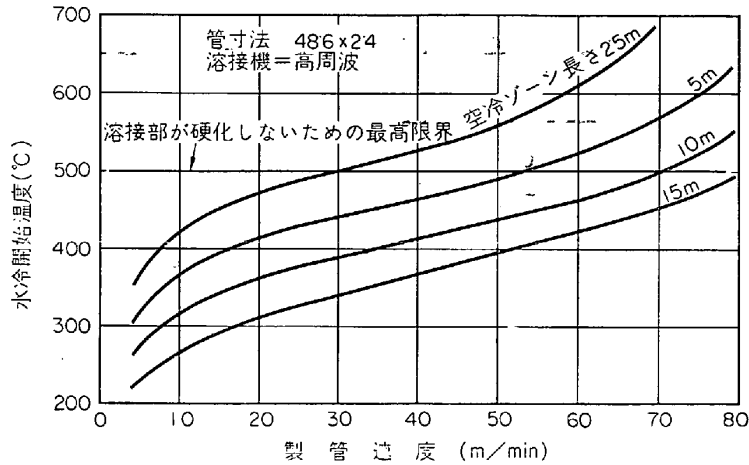
第30図 低周波溶接による最大肉厚の限界



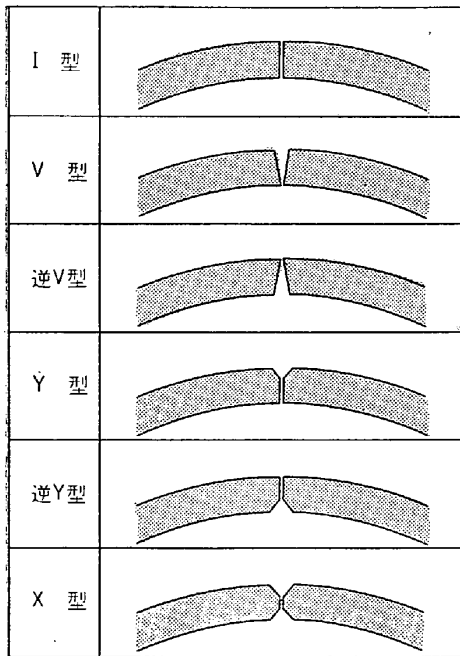
第31図 溶接部の冷却曲線



第32図 水冷開始温度と硬度との関係



第33図 水冷開始温度と臨界製管速度



第34図 突き合わせ形状の種類

は、溶接電流である。溶接電流を支配する基本的な要因は、肉厚、速度、材質である。低周波の場合には、アプセット量、電極圧下量、材料表面状態などによつて溶接電流に多少の変化は見られるが、こうした条件を一定と見なせば、近似的には溶接電流は、次式で示される。

低周波 (2次電流)  $I = Kt\sqrt{v}$

高周波(プレート電流)  $I = Kt\sqrt{vl}$

ここで  $K$  = 定数

$t$  = 肉厚 (mm)

$v$  = 速度 (m/min)

$l$  = 電極とスクイズ中心の距離 (mm)

定数  $K$  は、主として材質によつて決定されるもので、これを「ヒート係数」と呼ぶことにする。したがつて、それぞれの製管機において、各種材質別に、ヒート係数  $K$  の適正な範囲を調査しておけば、上記の関係式によつて、溶接電流を管理する目安を得ることができる。第9表にヒート係数の一例を示す。

第9表 適正ヒート係数の調査結果の一例

ミル	溶接機	材 質	ヒート係数	
			範 囲	単 位
4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "ミル	低周波	リムド鋼	31~34	×10 <sup>2</sup>
		セミキルド鋼	32~35	×10 <sup>2</sup>
		キルド鋼	34~36	×10 <sup>2</sup>
4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "ミル	高周波	リムド鋼	70~82	×10 <sup>-3</sup>
		セミキルド鋼	75~85	×10 <sup>-3</sup>
		キルド鋼	77~86	×10 <sup>-3</sup>
18"ミル	低周波	リムド鋼	42~47	×10 <sup>2</sup>
		セミキルド鋼	45~48	×10 <sup>2</sup>
		キルド鋼	46~48	×10 <sup>2</sup>

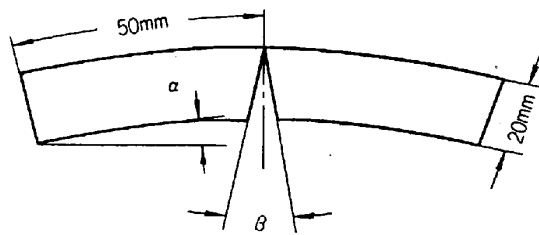
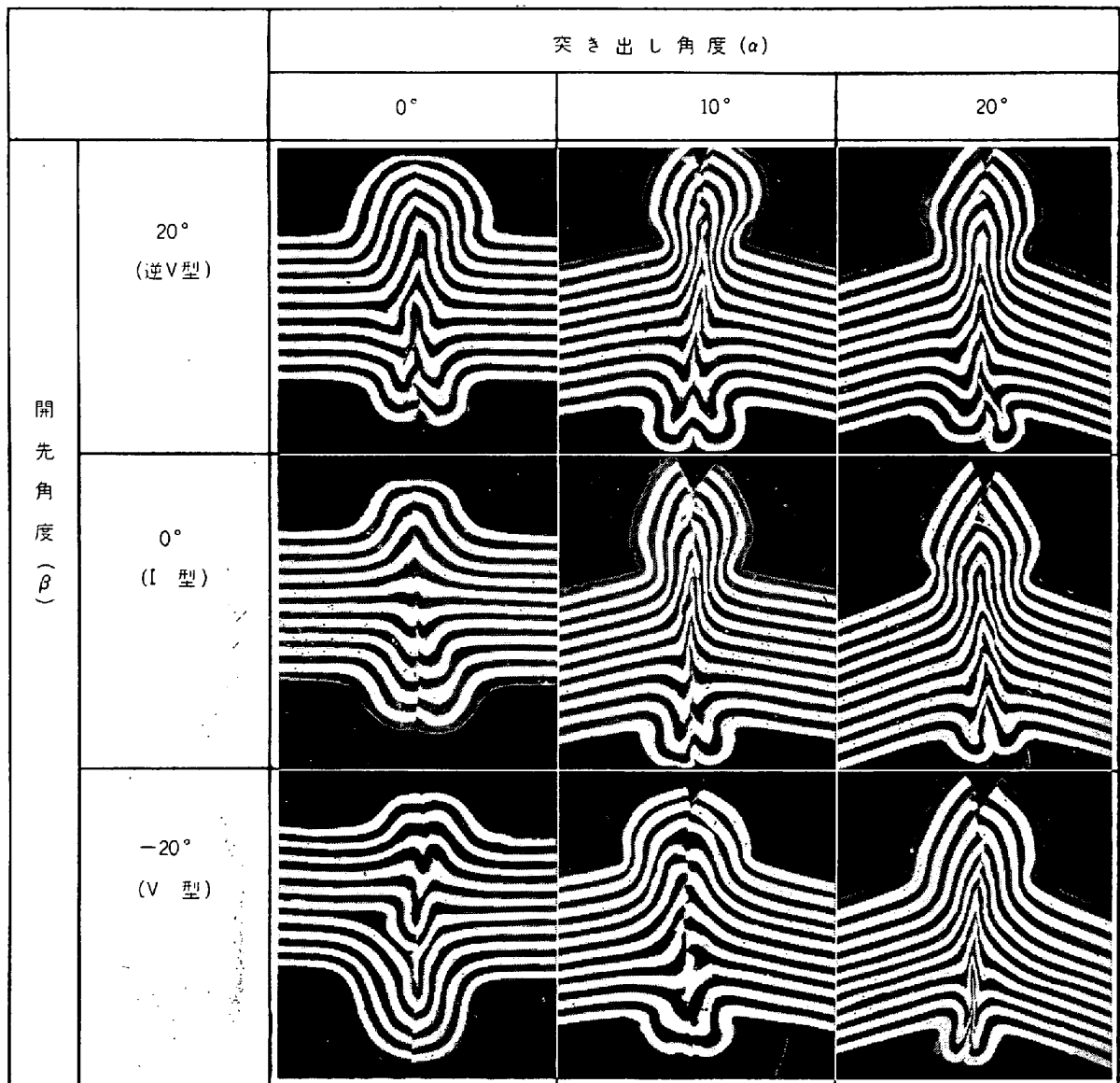
第9表によれば、リムド→セミキルド→キルドの順にヒート係数の適正範囲は狭く、この材質順にヒート係数が高い。また、低周波と高周波とで、値の異なるのは当然であるが、同じ低周波においても、製管機によつて、大きな差がある。製管外径によつても、ヒート係数が多少変化するが、この変化は上表の範囲に含まれている。

3.3.3 突き合わせ形状

ERWの品質のなかでも、とくに重要な溶接部の強度と靱性とにたいして、根本的な関連をもっているのは、アプセットによるメタル・フロー (Upwards flow) である。溶接部の靱性を向上せしめるためには、材料・溶接の両面からこのメタル・フローを改善せしめることが、ERWにおいて最も重要なしかも最も困難な課題の一つであろう。

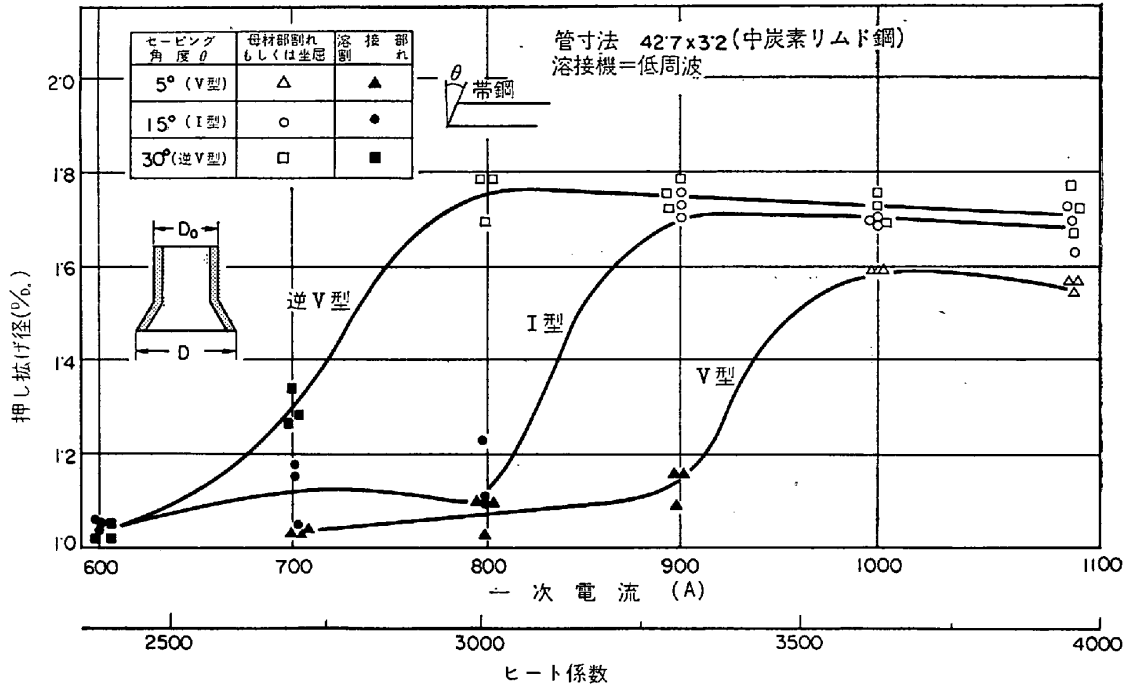
第34図に示すごとく、場在の国内ERWにて採用されている突き合わせ形状には種々の型式がある。このなかで、最も多く採用されているのはI型と逆V型とであり、一部には、V型あるいはX型も採用されている。いずれにおいても、溶接部の内外面の靱性を同等ならしめるくふうを、製管機の特長 (たとえば孔型設計、溶接機型式など) に応じて行なうのが目的である。

アプセット時のメタル・フローの一例を、第35図に示す。これらは、突き出し角度 ( $\alpha$ ) と開先角度 ( $\beta$ ) とを変化させたときのメタル・フローである。肉厚内外

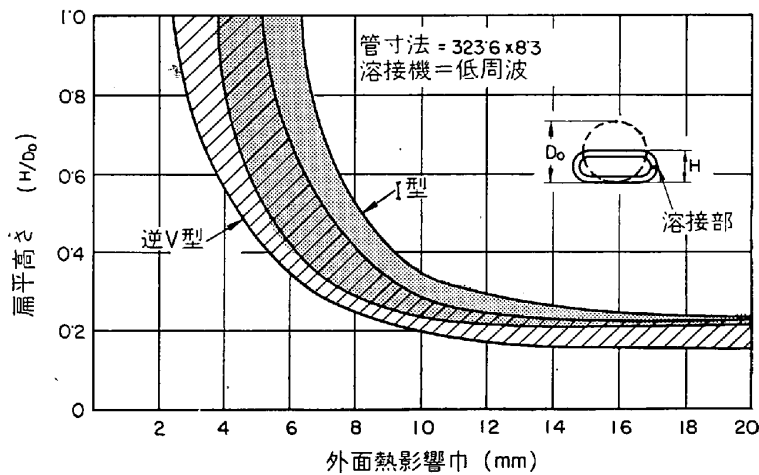


第35図 溶接部のメタルフロー (プラスティシンによる模型実験結果)





第36図 突き合わせ形状と押し拡げ径との関係

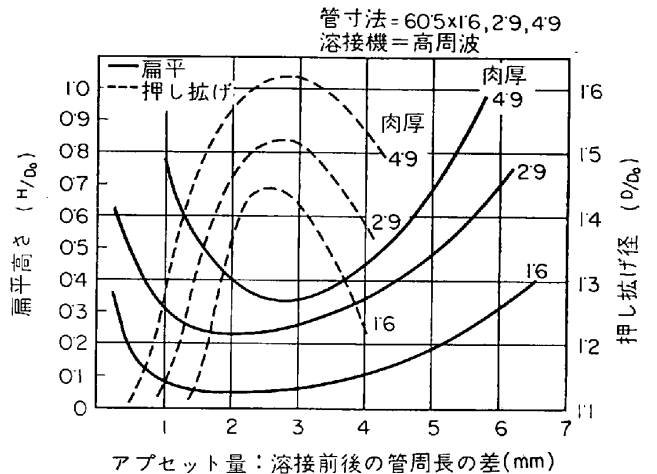


第37図 熱影響部形状と扁平高さとの関係

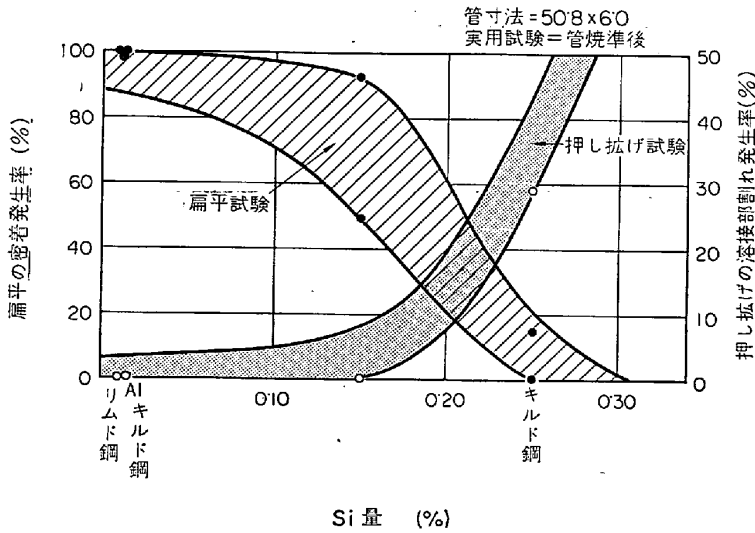
面に均等となる剪断を得るためには、 $\alpha$ の0なる場合(真円)が最良である。 $\alpha$ が大なるほど、外面のスクイズ量や剪断の程度が大きくなって、中立面が内面に移行する。極端な場合には内面のフローが2度彎曲する。 $\beta$ の向きと大きさも、内外面のフローにおよぼす影響は顕著であり、圧力の強い方向にスクイズ量が大きくなる。

I型、逆V型、V型の突き合わせ型状が押し拡げ径におよぼす影響を、第36図に示す。ここでは、逆V型が比較的低いヒート係数でも押し拡げ成績が良好であり、ついでI型であり、V型がもつとも悪い成績となっている。

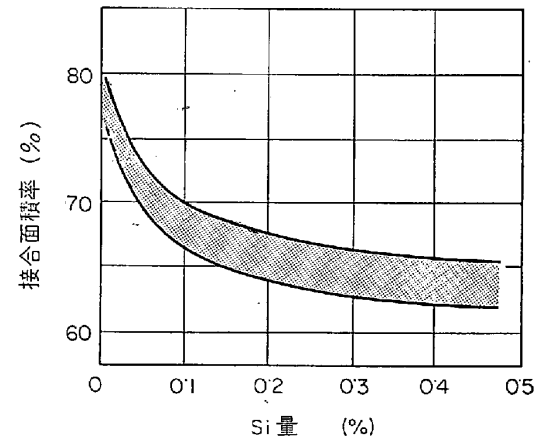
第37図は、I型および逆V型別の熱影響部幅と扁平高さとの関係である。いずれの突き合わせ形状も、熱影響幅が十分存在する場合には、扁平成績が良好であるが、熱影響幅の若干狭い場合には、逆V型のほうが、やや良好である。第36、37図は、いずれも突き出し角度が0°



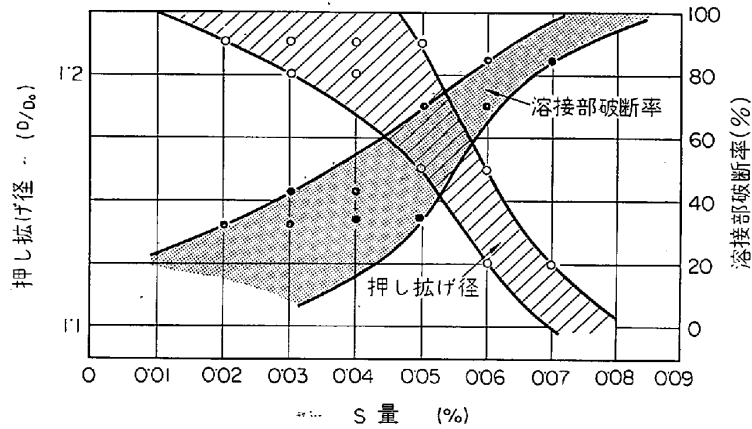
第38図 アプセット量と実用試験との関係



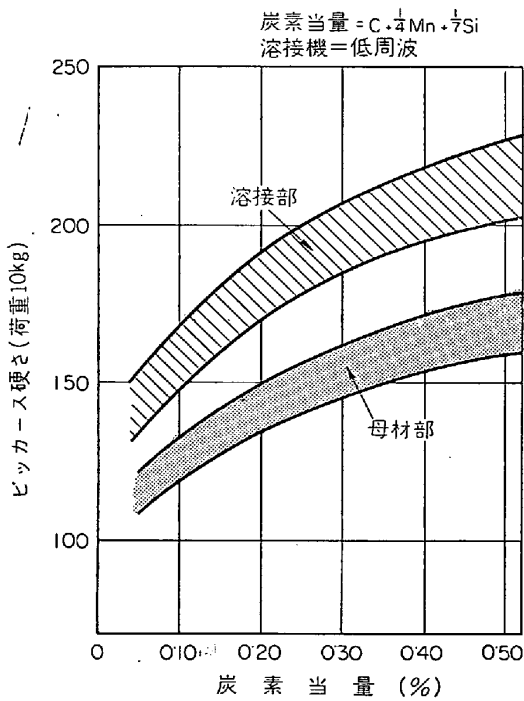
第39図 脱酸条件と実用試験との関係



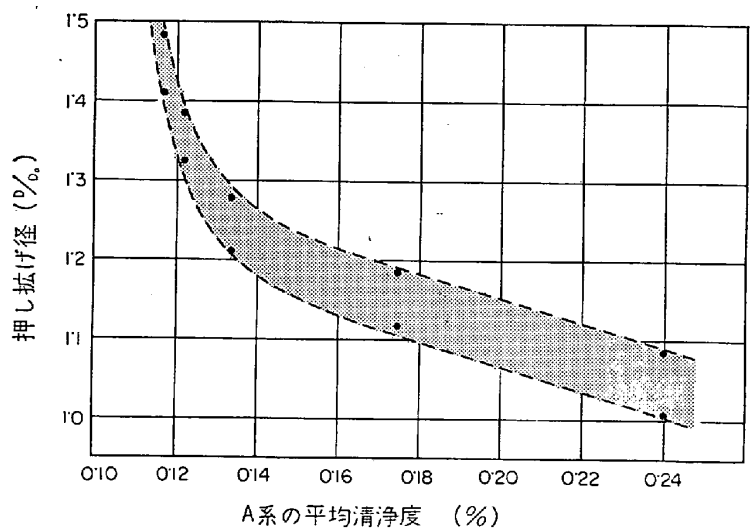
第40図 バット溶接試験における Si 量と接合面積率との関係



第41図 S量と溶接部強度との関係



第42図 炭素当量と溶接部硬度との関係



第43図 非金属介在物と溶接部強度との関係

であり、また低周波による押し扁平の結果であつて、逆V型のほうが、I型よりも良好な結果がみられた。しかし、この突き合わせ形状は、高周波溶接の場合や、また0°扁平、裏曲げ試験の結果などを総合して検討すべき問題である。

3.3.4 アプセット量

十分な溶接強度を得るためには適正なアプセット量の管理が必要である。アプセット量の過大過小が原因となつて溶接強度を低下させる理由は、次のとおりである。

- (a) アプセット量の少なすぎる場合=圧接不足、酸化物の介在
- (b) アプセット量の多すぎる場合=剪断変形の過大、表面溶融層の完全押し出しによる低温部圧接、接触抵抗不足による突き合わせ面の温度低下

第38図に示すごとく、押し拡げおよび扁平試験より見た適正アプセット量としては、たかだか2.0~3.5mmの範囲である。肉厚の大なるほど、適正アプセット量はやや増加している。

3.3.5 脱酸条件

電気抵抗溶接性にたいする材料上の因子の中でもつとも影響の大なるものは、脱酸元素の種類である。第39図にAl, Si+Al, Sキルド別のキルド鋼焼準材の押し拡げ、および扁平試験結果を示す。Siが0.15%以上入ると、溶接部破断が急激に増加する。Siの溶接部強度・靱性におよぼす影響には、2つある。1つはSiの物理的・化学的性質自体の電気抵抗溶接性におよぼす影響であり、1つはA系介在物の生成・助長の要因となることである。

Siの抵抗溶接性にたいする影響をみるのに、低電流接合試験がある。比較的低い電流密度で、棒状試験片の抵抗溶接を行ない、接合部を引張つた後の破断面において、完全接合面積が何%あるかを調査したのが、第40図である。Siが0.2%までにおいて、急激な接合面積率の低下が見られる。Siのこのような影響は、主として溶接の困難性と関連した現象の一面である。

Siの溶接強度におよぼす影響の一面に、介在物がある。SiO<sub>2</sub>系の長く延びた介在物は、超音波欠陥として検出されることの他に、その鋭い先端が切欠きとなつて、溶接部近傍より割れることは、一般に認められている。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系の介在物は、切欠きとなるような鋭い先端を示さないので、溶接部の靱性を低下させることは少ない。

3.3.6 硫黄含有量

SもSiと同様に、溶接部の強度・靱性を低下させる元素である。溶接部のSチェック分析値と、その押し拡げ試験との関係を、第41図に示す。硫化物系の介在物も比較的長く延ばされて存在するが、かような介在物の形態への影響のほか、Sそれ自体の溶接性への影響もあるものと考えられる。

3.3.7 炭素当量

材質 A = Alキルド (0.20C, 0.55Mn, 0.01Si)  
B = Si-Alキルド (0.20C, 0.55Mn, 0.20Si)

管寸法	材質	帯鋼	扁平高さ (H/D <sub>0</sub> )							押し拡げ径 (D/D <sub>0</sub> )									
			02	03	04	05	06	07	12	13	14	15	16						
508x38	A	シングル	←→																
		スリット	←→																
	B	シングル	←																
		スリット																	
508x60	A	シングル																	
		スリット																	
	B	シングル																	
		スリット																	

第44図 シングル材スリット材の焼準後の実用試験の比較

中炭素鋼以下の炭素当量は、溶接後の硬度・強度に影響をおよぼすが、成形性、溶接後の残留応力、およびフック・クラック感受性などにも関連がある。第42図に示すごとく、母材の硬度は炭素当量とともに漸増するが、溶接部の硬度は、母材部よりもその増加の傾向が大である。

3.3.8 非金属介在物

靱性に影響する介在物的は、主としてA系である。なかでも、ビード除去のため内外表面に露出している介在物は、引張応力の切欠き効果が大であつて、押し拡げ・扁平成績を非常に低下させる原因となつている。第43図は、セミキルド鋼による溶接部近傍のA系清浄度と押し拡げ径との関係である。押し拡げ径1.2D以上にたいしてはA系として0.14%以下が望ましい。

3.3.9 シングル材, スリット材

リムド鋼のシングル材は、リム:リム溶接のため、スリット材に比して溶接部強度の良好なることは当然である。しかし、キルド鋼でも同様の現象が見られる。第44図は、キルド鋼の焼準後の成績であつて、扁平・押し拡げ強度にたいして、肉厚および材質のいかんを問わず、シングル材のほうが良好であり、バラツキも少ない。このような傾向は、鋼塊の内部と表皮附近との性状の差異か、スラブ圧延時の端部と中心部との圧延組織の差異によるか、今後の調査をまたねばらない。

3.4 その他の溶接鋼管の状況

以上述べてきたのは、主としてERWについての進歩・研究の状況である。溶接鋼管としては、ERWのほか、大別して3種類の製造法—サブ・マージド・アーク溶接方式(UOE, スパイラル, ステンレス), 連続鍛接方式, ERW+ストレッチ・レデューサー方式—がある。これらの各種方式の進歩にも著しいものがあり、その概観を第10表に示す。

3.5 非破壊検査の進歩

溶接鋼管の進歩には、非破壊試験法の発達による溶接部品質の信頼性の向上が、きわめて大きい力となつている。第11表に現在の溶接鋼管に採用されている非破壊試験の方法を示す。

第10表 国内における各種溶接管製造方式の概要

製管方式	最大寸法	最高材質	最高速度	設置台数	
サブマージドアーク溶接	UOプレ スフォー ミング	1016 <sup>0</sup> ×12 <sup>7</sup>	API-× 60~×65	溶接速度 2.0m/ min	1
	スパイラ ル	1800 ×12 <sup>7</sup>	API- ×60	溶接速度 2.2m/ min	10
ERW +熱間絞 り圧延	ERW +ストレ ッチレデ ューサー	母管 114 <sup>3</sup> ×6 <sup>4</sup>	STK51	350 m/min	3
連続鍛接	フレッ ムーン	114 <sup>3</sup> ×7 <sup>0</sup>	STK41	450 m/min	3

## 4. 結 言

以上継目無し鋼管と溶接鋼管とについて、最近の進歩の状況を概観し、あわせて現在直面している課題を追求した。最近にいたつて、鋼管製造技術の分野においても、いたずらに海外技術の導入のみに頼らず、独自の調査・研究にもとづいた独創的な技術の確立がみられてきたことは喜ばしいことである。そのような開発についても鋼管部会の研究会において、積極的な相互啓発と討論と

第11表 非破壊検査の状況

NDI種類	管製造方式	管 理 点	設置場所
超音波探傷	E, S	帯鋼のラミネーション	on
	E, S E, S E E	エッジ部の材料欠陥 溶接欠陥 溶接部附近の材料欠陥 ビード状態 コイル横継部	on, off // // on
過流探傷	E, C	溶接欠陥	on, off
	E, C E, C E, C E, C	内面ビード状態 表面状態 母材のラミネーション コイル横継部	// // // on
磁粉探傷	E, S	溶接部の露出欠陥	off
録磁探傷	E	溶接部表面層の欠陥	off
X線	S	プロホール、アンダー カット、溶け落ちなど の溶接欠陥	off

E = E.R.W S = サブ・マージド・アーク溶接  
C = 鍛接管 on = ライン内  
off = ライン外

が行なわれてきたことが大いに裨益したであろう。

本報告は、鋼管関係はもちろん、一般の鉄鋼関係の皆様にも何らかのお役に立てば幸いである。