



鉄の歴史

戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 追付け時代の鋼管製造

三瀬真作

住金大径鋼管(株) 社友

Shinsaku Mise

Pipe and Tubes Making Technologies during "Catch up Era" after World War II

1 まえがき

1.1 はじめに

本記事は終戦の昭和20年から昭和30年代までの20年間に区切って、日本の鋼管製造の発展状況を体験を通じて随筆風に記述する要望であり計画である。しかしこの広範囲を一人の技術者の体験で覆いきれないから私以外に2~3人のその道のベテランの談話や記事を載せさせてもらっている。

所で主体になる筆者自身のことである。筆者は大戦勃発の昭和16年12月に大学を繰上げ卒業し17年1月住友金属に入社したが、直ちに海軍短期現役に2年間服役し19年1月から住友金属尼崎の冷間引抜工場で鋼管製造のスタートを切り、22年1月から熱間継目無鋼管の主流であるスチーフエル・マンネスマン工場で働き戦後復興発展の過程を身を持って体験させてもらった。しかも鉄鋼協会共同研究会の主査部会長を代々住友金属の役員が勤めて来た経緯から、筆者は早くから幹事等をやらされ他社との見聞交流は人一倍多かったように思う。戦後共同研究会が発足したのが昭和24年で第一回は24年2月16日住友金属尼崎と尼崎製鋼で開催され私はこれに出席している。その後筆者の守備範囲は順次広がったが、そのなかに常に鋼管部門があり今日現在の勤め先もスパイラル鋼管製造会社であるため、鋼管部会に出席出来る。昭和44年6月から7年間部会長を勤めた事もあり昨年平成8年6月の部会にも出席して長老扱いされている。この事が今回本稿の執筆を不肖を顧みず敢えて引受けた次第でもある。

1.2 終戦直後

昭和20年8月15日終戦を迎えあらゆる工場の生産が全てとまった。どうなるのか、どうすればよいのか皆目分らない。学徒動員、徴用工の人々は郷里に帰り尼崎工場の13,000

名は2,700名位になった。3日後抽伸機を動かしてみたが飛行機用鋼管を抽伸してみても無意味なのが分り民需用の鍋釜を作ったりした。

各工場共に離職者や帰還者でゴタゴタしたあと、少しづつ再建に向けて稼働を始めた。その状況を主要工場についてみると継目無し管工場で動きだしたり廃却したのは

昭和20年

住金尼崎マンネスマン 8 1/2"工場 10月稼働

住金尼崎鎖式抽伸機 11月稼働

満洲住友(鞍山) スチーフエル式製管機 5 1/2"工場

" " ジンガー式クランク・プレス 2 3/8"工場

上記2機をソ連が撤去奪取

NKK川崎マンネスマン 6 1/2"工場 稼働

NKK川崎エルハルト式 6 1/2"工場空爆被弾により廃却

東京コンチット(東芝鋼管) マンネスマン 3"工場廃却

昭和21年

住金尼崎エルハルト式 26"工場 4月稼働

住金尼崎ジンガー式 2 3/8"工場 10月稼働

NKKマンネスマン 2 1/2"工場 稼働

NKKピルガー式 14 1/2"工場 稼働

日本特殊鋼管 6 1/2"工場 4月稼働

昭和22年

尼崎製鋼ブッシュベンチ式 3 1/2"工場 稼働

昭和23年

住金和歌山 マンネスマン工場 8 1/2"工場 8月稼働

溶接鋼管では

NKKベルマウス式 60.5mm 鍛接管工場 21年7月

東洋鋼材(三機工業) 60.5mm、127mm 電縫管工場

東京コンチット(東芝鋼管) 38.1mm 電縫管工場

日亜製鋼 48.6mm ガス溶接管工場

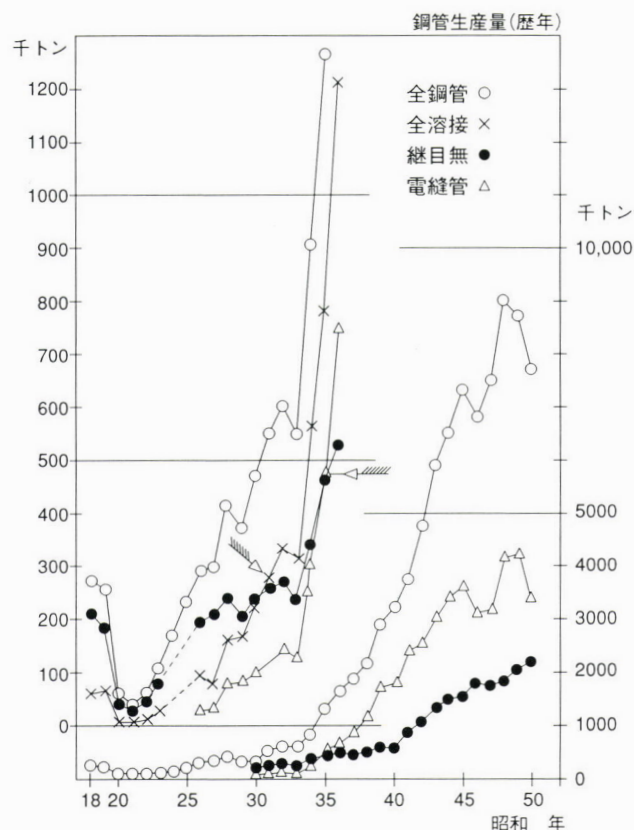


図1 鋼管生産量の推移 (歴年)

日本パイプ 48.6mm ガス溶接管工場
東京コンヂット (東芝鋼管) 48.6mm ガス溶接管工場

が稼働を始めた主要な工場であった。これで戦後が始まったといえる。

1.3 鋼管生産高の推移

我が国の鋼管生産量の推移を図1に示した。全体の傾向を見易くするために戦前の昭和18年から昭和50年迄を表示したが、その32年間の分を右座標で示し、昭和18年から35年迄の17年間の分を左座標で拡大して示している。これで見ると生産量は26年に既に戦前を凌駕しているが、40年代の著しい伸びをみると33年までは未だ復興期ともいえるものであろう。

継目なし鋼管だけをみても伸びてはいるが、31年に熔鍛接鋼管全体が26.9万トンとなり継目なし鋼管より多くなり、次いで35年には電縫管のみで46.1万トンとなり継目なし管の45.4万トンを凌駕している。あとは驚異的に伸び49年には鋼管全体で900万トンを越す所までになっている。

表1 出来事年表 □: 鋼管関連項目

年	記 事	年	記 事
S 20	終戦	30	神武景気 鉄鋼2次合理化
21	商用周波数ERW(中津)設置	31	スエス中東戦争・勃発
22	日本鉄鋼連盟発足	32	金融引締不況 マンネスマン・ダブルピアサー設置(和歌山)
23	ロータリートランスERW2ミル(東芝)設置	33	なべ底不況 ユジーン押出機(長府), 14"ERW(光)新設 ラインdスタッフ組織(八幡)
24	ドッジライン 1\$=360円 API JF アラムコ出荷	34	岩戸景気 米国スチールストライキ スパイラル表管機(久保田)新設
25	朝鮮戦争勃発 高温高压ボイラーチューブ出荷	35	U-0大径管(鶴見)設置
26	鉄鋼一次合理化 高周波ERW4 1/2"(和歌山)設置 APIケーシング出荷	36	鉄鋼3次合理化 3ロールストレッチ・レデューサー(尼崎)設置 16"ERW(和歌山)設置
27	日米安保発効 米国スチールストライキ53日間 APIチュービング出荷	37	
28	デミング賞受賞始まる 65"ERW(三機)改造	38	ERW+ストレッチ・レデューサー(名古屋)設置
29	フレッツ・ムーン(川崎)設置	39	新幹線開通、東京オリンピック 20"ERW(知多) 20"ERW(NKK)設置
		40	ベトナム戦争 いざなぎ景気 18"ERW(和歌山)改造

2 導入発展期のスタート

2.1 総括

現在本稿を執筆したのは平成9年(1997年)である。52年前の終戦の昭和20年(1945年)から昭和40年(1965年)までの20年間の世状と鋼管製造の発展状況はどうであったか？一応世の中の出来事や設備新設の状況のあらましを参考までに年代毎に一覧表にし、表1に示した。

2.2 継目無熱間工場の一例

私のいたマンネスマン工場の加熱炉は傾斜式ロールダウン方式の石炭ストーカーであった。粗悪炭で扱い難く、しかもなかなか入荷しない。そこで21年暮れから炭鉱へ応援に行っている。40人位が2班に分かれて行きフンドシー一枚で地底で採炭した。これで石炭の配給もふえた。この応援隊の中から会社の取締役以上が3人もでている。スタッフと作業員が一体となっていた証拠である。

当時世の中は産業復興のための傾斜生産で鋼管についてはまず石炭増産のための炭鉱用排水管需要のために大径ガス管が要望された。材料の丸鋼としては日本鋼管のピルガーを真似てインゴット・ダイレクトで穿孔した。インゴットの内部に大きなキャビティがあるのに結構パイプになる

のにおどろいたものだ。次は電力確保のための火力発電用ボイラー管の製造、次いで食糧増産のための硫酸製造用厚肉高合金鋼管の生産、続いて輸送機関復旧のための機関車用缶管と時代の脚光をあびている鋼管製造の骨の折れる毎日であった。これが昭和23年頃までの状況であった。

2.3 当時の技術者

当時のスタッフ・課長工場長クラスの人々は大変忙しい事で何から何までやらされた感じである。先輩から教えられる事よりも、みんなで初めて経験する事ばかりであった。圧延技術者としての当然の知識以外に勉強した事項を次に列挙してみた。

1. 労働組合との協調への対応
同一労働同一賃金思想と職階制理論
2. 昭和24年来日したヘイズ氏(USスチール本社熱管理部長) 指導による熱管理と技師資格取得
燃焼効率向上のための炉内正圧操業、廃ガス分析、断熱材や対流加熱、放射加熱の勉強
3. 昭和25年来日したデミング博士指導による統計的手法と実験計画法の勉強
標準化と品質管理
4. ラインとスタッフ組織導入と対応
5. 精整設備としてストレートナー、切断機、ねじ切り機、アプセッターの機構習得
6. ユーザー対策として発電所ボイラーの構造使用条件
OCTG用として油井掘削、ラインパイプ施設の勉強
7. 非破壊検査、火花試験の習得
8. 規格JES、JISの改訂PRやロイド、ABS、APIの認定作業
9. 冶金管理、工程管理とクレーム処理への対応

2.4 共同研究会のスタート

共同研究会が戦後始まったのが昭和24年2月16日である。議題に取上げられたのが工具だった。工場稼働で現場の技術者の直接の関心事は日々使われる工具と故障対策である。ピアサー穿孔に使われるプラグの材質と形は重要で、現在は内面水冷で100回以上連続使用できるが当時は10個位を輪番に使っても7パス位で駄目になる。お互いに他社のはどうかと比較調査する。米国の文献にピアサーの現場の写真がありプラグが並べてある。側にドラム缶が写っていた。ドラム缶の寸法を基準にしてプラグの形状を割出して試作試用したりした。また材料のピレットにステンレスのピンを埋込みピアサー途中止め材を作りメタルフローを調べて内面きずの発生機構を調べたり、NKKが先頭をきってプラスティションを模型ピアサーで穿孔している情報を得て大至急準備したりしたものだ。

次はプラグミルのロールである。各社の状況を交換するが要するにグレンロールは噛みこみは良いが肌あれが速く困る。チルドロールは肌は良いが滑って噛みこみが悪く欠ける事も多い。各社が日立金属の若松工場に日参していた。私は米国のルイスから試験的にロールを輸入してもらったがこれがグレンロールでそれ程良くない。米国では寿命抜群との事であったが、結論はピアサーが薄肉穿孔しているし素管の温度も高いからだろうという事とお客が肌あれを余り問題にしないらしいと言うことで終わってしまった。

2.5 海外出張調査

戦後復興期には新設備導入が各部門でおこなわれたが、それに平行して各社の技術者が欧米に活発に技術調査にかけたものである。最初は昭和25年に第一回スチールミッションとして鉄鋼各界から代表者がでかけている。

そのメンバーとして第一班は

団長 小平 勇 (日本製鉄)

田中 国雄 (日本鋼管) 外島 健吉 (神戸製鋼)

富山英太郎 (日本鋼管) 市田左右一 (尼崎製鋼)

小田 助男 (住友金属) 植山 義久 (川崎重工)

和田 亀吉 (日本製鉄) 田畑新太郎 (通産省)

岡本 勇 (日本製鉄)

と当時の錚々たる人物が出掛けている。

筆者も遅ればせながら昭和34年に欧米に出掛けた。各社に工場見学のアポイントを取るのに苦労したが、先方は弟分が勉強にきたなと心良く教えてくれた。よくデータを整理して持っていて感心もしたが、知らないことは知らないとハッキリ言い即座に例えばニューヨークからヒューストンに電話して聞いてくれる。当時の我々としては長距離電話が直ぐかかるのに感心したものだ。現場を見学するにしてもノートを取るのには遠慮すべきだということで、ポケットの中に手をいれて人知れずメモを取った。ホテルに帰っても忘れないうちに夜遅くまでレポートを書き、日本に帰ってもその報告書のページの厚みを競ったものだ。

3 マンネスマン工場での体験

3.1 生産量

話の始まりとして戦後より生産量がどのように伸びたか一つの例として筆者のいた住金マンネスマン工場の立上りから昭和55年までの月間ロール量を図2に示す。本誌が取上げる昭和35年頃までは活力充填の時期で以後飛躍的に伸びている。他社も同じようなものと思う。

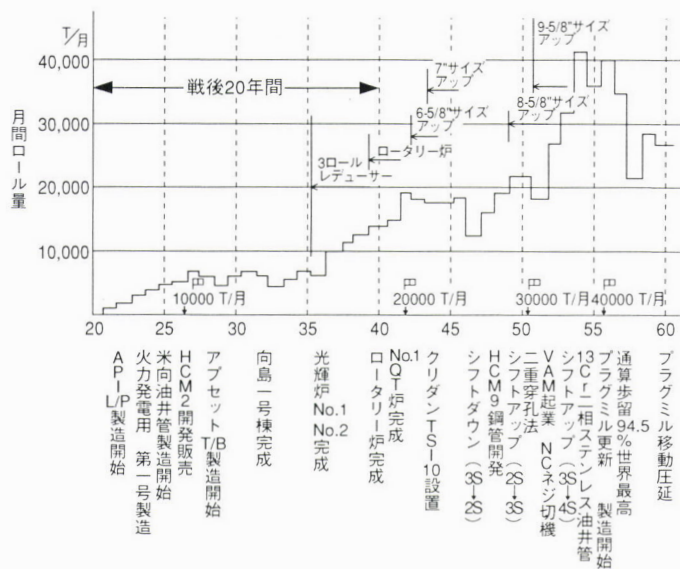


図2 マンネスマン製管工場のロール量

3.2 油井管

昭和26年の後半から油井ケーシング、チューブの輸出が軌道に乗りはじめた。同時にoil country tubular goodの略であるOCTGと言う言葉が営業仲間で盛んに使われだした。boiler tubeやsmoke tube、石油化学用等の小口多寸法の注文と違って注文ロットが極めて大きい。3交替で3～4日間同じ寸法の圧延を行うのは初めての経験で、当時流行し始めた品質管理の手法を発展さす格好の場となった。しかし作業は現在とは違ってバラツキが大きく寸法をAPI規格に入れるだけで苦労の連続であった。次に一例として5 $\frac{1}{2}$ "ケーシングの外径管理を述べてみたい。

外径公差は139.70mm $\pm$ 0.75% (138.65～140.75)だが両端にネジを切る時にテーパねじの切れ上がりに不完全山が残る。このねじ部を黒山と呼び3山～5山残らねばならない。管の外径が大きすぎても小さすぎても不可で外径目標は140.3～140.7と管本体の外径公差より一段ときびしくなる。所がサイザーに入る前の管即ちリーラーを出た管の頭は当時は680℃、尻尾は750℃と温度差が70℃もある。サイザーを通して常温になる時に100℃につき0.15mm縮むのだが、尻部の外径は頭端より小さくなる。しかもサイザロールの溝底は2日間の圧延で0.3mm摩耗するから取替える。新品ロールになると圧下を調整しなければならない。下手な作業員が圧下をいじると外径調整以外にロールエッジマークがついたり、管が曲がって出てきたりで神業みたいな事が要求された。ある日出勤したら昨日の夜勤で作ったものの外径が小さすぎてねじ切りが出来ないので明日の立会いに30本不足すると言う。一策を案じポンチを6箇所ほど準備して管端に打込み管端のみ0.2mm程広げた。これでやっと急場をしのいだが毎日何かの問題がおきる日々で

あった。

一つ失敗談がある。2 $\frac{3}{8}$ "チューブを作っていた。現在の様に4～5本取りではなく1本取りである。偏平試験があり、これで不合格になると切下げて再びテストをせねばならず大変手間であった。冷却台でみる伸ばし長さで肉厚を管理している。バラツキがあって長く伸びたもの即ち両端の切り代が長く肉厚も少し薄い目のものは偏平試験が非常に良い。そこで伸ばし長さを標準より100mm長くした。肉厚公差にも入っており単重も少し軽くなるが-3.5%の中に十分入っている。喜んでいたら4日後になり検査課長が青くなって飛込んできた。外人検査官の立会いも済んだものを船に乗せるためあるロットの束で重量を計る。これをcar loadというが、その公差-1.75%より全て軽いという。私は一本一本が-3.5%に入っている事を確認したがcar loadの方がキビしい事を忘れてしまっていたためである。大さわざになったが、やっとLimited Serviceとして出荷は一応できた。初めての事だが高い授業料を払った。

3.3 ボイラー・チューブ

発電所用のボイラーチューブは熱交換機のカタマリの様なもので外径の大きいヘッダーと蒸気管をエルハルト式製管機で製造する以外は全てマンネスマン式製管機で作った。住友金属は戦前から艦船用の缶管を一手に引受けていて、管は曲げたり捻管したりするため軟かい鋼として指定されていたリムド鋼に馴れていた。しかし高温高压ボイラーになるとクリープ性能を要求されキルド鋼に転換するようになった。戦後で熱効率のよい高温高压ボイラーといわれる第一号機は九州電力の築上発電所のもので温度470℃、圧力58気圧で、この管の製造には筆者も現場で直接働いた。その後、炉壁管、過熱器管、節炭器管と使用部位によって材質寸法も異なりクロームモリブデン鋼も多く使われだした。只油井管と違い一缶の鋼管重量は600トン～1000トンとあるが寸法が多岐にわたり、特に長さが千差万別である。一例として小野田発電所の注文寸法を示す。

外径60.3×肉厚4.3×長さ4815mm	=44本
長さ4540	=48本
4305	=48
	}
3495	=48
3560	=23

と11種類約15トンである。

1本でも足りないとな納期遅れとなり、1本でも余ると歩留りが下がる。コンピューターは無い時代であるから担当は

現場を走り回り手作業で集計把握していた。月間1万トン生産時代に千トンの納期遅れを抱えて苦勞した事を昨日のように覚えている。

3.4 3ロールストレッチレデューサー

レデューサー作業では出来るだけ大きな母管から小径管に絞り圧延すると能率が30~40%あがる。筆者は昭和34年に欧米を調査して回り3ロール・ストレッチレデューサーを採用することにして昭和36年に設置してもらった。レデューサーの泣所は管の両端の肉厚が厚くなることである。ストレッチをかけて全体の肉厚を薄くし、かつ管端の厚肉部分の長さを短くする必要がある。3ロール式は従来の2ロール式に較べてロールスタンド間隔を小さくできるし外径圧下も大きく取れる。またロールキャリバーは2ロール式では個々にキャリバーを切ってから組むが、3ロール式ではスタンドにロールを組んでしまってからキャリバーを切るのでロールセットの調整は一切不要である。このため最近ではサイザーロールにもこの3ロールが採用されている。当時西独では3ロールが既に稼働し始めていたが全て電縫管用で薄肉用に使われていた。継目なしの厚肉用には筆者の場合が始めてであった。従って西独式のキャリバーデザインでは管の内面が角張ってしまう。稼働してから2ヶ月間改良を重ねた結果、満足するものになった。その対策の要点はキャリバーの長径をA、溝底の短径をBとし、スタンド番号をiとすると

$$\xi = B_i / A_{i+1} > 1$$

とする事である。西独での薄肉用では $\xi < 1$ であった。簡単なこの説明では理解し難いと思うが、要はキャリバーの円をあまり三角形に絞らずに外形落としを大きくして管がロール面に触れる部分を多くするということであった。現在では解析が進み理論的に計算されている。

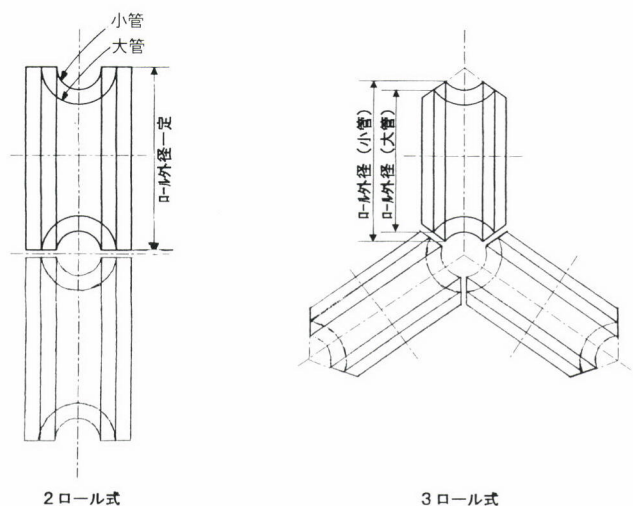


図3 レデューサーロールの比較

要するに2ロール式に比して、強度も十分にあるしスタンド間隔も小さく、外径も絞り率も大きくとれ、両端肉厚部も短かく、全体伸ばし長さも数倍になりedge markにも悩まされる事も解消した。2ロール式に比しスタンド間隔を小さくとれる状況を図3に示す。

3.5 設備更新状況

継目なし鋼管製造の花形ミルはマンネスマン式工場である。これらは戦後新技術導入に努力してきたが、その大まかな事柄を列記しておきたい。

住金（尼崎）ミル

- 昭和28年 更新大改造
- 〃 36年 3ロールストレッチレデューサー設置
- 〃 40年 ロータリー炉設置

住金（和歌山）ミル

- 昭和29年 プラグミル・プラグ自動抜取り装置設置
- 〃 32年 二重穿孔方式採用
- 〃 43年 海南に5½"マンドレルミル新設

新日鐵（東京）ミル

- 昭和27年 プラグミル更新
- 〃 28年 サイザー更新
- 〃 36年 管材加熱炉ウォーキングハース化
- 〃 41年 ピアサー更新
- 〃 42年 レデューサー更新

日本鋼管

- 昭和32年 中径7"ミル新設し、2製管工場と称した2½"ミルを閉鎖
- 〃 43年 5½"マンドレルミル新設し、1製管工場と称した6"ミルを閉鎖

4 押出製管

継目無製管法の特種な分野として押出法がある。住友金属は戦前昭和11年より、ジンガー式クランクプレスを稼働させていた。その後ユジーン法に取って替わられたが、当時のジンガー式とユジーン式に若き青春時代の情熱を燃やした小島浩氏（昭和18年9月住友金属工業株入社、当時鋼管製造所配属、元住友金属副社長）に回想文をもらったので次に記す。

4.1 ジンガー式押出製管機

この製管法は継目無鋼管の製造法としては特種な分野に属しており、日本に1機、ドイツに2機、ブラジルに1機位の稼働を見るのみであった。

非鉄金属の製管法では水圧プレスによる押出が主流であり、広く普及していた。これと異なって加工温度が高く、変形抵抗も大きい鋼となると、加工に数秒を要する水圧押出では、工具温度が上昇してしまい押出は不能である。

ジーン式クランクプレスでは、クランクシャフトの回転によるクロスヘッドのストロークにより、1秒以内の短時間で加工が終結できる。従って鋼の押出が可能となる。しかしながら、クランクプレスで大きな押出力と長いストロークを得るには、巨大なクランクシャフトが必要となり、これの製作上の制限から大型化は望めず、押出力が最大でも1200トンどまりであった。このため、使用するピレット重量も小さく、管の寸法も外径2"が精一杯のところであった。取り柄といえば、戦後需要の出始めたステンレス管や精練不十分で内質の悪い鋼の加工には適していた事である。これは加工性の悪い材料でも、圧縮応力の下で加工を行うと疵が出にくいという塑性加工上の特性が活かされたからである。

このプロセスが世に広く使用されなかったのは、前述の製造寸法の制約の外に使用工具のコスト高が大きな理由であった。極短時間加工とはいえ、高温での押出条件は苛酷であり、高価な耐熱工具の消耗は実に激しかったからである。

従ってコストダウンの最重点は工具材質（表面処理を含む）の改善と潤滑剤の開発にあった。

潤滑剤としては、固体潤滑剤である黒鉛をベースとして、これに油を混合したものが使われていた。黒鉛は、よい潤滑性能を示すが、管に浸炭を起こさせるという泣き所もあった。クランクプレス操業者にとっては、潤滑剤は最大の開発目標であり、雲母、珪藻土^{けいそうど}から鋸屑^{のこくず}に至るまで数多くの実験を繰り返しては、ことごとく失敗に終わっており、黒鉛以上のものは遂に発見できなかった。

4.3 ユージン、セジュールネ法

昭和29年頃、フランスでユージン、セジュールネ法と称するガラスを潤滑剤とする水圧押出技術が発明された。当時、増加するステンレス管の需要にも刺激され、日本でも昭和32年山陽特殊製鋼に始まり神鋼長府工場、住金(尼崎)、新日鐵(光)四社が相次いでこの方法の導入を行った。ガラスは常温では固体だが、高温になると粘稠な液体となるから摩擦抵抗の少ない液体潤滑が行える。さらに断熱性があるので、加工に数秒を要する水圧押出でも鋼の押出が可能となるのである。鋼の押出加工法としては、実に画期的な発明であった。

しかも、水圧プレスでは、押出容量にも、ストロークにも、大きな制限はないから2,000トン級から4,000~6,000トン級へと逐次大容量化し、管の製造範囲も次第に拡大をし

て行った。

しかしながら、クランクプレスにせよ、ユージン法にせよ、押出加工という点では何の変わりもないからコストダウンの重点は、やはり潤滑性能の向上にあった。

多くの人々がガラスの成分や形状に数多くの改善を行ったが、その一例をあげてみよう。デュアルパッドと称するもので、ダイス潤滑に使用するガラスパッドを、成分の異なるガラスの二層とする。押出初期には、とけやすい低粘度ガラスが働き、押出中は強いガラス膜が働く様にしたものである。

筆者が体験した潤滑剤に関する素朴な昔話を2つ紹介しよう。

昭和31年頃、筆者はドイツのクランクプレス工場を初めて見学する機会が与えられた。先方には、私は招かれざる客であったらしいが、持参した当方の技術データーをたたき台として議論を行った。これにより双方大いに意気投合した後に工場を見せてもらうことができた。

懸案の潤滑剤を見せてもらうと同じ黒鉛でも、日本のとは少し、様子が違う。案内者の目を盗んで使用中の油でこねた黒鉛を一つかみ、一張羅の背広のポケットに押しこんだのである。その後の旅行の間、ポケットの汚れには大いに苦労したが、日本に持ち帰って調べると、それは粉状黒鉛、油以外に塩が入っていたのである。混合割合を適当に選ぶと、押出力の一割程度の減少が出来たし、浸炭の大幅な減少も認められて、大いに喜んだものである。

もう一つ昔話は、昭和33年頃、ユージンセジュールネ、ライセンシー各社の見学会の時のことである。

オーストリアのある工場で、ガラス以外の何か、白い粉をピレット表面に散布しているのを見た。何かと聞いても、ノーコメント。まさか、青酸カリでもあるまいと思い、とっさに粉をつまんで口の中はほりこんだ。塩の味がした。ふと見ると同じことをやっているフランス人技術者がいた。お互いに塩を吐き出しながら顔を見合せてニヤリと笑ったものである。

文献も少なく技術交流も、あまり歓迎されなかった当時としては、与えられた僅かなチャンスを活かして、必死の思いでノーハウを盗んだものである。

5 溶接鋼管

戦後20年間の我が国の溶接鋼管の歩みを一言で言うならば、戦前から先駆けていたアメリカの溶接技術を専ら習得しつつ、やがて昭和40年代に追い付き追い越すに到るまでの体力作りに、精魂を傾けた20年であったと思う。

この20年間の溶接管の主役は電縫鋼管である。昭和26年

に倍数サイクル法が導入され、昭和30年代後半に高周波法に転換して生産量と需要を大いに拡大していった。この時期に直接技術開発や製造を担当した馬場善禄氏（昭和30年住友金属工業㈱入社、和歌山製鉄所配属、元住金ステンレス鋼管㈱及び住金溶接工業㈱社長）に回想してもらった一文を次に載せる。

5.1 電縫管の揺籃期

電縫管の発端である低周波電気抵抗溶接管の歴史は古い。昭和9年に旧東洋鋼材（三機工業川崎）が、当時アメリカでも完全には成功していなかったJohonston式溶接（機上の固定トランスー摺動回転の電極輪）の特許とフォーミング・ロールの図面（4½"）とをRepublic Steel社の子会社から購入し、トランス以外の設備をすべて国産で賄いながら試作を始めたのが、我国の電縫管の草分けである。苦心惨憺のすえ、やっと目途のついた昭和12年、更に2"ミルを設置し、困窮した戦時下の諸事情のなかで、終戦直前の19年に、7千トンの年間生産量を挙げた。

戦後の昭和21年・22年、同社が戦中より発注したままとなっていた2"ミルを、中津と川崎とに各1基設置したのと相前後して、旧東京コンジット（東芝鋼管・現日鉄鋼管）が、東芝の初の国産機を2基設置した。（昭21—1½"、昭25—3½"）この1基目はJohonston式であったが、2基目はトランスと電極輪とが一体となった新しいYoder式であって、これと同様のものが、日本パイプ市川（昭26）及び日新パイプ（昭27）にも納入されていった。

ここまでの溶接電源は、すべて50%、60%の商用サイクルである。しかし既にアメリカでは、商用サイクルをMGによって3倍にアップして回転トランスに供給する倍数サイクルの新型溶接機が開発されていたので、この新鋭機をまず住友金属和歌山が導入し（昭26・3月、Yoder社、4½"）、続いて三機工業川崎（昭26・6月、Fusion社、3½"）と川崎製鉄西宮（昭27、同、同）も稼働に入った。この倍数サイクルの回転トランス型溶接機が、高周波の出現するまでの10年強の間、当時として最も信頼された溶接管製管法として君臨するのである。

昭和30年には、低周波溶接機の台数は、はや20基を超えるに到った。しかし一方では、ガス吹管による造管機（俗称ハーモニカ）も、まだ120基以上もあって健闘を続けていた。ガス溶接の速度を低周波の最高速度に劣らぬレベルにまで改善した日本パイプのごとき例もあった。

5.2 低周波溶接の苦勞

商用・倍数いずれのサイクルを問わず、数万アンペア以上の大電流を、電極輪から材料へ円滑に流すのが、低周波

の最大の苦心であった。電極輪の切削が、成形後の管の形状と合致せず、接触状態に不完全な箇所があれば、バーニングやアーキングと称する一種のスパーク現象が生じて、管も電極も肌荒れとなってしまう。肌荒れになれば、停機して電極輪を削り直さねばならぬ。電極輪は長く持って2時間、下手な切削だと数分も持たぬ。

電極と管との接触が最良でも、酸洗コイルに汚れやスケール残りがあれば、同様にバーニングが発生する。当時は、ルーズニングされたコイルをマストに吊って酸洗していたので、隙間の不十分な箇所に酸洗不良の残るのは、珍しくなかった。

ともかく、フォーミング・ロールの調整と電極の削り方とが、電縫管の製造の生命であって、工場の中で最も勘と腕の良い者が、この作業に従事した。電極輪を削ったあと、カーボン紙を紙にはさんで、電極と管との接触面積をしばしば調べたが、このような接触を通して流し得る電流密度の限界は、ほぼ200Amp/mm²であることが分った。この限界を突破するのに、どうすれば良いか、昭和30年頃の溶接管屋には、高周波の導入によって、この壁がいとも簡単に

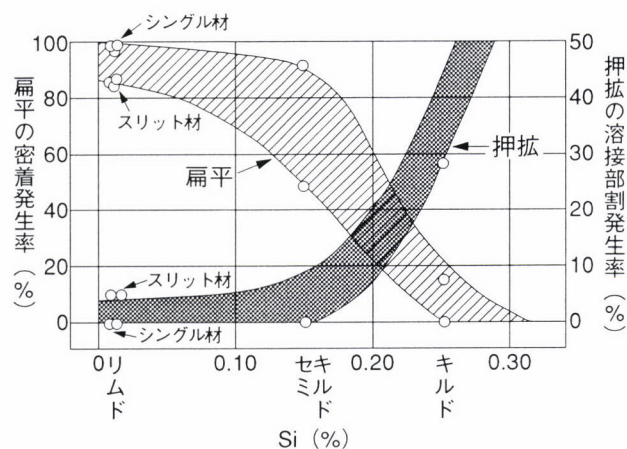


図4 電縫管の鋼質と実用試験結果（小径管）

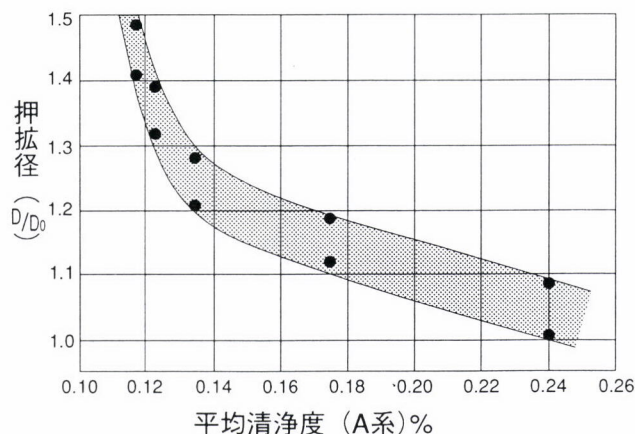


図5 電縫管の鋼質と押拡げ試験結果（小径管）

破れるとは夢想もできなかった。

また低周波溶接では、電流の方向の変わる点に、いわゆるStitchと称するミシンの縫目が必ず存在する。満足な溶接強度を得るためのStitchの間隔は、材質によって異なるけれども、2.5mmないし3.5mm以下に抑えねばならぬことを、多くの現場実験からつかんだのである。したがって、製管速度は60%で20%_{min}、180%でも前記の電流密度の限界があつて、45%_{min}が当時の最高速度であつた。

低周波溶接の基本的な弱点は、突き合わせのエッジに温度と圧力との鋭い傾斜の無いことである(図6参照)。低周波によって常に安定して溶接のできた材料と言えば、帯鋼エッジが純鉄に近い低炭素リムド鋼のシングル材ぐらいであつた。これが、スリット材のRim-Core溶接やCore-Core溶接になると、現場の実用試験の成績にバラツキが出て困った。もちろん、当時の鋼塊の偏析には極端なものもあり、時には電極輪に巻き付くほどの二枚割れもあつたほどである。鋼質と成品の実用試験の関係を図4、図5に示す。

5.3 中径管ミルとラインパイプの初期

倍数サイクルの溶接電源が定着した昭和30年代は、各社は中径ミルの建設に、しのぎをけずった時代である。昭和33年に三機工業川崎の12"Yoder(現新日鐵名古屋14")と日本特殊鋼管光の14"Yoder(八幡鋼管を経て現新日鐵光24")とが、まず稼働したのに続いて、昭和36年に住金和歌山の16"Etna(現24")がこれを追い、更に昭和39年にNKKの20"(現24")と川鉄知多の20"(現26")とが稼働し、次々と最大径を更新していった。なお、最後の2基の建設時には、高周波溶接機が間に合つたのである。

中径ミルの操業に大きく貢献したのは、輸出のラインパイプである。1件5千トンを超えるX46の受注の始まつたのは、昭和37年頃からである。従来の国内品には無かつた難しい超音波検査が規定され、多量の超音波不合格品を抱えて、関係者はその対策に奔走した。

低周波溶接の入熱量と突き合わせ形状との調整に連日連夜、苦闘を重ねたが好転されず、結局超音波検査に決定的に影響を与えるのは、アプセットのメタル・フローに沿って延びた非金属介在物や、それが起点となつたHook Crackであることが、現場に顕微鏡を持ち込んで、ミクロのサンプルを覗きまくつた結果分かつたのである。当時の、高MnのSiあるいはSi+Alのセミキルド鋼には、とりわけ延性の介在物がおびただしく、また低周波溶接ではアプセット量も巨大であつたため、介在物による被害が格段と著しかった。

介在物の形態制御や清浄鋼の必要性などの鋼質改善を、鉄鋼業のなかで最も早くから要望した背景には、低周波時

代におけるラインパイプの大量受注があつたのである。

私が昭和40年の秋、世界で最も早くから電縫管のX52を手がけていたカナダのAlberta PhoenixのEdmonton工場を訪問したとき、既に数年前より早々とサマツール社の高周波に切り替えたほか、ライン超音波の標準化、エンドレス製管、アプセットのミクロ管理等を徹底するのと平行して、材料メーカーへの強力な折衝を通して、良質の材料を入手する努力を続け、その結果、X52の通算の歩留が93%と、当方より約10%も高いのに感心させられたものである。

5.4 高周波溶接への転換

昭和33年頃、我々が知識の源泉として毎月読んでいたアメリカのWelding Journalに、ラジオ・サイクルの高周波抵抗溶接(サマツール社)や高周波誘導溶接の記事が載り出した。低周波溶接に手古ずつていた者にとって、地獄で仏に出会った感動であつたことを、今も覚えている。

同じ頃、横須賀や尾鷲の、アメリカから輸入された大型の火力発電設備を見せてもらったとき、そのボイラー管に立派な電縫管が多く使われているのを知って、大ショックだった。

その後しばらくして日本では、まず高周波でなければ溶接不可能な非鉄管の製造に、三宝伸銅がこれを採用し、間もなくして昭和36年には、主として小径管を製造していた東洋鋼管、日本パイプ、丸一鋼管、東芝鋼管、松下電工等が、サマツールの高周波抵抗(VT60、VT140)あるいは国産の高周波誘導を導入し、速やかに成果を上げていった。

一部には、平滑な内面ビードを出すために、セレン整流のDC溶接を採用した東芝鋼管の例(昭36、Yoder社)もあつたが、大容量の高周波電源が開発されると、高炉メーカーもようやくにして腰を上げ、そして味をしめると急ピッチで低周波を高周波に切り替えていった。中には、新設の低周波ミルを、僅か1年未満で高周波に変えたところもあつた。

昭和36年より設置し始めた高周波は、昭和39年末には実に67基となり、低周波の49基をはるかに凌駕した。低周波に切り替えることには若干ためらっていたガス溶接も、高周波には急速に転換し、昭和40年には遂に、ガス溶接は皆無となった。

5.5 高周波の勝利

低周波溶接の現場の苦労を、ほぼ一挙に解決してくれた高周波溶接への転換は、電縫管の全歴史60年の中で、最も画期的な革新である。高周波の特徴は、図6に示すように電流が突き合わせエッジに集中することに尽きるのであるが、現場作業としては低周波時代に想像もできなかった利

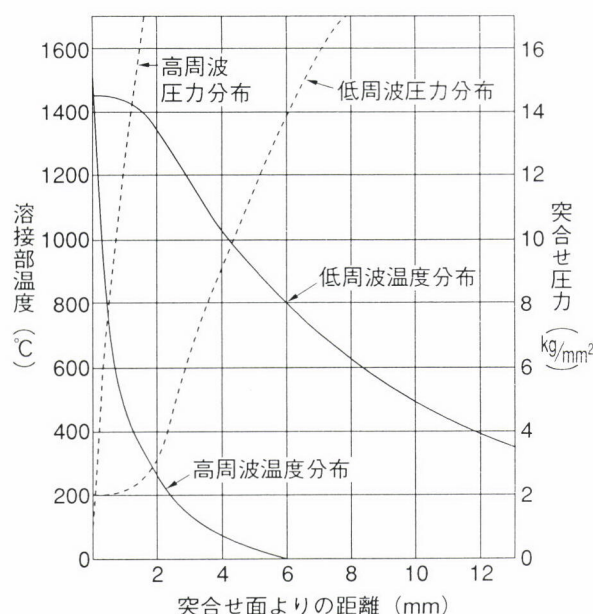


図6 電縫管の溶接時の温度・圧力の分布 (48.6×2.4、低炭素鋼)

点が多くあった。すなわち、

- (1) 材料の表面処理が不要である。
- (2) 溶接上の速度に制限がない。
- (3) 極めて広範囲の材質が溶接できる。
- (4) 極小径・厚肉・中大径を含めて、可能寸法範囲が広い。
- (5) 内外面ビードが小さく、特に内面ビードの切削が容易である。

高周波溶接によって、電縫管の信頼度が高まり、需要が拡大したために、低周波時代には全く手がけることのできなかった寸法と材質への挑戦が、新しく始まってゆくのである。この新しい闘いのなかで、最も難渋した問題は、小径高級管の内面ビード除去である。昭和38年頃より、3/4"の熱交チューブの輸出が始まったが、その内面の良品率が50%に達するまで、何ヶ月苦闘したことか。

昭和40年冬、ボイラー管やメカニカル管の高級品の製造で世界一を自他共に認めていたBabcock and WilcoxのAlliance工場を、許されて見学したとき、彼等の過去20年間、最も時間と人材とを投入してきたのは、内面のビード除去であることを聞き、またその立派な現物を見て、彼我の差を実感したものである。もちろん、溶接そのものの工夫にも学ぶべきことが多く、全数両管端より押抜け試験・扁平試験を余儀なくされていた当方との技術力の差に、歯ぎしりする思いであった。ちなみに、ボイラー管の通算歩留では、当方の75%にたいし、Allianceの85%と、10%の差があった。

高周波溶接によって、低周波の苦手とする厚肉の溶接が可能となり、また厚肉の新規需要が広く出てきたので、成

形ロールやシーム・アニーラー・冷却ゾーン等に特別の配慮を行った特殊電縫管ミルの計画が、この30年代末に検討された。まず、昭和41年に住金和歌山の6 $\frac{1}{2}$ "ミルが稼働し、続いてNKK、川鉄、富士三機（現新日鐵名古屋）、新日鐵君津が、これを導入していった。

5.6 その他の溶接管

電縫管ミルの段取替回数を減らし、生産性を高める有力な方法として、溶接後にHot Stretch Reducerを設けたプロセスが、ドイツで開発され、昭和38年に富士三機名古屋、昭和39年に八幡鋼管光が、これを導入した。溶接管としてのコストと品質との両面を考慮して、Hot Stretch ReducerかAs Weldの多列化か、どちらが優利かは常に議論の対象となった。

ガス管・水道管等の需要の増大に対処したフレッツムーン式連続鍛接管ミルが、戦後アメリカで開発され、まずNKKがこれを導入し（昭29）、そして10年後の昭和39年、Stretch Reducerをつけた鍛接管ミルが、住金和歌山およびNKK 2号機において稼働に入った。初めての鍛接ミルを操業するにさいし、アメリカに実習に行った当時の工場長が、アメリカの作業員がサンドイッチを食べながらの完全な連続作業に面喰らったという、カルチャー・ショックもあった。

各種の溶接技術の開発を、古くから進めていたアメリカでは、戦前より大径管の製造法として、UOプレスとサブマージ・アーク溶接の基礎技術が確立されていた。我が国も、アーク溶接の大径ミルを、いつ設置するか、模索と学習の30年代であったが、NKKはいちはやく昭和35年に36" UO（Kaiser社）を導入し、続いて住金和歌山が昭和41年、連続成形一仮付の48"ミル（Torrance社）を導入した。高強度の中・大径ラインパイプは、電縫管からサブマージ溶接管に重点を移しながら、やがて、世界最初の酷寒向け長距離パイプラインとして脚光を浴びたアラスカのTAPS 48"、X60・X70、50万トンの全量を、日本ミルが欧米ミルを抑えて、昭和44年より生産に入るのである。このプロジェクトの後半には、昭和45年から稼働した新日鐵君津、NKK福山の56"UOも参加することになった。

上記のサブマージ・アーク溶接管以外に、スパイラル方式、3ロール・ベンダー方式、プレス・ベンド方式もあり、いずれも昭和20・30年代に完成された技術である。また、タングステン・イナートガス・アーク溶接によるステンレスやチタンの溶接管も、同時代に導入され、開発された技術であることを考えると、昭和20年・30年代は、現在の溶接管のすべての原型が出揃った意義深い時代であったのである。

6 冷間抽伸

6.1 抽伸初期の話

筆者が入社して実質的に作業についたのは住金尼崎の冷間抽伸工場であつた。工場は空襲に備えて全ての窓ガラスは黒く塗りつぶされ薄暗い工場の中で、鎖式抽伸機36チェーン、バッチ式焼鈍炉10基がずらりと並んでいた。係員として管理を見よう見まねで始めた。銅管の束が抽伸油にザブンと漬かってクレーンで抽伸機の傍らに運ばれてくる。道具出しと称する班長が寸法をノギスで測ってダイスとプラグを選んでそばに置く。作業員はその工具を使って管の外径を絞り肉厚を薄く抽伸する。これを繰返して所定の寸法に仕上げるのだが、気の弱い班長は断面減少率即ち荷重のかけ方を少なくする。すると引抜回数は増えるが、トラブルは少ない。気の強い班長は荷重を大きくとって引抜回数を減らす。しかしやりすぎると管の頭が切れたり、プラグを支える竿が飛んでしまったり、大きな振動音を出す不安定操業となる。そのころあいは難しい。抽伸中の管を手でさわって握れない位に熱いと我々係員は安堵する。湯気も出ないようでは荷が軽すぎる証拠である。とにかく20%以上のリダクション（減面率）をかけて欲しい。このリダクションをまず知らねばならない。そこで10cm位の円盤コロをダイスの入側と出側の管の上にチョンと置く。入側のコロが1回転した時に、出側のコロが1.2回転していたらリダクションは20%となる。この二つの回転板を一つの板にセットし糸で回転を伝えその差を読み取るようにした。この考えは板の圧延時では当り前の事だが、当時の抽伸職場の新入社員にしては面白い考えだという事で、賞品をもらい特許も取ってくれた。しかし現場に持ち出してみたら、班長間で不評であり使われなかった。

次の話は空引抽伸である。管の外径が小さくなると中にプラグを入れられないから空で外径のみ絞る。内面はフリーだから肉厚がどうなるかわからない。先輩に聞いても厚くなったり薄くなったりするもので班長が経験で道具を出しているという。これは技術としておかしい話だし、面白い研究テーマと考え、一人でデータを取り始めた。抽伸の前後の寸法とかけられたリダクションと使用されたダイスの形状を記録する。定時の勤務後に追跡測定して回り半年後に膨大なデータを紙にプロットして一つの傾向をつかんで非常に喜ばれた。その後若干の理屈をつけて日本金属学会で昭和21年秋と22年春に論文として発表させてもらった。図7にその傾向を示す。このデータは後に住金の岡本豊彦氏が研究所で精密試験を行い、昭和29年に大成発表している。

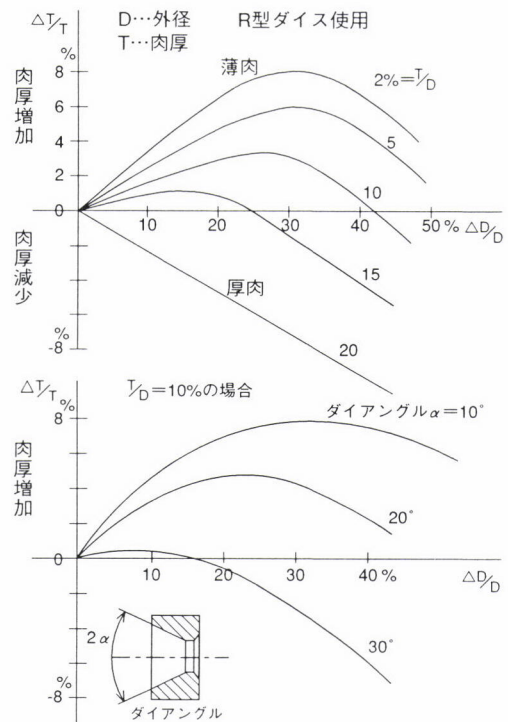


図7 鋼管空引における肉厚変化

6.2 製品・品種

以上は初期の抽伸スタートであるが、総体として冷間仕上鋼管は熱間製管された原管に冷間加工を加えて 1) 熱間では得られない寸法、2) 寸法精度向上、3) 表面グレード向上、4) 加工硬化特性利用等々が得られる特徴がある。この冷間加工の項を私の仕事を引き継いだ中村久司氏（昭和24年住友金属工業㈱入社、当時鋼管製造所勤務、元大阪鋼管専務）に書いてもらったものを半分圧縮加筆して次に記す。

戦後は資材の欠乏から焼け残りや解体船舶内の鋼管を材料として引抜加工により造られた再生管が重宝された。当時報告されているだけでも40社以上がりロールメーカーとして存在しており生産量をみると

昭和19年	23,910 ^T	昭和30年	28,213 ^T
20年	16,268 ^T	昭和35年	6,793 ^T
21年	12,272 ^T		

のように戦後の混乱期に健闘し、30年をピークにして復興と同時に主たる使命を終えた感じである。

復興の推移は熱間仕上管と似ている。先ず脚光をあびたものが蒸気機関車用煙管、水管。次いで船舶用缶管、自転車フレーム、自動車のバルブ・ロッカーシャフト等が主流となった。次に食糧増産用の肥料製造用高压管、熱交換器用として5%Cr鋼も手掛け、昭和26年頃からは高温高压用

ボイラー用の過熱器管等の大量需要に応じたものである。更に石油化学の花形ポリエチレン製造用の使用圧力2,000気圧の繰返し内圧のかかる超高压管の国産化に成功している。外径／内径比最大3という厚肉管で材質は高C—Cr—Mo鋼の油焼入れて最大外径90mm近く、しかも高压の繰返しに対する疲労破壊対策として内面疵の除去のため、内面研磨、内面鏡検査を行い当時の最高品質の要求に応えた。

昭和30年前半には東海村原子力発電研究用に細径ステンレス鋼管の試作納入に始まり、蒸気発生用給水加熱器管の製造も開始された。

またメカニカルチューブとしてはまず油圧シリンダー用高強度管に始まり自動車用メカや更に軸受用合金鋼鋼管も生産量を逐次伸ばしていった。これらの変遷に現場の係員は作業員としばしば居酒屋で身銭を切って飲みながらコミュニケーション向上にも対処したものである。

6.3 抽伸設備

鎖式抽伸設備の初期のものは引抜力 17^T 、引抜速度のM/分で回転する1本のチェーン毎に鋼管をダイスに通す型持ち役と、管をつかみチェーンにフックを引掛ける猫持ちと称するキャリッジ操作役の2人がついていた。かなりの多人数になる。改良はまずこの手作業を機械化する事から始まった。時経列別にみると

昭和25年頃：猫のリターンと管のつかみの自動化

動力源としてエヤーシリンダーとエヤーモーター採用

昭和32年 管の芯金挿入を効率化した引抜 25^T のドラム回転式採用

33年 引抜力 45^T シーソー型、速度15M/分出現

38年 3本引 35^T ドラム回転型速度30M/分DCモーター使用

43年 引抜力 135^T ドラム回転型シングルチェーン式

46年 5本引ダブルチェーン、ドラム式、速度60M/分

以上のように年毎に能率アップすると同時に設備は大型化したのは、米国ブローノックス社製の効果が大きい。また管端口絞もロータリースエージャーが開発され人力装作はなくなった。

これ以外に1パスの加工度（75%程度）の大きいコールドビルガー圧延機がドイツのマンネスマン・メーア社より昭和28年導入されステンレスや軸受鋼の加工に威力を発揮し、次いで肉厚加工を主としたソ連製HPTRが導入され原子力用管製造に大いに使われ出した。

6.4 工具・熱処理

終戦直後は工具は炭素工具鋼に硬質クローム鍍金したダイスとプラグが使われたが、昭和30年になるとタングステンカーバイトの超硬工具が広く使われるに至った。ダイスはテーパー型やR型を使い、プラグは専ら円筒型だが、小径長尺管に対しては

昭和34年頃 マンドレルドロウ方式としてマンドレル

昭和39年頃 フローティングプラグ方式としてテーパー型プラグ

が使われた。

熱処理は抽伸のための軟化処理と最終製品のための熱処理とに分れるが、炉の形態は逐次大いに改善されている。その推移を見ると

昭和20年 石炭焚バッチ炉で鉄板の上に鋼管の束を乗せウインチで炉に押し込み引き出した。

昭和31年 台車炉採用

昭和32年 バレル炉、ローラーハース光輝焼鈍炉出現
DXガス使用

昭和40年 雰囲気調節炉にNXガス使用

これらは全て合金鋼の需要増加で加工のための完全焼鈍や、クリープ強度向上のための焼準—焼戻、または恒温焼鈍が必要となる外、給水加熱器用鋼管のように表面スケールをさけるために雰囲気調節技術が進歩した。

ステンレスに対しては従来バッチ炉で加熱後、一本ずつ水槽に入れて急冷していたがバレル炉が32年に導入されて以来連続的で且つ水冷作業も自動化された。

6.5 デスケールと油滑

デスケールとしては炭素鋼・合金鋼には現状通り稀硫酸を用い、ステンレスに対しては当初は硫酸と塩酸の逆王水型組成で行っていたが、昭和34年以降は弗酸を用いている。

抽伸の潤滑剤には管の表面を塩酸で塩化鉄被膜を作ったあと、乳化ソリュブル油に浸漬し、時には石灰を併用した。昭和30年に米国パーカーライジング社開発の燐酸被膜の上にステアリン酸系の金属石鹼をコーティングして現在に致っている。ただ機械構造用のように表面粗度を美しくする磨き引にはソリュブル油や直接オイルが使われた。

ステンレスに対しては当初は錆にくい材料を錆させようと工夫し、濃塩酸をふりかけ^{むしろ}覆って蒸して発錆させ、乳化油に石灰粉を内外面に付けて引抜いていた。昭和33年パーカー社開発の蔞酸塩被膜と金属石鹼の組合せによりスムーズな引拔が可能となった。この他パーカー法導入前には米国ハングスターファー社製の樹脂系被膜の上にCl—S

系の重合油を使って、急場を乗り越えたり苦勞の連続であった。

この外、精整設備、非破壊検査は冷間引抜高級品に対して精密なものが使われ出したが紙面の都合で記述は省略する。

おわりに

日本の鉄鋼製造技術は終戦直後から、技術導入—実機立ち上げ—改良—技術熟成—開発とつながって現在は世界のトップクラスを走っていると思う。その中の鋼管分野に焦

点を当て、昭和30年終り迄の技術変遷の状況を記述したのだが、その学術的な詳細は既に多くの論文があるのでなるべくさけ、編集委員会の要望に従い体験を通じて随想風にした積もりである。従って個人的な事が随所に出て来るのは致し方のない事であろう。ただ、当時の人々はみんな同じような想いで社会のため技術のために時には家庭を省りみず戦後の使命感にあふれて働いたと思う。本記事は短かい制限された紙面なので日本の鋼管界全体としては片手落ちの個所も多いと思われるが、同時代の人々が共感を感じ、また現在の若い人々が何かを汲んで戴ければ幸である。

(1997年7月11日受付)