

---

多品種・高級化対応をめざした小径電縫鋼管製造設備

Small diameter ERW Tube Mill for High-Grade and Multi-Product Mix Manufacturing System

杉江 善典(Yoshinori Sugie) 唐鎌 勝則(Katsunori Karakama) 渡辺 修三(Syuzo Watanabe) 香川 正弘(Masahiro Kagawa) 笠原 博二(Hiroji Kasahara) 板谷 進(Susumu Itadani)

---

要旨：

多品種化，小ロット化，高級化への対応として，小径電縫鋼管製造設備の改造を実施した。その一つは，（１）切断精度向上，（２）サイズ替え時間短縮，（３）厚肉側範囲拡大を目的とした素材スリット設備の改造であり，油圧拡張方式の採用等によって効果をあげている。また一方，小径電縫鋼管２” ミルライン改造の主な内容は，（１）クイックチェンジシステムの開発，（２）高級化対応技術の導入，（３）薄肉専用スタンド設置等による製造可能範囲拡大，（４）ミル速度能率向上・精整合理化による生産性向上であり，現在順調に稼働している。

---

Synopsis：

In order to respond to the tendencies towards multi-kinds, small-lot production, and high-grade materials, the equipment for small-diameter ERW (electric resistance welded) tube was reconstructed. The slitting machine, which adopted the hydraulic-expansion system, enabled to reduce size changing time and expand available coil thickness. In the mill line, facilities for reduction of size changing time were developed, the technology for high-grade pipe were introduced, the available size range was expanded by the original forming machine for thin materials, and productivity was upgraded.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

## Small Diameter ERW Tube Mill for High-Grade and Multi-Product Mix Manufacturing System



杉江 善典

Yoshinori Sugie

知多製造所 製造部鋼管技術室 主査(課長補)



唐鎌 勝則

Katsunori Karakama

知多製造所 製造部加工管課



渡辺 修三

Syuzo Watanabe

知多製造所 製造部鋼管技術室 主査(部長補)



香川 正弘

Masahiro Kagawa

知多製造所 設備部設備技術室 主査(課長)



笠原 博二

Hiroji Kasahara

知多製造所 設備部設備技術室 主査(課長補)



板谷 進

Susumu Itadani

知多製造所 設備部設備技術室 主査(掛長)

### 1 緒 言

近年、多品種小ロット化傾向は著しい。特に国内向け生産比率の高い小径電縫鋼管分野においては顕著である。一方、品種に関しては、従来シームレス鋼管分野とされてきた高炭素鋼材、低合金鋼材等の生産比率が増加してきており、サイズも薄肉材から厚肉材まで広範囲にわたり、製造が要求されるようになってきている。納期については、いわゆる“just in time”が求められるようになり、従来の大ロット生産型のミルから小ロット多品種型で、かつ多目的なミルへの脱皮が必要となってきている。また、上記環境下で高生産性を図るため、製造の効率化、自動化およびシステム化の推進がより一層必要となる。

これらの要求に応えるべく、当社小径電縫鋼管 2" ミルおよび付帯設備の改造を実施したので報告する。

### 要旨

多品種化、小ロット化、高級化への対応として、小径電縫鋼管製造設備の改造を実施した。その一つは、(1)切断精度向上、(2)サイズ替え時間短縮、(3)厚肉側範囲拡大を目的とした素材スリット設備の改造であり、油圧拡張方式の採用等によって効果をあげている。また一方、小径電縫鋼管 2" ミルライン改造の主な内容は、(1)クイックチェンジシステムの開発、(2)高級化対応技術の導入、(3)薄肉専用スタンド設置等による製造可能範囲拡大、(4)ミル速度能力向上・精整合理化による生産性向上であり、現在順調に稼働している。

### Synopsis:

In order to respond to the tendencies towards multi-kinds, small-lot production, and high-grade materials, the equipment for small-diameter ERW (electric resistance welded) tube was reconstructed. The slitting machine, which adopted the hydraulic-expansion system, enabled to reduce size changing time and expand available coil thickness. In the mill line, facilities for reduction of size changing time were developed, the technology for high-grade pipe were introduced, the available size range was expanded by the original forming machine for thin materials, and productivity was upgraded.

## 2 素材スリット設備の改造

### 2.1 スリット設備の概要

知多製造所スリット設備は、水島および千葉製鉄所で製造されたホットコイルを数条～十数条のスケルプにスリットし、そのスケルプを知多製造所内の電縫鋼管工場および鍛接鋼管工場に供給している。

Table 1 に電縫および鍛接鋼管の製品仕様と素材であるスケルプ仕様を示すが、品種およびサイズともに多様であり、スリット設備にも多品種・多サイズ対応が要求されている。

Fig. 1 にスリット設備のレイアウトを示す。設備は、ホットコイルを巻き戻すアンコイラー、レベラー、先端クロップを切断するクロップシャー、スリッター、ルーバー、スケルプの進行方向をフィンによりガイドするセパレータおよびスケルプを巻き取るリコイラーより構成されている。

従来のスリット設備のスリッターおよびセパレータは、刃物およびフィンをスペーサーで固定する方式である。Fig. 2 にスペーサー方式スリッターの概略を示す。スリッターのアーパー軸には、合金工具製の刃物が上下でポンチ側、ダイス側となるように組み込ま

\* 平成2年8月10日原稿受付

Table 1 Specifications of welded pipe made from slitted coils

	Grade	Outer diameter	Wall thickness (mm)	Skelp size (mm)	
				Thick.	Width
Electric resistance welded pipe	SGP	15 A ~ 300 A	0.8 ~ 14.0	0.8 ~ 14.0	70 ~ 1570
	STPG				
	STKM				
	OCTG				
	STK				
	SAE 1541				
	SAE 4130				
	L/P				
Mechanical tube					
Boiler tube					
Stainless tube					
Continuous butt welded pipe	SGP	15 A ~ 100 A	2.8 ~ 4.5	2.7 ~ 4.7	185 ~ 445

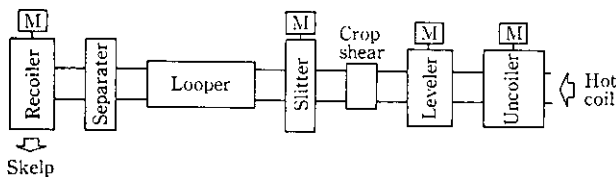


Fig. 1 Layout of slitting equipments

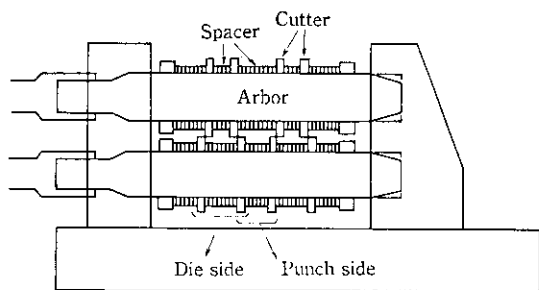


Fig. 2 Schematic diagram of spacer-type slitter

れており、刃物は鋼製スペーサーで固定される。スケルブ幅およびスケルブエッジ面性状は、上下刃物の相対位置で決まるため、刃物組込時に刃物位置を調整する必要がある。

2.2 従来スリット設備の問題点

従来のスリット設備は、以下の問題点を有していた。

- (1) スリット中のスリッター刃物の振れにより、スケルブエッジ面性状が変動する場合がある。
- (2) スリッター刃物およびセパレータフィンの固定方法がスペーサー方式であるために、サイズ替え時間が長い。
- (3) 厚肉材のスリットに対し、設備の能力、特に機械的剛性が不足している。

そこで、今回上記問題点を解決するために、スリット設備の改造を実施した。

2.3 スリット設備の改造

Table 2 にスリット設備の改造内容を、Table 3 に設備の主仕様

Table 2 Improvement contents of slitting equipments

Equipment	Improvement contents
Uncoiler	Increase of braking power
Leveler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Increase of driving motor power: 90 kW (1.6 times)</li> <li>• Increase of leveling cylinder capacity: 110 t (3.2 times)</li> <li>• Renewal of driving devices (gear, bearing, etc.)</li> </ul>
Slitter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renewal of base frame</li> <li>• Installation of hydraulic-expansion slitter (2 stands)</li> </ul>
Separator	Installation of hydraulic-expansion separator
Recoiler	Increase of mechanical strength of snapper roll

Table 3 Specifications of hydraulic-expansion slitter

		Specification
Arbor diameter	(mm)	φ 410
Arbor length	(mm)	2600
Cutter size	(mm)	φ 600 OD × φ 400 ID × 30 T
Hydraulic pressure	(kg/cm <sup>2</sup> )	Max. 350
Driving motor	(kW)	DC 175
Available size*1		
Thickness	(mm)	1.6 ~ 14.0
Width	(mm)	130 ~ 2 200

\*1 TS ≤ 50 kg/mm<sup>2</sup>

を示す。主な改造点は、次の2点である。

- (1) スペーサー方式を油圧拡張による固定方式に改造。
- (2) 厚肉対応として入出側設備の機械的強度および能力の向上。

2.3.1 油圧拡張による固定方式への改造<sup>1,2)</sup>

油圧拡張による固定方式に改造したのは、スリッターアーバー軸およびセパレータフィンホルダーである。いずれも、従来、スペーサー積層で位置決めしていたものを油圧力により固定する方式とし、スケルブ幅替え、スリット条数変更および刃物クリアランス調整のオンライン作業化と時間短縮をねらったものである。

Fig. 3 に油圧拡張スリッターの概略図を示す。スリッターアーバー軸は、アーバー軸の剛性を確保するための中実軸、圧力媒体である作動油、油圧力により拡張するスリーブより構成されている。圧力の付加は、スリッターに据え付けられた油圧ポンプユニットで

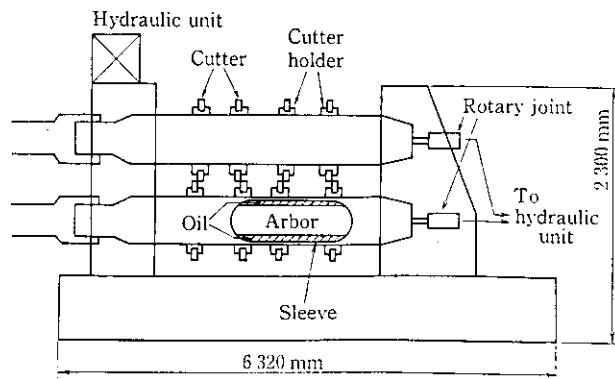


Fig. 3 Schematic diagram of hydraulic-expansion slitter

行う。刃物は専用の刃物ホルダーに取り付けてアーバー軸に装入する。

油圧拡張方式の設計にあたっては、切断板厚範囲が広く、精度と剛性の両方が要求されるため、以下の点を考慮した。

- (1) アーバー軸、刃物ホルダー等の組み合せたわみが、刃物クリアランスの10%以下となるように、アーバー軸径、刃物ホルダー回りの寸法を決定した。
- (2) FEM解析により、アーバー軸両端の不感帯領域を推定し、アーバー軸径を必要最小限とした。
- (3) 油圧拡張圧力 350 kg/cm<sup>2</sup> に耐えうるシールとスリーブの特殊固定方法を採用した。
- (4) 刃物ホルダーは、オンラインで刃物両面の切替使用可能な構造とした。

Fig. 4 に従来スペーサー方式との刃物振れ精度の比較を示す。油圧拡張方式の採用により、刃物振れ精度は著しく向上した。

アーバー軸径および長さは世界最大であり、長手方向の軸径偏差を抑えて刃物ホルダー内径とのクリアランスを一樣とするため、特殊加工を実施して目標クリアランス(40~50 μm)を実現した。

Fig. 5 にスペーサー式スリッターと油圧拡張式スリッターとのサイズ替え時間の比較を示す。作業のオンライン化および作業時間の短縮により、油圧拡張式のサイズ替え時間は従来の1/2に短縮された。

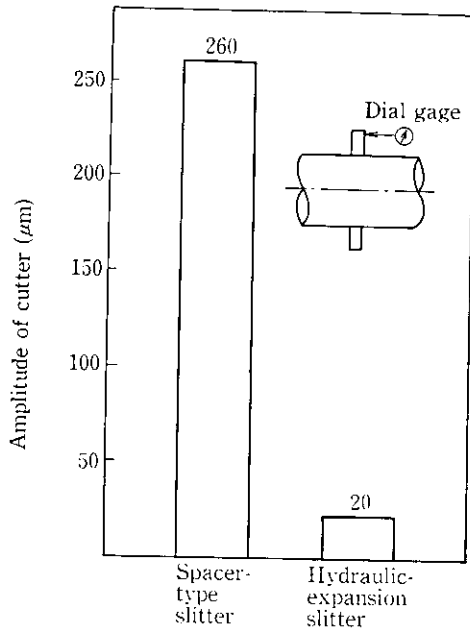


Fig. 4 Comparison of amplitude of cutters between spacer-type slitter and hydraulic-expansion slitter

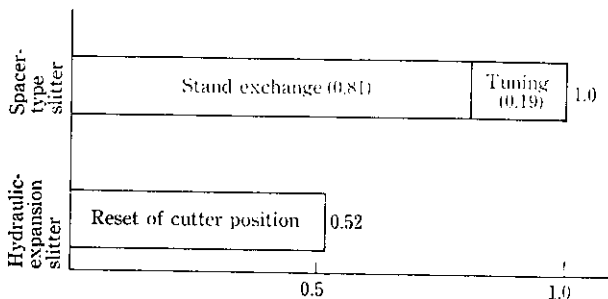


Fig. 5 Comparison of size changing time between spacer-type slitter and hydraulic-expansion slitter

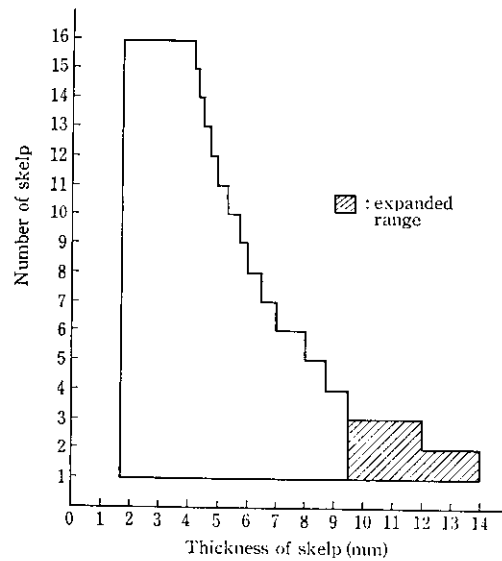


Fig. 6 Available slitting size range after improvement of slitting equipments

### 2.3.2 厚肉側スリット可能範囲の拡大

厚肉側スリット範囲の拡大を目的として、スリットラインの設備能力を増強した。その主な改造内容は次のとおりである。

- (1) アンコイラーのブレーキ能力の向上
- (2) レベラー駆動能力および圧力能力の向上と駆動系設備の更新
- (3) リコイラスナッパーロール強度の向上

Fig. 6 に改造実施前後のスリット可能範囲を示す。引張り強さ 50 kg/cm<sup>2</sup> のスリット材において、最大板厚を 9.5 mm から 14.0 mm へ拡大した。

## 3 小径 ERW 2" ミルラインの改造

### 2.1 改造の目的

小径 2" ミルは、1972 年に稼働して以来、主として機械構造用鋼管、ボイラー管を生産してきた。この分野の電縫管は、重要保安部品への適用、シームレス管からの代替が進んでおり、製品への要求は、ここ数年特に厳しいものとなっている。その主なものとして、

- ・製造寸法範囲の拡大（薄肉化、厚肉化、長尺化、外径多様化等）
- ・ハイグレード材への拡大（高炭素鋼、合金鋼、ステンレス鋼、フルボディ熱処理品等）
- ・寸法精度およびビード切削形状の基準厳格化
- ・小ロット化およびリードタイムの短縮

を挙げることができる。生産性を維持しつつ、これらの要求に応えるべく、厚肉材の成形技術<sup>3)</sup>、自動溶接入力制御技術<sup>4)</sup>、不活性ガスシールド溶接技術<sup>5)</sup>、中周波溶接技術<sup>6)</sup>、高  $U/D$  材の内面ビード切削技術等の当社が開発してきた技術をベースに、2" ミルの改造を実施した。Table 4 に改造前後の製造可能範囲の比較を示す。

Table 4 Comparison of available size range of 2" mill

	After reconstruction	Original
Outside diameter (mm)	21.3~76.3	21.3~60.5
Wall thickness (mm)	0.8~10.0	1.0~7.0
Length (m)	4.0~18.0	4.0~14.0

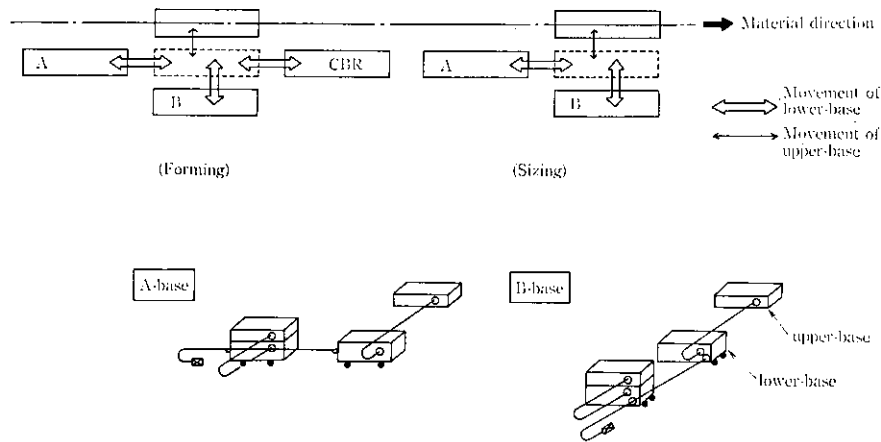


Fig. 7 Layout and movement of base

### 3.2 多品種・小ロット・高級品対応

上記の要求に対応するためには、ロール替えおよびロット変更の回数を大幅に増加させる必要がある。また、ステンレス鋼管等の溶接品質確保のための溶接雰囲気切替、厚肉管の溶接品質向上、内面ビード切削精度向上のための溶接周波数変更等の頻度も増える。この結果、段取替時間を短縮することが不可欠となる。

#### 3.2.1 クイックチェンジシステムの開発

ロール替え時間を短縮するための手段としては、従来よりさまざまな方式が考案されている。どの方式を採用するかは、ミルの大きさ、目標とするロール替え時間、設備投資額、その他の諸条件により決定される。今回の改造では、台車方式によるクイックチェンジシステムを採用した。このシステムの特徴を以下に示す。

##### (1) 完全クレーンレス化

ロール替え手段の選択に当たり、最も重点を置いた点はクレーン作業の廃止である。台車方式の採用による完全クレーンレス化を目指し、ロール替え時間の大幅な短縮と安全性の確保を実現した。

##### (2) フォーミングスタンドベースの一本化

本システムはフォーミング台車とサイジング台車から構成され、フォーミング台車にはブレイクダウン、フィンパス、スクイズの各ブロックが一体で設置されている。これによりミル通り芯精度を確保するとともに、内面ビード切削装置、ガスシールドボックス等付属品のオフ段取化を実現した。

##### (3) 完全プリセット化

Fig. 7 は今回採用した親子台車システムの模式図である。ミルスタンドが固定されている子台車は、ミルラインと親台車の間を移動する。一方、親台車は、子台車を上に乗せた状態で、A台車についてはミルラインと平行に、B台車についてはミルラインに対して直角方向に移動する。本システムを採用することにより、ミルに付随しているモーター、センサー類のケーブルおよび各種配管を常時接続状態に保つことを可能とし、ロール替え時のケーブル、配管脱着作業を省略するとともに、オフラインでのロール圧下、プリセットを可能とした。

#### 3.2.2 ロット変更頻度増加への対応

##### (1) 成形

ロット変更時のロールセッティングに際して、ブレイクダウンスタンドについては、鋼帯を十分に成形し、かつロールの圧痕が発生しないことが要求される。また、フィンパススタンドおよびサイジングスタンドについては、それぞれ溶接前帯寸法

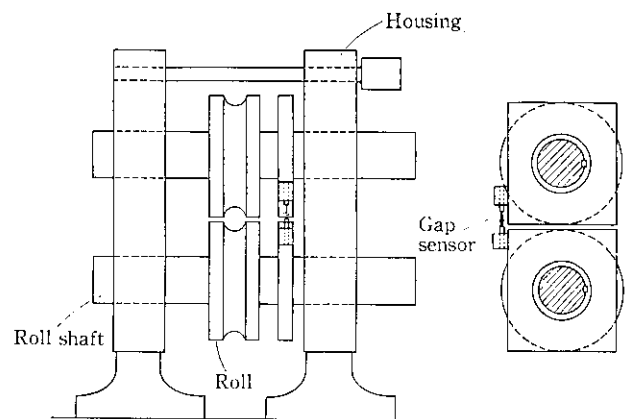


Fig. 8 Installation of gap sensor

および製品外径を所定の値にする必要がある。いずれのスタンドについても、被成形材変更に伴う成形荷重の変化に対して、ミル定数を用いた補正量計算が必要となるが、小径管の場合には、寸法バラツキ許容範囲が狭く、この補正方法では精度が十分とはいえない。そのためロールをプリセットしても微調整作業が必要となり、成形調整に時間を要していた。

これを解決するために、Fig. 8 に示すロール間ギャップ計を開発し適用した。本ギャップ計は非接触磁気式センサーを利用したものである。本方式は、ロール直近でギャップを測定しているため、上記の補正量計算の誤差発生を防止でき、精度のよいロールセッティングを可能とする。

また、ロット変更点をトラッキングして、ミルを停止させることなく自動的にロールセッティングを行うシステムを採用した。

小径ERWでは、ブレイクダウン前段においては、同一のロールで良好な成形が可能な肉厚範囲（ここでは成形可能肉厚範囲という）が一般に存在する。この範囲は、高 $t/D$ 材で必要とされるエッジ部の成形を強化するフラワーほど狭くなる傾向がある。したがって、同一外径内で、成形する肉厚が薄肉から厚肉まで広がると、ある一定の厚さごとに、ブレイクダウン前段の上ロールを交換する作業が従来フラワーでは必要であった。この作業を避けるために、エッジ成形強化タイプでかつ成形可能肉厚範囲の広いフラワーを開発し適用した。本フラワーの基本的な考え方は、 $\#1$ ブレイクダウンで主として薄肉を成形し、 $\#2$ ブレイクダウンでは主として厚肉を成形するというもの

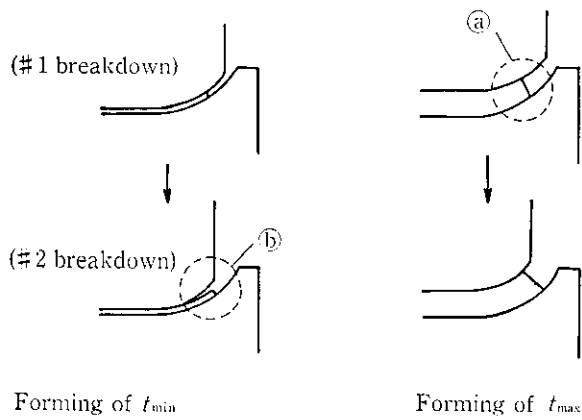


Fig. 9 Method for expansion of available wall thickness range with the common upper roll

である。このフラワーは、Fig. 9の $R_U$ 、 $R_L$ 、 $\theta$ の関係を適切に決めることにより、 $\textcircled{a}$ 部分の減肉、 $\textcircled{b}$ 部分の成形不足を回避するのを特長とする。本フラワーにより、同一ロールでの成形可能肉厚範囲が拡大され、同一外径内でのブレイクダウンロール交換を不要とした。

(2) 溶接周波数の切替

厚肉管の溶接品質向上、内面ビード切削精度向上を目的として、溶接周波数は、高周波(HF)と中周波(MF)の2種とした。高周波電流は、コーナー効果により帯エッジコーナー部が優先的に加熱されるため、厚肉材においては、肉厚中央部のホワイトライン幅を適正に保持しようとする、内・外面がオーバーヒートとなる。その結果、スパッター粒発生に伴う疵を誘発したり、ビードが大型化し、かつ長手方向に不安定な形状となり、特に細径材の内面ビード切削が困難となる。これらの問題を解決するために中周波溶接を採用した。Photo 1は、適正入熱時の溶接V収束点近傍の加熱状況を示すが、中周波では高周波に比べて、エッジ部の加熱状況が安定しているのがわかる。また、Fig. 10に肉厚とホワイトライン幅の形状との関係を示すが、中周波では内・外面と肉厚中央部との幅の差が小さいことがわかる。

今回、ウェルダを改造して、高周波溶接と中周波溶接との切替が容易に行えるようにした。改造後のウェルダ仕様を以下に示す。

発振管出力: 700 kW

周波数: 250/70 kHz

周波数切替にあたって、CTは高周波溶接用と中周波溶接用を兼用とし、タンク回路のローディングコイルとコンデンサを切り替えることにした。一般に、発振周波数 $f$ (Hz)は、タンク回路のインダクタンス $L$ (H)と、キャパシタンス $C$ (F)より、次式で表される。

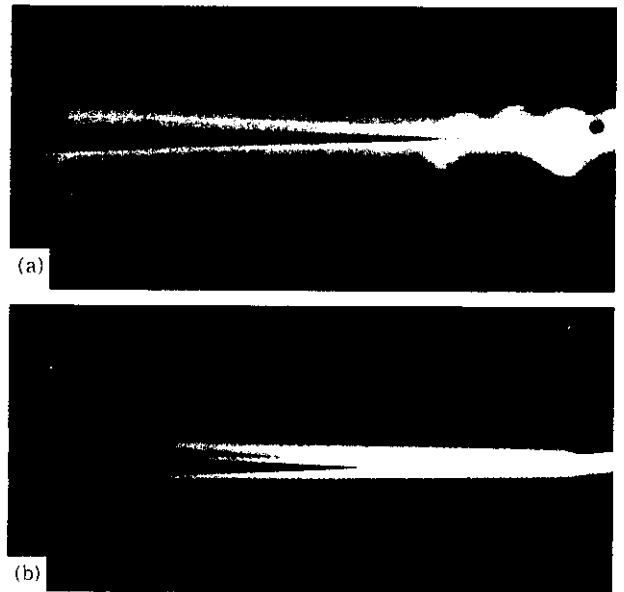
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

周波数切替幅が広いので、 $L$ 値、 $C$ 値を大きく変えられるようにした。

さらに、そのローディングコイルとコンデンサの切り替わりを遠隔で操作するために、断路器をモータ駆動としたが、今回のような高電圧・大電流に対しては初めての試みであった。

(3) 溶接雰囲気切替

合金鋼管、ステンレス鋼管については、健全な溶接品質を確保するため、不活性ガスシールド雰囲気での溶接している。



a: HF b: MF

Photo 1 Comparison of heating phenomena between HF and MF heatings; a view of upper surface of pipe at welding zone

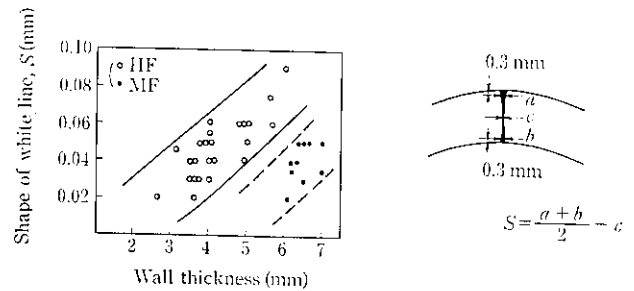


Fig. 10 Comparison of shape of white line

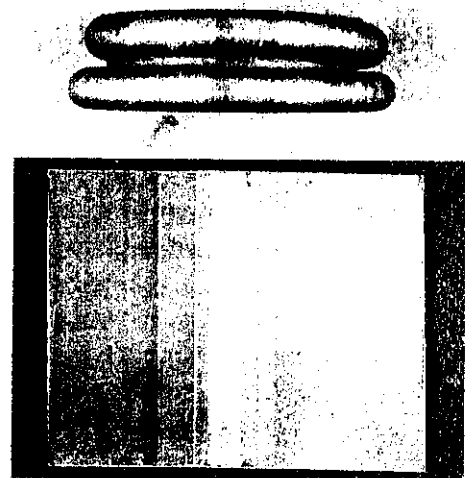


Photo 2 Results of crush test (upper) and reverse flattening test (lower); STBA 22 E-G 48.6  $\phi$  x 4.2 t

Photo 2にSTBA 22の実用試験結果の一例を示す。今回、外面側シールドボックスおよび内面パーの装着をオフラインで可能としたため、溶接雰囲気の切替が短時間で可能となった。

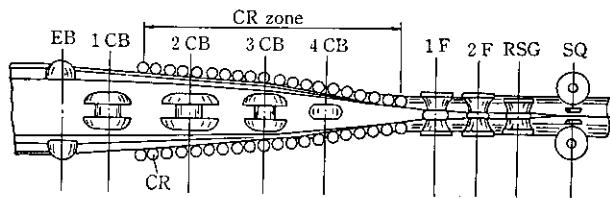


Fig. 11 CBR forming stand

### 3.3 薄肉専用スタンドの設置

製造可能範囲を厚肉側に拡大するには、ミルの剛性を高める必要があり、必然的にロール、シャフト、ハウジングが大型化し、スタンド間ピッチを大きくせざるをえない。こうしたミルにて、ステンレス等の薄肉品の造管を行う場合にはエッジウェーブ現象が発生し、成形および溶接を安定させるのが困難となる。この問題を解決するため、厚肉用の通常スタンドと別に、当社では開発したCBR (chance-free buldge roll) 成形方式<sup>2)</sup>に基づく薄肉専用スタンドを設置した。このスタンドの特徴は以下のとおりである。

#### (1) CBR 成形方式

Fig. 11 に CBR 成形スタンドを模式的に示す。主要部は、ロール幅を可変としたエッジベンドロール (EB) とセンターベンドロール (CB) およびエッジを連続的に拘束するケージロール (CR) から構成されている。本成形方式は、薄肉材の成形安定化を実現すると同時に外径変更に対応できる。

#### (2) ミルの高剛性および高精度化

薄肉専用スタンドの設計にあたっては、油圧縮径スリーブ、高精度ボールネジおよびがた殺し装置の採用により、高剛性および高精度化を指向した。また精度の維持・管理のための工夫も種々盛り込んだ。

#### (3) 通常スタンドとのクイックチェンジ

薄肉専用スタンドは極力スタンド間ピッチを縮めた設計となっており、通常スタンドのピッチとは一致しない。このため薄肉専用スタンド側に2次分配減速機を設け、駆動系を共用した。

### 3.4 造管速度の向上

高生産性のために造管速度の向上を図った。特に細径厚肉材では溶接効率が低下するため、ウェルダのマッチングを細径厚肉材に適合させた。また細径専用のスクイズスタンドを設置し、造管速度向上とともに溶接効率低下に伴う品質の劣化を防止した。

切断機にはダブルプレスカッターを採用し、高速造管時の定尺切断に対応した。切断面は厚肉から薄肉ステンレスまで良好な真円度および直角度が得られている。切断機には中継部および溶接品質不良部の指示が送られ、自動的にリジェクトされる。この結果、品質保証とともに省力化が図れた。

### 3.5 精整の合理化

#### 3.5.1 精整ラインの合理化

ボイラー管等のフルボディ熱処理品の増加に対応して、熱処理品専用精整ラインを設置した。本ラインは、切断機、面取機、印字機、塗油機等で構成され、疵に対しても十分な対策をとっている。このラインを使用することにより、熱処理品のハンドリング回数は大幅に削減され、ハンドリングにより発生する疵の防止、リードタイムの短縮が達成された。

#### 3.5.2 生産管理システムの構築

今回の設備改造と同時に、つぎのような特徴をもつコンピュータによるリアルタイムシステムを構築した。

- (1) 工場内各ラインの要所に端末機を設置し、素材コイルから製品までのリアルタイムな実績収集を実施。
- (2) 熱処理品等他工場での加工実績処理も一元管理。
- (3) 仕掛品のロットラッキング、現品管理、進捗管理等はすべてコンピュータで実施。
- (4) 素材コイル情報は現品ロットキーNo. でトレースが可能。本システムの稼働により多品種・小ロット化への対応が強化された。

### 4 結 言

多品種化、小ロット化、高級化への対応として、小径電縫鋼管製造設備を改造した。

スリット設備の改造は以下のとおりである。

- (1) スリッター刃物およびセパレーターフィンの固定に油圧拡張方式を採用することにより、切断精度の向上およびサイズ替え時間の短縮を達成した。
- (2) スリット可能板厚範囲を拡大した。

<sup>2)</sup> ミルラインの改造内容を次に示す。

- (1) 完全クレーン化、フォーミングスタンドベースの一体化、ロールの完全プリセット化を採用したクイックチェンジシステムを開発した。
- (2) 成形可能肉厚範囲の広いロールフラワーの採用、溶接周波数・溶接雰囲気切替の迅速化により、多品種にわたる高級品対応を強化した。
- (3) CBR 成形方式の薄肉専用スタンドおよび高剛性スタンドの導入により、製造可能肉厚範囲を拡大した。
- (4) ウェルダの改造および切断機の更新により、造管速度を向上させた。
- (5) 熱処理品専用精整ラインの設置と生産管理システムの構築により、精整工程での疵発生防止と多品種・小ロット化対応の強化を図った。

今後とも市場ニーズの多様化は進むものと考えられる。今回の改造の効果を十分に発揮させると同時に、さらに改善活動を進めていく予定である。

### 参 考 文 献

- 1) 小林達宜, 小嶋達男, 井上雅之: 日本機械学会講演概要集, 897 (1989) 1, 48
- 2) 今関敏夫, 弦田 登: 材料とプロセス, 2 (1989) 2, 514
- 3) 杉江善典, 渡辺修三, 南谷昭次郎, 豊岡高明, 星 清政, 井手 武: 川鉄技報, 18 (1986) 3, 263
- 4) S. Minamiya, S. Watanabe, Y. Sugie, M. Shibagaki, F. Ode, A. Shiga: Mechanical Working Steel Processing Conference, 24 (1984), 529
- 5) 渡辺修三, 嘉納徳彦, 平野 豊, 大出文昭, 横山栄一: 川崎製鉄技報 13 (1981) 1, 93
- 6) 田村寿恒, 南 正進, 魚住一裕, 平野 豊, 渡辺修三, 林 保之: 川崎製鉄技報, 16 (1986) 3, 187
- 7) 豊岡高明, 佐山泰弘, 志賀 厚, 小林邦彦, 渡辺修三, 小野田義富: 塑性加工春季講演論文集, (1989), 213
- 8) 豊岡高明, 佐山泰弘, 志賀 厚, 小林邦彦, 橋本裕二, 小野田義富: 塑性加工春季講演論文集, (1990), 155