

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.17 (1985) No.2

極薄用冷間圧延機の完全連続化

Outline of Fully Continuous Cold Rolling Mill for Ultra-thin Gauge Strip

岸田 朗(Akira Kishida) 手柴 東光(Toko Teshiba) 井田 幸夫(Yukio Ida) 坂本
軍司(Gunji Sakamoto) 御厨 尚(Takashi Mikuriya) 鍵田 征雄(Ikuo Yarita)

要旨：

千葉製鉄所第1冷間圧延工場の6スタンドタンデムミルは極薄材を中心とした圧延機である。これを、品質、歩留、原単位および生産性の向上を目的として、圧延機の入側でストリップを溶接し、出側で分割切断することによりエンドレスに圧延を続ける、完全連続圧延機への改造を行い、59年7月より稼動した。完全連続化のために必要な極薄材用設定計算、走間板厚変更技術の開発を行い、また、デジタル速度制御系の導入で低速圧延時の板厚精度を保証した。さらに新タイプのカラーゼルリールの実機化や、圧延機出側のプライドルロールなど、随所に新機軸を取り入れた。プロセスコンピュータやデジタルコントローラにより全自動化を図った。

Synopsis：

The 6 stand tandem mill at Chiba Works, which rolls mainly ultra-thin gauge strip, was revamped into a "fully continuous mill" and resumed its operation in July 1984. This fully continuous mill is expected to improve quality, yield, cost, and productivity. We developed roll gap calculation for ultra-thin gauge, flying gauge change, and some other necessary technologies. Gauge accuracy is excellent even at low speed owing to a digital automatic speed regulator. This mill contains many technological developments, such as a new-type carousel reel and bridle rolls at the delivery side. The process computer and the digital controllers contribute to labor saving.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

岸田 朗^{*2} 手柴 東光^{*3} 井田 幸夫^{*4} 坂本 軍司^{*5} 御厨 尚^{*6} 鎗田 征雄^{*7}

Outline of Fully Continuous Cold Rolling Mill for Ultra-thin Gauge Strip

Akira Kishida, Toko Teshiba, Yukio Ida, Gunji Sakamoto, Takashi Mikuriya, Ikuo Yarita

要旨

千葉製鉄所第1冷間圧延工場の6スタンドタンデムミルは極薄材を中心とした圧延機である。これを、品質、歩留、原単位および生産性の向上を目的として、圧延機の入側でストリップを溶接し、出側で分割切断することによりエンドレスに圧延を続ける、完全連続圧延機への改造を行い、59年7月より稼動した。完全連続化のために必要な極薄材用設定計算、走間板厚変更技術の開発を行い、また、デジタル速度制御系の導入で低速圧延時の板厚精度を保証した。さらに新タイプのカローゼルリールの実機化や、圧延機出側のブライドルロールなど、随所に新機軸を取り入れた。プロセスコンピュータやデジタルコントローラにより全自動化を図った。

Synopsis:

The 6 stand tandem mill at Chiba Works, which rolls mainly ultra-thin gauge strip, was revamped into a "fully continuous mill" and resumed its operation in July 1984. This fully continuous mill is expected to improve quality, yield, cost, and productivity. We developed roll gap calculation for ultra-thin gauge, flying gauge change, and some other necessary technologies. Gauge accuracy is excellent even at low speed owing to a digital automatic speed regulator. This mill contains many technological developments, such as a new-type carrousel reel and bridle rolls at the delivery side. The process computer and the digital controllers contribute to labor saving.

1 緒 言

千葉製鉄所第1冷間圧延工場の6スタンドタンデム冷間圧延機(6Tと略記)は、ぶりき、ティンフリースティール、亜鉛めっき原板等の表面処理用鋼板を主体とした平均板厚0.23mmの極薄材専用冷間圧延機である。従来は、1コイルごとに、コイル先端部の通板(thread)作業を行い、一方、尾端部も減速後、ガイドにより板を押さえる、いわゆる尻抜き(tail out)作業を行っていた。これらは非能率であるだけでなく、圧延作業そのものも煩雑であった。これを、入側で溶接し、圧延機出側で分割することによりエンドレスに圧延する完全連続冷間圧延機に改造し、昭和59年7月から稼動した。

6Tは、昭和38年に稼動した圧延機であり、現在まで品質面、とりわけ、板厚精度の向上に力が注がれてきた。これは、DI缶(2ピース缶、Draw-and-Ironing Can)をはじめとする極薄材の板厚精度に対する需要家の要求に応える必要があったためである。この結果、キーレスベアリングの開発および実用化^{1,2)}、油圧圧下への改造³⁾、主機モーター制御系の界磁サイリスタ化、バックアップロール偏芯除去装置の導入⁴⁾などを経て、現在では、板厚精度は±0.7%に向上した。また、極薄材の平坦度に関しても、冷間圧延鋼板用素材の幅方向材質の均一化⁵⁾、ワークロールベンダーの強化、クーラ

ント流量制御などにより大幅な改善をみた。

しかし、1コイルごとに通板、尻抜きを行う従来の圧延方法では、先端部、尾端部にオフゲージが発生することが避けられない。また、通板、尻抜きの際に、ワークロールに疵が入りやすく、この部分の平坦度も不安定になりやすい。しかも、6Tで圧延されるような極薄材の通板作業は熟練が必要とされ、シートゲージミルに比較し、自動化や省力化が困難とされていた。

このような諸問題を解決すべく、6Tの完全連続化を図った。圧延機の入側でコイルを溶接接合し、圧延後、出側で分割する。入側で溶接している間も、ルーパーに貯蔵されていたストリップを送り出すことにより、エンドレスに圧延を続ける。この完全連続化により従来のオフゲージ、ロール疵、平坦度の問題を一挙に解決し、さらにプロセスコンピュータ、DDC(Direct digital controller)の導入と相まって、自動化および省力化を図ることをねらった。

以下に、これらの6T完全自動化設備の概要について述べる。

2 設備概要

2.1 ライン仕様

本ラインの主要な設備仕様をTable 1に示す。完全連続圧延機では、母材と製品のコイル重量が等しい必要はなく、入側で溶接し

*1 昭和60年2月18日原稿受付

*2 千葉製鉄所冷間圧延部冷延技術室主査(課長)

*3 水島製鉄所薄板圧延部冷間圧延課掛長(課長補)

*4 千葉製鉄所設備技術部機械技術室主査(課長)

*5 千葉製鉄所設備技術部電気計装技術室主査(課長補)

*6 千葉製鉄所設備技術部電気計装技術室主査(課長)

*7 技術研究所第5研究部圧延研究室主任研究員(課長)

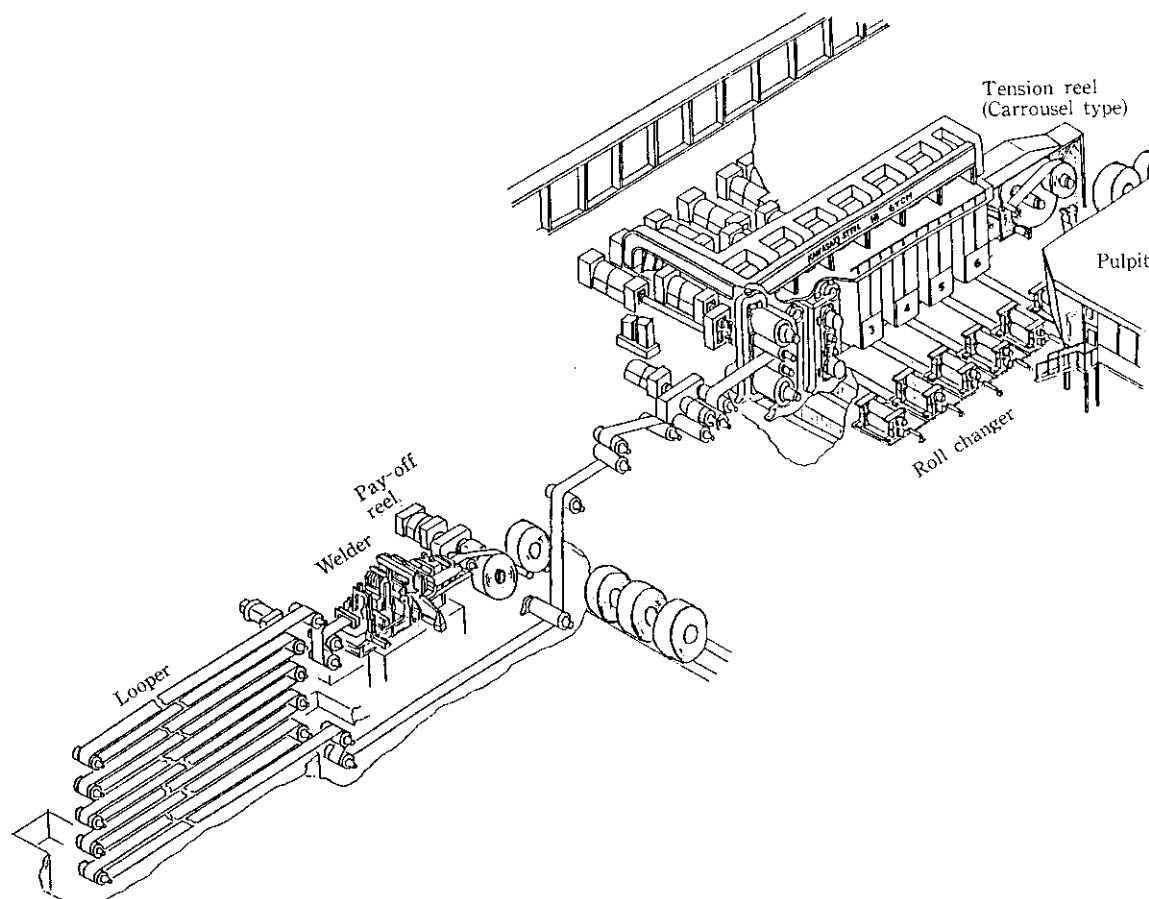


Fig. 1 Layout of fully continuous 6-stand tandem mill

Table 1 Specifications of revamped tandem mill

Items	Type and specifications
Coil thickness	
Entry	1.8~3.5 mm
Exit	0.1~0.6 mm
Max. width	1 295 mm
Max. weight	
Entry	28 000 kg
Exit	21 000 kg
Max. speed	
Entry	500 m/min
Exit	2 260 m/min
Welder	Fully automatic flush-butt welder
Accumulator	Loop capacity: 400 m
Mill control	Digital ASR
Flying shear	Rotary shear
	Max. cutting speed: 400 m/min
Tension reels	Carrousel-type tension reels

た点を巻き込みながら、出側で下工程の要求に応じた最大重量で分割してゆけばよい。このため、出側のコイル最大単重は下工程の制約から従来どおりの 21 t としたが、入側のコイル最大重量は新設のピックアップラインに合わせて 28 t とした。本ラインの全体配置を Fig. 1 に示す。

2.2 入側設備

入側設備を Photo 1 に示す。コイルは 3 本の入側ウォーキングビームにより搬送される間に、外径測定、幅調芯、バンドカット処理がなされる。入側コイルカーにコイルが乗ると、事前にコイルの口出しが行われる。先行材尾端がペイオフリールから払い出されると、尾端が溶接機内で自動的に定位置停止する。これに続いて、口出しされていた後行材が通板され、全自動フラッシュバット溶接機で先行材と溶接される。溶接と並行して、入側コイルカー上のコイルがペイオフリールに装着される。

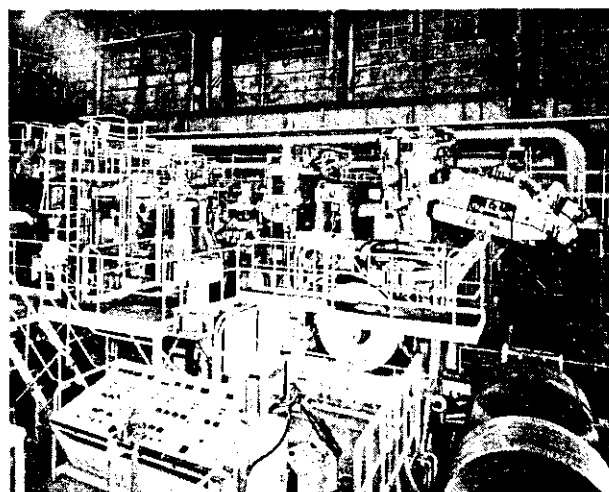


Photo 1 A view of entry section

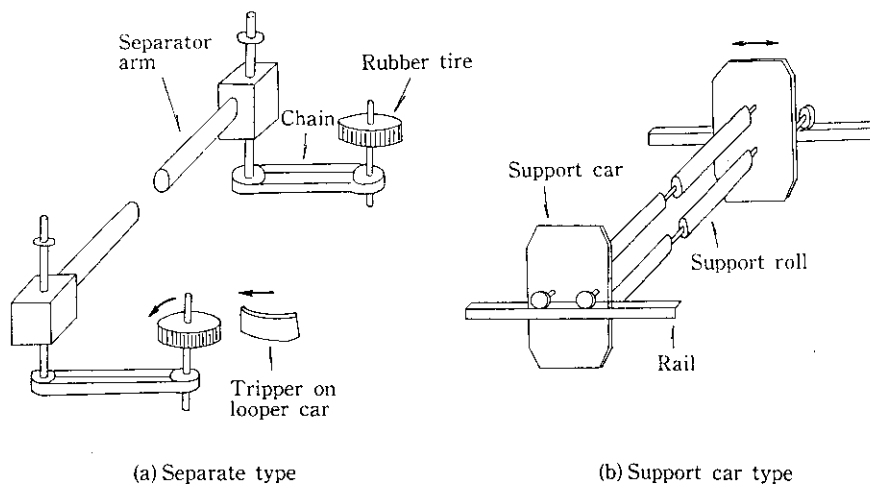


Fig. 2 Strip supporter in looper section

溶接機は、内蔵ロータリーシャー、熱間ビードトリミングなどの特色を持った、高能率全自動溶接機である。6T では、トリミング装置のバイトは3本とし、異厚溶接の際は薄い側の板厚を基準としたトリミングを可能とすることにより、異厚材接合部での圧延中の溶接破断の防止を図った。

入側で溶接する間にも能率良く圧延を続行するためには、ルーパー長を長くしておくことが必要であるが、一方、これは、建設費や占有スペースの増大に結びつく。溶接時の入側停止時間（先行材自動減速開始から加速までの時間）を90秒とし、6T の材料構成からルーパー長を400mとした。また、10ストランドルーパーと小径のルーパーロールの採用により、コンパクトなルーパーとした。さらに、10ストランドのルーパーとしたことにより、ルーパークーの移動速度が低速となるため、セパレートタイプにかわり、メンテナンス上有利なサポートロールカータイプ (Fig. 2) のストリップサポート方式を採用することができた。

ストリップの蛇行に対しては注意が払われ、ルーパーの固定ロール側をすべてステアリングロールとし、合計6台のステアリング装置を設置した。

2.3 圧延機

完全連続圧延機では圧延機内に常時ストリップが存在するため、板有りの状態でワークロールの組替えを可能とし、生産性の向上を図った。また、6T で圧延されるストリップは極薄材であるため、停止後の再スタート時に破断しやすい。これは、バックアップロールの軸受の油膜切れによる張力変動に起因することから、軸受に高圧の潤滑油を供給するハイドロスタティック給油装置を全スタンドに設置した。圧延機の外観を Photo 2 に示す。

2.4 出側設備

圧延機出側には、ブライドルロール、ピンチロール、剪断機、カラーゼンションリール等が設置されている。これらを Photo 3 に示す。巻きとられたコイルは出側コイルカーとウォーキングビームで搬出される。ここには、板面点検機、マーカー、結束機、秤量器が設置されている。また、コイル座屈防止のためのスプールをバッグから自動的に取り出し、幅により分類し、テンションリールに装着するスプール準備機を開発した。スプールは能率低下を防止するため、巻込側のリールに圧延と並行して装着するようにした。



Photo 2 A view of mill section

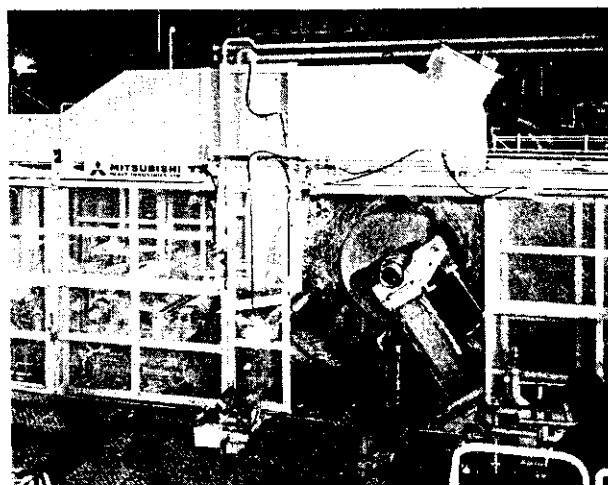


Photo 3 A view of delivery section

2.5 プロセス制御システム

2.5.1 ミルモーター制御

ミルのメインモーターの制御系をデジタル自動速度制御 (Digital automatic speed regulator) に改造し、シャーカットや走間板厚変更の際の 200~400 m/min という低速圧延時にも板厚精度を保証した。

2.5.2 連続化のための計装機器

Fig. 3 に、連続化後の計装機器の配置を示す。

溶接機入側には γ 線厚さ計を装備している。厚さ計で実測した板厚を用いて厚さ方向の中心合わせ精度の向上をはかり、溶接強度を高めている。また、実測した板厚を用いてロール間隙設定計算を行うことにより、その精度を向上させている。

一方、圧延機出側のX線厚さ計は2台設置している。常時ストリップが存在するため、頻繁に1台をオフラインに自動的に引き出し、内蔵サンプル板による較正を行っている。また、較正後、オンラインに復帰した時点で、2台の厚さ計の比較を行うことにより異常が発生していないことがチェックされる。これらの方法により、連続圧延での板厚精度の保証を図っている。

連続圧延機内のコイルトラッキングは、パルス発振器 (Pulse generator) による距離トラッキングを基本としているが、3台の溶接点検出器でトラッキングのずれに対する補正を行っている。

2.5.3 コンピュータシステム

6T に装備されたコンピュータシステムを Fig. 4 に示す。操業管理用プロセスコンピュータ (MELCOM 350-60/500) は、32ビットの演算処理装置、4メガバイトの主メモリ、100メガバイトの補助メモリを持つ大型のコンピュータである。この大型のコンピュータにより、高精度で複雑なロール間隙、ロール速度の設定計算を行っている。さらに、摩擦係数や圧下位置零点の学習計算を行い、その精度を高めている。このコンピュータは大量のデータを上位ラインコンピュータから受信し、コイルトラッキングを行い、下位のコ

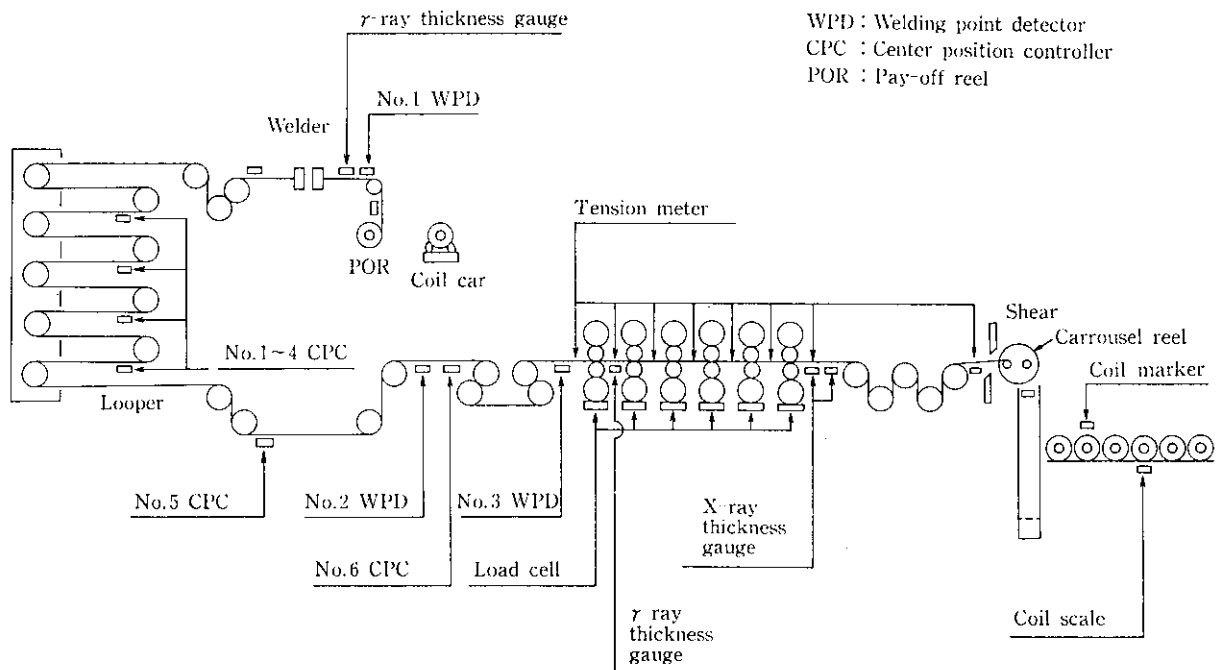


Fig. 3 Instrumentation layout of 6 stand tandem mill

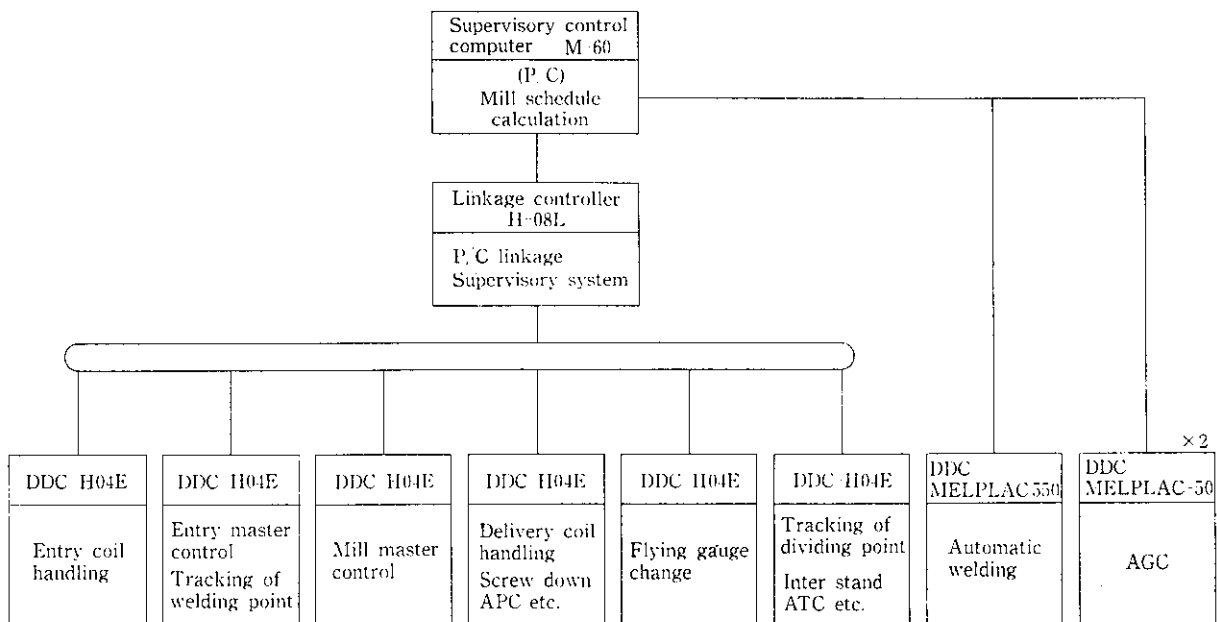


Fig. 4 Constitution of 6 stand tandem mill control system

ントローラに必要なデータを自動設定している。オペレータガイダンスの機能なども有している。

リンケージコントローラ (HIDIC-08L) は、プロセスコンピュータからデータを受信し、下位のコントローラにデータを送信する。プロセスコンピュータがダウンした場合には、オペレータがデータを入力することにより、ミル操業も可能である。リンケージコントローラは、インターロック表示などの機能も有している。

DDC システムは、2 台の既設 AGC (MELPLAC-50)、溶接機専用の DDC (MELPLAC-550) と連続圧延機を制御する 6 台の DDC (HISEC-04E) で構成される。

立上げ調整を円滑に行うため、立上げ後必須の機能である主幹とハンドリングを 4 台の DDC に、また、調整上の手間のかかる機能である走間板厚変更、自動分割などを 2 台の DDC に配分した。この結果、予定通り円滑な立上げを実現することができた。

また、オイルセラーのポンプ、電磁弁の制御装置は、シーケンサーにリプレースし、メンテナンスフリー化を図るとともに、システムの拡張性をもたせた。

3 完全連続圧延のための新技術

3.1 極薄材のロール間隙設定計算

完全連続圧延機では、走間における板厚変更技術が重要となる。これは後述するように圧延機のロール間隙とロール速度を順次変更してゆくが、張力変動を小さくし、また、オフゲージを短くするためには精度の高い設定計算モデルが必要である。このため、極薄材の圧延に適した以下のような特徴を有する設定計算モデルを開発した。

- (1) 圧延荷重式は材料の弾性変形も考慮した Bland & Ford の厳密解⁶⁻⁸⁾を用い、数値積分することにより精度の向上を図った。32 ビットのコンピュータにより、その数値積分が容易にできるようになった。
- (2) 変形抵抗に対し、コイルの炭素含有量、マンガン含有量、熱延仕上温度 (FDT)、熱延巻取温度 (CT) を補正することにより精度の向上を図った。

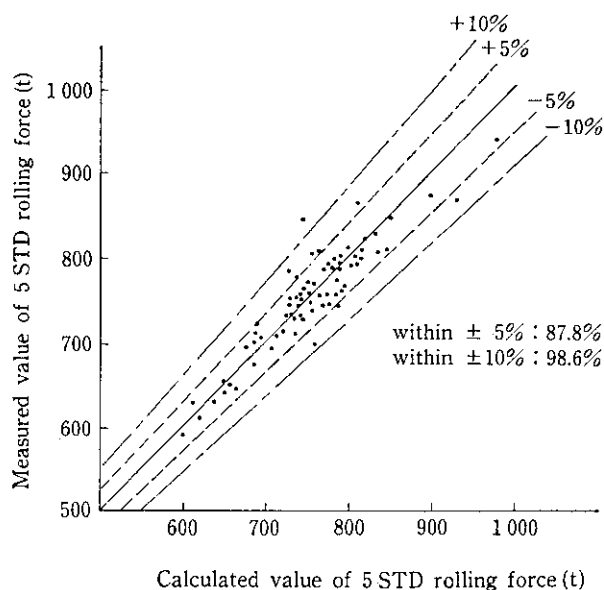


Fig. 5 Comparison between calculated and measured values of rolling force

- (3) 摩擦係数は、ロール速度と圧延距離の関数である。摩擦係数は、速度の上昇とともにストリップ温度が上昇するために増大するが、ロールバイト下のくさび効果により減少する。一方、圧延距離とともにロールの摩耗は進行し、摩擦係数は減少する。これらの要素の加算により摩擦係数は変化する⁹⁾。低速領域に属する板厚変更時の摩擦係数を求めるためには、高速時の摩擦係数から速度を補正して計算する方法と、低速圧延時の圧延データから直接、摩擦係数を逆算する方法がある。6T の圧延油給油方式の特性調査結果から後者を採用し、精度の向上を図った。

この結果、例えば No. 5 スタンドを例にとれば、荷重予測精度は $\pm 5\%$ に 88%, $\pm 10\%$ 以内に 99% が収まるという好成績を上げている (Fig. 5)。

3.2 走間板厚変更

走間板厚変更とは、ストリップの走行中に各スタンドのロール間隙およびロール速度を順次変更することにより、ストリップの鋼種、母材厚に対応し、製品厚を変更することである。変更予定点をトラッキングしながら、そのポイントで製品厚などを変更してゆくが、極薄材の板厚変更においては、スタンド間張力の変動を最小限に抑え、ストリップの破断を防止することが必要である。この板厚変更を精度の高い制御方法で実施しており、Fig. 6 に示すように張力変動も少なく、しかも最小のオフゲージ長で板厚が変更されている。

現在では、走間板厚変更の面から板厚の変更量に制約を加える必要はなくなった。また、生産能力を向上させるため、減速しながら板厚を変更することも実施している。

3.3 デジタル自動速度制御

従来の 6T では 500 m/min を下回ると十分な板厚精度を確保することが困難であった。ところが、完全連続圧延機ではシャークットや走間板厚変更の際に 200~400 m/min で圧延する必要がある。このため、圧延機は速度検出をパルス発振器 (Pulse generator) に変更することにより、低速圧延時の速度検出精度の向上を図った。また、速度制御系をデジタル化し、制御精度の向上を図った。その 6T の電源は MG (Motor generator) 方式であるにもかかわらず、低速時の板厚精度も極めてすぐれている。

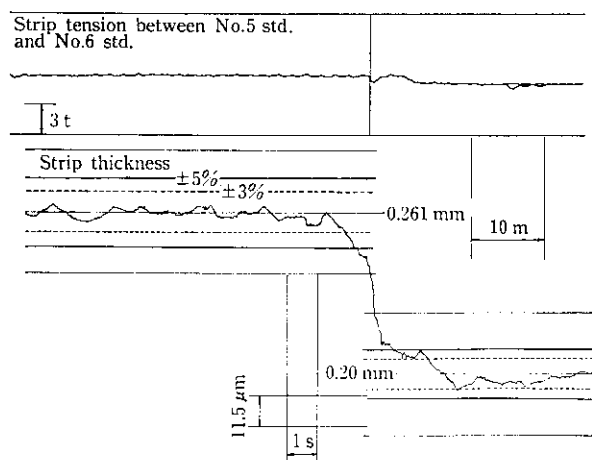


Fig. 6 Tension and thickness change at flying gauge change (2.3/0.261→0.2 mm)

3.4 カローゼルテンションリール

カローゼルテンションリールを採用することにより、シャークカット後の巻付けがシャークに近い一定の位置で行われるため、薄物の通板性向上、自動化、巻付けの高速化が可能となる。Fig. 7 に示すように、6T では、2 軸平面並列入力軸とリングギヤ（遊星ギヤ）を使用した複列リールのカローゼルテンションリールを採用した。この稼動状況は極めて順調である。しかも、公転前に最高速度の 2 260 m/min まで加速した場合、従来の技術では、二次危険速度による共振が発生していたが、リールシャフトの等方化などの振動対策をとった結果、公転前や公転中も最高速度で圧延することが可能になった。

3.5 圧延機出側ブライドルロール

巻取張力を最適の範囲に制御しないとコイルの座屈が発生しやすくなる。一方、最終スタンド出側の張力は強いほうが中立点が入側に移動し、チャタリングやスリップは発生しにくくなり、圧延は安定化する。Fig. 8 はそれを示したもので¹⁰⁾、Hill の荷重式、

Hitchcock のロール偏平式、Bland & Ford の中立点の式を用いて計算した例である。以上の知見に基づき、6T では圧延機出側にブライドルロールを設置し、両者の張力を絶縁した。これにより、圧延の安定化と最適な巻取張力制御が行われている。

3.6 自動化技術

入側と出側のハンドリングは全て自動化されている。特に、溶接時の入側停止時間は圧延機的能力を支配する大きな要素である。短時間で処理するために、シーケンスの改造などを行い、現在 Fig. 9 のように入側自動減速開始から加速まで 80 秒で処理されている。

4 結 言

千葉製鉄所における極薄用冷間圧延機の完全連続化の概要を紹介した。当ラインは、これからの時代の要請に応じた、高い品質、歩留、生産性を達成するものである。この稼動に当っては、操業、機械、電気、計装、技術研究所の技術を結集し、走間板厚変更、トラッキング、カローゼルリール、板有ロール組替などの技術開発を行った。この結果、圧延機は順調に稼動し、改造前を上回る生産性を達成している。

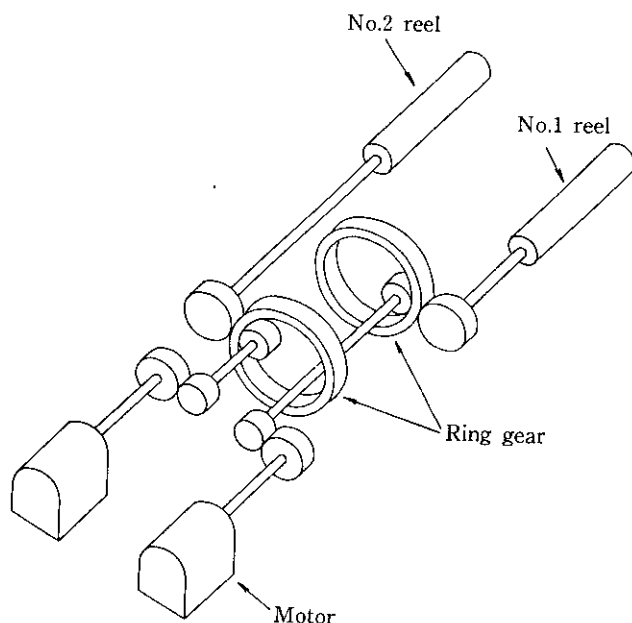


Fig. 7 Schematic diagram of ring gear type carousel reel

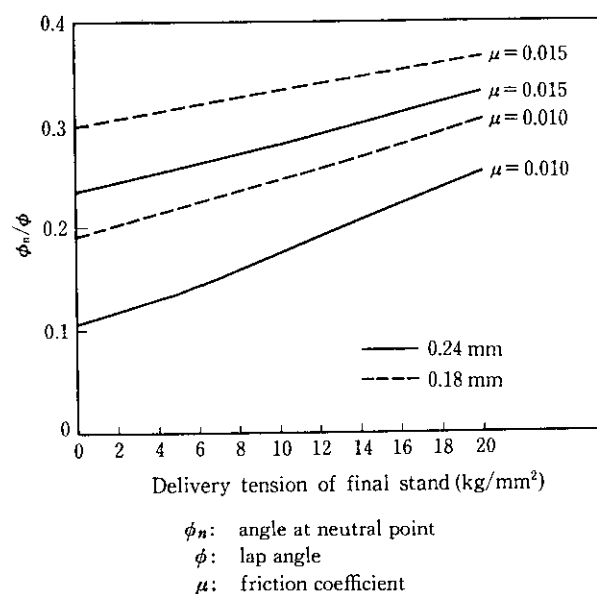


Fig. 8 Deviation of neutral point

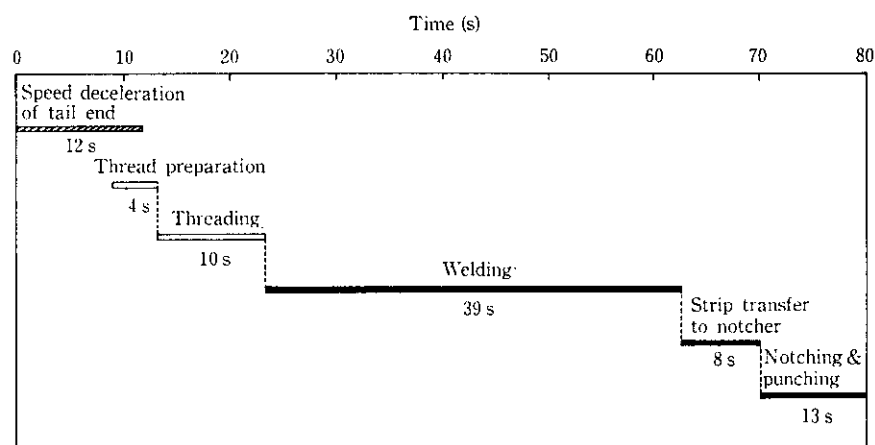


Fig. 9 Timing chart at welding

参 考 文 献

- 1) 柳島章也, 菅沼七三雄, 碓石孝一, 近藤恒次, 手柴東光: 川崎製鉄技報, 8 (1976) 4, 13
- 2) 青山 勝, 角南秀夫, 渡辺敏夫, 柳島章也, 菅沼七三雄, 碓石孝一: 鉄と鋼, 67 (1981) 15, 308
- 3) T. Teshiba, N. Suganuma, F. Yanagishima, K. Ikariishi, H. Sunami, T. Araki, I. Shimonishi: "Science and Technology of Flat Rolled Products", International Conference on Steel Rolling ISIJ, Tokyo (Japan), September (1980)
- 4) 荒木卓也, 下西幾二, 田宮稔士, 柳島章也: 鉄と鋼, 68 (1982) 5, S385
- 5) 中里嘉夫, 柳島章也, 田宮稔士, 手柴東光, 久々湊英雄, 荒木卓也, 藤原俊二: 川崎製鉄技報, 14 (1982) 4, 476
- 6) H. Ford, F. Ellis and D. R. Bland: "Cold Rolling with Strip Tension (Part I)", JISI, 168 (1951), 57
- 7) H. Ford and F. Ellis: "Cold Rolling with Strip Tension (Part II)", JISI, 171 (1952), 239
- 8) D. R. Bland and H. Ford: "Cold Rolling with Strip Tension (Part III)," JISI, 171 (1952), 245
- 9) 今井一郎, 浅村 峻, 北島聰幸, 井上直温, 菅 輝夫, 蔵田喜輝: 塑性加工春季講演会, (1981), 245
- 10) 川崎製鉄 (株): 特願昭 58-21609