

川鉄水島ホットスタンド間厚み計による板厚制御システムの開発

Development of a Gauge Control System Using
Interstand Thickness Gauges in Mizushima Hot Strip Mill

川崎製鉄(株)水島製鉄所

井上正敏*・藤本隆史・潮海弘資

上村正樹・上原淳則・村山 薫

加工・制御研究センター

吉田 博・小関智史

1. 緒 言

冷延製品からの代替化や、加工過程での自動化が進むにつれ、需要家からの熱延製品に対する板厚品質の要求が一段と厳格化してきている。板厚精度向上を目的として、水島製鉄所熱間圧延工場では、仕上圧延機F4-F5間、F5-F6間、F6-F7間にX線厚み計を3台設置し、スタンド間厚み計を用いた新板厚制御システムを開発し、板厚精度が飛躍的に向上したので報告する。

2. スタンド間厚み計概要^{1),2)}

2-1 レイアウト

Fig.1にスタンド間厚み計の設置位置を示す。又、厚み計のリトラクト設備、メンテナンス設備をFig.2に示す。

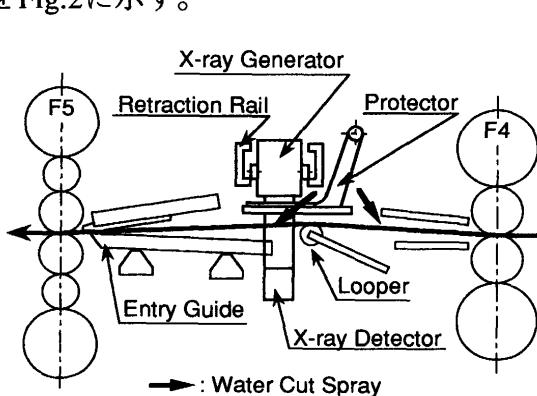


Fig.1 Arrangement of interstand thickness gauge

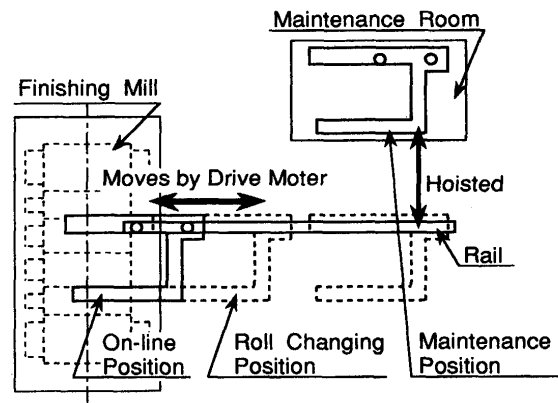


Fig.2 Equipment for retraction and maintenance

本設備の特徴を以下に示す。

- (1) 厚み計はFig.1に示すように入側ガイドとルーパの間に設置されている。このため、ロール組替と連動して厚み計がリトラクトし、プロテクターが上昇する。
- (2) 厚み計をFig.2の様にドライブ側ハウジング上方に吊上げた状態で、保守作業を行うことにより、設備改造量を低減し厚み計の構造を簡素化した。
- (3) 走行レール架台基礎をハウジングから分離させることにより、厚み計に伝わる振動を抑制した。
- (4) 大きなスペースを占めるX線発生器を上部に配置した。
- (5) パソコンとシーケンサーを利用して3台の厚み計のCRTオペレーションを実現した。
- (6) 板厚計から出力される異常メッセージをパソコンで記憶することにより、異常の傾向管理を可能とした。
- (7) スタンド間の測定環境は、スタンド出側に水切りスプレーを設置、プロテクターに水切りエアを設置し、改善を図った。

2-2 厚み計仕様・精度評価

Table 1に厚み計本体の仕様を示す。またFig.3にF4-F5間厚み計のオンライン測定精度を示す。オンライン精度は中間スタンド仕上げ材の測定値とF7出側厚み計の測定値を全長にわたり比較したものである。各厚み計は安定して連続測定できており、かつ十分な測定精度が得られていることが確認できた。

Table 1 Specification of Thickness Gauge

Applicable Range of Strip Thickness	1~32 mm
Setting Accuracy	Set Strip Gauge $\pm 0.15\%$
Response	30ms ($t < 15\text{mm}$) 100ms ($t \geq 15\text{mm}$)
Noise	$\pm 0.06 \sim \pm 0.31\% \times t$ (1.65σ)
Retract Speed	300 mm/s

3. 新板厚制御システム

スタンド間厚み計による実測板厚に基づき下流スタンドの压下位置を修正するダイナミックセットアップ制御（以下X線ダイナミックセットアップと称する）を開発した。³⁾

3-1 制御ロジック

X線ダイナミックセットアップは、仕上げスタンドF_{i-1}~F_i間のX線厚み計で測定した入側板厚偏差（実績板厚-目標板厚）に基づいて以降のスタンドの压下位置を先端噛み込み前に修正することにより、最終仕上げスタンド出側で製品板厚を得る制御である。この時の压下位置の修正量は、板形状の乱れを防止するため複数スタンドに分配される。また、マスフローの乱れを防止するために速度の修正も同時に行う。それぞれの修正は以下の基礎式により行われる。

$$\Delta S_i = G_i \cdot \frac{1}{M_i} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial H} \right)_i \cdot \Delta H_{xi} \quad (1)$$

$$\Delta V_{Ri} \approx G_{VRi} \cdot \left(\frac{\Delta h_i}{h_{0i}} - \frac{\Delta h_j}{h_{0j}} + \frac{\Delta f_i}{1 + f_{0i}} - \frac{\Delta f_j}{1 + f_{0j}} \right) \cdot V_{Ri} \quad (2)$$

ここで、 ΔS ：压下位置修正量， G ：压下修正ゲイン， M ：ミル定数， ΔH_x ：入側板厚偏差（ $\partial P / \partial H$ ）：圧延荷重に及ぼす入側板厚の影響係数， ΔV_R ：速度修正量， G_{VR} ：速度修正ゲイン， h_0 ：目標出側板厚， f_0 ：先進率（初期セット）， Δh ：出側板厚偏差， Δf ：先進率偏差， j ：同期スタンド番号
第 i スタンドの压下位置修正量 ΔS_i は入側で実測した板厚偏差 ΔH_{xi} から影響係数を用いて求める。ただし、形状の制約により目標とする压下位置修正が出来ない場合には、 F_{i+1} 入側に板厚偏差が残存するとして、 F_{i+1} スタンドで同様の压下位置修正を行う。また速度修正は、压下位置の修正に伴って変化する、板厚・先進率の変化を求め、 F_{i-1} スタンド以前の速度を修正する。

3-2 制御効果の検証

新制御を適用した場合の効果について、当社で開発したダイナミックシミュレータ⁴⁾を用いて検討した。Fig.4に従来型制御、F4-5間厚み計のみを用いた制御、および後段3スタンドの厚み計を用いた制御を適用した場合の各スタンドの出側板厚偏差の変化を示す。ただし、圧延外乱として、仕上げ圧延機入側での温度測定誤差 $\Delta T = -10^\circ\text{C}$ 、各スタンドでの压下位置設定誤差 $\Delta S_i = +100\mu\text{m}$ を与えた。AGCが入るまでの最先端の板厚を比較すると、F4-5

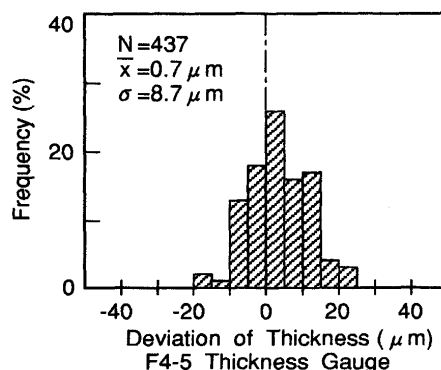


Fig.3 Accuracy of thickness gauge

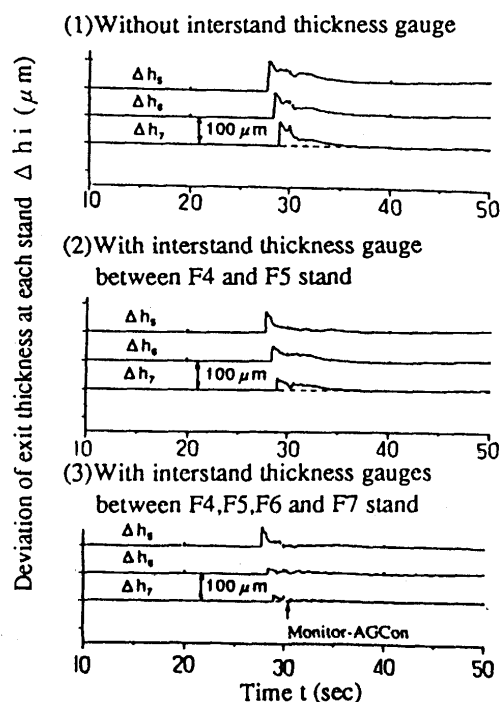


Fig.4 Effect of gauge control with interstand thickness gauges on deviation of exit thickness at each stand in finishing train ($3.0 \times 1200\text{mm}$)

間厚み計のみによる制御では、後段スタンドで生じる板厚偏差が残存するが、3台の厚み計による制御ではほとんど修正されている。

また、Fig.5には各スタンド出側での急峻度の最大変化量を、従来制御、F 5 - 6 間の厚み計のみによる制御、3台の厚み計を適用した制御について比較した。F 5 - 6 間のみの制御では、F 6 での圧下修正量が大きくなり、F 6 出側での急峻度が0.5%を越えてしまう。しかし、厚み計3台を用いた制御では形状の乱れを抑えるために圧下修正量各スタンドに分配することができ、急峻度をF 6、7とも0.5%以下と小さく抑えられている。

Fig.6にはシミュレーションにより得られた結果から、スタンド間厚み計の設置位置による最先端精度向上効果およびスタンド間の最大急峻度の比較を示す。厚み計を下流側に設置した場合には、形状の制約を受けて大きな圧下修正はとれない。一方、上流側に設置した場合には、形状の制約は緩やかとなるが、下流スタンドの誤差により得られる板厚精度の向上は小さくなる。以上の結果から、板形状やマスフローに関して円滑に圧延でき、かつ板厚を向上させる為には、仕上げミルの後段に3台の厚み計を設置する事が最適であることが確認できた。

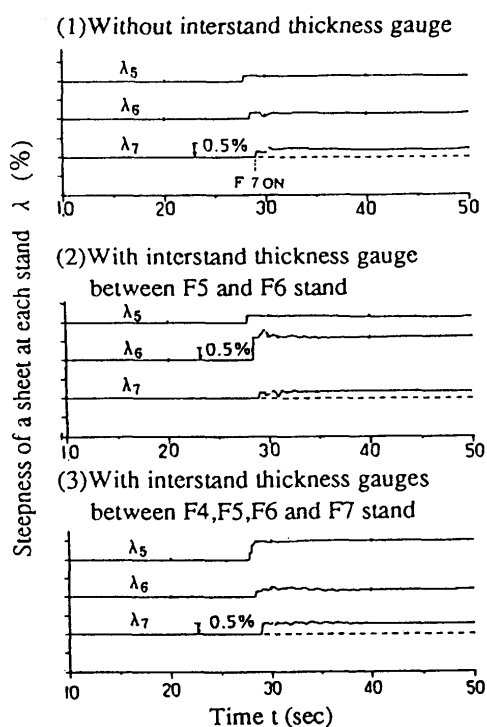


Fig.5 Effect of gauge control with interstand thickness gauges on steepness of strip at each stand in finishing train (3.0×1200mm)

3-3 制御システム構成

Fig.7に本制御を実現するために構築した制御システムの概要を示す。本制御は仕上げミル後段のスタンド間をストリップの先端が通過する間に行われねばならない。このため制御の応答性の向上を主眼にダイナミック制御専用のP/C (DDC-1) の導入及びセットアップ計のP/Cの更新を行っている。⁵⁾

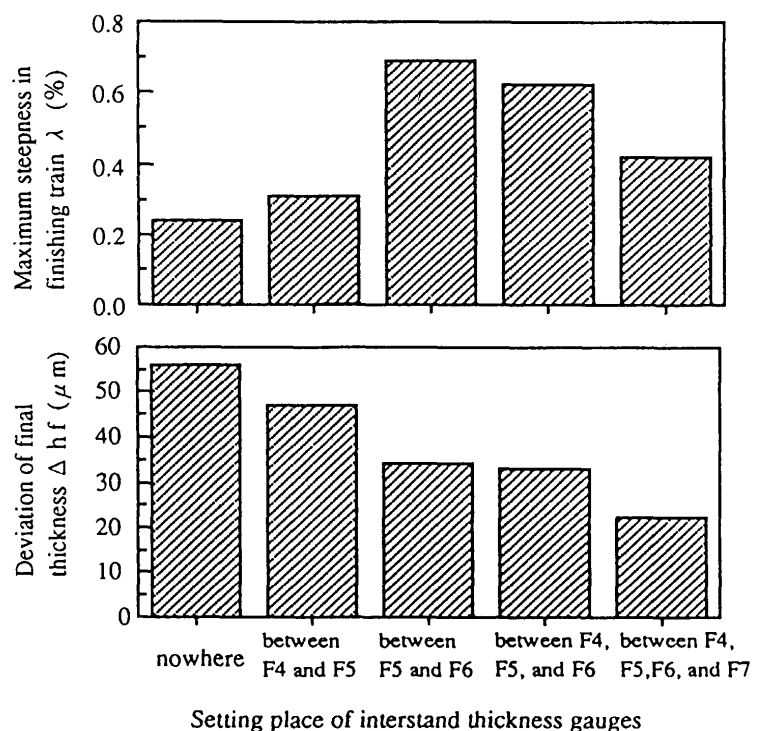


Fig.6 Effect of number of thickness gauge on deviation of thickness and steepness at leading end of strip

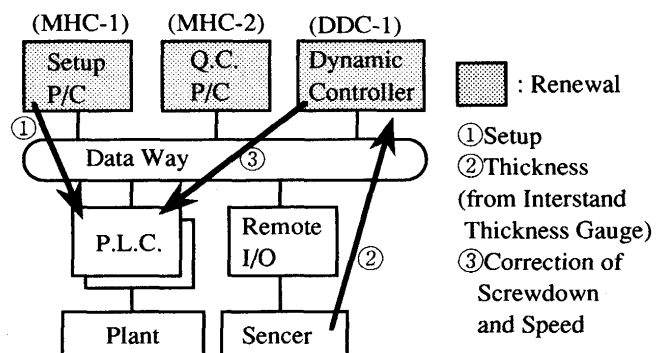


Fig.7 Configuration of control system

4. オンライン適用結果

Fig.8に3台の厚み計を用いたX線ダイナミックセットアップの実施例を示す。上流スタンドで生じた板厚偏差をダイナミックセットアップで修正し、最終スタンド出側で板厚偏差が完全に吸収されていることがわかる。

Fig.9にはX線ダイナミックセットアップ工程化前後の最先端板厚精度の推移を示す。

(ストリップ先端4~10m平均) スタンド間厚み計はF5-6間, F4-5間, F6-7間の順に順次工程化されたが、それにつれてシミュレーションの結果と同様に改善が図られ、最終的には約40%の向上が認められた。

5. 結 言

ホット仕上げミルの後段に3台のスタンド間X線厚み計を設置するとともに、これらを活用する新板厚制御システム(X線ダイナミックセットアップ)の開発を行った。本制御の工程化により、飛躍的に板厚精度が向上した。

本システムは1991年8月のF5-6間の板厚計の工程化以来順調に稼動し、鋼板の品質向上、歩留り改善に大きく寄与している。

<参考文献>

- 1) 上原ら：CAMP-ISIJ, Vol.5(1992)-1515
- 2) 山下ら：東芝レビュー, Vol.47(1992), No.8-613
- 3) 吉田ら：第35回塑性加工連合講演会 (1984)-197
- 4) 吉田ら：塑性と加工, Vol.23(1982), No.258-691
- 5) 花田ら：CAMP-ISIJ, Vol.5(1992)-1513

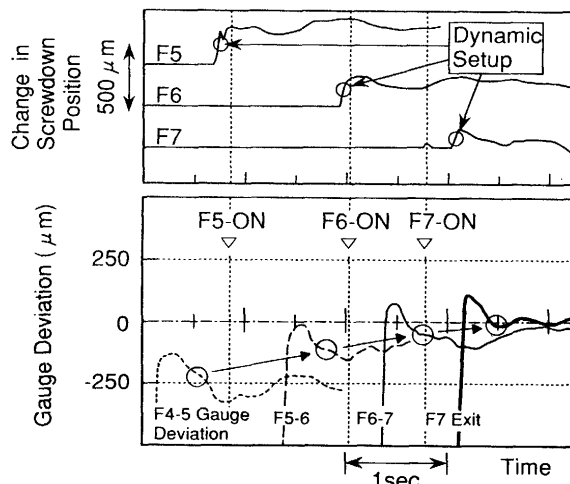


Fig.8 Example of X-ray dynamic setup with three thickness gauges (3.2×1200mm)

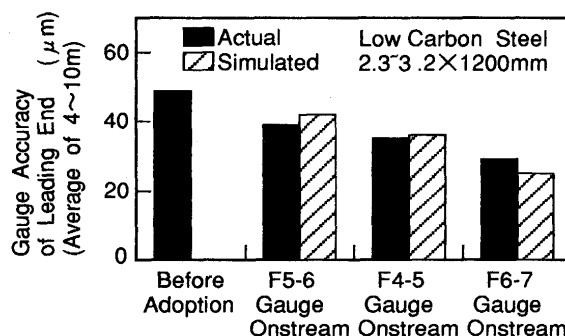


Fig.9 Trend in leading end gauge accuracy before and after adopted of X-ray dynamic setup