

討23 ホットストリップミルの粗圧延における自動板幅制御

日本鋼管 福山製鉄所 ○山本 正治 竹腰 篤尚
大西 良弘 山崎 春政
技術研究所 岡戸 克

1. 緒言

板幅精度の改善はトリム代、板幅不足による不良品の減少を可能とし、歩留の向上が図られる。また、今後の新しい操業技術、たとえば低温加熱圧延法やスラブの幅集約、製鋼-熱延の直送圧延など、いずれも板幅精度に悪影響をおよぼすものである。これらの問題点を解決し、その効果をより発揮させるためにも板幅制御技術の確立は重要である。本報は、このような観点から開発、実用化した自動板幅制御装置について述べるもので、その特徴はつぎのとおりである。

- (1) 幅圧延前の実績板幅、温度から水平圧延後、目標板幅になるように整口-ロール開度を予測制御する。
- (2) 先、後端部を含む全長にわたり同一制御モデルで統一的に制御を行う。
- (3) スキッドマークによる板幅変動に対する制御も可能である。

2. 機器構成

本装置は福山製鉄所第二熱延工場最終粗圧延機(E5-R5)に設置されたもので、その機器構成をFig 1に、また、計測機器仕様をTable 1に示す。

3. 制御方法

3.1 基本モデル

幅広がりモデルの骨子は、まず幅圧延とドッグボーン変形、さらには水平圧延と幅広がりとの関係の評価することにある。評価にあたってはプラスティシンのモデル実験、および第二熱延工場での実機試験を行った。

幅圧延により生じるドッグボーンとよばれる局部変形をFig 2に示すが、まずその高さ(H_D, H_R)、ピーク位置(A)、変形領域(B)を評価しなければならない。前述の実績等によりドッグボーンプロファイルを四次式で近似し、矩形に換算した場合、等価平均ドッグボーン高さ(H_{dm})は次式のように整理される。

$$H_{dm} = \frac{(10A^2 - 8AB + B^2)B^3 \Delta H_D}{30A^2(A-B)^3} + \frac{(10A^2 - 5AB + B^2)\Delta H_R}{30A^2} + H_0 \quad \dots (1)$$

$$A = 8.7H_0^{0.25} \cdot \Delta We^{0.07} \quad \dots (2)$$

$$B = 3.3H_0^{0.71} \cdot \Delta We^{0.20} \quad \dots (3)$$

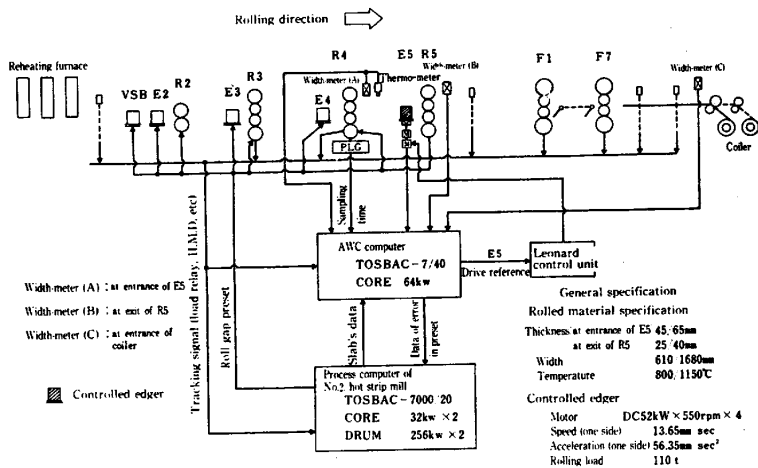


Fig. 1. Mill and arrangements for Automatic Width Control system in No2 H.S.M

Table 1. General specification of the measuring instruments

Measuring instruments	Specification
Width-meter mm	Range: 600-1800 (set)±25 (deviation)
	Response: 0.04 sec
	Accuracy: ±0.5 mm
Thermometer °C	Range: 700-1200
	Response: 0.001 (63%, transmitter side) sec
	Accuracy: ±10 °C
Load cell t	Sensor: Si cell
	Range: 0-100
	Accuracy: ±2
	Sensor: Strain gauge

$$\Delta H_D = 9.8 \times 10^{-2} H_0^{0.56} \cdot \Delta We^{0.70} \quad \dots (4)$$

$$\Delta H_R = 2.8 \times 10^{-2} H_0^{0.72} \cdot \Delta We^{0.23} \quad \dots (5)$$

(A: ドックボーンピーク位置 B: ドックボーン変形領域 H_0 : 幅圧延前板厚 ΔW_e : 幅圧下量)
 $\Delta H_D (= H_D - H_0)$: ドックボーン最大高さ $\Delta H_R (= H_R - H_0)$: D-ロール接触増加量

つぎに ドックボーン生成材を水平圧延した場合の幅広がり は ドックボーンのない場合に対しドックボーンプロファイルに依存する一定の比率で増大すると考え Siebel の式を変形して(6)式とした。

$$\Delta W = \left\{ a \left(\frac{H_{dm} - H_0}{H_{dm} - H_1} \right)^2 + b \right\} \frac{(H_0 - H_1) \sqrt{R_H (H_0 - H_1)}}{H_0} \dots (6)$$

3.2 制御モデル

前項の幅広がりモデルを基本として 実機における幅圧下量(E5幅圧延)と幅広がり量(R5水平圧延)の関係を調べた。その結果を Fig 3 に示すが これからつぎの結論が得られた。

- (1) 同一幅圧下量でも 鋼板温度が高くなると幅広がり量が小さくなる。とくに 幅広がりでの結果は現場で観察されるスキッドマーク性板幅変動とその傾向が一致する。(a)
- (2) 同一幅圧下量でも 板幅が広いほど幅広がり量は大きくなる。しかし、この現象はアラスティシンモデル圧延では観察されなかった。(b)

以上の結論をもとに パー間、パー内幅変動を単一のモデルで制御させることを目的として 制御モデルの開発を行った。基本モデルでは 一定の幅圧延により生じるドックボーンプロファイルを矩形化し 等価平均ドックボーン高さ (H_{dm}) を幅圧延前板厚 (H_0)、幅圧下量 (ΔW_e) で評価した。しかし このモデルではスキッドマーク性板幅変動を考慮していない。そこで 制御モデルではスキッドマークによるドックボーンプロファイルの差異を評価するために幅方向の平均変形抵抗を導入した。また、先、後端部の非定常変形も考慮して以下のモデル式を導いた。

$$H_{dm} = 1.64 \times 10^{-6} H_0^{2.79} \Delta W_e^{1.26} K_{fm}^{0.10} \alpha(L) + H_0 \dots (7)$$

$$K_{fm} = 0.40 \exp(5000/T_k) \cdot \epsilon^{0.41} \dot{\epsilon} f(T_k, C_{eg}) \dots (8)$$

$$\epsilon = \ln \{ W_0 / (W_0 - \Delta W_e) \} \dots (9)$$

$$\dot{\epsilon} = \{ 2\pi \cdot RE \cdot NR / (60 \sqrt{RE \cdot \Delta W_e}) \} \epsilon \dots (10)$$

$$f = 1.26 \times 10^{-4} T_k + 0.075 C_{eg} - 0.05 \dots (11)$$

(H_0 : 幅圧延前板厚 W_0 : 幅圧延前板幅 ΔW_e : 幅圧下量
 K_{fm} : 幅方向平均変形抵抗 α : 先、後端補正 L : 先、後端部からの距離
 T_k : 鋼板絶対温度 RE : 整D-ロール半径 NR : 整D-ロール回転数
 C_{eg} : カホンの当量 ϵ : 歪 $\dot{\epsilon}$: 歪速度)

先、後端部は幅圧延時に材料が長手方向に流れるためドックボーン生成は小さく 水平圧延後の幅広がり は小さい。このために幅落ちを生じるが 一板にはこの対策として一定のパターンで整D-ロールの開度を急開、閉する方法がとられている(ショートストローク法)。しかし この方法では幅、温度のバラツキが評価されていないため不都合な点が多い。そこで 本モデルでは 先、後端部の幅変動を評価するに

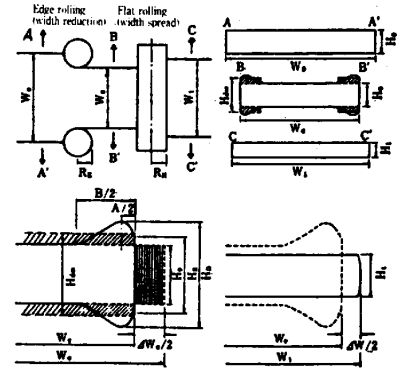


Fig 2. Deformation pattern at edge and flat rolling

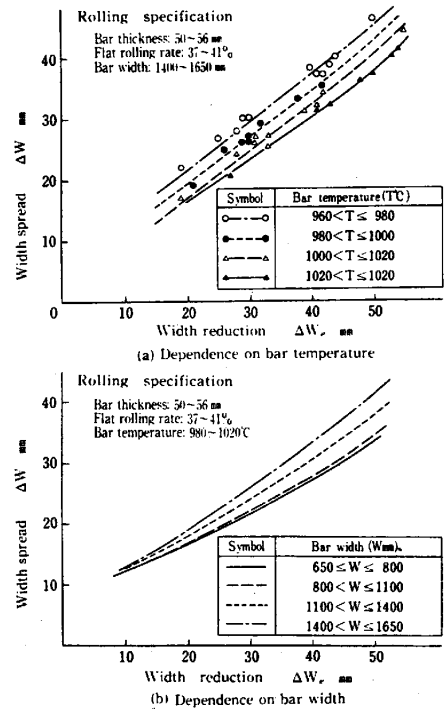


Fig 3. Effect of width reduction on width spread after flat rolling

め 平均ドッグボーン高さを先、後端部からの距離の関数で補正し 中央部との連続性を維持しながら単一の幅広がり式で全長の幅挙動を評価できるようにした。実際には Fig 4 に示すように同一幅圧下量に対して 先、後端部の幅広がりを中央部より小さくすべく 平均ドッグボーン高さを修補するようにした。また、ドッグボーン生成後の水平圧延による幅広がり は 前述の基本モデルに準じて平均ドッグボーン圧下比に依存する幅広がり増大率で評価する。しかし 前項で述べた絶対板幅によるドッグボーンプロファイルの差異にもとづく幅広がり量の差を考慮するため、以下に示すような変形を行った。

$$\Delta W = \left\{ a(w) \left(\frac{H_{dm} - H_o}{H_{dm} - H_i} \right)^2 + b(w) \right\} \frac{(H_o - H_i) \sqrt{R_H (H_o - H_i)}}{H_o} \dots (12)$$

(H_o : 幅圧延前板厚 H_i : 水平圧延後板厚 R_H : 水平ロール半径)
 (W : 鋼板絶対板幅 H_{dm} : 等価平均ドッグボーン高さ)
 $a(w), b(w)$: 定数

ここで 定数 $a(w), b(w)$ に関してはすべて実機圧延データを用い絶対板幅の関数として同定した。

3.3 制御方式

本板幅制御の制御ブロックを Fig 5 に示す。

(1). 実績入側板幅、温度によるフィードフォワード制御:

制御整ロー入側の実績板幅、温度にもとづき粗圧延機出側目標幅になるよう制御モデル式により 整ロー開度を連続的に予測計算し モデル誤差を補正後ミル常数を考慮して開度を設定する。

(2). 粗出側板幅実績によるフィードバック制御:

粗出側板幅実績を用いて 制御モデル式から再計算した整ロー開度とその実績の誤差分をバー内へフィードバックし 整ロー開度を修正する。

また 本板幅制御は単一ミルでバー間、バー内幅変動を改善することを目的としている。このため、幅調整範囲を大きくとるためには 整ロー幅圧下量を設備限界(荷重、産屈、かみ込み限界など)内で大きくとるべきであり したがって 整ロー入側幅狙いを適中させる必要が生じる。このため、本板幅制御では 幅圧下スケジュールの精度アップを図るため整ロー入側幅実績値を学習し VSBからE4までの開度プリセットへ反映できるよう改造した。さらに、粗圧延機出側目標板幅は従来オペレーターによる手動設定にたよっていたが 粗圧延機出側目標板幅設定不良による製品幅のねらい外れを防ぐため コイラー入側幅実績(製品幅実績)を各種圧延仕様ごとに学習し 自動的にフィードバック可能とした。

5. 制御結果とその効果

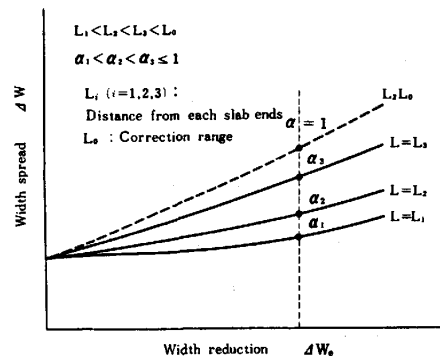


Fig 4. Correction of end effect on width spread model

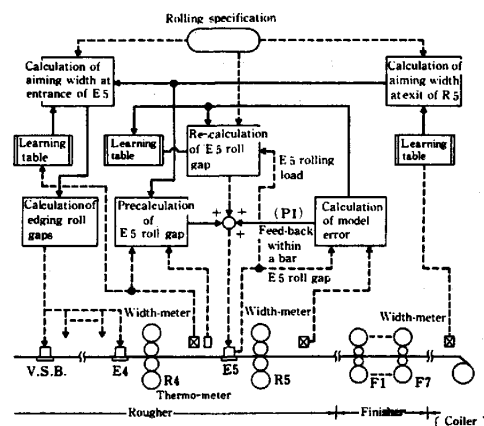
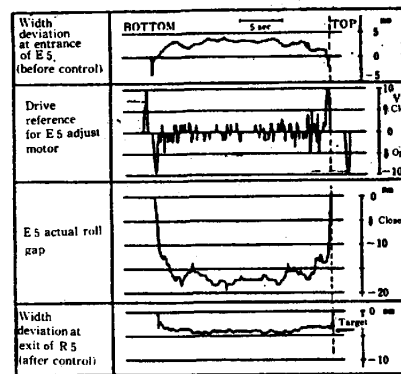


Fig 5 Procedure of A.W.C



スラブ寸法: 220×850mm コイラー寸法: 1.22×853mm

Fig 6 Dynamic behavior of A.W.C

前章で述べた制御モデルと方式により制御を行った場合のE5入側幅(制御前幅), R5出口幅(制御後幅), E5駆動信号, およびE5開度実績値をFig 6に示す。また, Fig 7には実際に当制御装置を適用した場合の改善例を, 通常スラブ枚(a)およびテーパースラブ枚(b)について示した。この結果から 鋼板先, 後端部の幅落ち, およびスキッドマーク性の板幅変動が改善され 製品幅変動の減少に寄与していることがわかる。つぎに 効果をさらに

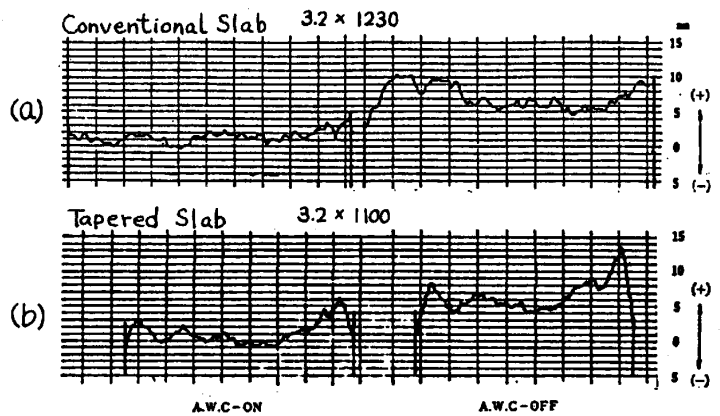


Fig 7 Improvement of the width accuracy of A.W.C

確認するための 大量の鋼板について 板幅精度の評価を粗出側幅 およびコイラー入側幅について行った。その結果をFig 8に示す。

また, このような板幅精度の改善効果は 冒頭で述べたようにトリム代の削減を可能とし, 歩留の向上が図られる。その実例として 第二熱延工場酸洗ラインにおけるトリム枚歩留の推移をFig 9に示しているが, 初期の目標であったトリム枚歩留の改善に寄与していることが確認できた。

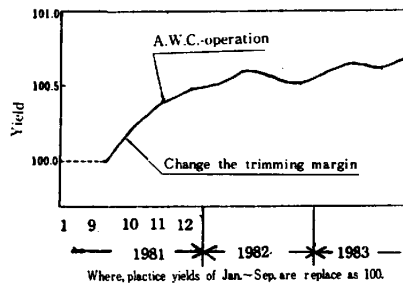


Fig 9 Yield of the Trimmed Strip in pickling line

6. 結言

今回実用化した自動板幅制御装置は, 粗圧延での幅圧下スケジュールをはじめ仕上圧延後の実績板幅をも考慮した総合的なシステムとして完成したもので 板幅精度の改善 ならびに歩留の向上に効果を発揮している。今後, より一層の板幅精度向上を図るためには 仕上圧延における張力制御法や板幅制御法についても研究, 開発をすゝめてゆく必要があると考えている。

7. 参考文献

- (1). 山口道広ほか: 熱延板幅制御の研究-1: 塑性加工春季講演会(1977).
- (2). 瀬寿康徳ほか: エッジマールによる自動板幅制御: 塑性加工春季講演会(1977)
- (3). 岡中克ほか: 熱延に於ける幅変動(第2報): 塑性加工春季講演会(1979)
- (4). 武井弘光ほか: 熱延に於ける幅変動(第1報): 塑性加工春季講演会(1979)
- (5). 中内一郎ほか: ホットストリップミルにおけるエッジマール圧延荷重, 動力式: 塑性加工春季講演会(1977).

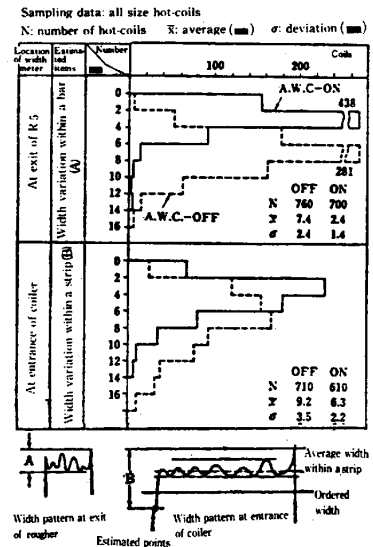


Fig 8 Comparison of width accuracy