

厚板圧延における最適寸法制御技術

小俣 一夫*・塚本 英夫*・那波 泰行*・田中 明広*

Optimal Size Control in Plate Rolling

Kazuo OMATA, Hideo TSUKAMOTO, Yasuyuki NABA, and Akihiro TANAKA

Synopsis:

This report describes plate thickness control and plate width control whose accuracy directly influences product yield. Concerning thickness control, it is necessary to increase the accuracy of gage-meter model for absolute mode AGC (Automatic Gage Control). Therefore, the authors developed a new roll bending model for operation. This model was obtained by correcting the solution of simply supported beam with the quadratic function of plate width by considering work roll balance force. Concerning width control, the authors developed a new method for calculating the thickness after broadside rolling, which was based upon the slab volume calculated in actual slab weight without scale losses in the reheating furnace.

These techniques greatly improved the accuracy of plate thickness and width. Consequently, ordered product yield can constantly be maintained at a high level of 94.5% (C. C. slab).

1. 緒 言

厚板圧延における寸法精度は、その良否が歩留りに直接影響をおよぼす。したがって寸法精度向上のための、板厚制御と板幅制御は、厚板製造技術の中でも特に重要な課題である。当所では、油圧圧下装置と計算機による絶対値 AGC システムを国内の厚板工場に先がけ開発・適用し、稼動当初より高い寸法精度を実現していたが、今回さらに飛躍的な向上を目的とし板厚、板幅制御の開発・改善を実施した。この結果、歩留り向上に多大な成果を挙げたので以下にその内容を紹介する。

2. 板厚精度の向上

2.1 絶対値 AGC

圧延における板厚精度の向上とは、板間板厚変動（板間変動）と板内板厚変動（板内変動）を最小にすることである。従来の板厚制御方法は、板間変動に対しては圧延荷重モデルとゲージメータモデルにて目標板厚が得られるように圧下位置をプリセットする方式をとり、板内変動に対してはロックオン AGC で対処してきた。この方式によれば、ゲージメータモデルが高精度でも、予測圧延荷重とロックオン時の実績圧延荷重が異なつた場合、目標板厚は保証されない。したがって板厚精度は圧

延荷重モデルその中でも特に変形抵抗推定モデルの精度で決定される。変形抵抗推定モデルについては従来から多くのモデルが提案され、最近では低温域での累積歪み効果など冶金的要因まで詳細に検討されたモデルが報告されている¹⁾。しかしながらこれらのものも実操業において、制御圧延を含めた全圧延材に対して精度 5%（板厚換算約 200 μm）以下を維持することはきわめて困難である。そこでこれらの問題を解決するために当所において開発されたのが絶対値 AGC²⁾である。本方式はゲージメータモデルが圧延荷重モデルに比べはるかに高精度化できることに着目し、ゲージメータモデルにのみ依存して絶対板厚を制御するものである。以下にゲージメータモデルの高精度化について述べる。

2.2 ゲージメータモデル

当所では以下に述べるような絶対値 AGC 用の高精度なゲージメータモデルを開発した。本モデルではロール間隙をミル変形とロール摩耗・膨張で表し、互いに独立に処理している。このうちミル変形は板幅の影響を受ける項と受けない項に分割した。また個々の構成要素に対しては、実機を用いて高精度に測定できるものはすべてその実測値を使用した。具体的なゲージメータモデルの構成を示すと (1) 式のようになる。

$$H(x) = S + f_1(P) + P \cdot f_2(B, x) + \delta(x) - f_1(P_{zero})$$

昭和 56 年 3 月 20 日受付 (Received Mar. 20, 1981)

* 日本鋼管(株)京浜製鉄所 (Keihin Works, Nippon Kokan K. K., 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-Kawasaki 210)

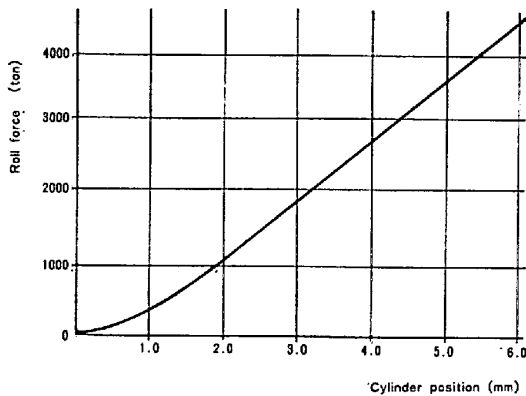


Fig. 1. Mill modulus curve at full face while the rolls were turning at rolling speed.

.....(1)

各構成要素について以下に説明する。

(1) $H(x)$: 板幅 B の鋼板の中央から板幅方向へ x 離れた点の板厚。

(2) S : 圧下位置。(油膜軸受の油膜厚は、AGC ローカルアナログ回路にて、圧延荷重、圧延速度の関数および油膜のダイナミクスにて補正される。したがってプロセス計算機が取り込む圧下位置は、油膜厚変化を差し引いたものである。)

(3) ミル変形モデル ($f_1(P) + P \cdot f_2(B, x)$) : ミル変形モデルは、ミル軸方向変位とロールペンディング変位の一次結合で表す。ミル軸方向変位は圧延荷重 P のみに依存する項であり、ハウジングの伸び、スクリュウの縮み、ロールの扁平などが該当し、 $f_1(P)$ で表す。本量はキスロール状態で油圧シリンダの移動量とキスロール荷重との関係を X-Y レコーダ (Fig. 1 参照) で記録したミルストレッチカーブよりワークロール間扁平およびロールペンディング量を差し引いて求めている。ロールペンディング変位については後で述べるが、基本的には圧延時の幅方向等分布荷重に対する両端支持梁(単純梁)の問題として解き $P \cdot f_2(B, x)$ で表す。

(4) ロール摩耗・膨張モデル ($\delta(x)$) : 従来ロール摩耗・膨張は、ロール組替後の各圧延幅に対する圧延長履歴を累積することにより推定する例が多かつた。しかしこの方式はロール個々の材質の違いや幅方向に不均一な熱膨張を考えると、オンラインモデルとして数 $10 \mu\text{m}$ の精度を維持するには限界がある。そこで本モデルではミル後面に設置した γ 線厚み計 (鋼板のセンタ板厚、エッジ板厚を測定) を用いて、ロールの摩耗・膨張をトラッキングする方式を適用した。すなわち (1) 式によるゲージメータ厚と γ 線厚み計による実測厚との差を、(2) 式で示す厚み測定点に対応したロールの摩耗・膨張変分

量観測値 δ^j としている。ロールプロフィールはロール中心に対して幅方向に对称と仮定し、200 mm ごとに分割した節点を用いて (3) 式で示すロール摩耗・膨張ベクトル $\hat{\delta}^j$ として代表させ、厚み実績が採取できたパスごとに前記ベクトルに反映させる方式を採用している。本ベクトルは予知できる大幅な熱膨張に対しては特別な配慮を加えており、またロール組替後のミル零調時には初期ロールクラウンを考慮してイニシャライズされる。

$$\delta^j = (\delta_{\text{center}}, 0, 0, \dots, 0, \delta_{\text{edge}}, 0, \dots, 0)^T \dots (2)$$

$$\hat{\delta}^{j+1} = W \cdot \{D \cdot (\delta^j - \hat{\delta}^j) + \hat{\delta}^j\} \dots (3)$$

D : 重み係数

W : フィルタリングマトリックス

j : パス NO.

ロール摩耗・膨張の推定には、圧延荷重、圧下位置、厚み計の実測値が必要であるが、これらは圧延中にダイナミックに変化する。従来ゲージメータモデルは各測定値の平均値を用いてきたが、ゲージメータモデル自体が各パラメータの非線形関数であること、および各測定値が平均値回りに独立なランダム変数とならないことから、平均値化処理では誤差を生じる。そこで当所では、鋼板長手方向 2 m ごとに同一場所における各測定値を採取して、長手方向前後のデータセットとの合理性パターンチェックを経た後、正常なデータセットに対して (2)、(3) 式を適用してロール摩耗・膨張のデータを得ている。

2.3 ゲージメータモデル精度向上策

当所のゲージメータモデルは、先にも述べたようにロールペンディング変位推定以外はすべて高精度に測定された実測値を用いている。そこで本ゲージメータモデルをさらに高精度化するにあたって、最も誤差を縮小できる項目としてロールペンディング推定精度に着目した。ロールペンディング推定誤差は板幅の変動に対して特に顕著になる。先に述べたように本ゲージメータモデルにおけるロール摩耗・膨張は、 γ 線による板厚実測値を用いてトラッキングしている。したがって圧延幅が同一の材料を連続的に圧延する場合には、ロールペンディング推定誤差はロール摩耗・膨張として吸収され板厚精度は維持される。しかしながら板幅が変化する場合、ロール摩耗・膨張に反映された前の板の板幅におけるロールペンディング推定誤差が、異なった板幅の次の板に影響し板厚精度を劣化させる。厚板圧延の場合、熱延などと比較してロール胴長が長く絶えず板幅が変化するため、板幅の変動によるモデルの誤差が板厚精度に与える影響は非常に大きい。このような観点から、最近ロールペンディング推定モデルの精度向上を図つたので以下に述べる。

2.3.1 ロールベンディング推定式の開発

4 段圧延機のロール変形挙動は 3 次元弾性学の領域の問題であり、解析解を求めることは難しい。また材料の塑性変形についてもその変形挙動は 3 次元変形であるが、幅方向の変形まで考慮した 3 次元圧延理論もまだ完成の域にはない。そのため 4 段圧延機のロールの弾性変形についてはこれまで多くの研究³⁾が行われてきたが、そのほとんどは簡略化した手法や実験室データによる補正などで工学的な解決を図っている。したがってこれらのモデルを実機に適用した場合、直接使用できるケースは少なく実機での修正を必要とすることが多い。またゲージメータモデルとして使用するには、簡略モデル化も必要となる。

以上から、筆者らはロールベンディング推定式を実機データにより定式化することとし、基本的には等分布荷重における両端支持梁の解がどこまで実際と整合性がとれるかを念頭におき検討した。

2.3.2 試験方法

この種の試験はこれまでアルミ板などを圧縮し、その板のプロフィールからロールベンディング推定式を回帰する方法がとられた。しかしこの方法の欠点として、接触弧長およびロール偏平の違いなどで実圧延と圧力分布が違うこと、また油膜軸受保護上実圧延荷重に近い高荷重での試験ができない点がある。そこで本試験では、ロールプロフィールが確実に把握できるロール組替直後に、実際に鋼板を 3 本圧延し（組み替え直後 3 本目まではヒートクラウンの影響が無いことを、ロール胴長方向に並べたアルミ棒を圧延前後で圧下して確認）、冷板になった時点でマイクロメータ（精度±2 μm）により板厚プロフィールを把握した。ロール諸元を Table 1 に、試験条件を以下に示す。

〈試験条件〉

- (1) 板幅は 2000 mm から 500 mm ピッチで 5000 mm まで 7 種類を選び、おのおのについて単位幅荷重（荷重/板幅, t/mm）が 0.5~2.0 の範囲で変化するように圧延条件を設定した。
- (2) 仕上げ厚は、仕上げ温度が 900°C 以上で材料の横流れ率が 1 に近く、入側板クラウンの影響が無視できる 16 mm 以上のものを選んだ。
- (3) ロールベンディング変位とワークロールクラウンの影響を 1 次結合の形で整理できるように、対象ワークロールのクラウンは 0 とした。ワークロール径はロール径の影響を確認するため、1130~1230 mmφ のものをランダムに使用した。なおバックアップロールクラウンは通常操業通り 0 とした。

Table 1. Roll specification.

Work roll : 1130~1230 mmφ × 5500 mm l
Back-up roll : 2400 mmφ × 5400 mm l
Back-up roll chamfer : 0.5 mm/100 mm
Work roll balance force : 300 t/neck

（4）マイクロメータ測定点は、圧下位置、圧延荷重測定点と 1:1 に対応させた。

次に実操業においては、板クラウン減少のためワークロールにクラウンをつけるので、板幅 3500 mm, 5000 mm の鋼板を 0.2~0.4 mm のクラウンのワークロールで圧延し、ワークロールクラウンの板クラウンに対する影響量を確認した。

2.3.3 結果

(1) ロールベンディング推定式

実機データを単位幅荷重と板クラウンの関係で示すと Fig. 2 のようになる。その関係は広幅および低荷重域では非線形要素も含まれるが、操業荷重域ではほぼ線形関係を有している。したがって実機モデルとしては両端支持梁（自由端）解の適用が可能と考え、Fig. 3 に示すようにベンディング係数（Fig. 2 の傾き, mm/t/mm）と板幅の関係で実績値と両端支持梁（自由端）解を比較した。本図からもわかるように、両端支持梁（自由端）解のベンディング係数は板幅に関して単調増加となる。これに対して実績値は、ある板幅（特異幅）までは単調増加となるがその板幅を超えると減少傾向にあり、支点の曲げモーメントを考慮した固定端支持の計算値に近くなる。このような現象が生じる原因としては、両端支持梁（自由端）解が等分布荷重を前提にしていること、およびワークロールバランス力、バックアップロールチャンファ（以降チャンファ）の影響を考慮していないことが考

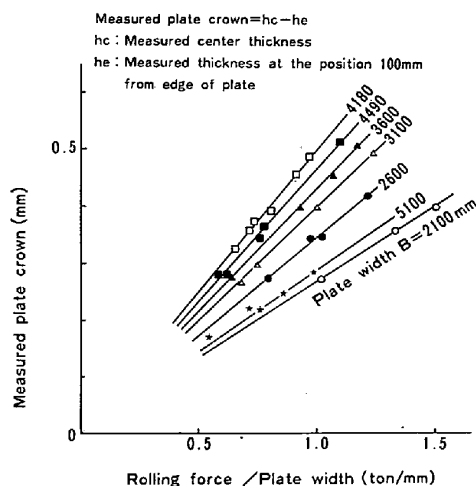


Fig. 2. Relationship between roll force/plate width and measured plate crown.

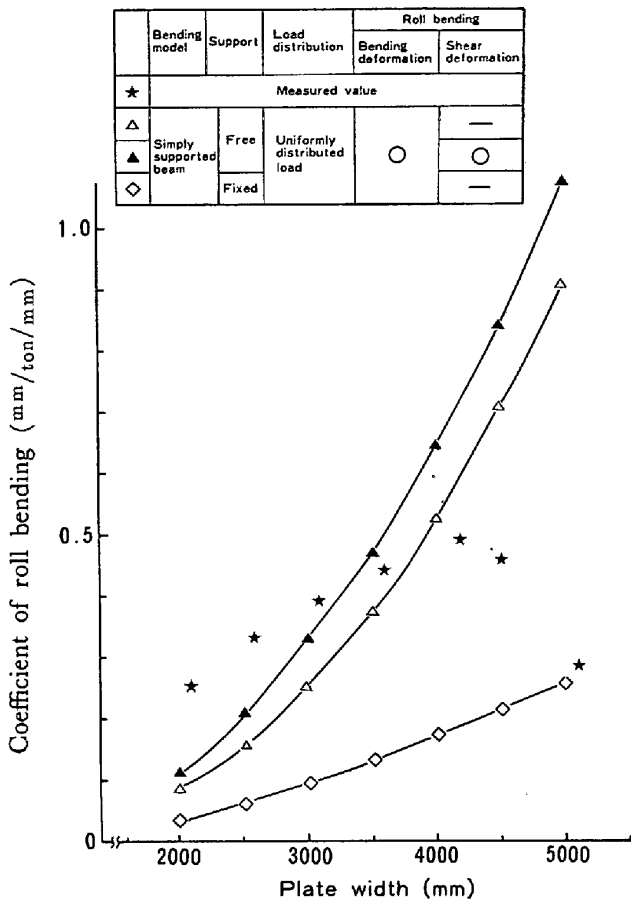


Fig. 3. Relationship between plate width and coefficient of roll bending.

えられる。

そこでこの原因を明確にするため、上記要素を考慮した理論モデル⁴⁾を用いて要因解析を行った。当モデルは、ロールのたわみについては曲げおよび剪断変形を考慮した単純梁（自由端）理論を、表面変形については Hertz の式および Love の弾性論を用い、さらに軸方向の凹みの波及効果を組み込んだ分割モデルである。理論モデルの解を単位幅荷重=1(t/mm)における板クラウンで示すと（理論モデルの解は非線形となるので）、Fig. 4 のように特異幅の傾向があり実績値ともほぼ一致する。そこで理論モデルの解（単位幅荷重=1の時の板クラウン）を用い、各要素が特異幅に及ぼす影響について検討した。

まずチャンファの影響については、Fig. 4 に示すようにチャンファ量の増加とともに特異幅は移行し板クラウンも減少する。しかしながら当所におけるチャンファの目的はロール保護であり、その量は Table 1 に示すとおり比較的少量のものである。したがってロール使用過程においてチャンファが摩耗し無くなつたとしても、板クラウン量の変動は Fig. 4 から最大 30 μm 程度であ

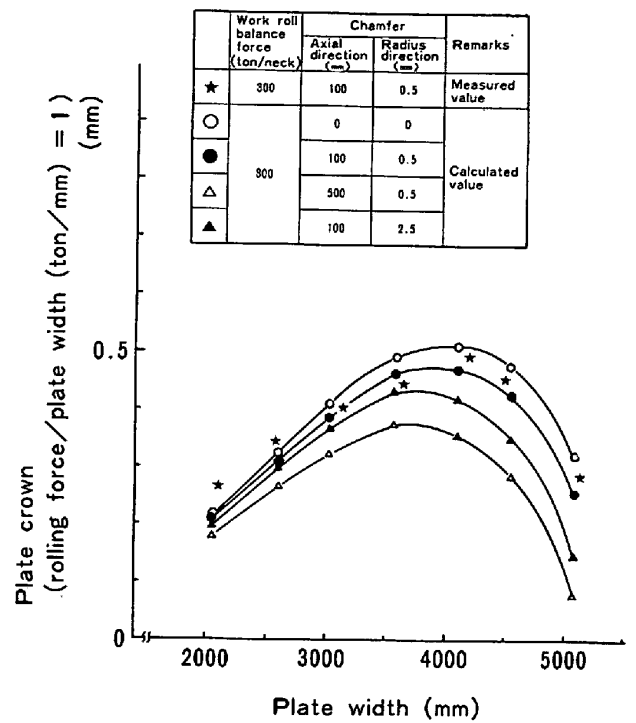


Fig. 4. Influence of back-up roll chamfer.

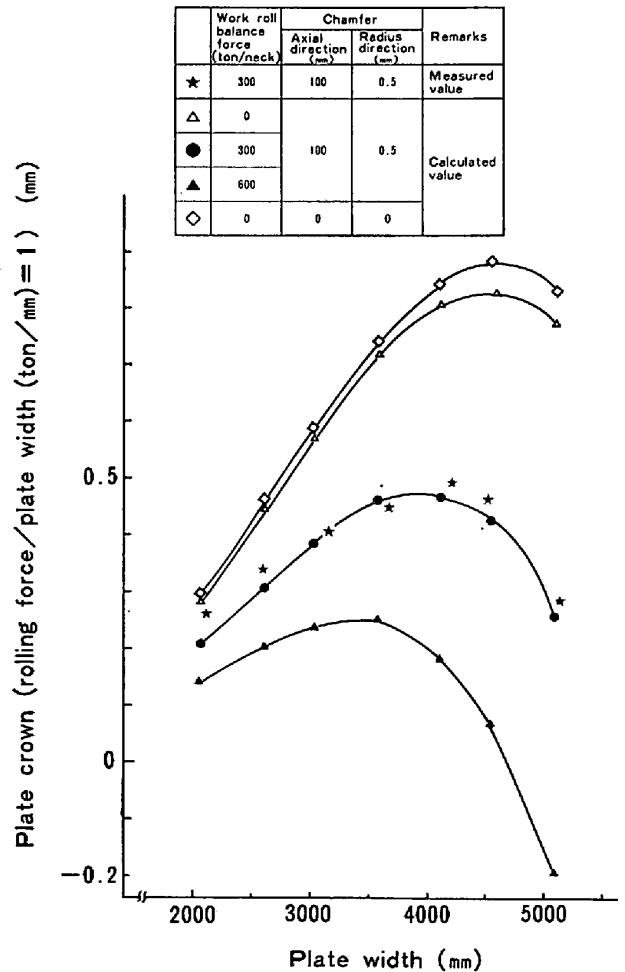


Fig. 5. Influence of work roll balance force.

り実操業上大きな誤差要因とはならない。

次にワークロールバランス力の影響を Fig. 5 に示す。ワークロールバランス力が 300 t/neck (現状) の場合と 0 および 600 t/neck の場合を比較すると、特異幅の移行量はチャンファ量を変化させた時よりも大きく、かつワークロールバランス力の違いによる板クラウン量の差は最大 500 μm 程度と非常に大きなものとなっている。

最後に圧延圧力分布の影響については、Fig. 5 のワークロールバランス力、チャンファ量とも 0 の場合においても特異幅が生じていることから、圧延圧力分布を考慮した理論解と等分布荷重を前提にした両端支持梁 (自由端) 解での弾性変形の差が特異幅発生の一因となっていると思われる。

このように特異幅の発生およびその変動の要因としてはワークロールバランス力、圧延圧力分布の影響が大きいと考えられ、これらの影響を考慮したモデルの立案が必要である。しかし Fig. 2 に示したように実操業荷重域では荷重と板クラウンの関係がほぼ線形となっていること、およびワークロールバランス圧力の管理を十分に行いその変動量を最小化することにより、実機モデルとしては剪断変形を考慮した両端支持梁 (自由端) 解を板幅の関数で補正することで十分な精度が得られると考えた。そこで両端支持梁 (自由端) 解のベンディング係数と実績ベンディング係数の比を板幅の関数で整理した。その結果当ミルにおいては板幅 4 200 mm を特異幅とした下記のような 2 次関数で定式化できた。

$$KB = f(B) \cdot KB_0 \dots\dots\dots (4)$$

$$f(B) = a_0 + a_1 \left(\frac{B}{1000} \right) + a_2 \left(\frac{B}{1000} \right)^2 \quad (B \leq 4200)$$

$$= a_3 + a_4 \left(\frac{B}{1000} \right) + a_5 \left(\frac{B}{1000} \right)^2 \quad (B > 4200)$$

- KB: 実際のベンディング係数 (mm/t/mm)
- KB₀: 両端支持梁 (自由端) 解によるベンディング係数 (mm/t/mm)
- B: 板幅 (mm)
- a₀~a₅: 係数

(4) 式を用いて計算した板クラウンの精度を示すと Fig. 7 のようになり、計算値は実績値とよい対応がとれていることがわかる。

なお前述したように、当所におけるワークロールバランス力は従来の厚板ミルと比較して高く設計されてお

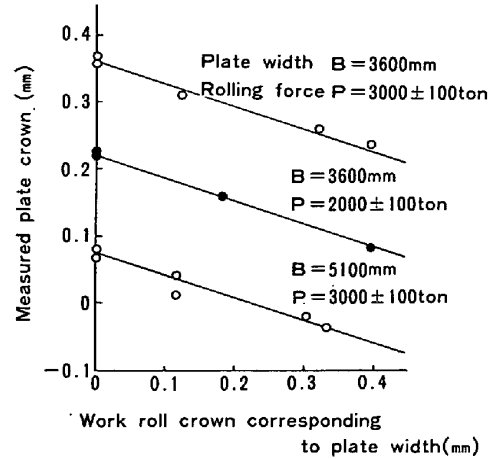


Fig. 6. Influence of work roll crown.

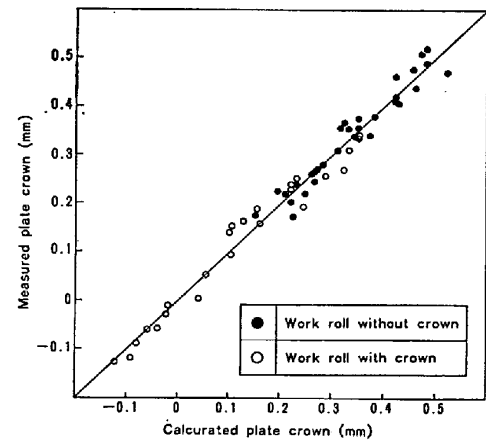


Fig. 7. Comparison between plate crown calculated with new roll bending model and measured plate crown.

り、チャンファとの組み合わせで簡易的なワークロールベンダーとしての使用が可能であり、大幅な板クラウン減少効果が期待されるため、現在その方法について詳細検討中である。その際のロールベンディング推定式は、ワークロールバランス力の影響を等価モーメントとして両端支持梁 (自由端) 解に組み合わせて処理すればよいと考える。

(2) ワークロールクラウンの影響

クラウン付ワークロールを使用した場合の板クラウンの予測は、厳密にはクラウン=0 の場合のロールベンディング量とクラウンの影響量との一次結合の形で表すことはできない。しかしここでは実機モデルの簡略化を図るため、一次結合の形で検討することとした。

実測板クラウンとワークロールクラウンの関係を Fig. 6 に示す。この図から、同一板幅 3 600 mm に対して荷重が 2 000 t, 3 000 t と相違しても、ワークロールクラウンと板クラウンの関係は両者とも -1/3 の傾きの直線で整理できる。また荷重が 3 000 t と等しく板幅が

3 600 mm, 5 100 mm と相違する場合でも, その関係は同様に -1/3 の傾きの直線で整理できる. Fig. 6 における各測定点は, 同一圧延条件に対しておのおの異なるワークロール径を使用したデータである. そこで実操業圧延荷重域におけるワークロールクラウンの板クラウンへの影響を, 板幅・圧延荷重・ワークロール径によらず次式で定式化した.

$$\text{板クラウン} = \text{ロールペンディング量} - \frac{1}{3}Cr(B) \dots\dots\dots (5)$$

$Cr(B) = (\text{ワークロールクラウン})$

$$\cdot \left\{ 1 - \sin \left(\frac{5\,500 - B}{5\,500} \cdot \frac{\pi}{2} \right) \right\}$$

ロールペンディング量: (4)式で求めたクラウン = 0 の場合のロールペンディング量 (mm)
 B: 板幅 (mm)

クラウン付ワークロールを使用した場合の板クラウン予測式 (5) の精度を Fig. 7 に示す. Fig. 7 から計算値と実績値とは, クラウンの有無にかかわらずほぼ同様により対応を示していることがわかる. したがってクラウン付ワークロールを使用した場合の実操業における板クラウン予測は, (5) 式のような一次結合の形で十分な精度が得られると考える.

2.4 まとめ

ゲージメータモデル用ロールペンディング推定式の精度向上を図り, 次の成果を得た.

(1) 特異幅の処理を行い, 等分布荷重における両端

支持梁 (自由端) 解を板幅の 2 次関数で補正することにより, 実機モデルとして十分な精度のロールペンディング推定式を得た.

(2) 特異幅はワークロールバランス力の変動により変化するため, ゲージメータモデル精度維持上ワークロールバランス圧力の管理が重要である.

(3) 実操業荷重域では, ワークロールクラウンの板クラウンへの影響は, 該当板幅に対するワークロールクラウン量の 1/3 が板クラウン量減少効果となることで定量化できた.

以上を実機に適用した結果, ゲージメータモデルの精度は約 15% 改善され, 最近の板厚精度は Table 2 に示すように $\sigma = 69 \mu\text{m}$ と国内最高 (第 51 回厚板分科会資料より) の水準を維持している.

3. 板幅精度の向上

3.1 板幅制御の概要

板幅制御に影響を与える因子としては, Table 3 に示すように平面形状と幅出し精度がある. 当所では安定的で効率のよい板幅制御を行うために, 平面形状に対しては, 板端部の変動量 (長さ異形量, 幅異形量) を最小にする圧延条件の設定方法を開発し, 実機に適用した⁵⁾. 一方幅出し精度については, 加熱炉抽出後のスラブ体積と幅出し圧延開始時に計測した材料寸法を用いた精度のよい幅出しモデルを開発し, 板幅精度を大幅に向上させた. 本章では板幅制御のうち幅出し精度について, 幅出しモデルを中心に述べる.

Table 2. Accuracy of plate thickness ($1\sigma : \mu\text{m}$), $n=738$

Plate width (mm) \ Plate thickness (mm)	~2 050	2 051~2 850	2 851~3 650	3 651~4 450	4 451~5 500	Total
~ 7.9	65	64	69	70	—	65
8.0 ~ 10.0	79	73	69	73	75	73
Total	72	68	69	73	75	69

Table 3. Factors for accuracy of plate width.

	Factors		Techniques for improvement
Accuracy of plate width	Accuracy of broadside rolling	Broadside rolling model	Calculating the thickness after broadside rolling which is based on the slab volume calculated in actual slab weight
		Accuracy of the thickness after broadside rolling	Applying absolute mode AGC
	Plane view pattern	Plane view pattern control	Applying optimal sizing rolling

3.2 幅出しモデル

3.2.1 幅出し圧延

可逆式圧延機を用いた厚板製品の製造は、スラブを長手方向に、幅出し前圧延を数回くり返した後（これを調整圧延という）、90° 転回して所定の目標板幅になるまで幅出し圧延を行い、さらに90° 転回して仕上げ圧延されるのが一般的である。当所では、上記圧延方法（これをたて圧といい、スラブの幅方向を圧延仕上げ幅にする圧延方法である。）の他に幅出し比（圧延仕上げ幅/スラブ幅）がある基準値を超える場合に、スラブの長手方向を圧延仕上げ幅にするよこ圧という圧延方法を採用している。さらに調整圧延の有無により計4種類の幅出しパターンを有している。（Fig. 8 参照）

3.2.2 従来の幅出しモデルと問題点

従来の幅出しモデルは、幅出し圧延開始時の材料厚、材料長と指示仕上げ幅（平均幅）より、目標幅出し完了厚を求める下記(6)式が一般的であった。ここで材料長とは圧延方向の長さを指し、また材料幅とは圧延方向に対し直角方向の寸法とする。

$$\text{幅出し完了厚 } (H) = \frac{B_0 \times t}{W_{\text{ref}}} \dots \dots \dots (6)$$

B_0 : 幅出し圧延開始時の材料長またはスラブ幅

t : 幅出し圧延開始時の材料厚

W_{ref} : 指示仕上げ幅

(6)式に示すように幅出し完了厚 H の予測精度は、 B_0 および t の精度に依存しており、 B_0 、 t の推定精度向上が幅出し精度改善の鍵である。 B_0 については、幅計などの計測器の開発が進んでおり精度改善が可能である。しか

し t の推定精度の向上は以下の理由で困難である。

一般的に幅出し圧延開始時における材料長は非常に短いため、オフゲージ部（材料噛み込み直後の板厚不安定部）の材料長に占める割合が大きく、圧延板厚精度の飛躍的な改善は望めない。たとえば幅出し圧延開始時の平均材料厚150mmの平均板厚精度は約150 μm ($\sigma=0.1\%$)であり、最終製品の板厚精度（Table 2参照）に比べ絶対値でははるかに悪い（ここで平均板厚精度とは $\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \left(\frac{2}{3}\sigma_3\right)^2}$ である。 σ_1 :板間板厚変動、 σ_2 :板内板厚変動、 σ_3 :板クラウン変動）。したがって t の推定精度(σ)を0.1%以下に改善することも難しく、現状の圧延設備、圧延方式において、(6)式のような t を用いた幅出し完了厚予測モデルでは、幅出し精度の大幅な改善は困難である。

このような背景のもと、筆者らは t を用いない幅出しモデルの開発と、 B_0 の精度の改善を進めた。

3.3 新幅出しモデル

幅出し完了厚算出に必要なパラメータとして、幅出し圧延開始時の材料厚(t)推定精度($\sigma=0.1\%$)以上の精度を実現できる情報について検討した結果、厚板圧延の前工程で実測したスラブの秤量値に着目した。すなわち精度の良いスラブ実貫重量($\sigma = \frac{1}{3} \times \frac{10\text{kg}}{10000\text{kg}} \times 100 = 0.03\%$)がベースの加熱炉抽出後スラブ体積を用いた(7)式で示す新幅出しモデルを開発した（Table 4参照）。

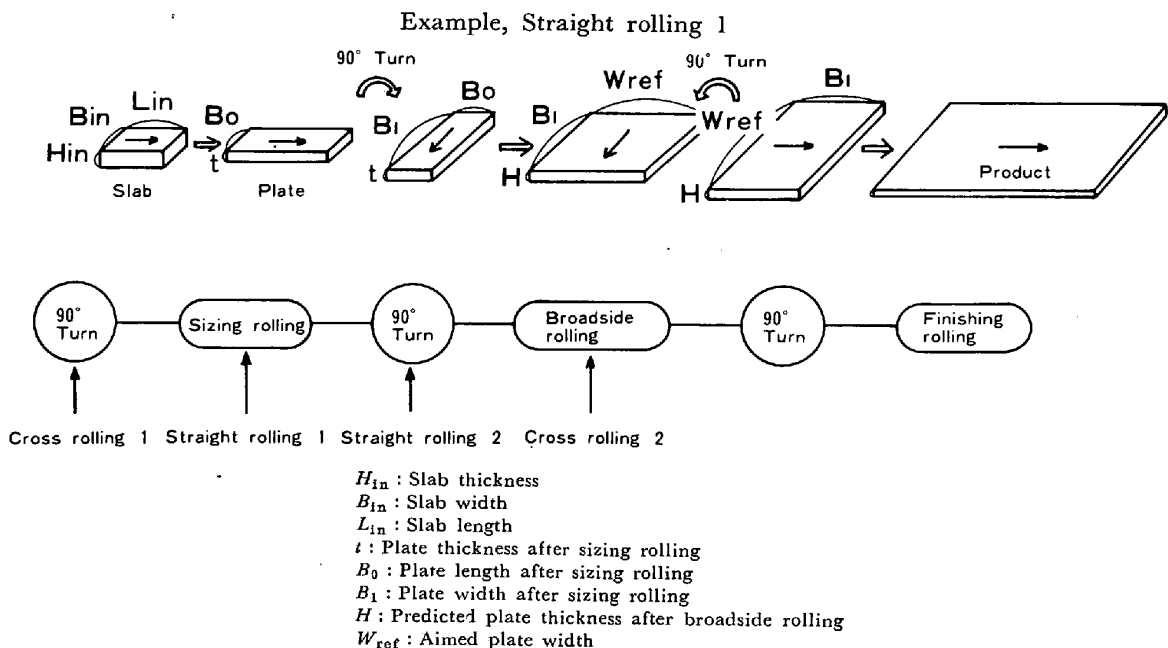


Fig. 8. Various method of broadside rolling.

Table 4. Comparison between new broadside rolling model and previous one in the case of straight rolling

	H.S.B. Side guide 	Rolling	Mill side guide 	Rolling	Mill side guide 	Rolling
Previous model	Measuring B_0	Sizing rolling	Turn Measuring t $H = \frac{L \times B_0}{w_{ref}}$	Broadside rolling	Turn	Finishing rolling
New model		Sizing rolling	Turn Measuring B_1 $H = \frac{Vol.}{B_1 \times w_{ref}}$	Broadside rolling	Turn	Finishing rolling

B_0 : Slab width measured by side guide
 B_1 : Mean plate width measured by side guide
 t : Calculated plate thickness after sizing rolling
 H : Predicted plate thickness after broadside rolling
 $Vol.$: Slab volume calculated in actual slab weight without scale losses in the reheating furnace
 w_{ref} : Aimed plate width

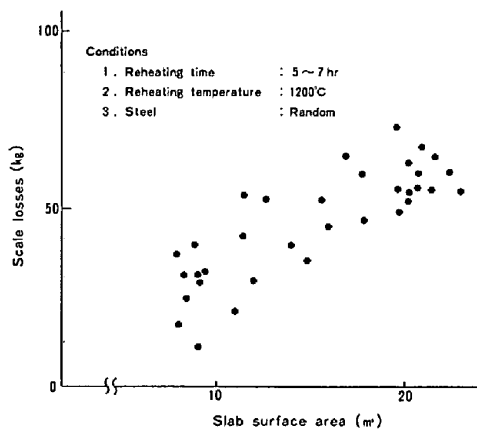


Fig. 9. Scale losses in the reheating furnace.

$$\text{幅出し完了厚}(H) = \frac{Vol.}{W_{ref} \times B_1} \dots\dots\dots (7)$$

$Vol.$: スラブ実貫重量より算出した加熱炉抽出後のスラブ体積

W_{ref} : 指示仕上げ幅

B_1 : 幅出し圧延開始時の平均材料幅

以下に各パラメータについて補足説明する。

(1) スラブ体積 ($Vol.$)

$$\text{スラブ体積} = \alpha \times \frac{W}{\rho}$$

W : スラブ実貫重量

ρ : 成分の影響を考慮した密度

$$\rho = f_{\rho} \text{ (化学成分)}$$

α : 焼き減り係数

$\alpha = f_{\alpha}$ (スラブ表面積, 在炉時間, 加熱温度) であり, スケールロス量を実測し定式化した (Fig. 9 参照).

(2) 指示仕上げ幅 (W_{ref})

指示仕上げ幅を決定する上で, 圧延時の幅異形量を考慮する必要がある. 一般的に幅異形量は, 幅出し比と大きな相関を持つており, 以下のような関数と考える.

$$\text{異形量} = f_{sc} \text{ (各パス圧下率, 接触弧長)}^{5)}$$

新幅出しモデルでは, この異形量を厳密に反映した指示仕上げ幅を用いている.

(3) 平均材料幅 (B_1)

幅出し完了厚を算出するためには, 異形量を考慮した平均材料幅が必要である. この平均材料幅を得る方法として, 光学的な幅計を用い直接平均幅を求める方法と, サイドガイドで材料をはさみ, ガイド位置計測後, 推定異形量で補正する方法がある. 当所では, サイドガイドの計測精度を高く維持することと, 前述の推定異形量を反映させることで対処した.

3.4 まとめ

新幅出しモデルは, 以下の点を特徴としている.

(1) 前工程で実測した高精度なスラブ実貫重量をベースに加熱炉におけるスケールロス considering 算出したスラブ体積を用い, 幅出し完了厚を算出する.

(2) 高い計測精度を有するサイドガイドの測定値を、異形量推定モデルで補正し、これを平均材料幅として幅出し完了厚算出時に使用している。

本モデルの実機適用により、板幅精度は $\sigma=13$ mm と大幅に改善され (特に幅出し比が 1.6 前後のものは、 $\sigma=8$ mm と非常に良い精度である)、約 0.5% の歩留り向上に寄与した。

4. 結 言

本文で述べてきたゲージメータモデルの精度向上と新幅出しモデルの適用により、大幅な寸法精度の改善が実現され、適用後 4 ヶ月の注文歩留り (連铸材対象) は平均 94.5% という高い水準に推移している。

文 献

- 1) たとえば, 大内千秋, 大北智良: 日本金属学会会報, 18 (1979), p. 432
- 2) M. TAKUMI, Y. NABA, K. OMATA, S. TANIMOTO, and H. TSUKAMOTO: Proc. of International Conference on Steel Rolling, Sept. Oct. 1980, Vol. 1, p. 331
- 3) たとえば, 塩崎宏行: 塑性と加工, 9 (1968), p. 315
- 4) 有村 透, 岡戸 克, 藤田文夫: 鉄と鋼, 63 (1977), A119
- 5) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 48 回鋼板部会厚板分科会 (1979) 日本鋼管(株) (私信), p. 30