

## 論 文

UDC 621.771.23 : 62-53 : 531.717.8 : 669.012.5

## エッジ法による厚板の高歩留り圧延法の開発

笹治 峻\*・久津輪浩一\*・堀部 晃\*  
野原 由勝\*・山田 稔久\*・渡辺 和夫\*<sup>2</sup>

## Development of a New Rolling Method Using Edger Rolls to Get High Yield at Plate Mill

Shun SASAJI, Koichi KUTSUWA, Akira HORIBE,

Yoshikatsu NOHARA, Toshihisa YAMADA, and Kazuo WATANABE

## Synopsis:

The effect of the edging on the plate profile has been studied by a 1/10 model of plasticine. The plate profile was improved by the adoption of combination of longitudinal and cross directional edging. At Plate Mill in Nagoya Works, the optimum system of longitudinal and cross directional edging was accomplished by studying experimentally the change of plate profile through edging and flat rolling. The proper rectangular plate profile has been made by making, firstly, the plate profile concave type by cross directional edging before broadside rolling and secondly by edging in longitudinal direction after the broadside rolling. The aimed value of rolling width was decided by considering the width change at finishing stage. The yield of plate mill has been improved by 3% using this system.

## 1. 結 言

厚板の製造プロセスにおける歩留り向上対策としては、圧延鋼板の板厚精度、幅精度、平面形状（矩形度）の向上が主要である。この内、平面形状制御法としては、

(1) パス・スケジュール（幅出し前調整圧下量）の最適化法<sup>1)2)</sup>

(2) 圧延中のロールギャップコントロールによる素材厚み変化に伴う延伸差を利用する方法<sup>3)4)</sup>

(3) エッジ圧延方法がある。

エッジ圧延法については、絶対幅コントロールが可能であり、幅精度向上も併せてはかれる機能を持つ。

昭和 30 年代の四重式圧延機厚板工場は、各ミル共に、エッジを、主として仕上げ圧延機に設置していたが、エッジがミル直近でないこと、スピードが遅いことなどから厚板生産量の増大が求められた昭和 40 年代後半までは、圧延能率の点から、使用範囲が制限されていた。

また、分塊圧延機の最大限の使用により厚板工場は薄手スラブ主体であつたことから、バックリング発生によ

り、エッジ圧延効果を十分生かすことができなかつた。

しかし、昭和 50 年代に入り、生産状況、素材条件の変化からエッジ活用について再評価がなされた。

(1) 連続铸造スラブの圧延比率向上

(2) 制御圧延材増加による圧延中の待時間の増

(3) 粗圧延機へのエッジャー設置

(4) 生産量最優先から歩留りも考慮したトータルメリットの追求

など厚板圧延を取り巻く周辺条件の変化により、エッジ活用のメリットが、再び、増加しつつある。

そこで、厚板圧延におけるエッジ使用の効果をも、最大限に生かすべく、モデル実験研究による厚板圧延の平面形状変化、およびエッジ圧延効果などの基本的特性の把握をおこない、これに基づき、新日鉄名古屋製鉄所厚板工場にて、実操業でのエッジ最適使用システムの確立をはかつた。

## 2. 厚板圧延におけるエッジの使用方法

エッジの使用方法には、一般的なスラブ長手方向エッジング（以下L方向エッジングと呼ぶ）に加えて、

昭和 55 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 56 年 4 月 28 日受付 (Received Apr. 28, 1981)

\* 新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 (Nagoya Works, Nippon Steel Corp., 5-3 Tokai-cho Tokai 476)

\*<sup>2</sup> 新日本製鉄(株)生産技術研究所 工博 (Process Technology R & D Laboratories, Nippon Steel Corp.)

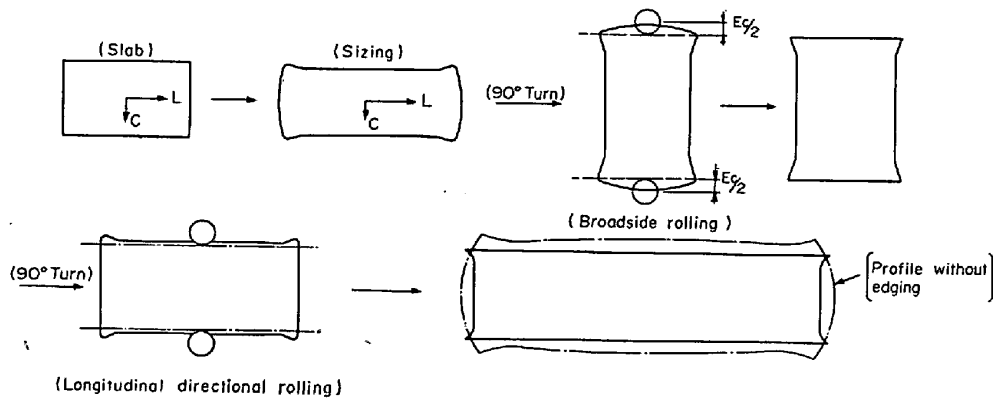


Fig. 1. Plate profile control method by edger rolling.

スラブ転向時に幅方向エッジング (以下C方向エッジングと呼ぶ) を行えば、より効果的であることが、既に、確認されており<sup>9)</sup>、幅広材を主に実施されている。

ここでは、このL方向エッジングとC方向エッジングの個々の変形挙動を数式化し、より広範囲にわたり、実操業に適用し、歩留り向上を達成することを目的とした。

Fig. 1 に、厚板幅出し圧延材についてエッジなしとエッジを使用した場合の圧延過程と平面形状の変化を模式的に示す。

### 3. エッジ効果と平面形状の数式化

エッジ使用効果を最大にするためには、その圧延特性と効果を明らかにしておく必要がある。また、有効な平面形状制御を行うには厚板圧延の平面形状変化を把握し、数式化しておくことが不可欠である。

これらのことは実際の圧延では困難であり、簡便な方法として、縮尺 1/10 のプラスチックモデル実験により、フラット堅ロールエッジ効果の確認と平面形状の数式化を行った<sup>9)</sup>。

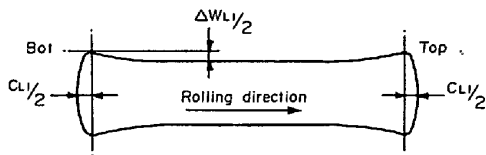


Fig. 2. Definition of plate profile.

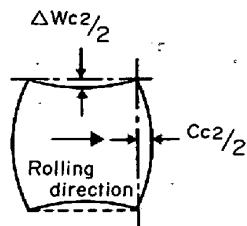


Fig. 3. Definition of plate profile. (broadside rolling)

### 3.1 エッジなし圧延時の平面形状の数式化

エッジなしの平面形状挙動については、Fig. 2 に示すように、圧延鋼板のフロント部とテイル部に凸形のL方向クランプ  $C_L$ 、側端部に凹状の幅変動量  $\Delta W_L$  が生ずる。

幅出し圧延材について、整形圧延、幅出し圧延、仕上げ圧延の3ステップに分けて数式化すると

- (1) 整形圧延 (L方向圧延,  $H \geq 100$ )

$$C_{L1} = \alpha_1 \cdot \Delta h \cdot (W'_1 / H_m) \dots \dots \dots (1)$$

$$\alpha_1 = 0.08 \quad (H > 100)$$

ただし  $H_m = (H_0 + H) / 2$

$H_0$ : 初期板厚,  $H$ : その時の板厚

$\Delta h$ : 圧下量

$$W'_1 = 2000 (W_1 / 2000)^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

$W_1$ : 板幅,  $W'_1$ : 基準化板幅

$$\Delta W_{L1} = 1/2 \cdot C_{L1} \dots \dots \dots (3)$$

- (2) 幅出し圧延 (C方向圧延,  $H \geq 100$ )

$$C_{C2} = \alpha_2 \cdot \Delta h \cdot (W'_2 / H_m) \dots \dots \dots (4)$$

$$\alpha_2 = 0.04$$

$$\Delta W_{C2} = 1/2 \cdot C_{C2} \dots \dots \dots (5)$$

- (3) 仕上げ圧延 (L方向圧延,  $100 > H \geq 20$ )

$$C_{L3} = (2\Delta h + \lambda^{0.9} \cdot C_{100}) \cdot (W'_3 / 2000)^{1/2} \dots \dots (6)$$

$\lambda$ : 延伸比,  $C_{100}$ :  $H=100$  の時のクランプ長

$$\Delta W_{L3} = 1/2 \cdot C_{L3}$$

$C_{L1}$ : 整形圧延によるL方向クランプ量

$C_{C2}$ : 幅出し圧延によるL方向クランプ量に基づく幅変動量

$C_{L3}$ : L方向仕上げ圧延によるL方向クランプ量

$\Delta W_{L1}$ : 整形圧延による幅変動量

$\Delta W_{C2}$ : 幅出し圧延による幅変動量に基づくL方向クランプ量

$\Delta W_{L3}$ : L方向仕上げ圧延による幅変動量

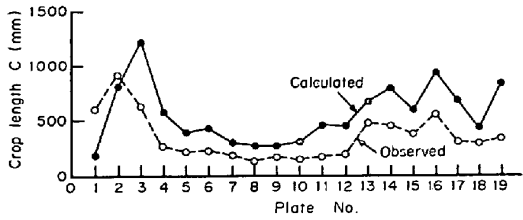


Fig. 4. Comparison of crop length between observed value in actual rolling and calculated value.

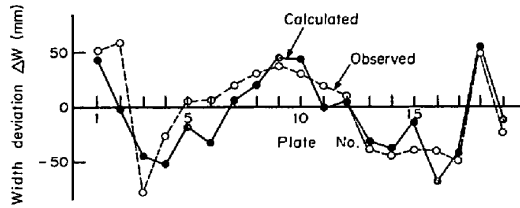


Fig. 5. Comparison of width deviation between observed value in actual rolling and calculated value.

厚板圧延でのクロープ長  $C$ 、幅変動量  $\Delta W$  は次のように単純に圧延過程の和として考えることができる。

$$C = C_{L1}(\text{整形圧延}) + \Delta W_{C2}(\text{幅出し圧延}) + C_{L3}(\text{L方向仕上げ圧延})$$

$$\Delta W = \Delta W_{L1}(\text{整形圧延}) + C_{C2}(\text{幅出し圧延}) + \Delta W_{L3}(\text{L方向仕上げ圧延})$$

以上のプラスチックモデルに対し、実際にロール径 1000~1300 mm の厚板ミルで、厚み 200~300 mm、幅 1500~3000 mm のスラブを用いて圧延した時のクロープ長および幅変動量の実測値と計算値を比較した。

(Fig. 4, Fig. 5)

横軸には、材料 No. をとり両者の傾向をみたが、ほぼ一致していることがわかる。すなわち、実際の熱間圧延においても本モデルで形状の推定が可能であるが、プラスチックと変形挙動特性が異なるため、熱間圧延実績にあわせ  $\alpha_1=0.04$ 、 $\alpha_2=0.02$  に修正を行う。

### 3.2 エッジャ圧延による平面形状の推定

材料側端部を縦ロールでエッジングすることは、フロント～テイル間の幅変動量の減少と板幅の制御に対して効果があり、側端部のメタルを長さ方向に伸ばすことにより、フロント、テイル部のクロープ形状を改善する。

エッジングした場合、ドッグボーンが生じるため次の水平ロール圧延で幅戻りが生じる。エッジング効果係数  $\eta_E$  を次式により定義する。

$$\eta_E = (W_0 - W_2) / \Delta h_E \dots\dots\dots (10)$$

$W_0$ ; エッジング前の板幅

$W_2$ ; 水平ロール圧延後の板幅

$\Delta h_E$ ; エッジング量

Fig. 6 にエッジング効果係数  $\eta_E$  におよぼす板厚の影響、及び板幅の影響を示す。

(イ) 定常部 (ミドル部) と比較して非定常部 (フロント・テイル部) のエッジング効果係数が大きい。

(ロ) 板厚の影響は小さく、板幅の影響は大きい。

特にフロント・テイル部のエッジング効果係数  $\eta_E$  がミドル部と異なるのは、縦ロールで圧下した場合、フロント・テイル部のメタルが長さ方向に流れやすいため、ドッグボーンが小さくなり、更に次の水平ロール圧延で長さ方向に伸ばされやすいためである。

厚板圧延機による実験結果を次に示す。Fig. 7 はエッジング量とドッグボーン高さの関係を示すがトータルエッジング量が同一であつても 1パス当たりのエッジング量が大きい程、エッジング圧下影響深さの違いにより、エッジング効果係数は大きくなる。Fig. 8 はドッグボーンを水平ロール圧延した後の幅変化を示すが、ミドル部ではエッジング量の 1/2 程度の幅戻りが生じ、フロント、テイル部では幅収縮が生じている。

L方向エッジングのクロープ長、幅変動量に及ぼす影

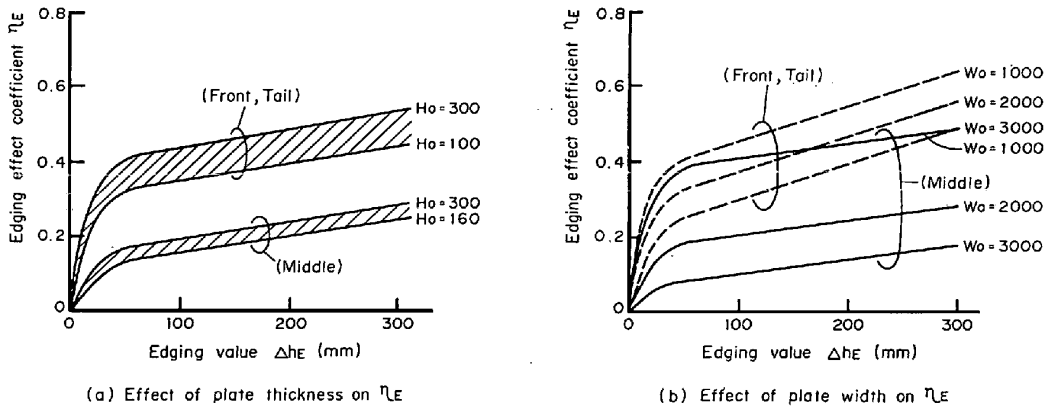


Fig. 6. Coefficient  $\eta_E$  for edging effect at the front, tail and middle part of plates.

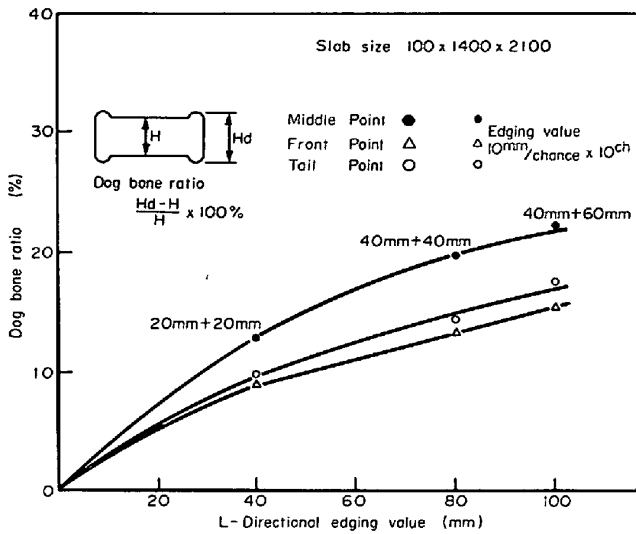


Fig. 7. The relation between dog bone ratio and longitudinal directional edging value.

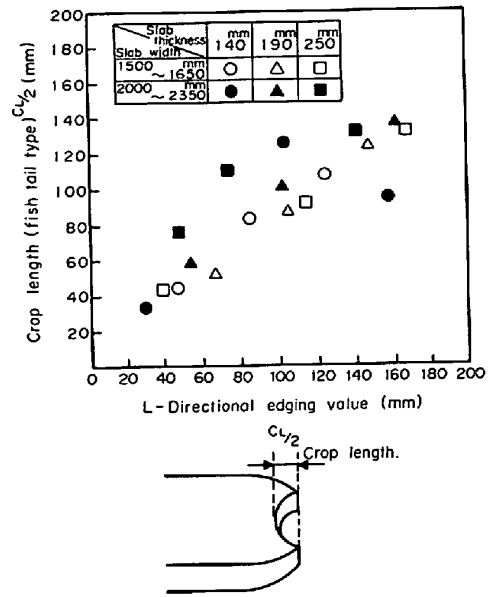


Fig. 9. The relation between longitudinal directional edging value and crop length.

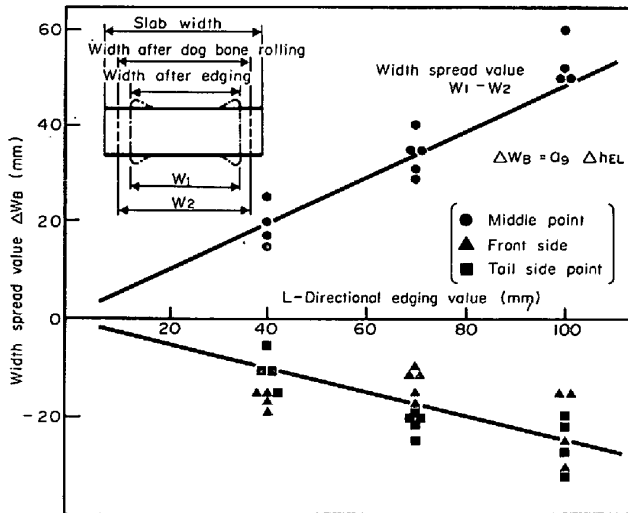


Fig. 8. Width spread value after dog bone rolling.

響については、Fig. 9<sup>8)</sup>により、以下に示される。

$$C_E = -2\Delta h_E \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$C = C' + C_E \quad \dots\dots\dots (12)$$

$C_E$ ; L方向エッジングによるクropp長

$C$ ; L方向エッジング後のクropp長

$C'$ ; エッジングなしの場合のクropp長

$$\Delta W = (1 - \eta_E) \Delta h_E \quad \dots\dots\dots (13)$$

$\Delta W'$ ; エッジング前幅変動量

$\Delta W$ ; エッジング後幅変動量

以上より、エッジングによる平面形状の変化について推定を行うと幅出し比 (成品幅/スラブ幅) が大きい場合はたいこ形 (エッジング前の幅変動量  $\Delta W' > 0$ ) となり、エッジングを行うことにより矩形度が改善される。この場合のクropp長  $C$ 、幅変動量  $\Delta W$  は

$$C = C' - 2\Delta h_E \quad (\Delta h_E \geq \alpha \Delta W', 1.0 \geq \alpha > 0)$$

$$\dots\dots\dots (14)$$

$$\Delta W = (1 - \eta_E) \Delta h_E + (\Delta W' - \Delta h_E)$$

$$(\Delta h_E < \Delta W') \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\Delta W = (1 - \eta_E) \Delta h_E \quad (\Delta h_E \geq \Delta W') \quad \dots\dots\dots (16)$$

と表される。次に幅出し比が小さい場合は、つづみ形 (エッジング前の幅変動量  $\Delta W' < 0$ ) となり、エッジン

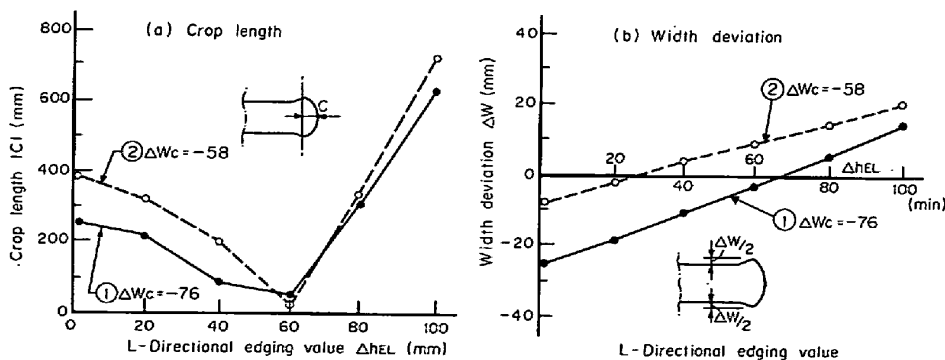


Fig. 10. Change of crop length and width deviation by only longitudinal directional edging.

グを行うと、クランプ長  $C$ 、幅変動量  $\Delta W$  は

$$C = C' - 2\Delta h_E \dots\dots\dots (17)$$

$$\Delta W = \Delta W' + \Delta h_E \quad (\Delta h_E < |\Delta W'|) \dots\dots\dots (18)$$

$$\Delta W = (1 - \eta_E) \cdot (\Delta W' + \Delta h_E) \quad (\Delta h_E \geq |\Delta W'|) \dots\dots\dots (19)$$

と表される。

Fig. 10 (a) (b) に計算結果の一例として幅出し圧延完了後の仕上げ圧延第1パスにおいて、L方向エッジングのみを行つた時の成品クランプ長さ  $C$ 、および幅変動量  $\Delta W$  を示す。なお、 $\Delta W_C$  はエッジング前の幅変動量である。

(1) 凸状のクランプはL方向エッジング量  $\Delta h_{EL}$  の増加とともにしだいに減少し、ある程度以上になるとフィッシュテール状に変化する。

(2) 幅変動量はL方向エッジング量  $\Delta h_{EL}$  の増加とともにつづみ形からたいこ形に変化する。

これらを併せて歩留りとして模式的に評価したものが Fig. 11 である。

次に Fig. 12 (a) (b) に幅出し圧延および仕上げ圧

延の各第1パスでそれぞれC方向およびL方向エッジングした時のクランプ長  $C$ 、および幅変動量  $\Delta W$  を示す。

(1) C方向エッジングを行うことにより、C方向エッジングのみの場合に比べてクランプ長さは若干減少するがL方向エッジングの場合と同一傾向を示す。

(2) C方向エッジングを行うと一般に板幅はつづみ形になるが、L方向エッジング量が大きくなるほど、たいこ形に近づく。

以上のことから明らかなようにC方向とL方向のエッジングを組み合わせるにより、成品の平面形状は自由に変えられる。従つて、圧延条件を考慮して最適なエッジング量を取るにより、成品平面形状を矩形に近づけることが可能である。

#### 4. エッジ最適用システムの確立

以上の実験的研究結果から得られた知見を基に、名古屋製鉄所厚板ミルにおいて、L方向およびC方向の最適なエッジング量の決定方法を求め、エッジ最適用システムを確立することとした。

##### 4.1 エッジ使用の考え方

C方向、L方向エッジングの特性を最大限に活用するため、その使用タイミングを、圧延能率、通板性、平面形状制御効果から、次の考えに基づき決定した。

- (1) 最小のパス回数で効果を得る。
- (2) スラブの厚いパスで使用する。

従つて、エッジングは、整形圧延完了後90°転回した後と、幅出し圧延完了後90°転回した後に行ふこととした。次に、この時のエッジの最適な使用条件を求めめるための方法として、実操業での圧延過程を次に述べる3段階に分け、平面形状変化の特性を明らかにし、これに基づいてL方向エッジング量の最適値  $\Delta h_{EL}^*$ 、C方向エッジング量の最適値  $\Delta h_{EC}^*$  を決定した。

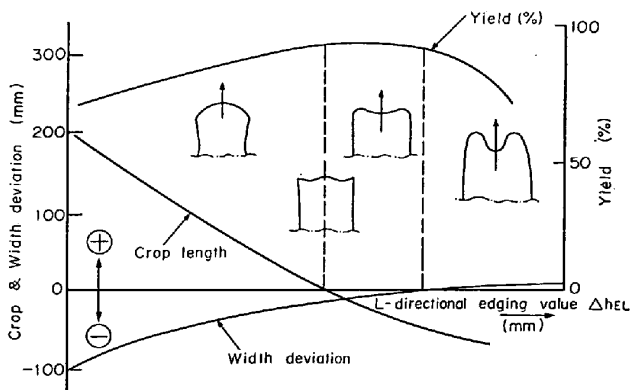


Fig. 11. The relation between longitudinal directional edging value and crop length, width deviation and yield.

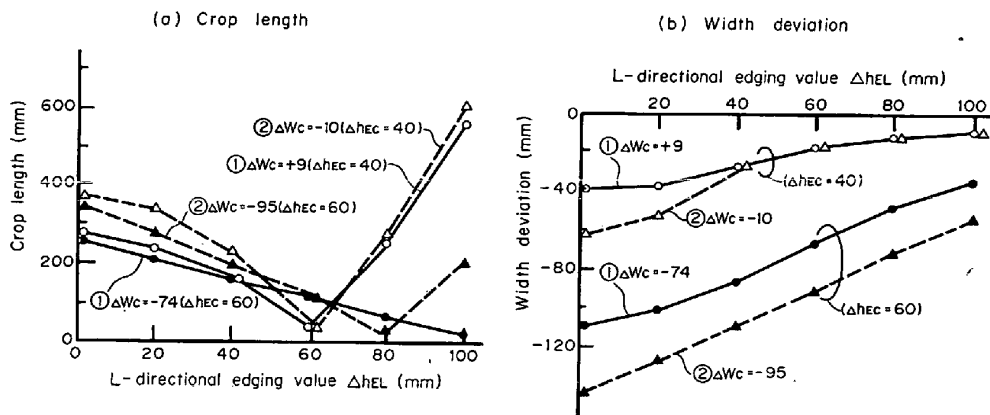


Fig. 12. Change of crop length and width deviation by cross and longitudinal directional edging.

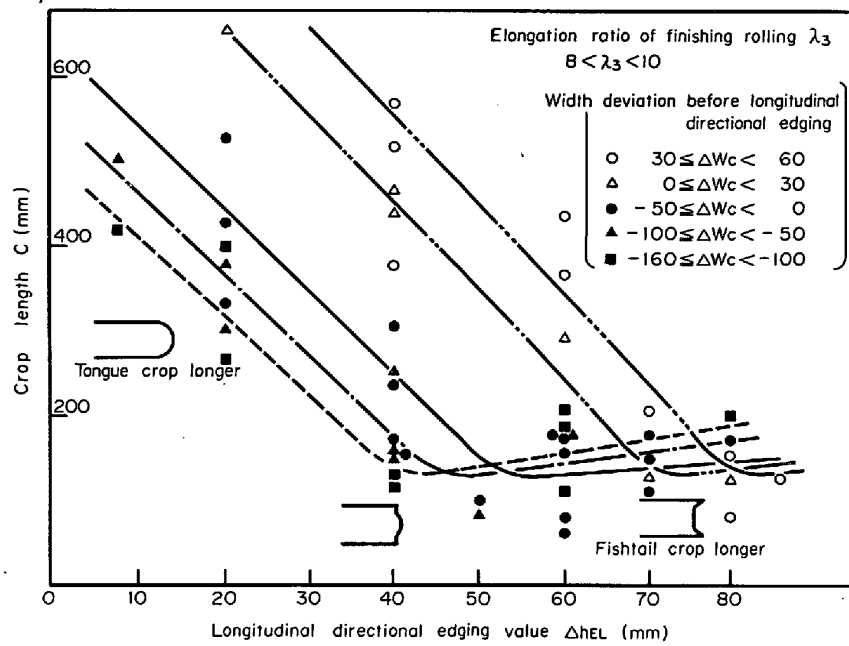


Fig. 13. The relation between longitudinal directional edging value and crop length.

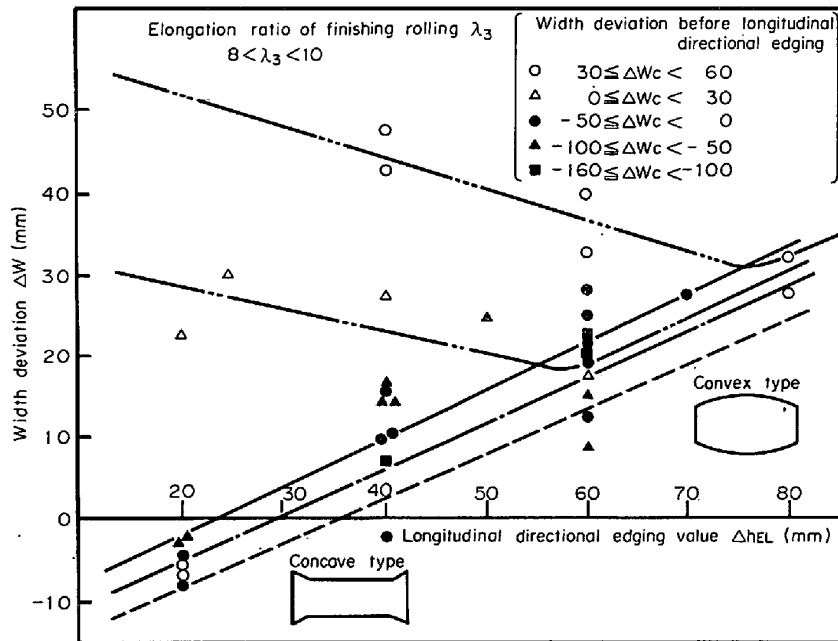


Fig. 14. The relation between longitudinal directional edging value and width deviation.

4.2 L方向最適エッジング量 ( $\Delta h_{EL}^*$ ) の決定 (第1ステップ)

Fig. 13 にL方向エッジング量  $\Delta h_{EL}$  と平均成品クランプ長  $C$  の関係を示す. その傾向は次のようになる.

- (1)  $\Delta h_{EL}$  を大きくすると, クロップ形状は凸状から, フィッシュテイル状に変化する.
- (2) 平均成品クランプ長  $C$  はある  $\Delta h_{EL}$  で極小点を持ちそれ以後の増加は小さい.
- (3) L方向エッジング前の幅変動量  $\Delta W_c$  が小さい

ほどこの極小点を実現する  $\Delta h_{EL}$  は小さい. すなわち, つづみ形であれば最適  $\Delta h_{EL}$  は小さくなる.

次に Fig. 14 に, L方向エッジング量  $\Delta h_{EL}$  と幅変動量  $\Delta W$  の関係を示す. その傾向は次のようになる.

- (1)  $\Delta W_c$  がたいこ形状の場合,  $\Delta h_{EL}$  を大きくすると,  $\Delta W$  は極小点をもつ. また,  $\Delta W_c$  が大きいほどその極小点は大きく, それを実現する  $\Delta h_{EL}$  は大きい.
- (2)  $\Delta W_c$  がつづみ形状の場合,  $\Delta h_{EL}$  を大きくすると,  $\Delta W$  は0になり, つづみ形状からたいこ形状へと

変化する。つづみ形状が大きいほど  $\Delta W$  を 0 とする  $\Delta h_{EL}$  は大きくなる。

以上の結果から、鋼板の矩形度を最良とするための L 方向エッジング量  $\Delta h_{EL}^*$  を次に求める。

この条件は平均クランプ長  $C$  による歩留りロス  $\eta_C$  と、幅変動量  $\Delta W$  による歩留りロス  $\eta_W$  を求め、 $\eta_C + \eta_W$  を最小にする  $\Delta W_C + \Delta h_{EL}$  の組み合わせとして求めることによつて可能である。Fig. 13, 14 より、 $C \leq 200$  mm,  $|\Delta W| \leq 10$  mm を満足する領域 A, 及び  $C \leq 400$  mm,  $|\Delta W| \leq 20$  mm を満足する領域 B を求め、Fig. 15 に示した。これより、最適エッジング量,  $\Delta h_{EL}^*$  および L 方向エッジング前最適幅変動量  $\Delta W_C^*$  を決定することができる。

**4.3 C 方向最適エッジング量  $\Delta h_{EC}^*$  の決定 (第 2 ステップ)**

Fig. 16 に幅出し比  $\lambda_2$  をパラメータとして、C 方向エッジング量  $\Delta h_{EC}$  と L 方向エッジング前幅変動量  $\Delta W_C$  の関係を示した。これより次のことが言える。

(1) C 方向エッジング量  $\Delta h_{EC} = 0$  の場合、幅出し比  $\lambda_2$  が大きいほど、つづみ形状からたいこ形状へ移行する。すなわち、L 方向エッジング前幅変動量はプラス側となる。

(2) C 方向エッジング量  $\Delta h_{EC}$  を大きくすると、たいこ形状から、つづみ形状に大幅に制御可能である。

Fig. 16 より、第 1 ステップで決定された L 方向エッジング前最適幅変動量  $\Delta W_C^*$  を実現するための  $\Delta h_{EC}^*$  が幅出し比  $\lambda_2$  をパラメータとして決定される。

第 1 ステップ、第 2 ステップの手順により、鋼板矩形度を最良とするエッジング量が決定できるようになつ

た。

**4.4 L 方向エッジング後の幅変化挙動 (第 3 ステップ)**

次に L 方向エッジング後の幅変化挙動を解明し、成品の絶対幅の制御の手順を示す。Fig. 17 に、L 方向エッジング後水平ロール圧延を加えていつた場合の幅変化挙動を示す。水平ロールの圧下に伴い、圧延フロント、テイル部とミドル部で幅広がり量が異なり、幅変化が生じている。ミドル部の幅広がり量を Fig. 18 に示すが、各パスごとの圧下比の逆数に比例する関係にあり、また、板形状比 ( $W_{i-1}/H_{mi}$ ) の関数で表わすことができる。

$$\Delta W_E = \sum_{i=1}^n [a_5(W_{i-1}/H_{mi})^2 + a_6(W_{i-1}/H_{mi}) + a_7] \frac{W_i}{1-r_i} + a_8 \dots \dots (20)$$

$\Delta W_E$ ; 長さ方向圧延での幅広がり  
 $W_{i-1}$ ;  $i$  パス入側圧延幅  
 $H_{mi}$ ;  $i$  パス出側平均板厚  
 $r_i$ ;  $i$  パス圧下率

この幅広がり量にドッグボーン圧延後の幅戻り量を加え、L 方向最適エッジング量  $\Delta h_{EL}^*$  を考慮して、熱間目標幅  $W_H$  を決定する。

**4.5 エッジ最適使用システム**

以上の手順を総括して、鋼板の矩形度及び圧延材の絶対幅の制御を行うための C 方向、L 方向の最適エッジング量および熱間目標幅の計算フローを Table 1 に示す。

初期条件に従つて収束計算により、最適 L 方向エッジング量  $\Delta h_{EL}^*$ 、幅出し圧延完了時点の最適幅変動  $\Delta W_C^*$  を求めて熱間目標幅  $W_H$  を算出する。次に、 $\Delta W_C^*$  を得るための、 $\Delta h_{EC}^*$  を決定し、C 方向エッジングを  $\Delta h_{EC}^*$  の圧下量で行い、L 方向エッジングを (熱間目標

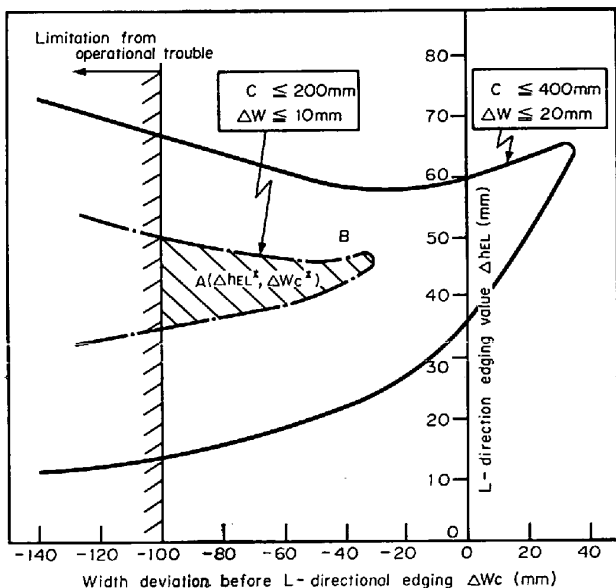


Fig. 15. Optimum region to get rectangular plate.

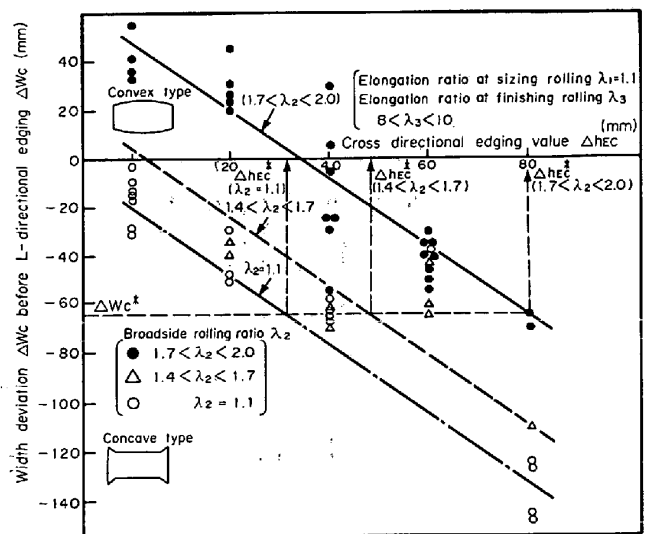


Fig. 16. Figure to get the optimum cross directional edging value  $\Delta h_{EC}^*$  (mm).

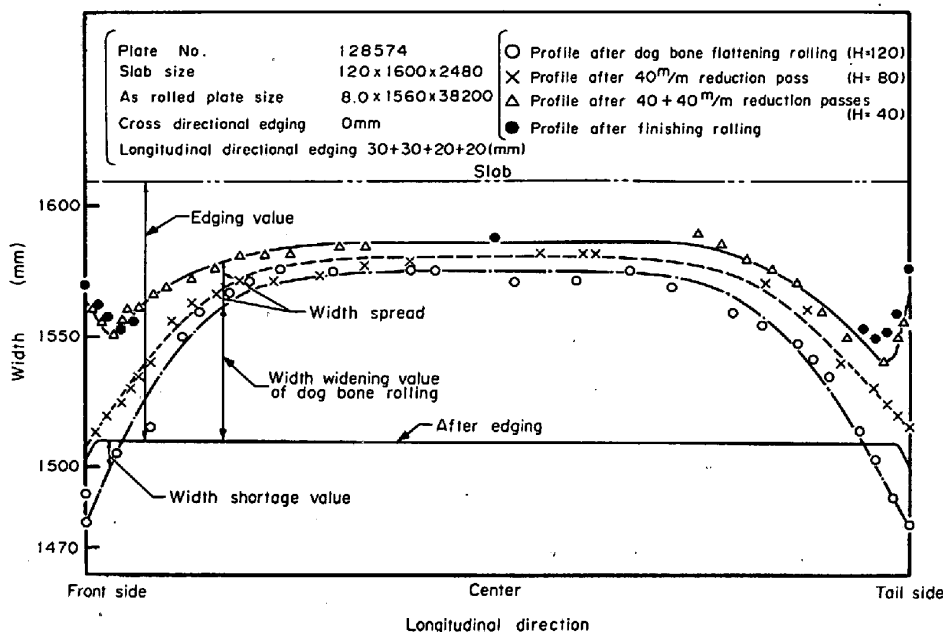


Fig. 17. Change of width deviation after longitudinal directional edging and finishing rolling.

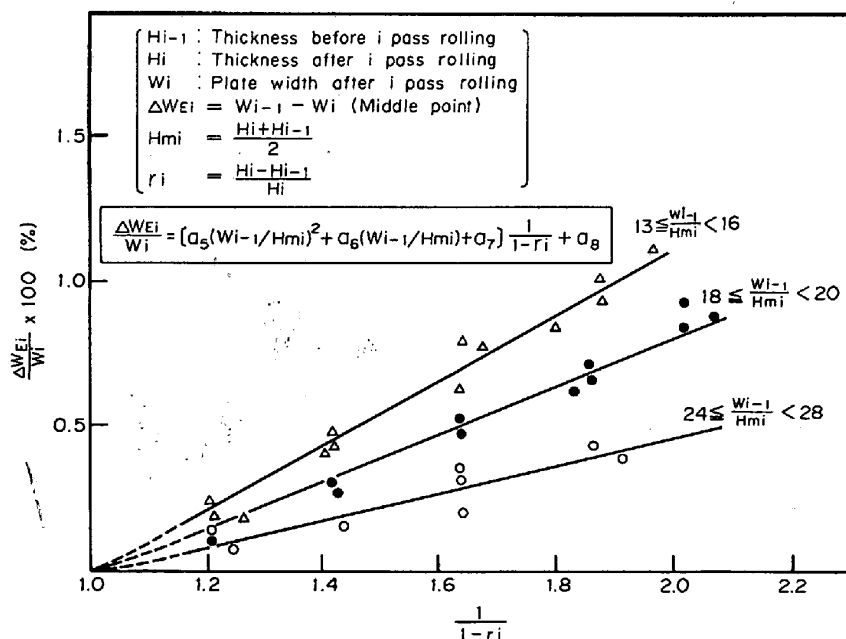


Fig. 18. The relation between thickness ratio and width spread at middle point in longitudinal-direction.

幅  $W_H - \Delta h_{EL}^*$ ) の幅セットで行う。

### 5. 本システムの効果

本システムに従って圧延された鋼板、およびエッジなしで圧延されたもののクランプ長と幅変動量との比較を Fig. 19, 20 に示す。

成品クランプ長については、エッジなしでは、幅出し完了後の延伸比によつて増加するものが、エッジの適切な使用によつて抑えられている。また、幅変動は幅出し比にかかわらず  $\pm 20$  m/m 以下を示している。

これに加えて、圧延中の変形量を考慮した適切なエッジセットアップ計算により、絶対幅コントロールが行われ、幅精度が矩形度を維持したままの状態で行われる。エッジ最適使用システムの効果を総括的に Table 2 に示す。

### 6. 結 言

厚板の高歩留り圧延法として、鋼板の矩形度を最良にするエッジの最適圧延システムを完成した。

本システムはエッジ圧延をL方向圧延時、C方向圧



Table 1. Optimum system of edger rolling.

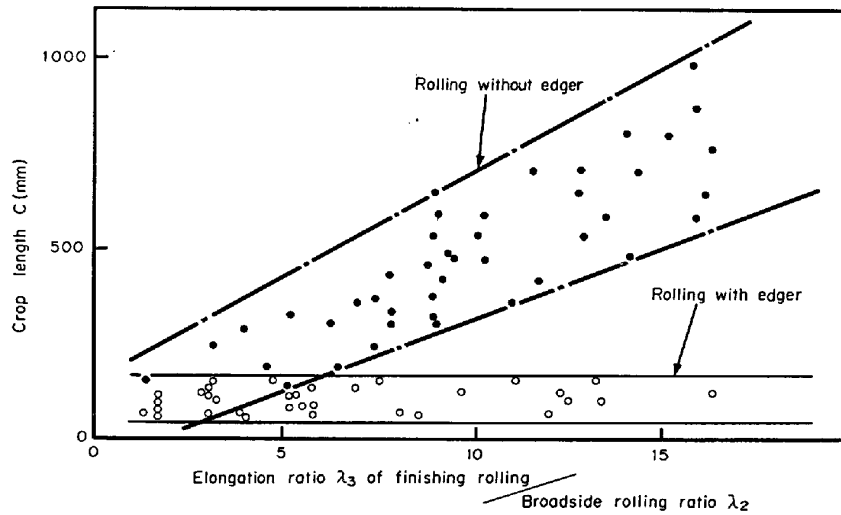
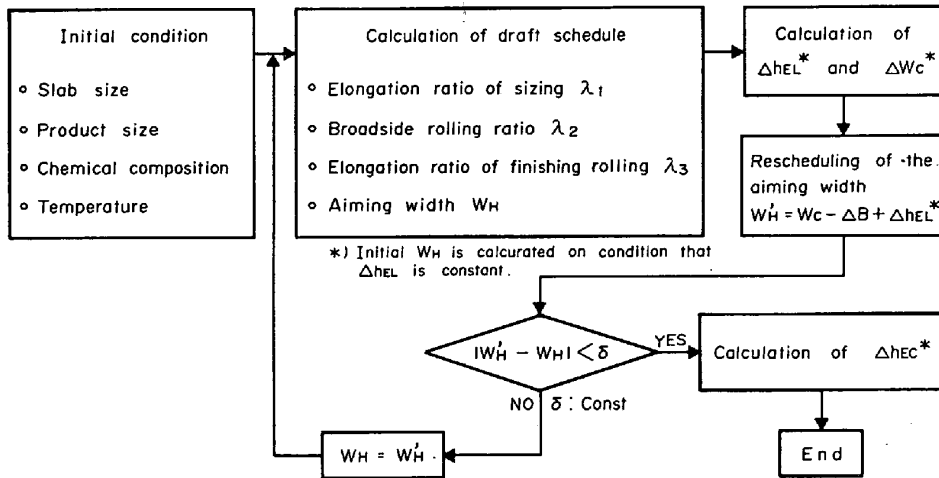


Fig. 19. The effect on crop length by the optimum system of edger rolling.

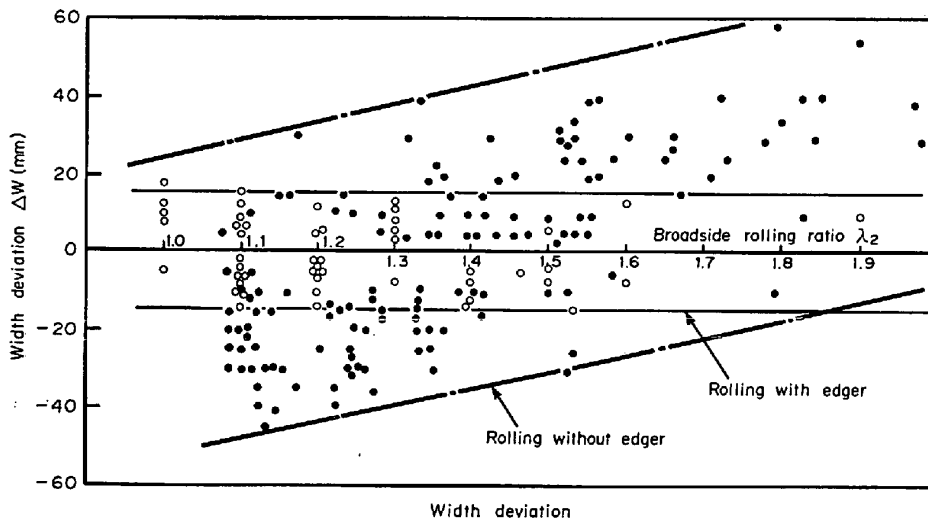


Fig. 20. The effect on width deviation by the optimum system of edger rolling.

Table 2. Effect by using the optimum system of edger rolling.

Item	Without edger	New edging system
Crop length C	< 800 <sup>mm</sup>	< 200 <sup>mm</sup>
Width deviation	< 80	< 15
$ W_o - W_o $ *	< 70	< 30
Yield	—	+3.0%

延時に適用, 組み合わせることによつて

○ 板幅変動の減少 ○ クロップ長の減少  
 ○ 絶対幅精度の向上 ○ オーバーラップの減少  
 などを可能にし, エッジ無しでの圧延に対し約3%の歩留りの向上を達成することができた。

鋼板の平面形状(矩形度)向上の技術については, 冒頭にも述べたように, エッジの使用以外にも多くの方法が行われている。エッジは, 能率の低下, 薄物への適用の困難等の問題があるが, 一方絶対幅の制御可能という優れた特長を有している。

今後, これらの問題点の解決, あるいはエッジング量の圧延中の変更などを可能にし, エッジ機能の一層の拡大をはかれば, 更に歩留りは向上するものと考えられ, また, ノートリムプレートも夢ではないものと確信する。

#### 文 献

- 1) 岡戸 克, 有泉 孝: 鉄と鋼, 66 (1980), S964
- 2) 横井玉雄, 美坂佳助, 吉松幸敏, 木村俊一, 大高脩: 鉄と鋼, 66 (1980), A181
- 3) 平井信恒, 吉原正典, 坪田一哉, 菊川裕幸, 西崎宏: 鉄と鋼, 66 (1980), A157
- 4) 豊場満雄, 渡辺秀規, 高橋祥之, 金田欣亮: 鉄と鋼, 66 (1980), A161
- 5) 泉 進: 特許出願公告 昭 38-9420
- 6) B. Yu ZELICHEKOK: Stal' (1974-12), p. 1104
- 7) 岡戸 克, 有泉 孝: 鉄と鋼, 62 (1976), S614
- 8) 川村浩一, 福田次男, 佐藤 満, 平石勇一, 森克博: 鉄と鋼, 63 (1977), S216
- 9) 中島浩衛, 渡辺和夫, 時田秀紀, 福田次男: 鉄と鋼, 65 (1979), S301