

## 技術報告

UDC 621.771.23 : 62-531 : 531.717.8

## 厚板圧延における新平面形状制御法の開発

—差厚幅出し圧延法—

渡辺 秀規\*・高橋 祥之\*・塚原 戴司\*  
千貫 昌一\*・金田 欣亮\*

## Development of New Plan View Pattern Control in Plate Rolling

Hideki WATANABE, Shyoji TAKAHASHI, Taizi TSUKAHARA,  
Masakazu SENGAN, and Yoshiaki KANEDA

## Synopsis:

Recently, the techniques to improve material yield in plate rolling have been rapidly progressed. Among them the progress of the plan view pattern control rolling, represented by MAS (Mizushima Automatic Plan View Pattern Control System) rolling and others, is remarkable. The authors have developed another plan view pattern control rolling, which can be easily applied to existing mills.

The new method is characterized by the inclination of the upper roll during broadside rolling, which is effective to modify the convex side crop shape.

On the other hand, in order to modify the convex end crop shape edger rolling has been used, but it generates the convex side crop shape.

Then it is effective to use edger rolling together with our new rolling to modify both the convex end crop shape and the convex side crop shape.

This plan view pattern control system is easily applicable and can improve material yield by 1~1.5%. Satisfactory results are being obtained by its application to the plate mill at Chiba Works of Kawasaki Steel Corporation.

## 1. 緒 言

厚板圧延における最大の歩留り低下要因は鋼板のトップ、ボトムに生じるエンドクロップと、幅に生じるサイドクロップからなる平面形状の不均一変形である。この平面形状の不均一変形は、素材(スラブ)の幅よりも広幅の鋼板を製造するために、スラブがその長さ方向にばかりではなく、90度圧延方向を変えて幅方向にも圧延されるために生じる。厚板の製品は原則として矩形であるから厚板の歩留りを向上させるためには、歩留りロス約50%を占めるエンドクロップとサイドクロップを小さくして、圧延最終の鋼板平面形状をできるだけ矩形にすることが必要である。

筆者らは、既設圧延機を利用してサイドクロップを減少することのできる圧延法を開発した。これを「差厚幅出し圧延法」と呼び千葉厚板工場において実施し成果を上げている。ここでは、本圧延法の原理と効果、およびエンドクロップとサイドクロップの両方を減少させるた

めにエッジャー圧延と組み合わせた場合の効果について報告する。

## 2. 厚板の平面形状

厚板圧延ではスラブは、成形圧延、幅出し圧延、仕上げ圧延の3段階を経て所定の厚み、幅、長さ圧延される。鋼板端部に生じる不均一変形は、成形圧延、幅出し圧延といった圧延初期のスラブの比較的厚い段階で顕著に起こり、これに仕上げ圧延の際の変形が加わって、圧延最終の鋼板平面形状は複雑に変化するが、圧延製品長とスラブ長の比(圧延比)と圧延製品幅とスラブ幅の比(幅出し比)を使って Fig. 1 に示すように2通りに大別することができる。エンドクロップについては凹形のをフィッシュテール、凸形のを舌形と称し、サイドクロップについても凹形のをつづみ、凸形のをたいことと称する。

サイドクロップはその形状を(1)式で定義するたいこ量を用いて表すことができる。たいこ量がマイナスの時

昭和56年3月12日受付 (Received Mar, 12, 1981)

\* 川崎製鉄(株)千葉製鉄所 (Chiba Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasaki-cho Chiba 260)

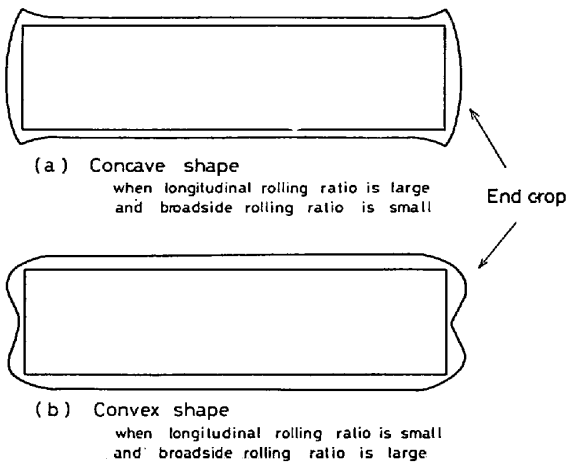


Fig. 1. Two typical plan view patterns of rolled plates.

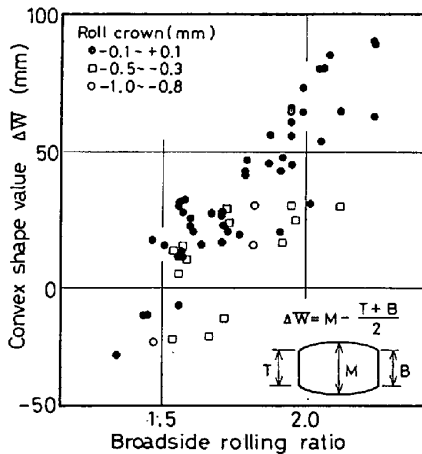


Fig. 2. Convex shape value at conventional rolling.

がつづみであり、プラスの時がたいこである。また、このたいこ量の値は幅出し圧延時のロールクラウン（ロール摩耗）にも影響され、Fig. 2 に示すように、ロールクラウンがマイナスになるとたいこ量は小さくなる。

$$\Delta W = M - \frac{T+B}{2} \dots\dots\dots (1)$$

- $\Delta W$ ; たいこ量
- $M$ ; 長さ方向中央部の幅
- $T$ ; 長さ方向先端部の幅
- $B$ ; 長さ方向後端部の幅

### 3. 差厚幅出し圧延法

この圧延法の特徴は、成形圧延、幅出し圧延の過程で不均一に変形した鋼板端部（幅出し圧延時の両幅端部）の形状を修正して鋼板平面形状を矩形に近づけるために幅出し圧延後に、ロールを傾斜させて端部だけを圧延することである。ロールの傾斜量はこの不均一変形の大小に応じて決まる値である。Fig. 3 に本圧延法の圧延過程を示す。図中の斜線部分が本圧延法によつて変形を受け

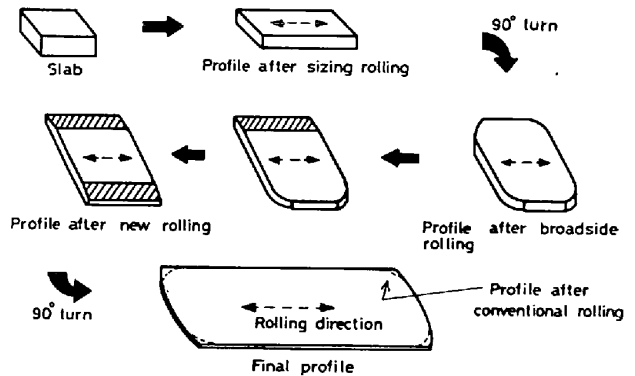


Fig. 3. Process of new plan view pattern control rolling.

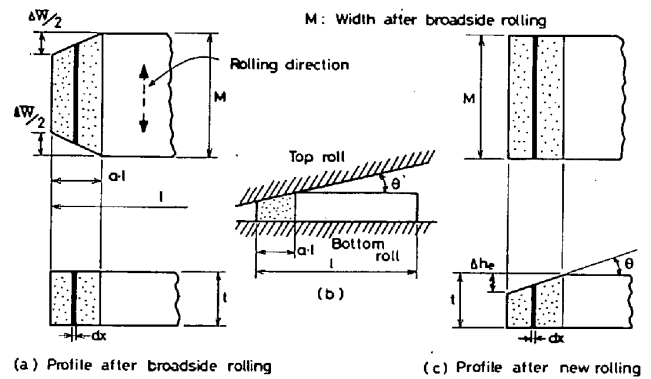


Fig. 4. Principle of plan view pattern control.

る部分である。圧延は両幅端に対して行うので、パススケジュール上は幅出し圧延パスが2パス追加される。

#### 3.1 差厚幅出し圧延法の原理

幅出し比が大きく、幅出し圧延後にたいこ形状になったことを想定して鋼板の平面形状を Fig. 4(a) のようにモデル化する。Fig. 4 は平面形状の片側だけを示したものである。

端部の幅は中央部の幅  $M$  と比べてたいこ量  $\Delta W$  分だけ狭くなっている。また、点を打つた部分が不均一変形部分で、その範囲は端部から長さ  $\alpha \cdot l$  に及んでいる。この不均一変形部分の幅を広げて中央部の幅と同じ値にすれば Fig. 4(c) に示すように鋼板平面形状は矩形になる。そのためには Fig. 4(b) に示すようにロールを傾斜させて端部へ行くほど圧下量を増やして圧延方向（図中矢印）の伸び率を大きくすることが必要である。

以下に差厚幅出し圧延パスの圧下量とロールの傾斜角を決めるための式を示す。初めに2つの仮定を設ける。

(1) 不均一変形部分（図中の点を打つた部分）の体積は差厚幅出し圧延前後で不変である。

(2) ロールはクラウンが無いものとする。

以上のことから、不均一変形部分に含まれる微小要素  $dx$  を考えると、2つの仮定から次の等式が成立する。

$$\left(M - \frac{\Delta W}{\alpha \cdot l} \cdot x\right) \cdot t \cdot dx = \left(t - \frac{\Delta h_e}{\alpha \cdot l} \cdot x\right) \cdot M \cdot dx \dots\dots\dots (2)$$

$x$ ; 端部からの距離

従つて端部の压下量  $\Delta h_e$  は幅出し圧延後の幅、厚さとたいこ量によつて(3)式で表される。

$$\Delta h_e = \frac{t \cdot \Delta W}{M} \dots\dots\dots (3)$$

次に、ロールの傾斜角  $\theta$  は、 $\Delta h_e$  と不均一変形部分の長さ  $\alpha \cdot l$  の比で(4)式のように表される。

$$\tan \theta = \frac{\Delta h_e}{\alpha \cdot l} = \frac{t \cdot \Delta W}{\alpha \cdot l \cdot M} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

$\Delta h_e$ ; 鋼板端部の压下量

$t$ ; 幅出し圧延終了厚

$l$ ; 成形圧延後の長さ (=幅出し圧延時の幅)

$\alpha$ ; 定数

このようにして压下量とロールの傾斜角が求めれば、差厚幅出し圧延パスの圧下設定値は Fig. 5 の幾可学的関係から(5)式のように表される。

$$\left. \begin{aligned} S1 &= t + \left(\frac{L+l}{2} - \alpha \cdot l\right) \tan \theta \\ S2 &= t - \left(\frac{L-l}{2} + \alpha \cdot l\right) \tan \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

$S1, S2$ ; ドライブサイドとワークサイドの圧下設定値

$L$ ; ロールを傾斜させる時のドライブサイドとワークサイドの支点間距離

(4)式で  $S1, S2$  を求めて、初めにドライブサイド(DS)を  $S1$  に、ワークサイド(WS)を  $S2$  に設定してWS側の端部を圧延し、次に  $S1$  と  $S2$  を逆に設定してDS側の端部を圧延すれば両端部の形状を修正することができる。

両端部で形状が異なればそれぞれに応じた  $S1, S2$  の値を求めて圧延する。

なお、差厚幅出し圧延後は、ロールで圧下された部分の断面が Fig. 4(c) のようにテーパ状になるが、これ

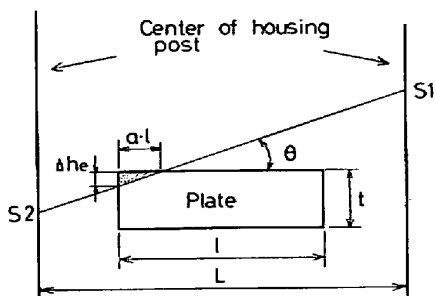
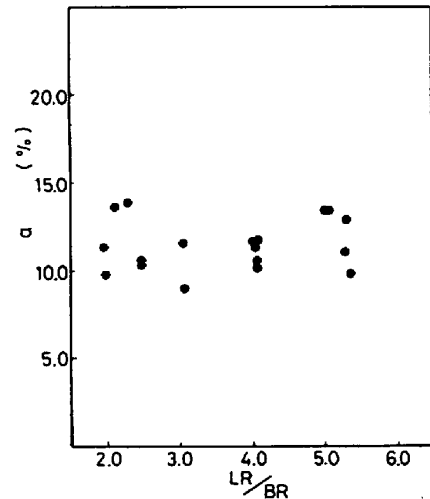


Fig. 5. Screw positions of rolling mill.



LR; Longitudinal rolling ratio BR; Broadside rolling ratio  
Fig. 6. Variation of profile modification coefficient.

は仕上げ圧延において修正され製品の厚みには影響しない。

3.2 形状修正係数

Fig. 4 に示す  $\alpha \cdot l$  は不均一変形部分の鋼板端部からの長さであり、 $\alpha$  は不均一変形部分が成形圧延後の長さにも占める割合を表す。すなわち、端部の形状を修正するために変形を加えなければならない範囲を示すもので、これを形状修正係数と呼ぶ。

形状修正係数の値は圧延比と幅出し比の比で整理すると Fig. 6 に示すようにほぼ一定の値となる。

3.3 プラスチシンによる変形特性調査

プラスチシンを用いて差厚幅出し圧延を行つた時の材料の変形特性を調査した。プラスチシンスラブは、Fig. 4(a) のような、幅出し圧延後の鋼板平面形状の片側を想定した形状とし、たいこ量は 30 mm、不均一変形部分の長さは 100 mm とした。実験条件を Table 1 に示す。なお、ロールは鋼製のものを使用し、ロールとプラスチシンの間の潤滑剤には熱間圧延の摩擦状態に対応させるために炭酸カルシウム粉末を用いた。圧延時のプラスチシンの温度は 20°C とした。さらに、実験材の表面には変形状態が観察できるように 10 mm の格子線を罫書いた。

Table 1. Experimental condition for plasticine model.

Dimension of the test piece	28 <sup>t</sup> x 250 <sup>M</sup> x 350 <sup>l</sup> (mm)
Convex shape value	30 (mm)
Roll diameter	300 (mm)
Inclining angle	1.92 (deg)
Reduction of the edge	3.36 (mm)
Lubricant	CaCO <sub>3</sub>
Temperature	20 (deg)

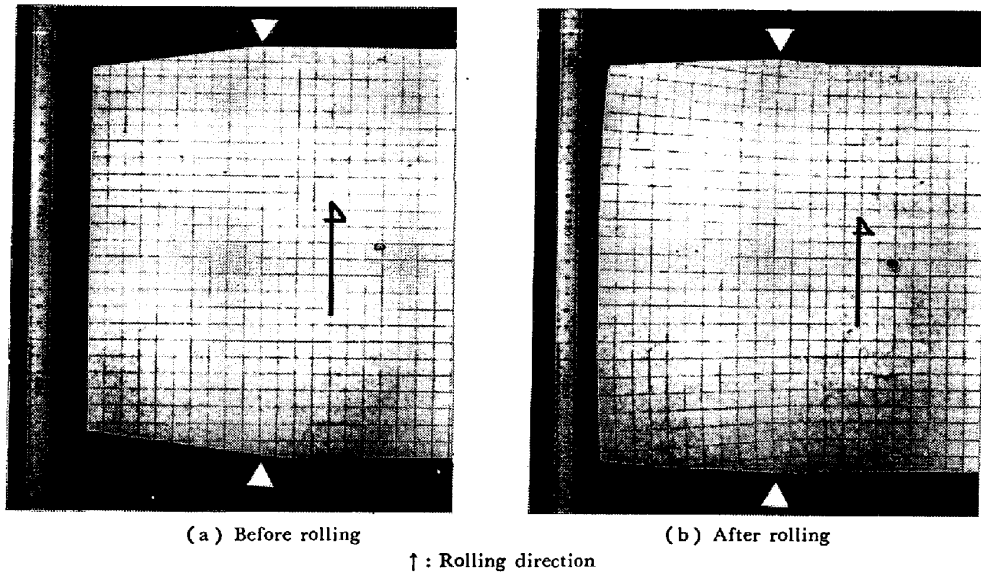


Photo. 1. Profile change of the plasticine slab.

差厚幅出し圧延前後の平面形状の比較を Photo. 1 に示す。変形を受けた部分が圧延方向に伸び、その伸び率が端部へ行くほど大きくなっているため平面形状が矩形に近くなっている。この実験からはさらに以下のことが明らかになった。

(1) ロールで圧下された部分に引張られて変形を受け、幅形状が変化している部分の長さは  $\alpha \cdot l$  の 1.15 倍となっている。

(2) 端部から長さ  $\alpha \cdot l$  の角の部分 (Photo. 1  $\nabla$  印参照) は長さ方向中央部の幅よりも広くなり、両端部に対して差厚幅出し圧延を行えばサイドクロップの形状が凸形部が 2 つある 2 山形になる。

(3) 端部のエンドクロップに相当する部分が丸くなり、差厚幅出し圧延によつて凸形のエンドクロップが成長する。

噛み込み側、戻り側で形状に非対称性が見られるが、これは圧延中にプラスチックスラブが斜行したためである。

3.4 実機による変形特性調査

次に、実機圧延によつて変形特性を調査した。供試材として Fig. 7 に示すモデルスラブを用いた。たいこ量は 80 mm、 $\alpha \cdot l$  の値は 480 mm とした。実験条件を Table. 2 に示す。

差厚幅出し圧延前後の平面形状の比較を Photo. 2 に、平面形状、断面形状の測定結果を Fig. 8 に示す。端部の圧下量、板厚のテーパ角度ともほぼ目標に一致しており、プラスチックを用いた実験同様に平面形状が改善されている。さらに以下の結果が得られた。

(1) 幅形状の変化している部分の長さは  $\alpha \cdot l$  の 1.3

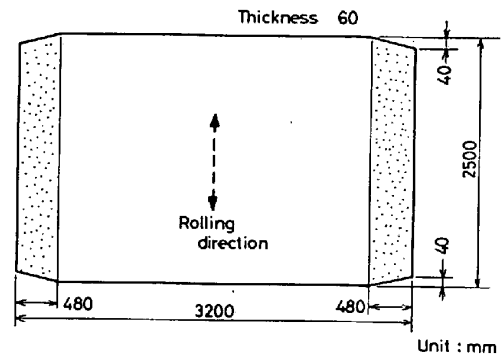


Fig. 7. Model slab dimensions to ascertain the effect of new rolling method.

Table 2. Experimental condition for actual slab.

Dimension of the slab	60 <sup>t</sup> x 2500 <sup>M</sup> x 3200 <sup>l</sup> (mm)
Convex shape value	80 (mm)
Roll diameter	991 (mm)
Inclining angle	0.23 (deg)
Reduction of the edge	1.92 (mm)

倍である。

(2) サイドクロップは 2 山形となるが、両端部の幅は中央部の幅と等しい。

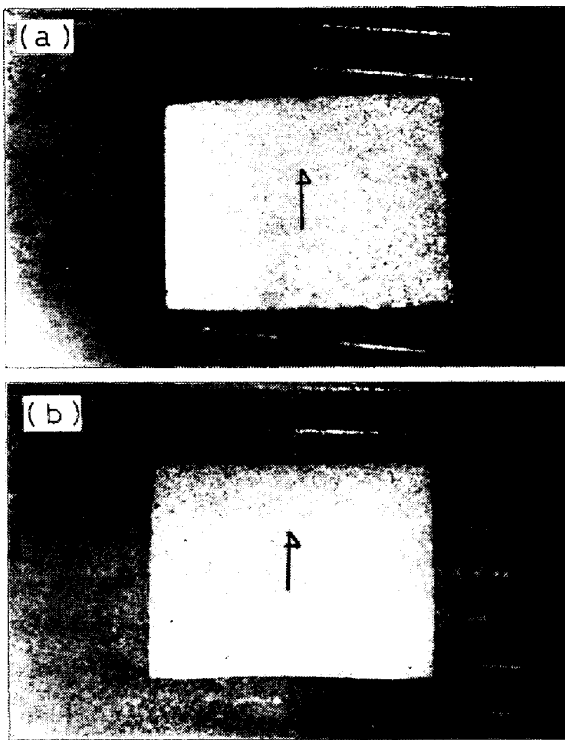
(3) 凸形のエンドクロップが形成される。

(4) 圧延荷重は百数十 t である。

なおスラブの斜行は起こらず、従つて変形に非対称性は見られない。

4. 効果

Fig. 9 に通常圧延材と差厚幅出し圧延材のサイドクロップの比較を示す。縦軸は最小幅からの偏差である。横軸はトップ、ボトムのエンドクロップを除いた製品有効



(a) Before rolling (b) After rolling  
↑: Rolling direction

Photo. 2. Profile change of the actual slab.

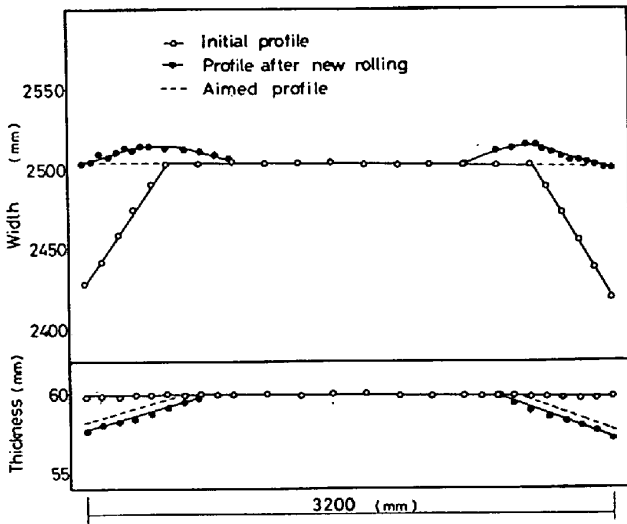


Fig. 8. An example of plate profile by new rolling.

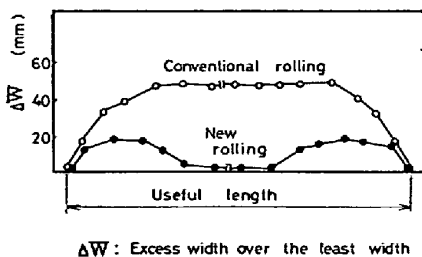


Fig. 9. Comparison of convex shape by new rolling with that by conventional one.

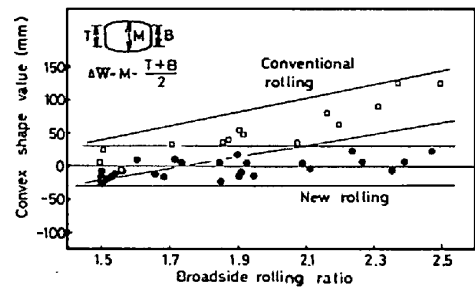
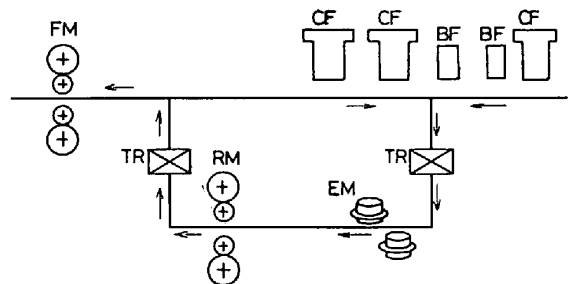


Fig. 10. Comparison of convex shape value by new rolling with that by conventional one.



FM; Finishing mill RM; Roughing mill EM; Edger mill  
CF; Continuous reheating furnace BF; Batch type reheating furnace TR; Transfer machine

Fig. 11. Layout of mills and slab flow.

長さである。

この例の場合、幅出し比は 1.98、圧延比は 10.3 である。通常圧延材のたいこ量は 50 mm にも達しているが、差厚幅出し圧延材ではほとんど 0 mm である。

また、横軸と幅の各点を結んだ線が囲む面積がたいこによる歩留りロスになる。差厚幅出し圧延材では 2 山形になっているが面積としては通常圧延材よりも小さく歩留りロスが少ない。この場合歩留りの向上は約 1% である。

次に、幅出し比をいろいろ変えた場合のたいこ量の比較を Fig. 10 に示す。通常圧延材では幅出し比の増加につれてたいこ量も大きくなるが、差厚幅出し圧延材では通常圧延材よりも小さく、幅出し比に無関係な一定の値となる。

プラスチックスラブやモデルスラブを用いた実験でみられた凸形のエンドクロップの成長については、成形圧延、幅出し圧延の過程における不均一変形の影響の方が強いために差厚幅出し圧延材で特にエンドクロップが大きくなっているということはなく実用上は問題ない。

### 5. エッジ圧延との組み合わせ効果

Fig. 11 に千葉製鉄所厚板工場のレイアウトを示す。エッジ圧延機は粗ミルの前面に設置されており、加熱炉から抽出されたスラブはエッジ圧延後に粗ミル

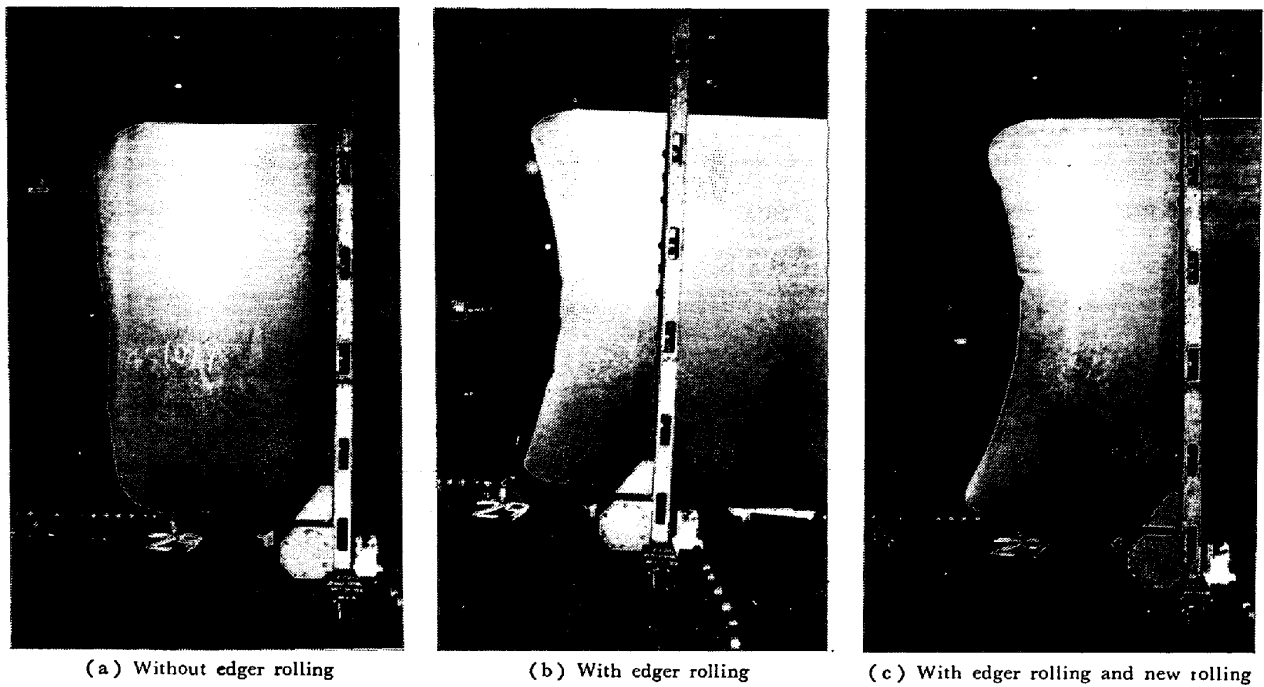


Photo. 3. Profile change of end crop.

Table 3. Comparison of yield losses.

	Rolling method	Crop shape losses (%)	Convex shape losses (%)	Total losses (%)	Improvement (%)
(a)	Conventional rolling	2.71	0.77	3.48	—
(b)	(a) + Edger rolling	0.98	2.15	3.13	+ 0.35
(c)	(a) + Edger rolling + New rolling	1.01	0.96	1.97	+ 1.51

\*Broadside rolling ratio 1.60 \*Longitudinal rolling ratio 13.0 \*Reduction of edger rolling 25 mm

で圧延される。エンドクロップの減少に対してはエッジ圧延の効果が大きいですが、成形圧延前にエッジ圧延を行ったものは成形圧延におけるドッグボーンの幅戻りがスラブ中央部で大きく、先後端で少ない。そのため幅形状が凸形となつて幅出し圧延によるたいこの形成を大きくする。たいこ量は幅出し比に応じて大きくなるのでエッジ圧延を行うものは幅出し比に制限があつた。

ここでは、エッジ圧延を行ったスラブに差厚幅出し圧延を行うことによつてたいこと舌形エンドクロップの両方を減少できることを確認した。その結果としてエンドクロップの比較を Photo. 3 に、歩留りロスの比較を Table. 3 に示す。(a)は通常圧延材でエンドクロップが舌形となつているものである。(b)はエッジ圧延を行ったものでフィッシュテール形となつている。エッジ圧延によつてエンドクロップによる歩留りロスが約 1/3 に減少しているが、たいこによる歩留りロスが

逆に約 3 倍に増加している。(c)はさらに差厚幅出し圧延を行ったものである。通常圧延材と比べてもたいこによるロスが大きくなるが、たいことエンドクロップの合計では 1.5% も歩留りロスが少なく、エッジ圧延と差厚幅出し圧延の組み合わせの効果が大きいことが確認できた。この結果からエッジ圧延を行える幅出し比の範囲を広げることができ、エッジの効果をさらに大きくできることがわかる。

## 6. 結 言

厚板圧延における平面形状制御方法として差厚幅出し圧延を開発しその効果を確認した。差厚幅出し圧延の特徴は以下のとおりである。

- (1) 既設圧延機でも十分な歩留り向上効果が得られる。
- (2) メタルフローは噛み込み側、尻抜け側で対称である。

(3) サイドクロープは2山形となるが通常圧延材に比べて歩留りロス是非常に少ない。

(4) 実験では凸形のエンドクロープを形成することがわかったが実用上は問題のない値である。

(5) 圧延荷重が百数十tと小さい。

差厚幅出し圧延をエッジ圧延と組み合わせることによつてエンドクロープの減少も可能になりさらに歩留り向上に寄与できることがわかった。

差厚幅出し圧延は現在、千葉厚板工場において、エッジ圧延と組み合わせて工程化され成果を上げている。

#### 文 献

- 1) 瀧崎 忍: 日本金属学会報, 19 (1980) 2, p. 79
- 2) 池谷尚弘, 坪田一哉, 瀬川佑二郎, 磯山 茂, 菊川裕幸, 旭 一郎: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, S 304
- 3) 瀬川佑二郎, 石井功一, 池谷尚弘, 磯山 茂, 馬場和史, 尾脇林太郎: 鉄と鋼, 65 (1979) 5, S 305
- 4) 石井功一, 坪田一哉, 菊川裕幸, 馬場和史, 旭一郎, 尾山博美: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, S 306
- 5) 笹治 峻, 久津輪浩一, 堀部 晃, 野原由勝, 山田稔久, 渡辺和夫: 鉄と鋼, 66 (1980) 8, A 165
- 6) 川村浩一, 福田次男, 佐藤 満, 平石勇一, 森克博: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, A 217
- 7) 五弓勇雄, 木原諄二, 前 義治, 塑性と加工, 11 (1970) 108, p. 11
- 8) 柳沢忠昭, 三芳 純, 坪田一哉, 菊川裕幸, 池谷尚弘, 磯山 茂, 旭 一郎, 馬場和史: 川崎製鉄技報, 11 (1979) 2, p. 1
- 9) 日本鉄鋼協会: 鉄鋼便覧 (1980), p. 255 [丸善]