
厚板圧延における新平面形状制御方法（MAS 圧延法）

Development of New Plan View Pattern Control System in Plate Rolling—MAS Rolling
(Mizushima Automatic Plan View Pattern Control System)—

柳沢 忠昭(Tadaaki Yanagisawa) 三芳 純(Jun Miyoshi) 坪田 一哉(Kazuya Tsubota)
菊川 裕幸(Hiroyuki Kikugawa) 池谷 尚弘(Takahiro Ikeya) 磯山 茂(Shigeru
Isoyama) 旭 一郎(Ichiro Asahi) 馬場 和史(Kazushi Baba)

要旨：

厚板圧延では、所定の寸法を得るために、スラブを長さ方向だけでなく幅方向にも圧延している。したがって、鋼板は不均一塑性変形を受け、クロップロスが長手方向および幅方向の先後端に生じる。筆者らは、合成写真法によりこの塑性変形を測定し、鋼板平面形状予測モデルを作成した。その結果、MAS 圧延法と呼ぶ新圧延法を開発し、平面形状がほぼ矩形の鋼板を製造することに成功した。MAS 圧延法は水島製鉄所第 2 厚板工場で工程化され、3.4%のロスの現象となり、昭和 54 年 1 月には注文歩溜り 93.8%の世界新記録を達成している。

Synopsis：

In plate rolling, slab is rolled not only in longitudinal but also in transverse directions so as to get required dimensions of plate. Plate rolled in this way, however, develops unequal plastic deformation, making crop losses increased in top and bottom portions of both sides. The authors have developed a new method to measure the plastic deformation behavior during rolling by the composite picture method and formulated equation to estimate plate plan view pattern. A new plate rolling method called MAS rolling has been established, making it possible to prevent the unequal plastic deformation and manufacture almost rectangular plan view pattern plates. By MAS rolling, total product yield of plate has been improved by 4.4% to a new world record of 93.8% in Jan. 1979 at No.2 Plate Mill of Mizushima Works, Kawasaki Steel Corporation.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

厚板圧延における新平面形状制御方法 (MAS圧延法)

Development of New Plan View Pattern Control System in Plate Rolling
 - MAS Rolling (Mizushima Automatic Plan View Pattern Control System) -

柳 沢 忠 昭*
 Tadaaki Yanazawa

三 芳 純**
 Jun Miyoshi

坪 田 一 哉***
 Kazuya Tsubota

菊 川 裕 幸****
 Hiroyuki Kikugawa

池 谷 尚 弘*****
 Takahiro Ikeya

磯 山 茂*****
 Shigeru Isoyama

旭 一 郎***** 馬 場 和 史*****
 Ichiro Asahi Kazushi Baba

Synopsis:

In plate rolling, slab is rolled not only in longitudinal but also in transverse directions so as to get required dimensions of plate. Plate rolled in this way, however, develops unequal plastic deformation, making crop losses increased in top and bottom portions of both sides.

The authors have developed a new method to measure the plastic deformation behavior during rolling by the composite picture method and formulated equation to estimate plate plan view pattern. A new plate rolling method called MAS rolling has been established, making it possible to prevent the unequal plastic deformation and manufacture almost rectangular plan view pattern plates. By MAS rolling, total product yield of plate has been improved by 4.4% to a new world record of 93.8% in Jan. 1979 at No. 2 Plate Mill of Mizushima Works, Kawasaki Steel Corporation.

1. 緒 言

厚鋼板は造船、一般構造物、橋梁、圧力容器、パイプ用素材など、その用途は広く、要求される

製品の寸法も多種多様である。厚みおよび幅が比較的固定された素材（以後スラブと称す）から、長さ方向のみならず幅方向の圧延も行い、このような種々の寸法の製品を得るのが厚板圧延の特徴である。

* 水島製鉄所厚板圧延部部长
 *** 水島製鉄所厚板圧延部厚板技術室主査(掛長待遇)
 ***** 水島製鉄所企画部設計室主査(掛長待遇)
 ***** 水島製鉄所企画部設計室
 (昭和54年5月14日原稿受付)

** 水島製鉄所厚板圧延部第2厚板課課長
 **** 水島製鉄所厚板圧延部厚板技術室
 ***** 水島製鉄所企画部設計室
 ***** 水島製鉄所システム部計測課

この長さ方向および幅方向の圧延の際、各パスごとに先後端で不均一塑性変形がおこる。このため、圧延された鋼板のトップやボトム部が凹凸の形状となる。また、耳部もタイコ形状やツヅミ形状となり、これらの形状不良部分（以後クロップと称す）は最終的に歩留りロスとなり、使用スラブ重量の約5～6%にも達している。したがって、鋼板の平面形状を矩形に近づけ、このクロップロスを減らすことは厚板の歩留り向上のうえで重要な課題である。

このような不均一領域の塑性変形挙動は種々の要因がからみあっているため、理論的あるいは定量的な解析が困難であるとされ、ほとんど追求されていないのが現状である。

筆者らは、これらの不均一領域における塑性変形を測定する手段として合成写真法を開発し、これにより圧延過程におけるパスごとの平面形状変化の測定を可能とした¹⁾。この測定結果を解析して平面形状の予測式をつくり²⁻⁴⁾、これをもとに厚板の平面形状を制御し矩形化をはかる新しい圧延方法 Mizushima Automatic plan view pattern control System（以後MAS圧延法と称す）を開発した⁴⁻⁶⁾。

現在、この技術を水島製鉄所第2厚板工場において工程化し、大きな成果を得ているのでここに報告する。

2. 厚板圧延における平面形状の挙動

厚板の圧延過程は、次の3段階に大別される。第1段階（成形圧延）はスラブの表面手入の影響を除去し、さらに正確なスラブ厚とし、次の幅出し圧延で幅出し精度の向上をはかるためにスラブ長さ方向に1～4パスの圧延を行う。第2段階（幅出し圧延）は、所定の圧延幅を得るためにスラブを平面内で90°転回し幅方向に圧延を行う。第3段階（仕上圧延）は再び被圧延材を90°転回し、長さ方向に所定の板厚まで圧延する。

不均一塑性変形が顕著におこるのは、主として被圧延材の板厚が厚い段階、すなわち成形圧延および幅出し圧延の段階であり、これらが圧延終了時の平面形状を複雑に変化させている。

2.1 モデル圧延機による基礎調査

被圧延材の平面形状の挙動を調査するために、モデル圧延機を用いてプラスチシンの圧延を行った。モデル圧延機はロール径、ロール幅を実機の1/6.5とし、プラスチシンのスラブも標準スラブの1/6.5とした。なお、圧延は常温(20℃)で行い、ロールとプラスチシン間の潤滑は、熱間圧延の状態に対応させるためCaCO₃粉末を用いた。Fig. 1に使用したプラスチシンの寸法と、表面変形状態観察用のけがき線の位置を示す。また、圧延後のプラスチシンの平面形状をPhoto. 1およびPhoto. 2に示す。

Photo. 1は幅出し圧延を行わない場合であるが、圧延先後端の形状は幅方向両端より、中央部が突き出した、いわゆる凸クロップ状となっている。一方、幅形状は逆に中央部に比べて両端が突き出したツヅミ形状になっている。

Photo. 2は幅出し比（圧延幅/スラブ幅）2.0で幅出し圧延を行った場合であるが、長さ方向先後端の凸クロップの大きさは幅出しなしの場合に比べて緩和されており、同時に幅形状もツヅミ状からタイコ状に移行している。

このようにプラスチシンの実験結果から、平面形状は長さ方向圧延比（圧延長/スラブ長）および幅出し比の組合せで種々変化することが観察され、実機圧延における経験的な傾向とはほぼ一致していることがわかった。しかし、プラスチシンの実験では、圧延可能な板厚の範囲が制限されることや、実機圧延で見られる鋼板の温度分布の影響を調べることができない等の理由から、次に述

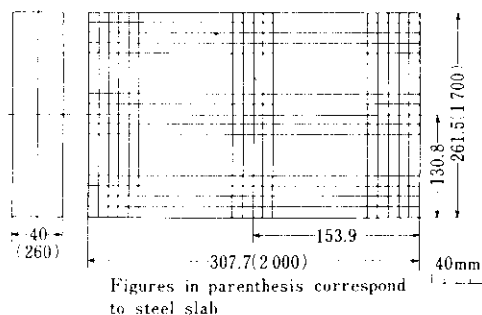


Fig. 1 Model slab dimensions and marking-off line for observing deformation of plasticine

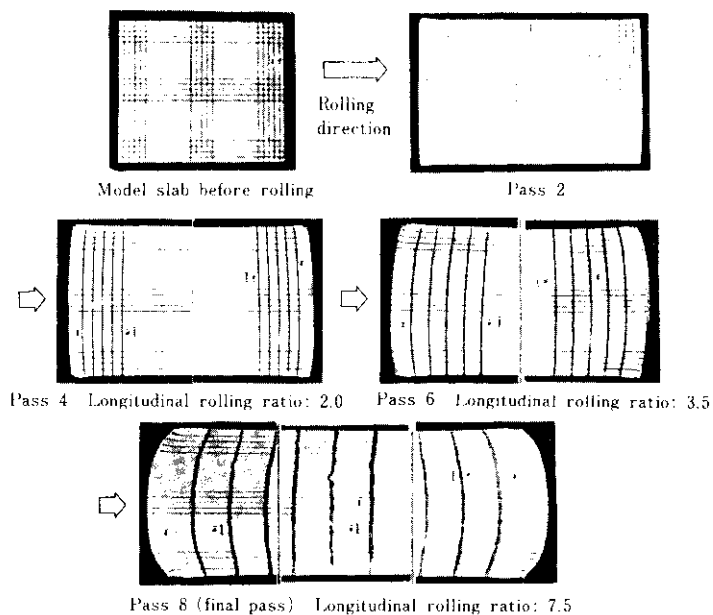


Photo. 1 Plan view pattern of plasticine plate in longitudinal rolling

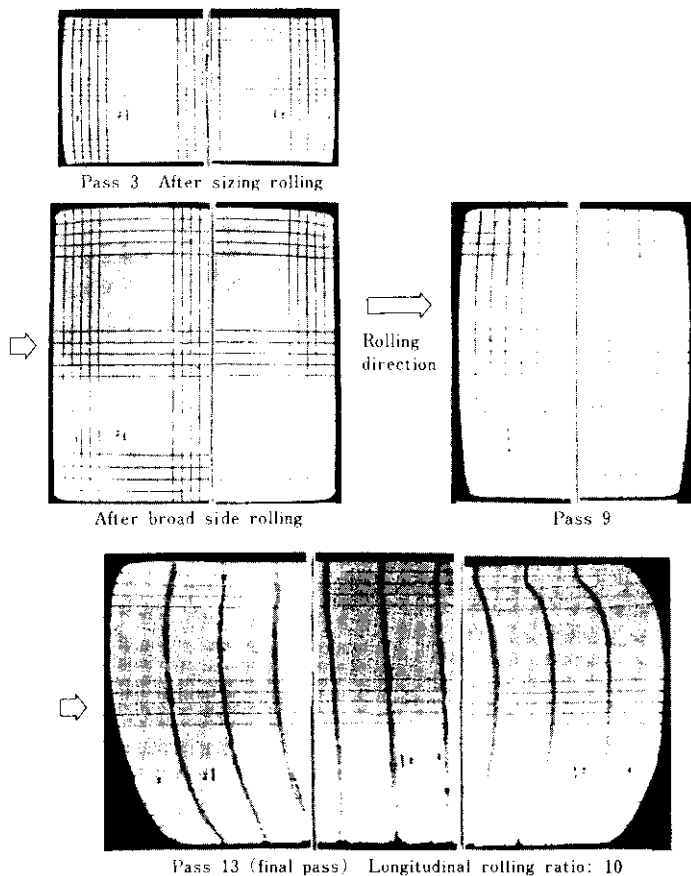


Photo. 2 Plan view pattern of plasticine plate at broad-side rolling ratio 2.0

べる合成写真法という平面形状の測定方法を開発した。

2・2 合成写真法による定量的解析

圧延終了時における鋼板平面形状の矩形化をはかるには、圧延過程の平面形状変化を定量的に把握して、さらにそれを正確に予測することが不可欠である。

ところが、厚板圧延のように熱間でしかも圧延機を正逆転しながら圧延していく状態で、その途中段階における形状変形挙動を定量的に測定することはむずかしく、種々のテストの結果、合成写真法という新しい測定手段を開発した。これにより圧延パスごとの平面形状変化を定量的に測定し、不均一塑性変形量と圧延条件の関係を見いだした。

2・2・1 合成写真法の原理

Fig. 2 にこの原理図を示す。厚板圧延機前後ローラーテーブル上方にカメラを固定し、次の手順により平面形状測定用合成写真を作成した。

- (1) ローラーテーブル上に設置した目盛板の撮影
- (2) 被圧延材の撮影
- (3) 目盛板と被圧延材のネガの合成

このようにして得られた合成写真の例を Photo.3 に示す。撮影された目盛板から寸法を読みとり、縮尺の補正を加えることによって、実際の被圧延材の形状を知ることができる。この際、被圧延材の厚みによる誤差、レンズ収差の誤差、ネガ合成

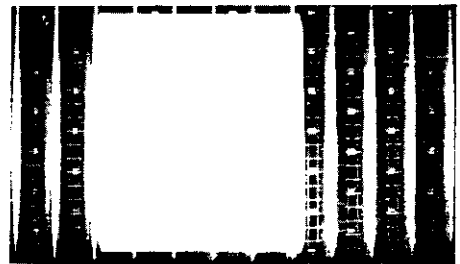
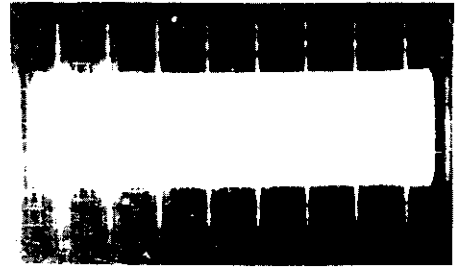


Photo. 3 Examples of composite picture

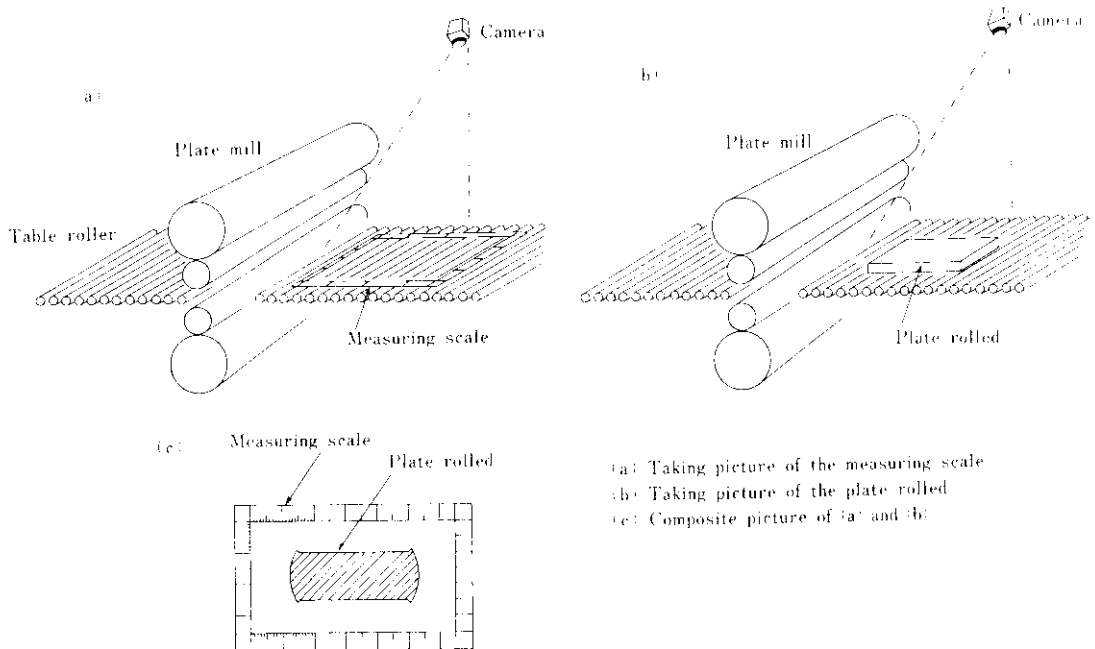


Fig. 2 Method of composite picture to quantitatively study the behavior of plate deformation during rolling

の誤差などが生じるが、本実験においての総合誤差は最大 $\pm 8.3\text{mm}$ であり、実用上容認できる精度である。

2・2・2 成形圧延時の平面形状変化

ブラスチンによる実験結果をもとに Table 1 に示す実験材を選定し、パスごとの平面形状変化を測定した。実験材の圧延は、水島製鉄所第2厚板工場で行った。成形圧延の場合の特徴は、ブラスチンによる結果と同様に鋼板先後端部が Fig.3 (a) のようなバチ型形状を示すことである。Fig.3 (a) のAおよびB部形状と圧延条件との関係は以下のとおりである。

(1) A部形状 (幅方向のツツミ形状)

P点を原点として、圧延方向の各位置 x における基準線 S_x からの距離 $f_1(x)$ でA部形状を表すために、投影接触弧長 l_d と圧下率 r との積の総和 $\Sigma l_d \cdot r$ で整理して (1) 式を求めた。

$$f_1(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $a_0 \sim a_2$ は $\Sigma l_d \cdot r$ によって決まる定数

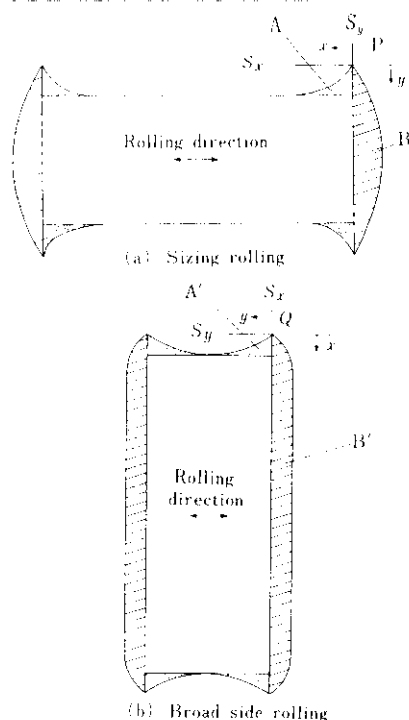


Fig.3 Plan view pattern after sizing and broad side rolling

Table 1 Specification of experimental materials to study the plan view pattern of each pass during rolling

No.	Slab dimension (nominal) thickness $\times$ width $\times$ length	Plate dimension (nominal) thickness $\times$ width $\times$ length	Broad side rolling ratio R_R	Longitudinal rolling ratio R_R
1	215 $\times$ 1575 $\times$ 2889	16.00 $\times$ 1524 $\times$ 36576	0.97	12.66
2	"	"	"	"
3	"	"	"	"
4	"	"	"	"
5	215 $\times$ 1575 $\times$ 3021	16.00 $\times$ 2434 $\times$ 24380	1.55	8.07
6	"	"	"	"
7	"	"	"	"
8	"	"	"	"
9	215 $\times$ 1575 $\times$ 2844	16.00 $\times$ 3048 $\times$ 18288	1.94	6.43
10	"	"	"	"
11	"	"	"	"
12	"	"	"	"
13	215 $\times$ 1575 $\times$ 2889	16.00 $\times$ 4572 $\times$ 12192	2.94	4.22
14	"	"	"	"
15	"	"	"	"
16	"	"	"	"

である。(1)式の計算値を図示した Fig.4からも明らかなように、A部のツヅミ形状は $\Sigma l_d \cdot r$ の増加とともに増長する。

(2) B部形状 (先後端の凸クロップ形状)

P点を原点として、幅方向の各位置 y における前パス形状からの増分 $f_2(y)$ で1パスごとのB部形状の増加量を表すために、そのパスにおける圧下率 r で整理して(2)式を求めた。

$$f_2(y) = c_0 + c_1 y + c_2 y^2 \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、 $c_0 \sim c_2$ は r によって決まる定数である。(2)式の計算値を Fig.5に示す。

2・2・3 幅出し圧延時の平面形状変化

幅出し圧延の場合にも、成形圧延の場合と同様に、鋼板の圧延方向先後端は Fig.3(b)のようなバチ型形状を示す。この形状と圧延条件との関係

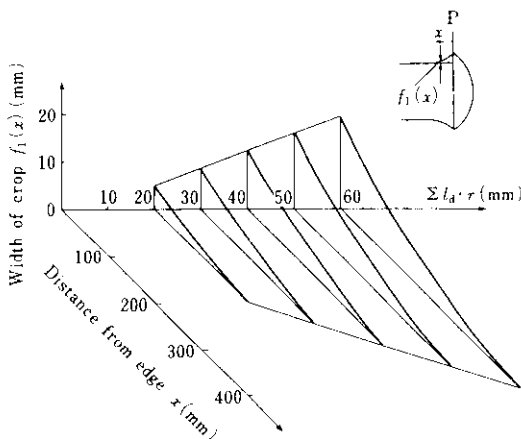


Fig.4 Crop shape in transverse direction after sizing rolling

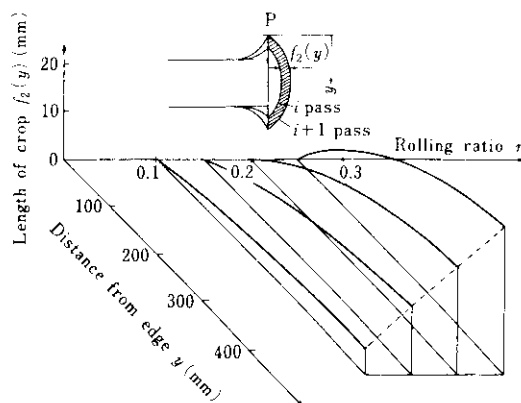


Fig.5 Crop shape in longitudinal direction at sizing rolling

は(3)および(4)式で整理することができ、それらの計算結果を Fig.6および Fig.7に示す。

$$f_3(x) = \frac{x}{b_0 + b_1 x} \quad \cdots \cdots (3)$$

ここで

$f_3(x)$: Q点を原点として、幅方向の各位置 x における基準線 S_x からの距離 (鋼板のタイコ状幅形状)

b_0, b_1 : 幅出し比によって決まる定数

$$f_4(y) = d_0 + d_1 y + d_2 y^2 \quad \cdots \cdots (4)$$

ここで

$f_4(y)$: Q点を原点として、圧延方向の各位置 y における基準線 S_y からの距離 (鋼板の先後端凹クロップ)

$d_0 \sim d_2$: 幅出し圧延における $\Sigma l_d \cdot r$ によって決まる定数

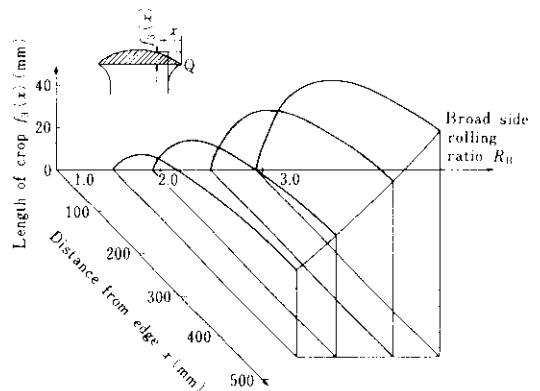


Fig.6 Crop shape in longitudinal direction after broad-side rolling

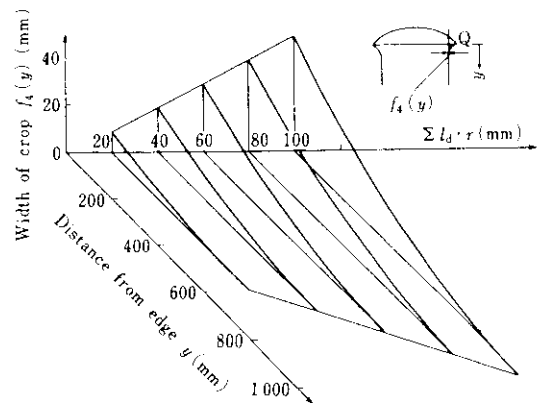


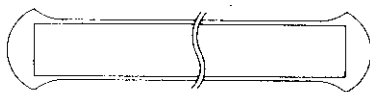
Fig.7 Crop shape in transverse direction after broad-side rolling

2.3 平面形状変化に関する考察

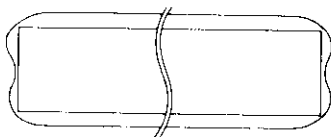
(1)~(4)式の結果から、成形および幅出し圧延時の平面形状変化の傾向は基本的には同じであることがわかる。厚板圧延のように板厚が厚く、圧延長さが比較的有限の場合には、鋼板長さ方向および幅方向端部の領域で、不均一塑性変形が顕著にあらわれる。Fig. 3 の A および A' 部は末端効果によりこの部分の幅広がり局部的に大きくなるため生成されたものである。一方、B および B' 部は鋼板幅方向両端部が自由端であるため、中央部に比べ幅広がり大きく、この幅広がり差が長さ方向の伸び率の差となって生成されている。さらにこの傾向は、A および A' 部の局部的幅広がり影響により助長されていると考えられる。

したがって、圧延終了時の鋼板平面形状はスラブ寸法、圧延寸法および幅広がり影響因子(合成写真法の結果からは、圧下率、投影接触弧長など)によってほぼ決定されているといえる。すなわち幅出し比が小さく、長さ方向圧延比が大きい場合には、Fig. 3 の A および B 部の影響が圧延終了時まで残り、長さ方向先後端のクロップは凸状に、幅形状はツヅミ状となる。

一方、幅出し比が大きく長さ方向圧延比が小さい場合には、幅出し時の A' および B' 部の影響が大きくなり、圧延終了時の先後端クロップが凹状に、幅形状がタイコ状になると考えられる。これを Fig. 8 に示す。



(a) In the case of less rolling ratio of R_R and greater one of R_L



(b) In the case of greater rolling ratio of R_R and less one of R_L

Fig. 8 Plan view patterns of as rolled plate

3. 平面形状予測モデル

前章に述べたように、圧延終了後の鋼板の平面形状は、成形圧延、幅出し圧延および仕上圧延のそれぞれの過程での形状変化が複合された結果である。

したがって、圧延後の平面形状変化量は、合成写真法から求めた(1)~(4)式の組み合わせによって求められる。

3.1 幅形状予測モデル

鋼板長さ方向の各位置 X における幅形状 $F(X)$ は、成形圧延および仕上圧延時に生ずる幅方向ツヅミ形状と、幅出し圧延時に生ずる先後端凸クロップ形状が複合された結果であるから、(1)および(3)式を合成することによって求められる。

$$F(X) = F(\alpha x) = f_1(x) + f_3(x) + \lambda \cdot f_1(\alpha x) \quad \cdots (5)$$

ここで、

α : 仕上圧延における長さ方向圧延比

λ : 仕上圧延での補正係数

(5)式は、回帰分析で得られた(1)および(3)式を合成して得られたものである。その精度をさらに高めるため、実測値にもとづく(5)式の修正を行った。すなわち形状変化が安定した定常域にあたる長さ方向中央における数多い実測データを用いて別途回帰分析し、(5)式の長さ方向中央の値 $F(X_C)$ を補正する形で予測モデルを作成した。

すなわち、幅形状の予測モデル $T(X)$ は、

$$T(X) = \frac{T_C}{F(X_C)} \cdot F(X) \quad \cdots (6)$$

となる。

ここで、定常域での幅形状変化量 T_C は、幅出し圧延で生ずる中央のタイコ量 U_B と、長さ方向圧延で生ずる中央のツヅミ量 V_B とによって(7)式で求められる。

$$T_C = K(U_B + V_B) + L \quad \cdots (7)$$

K および L はスラブ寸法によって決まる定数であり、 U_B および V_B は回帰分析により(8)、(9)式のように求められる。

$$U_B = l_0 + l_1 \cdot R_R^m + l_2 \cdot \left(\frac{R_R}{R_L} \right)^{m_2}$$

$$+ l_3 \cdot \Delta H_B^{m_3} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$V_B = l_4 + l_5 \cdot R_R^{m_4} + l_6 \cdot \left(\frac{R_R}{R_B} \right)^{m_5} \\ + l_7 \cdot \Delta H_S^{m_6} + l_8 \cdot \Delta H_F^{m_7} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 R_B ：幅出し比
 R_R ：長さ方向圧延比
 ΔH_S ：成形圧延圧下量
 ΔH_B ：幅出し圧延圧下量
 ΔH_F ：仕上圧延圧下量
 l_i, m_i ：定数

この回帰分析によって得られた予測式の標準偏差は 12.6mm であった。Fig. 9 にその状況を示す。

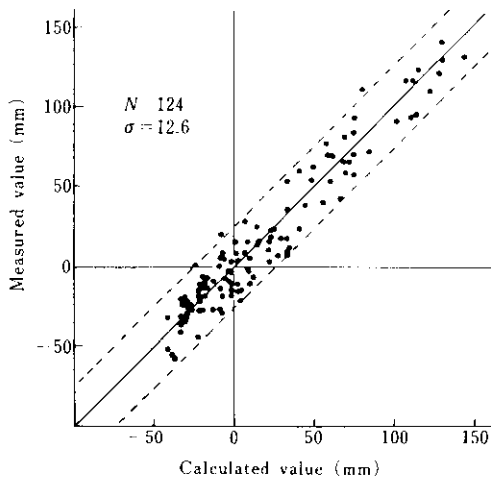


Fig. 9 Comparison of calculated and measured values of convex shape in the transverse direction at the half length

3.2 クロップ形状予測モデル

鋼板先後端の幅方向各位置におけるクロップ形状 $G(Y)$ は、幅形状予測モデルを求めた場合と同様に、それぞれの圧延過程の形状が複合された結果であるから、(2) および (4) 式を合成して求められる。

$$G(Y) = G(R_B y) \\ = \alpha \left[\frac{1}{h_m} \sum_{i=1}^{m-1} h_i f_2(y)_i + f_2(y)_m \right] + \alpha f_4(R_B y) \\ + \mu \left[\frac{1}{h_n} \sum_{j=1}^{n-1} h_j f_2(R_B y)_j + f_2(R_B y)_n \right] \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで、

h_i, h_j ： i, j パスの出側板厚
 μ ：仕上げ圧延での補正係数
 $i = 1 \sim m$ ：成形パス回数
 $j = 1 \sim n$ ：仕上パス回数

(10) 式も (5) 式と同様に再度回帰分析し、(10) 式の定常域の値 $G(Y_C)$ を補正する形で予測モデルを作成した。

すなわち、クロップ形状予測モデル $L_{CPC}(Y)$ は、

$$L_{CPC}(Y) = \frac{L_{CPC}}{G(Y_C)} \cdot G(Y) \quad \dots\dots\dots (11)$$

となる。ここで、定常域でのクロップ形状変化量 L_{CPC} は、長さ方向圧延で生ずる凸クロップ形状 U_C と、幅方向圧延で生ずる凹クロップ形状 V_C によって、次式で求められる。

$$L_{CPC} = M(U_C - V_C) + N \quad \dots\dots\dots (12)$$

M および N はスラブ寸法によって決まる定数であり、 U_C および V_C は回帰分析により (13)、(14) 式のように求められる。

$$U_C = g_0 + g_1 \cdot R_R^{k_1} + g_2 \cdot \left(\frac{R_R}{R_B} \right)^{k_2} \\ + g_3 \cdot \Delta H_S^{k_3} + g_4 \cdot \Delta H_F^{k_4} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$V_C = g_5 + g_6 \cdot R_R^{k_5} + g_7 \cdot \left(\frac{R_R}{R_B} \right)^{k_6} \\ + g_8 \cdot \Delta H_B^{k_7} \quad \dots\dots\dots (14)$$

g_i, k_i ：定数

この回帰分析によって得られた予測式の標準偏差は 84.2mm であった。Fig. 10 にその状況を示す。

4. MAS 圧延法

圧延時の不均一塑性変形によって生ずる不良形状を改善する方法として、従来から、

- (1) 成形圧延および幅出し圧延時の局部的幅広がり制御するパススケジュールの採用、
 - (2) スラブ幅方向断面を凹形状にすることによる凸クロップ形状の改善⁷⁾、
 - (3) ワークロールを凹クラウンにすることによる幅タイコ形状の改善、
- などを実施し、一応の効果をあげてきたが、これらの方法はいずれも個々のスラブ寸法、圧延寸法に対応できるものではなく、平均的に不良形状を打ち消そうとする対策であったといえる。

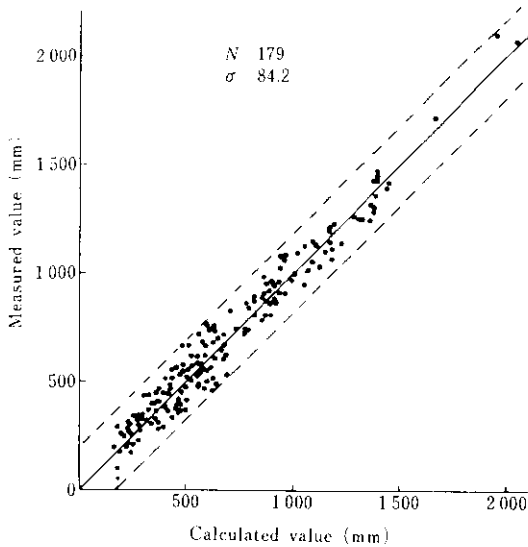


Fig.10 Comparison of calculated and measured length of end crop at the center

今回、前章で求めた平面形状予測モデルをもとに、個々のスラブに適確に対応できる新しい平面形状制御方法 (MAS 圧延法) を確立した。

4-1 MAS 圧延法の原理⁸⁾

この圧延法の原理は圧延終了後の鋼板の平面形状を定量的に予測し、その不良形状に相当する部分の体積をあらかじめ減らしておくことにより不良形状の発生を未然に防止し、平面形状を矩形に近づけようとするものである。

Fig. 11 に幅形状を制御する MAS 圧延法の原

理を示す。

- (1) 予測モデルから不良形状量を計算し、成形圧延最終パスで与える板厚分布に換算する。
- (2) 成形圧延最終パスで、長さ方向に対応する位置に板厚差を与えて圧延する。
- (3) この板厚差は幅出し圧延時には圧下量の差となり、平面形状が修正される。

このように成形圧延段階で実施するので、この板厚修正圧延を成形 MAS と称している。

板厚修正量は「体積一定則」にもとづき、次式から求めることができる。

$$\Delta h(x) = T(X) \cdot \frac{h_f}{W} \quad \text{..... (15)}$$

$$X = \alpha \cdot x$$

$\Delta h(x)$: 長さ方向位置 x における板厚修正量

$T(X)$: 圧延終了後の鋼板の長さ方向位置 X の幅形状

h_f : 圧延終了時の板厚

W : 成形圧延終了時の板幅

α : 仕上圧延での長さ方向圧延比

なお、幅形状がツヅミ状になる場合には、Fig.11 とは逆に中央部板厚を厚くする制御を行う。

一方、Fig.12 にクロップ形状を制御する MAS 圧延法の原理を示す。幅出し圧延の段階で実施するので、幅出し MAS と称している。

板厚修正量は、同様にして (16) 式から求めることができる。

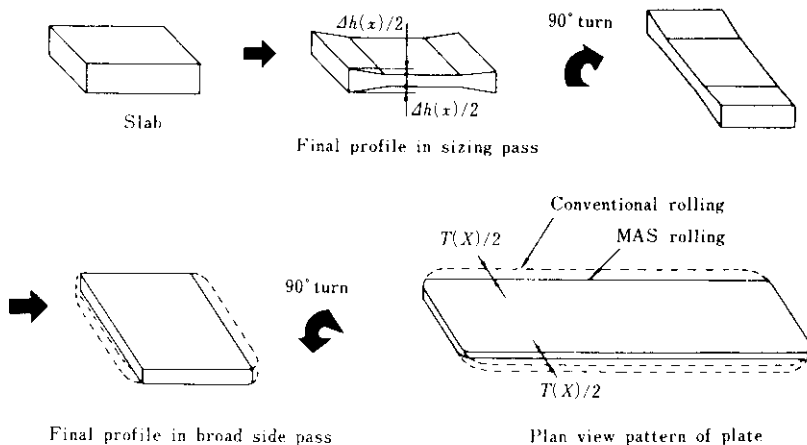


Fig.11 Principle of sizing MAS rolling to control plan view pattern in transverse direction

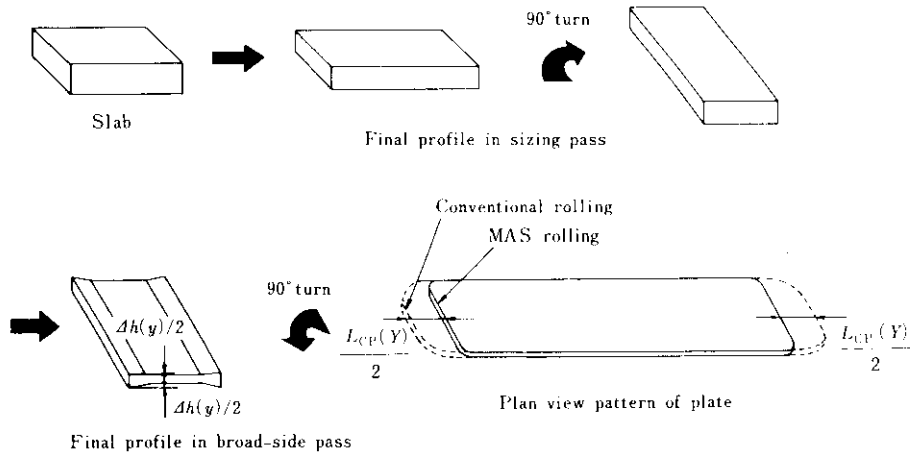


Fig.12 Principle of broad-side MAS rolling to control crop shape

$$\Delta h(y) = L_{CP}(Y) \cdot \frac{h_f}{W} \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$Y = \beta \cdot y$$

$\Delta h(y)$: 長さ方向位置 y の板厚修正量

$L_{CP}(Y)$: 圧延終了後の鋼板の幅方向位置 Y のクロップ形状

h_f : 圧延終了時の板厚

W : 幅出し終了時の長さ

β : 幅広がり率

なお、クロップ形状が凹クロップになる場合には、Fig. 12 とは逆に中央部板厚を厚くする制御を行う。

このように、成形圧延一幅出し圧延一仕上圧延からなる厚板圧延の特徴を利用して平面形状を制

御するのが、この MAS 圧延法の原理である。

「体積一定則」より求めた (15) 式および (16) 式の精度を確認するために、切削加工スラブを用いて実験圧延を行った。各位置における板厚修正量 $\Delta h(x)$ を (15) 式に代入し、得られた $T(X)$ と実測値との関係を Fig. 13 に示す。両者はよく一致しており、「体積一定則」にもとづく板厚修正量決定方法がこのような範囲では妥当であることが確認できた。

4.2 MAS 圧延制御システム

MAS 圧延法を実機に適用する場合、板厚修正パターンのズレや板厚修正量の過不足がおこらない高精度の制御システムを確立することが重要で

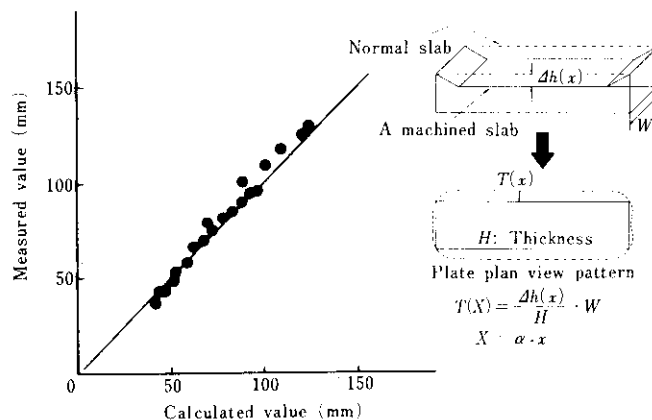


Fig.13 Relation between calculated and measured value of convex shape in sizing MAS rolling using machined slab

ある。すなわち、Fig. 14 に模式的に示す板厚修正パターンにおいて、修正量 $\Delta h(l)$ 、压下終了位置 l_1 および压下上昇開始位置 l_2 を正確に制御することが必要である。

Fig. 15 に MAS 圧延法の制御システムを示す。制御計算機⑧によって適正な修正形状を演算し、そのための板厚修正量 $\Delta h(l)$ を求めロールの压下修正量 $\Delta S(l)$ を決める。同時に压下位置制御系の特性を考慮してロール回転速度 R を求める。次に、Fig. 14 の l_1 および l_2 に相当する制御位置を先進率を考慮して決め、これらの情報をマイクロコントローラ⑨へデータリンクする。マイクロコントローラは、ロール回転速度制御系に目標ロール速度の指示を出し、被圧延材噛込みと同時に压下位置制御系に压下修正量および制御位置の指令

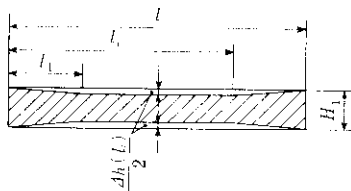
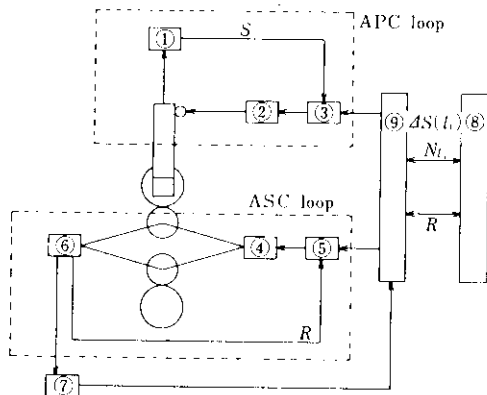


Fig. 14 Thickness profile on MAS rolling



- ① Screw position sensor
 - ② Screw driving motor
 - ③ Control device of screw position
 - ④ Main motor
 - ⑤ Control device of roll revolution speed
 - ⑥ Roll revolution speed sensor
 - ⑦ Pulse generator
 - ⑧ Process computer
 - ⑨ Micro controller
- ΔS : Modification value of screw position
 N_l : Roll revolution pulse of turning point corresponding to l , in Fig. 14
 R : Roll revolution speed
 S : Screw position
 APC: Automatic position control
 ASC: Automatic speed control

Fig. 15 Control system of MAS rolling

を出す。

Fig. 16 に MAS 圧延のフローチャートを示す。平面形状予測モデルに応じて、成形 MAS および幅出し MAS を実施している。

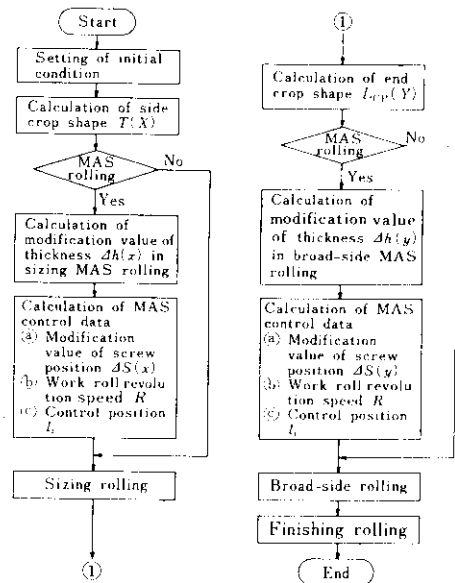


Fig. 16 Flow of MAS rolling

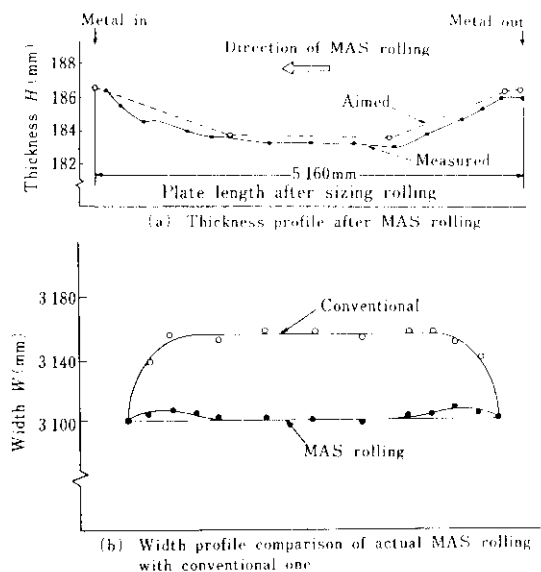
4.3 制御精度

前節で述べたように、計算機による全自動圧延によって、成形 MAS および幅出し MAS の制御システムを確立した。

Fig. 17 に MAS 圧延の制御精度を調査した実験結果を示す。(a) は、成形 MAS 圧延実施直後に被圧延材を冷却し、その長さ方向の板厚を実測した結果を示しているが、目標値とよく一致している。(b) は、この被圧延材を再び加熱し、その後最終板厚まで圧延して幅形状を測定し、従来圧延法と比較したものである。MAS 圧延法によって、ほぼ目標どおりタイコ形状が改善され矩形化がはかられている。

5. 成果

MAS 圧延法は、水島製鉄所第 2 厚板工場において昭和 53 年 1 月より工程化され、歩留り向上に大きく寄与している。



Example

Slab dimension: 215 × 1615 × 4462mm
 Plate dimension: 9.52 × 3048 × 48768mm
 Broad-side rolling ratio: $R_R = 1.89$
 Longitudinal rolling ratio: $R_L = 10.93$
 Reduction by sizing passes: $\Delta H_s = 29\text{mm}$
 Modification value of thickness: $\Delta h = 2.7\text{mm}$

Fig.17 An example of actual controlled data of MAS rolling

Fig. 18 に成形 MAS による幅形状の改善効果を示す。従来圧延では幅出し比1.5を境にして、それ以下ではツヅミ形状に、それ以上ではタイコ形状になっているが、成形MAS によって幅形状の矩形化がはかられ、幅出し比に関係なく幅形状ロスほぼ0になっている。

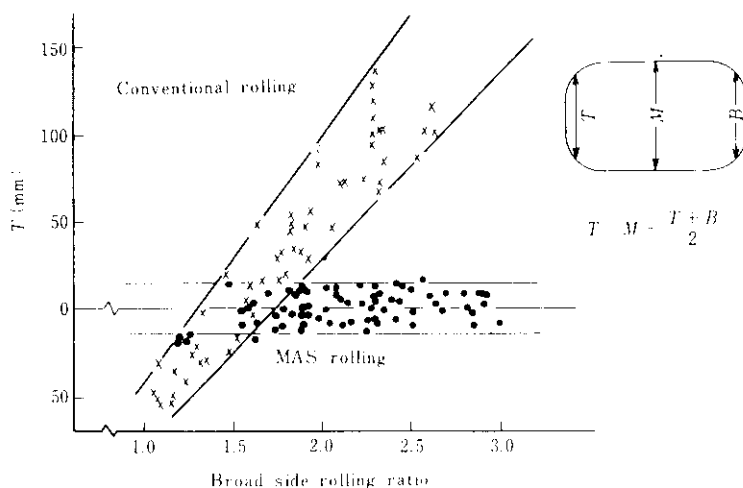


Fig.18 Improvement of convex shape through sizing MAS rolling

一方、Fig. 19 に幅出し MAS によるクロック形状の改善効果を示す。パラメーターを R_R / R_L とし、平均クロック長さを比較しているが、幅出し MAS によってクロック形状が制御され、約300~500mm の平均クロック長さの減少がはかられている。このような MAS 圧延法を実施した鋼板の平面形状を Photo.4 に示す。比較のために、従来圧延で生ずる幅形状およびクロック形状の例を Photo.5 に示すが、これらからも明らかのように、MAS 圧延法によって平面形状がよく制御され矩形化がは

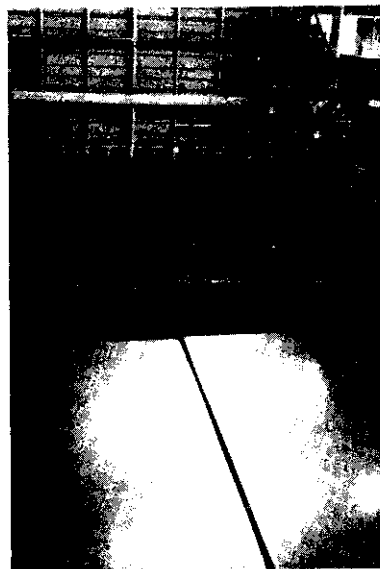


Photo.4 Plate plan view rolled by MAS rolling

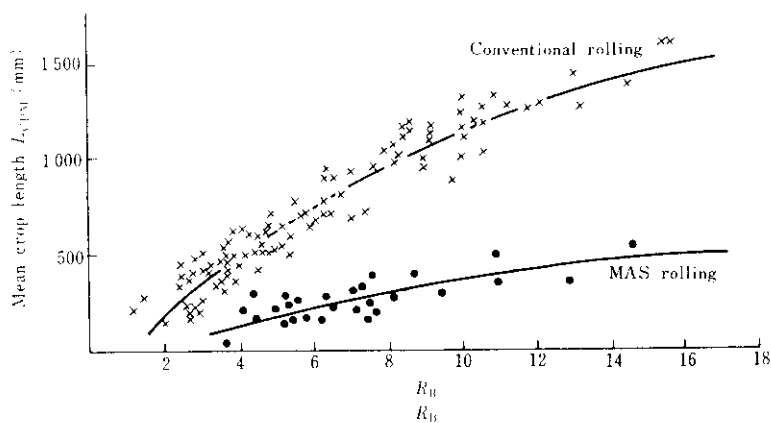


Fig.19 Improvement of crop length through broad side MAS rolling

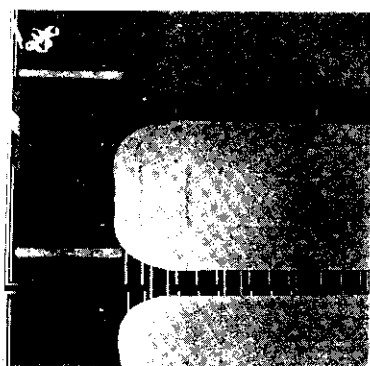


Photo.5 Plate plan view pattern rolled by conventional rolling

は達成されていることがわかる。

歩留り効果については Fig. 20 に示すように、従来圧延法の場合の幅形状およびクロップ形状ロスが 5.5% であったが、MAS 圧延法の工程化によって、現在では 1.1% までにそのロスの減少がはかられ、その結果、昭和 54 年 1 月には注文歩留り 93.8% を達成している。

6. 結 言

厚板圧延時の不均一塑性変形に起因して、鋼板長さ方向および幅方向の先後端にクロップロスが生じる。筆者らは、合成写真法によって圧延時の塑性変形過程を測定し、鋼板の平面形状予測モデルを作成した。これにもとづいて新平面形状制御方法 (MAS 圧延法) を開発し、鋼板平面形状の矩

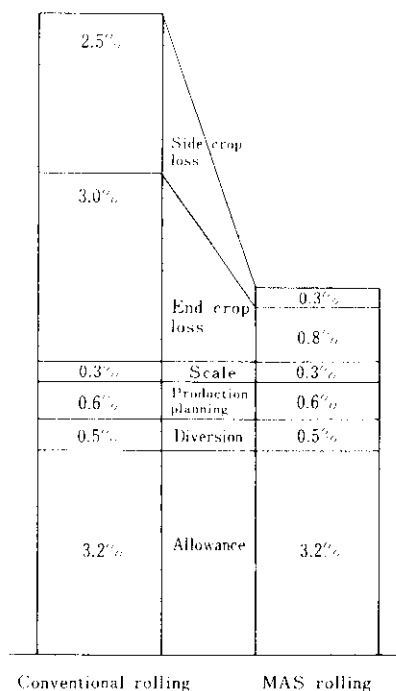


Fig.20 Decreased loss through MAS rolling

形化に成功した。

このように平面形状を矩形化することによって、歩留り向上をはかることを厚板関係者は従来から考え続けていた。今回、この命題に取り組み、MAS 圧延法という新しい技術を開発したものである。

MAS 圧延法は歩留りの向上に大きく寄与したことはいうまでもないが、従来の圧延の概念を打

ち破った圧延方法として、技術開発の今後の流れの一つを切り開いたといっても過言ではない。

参 考 文 献

- 1) 旭, 池谷, 石原: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, 216
- 2) 坪田, 竹川, 井上, 磯山, 旭, 池谷: 鉄と鋼, 63 (1977) 11, 241
- 3) 坪田, 竹川, 井上, 磯山, 旭, 池谷: 鉄と鋼, 64 (1978) 4, 279
- 4) 石井, 坪田, 菊川, 馬場, 旭, 尾山: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, 306
- 5) 池谷, 坪田, 瀬川, 磯山, 菊川, 旭: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, 304
- 6) 瀬川, 石井, 池谷, 磯山, 馬場, 尾脇: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, 305
- 7) 千野, 古茂田, 坪田, 吉門, 佐々木, 大井: 鉄と鋼, 62 (1976) 4, 131
- 8) 川崎製鉄: 特開 昭53-123358, 厚板圧延方法