
厚板圧延におけるトリミングフリー厚鋼板製造技術の確立

Manufacturing of Trimming Free Plates

井上 正敏(Masatoshi Inoue) 西田 俊一(Shun-ichi Nishida) 大森 和郎(Kazuro Omori) 岡村 勇(Isamu Okamura) 藤岡 克志(Katsushi Fujioka) 片山 二郎(Niro Katayama)

要旨：

水島製鉄所厚板工場では、幅剪断が不要のトリミングフリー厚鋼板 (TFP) の製造を目的として、鉛および鋼片による基礎実験を行い、その結果をふまえて世界で初めて仕上げミル直前にエッジヤを設置した。さらに、高切削精度を有した冷間ミーリング設備をシャラインに設置した。これまでにエッジヤによる高精度幅制御システムの構築、MAS (Mizushima automatic plan view pattern control system) 圧延法とエッジング圧延法の最適化を図るとともに、冷間ミーリング設備による端面の高精度化を実現して、TFP 製造技術を確立した。これらの新技術は、歩留り向上に大きく寄与するとともに、需要家の高度化する寸法精度要求に対応できた。

Synopsis :

At the plate mill in Mizushima Works, the world's first edger attached to the finisher was installed which was based on the results of basic experiment with lead and hot steel and aimed at producing trimming free plates(TFP). A cold milling machine was installed in the shear line for producing TFF. The technology of producing TFP was realized by a highly accurate width control system of the edger, optimum combination of MAS(Mizushima automatic plan view pattern control system) rolling and edging, and highly accurate cutting by the milling machine. The new technology contributed to a high yield, responding to the demand for highly accurate plate dimensions by the user.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

厚板圧延におけるトリミングフリー厚鋼板 製造技術の確立

川崎製鉄技報
20 (1988) 3, 183-188

Manufacturing of Trimming Free Plates



井上 正敏

Masatoshi Inoue

水島製鉄所 厚板鋳鍛
部厚板課 課長



西田 俊一

Shun-ichi Nishida

水島製鉄所 厚板鋳鍛
部厚板鋳鍛技術室



大森 和郎

Kazuro Omori

水島製鉄所 設備部設
計室 主査(掛長)



岡村 勇

Isamu Okamura

水島製鉄所 電気計装
部電気計装技術室



藤岡 克志

Katsushi Fujioka

水島製鉄所 電気計装
部電気計装技術室 主
査(掛長)



片山 二郎

Niro Katayama

水島製鉄所 電気計装
部電気計装技術室

要旨

水島製鉄所厚板工場では、幅剪断が不要のトリミングフリー厚鋼板 (TFP) の製造を目的として、鉛および鋼片による基礎実験を行い、その結果をふまえて世界で初めて仕上げミル直近にエッジャを設置した。さらに、高切削精度を有した冷間ミーリング設備をシャラインに設置した。これまでにエッジャによる高精度幅制御システムの構築、MAS (Mizushima automatic plan view pattern control system) 圧延法とエッジング圧延法の最適化を図るとともに、冷間ミーリング設備による端面の高精度化を実現して、TFP 製造技術を確立した。これらの新技術は、歩留り向上に大きく寄与するとともに、需要家の高度化する寸法精度要求に対応できた。

Synopsis:

At the plate mill in Mizushima Works, the world's first edger attached to the finisher was installed which was based on the results of basic experiment with lead and hot steel and aimed at producing trimming free plates (TFP). A cold milling machine was installed in the shear line for producing TFP.

The technology of producing TFP was realized by a highly accurate width control system of the edger, optimum combination of MAS (Mizushima automatic plan view pattern control system) rolling and edging, and highly accurate cutting by the milling machine. The new technology contributed to a high yield, responding to the demand for highly accurate plate dimensions by the user.

1 緒 言

厚板圧延における大きな歩留り低下要因としては、サイドクランプおよびエンドクランプによる平面形状ロスと、側面のまくれ込みおよびバルジングによる側面形状ロスがある。このうち平面形状ロスの削減については、これまでに種々の平面形状制御技術が開発されてきた¹⁻⁵⁾。

水島製鉄所厚板工場においては、MAS (Mizushima automatic plan view pattern control system) 圧延法を開発し、大幅な歩留り向上を達成している⁶⁾。しかしながら幅剪断工程そのものを省略できるレベルには至っていない。そこで、平面形状の矩形化に加えて側面形状ロスをなくした幅剪断の不要なトリミングフリー厚鋼板 (Trimming free plate—TFP) 製造技術の開発を進めてきた。

鉛および鋼片を用いた基礎実験を行い、その結果をふまえてカリパーロール圧延や油圧 AWC (Automatic width control) 等の多種の機能を盛り込んだエッジャを、世界で初めて仕上げミル直近に設置した。さらに、需要家の高度化する製品寸法精度要求への対応を可能

とする高切削精度を有した冷間ミーリング設備を、シャラインに設置した。

現在水島製鉄所厚板工場では、成形圧延、幅出し圧延、仕上げ圧延の各ステージでのエッジャによる高精度幅制御システムを構築し、MAS 圧延法とエッジング圧延法の最適化を図るとともに、冷間ミーリング設備による端面の高精度化を実現することによって、TFP 製造を工程化している。

本報では、TFP 製造設備概要および製造技術、ならびに工程生産状況について報告する。

2 TFP 製造のための技術課題

TFP 製造のねらいは、Fig. 1 に示すような従来の剪断後の鋼板に匹敵する品質レベルを、圧延段階では作り込むことである。これを達成するには、平面形状の矩形化のみならず側面形状の矩形化も必要であり、エッジャによる幅方向圧下が不可欠である。

幅圧下特性については、厚板圧延の特徴である板幅比 (板幅/板厚) が 100 を超えるような広幅材に関する報告や、側面のまくれ込

* 昭和63年4月21日原稿受付

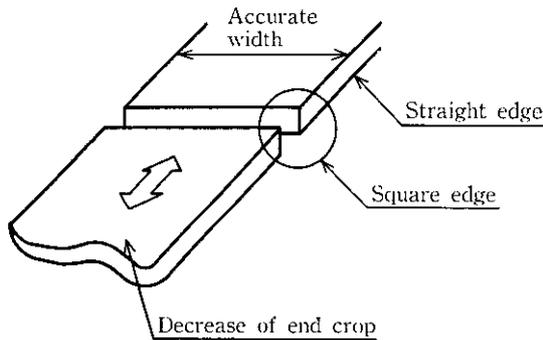


Fig. 1 Requirements for trimming free plates (TFP)

- みおよびバルジングに関する報告例^{4,7)}は少ない。そこで、エッジング基本特性の把握とエッジャ必要機能の検討を目的として、鉛および熱間鋼を用いた基礎実験を行い、以下のような知見を得た⁸⁻¹⁰⁾。
- (1) 定常部の幅戻り率(幅戻り量/幅圧下量)は50~80%で、幅圧下量が小さいほど幅戻り率は大きくなる。
 - (2) 先後端部の幅落ち量は幅圧下量に依存し、幅圧下量の増加につれて先後端幅落ち量は増加する。
 - (3) 実圧延で想定される圧延条件下では、定常部幅戻り率、先後端幅落ち量に対する板厚、板幅の影響は、無視できる。
 - (4) 幅出し圧延前に素材の幅端面コーナーを面取りすることにより、側面のまくれ込みは減少し、面取り面積を大きくすることによってまくれ込みを零にすることも可能である。
 - (5) 上下押えロールを用いた幅方向3点拘束方式が、バックリング防止に対して最も効果的である。

3 TFP 製造設備概要

TFP 製造を目的として、仕上げミル直近にエッジャを設置し、さらにシャラインに冷間ミーリング設備を設置した。Fig. 2 に、エッジャおよびミーリング設備のレイアウトを示す。

3.1 エッジャ設備概要

水島製鉄所厚板工場では、基礎実験での知見をふまえて、1984年、仕上げミル直近にエッジャを建設した(仕上げミル~エッジャ中心間距離3625mm)。Table 1 に設備主仕様、Fig. 3 にエッジャの構造を示す。

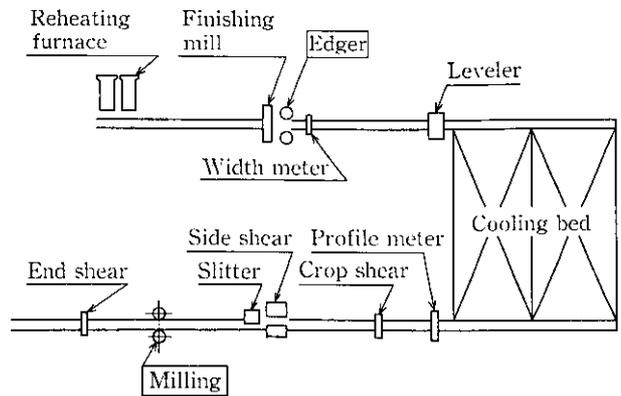


Fig. 2 Layout of the edger and milling

Table 1 Specifications of the edger

Rolling force (Flat part)	400 ton
Rolling force (Grooved part)	310 ton
Rolling torque	50 t·m
Rolling speed	2.5~7.5 m/s
Roll diameter	φ 800/φ 700 mm
Angle of groove	120°
Speed of motorized screw-down	60/120 mm/s
Speed of hydraulic AWC	100 mm/s

Vロールはフラット部とカリバー部を有しており、カリバー部を用いた面取りエッジング実施時にはVロールが下方方向にシフトする。また、板幅比の大きな場合でも必要な幅圧下量が確保できるように、バックリング防止用押さえロールを備えている。

圧下装置では、大容量直動型サーボ採用の油圧 AWC 機能を有しており、圧延材長手方向幅変動に応じた幅圧下制御と先後端幅落ち防止制御が可能である。

3.2 ミーリング設備概要

需要家における端面加工処理の解消も可能とする高い切削面精度を有した冷間ミーリング設備を、1987年7月、シャラインに設置した。

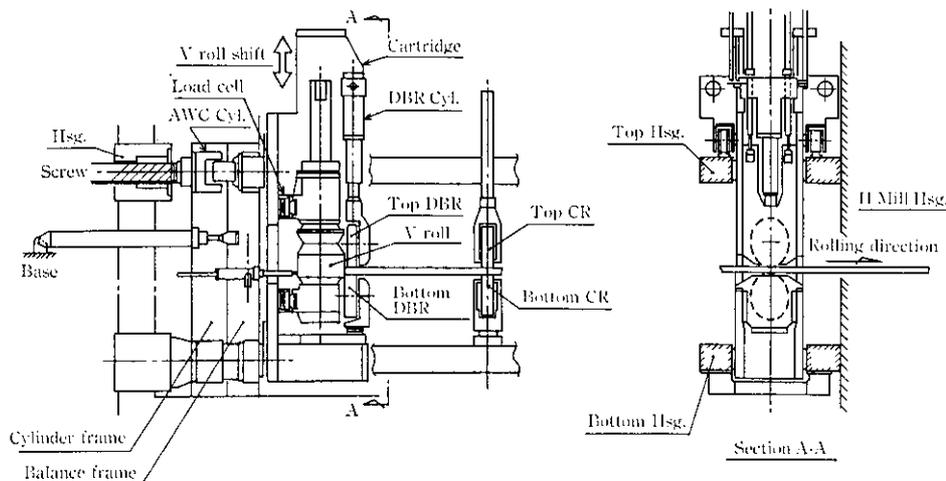


Fig. 3 Schematic view of TFP edger

Table 2 Specifications of the milling

Place	Between side shear and end shear
Type	Helical milling
Cutter head	1 000 mmφ×2
Feed speed	42 m/min max
Depth of cut	20 mm/each side max
Work thickness	4.5~80 mm
Milling control	Center position control (CPC) Edge position control (EPC) Straight position control (SPC)
Motor power	DC 200 kW×2

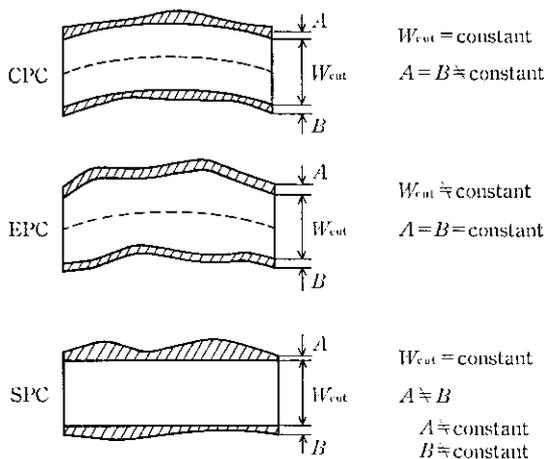


Fig. 4 Method of milling

Table 2 にミーリングの設備主仕様を示す。カッターは鋼板進行方向に 25° 傾斜したヘリカル切削方式を採用しており、高い切削時送り速度、大きな切込深さ、被切削板厚範囲の拡大を可能としている。

切削制御は、切削幅一定制御 (CPC)、切削代一定制御 (EPC) に加えて、シャライン最上流で測定した鋼板平面形状データをもとに直線切削制御を行う SPC も有している。Fig. 4 に各切削制御方法の概念図を示す。

4 TFP 製造技術

Fig. 5 に TFP 製造方法の概念図を示す。この製造技術は、下記の技術により構成される。

- (1) 成形パスにおいて、必要に応じてカリバー部を用いた面取りエッジングを行い側面のまくれ込みを防止する。
- (2) 成形パスでの MAS 圧延と幅出しパス中のエッジングにより、幅出し終了時点の幅形状を制御する。
- (3) 仕上げパスでは、AWC を用いたエッジングと水平圧延をくりかえすことにより幅変動を解消し側面形状の矩形化を図る。
- (4) 幅出しパスでの MAS 圧延と仕上げパス中のエッジングにより、先後端クロップ形状を制御する。

以下に、各技術の詳細について述べる。

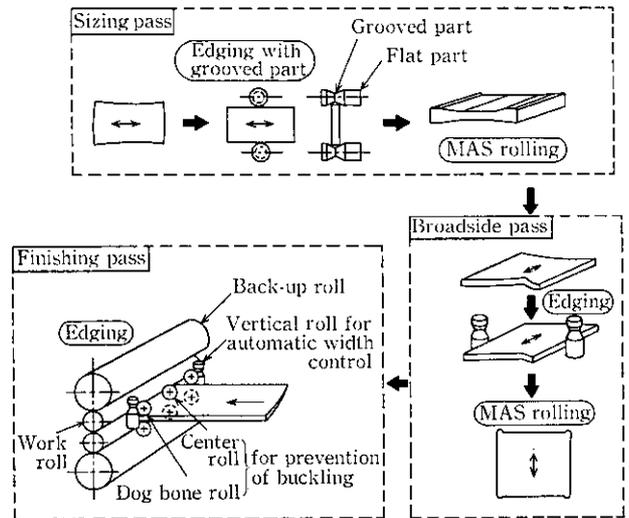


Fig. 5 Rolling schedule of TFP (MAS: Mizushima automatic plan view pattern control system)

Table 3 Material with chamfer rolling for prevent of edge overlap

Steel grade	API 5LX-X70
Rolling dimensions (mm)	18.89×4 371×35 100
Slab dimensions (mm)	310×2 400×4 300
Broadside rolling ratio	1.82
Longitudinal rolling ratio	8.16

4.1 側面のまくれ込み防止技術

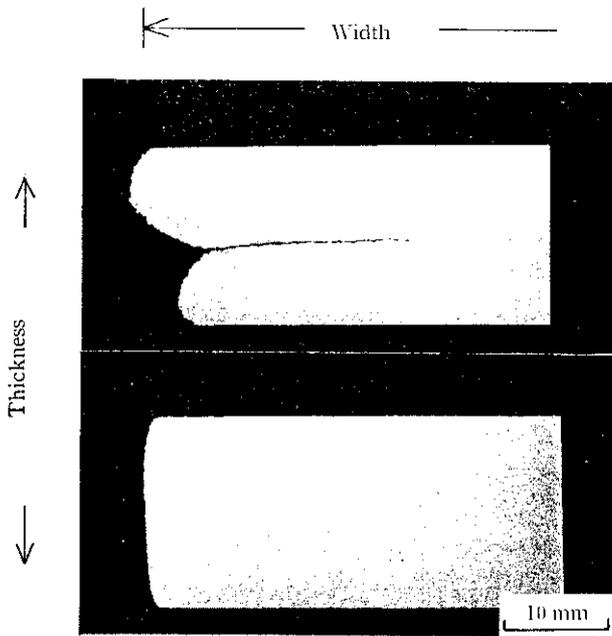
側面のまくれ込みは、仕上げパス中のエッジングにより減少する¹⁰⁾。しかし、素材厚が厚く、幅出し比が大きく、幅出しパス中の圧下率が小さい場合は、仕上げパス中のエッジングのみでは側面のまくれ込みは解消できない¹⁰⁾。このような条件の圧延材については、成形パス中にカリバー部を用いた面取りエッジングを行う必要がある。

実圧延において面取りエッジングを適用してまくれ込み防止を図っている例としては、Table 3 に示すラインパイプ用素材 (API 5LX-X70) がある。Photo 1 は、従来プロセス (エッジ+圧延なし) 材と面取りエッジングを行った TFP プロセス材について、成品板エッジ断面を比較したものである。従来プロセスでは 20~30 mm 生じていたまくれ込みが、現在の TFP プロセスでは解消されており、さらに仕上げパス中のエッジングにより側面は矩形化されている。

Fig. 6 は、面取り面積と側面のまくれ込み量との関係を示したものである。面取り面積を増加させることにより側面のまくれ込み量は減少し、一定量以上の面取りを行うことにより側面のまくれ込み量を零にすることが可能である。図中の破線は、鉛モデル実験¹⁰⁾ で得られたモデル式による計算値で、実圧延での現象とよく一致している。

4.2 MAS 圧延法とエッジング圧延法の組み合わせ技術

Fig. 7 は、幅出し終了時点の幅形状の違いが、圧延終了後の平面形状および側面形状に与える影響を示したものである。仕上げパス中のエッジングにより側面形状の矩形化を図りかつ先後端クロップ



Upper: Conventional process
Lower: TFP process
Photo 1 Comparison of plate section

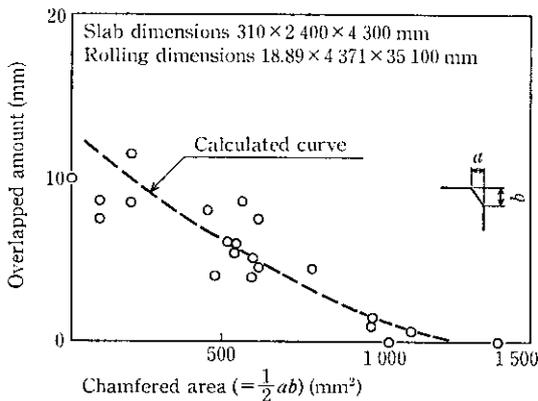


Fig. 6 Effect of chamfer rolling on the amount of overlap

Plate dimensions: 20 x 2800 x 54000 mm
 ΔE_T : Total edging value of top part of finishing passes
 ΔE_M : Total edging value of middle part of finishing passes
 ΔE_B : Total edging value of bottom part of finishing passes

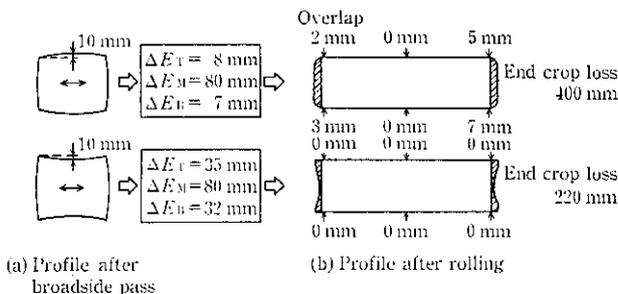


Fig. 7 Influence of profile after broadside pass on the amounts of overlap and end crop after rolling

ロスを小さくするためには、幅出し終了時点の幅形状を先後端の幅が中央部よりも広いいわゆるツツミ形状として、全長にわたり十分な幅圧下量を確保する必要があることがわかる。

幅出し終了時点の幅形状を制御する手段としては、成形パスでのMAS圧延と幅出しパス中のエッジングがある。この両者の最適化を図るためには、幅出し終了時点の幅形状予測モデルが必要である。

4.2.1 幅形状予測モデル

幅出し終了時点の幅形状予測モデルは、成形圧延および幅出し圧延によるタイコ代 (中央幅と先後端幅との差 T_C) の予測式と、幅出しパス中のエッジングによるタイコ代変更量 (ΔT_{CE}) の予測式から構成される。

成形圧延および幅出し圧延によるタイコ代予測式を (1) 式に示す。

$$T_C = (a_1 \cdot S_T^{n_1} \cdot H_{DBT}^{n_2} \cdot HP^{n_3} + a_2) \left(\frac{S_W}{S_T} \right)^{n_4} + a_3 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 S_T : スラブ厚
 S_W : スラブ幅
 H_{DBT} : 幅出し開始厚
 HP : 幅出し比
 a_i, n_i : 定数

また、幅出しパス中のエッジングによるタイコ代変更量予測式を (2) 式に示す。

$$\Delta T_{CE} = \sum_j (b_1 + b_2(f_T + f_B)) H_j^{m_1} \left(\frac{H_j}{H_{DW}} \right)^{m_2} \cdot \Delta E_j \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 f_T : 先進率
 f_B : 後進率
 H_{DW} : 幅出し終了厚
 H_j : エッジング時の板厚
 ΔE_j : エッジング量
 b_i, m_i : 定数

4.2.2 組み合わせ技術の最適化

成形パスでのMAS圧延のみの場合、幅出しパス中のエッジングのみの場合、そして両者を組み合わせた場合それぞれの幅出し終了時点の幅形状の比較を Fig. 8 に示す。MAS圧延のみの場合には、Fig. 8 (a) に示すように最先後端より若干中央寄りの部分が最大幅となる。またエッジングのみの場合には、Fig. 8 (b) に示すように最先後端の幅は広がるが、中央寄りの領域についてはエッジングの効果及ばないため幅形状調整効果はない。

両者の制御量は、以下の考え方に基づき最適化を図る。

- (1) MAS圧延のみによる幅形状で生ずる最先後端の幅落ち部を、エッジングにより補償する。
- (2) Fig. 8 (a) に示すようなMAS圧延に起因した幅変動が大きい場合には、MAS圧延の制御量を減少させ、それに対応して

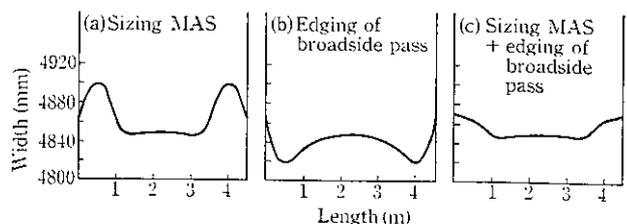


Fig. 8 Width pattern after broadside pass (broadside ratio: 3.0)

エッジング量を増加する。

上記の方法により、Fig. 8 (c) に示すような幅出し終了時点での最適な幅形状が、あらゆる圧延条件下で達成できる。

また、幅出しパスでの MAS 圧延と仕上げパス中のエッジングとの組み合わせにおける最適化により、先後端クランプ形状制御を行う。

4.3 フィードフォワード AWC 技術

厚板圧延におけるエッジング制御へ AWC を適用するにあたり考慮すべき点は、下記のとおりである。

- (1) 成形圧延および幅出し圧延での不均一塑性変形、さらに MAS 圧延および幅出しパス中のエッジングにより、幅変動が生じている。この幅変動は、スキッドマークにより発生する幅変動と比較してはるかに大きい。
- (2) エッジング後の水平圧延による幅戻り率は、Fig. 9 に示すように先後端の非定常領域で小さくなる。この非定常領域が、板全長に対して占める割合は大きい。

以上の観点より、ロールフォース型の過補償 AWC の適用は効果がなく、エッジング前の幅形状実測値を用いた FF (フィードフォワード)-AWC を構築するものとした。

FF-AWC システムは、板幅データ収集システム、プロセスコンピュータ (P/C)、AWC 用コントローラおよび油圧圧下装置により構成される。P/C において決定される長手方向各位置における AWC 制御量に基づき、AWC 用コントローラにて油圧圧下の制御を行う。

P/C での AWC 制御量の決定は、測定された板幅データをもとにスプライン関数近似を適用して数値化された幅形状と、板長手方向各位置における幅戻り率を用いる。ここで、スプライン関数 $f(x)$

とは、各節点 x_i において、

$$f_i^{(j)}(x_i) = f_{i+1}^{(j)}(x_i), \quad j=0 \sim n \dots\dots\dots (3)$$

$$f(x) = f_j(x), \quad (x_{i-1} < x \leq x_i) \dots\dots\dots (4)$$

を満足する区分 n 次多項式であり、幅形状のような変曲点の多いデータの近似に有効である。また幅戻り率は、実験データに基づき、下式の関数型で与えた。

$$r(x) = \begin{cases} r_M(1 - e^{-x/x_T}) & (0 \leq x \leq l/2) \dots\dots\dots (5) \\ r_M(1 - e^{-(l-x)/x_B}) & (l/2 < x \leq l) \dots\dots\dots (6) \end{cases}$$

ここで、 $r(x)$: 幅戻り率
 r_M : 定常部幅戻り率
 l : 鋼板長
 x_T, x_B : 定数

Fig. 10 に、FF-AWC 前の幅形状、FF-AWC パスでの圧延荷重およびシリンダー位置、圧延終了後の幅形状を示す。FF-AWC を適用することにより、圧延終了後の幅形状を全長にわたって目標幅に制御できている。

5 TFP 工程生産状況

Fig. 11 に、TFP プロセス適用時の板間中央幅精度と板内幅偏差の実績を示す。中央幅精度は、 $\bar{x} = -0.2 \text{ mm}$, $\sigma = 2.3 \text{ mm}$ という高精度を達成している。また板内幅偏差も、圧延長 54 m というサイズにもかかわらず、 $\bar{x} = 7.1 \text{ mm}$, $\sigma = 2.6 \text{ mm}$ という極めて良好な精度が得られている。これらの精度は、圧延ままのアズロール状態から、直接ミーリング等による開先加工をも可能にするレベルである。

Fig. 12 に、ミーリングでの SPC (直線切削) モードによる切削精度を示す。幅変動および長手方向の直線性ともに、従来のシャブ断

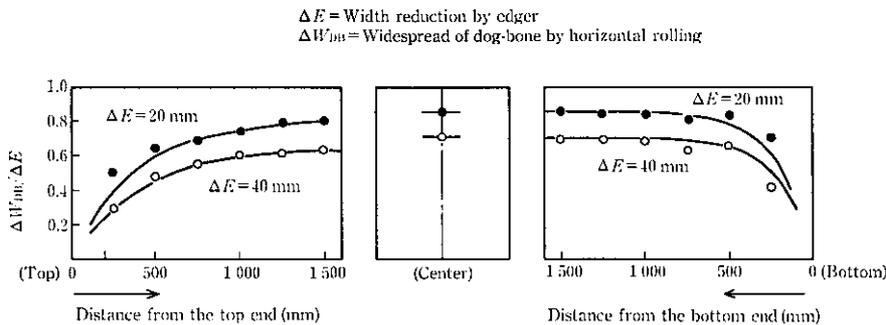


Fig. 9 Widespread ratio by horizontal rolling

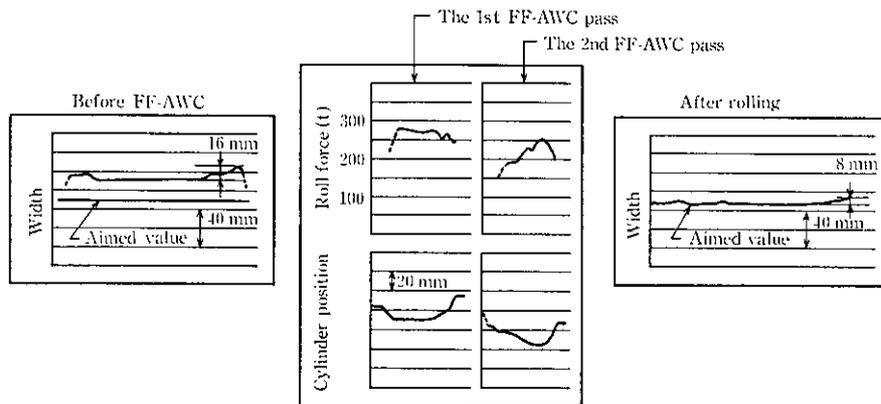


Fig. 10 Results of FF-AWC

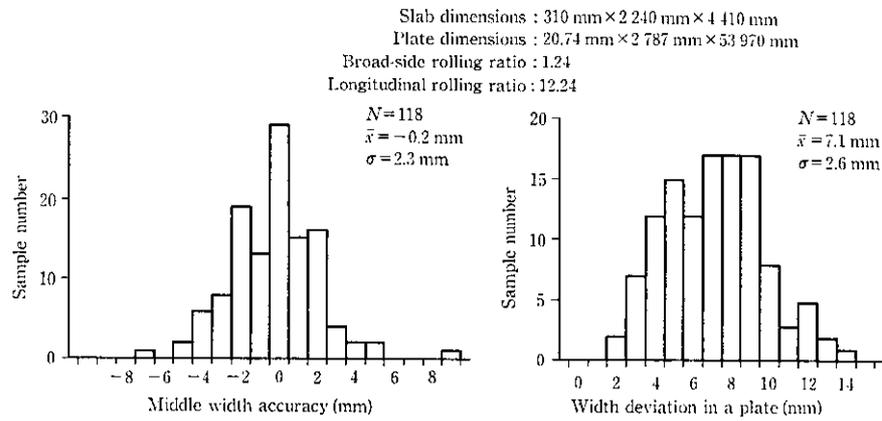


Fig. 11 An example of width accuracy and width deviation by TFP process

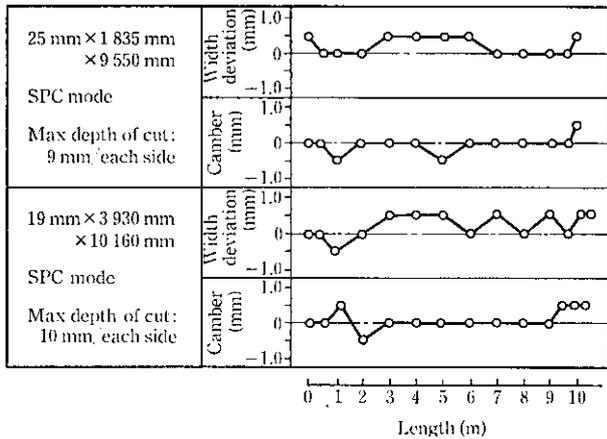


Fig. 12 Cutting accuracy of SPC mode by milling

では不可能であった ±0.5 mm 以内という高精度を実現しており、現在すでにミーリング切削での高精度精密切削仕様の注文も入り始めている。

また、TFP プロセスによる幅精度の向上およびミーリングの導入により余幅削減が可能となり、歩留り向上に大きく寄与している。Fig. 13 に示すように、余幅ロス、先後端クロップロスを低減することで 2% の歩留り向上を達成し、現在注文歩留りは 96% 台に到達している。

6 結 言

水島製鉄所厚板工場では、仕上げミル直前にエッジを、またシ

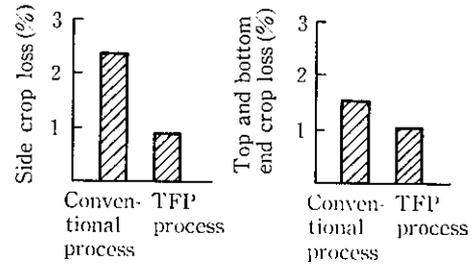


Fig. 13 Crop loss saving by TFP process

ャラインにミーリング設備を設置し、TFP 製造技術を確立した。本報では、エッジおよびミーリング設備概要、TFP 製造のために開発した種々の技術内容および工程化状況について述べた。要約すると以下のとおりである。

- (1) 仕上げミル直近 (3 625 mm) に設置したエッジは、カリバ一部を有した V ロールの上下ソフト機構、バックリング防止用押さえロール、油圧 AWC 機能を有している。
- (2) ミーリングは、ヘリカル切削方式を採用した。切削制御は、切削幅一定制御 (CPC)、切削代一定制御 (EPC) に加えて直線切削制御 (SPC) も有しており、高精度切削を実現した。
- (3) TFP 製造技術は、面取りエッジングを用いた側面のまくれ込み防止技術、MAS 圧延法とエッジング圧延法の組み合わせ技術の最適化、FF-AWC によるエッジング制御技術から構成される。
- (4) TFP プロセスによる圧延幅精度の向上およびミーリングの導入は、歩留り向上に大きく寄与するとともに、需要家の高度化する寸法精度要求に対応できるものである。

参 考 文 献

- 1) 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, **67** (1981) 15, 2395-2404
- 2) 西崎 允, 小久保一郎, 早川初男, 川谷洋司, 福田正彦, 吉間 豊: 鉄と鋼, **67** (1981) 15, 2405-2411
- 3) 渡辺秀規, 高橋祥之, 塚原戴司, 千賀昌一, 金田欣亮: 鉄と鋼, **67** (1981) 15, 2412-2418
- 4) 平井信恒, 吉原正典, 関根稔弘, 坪田一哉, 西崎 宏: 鉄と鋼, **67** (1981) 15, 2419-2425
- 5) 升田貞和, 平沢猛志, 市之瀬弘之, 平部謙二, 小川幸文, 鎌田正誠: 鉄と鋼, **67** (1981) 15, 2433-2442
- 6) 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, 168-181
- 7) 河野輝雄, 横井玉雄, 吉松幸敏, 小林芳平, 花崎一治: 鉄と鋼, **67** (1981) 12, S1025
- 8) 井上正敏, 磯山 茂, 平井信恒, 樽井正昭, 本城 恒, 渡辺 一: 第 33 回塑性加工連合講演会論文集, (1982), 328
- 9) 磯山 茂, 井上正敏, 樽井正昭, 本城 恒: 昭和 58 年度塑性加工春季講演会論文集, 317
- 10) 井上正敏, 磯山 茂, 樽井正昭, 本城 恒: 昭和 58 年度塑性加工春季講演会論文集, 318