

## TFP (Trimming Free Plate) 製造技術の開発

© 1988 ISIJ

技術報告

井上 正敏\*・大森 和郎\*・折田 朝之\*  
岡村 勇\*・磯山 茂\*・樽井 正昭\*<sup>2</sup>

## Development of a Process for Manufacturing Trimming Free Plate

Masatoshi INOUE, Kazuo OHMORI, Tomoyuki ORITA,  
Isamu OKAMURA, Shigeru ISŌYAMA and Masaaki TARUI

## Synopsis :

The presented rolling technology aims at supplying heavy plates without edge trimming by incorporating an attached edger close to the finishing mill. Technical subjects for realizing this object include; rolling force and torque in V rolling, prevention of buckling in heavy width reduction, elimination of edge overlap by chamfer rolling, and overall rolling strategy. These subjects are first examined in experiments by lead model, and a production mill is constructed. Important features and some experiences in the production mill are summarized below; suggesting the promising future of the present technology.

1) The V roll has a caliber part as well as a flat part in order that the edge can be shaped in square by selective use of either part according to the rolling pass by roll shifting.

2) The overall rolling strategy including V rolling is supported by accurate AWC system, and is effective for attaining high width accuracy over the whole length of rolling material.

3) Width loss can be drastically reduced by chamfer rolling and finish-edging combined.

Key words : plate ; plate rolling ; trimming ; overlap ; edger ; chamfer ; width reduction ; squared edge ; AWC.

## 1. 緒 言

近年、厚板圧延技術の進歩はめざましく、平面形状の矩形化技術の開発により剪断ロスは大幅に減少してきた。

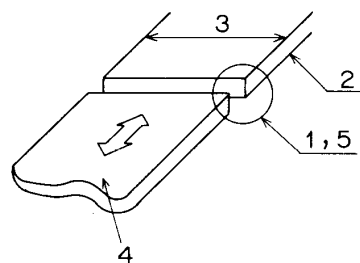
しかしながら、板幅エッジ部のまくれ込み、中央幅精度不良、長手方向幅偏差、キャンバー等に起因した幅ロスは依然として残っており、これらの解消が圧延における大きな課題となっている。

そこで川崎製鉄(株)水島製鉄所においては、大幅な歩留向上、能率向上および物流改善を目的として、圧延のまま板エッジの矩形化、幅偏差の低減、幅精度の向上を図ることにより幅剪断工程を省略する幅剪断不要鋼板(Trimming Free Plate, 以下 TFP と称する)の開発を進めてきた<sup>1)~3)</sup>。

本報では、鉛実験から得られたエッジング基本特性、実機エッジャーの設備および制御の特徴と実圧延での板エッジの矩形化特性を中心に報告する。

## 2. TFP の必要条件と開発課題

TFP は、圧延のまま従来の剪断と同等あるいはそれ以上のエッジ断面形状、平面形状、寸法精度を有することが不可欠である。このための必要条件を Fig. 1 に示す。これを満足するには、エッジャーによる幅圧下制



- |                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1. Square edge                 | 2. Straight edge        |
| 3. Accurate width              | 4. Decrease of end crop |
| 5. Edge without surface defect |                         |

Fig. 1. Requirements for TFP.

昭和 62 年 9 月 30 日受付 (Received Sep. 30, 1987)

\* 川崎製鉄(株)水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Mizushimakawasakidori Kurashiki 712)

\*<sup>2</sup> 石川島播磨重工業(株)技術研究所 (Research Institute Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.)

Table 1. Developmental subjects for TFP.

1. Square edge	(1) Prevention of dog-bone and overlap
2. Straight edge	(1) Control of width deviation (2) Control of width shortage at the top and bottom end
3. Accurate width	(3) Camber control
4. Decrease of end crop	(1) Crop pattern control
5. Edge without surface defect	(1) Prevention of surface defect
6. Width reduction	(1) Prevention of buckling (2) Characteristics of rolling condition

御技術の開発が必要で、特に厚板圧延の特徴である板幅比(板幅/板厚)の大きい圧延材のエッジング特性の把握と側面まくれ込みおよびバルジングに対するエッジング特性の把握が最も重要な開発課題の一つである。このような観点に立つて整理した TFP 製造のための開発課題を Table 1 に示す。

3. 鉛モデル実験によるエッジング基本特性の検討

エッジング基本特性の把握とエッジャー必要機能の検討を目的として、硬質鉛板(JIS 4種)を用いたモデル実験を行った。

3.1 広幅材の幅圧下特性

幅圧下特性に関する報告はホットストリップを対象にしたものが多く<sup>4)5)</sup>、厚板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例<sup>6)</sup>は少ない。そこで本実験では、Table 2 に示すように広範囲の板幅比を実験条件として選んだ。

Fig. 2 に板幅一定の場合の幅戻り特性を示す。V-H 圧延後(Hはドッグボン部のみ圧下)の幅戻りに対して板厚の影響は認められない。一方、幅圧下量に対する幅戻り量の比率(幅戻り率)は50~80%と大きく、この傾向は幅圧下量が小さいほど顕著である。

Fig. 3 は先端非定常部の幅落ち特性を示したものである。先端非定常部のVおよびV-H 圧延後の幅落ち量も前述の幅戻り特性と同様に板厚、板幅の影響は顕著ではなく、幅圧下量に依存していることがわかる。

3.2 側面まくれ込み防止

成品の側面まくれ込み防止は TFP 製造のための重要な技術の一つであるが、これに関して定量的に扱った報告例<sup>7)</sup>は少ない。このため、カリバー付堅ロールで鉛材を圧延し、まくれ込み防止技術の検討を行った。

実験は Fig. 4 に示したように、カリバー部の角度( $\theta$ )および面取り量( $a$ )を変化させて行った。

Fig. 5 に、面取り圧延部の面積( $a \times b/2$ )と幅出し後

Table 2. Lead model test conditions on width spread characteristics.

		Case A	Case B
V roll diameter	$d_v$ (mm)	100 $\phi$	100 $\phi$
H roll diameter	$d_H$ (mm)	100 $\phi$	150 $\phi$
Thickness	$H_0$ (mm)	2, 5, 7, 14, 20	2, 3, 4, 5
Width	$W_0$ (mm)	98	100, 140, 200
Width reduction	$\Delta W$ (mm)	$H_0 \times (25, 50, 75\%)$	
Reduction after V rolling	$\Delta H$ (mm)	$H_0 \times (0, 10, 15, 20, 30\%)$	

Case A : Constant width  
Case B : Various width/Thickness ratio

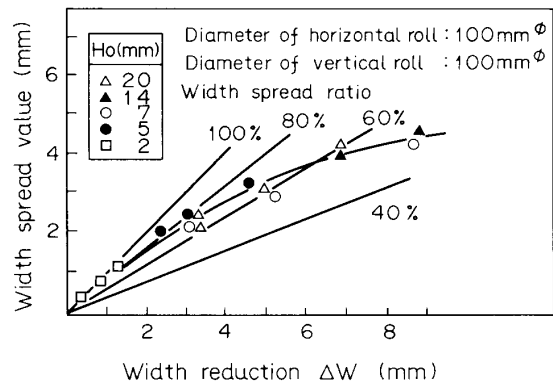


Fig. 2. The amount of width spread in flat rolling after edging.

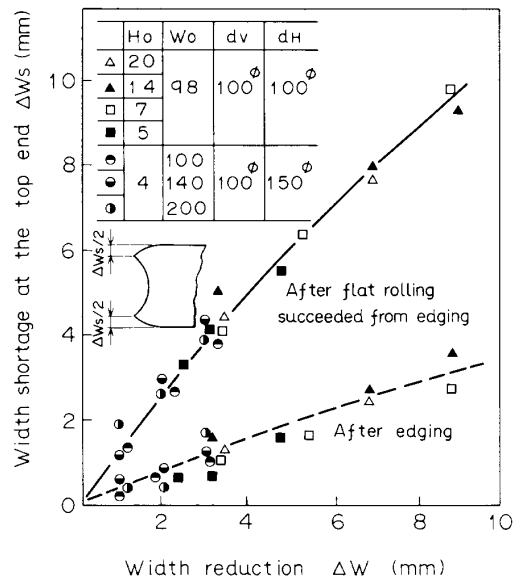


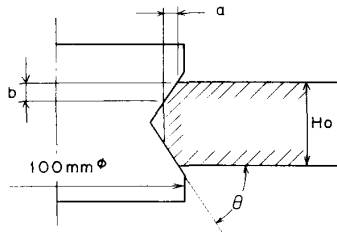
Fig. 3. Relation between width reduction and width shortage at the top end.

のまくれ込み量の関係を示す。まくれ込み量に対しては面取り角よりも面取り面積の影響が大きく、面取り面積の増加とともにまくれ込み量は大幅に減少する。

また、幅出し圧延完了後のまくれ込み量を図中の一点

Material dimensions (mm) : t28 x w100 x l194  
Rolling conditions

$\theta$ (°)	a(mm)	b(mm)
6.0	1.7	3
	3	5.2
	6	10.4
4.5	3	3
	3.9	3.9
3.0	5.2	3
	3	1.7



Draft schedule in width reduction (mm) : Reverse rolling  
2 → 2 → 2 → 2 → 2 → 2 → 2 → 1.5 → 1.5  
Diameter of horizontal roll : 150mm $\phi$

Fig. 4. Conditions of lead model tests on the prevention of overlap.

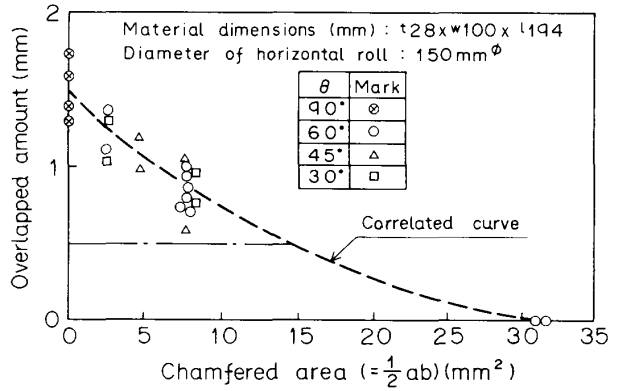


Fig. 5. Experimental result of lead on overlap in broadside rolling.

Experimental conditions	V roll : 100 mm $\phi$ - 33rpm Support roll : 35mm $\phi$ x 11mm w (Idle roll) Material : Hard Pb 1mm, 2mm Hox150mm w	Results			
		Ho (mm)	1	1	2
	Support roll arrangement	$\Delta W$ (mm)	1	2	2
3 points support		Buckling	No	Edge wave	No
Both ends support		Buckling	Center buckle in all case		
Center support		Buckling	Edge wave in all case		

Fig. 6. Schematic diagram of support rolls for the prevention of buckling and their effect.

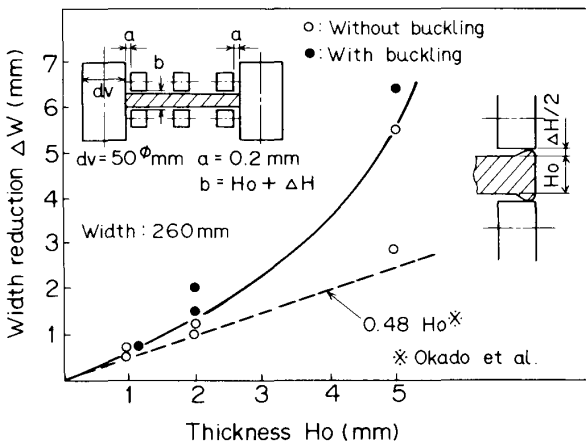


Fig. 7. Critical width reduction against buckling in using support rolls of 3-point.

鎖線以下に押さえれば、仕上げエッジングでまくれ込みを零にできることも明らかになった。

### 3.3 バックリング限界

厚板圧延材のように板幅比の大きい材料を大幅圧下する時の問題点の一つとしてバックリングの発生が考えられる。

ここでは、Fig. 6 に示す上下押さえロールを利用した3種類のバックリング防止方式で実験を行った。幅方向3点拘束パターンがバックリング防止に対して最も効果的である。また、この3点拘束方式のバックリング限界を調べた結果を Fig. 7 に示す。バックリング防止対策を施していない従来の報告例<sup>5)</sup> に比べ、限界幅圧下量は大幅に向上しており、この傾向は板厚が厚いほど顕著である。

### 4. エッジャー設備

#### 4.1 設備仕様

Fig. 8 にエッジャーの配置, Table 3 に設備主仕様を示す. エッジャーは仕上ミル後面に位置し, カリバー部とフラット部を有するVロールとこれと同一軸芯上にある押さえロールで構成されている. 押さえロールは鉛実験で最も効果のあつた3点拘束方式を採用している. エッジングは圧延のどの段階でも可能であるが, 原則として V-H 方向のパスのみ実施するシステムとしている.

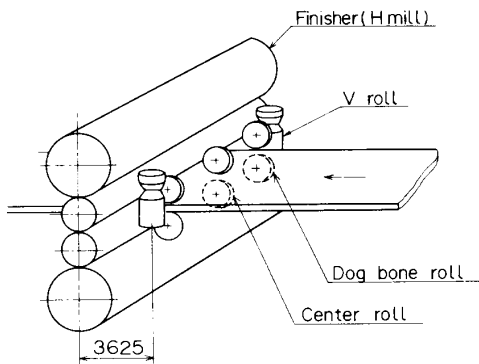


Fig. 8. Basic layout of edging devices in the production mill.

Table 3. Specification of edger.

Rolling force	Flat part	400 tf
	Grooved part	310 tf
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	

#### 4.2 Vロール廻り詳細構造

Vロールアセンブリーおよび開度設定廻りの構造を Fig. 9 に示す. Vロールはカートリッジと称するケースに組み込まれ, Vロールギャップの開閉, 上下シフト, ロール組替時のハンドリングはこのカートリッジ単位に行われる.

Vロールギャップの開閉は電動による粗設定と AWC も兼ねた油圧シリンダーによる精設定とで行われる.

#### 4.3 エッジャーの特徴

エッジャー設備の特徴をまとめて以下に示す.

(1) Attached Edger : 強力広幅ミルでは世界で初めて仕上ミル直前にエッジャーを設置し, 成形, 幅出し, 仕上圧延中の任意のタイミングでのエッジングを可能にした.

(2) Vロール形状 : フラット部とカリバー部を有し, 圧延条件に応じて使い分けが可能である. カリバー部は Fig. 10(a) に示したように面取り圧延に使用し, 側面

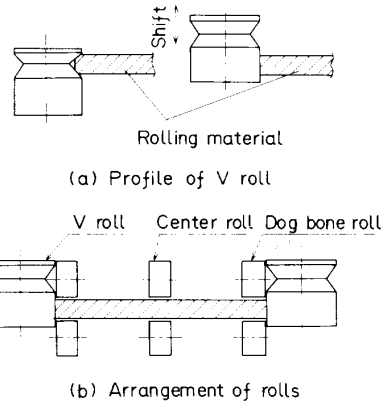


Fig. 10. Function of V roll and roll arrangement of edger.

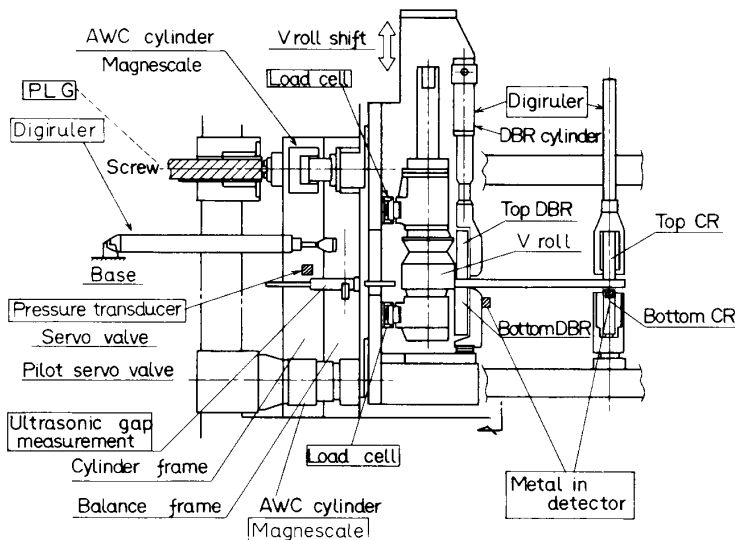


Fig. 9. Construction of the V roll assembly and its control devices.

まくれ込みを防止する。

(3)バックリング防止: Fig. 10(b) に示すように、幅方向3点拘束によるバックリング防止機能を有し、大幅圧下を可能にしている。また、端部の押さえロールは幅圧下時に発生するドッグボーン押さえの機能も有している。

(4)油圧 AWC (Automatic Width Control): 大容量直動型サーボ弁採用の AWC 機能を有しており、圧延材長手方向幅変化に対する追従性と幅調整能力を高めている。

## 5. エッジャー制御システム

### 5.1 圧下制御システム

Fig. 11 に TFP 圧延時の各ステージでの典型的な圧

下パターンを示す。成形圧延では面取り圧延と成形 MAS 圧延、幅出し圧延では幅出しエッジングを行い、側面まくれ込みを防止するとともに幅出し完了時の幅形状を矩形化する。仕上圧延では V-H-H のサイクルで仕上げエッジングを行う。

これらの各圧延段階でのエッジング条件決定の基本的な考え方を Fig. 12 に示す。水平ミルのスケジュールは従来どおり決定され、エッジャーのスケジュールはこの水平ミルのスケジュールと実測幅形状をもとに最適化を行っている。ここで用いられる主な制御モデルとしては

- (1)幅変化予測モデル
- (2)クロップ長予測モデル
- (3)まくれ込み予測モデル
- (4)エッジング負荷モデル

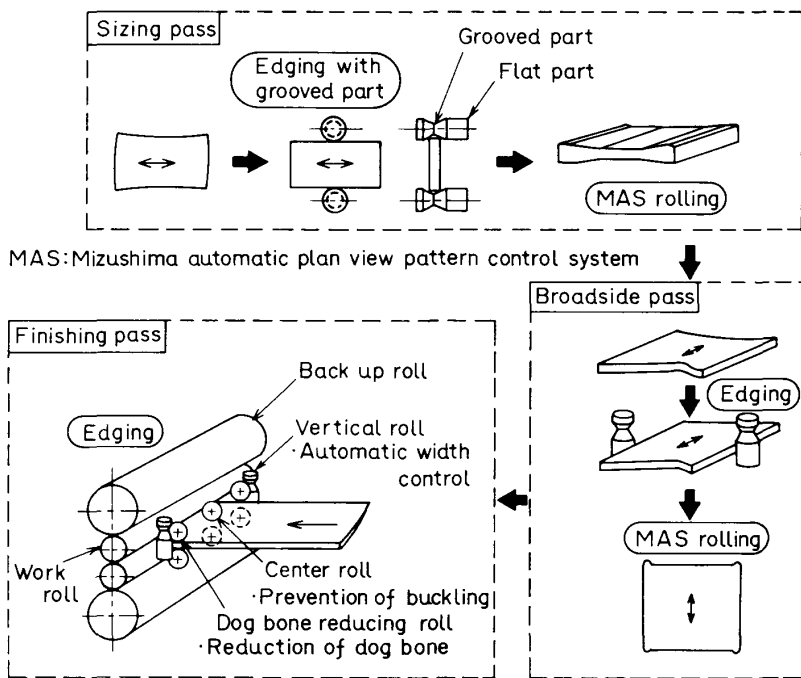


Fig. 11. Rolling schedule of TFP.

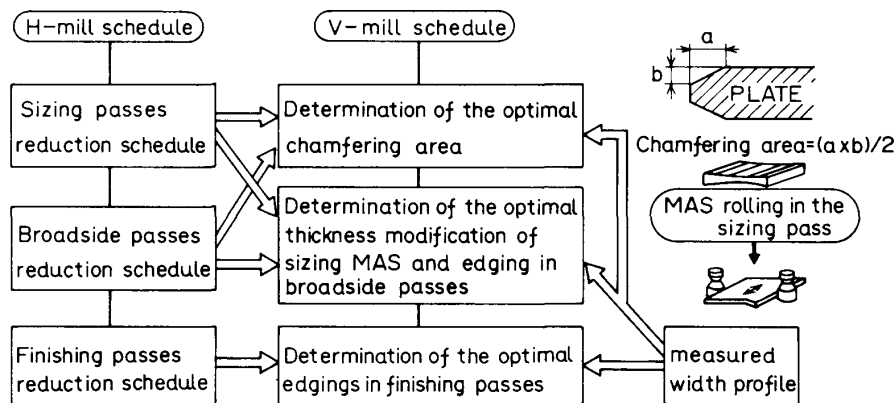


Fig. 12. Determination of TFP rolling schedule.

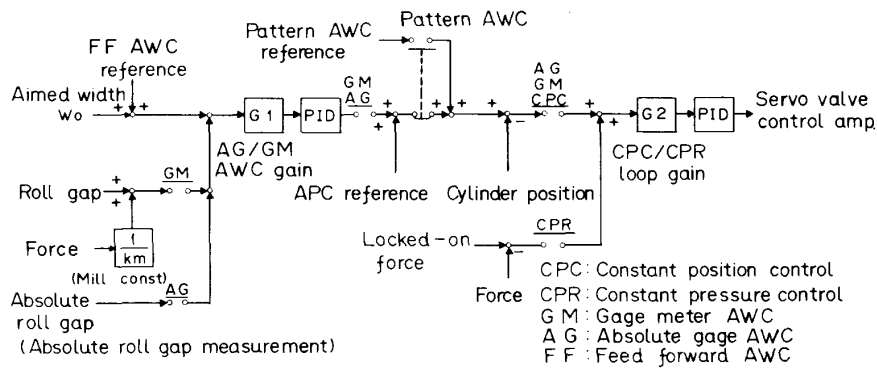
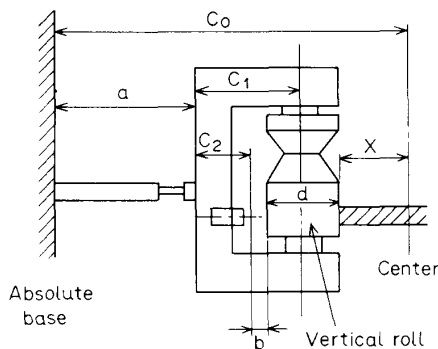


Fig. 13. Block diagram of AWC system.



$a, b$ : Measured  
 $C_0, C_1, C_2$ : Constant value  
 $\frac{d}{2} = C_1 - (C_2 + b)$   
 $X = C_0 - (a + C_1 + \frac{d}{2})$

Fig. 14. Absolute roll gap measurement.

Table 4. Material specification for verifying edge overlap prevention effect.

Steel grade	API5LX-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

等があり、鉛実験に基づいて作成したモデル式を実機データにより適正化を図つた上で用いている。

5.2 AWC 制御

Fig. 13 に AWC システムのブロック図を示す。本エッジャーは種々の AWC 機能を有しており、目的に応じて

- (1)CPC (Constant Position Control)
- (2)CPR (Constant Pressure Control)
- (3)GM (Gage Meter)-AWC
- (4)AG (Absolute Gage)-AWC
- (5)FF (Feed Forward)-AWC

の使い分けを行う。

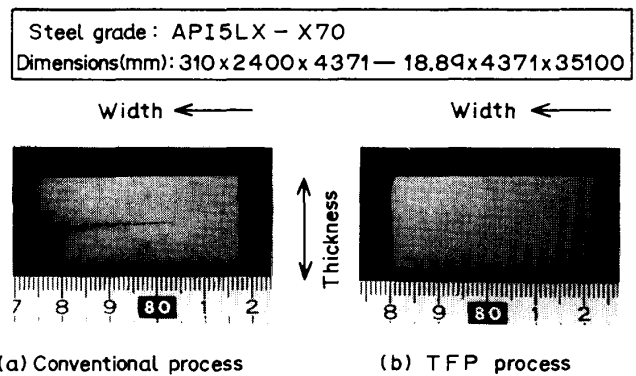


Fig. 15. Comparison of plate section.

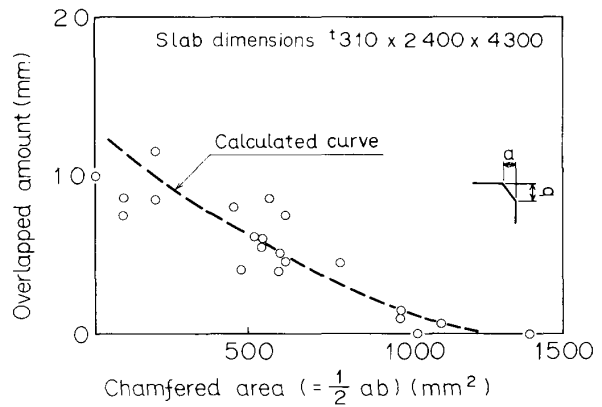


Fig. 16. Effect of chamfer rolling on the amount of overlap in steel.

5.3 センサー配置

本エッジャーには制御の高精度化と閉ループ化を志向した各種センサーを配置している。主なセンサー配置を前出の Fig. 9 に示す。特にVロール開度に関しては、次の4方式で常時測定可能である。

- (1) 圧下スクリュ位置検出用 PLG と油圧シリンダー位置検出用マグネスケールの組合せ
- (2) (1)での検出値+水距離計

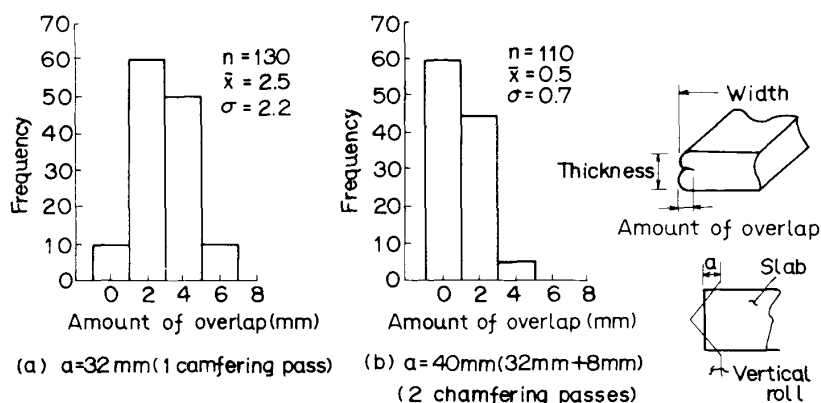


Fig. 17. Effect of chamfering on the reduction of overlap.

(3) デジタル式変位計によるVロール絶対位置検出

(4) (3)での検出値+水距離計

Fig. 14 に(4)のVロールギャップの絶対値検出の原理を示す。測定値  $a$ ,  $b$  と定数  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  から  $X$  を算出することによってVロール径の変化も考慮してVロールギャップの絶対値を測定する。この方式による測定精度は  $\pm 0.5$  mm が得られている。

#### 5.4 エッジ制御系の特徴

以上述べたエッジ制御系の特徴をまとめて以下に示す。

- (1) 高能力、高精度 AWC システムの採用
- (2) 高精度Vロール開度測定
- (3) センサーの徹底配備による制御の開ループ化、定量化

## 6. 実圧延適用結果

厚板圧延において、板エッジの矩形化を阻害する最も大きな要因は側面まくれ込みである。ここでは実機エッジャーによる確性結果のうち、このまくれ込みの防止に効果的な面取り圧延の結果を中心に述べる。

### 6.1 側面まくれ込み防止効果

側面まくれ込み防止の確性実験対象材は Table 4 に示した API5LX-X70 を選定した。これはラインパイプ用素材で幅出し圧延中の圧下量が小さいため、通常の圧延ではまくれ込みの著しい材料である。

Fig. 15 は面取り量  $a=40$  mm の場合の成品板エッジ断面と通常圧延（面取り圧延なし）の断面を比較したものである。面取り圧延の効果は顕著で、通常圧延の場合には 20~30 mm あつたまくれ込みをほぼ解消できた。また仕上圧延後の断面矩形化に対する仕上げエッジングの効果も顕著で、側面バルジング量は 1~2 mm である。

次に、面取り量と側面まくれ込みの関係を調べた結果を Fig. 16 に示す。図中破線は鉛モデル実験で得られたモデル式による計算値を示す。熱間鋼の場合も鉛モデル

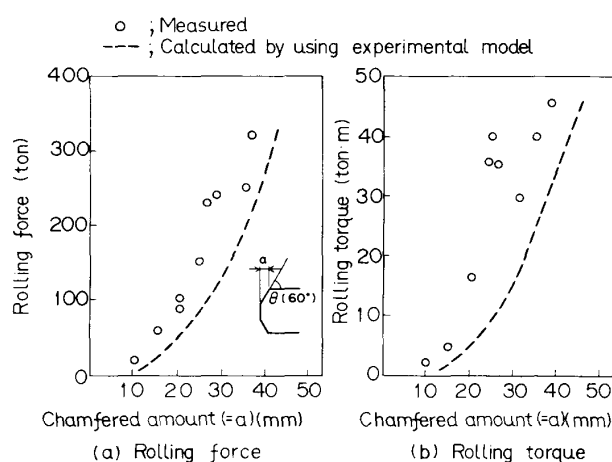


Fig. 18. Rolling force and torque in chamfer rolling in relation with chamfered amount per pass.

実験と同傾向を示し、面取り面積の増加とともにまくれ込みは大幅に減少する。

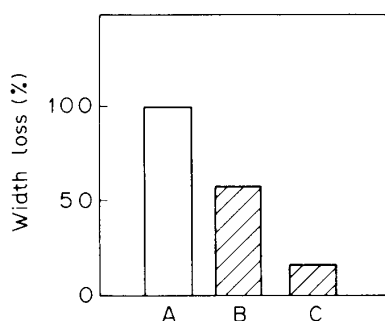
Fig. 17 は面取り量  $a=32$  mm と  $a=40$  mm の場合の圧延完了後のまくれ込み量を比較したものである。同図 (a) は面取り量 32 mm の場合でまくれ込み量の  $\bar{x}=2.5$  mm,  $\sigma=2.2$  mm である。同図 (b) は面取り量 40 mm の場合で  $\bar{x}=0.5$  mm,  $\sigma=0.7$  mm である。これらの結果から、API5LX-X70 材では面取り量 40 mm が必要と考えられる。

### 6.2 負荷特性

面取り圧延は圧延材のコーナー部のみを圧延するため、その負荷特性も通常の幅圧下と大きく異なると推察される。

Fig. 18(a) に圧延荷重と面取り量の関係、同図 (b) に圧延トルクと面取り量の関係を示す。面取り量が増加すると、荷重、トルクとも急激に増加する。これは、変形抵抗が増加することに加えて圧延材とロールの接触面積が大幅に増加するためと考えられる。

図中破線は鉛モデル実験で得られたモデル式による計



A: Conventional process  
B: Chamfering  
C: Chamfering + Flat edging

Fig. 19. Effect of chamfering and flat edging.

算値を示す。

### 6.3 幅ロス削減効果

エッジャーの適用による幅ロス削減効果を Fig. 19 に示す。面取り圧延によりまくれ込みが減少したことで、大幅な幅ロス削減を図ることができ、さらに仕上げエッジングを適用することで従来レベルの約 1/10 の幅ロスに抑えることができた。

また、断面形状もほぼ矩形化できており、既に社内向けのパイプ素材については、TFP として製造を実施している。

今後は、AWC を用いた全長幅制御のレベルアップを行い、幅制御精度の向上、TFP 対象材の拡大を図っていく予定である。

## 7. 結 言

鉛モデル実験ではエッジング基本特性を把握した上で、これに基づいて仕上ミル直近にエッジャーを建設し、実圧延に適用した。その結果、

(1)板幅比の大きい厚板圧延をシミュレートした鉛モデル実験を行い、V圧延による幅殺し効率が小さいこと、まくれ込み防止に対して面取り圧延が有効なこと、バックリング防止に対しては幅方向3点拘束方向が効果的であることを明らかにした。

(2)水島製鉄所厚板工場仕上ミル直近にエッジャーを建設し、圧延のすべての段階でエッジングを可能にした。

(3)エッジャーのVロールはフラット部とカリバー部を有し、圧延パスに応じて使い分けることにより、矩形エッジとすることができる。

(4)面取り圧延によるまくれ込み効果は実圧延においても顕著であり、面取り量を大きくすることによつて、まくれ込みを解消できた。

(5)面取り圧延と仕上げエッジングを組み合わせることで幅ロスの大幅削減が可能であり、仕上げエッジングによる断面矩形化と合わせて TFP 製造の見通しを得た。

## 文 献

- 1) 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), p. 453
- 2) 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 (1983), p. 353
- 3) 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 (1983), p. 357
- 4) 芝原 隆, 美坂佳助, 河野輝雄, 高力 満, 竹本 裕: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 2509
- 5) 岡戸 克, 有泉 孝, 野間吉之介, 藪内捷文, 山崎喜政: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 2516
- 6) 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), p. 2395
- 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), S1025