
カリバーレス圧延法の開発

Development of Grooveless Rolling

柳沢 忠昭(Tadaaki Yanazawa) 田中 輝昭(Teruaki Tanaka) 野田 昭雄(Akio Noda) 武田 了(Ryo Takeda) 森田 俊(Takashi Morita) 林 宏之(Hiroyuki Hayasi)

要旨：

角棒，丸棒は従来からカリバーロールを使用し圧延製造されてきた。そのため圧延サイズごとに多くのカリバーロールが必要であった。そのうえ，ロール摩耗が不均一であるため，ロール改削頻度が多く，かつ，改削量も多かった。角棒・丸棒圧延機に最終圧延段階を除いてカリバーなしのロールを使う新圧延法は，ロール交換時間，セットアップ時間の短縮，ロール改削量の低減をもたらす。本圧延法は水島製鉄所鋼片工場の粗・仕上圧延機に適用し現在安定操業を続けており，大幅なコストダウンがはかられた。開発の重要なポイントは，パススケジュールとガイド装置の設計であった。

Synopsis：

The conventional method of producing billets and bars in to pass blooms or billets through a series of grooved rolls. This method has the following drawback: (1) a large number of grooved rolls are required for each product size, and (2) the surface wear of the grooved roll is non-uniform, so that the grooved roll has to be redressed more frequently and the redressing amount is larger than that of flat rolls. A new method, using grooveless rolls in billet and bar mills, has been developed to save roll-change time, set-up time and the redressing amount of rolls. The method has been applied to the roughing and finishing stands of the billet mill in Mizushima works. It is working stably in daily production with saving in the production cost. This technique has been chiefly achieved by the improvement of pass schedules and guides.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

カリバーレス圧延法の開発

Development of Grooveless Rolling

柳 沢 忠 昭*

Tadaaki Yanazawa

田 中 輝 昭**

Teruaki Tanaka

野 田 昭 雄***

Akio Noda

武 田 了****

Ryo Takeda

森 田 俊*****

Takashi Morita

林 宏 之*****

Hiroyuki Hayashi

Synopsis:

The conventional method of producing billets and bars in to pass blooms or billets through a series of grooved rolls. This method has the following drawbacks: ① a large number of grooved rolls are required for each product size, and ② the surface wear of the grooved roll is non-uniform, so that the grooved roll has to be redressed more frequently and the redressing amount is larger than that of flat rolls. A new method, using grooveless rolls in billet and bar mills, has been developed to save roll-change time, set-up time and the redressing amount of rolls. The method has been applied to the roughing and finishing stands of the billet mill in Mizushima Works. It is working stably in daily production with saving in the production cost. This technique has been chiefly achieved by the improvement of pass schedules and guides.

1. 緒 言

カリバーレス圧延法は水島製鉄所鋼片工場において、昭和56年3月に実用化された新条鋼圧延法であり、ロール諸費用の大幅な削減と稼働率の向上およびこれにともなう諸原単位の低減などに大きな成果をあげている。外国での実験例¹⁾がいくつか報告されているが、完全な実用例は報告されていない。

本圧延法は板圧延と同じ平ロールを用いるもので、孔型ロールは所定の製品形状に成形するのに必要な最小限のパスにのみ使用する。

線棒圧延が板圧延と大きく異なるのは、圧下による幅広がりが多いことである。このため、線棒圧延では、全パスに孔型ロールを用いて、圧延材の幅広がりや形状を制御しつつ減面を繰返すのが通常の圧延法であった。ところが、平ロールを用いて線棒を圧延する場合、孔型ロールのような側壁による拘束がないため、圧延材に横倒れ、振れが発生しやすく、この防止がもっとも大きな課題であった。

そこで、モデル圧延機および実機のデータから平ロール圧延の諸特性を解明し、適正なパススケジュールを設計するとともに、平ロール圧延の特徴を生かした新ガイド装置を設置することによ

* 水島製鉄所企画部長
*** 水島製鉄所条鋼圧延部条鋼技術室主査(課長)
***** 水島製鉄所条鋼圧延部線材課掛長
〔昭和57年3月3日原稿受付〕

** 水島製鉄所条鋼圧延部条鋼技術室主査(部長補)
**** 水島製鉄所条鋼圧延部条鋼技術室
***** 水島研究所

て、本圧延法の開発に成功したものである。

2. 工場概要

Fig. 1 に当工場の圧延機配列と、250mm 角素材から82mm 角棒および90~110mm 丸棒製品を圧延する場合のパススケジュールの概要を示す。

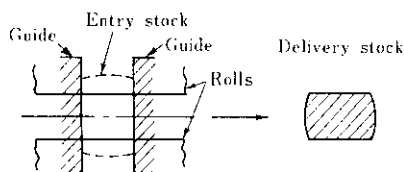
本圧延法の採用によって、R1~F3の5台の圧延機が、孔型ロールから平ロールに変更された。

3. 本圧延法の特徴

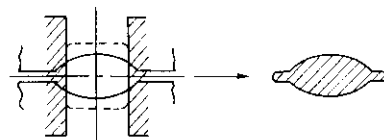
3-1 利 点

従来の孔型圧延法に対して平ロールを多用する本圧延法の利点は次のように考えられる。

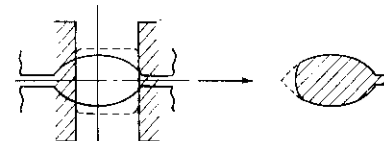
- (1) 圧延サイズ変更のためのロール交換、孔型変更の頻度が少なくなるので、稼働率が向上する。
- (2) ロール胴長の有効活用、ロール摩耗量の減少と均一化によってロール寿命の延長がはかれる。
- (3) ロール改削が簡単で、かつ改削量が少ないので、旋削工数が減少する。
- (4) Fig. 2(a)の平ロール圧延の場合は、Fig. 2(b), (c), (d)の孔型ロール圧延のようなロールおよびガイド装置のセット不良による品質欠陥が発生しない。
- (5) 圧下率の幅方向分布が均一であり、かつ非定



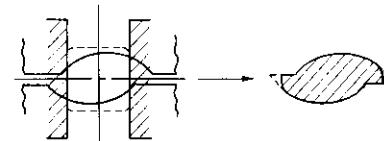
(a) Grooveless rolling



(b) Conventional rolling (Miss-set of roll gaps)



(c) Conventional rolling (Inaccurately positioned guide)



(d) Conventional rolling (Carelessly adjusted rolls)

Fig. 2 Advantages of grooveless rolling in quality of product

常域長さが短いので、先端・尾端不良部が短く、これによる歩留りの向上が期待できる。

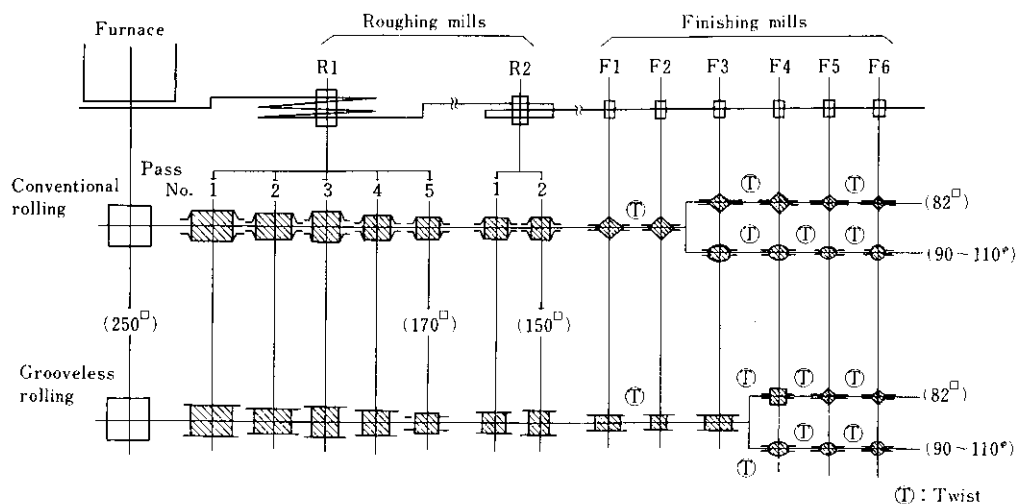


Fig. 1 Comparison of pass schedule between conventional rolling and grooveless rolling

(6) 拘束変形抵抗が小さくなるので、圧延消費電力の低減が期待できる。

3.2 問題点

本圧延法は3.1節で述べた多くの利点を有するが、実行にあたっては次に述べる問題点を克服する必要があった。

- (1) 平ロールは孔型ロールのような側壁面による支えがないので、Fig. 3(a)のように圧延後の材料は横倒れ断面になりやすく、顕著になると圧延の続行が不可能になる。
- (2) 平ロール圧延を繰返した材料のコーナー部は鋭角であるために、Fig. 3(b)のように孔型圧延でおれ込み疵が発生しやすい。
- (3) 当工場の仕上圧延機は水平連続圧延機であり、圧延機間での材料の捩転(ツイスト)が必要であるために、ガイド装置との接触によるかき疵の発生および前記問題点(1)(2)を助長する。

4. 平ロール圧延特性

前記問題を解消するためには、平ロール圧延での幅広がり特性、自由面の変形特性、横倒れ現象、メタルフローを知ることが大切である。

そこで、プラスチックモデルおよび鉛モデルでの基礎実験、さらに実機圧延実験を行い、これらの現象を定量化した。

4.1 記号の説明

本報で用いる主な幾何学的数値をFig. 4により

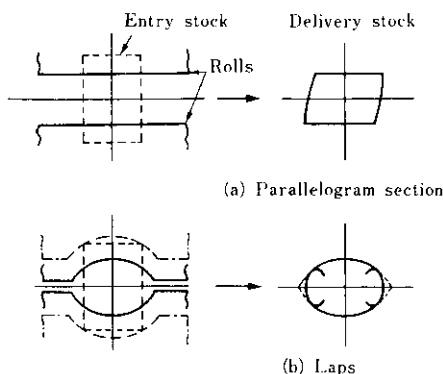


Fig. 3 Problems conventionally held

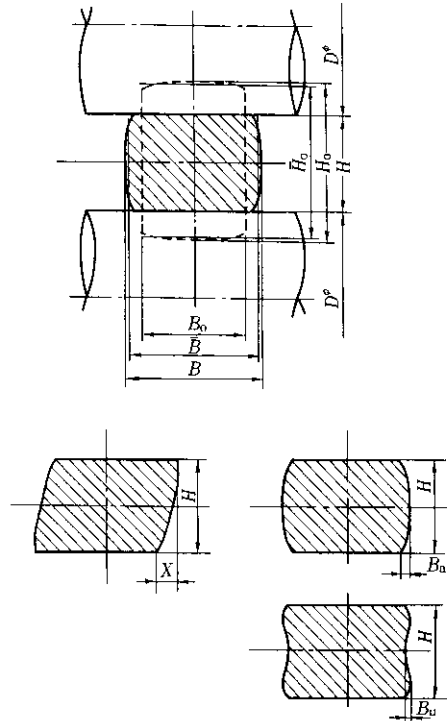


Fig. 4 Geometry in grooveless rolling

次のように定義する。

- B_0, H_0, F_0 : 圧延前の材料の幅、厚み、断面積
- $\bar{H}_0$: 圧延前の材料の平均厚み $= F_0 / B_0$
- B, H, F : 圧延後の材料の幅、厚み、断面積
- $\bar{B}$: 圧延後の材料の平均幅 $= F / H$
- D : 圧延ロール径
- $\bar{l}_d$: 平均投影接触長 $= \sqrt{D(\bar{H}_0 - H)/2}$
- $\bar{\beta}$: 平均幅広がり率 $= \bar{B} / B_0$
- β : 最大幅広がり率 $= B / B_0$
- $B_0 / \bar{H}_0$: 板幅比
- $D / \bar{H}_0$: 板厚比
- $X / \bar{H}_0$: 横倒れ率
- B_a : シングルバレル高さ
- B_u : ダブルバレル高さ
- β_a : バレル率 $= B_a / H$
- β_u : バレル率 $= B_u / H$

4.2 実験結果

4.2.1 幅広がり特性

線棒圧延は板圧延と異なり板幅比が1.0前後の

材料を圧延するので、幅広がりが多い。したがって、パススケジュールを設計するためには、精度のよい幅広がり予測式が必要である。

孔型圧延の幅広がり予測式は多くの研究者によって提案されている。なかでも篠倉の式²⁾は予測精度、簡便さおよび汎用性をかねそなえていて、圧延前の材料と圧延ロールの形状、寸法の関数として幅広がり率が計算できる。篠倉の式を(1)式に示す。

$$\beta = 1 + \alpha \frac{2\bar{l}_d}{\bar{H}_0 + 2B_0} \cdot \frac{\bar{H}_0 - H}{\bar{H}_0} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 α は圧延方式によって定まる係数。

Fig. 5 はプラスチックモデルおよび鉛モデルによる平ロール圧延の幅広がり特性に対して、(1)式を適用した結果である。傾きは異なるが両モデルとも直線関係が得られ、(1)式を平ロール圧延にも適用できることがわかる。

Fig. 6 は実機の幅広がり特性である。(2)式の平均幅広がり予測式と(3)式の最大幅広がり予測式が求められる。モデル実験と比較すると、実機の特性はプラスチックモデルの特性とよく一致する。

$$\bar{\beta} = 1 + 0.80 \frac{2\bar{l}_d}{\bar{H}_0 + 2B_0} \cdot \frac{\bar{H}_0 - H}{\bar{H}_0} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\beta = 1 + 0.95 \frac{2\bar{l}_d}{\bar{H}_0 + 2B_0} \cdot \frac{\bar{H}_0 - H}{\bar{H}_0} \quad \dots\dots\dots (3)$$

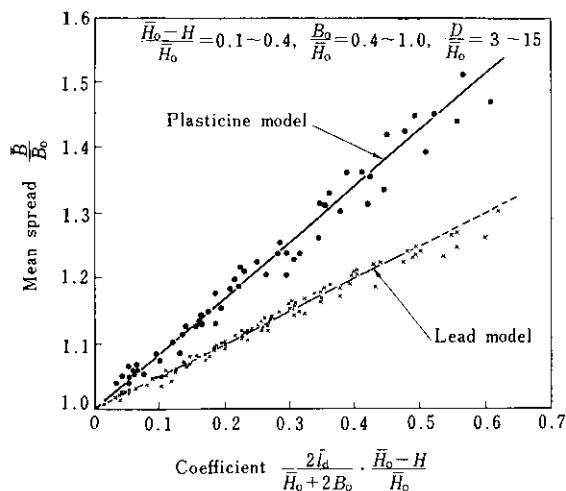


Fig. 5 Characteristics of the spread in grooveless rolling by plasticine and lead model

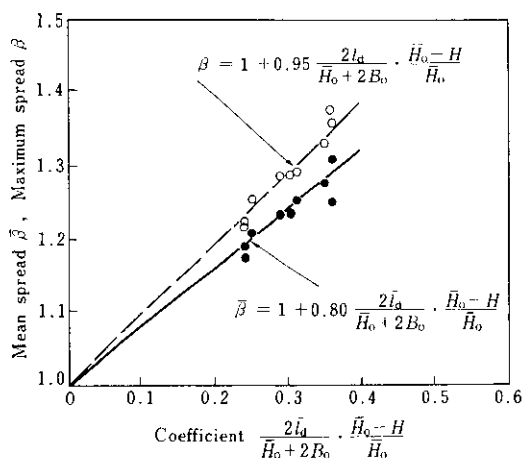


Fig. 6 Characteristics of the spread in grooveless rolling by practical rolling results

4-2-2 自由面の変形特性

板圧延と異なり線棒圧延では、材料の各面は圧下面と自由面(ロール面によって拘束されない面)との繰返しであるので、自由面の形状が圧延の安定性および製品品質に大きな影響をおよぼす。したがって、自由面の変形特性を把握してパススケジュールの設計に反映させる必要がある。

自由面の形状は圧延条件によって変化し、シングルバレルとダブルバレルに大きく区別される。一般に、圧下率、板幅比、板厚比が大きいほどシングルバレルになりやすい。柳本³⁾は圧下率と板幅比×板厚比との関係において、これを整理している。Fig. 7 は実機データを柳本と同様に整理した結果で、シングルバレルとダブルバレルの境界圧下率は(4)式で示される。

$$\frac{\bar{H}_0 - H}{\bar{H}_0} = \frac{0.22}{\frac{B_0}{\bar{H}_0} \cdot \frac{D}{\bar{H}_0} - 1.5} \quad \dots\dots\dots (4)$$

4-2-3 横倒れ現象

横倒れ現象は不確定な影響因子が多いため定量化がむずかしいが、ここではもっとも大きな因子と考えられる圧下条件の影響について、モデル実験を行って調査した。

横倒れ率は板幅比およびバレル率 β_a またはバレル率 β_u の影響が強く、Fig. 8 より板幅比が大きい

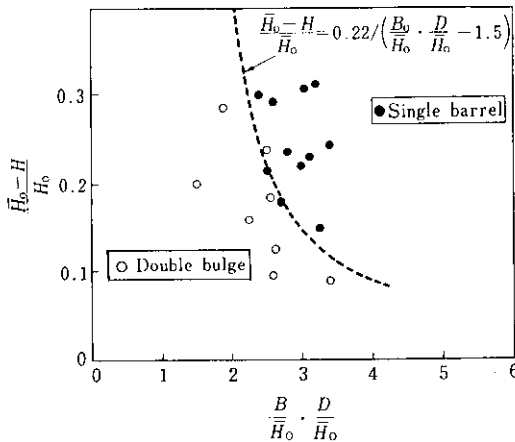


Fig. 7 Effect of rolling conditions on deformation profile of delivery stock by practical rolling results

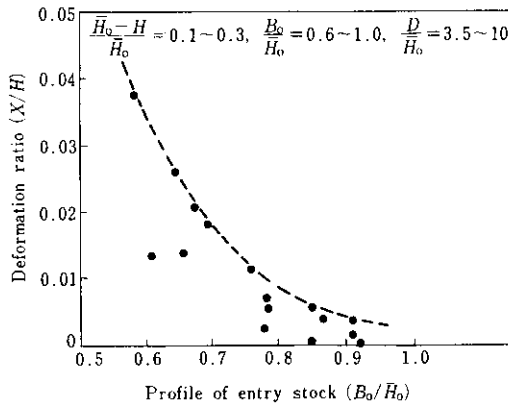


Fig. 8 Relation between profile of entry stock ($B_0/\bar{H}_0$) and deformation ratio of delivery stock (X/H) by plasticine model

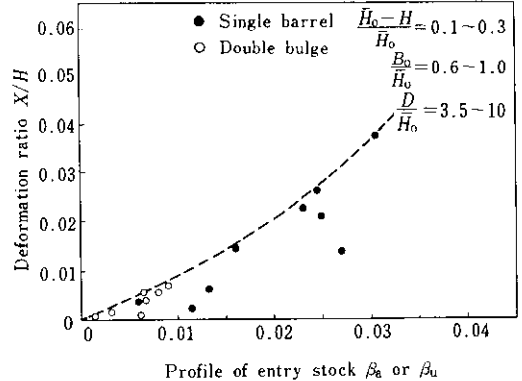


Fig. 9 Relation between profile of entry stock (β_a, β_u) and deformation ratio of delivery stock (X/H), by plasticine model

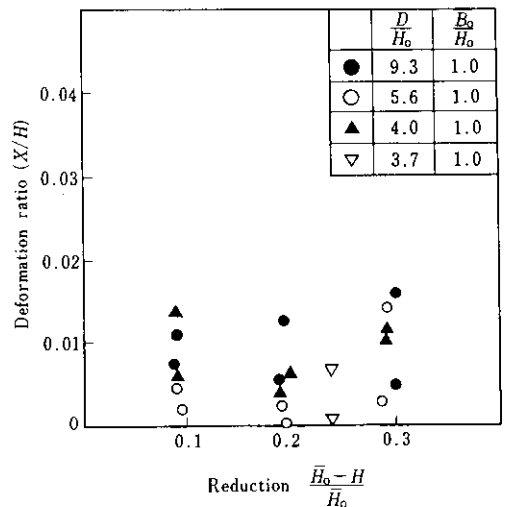


Fig. 10 Relation between rolling condition ($\bar{H}_0 - H/\bar{H}_0, D/\bar{H}_0$) and deformation ratio of delivery stock (X/H) by plasticine model

ほど、かつFig. 9より β_a または β_u が小さいほど横倒れが小さい。しかし、Fig. 10からは圧下率および板厚比の影響は小さいことがわかる。

したがって、実操業においてはガイド装置など設備面からの横倒れ防止をはかることも重要であるが、圧下条件面からも前記の特性を考慮して、横倒れが発生しにくいパススケジュールを設計することが非常に重要である。

4・2・4 メタルフロー

線棒圧延では製品品質面において表面疵の減少、脱炭層およびリム層の均一化が要求される。そこ

でプラスチンをを用いて平ロール圧延と孔型圧延とのメタルフローの比較実験を行った。

Fig. 11に示すように、60mm角の層状プラスチンを2パスで45mm角まで圧延し、表面層の厚み(t_0)の変化の分布を調査した。平ロール圧延の分布は楕円-角圧延よりもはるかに均一であり、菱-角圧延に対しては同等であった。一般的に表面層の厚み分布が均一である方が表面疵の減少にも有利であると考えられることから、製品品質に対して平ロール圧延は孔型圧延よりも有利か同等と考えられる。

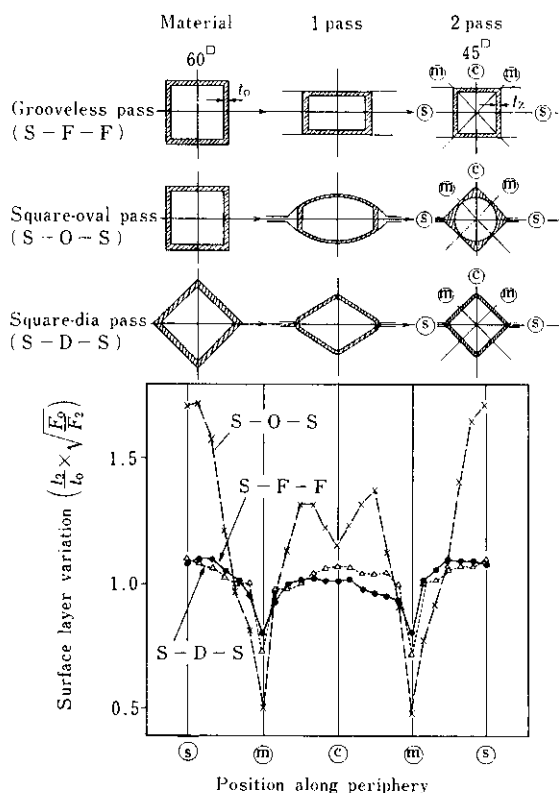


Fig. 11 Comparison of surface layer variation between grooveless and conventional rolling by plasticine model
 $D=290^\circ$, $t_0=5$

5. 工程化

平ロール圧延の諸特性が判明し、これらを実機へ適用した。

実操業への適用は昭和55年9月のR2圧延機から開始し、R1圧延機、仕上連続圧延機の順に実施し、昭和56年3月に全工程化を達成した。

以下に工程化の概要を述べる。

5-1 R2圧延機における工程化

本圧延法の適用をR2圧延機から開始した理由は、他の圧延機に比べてパス回数が2パスと少なく、かつ板幅比が大きい材料を圧延するので、実験結果より横倒れが発生しにくく、もっとも実現性が高いと考えられたからである。

Fig. 12に170mm角から150mm角へ平ロールで圧延した材料の断面形状を示す。横倒れ現象はな

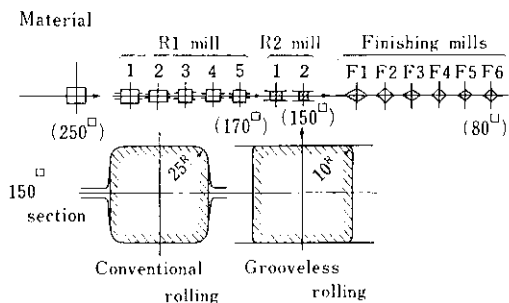


Fig. 12 Experimental results of grooveless rolling in R2 mill

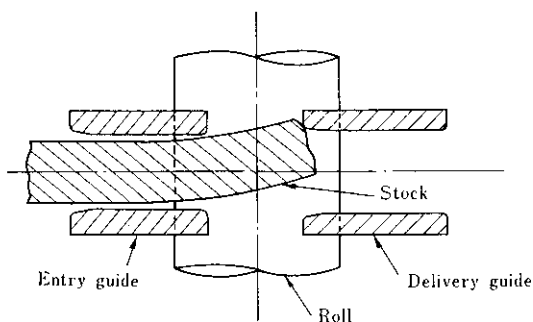


Fig. 13 Defect of conventional guide

く、また、コーナー部にはR1孔型ロールの曲率が残存したので、仕上孔型ロール圧延でのおれ込み疵は防止できた。しかし、Fig. 13のように材料先端の曲りが発生し、これが出口側ガイド装置に追突するトラブルが発生した。

そこで、Fig. 14に示すような入口側と出口側とをロール間隙を通して連結した新ガイド装置（貫通ガイド）を考案し設置した。これによって、圧延材は圧延ラインから外れることなく誘導され、

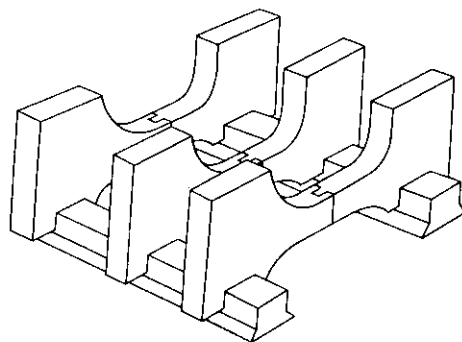


Fig. 14 Schema of joint type guide for R1 and R2 mills uses

かつ圧延機の振れを防ぐ効果をも発揮し、安定した圧延が可能になった。

5.2 R1圧延機における工程化

R1圧延はR2圧延に比べてパス回数が5～15パスと多いうえに、板幅比が小さいので横倒れが生じやすい圧下条件であった。

まず、許容できる板幅比の限界調査を主目的として、Fig. 15に示すようにR1, R2の全パスを完全な平ロールとして圧延を行った。この結果、各パスの板幅比を0.7以上となるようにパススケジュールを設計することおよび材料幅に対して適切な内幅寸法の貫通ガイドを設置することによって横倒れを極めて少なくできることがわかった。

このように横倒れの問題は解決できたが、Fig. 15の拡大図に示すようにR2パス後の150mm角材料のコーナー部が鋭角で、仕上孔型パスでおれ込み疵が発生するという品質上の問題を次に解決する必要があった。

この対策として、Fig. 16に示すようにR1最終パスでコーナーにR部を付けることを考案した。拡大図に示すようにR1最終パスは圧下率を大きくし、十分な幅広がりによってR部を付け、おれ込み疵を発生させることなく圧延できるようになり、工程化が可能となった。

5.3 仕上連続圧延機における工程化

仕上連続圧延がR1, R2圧延と異なる点は、連続圧延であることのはかに、全水平圧延機であるために圧延機間で材料を90°ツイストする必要があることと、目的の製品サイズへの仕上圧延過程

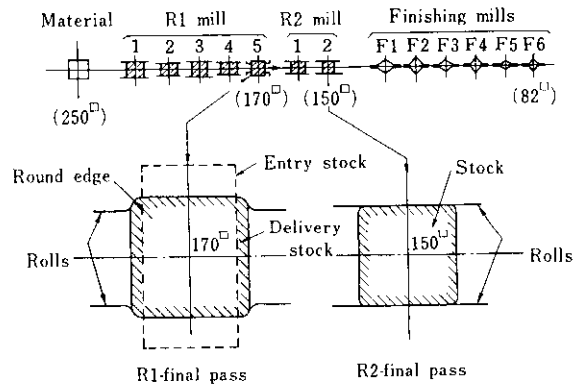


Fig. 16 Measure taken to solve the problem in Fig. 15

であることである。

前者の90°ツイストは横倒れ現象を助長するだけでなく、材料とガイド装置との接触によるかき疵の発生および圧延トラブルを誘発するので、材料を安定してツイストおよび誘導できる方法とそのための装置の設計が重要である。Fig. 17に採用した誘導方法と装置の概要を示す。ツイストスクレーパーで材料に若干の振転を与えることによって、ツイストローラーでの振転が安定し、次の圧延機へスムーズに誘導される。また、次の圧延機の入口にはローラーガイド装置を設置して次パスの安定化とかき疵の防止をはかっている。しかし、ローラーによる保持のない材料の尾端部は中間部よりも横倒れが大きく、これがパスの進行とともに助長されて圧延トラブルの原因となるので、ロール間隙にロール軸芯までのサイドプレートを設置、横倒れを機械的に防止する方法を採用した。

次に後者の仕上圧延過程について述べる。Fig.

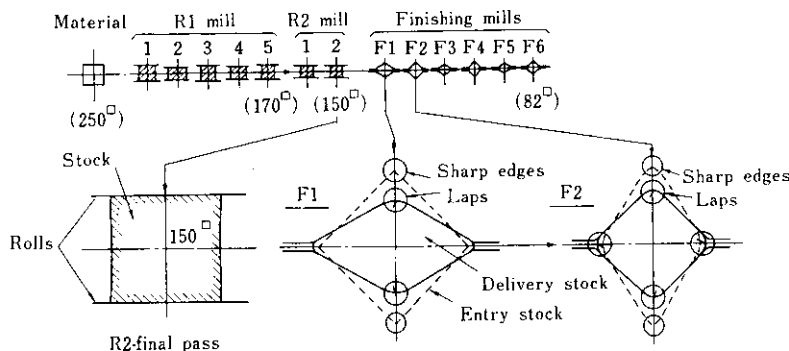


Fig. 15 Problem of grooveless rolling in R1 and R2 mills

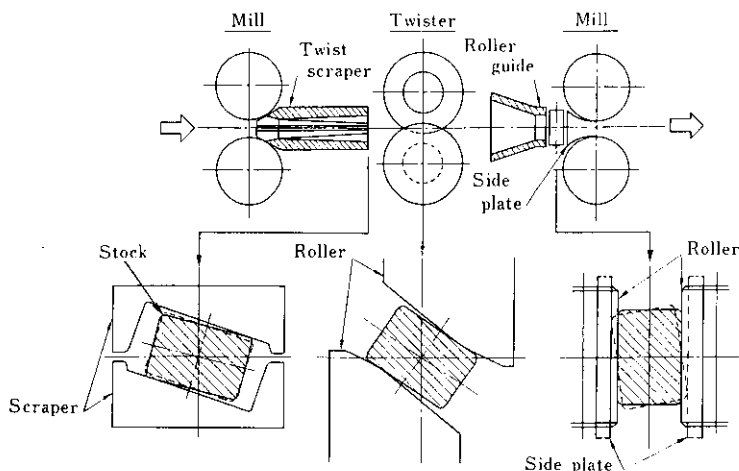


Fig. 17 Rolling method in finishing mills

18に製品に成形するための孔型ロール圧延の状況を示す。コーナー部のおれ込み疵を防止するためには、最初の孔型パスでのコーナー部からの压下開始を避け、自由な幅広がりによって材料が孔型に充填するように、孔型形状とパススケジュールを設計しなければならない。したがって、短形から

コーナー部のおれ込み疵を防止して最終製品を得るためには、リーダーパスと仕上パスの前にコーナー部のおれ込み疵を防ぐための孔型パスを必要とし、平ロールはF3圧延機まで使用して工程化した。

6. 効果

本圧延法の工程化による効果を次に述べる。

(1) 稼働率の向上

Table 1 に圧延サイズ変更にもなうロール交換頻度の減少状況を示す。ロールの均一摩耗による1回当たりの圧延量の増加およびロールとガイド装置のセット時間の短縮などによって稼働率は約5%向上した。

(2) 諸原単位の向上

稼働率の向上にともない、加熱燃料が約6%、圧延電力が平ロール化による圧延負荷の軽減分も含め約7%節約できた。

(3) ロール諸費用

Table 2 にカリバーレス圧延法と従来法のロール寿命の比較を示す。ロールの均一摩耗による1回当たりの圧延量の増加分A、ロール胴長の有効利用分Bおよび1回の改削量の減少分Cによって、ロール寿命は孔型ロールの3~5倍に延長された。

(4) 製品歩留りの向上

Table 3 に示すように、先端および尾端不良部

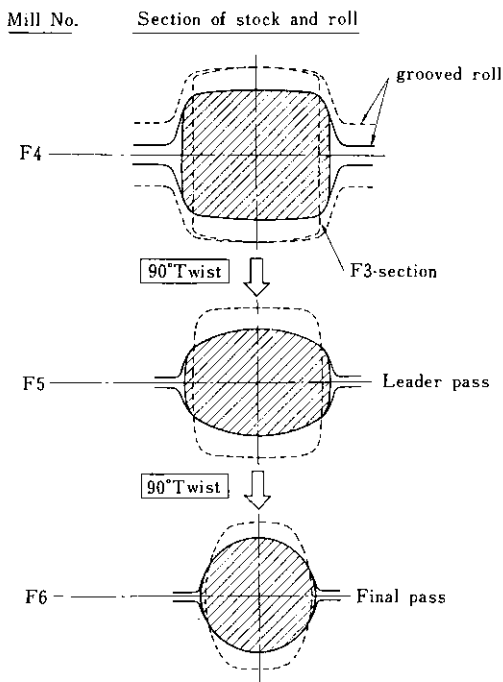


Fig. 18 Rolling method in F4~F6 mills

Table 1 Relation between roll and product size change (82[□] → another size)

Size change	Product ration (%)	Mill No.					Final mill No.
		Roughing		Finishing			
		R1	R2	F1	F2	F3	
82 [□]	67.3						F6
82 [□] → 115 [□]	5.7	○	●	×	×	△	F2
" → 150 [□]	0	○	●	×	×	△	F2
" → 75~85°	1.8	●	●	●	●	●	F6
" → 90~100°	1.0	○	○	●	●	●	"
" → 110°	7.8	○	○	●	●	●	F6
" → 120~130°	0.4	●	×	×	×	△	F2
" → 175°	14.0	●	×	×	△	△	F1
82 [□] → F.B.	2.0	●	●	●	●	●	R2·F5

○: Non roll change as usual

●: Non roll change by grooveless rolling

×: Roll change

△: Taking-out of roll

Table 2 Comparison of roll life between grooveless and conventional rolling

	Mill No.	Ratio of roll life $\left(\frac{\text{Grooveless}}{\text{Conventional}}\right)$			
		A	B	C	Total
Roughing Mills	R1	2.0~	1.0~	1.5~	3.0~
	R2	2.0~	1.5~	1.5~	4.5~
Finishing Mills	F1	2.0~	1.0~	1.5~	3.0~
	F2	2.0~	1.0~	1.5~	3.0~
	F3	2.0~	1.0~	1.5~	3.0~
	F4	--	1.0~	--	1.0~
	F5	--	1.0~	--	1.0~
	F6	--	1.0~	--	1.0~

A: Roll life per groove or equivalent part between grindings

B: Number of passes per roll between grindings

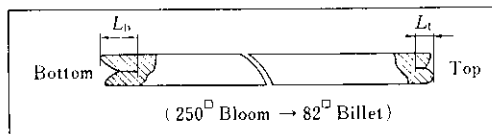
C: Number of plane grinding per roll life

の切捨て量が減少し、製品歩留りが約0.4%向上した。

以上のほかにも、ロールおよびガイド管理の簡素化、ロール旋削能率の向上によって省力が可能になるなどの大きな成果をあげている。

Table 3 Comparison of crop length between grooveless and conventional rolling

Rolling method	Crop length (mm)		
	Top (L_t)	Bottom (L_b)	Total ($L_t + L_b$)
Grooveless rolling	80	115	195
Conventional rolling	210	220	430



7. 結 言

水島製鉄所鋼片工場において、カリバーレス圧延法の開発に成功した。以下に本圧延法を実用化するうえでの重要な点について述べる。

- (1) 横倒れ現象を防止するための適正なパススケジュールとガイド装置の設計。
- (2) 先端、尾端の曲り、反りおよび横倒れ現象も防止するためのガイド装置の設計。
- (3) 接触によって材料に表面疵を発生させることのないガイド装置の設計。
- (4) 水平連続圧延機関での安定した材料のツイスト方法とそのための装置の設計。
- (5) コーナー部におれ込み疵を発生させない孔型ロールパスの設計。

本圧延法の特徴から将来を展望すると、圧延サイズごとのロール交換の省略、ロールが折れにくく小径化が可能でしかもロール胴長が短かくてよいなどから、ロールチャンスフリーなコンパクトミルの工程生産への適用、また、複雑であった圧延特性の解析が容易となり理論化が進むことによる線棒圧延の自動化などが考えられる。

今後、前述の展望をふまえ、圧延諸特性の理論的研究を進め、操業の安定化、効率の向上をはかるとともに、当所棒鋼工場のH-V連続圧延機への適用を検討する。

参 考 文 献

- 1) たとえば, K. F. Simons and R. H. Moller: Experiences in the use of grooveless rolls, rod and bar production in the 1980S. (1981)

- 2) 篠倉, 勝山: 孔型圧延の幅広がり特性とその数式化, 第29回塑性加工連合講演会, (1978), 109~111
- 3) 柳本: 熱間圧延における板材の変形についての実験的研究, 塑性と加工, 2 (1961) 6, 37~40