

H形鋼圧延における最適寸法制御技術の開発

斎藤 晋三*・山中 榮輔*・朝生 一夫*・瀬戸 恒雄*・林 宏之*2

Development of Optimum Size Control in H-Shapes Rolling

Shinzo SAITO, Eisuke YAMANAKA, Kazuo Aso, Tuneso SETO and Hiroyuki HAYASHI

Synopsis : In conventional H-shapes, the inner dimensions are fixed because the roll dimensions cannot be varied during rolling. However, from the viewpoint of economy and on-site productivity in construction work, rolled H-shapes with fixed outer dimensions(web depth, flange width)have been strongly required. Newly developed hot rolling techniques make it possible to produce such H-shapes with quality equal to that of welded H-shapes.

Using an experimental model mill,it was found that a web width reducing method using a universal mill can produce a constant web depth with different flange thicknesses. At the same time , it is possible to prevent web buckling, web off-center, and nonuniformity of the web thickness, which have been the main problems in web width reduction. It was also found through model rolling experiments that grooveless edger rolling is effective in controlling the flange width. Using these techniques, it is possible to manufacture H-shapes with substantially more accurate fixed outer dimensions than those produced by conventional rolling.

Key words : H-shapes ; rolling ; universal mill ; edging mill ; web depth ; flange width.

1. 緒言

H形鋼は建築構造用圧延製品として幅広い用途に使用され、平行フランジによる使いやすさと断面性能の経済性により、形鋼製品の中で最も多く使用されている。

ただし、従来のH形鋼のユニバーサル圧延では、設備上の制約からウェブ高さ、フランジ幅などの外法寸法がフランジ厚、ウェブ厚に応じて変化し、いわゆる内法一定であった。しかし、需要家からは加工性、施工性の良い高寸法精度の外法一定H形鋼が長年切望されてきた。

ウェブ高さとしフランジ幅の外法寸法一定のためには、既設圧延工程にこれらの寸法を制御する新規機能を導入する必要がある。ウェブ高さ一定のためには、ウェブ内幅の拡大または縮小の方法があり、前者に関してはスキューロールを用いる方法¹⁾、後者ではユニバーサルミルを用いる方法が実機化されている。本論文は、ユニバーサル仕上ミルに幅可変水平ロールを用いて、ウェブ内幅を縮小圧延する技術²⁾³⁾および新型エッジャによるフランジ幅圧延技術⁴⁾⁵⁾の両者について述べる。

す内法寸法一定であり、外法一定H形鋼は、厚板材より溶接組立て製造されていた。両者の製造方法は、それぞれ長所、短所を有しており、おのおのの長所を兼ね備えたものが、今回開発したFig. 1(b)に示す熱間圧延による外法一定H形鋼である。その特徴を以下に示す。

- (1)外法寸法一定
- (2)高寸法精度
- (3)大量生産による安定供給と経済性
- (4)品質の均一性、信頼性

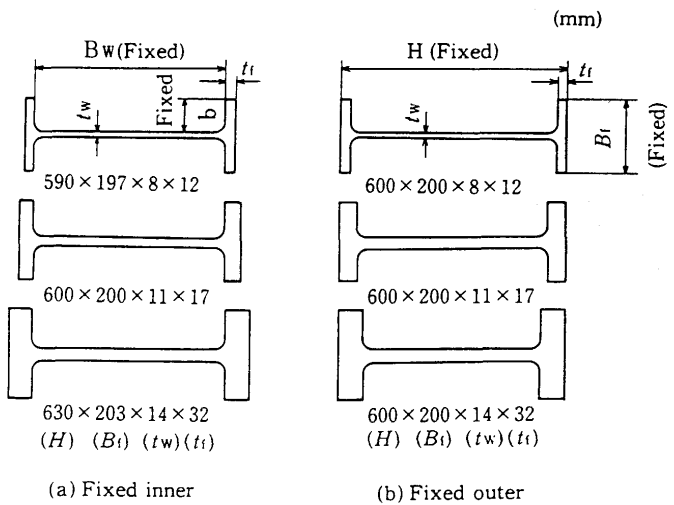


Fig. 1. Comparison between fixed inner and outer dimension H-shape.

2. 開発の目標と課題

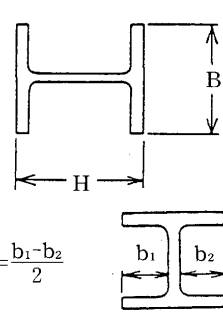
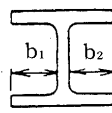
2・1 開発目標

従来の熱間圧延により製造されるH形鋼はFig. 1(a)に示

平成4年7月9日受付 平成4年12月8日受理 (Received on July 9, 1992; Accepted on Dec. 8, 1992)
* 川崎製鉄(株)水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., Kawasaki-ko Mizushima Kurashiki 712)
* 2 川崎製鉄(株)加工制御研究センター(Mechanical Processing, Instrumentation and Control Research Center, Kawasaki Steel Corp.)

Table 1. Dimensional accuracy.

mm

	Section nominal size	Permissible variation			
		JISG-3192 (1990)	JASS6*	Fixed Outer Dimension-H	
Flange width	B	$100 \leq B \leq 200$	± 2.5	± 2.0	
	B	$200 \leq B$	± 3.0	± 2.0	
Depth	H	$H < 400$	± 2.0	± 2.0	
		$400 \leq H < 600$	± 3.0	± 2.0	
		$600 \leq H < 800$	± 4.0	± 2.0	
		$800 \leq H$	—	—	
Web off-center	S	$H \leq 300$ $B \leq 200$	± 2.5	± 2.0	$S = \frac{b_1 - b_2}{2}$ 
		$H > 300$ $B > 200$	± 3.5	± 2.0	

* Standard by Architectural Institute of Japan

また、従来の内法一定H形鋼と今回開発した外法一定H形鋼の寸法精度比較をTable 1に示す。

2・2 開発技術課題

溶接外法一定H形鋼製品と断面性能、品質、寸法精度などにおいて同等のものを熱間圧延で製造する主要技術を以下に示す。

- (1) ウェブ内幅制御技術
- (2) フランジ幅制御技術
- (3) ウェブ薄肉化技術
- (4) 寸法・形状高精度化技術

これらのうち寸法制御と精度向上について述べる。

3. ウェブ内幅制御技術

3・1 H形鋼のウェブ内幅制御の課題

ウェブ高さHは両側フランジ厚 t_f とウェブ内幅 B_w の総和であり、ウェブ内幅は、仕上げユニバーサル圧延の水平ロール幅で決定され、従来圧延方法では内法一定であった。ウェブ高さを一定に制御するためには、ウェブ内幅を制御する必要がある、新制御機能の開発が必須であった。

3・2 ウェブ内幅制御方式の検討

ウェブ内幅を制御する方法は、ウェブ内幅の拡大と縮小が考えられる。ウェブ内幅縮小方式は、フランジ薄手サイズのH形鋼ウェブ高さを基準寸法として、厚手サイズをこれに合致させることになる。この場合、厚手サイズほど所要変形量が大きくなるが、鋼材温度は厚手サイズほど高温であることより厚手サイズのほうが変形が容易であるので、ウェブ内幅縮小方法を検討した。

3・1・1 ウェブ内幅縮小方法の検討

ウェブ内幅の縮小方法としては、

- ① 縦ロール圧延による方法
- ② ユニバーサル圧延による方法

が考えられるが、いずれの方法でも、ウェブの座屈発生が懸念される。ユニバーサル圧延では水平ロールによる拘束

効果が期待できるが、縦ロール方法は、ロールセンタでの拘束がなく、ユニバーサル圧延方法の採用を決めた。

3・2・2 ユニバーサル圧延による方法

ユニバーサル圧延機によるウェブ内幅の圧下状況を、Fig. 2に示す。本方式ではウェブ内幅調整を効率よく実施するため、インラインでロール幅寸法を変更可能にする必要がある。本方式を評価するため、Table 2に示す条件でFig. 3に示すロール幅可変の水平ロールを有するユニバーサルモデル圧延機を用いウェブ内幅の縮小実験を行った⁶⁾⁷⁾。幅可変水平ロールは片側31mmの分割ロール2本から構成されており、分割ロールの中央ではウェブは水平ロールと接触しないので、圧延後にウェブに座屈形状が残る場合や板厚段差の発生および中心偏りが悪化する懸念があることから、これらの限界を見極めることを目的とした。

(1) ウェブの座屈

Fig. 4はウェブ内幅縮小時の幅圧下比と座屈形状比の関係を示し、フランジ圧下率 r_f とウェブ圧下率 r_w の差 Δr を5%以上と5%未満で層別しているが、本図よりウェブ内幅縮小圧延では、ウェブに対しフランジを5%以上強圧下すると、圧延後の座屈形状が緩和され、ウェブの座屈防止に有効であることがわかる。

これは、ウェブよりもフランジの圧下率を大きくすること

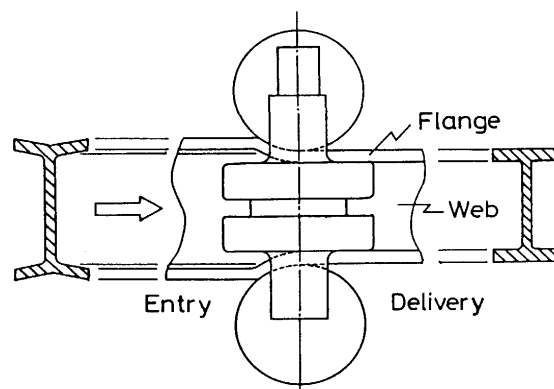


Fig. 2. Web inner width reducing method.

Table 2. Experimental conditions for universal rolling.

Material	Pure lead (99.99%)
Roll	S45C
Lubrication	No lubrication
Web inner width	80 (mm)
Flange width	30 (mm)
Web thickness	1.5~3.5 (mm)
Flange thickness/Web thickness	1.5~2.0
Horizontal roll	220 (mmφ)
Vertical roll	150 (mmφ)

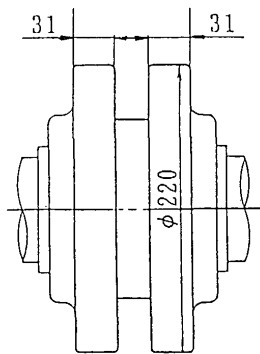


Fig. 3. Adjustable width roll for experimentation.

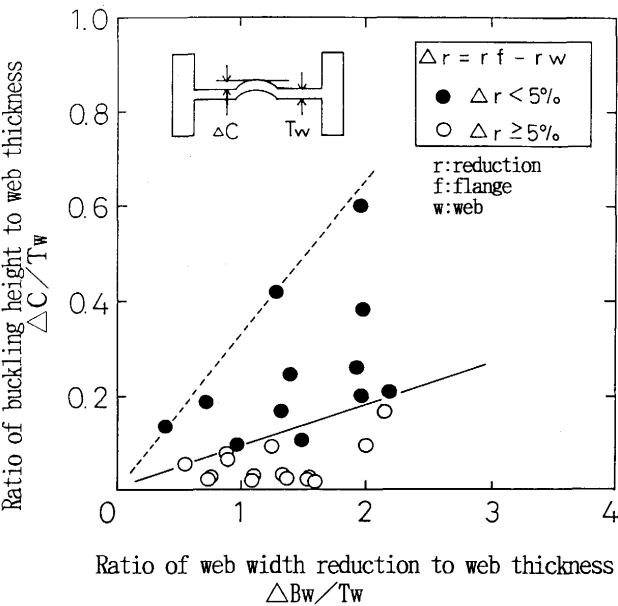


Fig. 4. Relation between buckling shape ratio and web width reduction ratio in the case of universal rolling.

とによりフランジの延伸が大きくなり、結果としてウェブに対してフランジからの引張力が作用し、ウェブ座屈防止に有効であったためと考えられる。

(2) ウェブ中央の板厚段差

幅可変ロールの構造上ウェブ中央はロールと接触しないためウェブ厚を制御する必要がある。Fig. 5にフランジ減面率rafとウェブ減面率rawの差とウェブ中央部のウェブ端部に対する厚さ比率との関係を示すが、ウェブに対しフランジを約5%強圧下するとほぼ板厚段差は解消することがわ

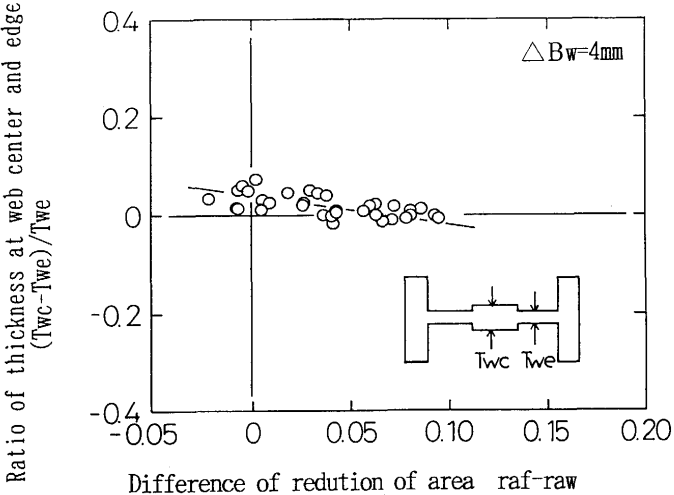


Fig. 5. Relation between difference of area reduction and ratio of thickness at web center and edge.

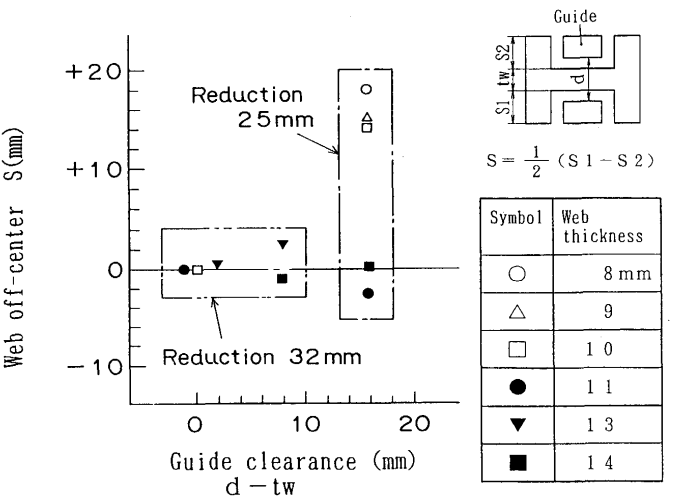


Fig. 6. Relation between web off-center and web guide clearance.

かる。

(3) 中心偏り

ウェブ内幅の縮小圧下量が過大になると、入側でフランジが幅方向に移動して中心偏りが発生する。これは、ウェブ自体が変形する場合とフランジがウェブに対して偏ってロールに噛み込む場合がある。中心偏りを防止するには入側でウェブをロール直近まで案内すること、およびフランジの幅方向の移動を防止することが有効である。Fig. 6に圧延後の中心偏りに対するウェブガイドの隙間量の影響を示す。本図より、圧下材のウェブ面とウェブガイドの隙間を2mm以内とすれば、中心偏りの防止に効果があるといえる。

(4) ウェブ内幅縮小限界

ウェブガイドの隙間を2mm以内に設定しても、圧延条件によっては中心偏りなどの形状不良が発生することがある。ウェブ内幅の縮小量ΔBwが過大になると入側でウェブが座屈し中心偏り発生の原因となる。この縮小限界をウェブ内幅の圧下比ΔBw/Bwと座屈発生指標(Bw/tw)²との関

係で整理するとFig. 7のようになる。図中には中心偏りが公差を外れたものを●、公差内のものを○で示している。Fig. 7の結果から次式の限界式が得られ、この条件で圧延を行えば、中心偏りのないH形鋼が製造可能である。

$$\frac{\Delta B_w \times B_w}{t_w^2} \leq 110 \quad \dots\dots\dots (1)$$

4. フランジ幅制御技術

4・1 フランジ幅制御方式の検討

従来のユニバーサル圧延機群はFig. 8に示すように、ユニバーサルミル、エッジヤとガイドから構成される。また、Fig. 1に示したように、H形鋼のフランジ幅Bfは両側の脚長

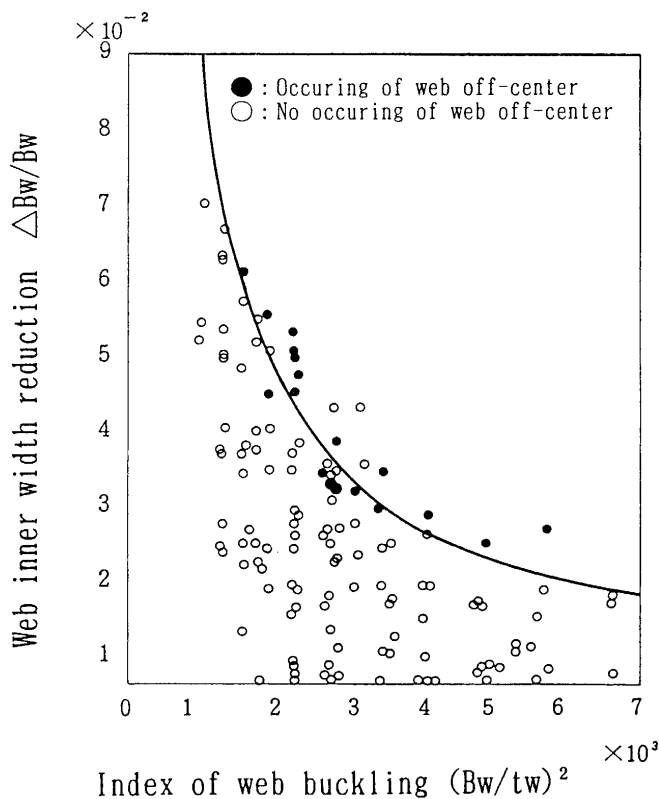


Fig. 7. Comparison with web inner width reduction and index of web buckling.

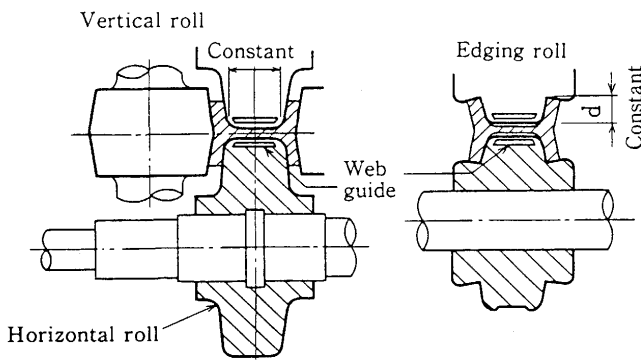


Fig. 8. Conventional rolling method for H-shapes by universal and edging mill.

bとウェブ厚 t_w の総和の寸法である。ウェブ厚は各種のサイズがあり、フランジ幅はウェブ厚に応じて変化する。従来圧延では、フランジ幅はエッジヤで圧延され、脚長はエッジヤのカリバ深さdで規制されるが、当カリバの機能は上下脚長を拘束して、中心偏りを矯正し、寸法精度向上を図るものである⁹⁾。一方、外法一定H形鋼は、フランジ幅が一定のため、ウェブ厚に応じて脚長を調整することが必要となる。このため、フランジ脚長調整圧延技術が必要である。

脚長を調整するためには、脚長を規制するエッジヤのカリバを無くすか、カリバ深さを可変にすることが必要であるが、当機能達成のため、カリバレスタイプのエッジヤを導入し、中心偏りの矯正はユニバーサル圧延で行うように機能分担を図った。

4・2 モデル実験による検討

4・2・1 カリバレスエッジヤの検討

新型のエッジヤの制御機能の検証および、必要設備の絞り込みのため、Table 3に示す条件でモデル実験を行った⁹⁾。カリバレスエッジヤは、粗ユニバーサルミルでのフランジ角度にあわせ、5度のテーパを設け、Fig. 9に示すように、エッジヤの案内のため上下ガイドHG、ローラ式の左右ガイドVGおよび中心偏り防止を考慮して、ウェブガイドWGを設置し、それぞれの形状不良防止効果を調べた。ガイド方式を種々変更してエッジング圧延した後の断面形状をFig. 10に示す。

(1)材料長さ方向中央部では全くフランジ倒れは発生せず、非常常部でフランジ拘束ローラHG+フランジ内面拘束ウェブガイドWGの場合に、ウェブの座屈が若干見られるがフランジの倒れはない。

Table 3. Experimental conditions for grooveless edging.

Material	Pure lead (99.99%)
Stock size (mm)	H55×30×3.0×3.5 H55×50×3.0×3.5
Reduction at universal mill: Web	15%
: Flange	16%
Reduction at edger mill	2 and 4 (mm)

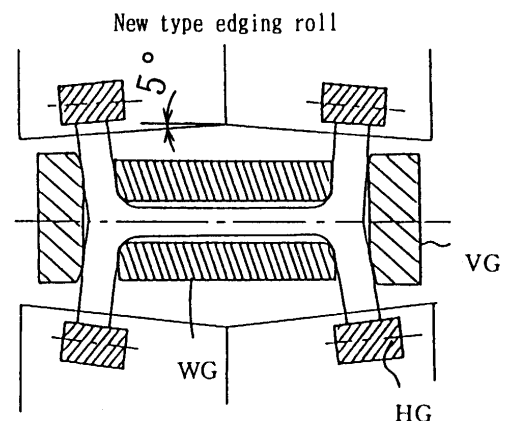


Fig. 9. Guiding facilities of new type grooveless edger rolling.

		HG + WG	HG + VG + WG
Narrow flange H-shapes	Middle		
	Tail end		
Wide flange H-shapes	Middle		
	Tail end		

Fig. 10. Cross sections of H-shapes after experimental grooveless edger rolling.

(2)長さ方向のフランジ幅分布についても細幅H形鋼・広幅H形鋼タイプとも差はない。さらにフランジ外面拘束ローラVGを追加したガイド構成においてもほぼ同様な傾向となる。

(3)エッジング時バルジングしたフランジ端部が、ガイドとフランジ外面拘束ローラ間で圧下され、フランジ内面にへゲが発生した。以上より、ローラガイドVG追加の必要性はなく、HG+WG方式で十分形状不良を防止できるとの結論が得られた。

4・2・2 粗ユニバーサルミル中心偏りの矯正機能の検討

従来圧延では、ウェブガイドで材料のウェブ下面を支え、粗ユニバーサル (RU) ミルに案内する方式であり、フランジ幅中心をパスライン中心に合致させる方式ではなかった。従って、噛込み高さのズレなどを生じ、中心偏りが発生していた。

(1)新案内方式の検討

材料のフランジ幅中心をパスライン中心に水平に噛込ませるためFig. 11に示すフランジ幅拘束ガイド方式を考案した。

- ①ミル前面にフランジ上下を案内するフランジ拘束ローラガイドを設ける。
- ②リバース圧延のため、RUミル後面にも同様のフランジ拘束ローラガイドを設け、かつフランジ幅を圧下するカリバレスエッジャEaを近接配置し、材料のRUミルへの案内性を向上させる。

(2)実験による検証

フランジ中心をミル中心に誘導するために、必要なガイドの機能について調査した。フランジ幅拘束ローラガイドを設置した粗ユニバーサルミルとカリバレスタイプエッジャ (Ea) ミルの1/6モデルを製作し、H形鋼の素材として、

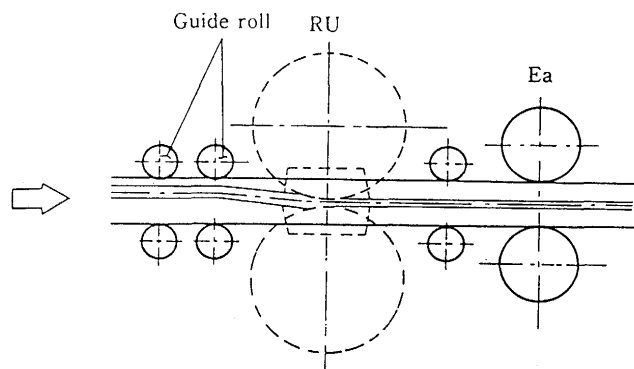


Fig. 11. New guiding method for H-shapes rolling.

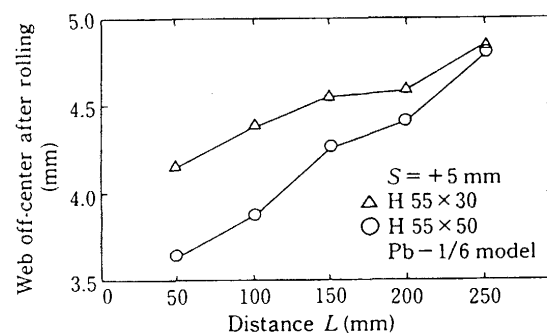
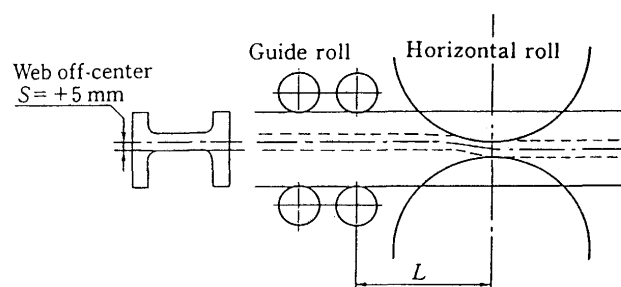


Fig. 12. Effect of flange guiding on correction of web off-center.

鉛を用いて圧延特性を調査した。実験条件はTable 3と同様である。

①実験内容

フランジ端を案内するローラは、ミルの直近まで取りつけることが望ましいが、スペース上制約が大きく、ローラとミル中心間は材料の剛性にたよらざるを得ない。従って、ローラとミル中心間距離Lおよび材料の剛性が、どの程度中心偏り矯正へ影響を及ぼすかを調べた。実験では、異なるフランジ幅で、中心偏りをS=+5 mm発生させた試験片を造り、ローラとミル中心間距離を変化させて圧延した後、中心偏りを測定した。

②実験結果

結果をFig. 12に示すが、材料の剛性が大きく、またローラとミル中心間距離が短いほど、中心偏り矯正効果が大きい。

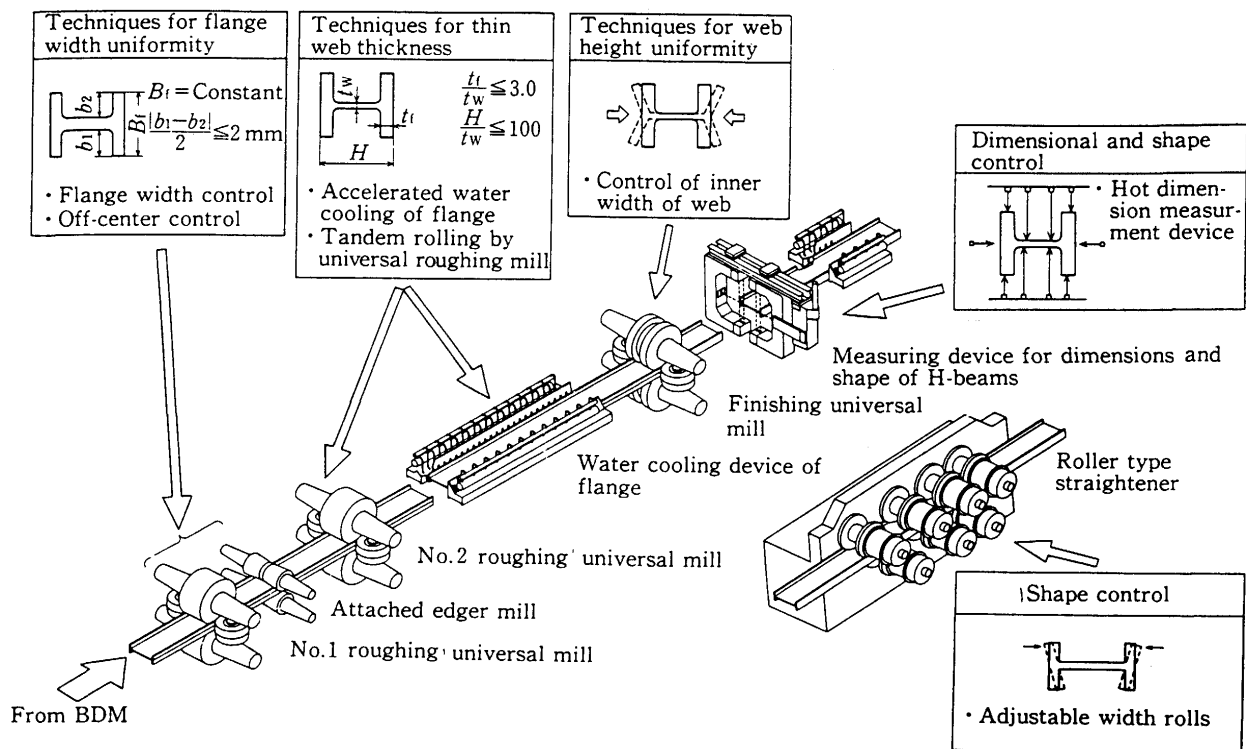


Fig. 13. Production process for fixed outer dimension H-shape and technical subject.

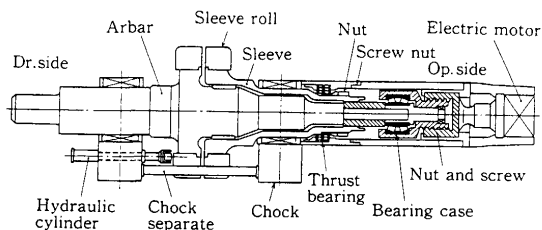


Fig. 14. Schematic view of adjustable width roll.

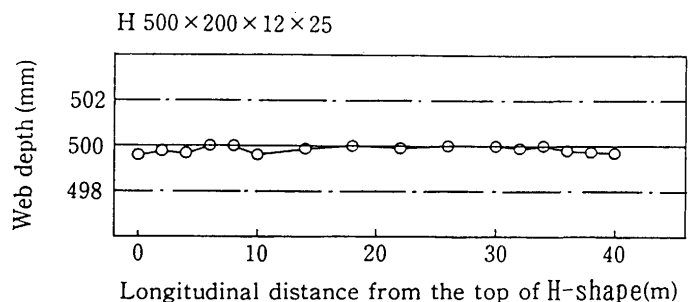


Fig. 15. Distribution of web depth in the longitudinal direction of H500×200.

5. 実機による検証

5・1 実機設備構成

実機設備の概要¹⁰⁾をFig.13に示す。

5・1・1 ウェブ内幅縮小設備

仕上げユニバーサルミルにウェブ内幅縮小圧延を行うためFig. 14に示す幅可変水平ロールを導入し、ミルガイドとして、幅可変ガイドを設置した。本設備によりH500×200×12×25の断面のH形鋼を圧延した後、長手方向のウェブ高さを測定した結果をFig. 15に示すが、全長にわたり許容差内であり、良好な寸法精度といえる。

5・1・2 フランジ幅制御設備

エッジャはカリバレスタイプとして、RUミルへの材料の水平度を保つため、エッジャロールを小径化して近接設置し、コンパクトなミル配列とした(ミル中心間5,000→1,890 mm)。従って、従来のエッジャミルの位置にユニバーサルミルの配置を可能にし、タンデム化を可能にした。また、ガイドは幅調整方式として、シリーズ毎の交換は不要とし

た。また、RUミルへの案内方式をウェブ中心誘導からフランジ中心誘導方式に変更し、中心偏り矯正機能をもたせ、ローラガイドは幅・高さ可変とし適用シリーズ内での交換は不要とした。設備概要をFig. 16に示す。

5・2 寸法精度

中心偏りとフランジ幅の寸法精度を従来ミルと新ミルとを比較して、Fig. 17に示す。従来法と比べ、共に遜色のない精度である。また、長さ方向のフランジ幅変動をFig. 18に示すが、左右のフランジ幅差が少なく、対称性に優れていることがわかる。これは、粗ユニバーサルミルによる拘束効果によるものと考えられる。

6. 結言

ウェブ高さ、フランジ幅の制御技術を開発し、外法一定H形鋼の製造を実現し、また、サイズフリー圧延への道を切

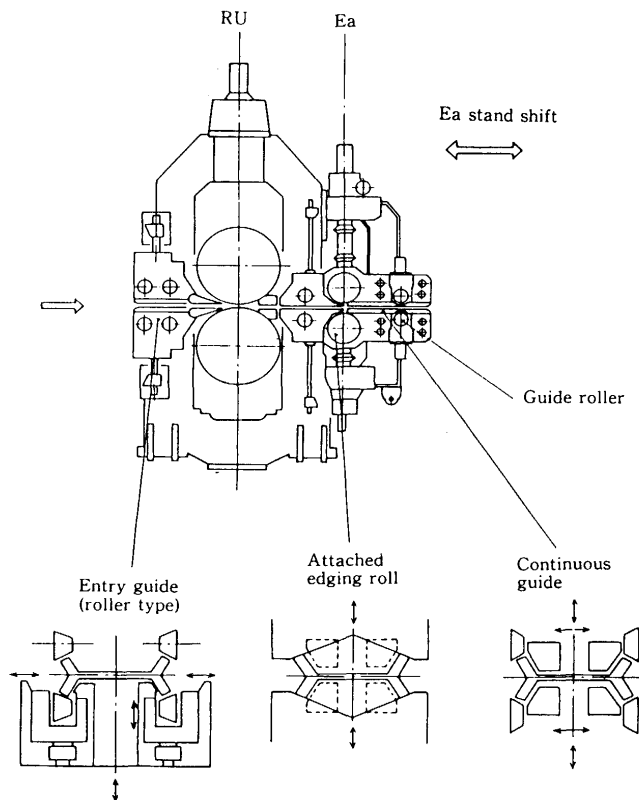


Fig. 16. Conception of new type universal and edging mill.

り開いた。本開発技術の主要内容を以下に示す。

(1) 仕上げユニバーサル圧延機に幅可変水平ロールを導入して、ウェブ内幅縮小圧延法によりウェブ高さ一定制御を確立した。

(2) カリバレスエッジャによるフランジ幅一定制御と、粗ユニバーサル圧延機前後面のフランジ拘束ガイドによる中心偏り矯正を可能にした。

文 献

- 1) 稲垣 彰, 安河内醇, 板橋義則, 青柳幸四郎, 藤本 武, 山本洋春, 川田 勇: 新日鉄技報, (1992)343, p.9
- 2) 林 宏之, 鎗田征雄, 朝生一夫, 瀬戸恒雄, 三浦啓徳, 藤本洋二: 材料とプロセス, 3 (1990), p.489
- 3) 林 宏之, 鎗田征雄, 朝生一夫, 瀬戸恒雄, 三浦啓徳, 藤本洋二: 材料とプロセス, 3 (1990), p.490
- 4) 三浦啓徳, 笹田幹夫, 瀬戸恒雄, 中西輝行, 林 宏之, 藤本洋

H-500×200

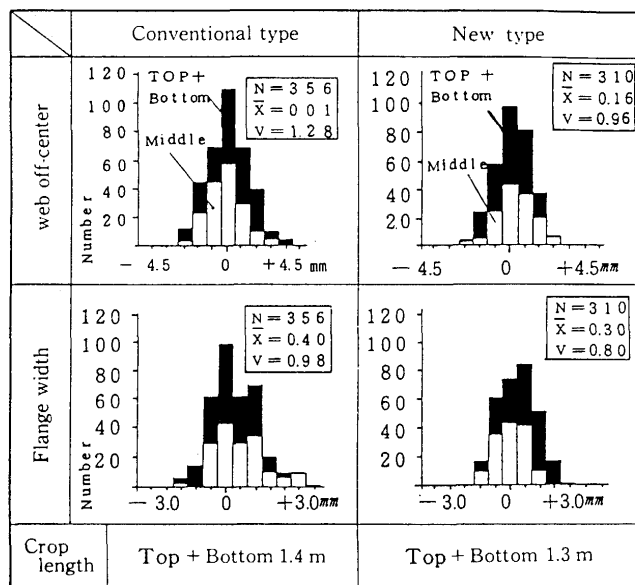


Fig. 17. Comparison of accuracies of web off-center and flange width between conventional rolling and new type rolling.

H 500×200×12×25 (●: Operation side ○: Drive side)

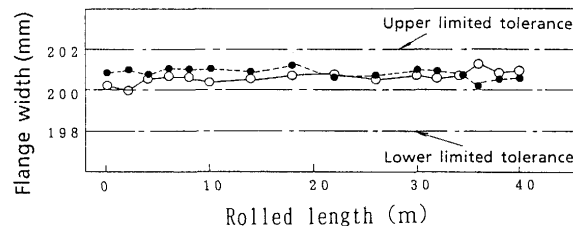


Fig. 18. Changes in flange width in the mill.

二: 材料とプロセス, 2 (1989), p.498

- 5) 藤本洋二, 朝生一夫, 斎藤晋三, 畠中淳, 中島英二, 藤岡克志: 材料とプロセス, 2 (1989), p.1570
- 6) 林 宏之, 鎗田征雄, 朝生一夫, 瀬戸恒雄, 三浦啓徳, 藤本洋二: 第21回塑性加工春季講演会, 21 (1990), p.289
- 7) 林 宏之, 鎗田征雄, 土井彌彦, 朝生一夫, 斎藤晋三: 材料とプロセス, 4 (1991), p.1454
- 8) 河村有秀, 奥村 寛: 鉄と鋼, 72 (1986), S1238
- 9) 藤本洋二, 朝生一夫, 瀬戸恒雄, 三浦啓徳, 笹田幹夫, 林 宏之: 第21回塑性加工春季講演会, 21 (1990), p.293
- 10) 斎藤晋三, 畠中 淳, 瀬戸恒雄, 藤本洋二, 三浦啓徳, 山中榮輔: 材料とプロセス, 4 (1991), p.1458