

## 技術報告

UDC 621.771.22 : 669.012.5

## ク ロ ッ プ ロ ス の 発 生 を 抑 制 す る 新 し い 分 塊 圧 延 法

松崎 実\*・金成 昌平\*<sup>2</sup>・小川 靖夫\*・中里 嘉夫\*

## A New Method of Slab Rolling for Prevention of Growth of Crops

Minoru MATSUZAKI, Syohei KANARI, Yasuo OGAWA, and Yoshio NAKAZATO

## Synopsis:

We have developed new slabbing methods to reduce the crop losses remarkably. The new methods were devised after investigating the basic deformation behavior at both ends of the slab during slab rolling.

In particular there are two methods, namely, "Bite Back Rolling method" and "Ultra High Reduction Slabbing method", and both are effective in minimizing the crop losses. As a result of applying the two methods to an actual mill at our works, Kawasaki Steel Corp., a slab yield of 96% after conditioning of capped steel was attained by the Bite Back Rolling method, and the slab rolling yield of capped steel increased by 4%. A slab rolling yield of 97.5% for AISI 430 was attained by the Ultra High Reduction Slabbing method.

## 1. 緒 言

分塊工程で発生するロスの中で、最も量的に多いのは分塊圧延中に厚み方向に折れ込むオーバーラップと、幅方向中央部より端部が突出したフィッシュテールとからなる、クランプと呼ぶ不良部の切り捨てであり、このロスは、鋼塊重量の5%以上を占めていた。分塊圧延工場におけるコストの中で歩留りの占める割合は大きいことから、フィッシュテール長さを減少させ、スラブ前後端の平面形状の矩形化、および、クランプの切り捨て位置を決定するオーバーラップ長さの低減などにより、このロスを極限まで減少させることは極めて重要である。

従来から、クランプロスの改善策としては、鋳型形状の改善<sup>1)2)</sup> やパススケジュールの適正化<sup>3)</sup>、あるいはウェル定盤形状・寸法の改善<sup>4)</sup> などにより、歩留りの向上が計られているが、これらの方法では設備的な制約や造塊条件の問題などにより、その効果に限界があつた。すなわち、製造頻度の高いスラブサイズを考慮した鋳型から鋼塊は製造されるが、通常、一種類の鋼塊から、多種類のサイズのスラブが製造される。このため鋼塊からスラブまでの幅圧下量あるいは厚み圧下量の増加に伴い、クランプロスの増加を招き、圧延するサイズによらず歩留りを向上させることは困難であつた。

そこで著者らは、実機における分塊圧延時の各パスご

とのメタルフローに着眼し、鋼を用いたモデル実験により非定常部の基本的な変形挙動を詳細に検討した結果からクランプの形状改善法を見出し、設備などは現状のままより一層の歩留り向上を得る、いくつかの新しい分塊圧延法を開発した。これらは、圧延法の特徴から、噛み戻し圧延法<sup>5)~10)</sup>、バーチカルフリー法<sup>11)</sup>、強圧下引き抜き圧延法<sup>12)13)</sup>、I字型圧延法<sup>14)</sup>と呼んでいるもので、現在、これらの技術は当社千葉製鉄所・水島製鉄所の各分塊工場において実用化し、大きな成果を得ているので以下に報告する。

## 2. 非定常部の変形挙動

従来圧延法におけるクランプの生成機構を概略説明する。水平ロールと垂直ロールを具備したユニバーサル圧延機により、鋼塊からスラブに圧延する場合、圧延初期の数パスは、鋼塊表面の脱1次スケールと鋼塊のテーパ消去のために、水平ロールで鋼塊の幅方向の圧延を行う。このとき、長手方向両端にはフィッシュテールが生成されて、厚み方向にはドッグボーンと呼ばれる局所的な厚みの増加が生ずる。

その後、被圧延材は90°転回されて、水平ロールによる厚み方向の圧延に移行するが、厚み方向に折れ込むメタルフローによりオーバーラップの成長が開始する。同時にドッグボーン部が圧延されて、フィッシュテールを成

昭和56年3月12日受付 (Received Mar. 12, 1981)

\* 川崎製鉄(株)千葉製鉄所 (Chiba Works, Kawasaki Steel Co., Ltd., 1 Kawasaki-cho Chiba 260)

\*2 川崎製鉄(株)技術研究所 (Research Laboratories, Kawasaki Steel Corp.)

Table 1. Experimental Conditions.

Model ingot (1/10 of 18-ton steel ingot equivalent)	Size	1 $60 t_0 \times W_0 \times 250 l_0$ (98, 108, 118 mm)
		2 $t_0 \times 118 W_0 \times 250 l_0$ ( $t_0=40, 60, 80$ mm)
	Material	Low manganese killed steel
	Shape	Parallel piped, all sides finished
Rolling reduction	3 to 10 mm/pass	
Rolling temperature	$1\ 000 \pm 50^\circ\text{C}$	
Rolling roll dia.	120φmm	
Rolling speed	7 m/min	

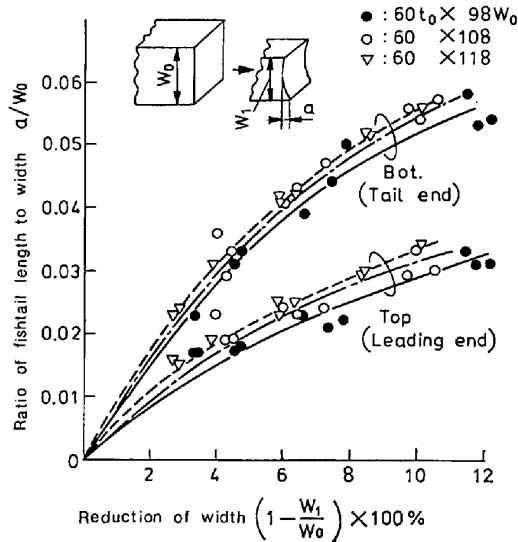


Fig. 1. Relation between reduction of width and ratio of fishtail length to width.

長させ、また、一部は幅に戻る。以後の 10 数回の幅圧延と厚み圧延との相互作用によるクランプエンドへのメタルフローにより、フィッシュテールとオーバーラップが著しく助長される。

この端部における変形は、理論的な解析がなされておらず、もつばら実験的研究<sup>15)16)</sup>によつてゐる。著者らも分塊圧延時の変形挙動を明らかにするため、1/10 縮尺の鋼を用いたモデル実験を行つた。Table 1 に実験条件を示す。

2.1 幅圧延の影響

幅圧延時には、噛み込み端と噛み抜け端にフィッシュテールを生成させ、厚み方向にはドッグボーンを形成させるメタルフローが起こる。

Fig. 1 に幅圧延 1 パスにおける噛み込み端、及び噛み

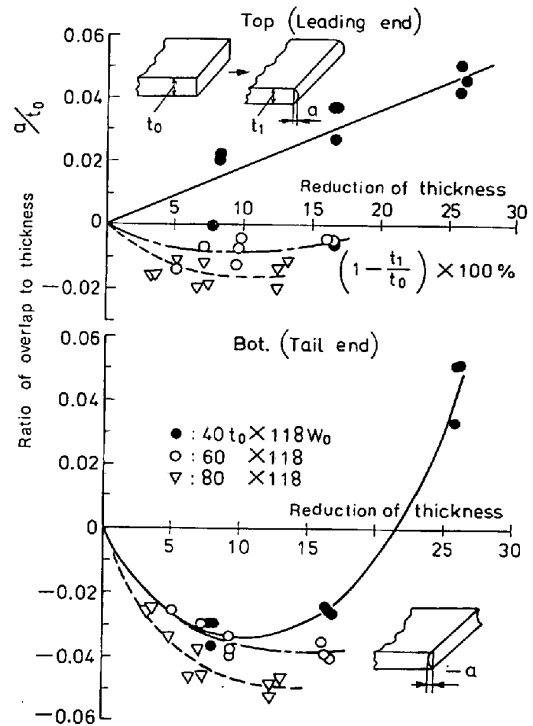


Fig. 2. Relation between reduction of thickness and ratio of overlap to thickness.

抜け端の、おのこのフィッシュテール長さ比と圧下率の関係を示す。いずれの鋼塊幅においても、噛み抜け端が著しく大きくなるのがわかる。この現象は、噛み込み端、定常部および噛み抜け端において、ロールと素材の接触圧力分布に差があるためと推察される。

2.2 厚み圧延の影響

厚み圧延時には、噛み込み端と噛み抜け端にオーバーラップを形成する。このとき、幅方向にもメタルフローがあつて、定常部の幅に比して両端部でより大きい幅広がりを起こす。

Fig. 2 に厚み圧延 1 パスにおける、噛み込み端、及び噛み抜け端の、おのこのオーバーラップ長さ比と圧下率の関係を示す。

これから、噛み込み端側は、噛み抜け端側に比較して、オーバーラップ長さが小さくなる傾向が認められる。しかしながら、厚み圧下においてすべてにこのような傾向を論ずることができず、特に鋼塊厚み、あるいは圧下率によりオーバーラップ長さが著しく変化することは着目すべき事実である。

次に、厚み圧延 1 パスにおける、モデル鋼塊厚別の長手方向の側面形状の変化を Fig. 3 に示す。

噛み込み・噛み抜け先端部では、側面形状がシングルパレルとなつてゐるが、他の部分ではダブルパレル状になるのがわかる。

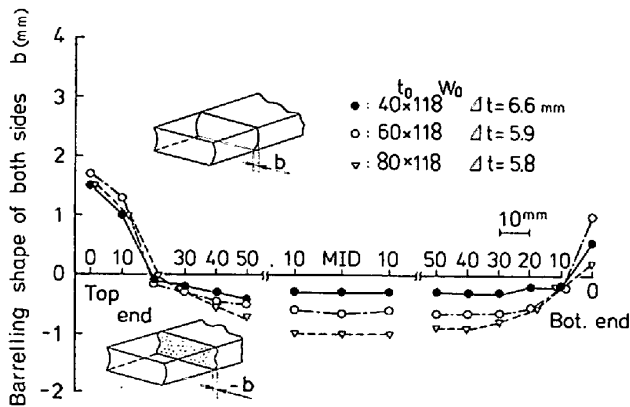


Fig. 3. Barrelling of side surfaces of slab.

### 3. 新しい分塊圧延法の基本原理

2章の実験的研究, 及び実機におけるメタルフローの観察から考えられたクロップ形状改善のための, 新しい分塊圧延法の基本原理は, 以下に述べるとおりである.

#### 3.1 噛み戻し圧延法

(1) 分塊圧延のように比較的圧下率の小さい場合には上記 2.1, 2.2 に示す事実から, 噛み込み端に比較して, 噛み抜け端側のオーバーラップ・フィッシュテールが大きくなる.

そこで, このようにクロップエンドに流出する多量のメタルフローをなくすには, 圧延用ロールにより凹部を形成し, この部位を噛み抜け端とし, 凹部でメタルフローを吸収すればよいことになる.

これが, 噛み戻し圧延法の第一の基本原理である.

(2) (1) の圧延用ロールによる凹部の形成を厚み方向に実施すると, 厚みの減少に伴い, 圧下率が相対的に大きくなり中心近傍まで変形が及ぶのと同時に, 幅中央では, ロールに摩擦拘束されるために, 幅方向に流れずに長手方向に延びて行き, オーバーラップ長さが減少してきて, 噛み込み端の厚み方向中央部を突出させることも可能となる. これが, 第二の基本原理である.

ここで, 凹部の形成を端部にとどめているのは Fig. 3 からわかるように, 圧延後のスラブ側面の厚み中央に, しわ欠陥を発生させないためであり, かつ, 圧延能力の低下を防止するためである.

#### 3.2 パーチカルフリー法

一般的には, 分塊圧延初期段階でわずかでもフィッシュテールを生成させると, 厚み圧下による被圧延材の厚みの減少に伴って延伸されて, クロップロスを増大させることになる. 従って幅圧延の時期は, できるだけ断面厚が減少してから行うのがよいことになり, 同時に必要最少限の幅圧延回数とするのがよいのはよく知られている<sup>17)</sup>.

厚み方向の噛み戻し圧延により形成された凹部の先端は凸型の平面形状を呈すること, フィッシュテールを形成する幅圧下と幅圧下をしないパス (パーチカルフリー) を適正に組み合わせることにより, フィッシュテールを生成させないパススケジュールをパーチカルフリー法と言う.

#### 3.3 強圧下引き抜き圧延法

Fig. 2 から, 噛み抜け端側のオーバーラップは, 1パス当たりの圧下率を大きくすることで減少することが示唆された. しかし, 1パスごとの圧下量は, 圧延機的能力・素材の変形態などによって異なるが, 一般的には, 噛み込み限界・トルク限界・荷重限界からの制約により決められている. 著者らは, 千葉第2分塊圧延機における通常圧延法の限界として, Table 2 に示す経験値や, Table 3 に示す変形抵抗の比較などから, より大きな圧下量・圧下率を採るには, トルク限界・荷重限界からくる制約よりも噛み込み限界によって制約されると考えた.

そこで, 噛み抜け端部の圧下率を増大させる方法として, 噛み抜け端部を残し, 噛み込み端側を減厚していつて, ある時期にそのままパスを抜き去ることにより, 噛み抜け端は圧下率圧延が可能となることを見出した.

これが本圧延法の基本原理である.

#### 3.4 I 字型圧延法

通常分塊圧延法では, スラブ中央幅に対し, 両端が狭幅となる, いわゆる太鼓形状を呈する. オーバーラップ長さが大きい場合には, この部分はクロップとして除去されるが, 各種の改善によるオーバーラップ長の減少により, 両端の狭幅部はスラブとして残ることになるので, 両端部の幅精度の向上は単に分塊歩留りにとどまらず, 次工程歩留りの向上からも重要である.

そこで, 両端幅狭部の改善は, 中央幅を減少させればよいという考えから, 圧延用ロールにより, 被圧延材を

Table 2. Max. bite angle of conventional rolling.

Bite angle	26°	Slip occurs
( $\mu=0.49$ )	mm	
Max. reduction	122	

Table 3. Comparison of deformation resistance.

Steel grade	Mould	Deformation resistance	Rolling temperature
AISI 430	S71 V S85 V	3.5 kg/mm <sup>2</sup>	1050°C
Rimmed steel	C18 C	6.8 kg/mm <sup>2</sup>	1000°C

幅方向にわずかに締め込んで、ロールを両端クロープエンドより抜かない数回の往復圧延で、I字状に平面形状を調整することによつて可能となることを見出した。これがI字型圧延法の基本原理である。

4. 各種圧延法と非定常部の変形挙動

4.1 噛み戻し圧延

Fig. 4 に、噛み戻し圧延法を示す。まず、(1)のようにロール開度を  $T_1$  にセットして、噛み込み直後にロールの回転を逆転して材料を戻し凹部を形成する。その後、(2)のようにロールをソフトして圧下を加えずに材料を送り、(3)のようにロール開度を  $T_2$  にセットして未圧延部を逆方向から圧延し、メタルをクロープエンドへ流出させずに凹部で吸収する。

この圧延法は、圧延過程の適当な時期に、厚みおよび幅方向端部に凹部を形成することができ、最終的に極限まで小さなクロープを得ようとするものである。

噛み戻し圧延による凹形成部位の変形挙動を明確にする目的で、モデル鋼塊を用いた実験を行った。

80 mm  $t_0$  × 118 mm  $W_0$  × 250 mm  $l_0$  のモデル鋼塊の厚み

- (1) Biteback rolling (2) Passing through the ingot without reduction (3) Rolling in reverse direction

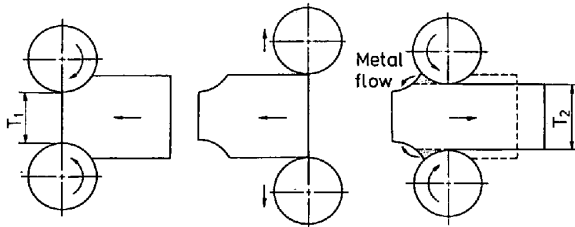


Fig. 4. Bite back rolling process.

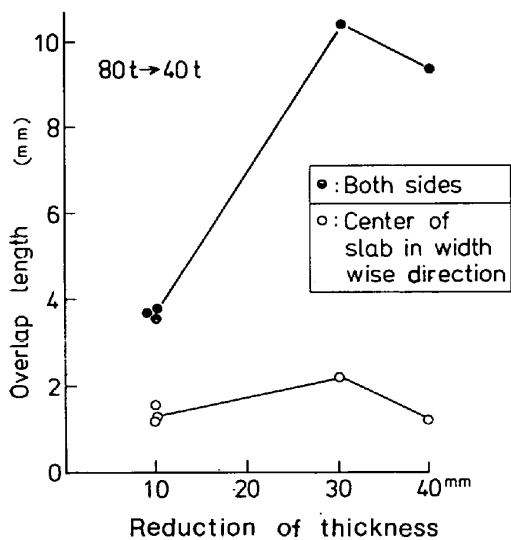


Fig. 5. Changes in overlap at slab ends (reduction of thickness per pass ; 10mm)

方向の一端に、噛み戻し圧延で凹部を形成した。

この時の凹部の形成は、圧下量 10 mm ずつの噛み戻し圧延で 40 mm 厚まで実施した。この条件下における凹部先端のオーバーラップ長さの変化を、Fig. 5 に示す。

これから、いつたんできたオーバーラップが回復してくれることがわかる。

また、モデル鋼塊および実鋼塊を用いた実験から、噛み戻し圧延をした部分の幅がり量は、長手方向中央部より大きく、スラブ幅精度が向上することを確認している<sup>9)10)</sup>。

4.2 強圧下引き抜き圧延

Fig. 6 に、強圧下引き抜き圧延法の模式図を示す。噛

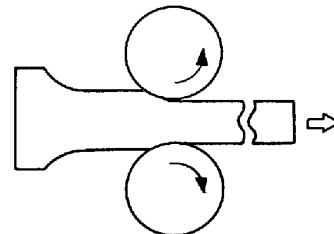


Fig. 6. Schematic representation of ultra high reduction slabbing method.

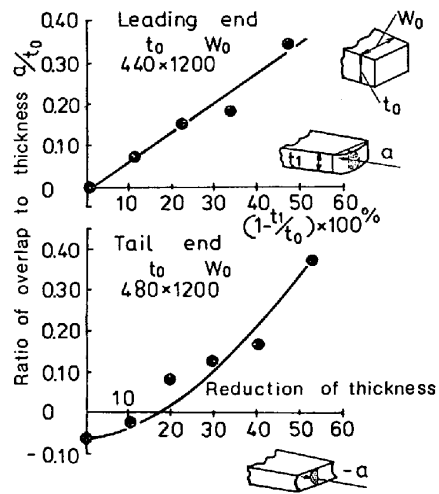


Fig. 7. Relation between reduction of thickness and ratio of overlap to thickness (Actual ingot).

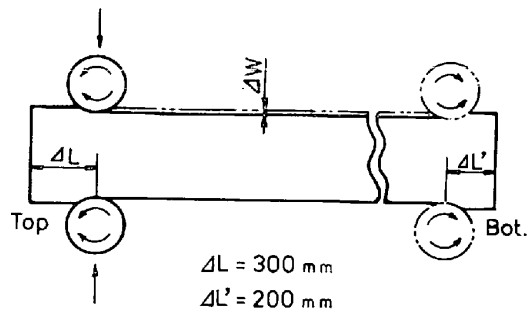
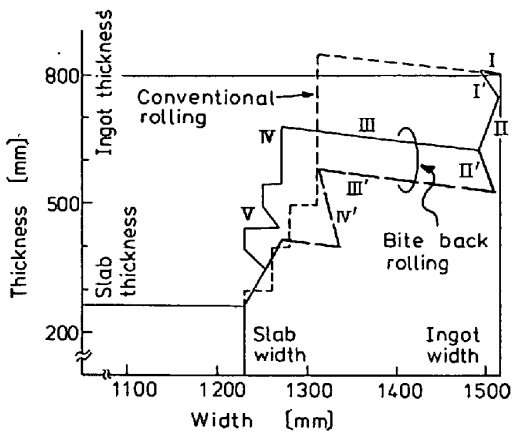


Fig. 8. I-shaped rolling method.



Stage	Operation	Description
I	Initial reduction	Min. reduction for removal of primary scales and elimination of ingot taper in directions of width and thickness
II	Bite and back rolling in direction of thickness	Formation of recesses at leading and tail end of ingot, followed by effective flow of metal to recesses
III	Bite and back rolling in direction of width	Formation of recess at tail end of ingot, followed by effective flow of metal to recess
IV	Bite and back rolling in direction of thickness	Formation of recesses at leading and tail end absorption of dog bone formed at stage III
V	Correction of form	Final light reduction while flowing metal effectively to remaining recesses

Fig. 9. Example of comparison of pass schedule. (21 t capped steel ingots)

み抜け端に向かつて、被圧延材の厚み方向の形状を、T字状にして、ある時期にそのままパスを抜き去ることにより、噛み抜け端の鋼塊断面中央部が外に押し出され、メカニカルパイプを“0”に抑制できる。また、噛み込み端に比べ、噛み抜け端の方が、より大きい扇形の平面形状を呈するので、後の幅压下におけるメタルフローの調整によりクロップレス形状を得ようとするものである。

Fig. 7 は、強压下引き抜き圧延法の効果を明確にするために、実鋼塊で実験した両端オーバーラップ長さ比と圧下率の関係を示す。

これから、オーバーラップは生成されず、スラブ断面が突出することがわかる。

4.3 字型圧延

Fig. 8 にI字型圧延の概略を示す。この圧延法は、圧延仕上がり前で、両端幅に中央幅を合わせるために中央部分の幅圧延を行う方法である。

この幅圧延に伴って、ドックボーンが形成されるが、次の厚み压下によつて全量幅に戻らず、長手方向の幅調整が可能となる。

中央幅と両端幅の差  $\Delta W$  は、鋼塊表面性状に応じて調整することも可能である。

5. 実機への適用と成果

実機への各種分塊圧延法の適用に際しての検討から、キャップド鋼などの一般材については、噛み戻し圧延法とパーチャルフリー法を結合した、圧延スケジュールとした。Fig. 9 に、21t キャップド鋼塊で、幅压下量 286 mm のパススケジュールの比較例を示す。

ここで、噛み戻し圧延による凹部先端の寸法変化は、太い破線で示され I'~IV' に推移する。幅压下は、パーチャルフリー法の原則に従っている。

また、例えばステンレス鋼 JIS SUS 430 相当には、

Table 4. Reduction at tail end.

Soaking temperature	Reduction ratio of flattening pass of the tail end
1200 ~ 1250°C	Min. 38.6 ~ Max. 58.6%

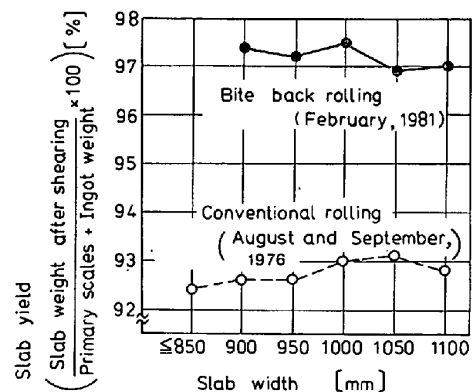


Fig. 10. Actual yield of 18 t capped steel ingot. (Ingot size : Upper part 1222×810mm Lower part 1258×910mm)

強压下引き抜き圧延法とI字型圧延法を結合したものとした。噛み抜け端部の圧下率は、幅压下量に応じて変化させる。圧延負荷とオーバーラップの減少程度、及び最終クロップ形状の繰り返しチェックにより得られた適正な圧下率は、Table 4 に示される。

一例として、Fig. 10 に 18t キャップド鋼塊のスラブ幅別の実績歩留りを従来圧延法と比較して示した。

歩留りは、従来圧延法に比して、4%以上の向上となり、その結果、1980年12月以降、千葉・第2分塊工場のカップド鋼の良片歩留りは、96%以上を達成している。噛み戻し圧延法により、スラブ幅精度も改善されている。

Fig. 11 にステンレス鋼 JIS SUS 430 相当の圧延歩留りの比較を示す。強压下引き抜き圧延法により、97.5

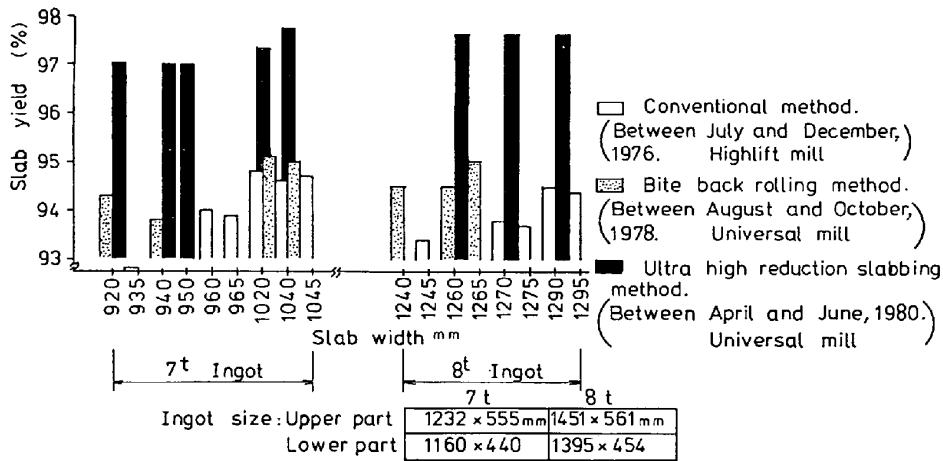


Fig. 11. Actual yield of 7 and 8 t stainless steel ingot.

%の圧延歩留りを達成しており、I字型圧延法により、コイルの幅精度も改善している。

なお、強圧下引き抜き圧延法では、圧延能率が向上しているが、噛み戻し圧延法では、鋼塊の一端に凹部を1回形成するのに5~6sの時間を要するものの、燃料・電力などの原単位アップを差し引いても、大きなコスト低減をみている。

### 6. 結 言

分塊圧延において生ずるクロップロスを減少させ、歩留りの向上を計ることを目的とし、鋼を用いたモデル実験などにより、クロップ部の基本的な変形挙動を検討した。その結果に基づき、生産性をあまり下げずに、現状設備のままで、大幅なクロップロスの低減が計られる、新しい分塊圧延法を開発し、平面形状の矩形化、およびオーバーラップの低減に成功し、歩留りの向上に大きく寄与することができた。

本技術の確立は、分塊歩留りの向上だけにとどまらず、連続製造によつて製造されたスラブのサイジングミル、あるいは、ホットストリップミルやプレートミルなどの各種ミルへの幅広い適用が可能であろう。

### 文 献

- 1) 新日本製鉄：特公昭 42-25537
- 2) 新日本製鉄：特開昭 49-15627

- 3) 片岡健二, 峰松隆嗣, 片山宏平, 柳沢高義, 温井照男, 佐藤 孝: 川崎製鉄技報, 10 (1970) 2, p. 200
- 4) I. M. MACKENZIE: JISI, (1970) 4, p. 342
- 5) 川崎製鉄: 特開昭 53-93158
- 6) 金成昌平, 片岡健二, 中川吉左衛門, 松崎 実, 吉村英明, 小川靖夫: 鉄と鋼, 65 (1979) 8, A157
- 7) 松崎 実, 吉村英明, 小川靖夫, 金成昌平, 片岡健二, 中川吉左衛門: Int. Conf. Manuf. Engng,
- 8) 松崎 実, 吉村英明, 小川靖夫, 中里嘉夫, 金成昌平: 鉄と鋼, 66 (1980), S983
- 9) 金成昌平, 片岡健二, 中川吉左衛門, 松崎 実, 小川靖夫, 中里嘉夫, 吉村英明: 川崎製鉄技報, 12 (1980) 4, p. 571
- 10) 松崎 実, 金成昌平, 小川靖夫, 中里嘉夫, 青山勝: 塑性と加工, 22 (1981) 240, p. 8
- 11) 川崎製鉄: 特開昭 54-97559
- 12) 川崎製鉄: 特願昭 54-163818
- 13) 松崎 実, 吉村英明, 小川靖夫, 中里嘉夫: 鉄と鋼, 66 (1980), S982
- 14) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 51 回鋼板部会分塊分科会 (1980) 川崎製鉄(株) (私信)
- 15) 川村浩一, 福田次男, 馬田 実, 鉄と鋼, 64 (1978), S280
- 16) 川村浩一, 福田次留, 佐藤 満: 鉄と鋼, 64 (1978), S281
- 17) 生嶋栄次, 平沢猛志, 中内一郎, 撰待吉雄, 山岸静直: 日本鋼管技報, 64 (1974), p. 147