

## 技術報告

UDC 621.771.27 : 669.012.5

## 最近の分塊歩留り向上技術

茶野 善作\*・若子 敦弘\*・松田 勝\*  
大浦 忍\*・広瀬 稔\*<sup>2</sup>

## The Improvement Techniques of Slabbing Yield from a Capped Steel Ingot

Zensaku CHANO, Atsuhiko WAKAKO, Masaru MATSUDA,  
Sinobu OHURA, and Minoru HIROSE

## Synopsis:

Based on extensive utilization of traditional improvement techniques of slabbing yield and several newly-developed improvement ones, a record-breaking yield of 96.8% has been achieved for capped steel ingots in Nagoya Works, Nippon Steel Corp.

The new techniques are as follows:

- 1) Determination of optimum ingot profile to maximize yield such as cross-section dimensions, ingot top-corner profile and top capped figure.
- 2) Introduction of special rolling processes of ingot such as one-way rolling and reverse one-way rolling.
- 3) Development of defect free capped steel ingot making method with bottom pouring technique and defect minimization rolling method.
- 4) Development of multi-step well type bottom plate to minimize slab crop.

It has been actually proved that these new techniques give a great yield improvement and the cost for adequately compensated by the effects.

## 1. 緒 言

近年における分塊歩留りの向上は著しい。特にその中でも、分塊の主要品種である熱延キャップド鋼については特筆すべきものがある。すなわち熱間直送圧延機では、室蘭製鉄所において 95.0%、熱延冷片材では、名古屋製鉄所において 96.8% という世界的に見ても高位の分塊歩留りを記録するに至っている。これら高位の分塊歩留りは、工業的にも極限值に近いものであると判断することができる。

この高位分塊歩留りは、従来の各種分塊操業を中心とした歩留り向上対策に新しく開発された鋼塊形状の改善、片パス、両片パス圧延等の特殊圧延技術の適用及び無欠陥鋼片製造技術等を加えて達成されたものである。

本報告では、熱延キャップド鋼に的を絞って、分塊歩留り向上技術のうち、とくに名古屋製鉄所において独自に開発し実施したものを中心に論じて見る。

## 2. 従来の分塊歩留り向上技術

分塊圧延は、古い歴史をもつたスラブ製造法であるため歩留り向上のために考え出された技術は多岐にわたっている。そこで、当所の歩留り向上技術を述べるにあたり、従来からの一般的な歩留り向上技術について簡単に整理を行って見た。

## (1) 鋼塊断面寸法の決定

一般に分塊歩留りは鋼塊の幅圧下量により大きく変化する<sup>1)</sup>。そのため高歩留りをねらうには幅圧下範囲を狭くして、鋼塊の種類を多く持つものが好ましい。しかし、造塊場能力等より制約をうけて、数種類の鋼片に共通した最大公約数的な鋼塊断面寸法が採用されている<sup>2)</sup>。

## (2) 鋼塊頭部形状、底部形状改善

頭部形状改善として、キャップド鋼肩部肉厚を薄肉化することによるオーバーラップの減少、キャップド鋼頭部蓋形状改善によるフィッシュテイルの減少、キャップド鋼肩部テーパの最適化<sup>3)</sup>によるフィッシュテイルの

昭和 56 年 5 月 7 日受付 (Received May 7, 1981)

\* 新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 (Nagoya Works, Nippon Steel Corp., 5-3 Tokai-cho Tokai 476)

\*<sup>2</sup> 新日本製鉄(株)本社 (Nippon Steel Corp.)

減少対策などがある。

一方鋼塊底部形状改善策としては、黒鉛定盤化、ウェル定盤化<sup>4)</sup>などがある。

(3) 圧延パススケジュール改善及び特殊圧延技術  
 圧延方法による歩留り改善技術は、近年最も急速に発達した技術の一つであろう。この技術は、強圧下圧延の採用によるオーバーラップの減少<sup>5)</sup>、スラブ幅殺しタイミングの後期集中化によるフィッシュテイルの減少<sup>6)</sup>、フィッシュテイルの発生を極力防止する噛み戻し圧延<sup>7)</sup>などの特殊圧延法等がある。

(4) 各種スケールロス減少対策

均熱炉でのスケールロス減少対策<sup>8)</sup>としては、その生成原理から加熱温度の低温化、在炉時間短縮、炉内燃焼雰囲気制御などがある。

表面疵スケールロス減少対策としては、疵部のみホットスカーフを行うテーパースカーフ法、スカーフスピードアップによる軽溶削化などが一般的に行われている。

### 3. 最近の新しい分塊歩留り向上技術

(1) 普通圧延におけるクロップ発生機構と鋼塊断面寸法の決定

鋼塊断面寸法は、クロップ格落ちの大小に大きな影響を与える。故にクロップ最小、歩留り最大の鋼塊断面寸法を決定することは極めて重要である。

最適鋼塊断面寸法の算出にあたりその基本となるクロップ格落ち量の推定に関しては、当社室蘭製鉄所で開発された「圧下の三角形」理論<sup>9)</sup>を利用した。この圧下の三角形理論は、頭部及び底部とも完全な直方体の鋼塊形状

より、任意のスラブ寸法に、通常の圧延スケジュールで圧延するとき発生するクロップ格落ち量を定量的にもとめるものである。

この圧下の三角形のモデル式を用いて、クロップ最小の鋼塊断面寸法の新しいロジックを述べる。

Fig. 1 は、ある一定のスラブサイズにおいて、任意の鋼塊単重に対するクロップ最小の鋼塊断面を求めた最適鋼塊断面線図を示している。これは、鋼塊厚、幅寸法を任意にとり、任意の鋼塊断面において発生するクロップ量を前述のモデル式より算出して、 $a_1, a_2, \dots$ なる等クロップ線図を求め、次に鋼塊単重及び鋼塊高さを一定として  $b_1, b_2, \dots$ なる単重一定の等断面線図を求める。以上の等クロップ線図と等断面線図の最も離れた点として、すなわちクロップ最小の鋼塊断面として、 $c_1, c_2, c_3, \dots$ が求まり、これが最適鋼塊断面線図となる。

Fig. 2 は、上記考え方に基づき、当所において使用している代表的な鋼塊について検証した一例を示す。つまり、スラブサイズ  $S_1 \sim S_5$  をカバーするものとして、Aなる断面寸法を有する鋼塊がある。これに対し、 $S_1$  から  $S_5$  のおのおののスラブサイズに、任意の鋼塊断面に対しクロップ量が最小になるところを求めたものが、 $C'_1 \sim C'_5$  の最適鋼塊断面線図である。また  $b$  は、Aなる鋼塊断面より求まる一定単重の等断面線図である。故に、最適鋼塊断面線図  $C'_x$  と、等断面線図  $b$  の交点  $A_1 \sim A_5$  は、スラブサイズ  $S_1 \sim S_5$  についてクロップ最小の鋼塊断面を表している。すなわち、 $S_1 \sim S_5$  のスラブサイズを製造するクロップ最小の鋼塊断面は  $A_5$  の寸法となる。

従つて、従来の鋼塊断面Aと、最適化より求めた鋼塊

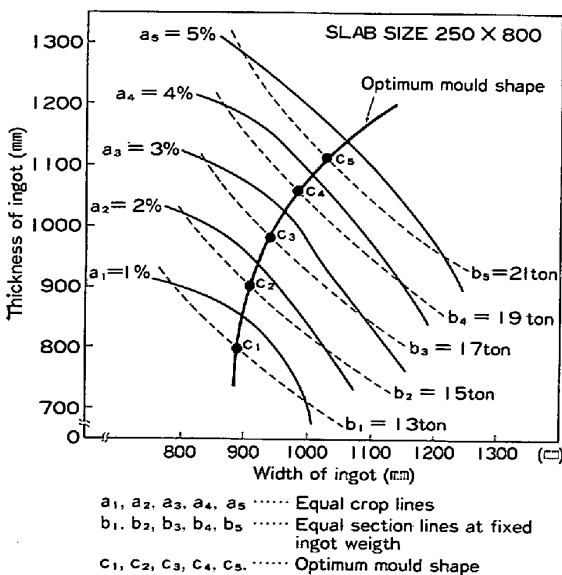


Fig. 1. Optimum mould shape to minimize the crop at the fixed slab size.

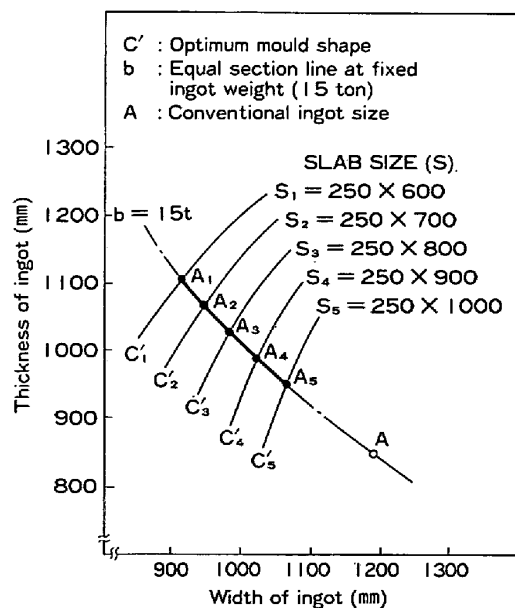


Fig. 2. Optimum mould shape to minimize the crop at fixed ingot weight.

断面 A<sub>5</sub> には、大きな差異がある。つまり A 点より A<sub>5</sub> 点なる鋼塊断面に変更することにより、フィッシュテイルによるクロップの大幅な減少が計れる。

以上の考え方にに基づき鋼塊断面寸法の適正化を行った。

(2) 特殊圧延法

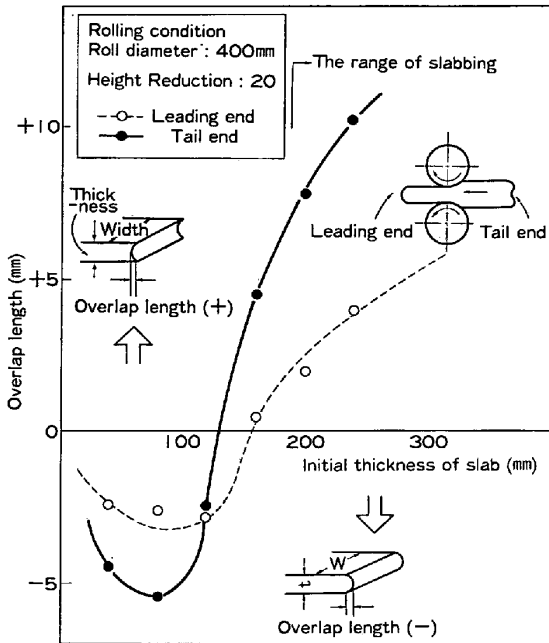


Fig. 3. Effect of initial thickness of slab on the overlap lengths at the leading end and the tail end of slab<sup>(10)</sup>.

前項で述べた鋼塊を圧延することにより最小クロップ量となるが、特殊圧延法を加味することによりさらにクロップ量の減少を計ることができる。その特殊圧延法として、片パス、両片パス圧延法について述べる。

Fig. 3 は、リバース圧延において、可逆的に圧下を行わず一方方向パスのみの圧下を行った場合、スラブ両端に発生する押し込み端（トップエンド）と引き抜き端（ボトムエンド）のクロップについて調査したものである。

この結果、圧延機のトップとボトムオーバーラップの形成のし方は、板厚の厚い側（一般的には分塊圧延の範囲）では、トップ、ボトムともに板厚中心が凹形になるが、その長さは押し込み端に比較して、引き抜き端が常に大きいことがわかる。このように圧延トップとボトムとで変形挙動が異なるのは、圧延中のメタルフローの差によるものである。このメタルフローの性質をうまく利用して開発したのが片パス圧延法と両片パス圧延法である。

片パス圧延法とは、被圧延材の一端を「押し込み端」あるいは「引き抜き端」のみに集約した圧延法（具体的には、一方方向パスのみの圧下をかけ、反対方向のパスは空圧下圧延を行う）である。この圧延法では、とくにキャップド鋼頭形状調整に大きく効果があり、約 1~1.5% のクロップ減少が見込める。

両片パス圧延 (Reverse one way rolling)<sup>(11)</sup>とは、片パス圧延の最大の欠点である「引き抜き端」のクロップ

Table 1. Example of rolling schedule on "Reverse one-way Rolling" at No. 1 slabbing mill in Nagoya Works.

Ingot size : 850 × 1250 (mm)					Slab size : 250 × 940 (mm)						
Pass No.	Height setting of horizontal pass	Height reduction	Width setting of vertical pass	Width reduction	Note	Pass No.	Height setting of horizontal pass	Height reduction	Width setting of vertical pass	Width reduction	Note
1	1270	0	920	0		16	545 630	85 0	970 1070	50 0	Flat pass "Reverse one way" rolling
2	1210 1270	60 0	920 920	0 0		17	545	85	970	50	
3	1210	60	920	0		18	460 545	85 0	1070 1070	0 0	
4	1130 1210	80 0	920 920	0 0		19	460	85	1070	0	Leading end
5	1130	80	920	0		20	375 460	85 0	1070 1070	0 0	
6	1050 1130	80 0	920 920	0 0		21	375	85	1070	0	Leading end
7	1050	80	920	0		22	290 375	85 0	950 1010	70 0	
8	970 1050	80 0	920 920	0 0		23	290	85	950	70	Edging pass "Reverse one way" rolling
#10	970	80	920	0		24	250	40	940	10	
11	885	35	1070	0		25	250	0	940	0	Leading end
12	800	85	1070	0							
13	715	85	1070	0							
14	630 715	85 0	1070 1070	0 0							
15	630	85	1070	0							

量が大きい点を改善するために開発したもので、被圧延材の両端を「押し込み端」にする圧延法である。つまり圧延ロールに被圧延材が噛み込み、引き抜き端を形成する前（被圧延材長さの約 1/2 の位置）で圧延を止め圧下をあげてその後を空パスとする。そして次パスで前パスの圧下量でもう一方の端を圧延し、これを繰り返す圧延法である。この両片パス圧延法は、片パス圧延に比べさらに 1~1.5% のクロップ減少を計ることができる。

なお、これらの圧延法は、圧延能率及び圧延電力などの悪化をもたらす欠点を有するが、歩留り向上分で十分メリットが出るため、鋼種、エッジング量、鋼塊形状などによりクロップ量が最小となるよう片パス圧延、両片パス圧延を適宜組み合わせながら使用されている。

Table 1 は、両片パス圧延法をとりいれた具体的な圧延パススケジュールの一例を示す。

(3) 鋼塊端部形状改善

前述した最適鋼塊断面寸法、及び特殊圧延の採用により、相当高い歩留りを確保できるが、それでもなお発生するオーバーラップ及びフィッシュテイルによるクロップロスは無視できない。この欠点を補うものが鋼塊端部形状改善である。鋼塊頭部形状改善については、すでに多くのことが述べられているので省略し当節では、底部形状改善としてのウェル定盤に的を絞って論じる。

ウェル定盤化は、ボトムクロップの大幅減少対策として最近では、分塊歩留り向上技術の主要な一つになりつつある。しかし、このウェル定盤化は、スラブにおいて鋼塊でのウェル相当位置から定盤と鋳型の接合点による定盤疵、ウェルテーパ部の網割れ疵及びヘゲ疵が多発するという大きな問題点を有している。そしてこれらの

疵はウェル定盤化でオーバーラップを少なくすればする程スラブ端部より離れた位置に発生し手入精整を必要とする。

Fig. 4 は、鋼塊底部形状とスラブでのオーバーラップ形状との関係を図示的に示す。従来の底部形状をした鋼塊より鋼片を圧延した場合、鋼塊での厚み断面における  $K_1 \sim C_1 \sim K_2$  なる長さは、鋼片断面では、 $K'_1 \sim C'_1 \sim K'_2$  なる長さに変形する。この  $K'_1 \sim C'_1 \sim K'_2$  なる長さは、端部形状が変化しても一定であると仮定すれば、 $K'_1 \sim$

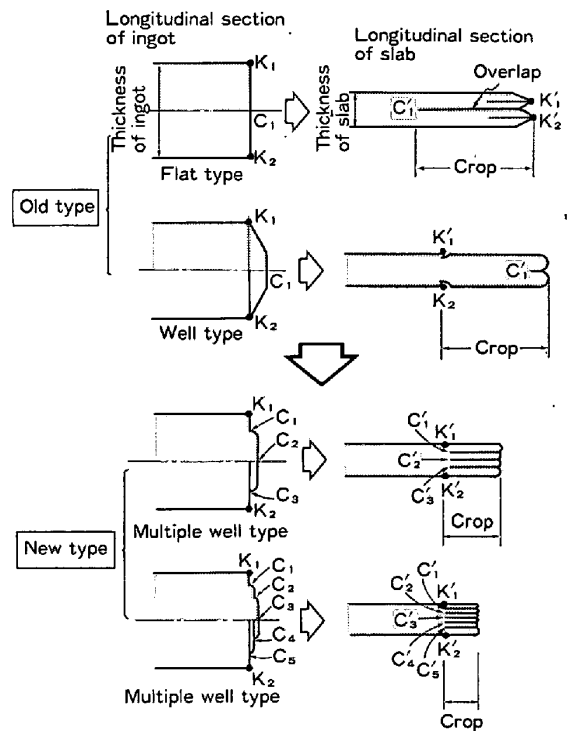


Fig. 4. Schematic explanation of multiple well type bottom plate.

No.	Thickness direction	Width direction	No.	Thickness direction	Width direction
(A)			(E)		
(B)			(F)		
(C)			(G)		
(D)			(A),(B) ⇒ Multiple well type bottom plate (C),(D),(E),(F) ⇒ Well type bottom plate (G) ⇒ Flat type bottom plate		

Fig. 5. Bottom shapes of test ingots.

C<sub>1</sub>~K<sub>2</sub>なる長さを多層にすればする程切り捨てられるべきクランプ量は、少なくなる。従つて、スラブ端部に発生するオーバーラップを多層に発生させる鋼塊端部形状を開発すればクランプ量を最小にして得ることができる。この考え方から開発したのが多段ウェル定盤 (Multiple well) である。

Fig. 5 は、従来から導入されているウェル形状 (C~F), 新規に開発した多段ウェル形状 (A, B), 比較材としてのフラット形状 (G) を実鋼塊を利用して製造した詳細を示す。

Fig. 6 は、上記 Fig. 5 で示す鋼塊を用いて、鋼塊底部形状とボトムクランプとオーバーラップの関係を調査した結果を示す。これによると従来ウェルタイプ (F) では、オーバーラップによるクランプ量は少ないがウェル

部から発生した表面疵による切り捨てクランプが大きくなっている。一方、Cのフラットタイプでは、オーバーラップによるクランプが大きく表面疵による切り捨ては零となつている。そして、多段ウェル (A, B) においては、前述のごとく、スラブ断面に層状のオーバーラップを発生させることによりクランプ内に、定盤疵や網割れ疵を位置させることが可能でかつ、ボトムクランプ量も従来ウェルと同等にすることができることが確認できた。

(4) スラブ表面無欠陥化技術

高位の分塊歩留りを得るには、各種スケールロスの極小化が必須である。その基本対策は、鋼塊及び鋼片表面品位の無欠陥化である。そこで無欠陥化について述べるに当たり、スラブ表面疵の発生メカニズムについて述べる。

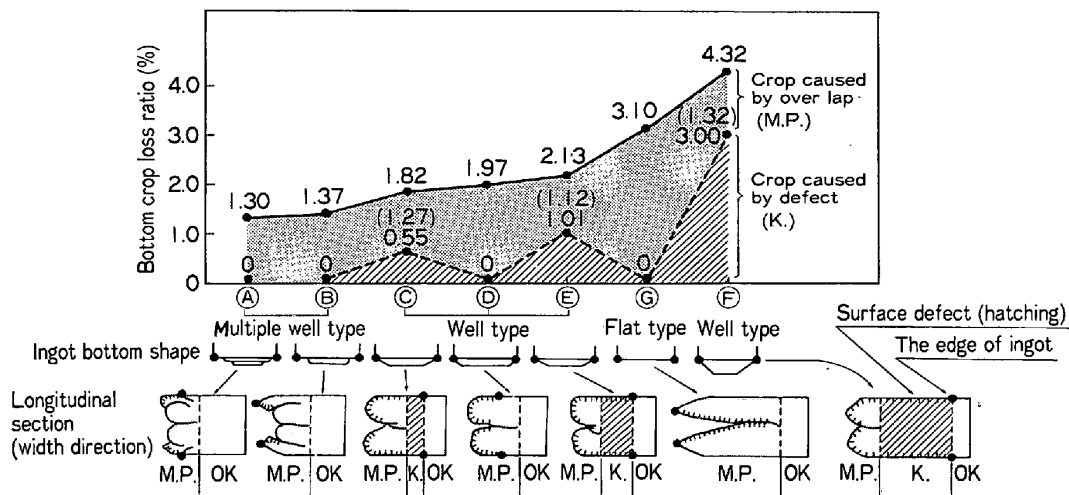


Fig. 6. Influence of bottom shapes of test ingots on bottom crop loss of slab.

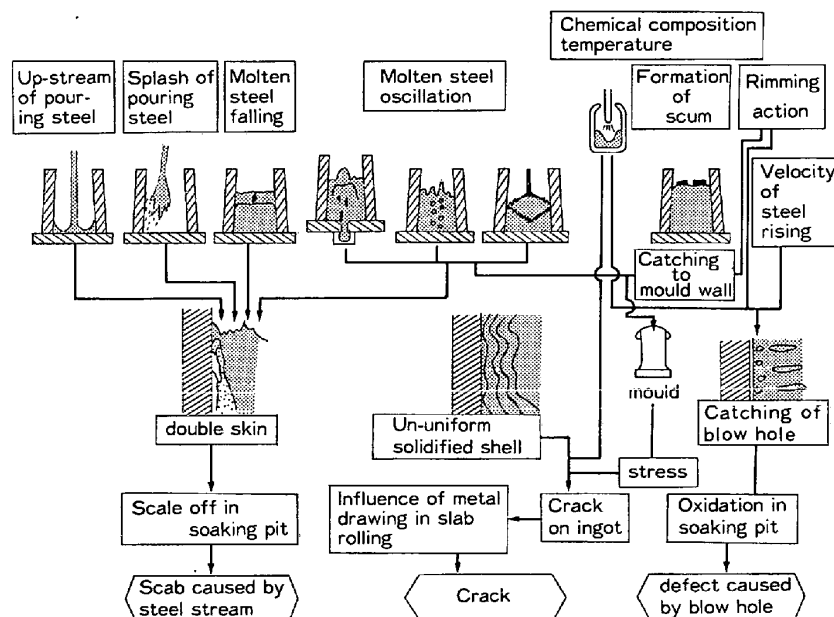


Fig. 7. Mechanism of defect occurrence in casting process.

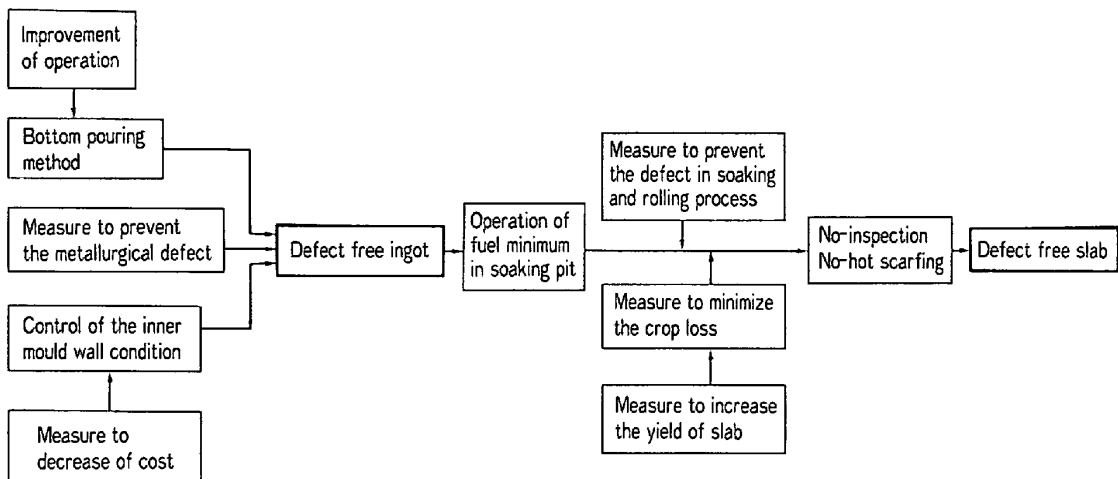


Fig. 8. Manufacturing process to produce the defect free slab.

スラブ表面疵は、その発生形態からそれぞれの名称が付けられているが、疵の形態が同一であつても発生する原因、工程が異なる場合が多い。これらを考慮して原因と工程を結びつけてスラブ表面疵を分類すると、造塊時に発生すると考えられる「冶金的欠陥」、鑄型内面及び鋼塊形状不良から発生すると考えられる「鑄型起因欠陥」、均熱炉作業及び分塊圧延時に発生すると考えられる「均熱・分塊起因欠陥」の三種に分けられる。そこで当節では紙面の制約もあるので表面疵の代表的欠陥である「冶金的欠陥」について中心に述べる。

Fig. 7 は、冶金的欠陥についての種類と発生原因を示す。冶金的欠陥は図示のごとく、注入系へゲ疵、割れ疵、気泡系疵が主な疵である。

注入系へゲ疵は、注入初期の注入流立ち上がり現象、注入流の鑄型内面への飛散、脱酸時に発生する湯引現象、あるいは湯面変動による湯暴れ現象などにより、鋼塊表面が二重肌になり、均熱炉でのスケールオフとのバランスにおいて、スラブでへゲ疵になると考えられる。

割れ疵については、湯暴れ現象、スカムの鑄型内壁への付着などにより鋼塊表層に不均一な凝固剤が発生しそこへ鑄型からくる鋼塊への応力と、分塊圧延での引延力が作用することにより割れ疵が発生するものと考えられる。

気泡系疵については、湯上り速度、リミングアクションの程度、湯の成分温度脱酸程度等により鋼塊表層部に気泡が捕捉され、これが均熱炉での酸化により疵になると考えられる。

以上の冶金的欠陥の発生原因より製鋼段階での無欠陥化を達成するためには、いかにして静的な湯面及び湯上りを維持するかということにかかつており、これらを保証する技術として、注入流の立ち上がり防止、注入流の

飛散防止、型内均一脱酸、スカム付着防止、不均一凝固防止等が必要である。

また、鑄型起因欠陥、均熱分塊起因欠陥等についても同様の解析を行つて、スラブ疵を極小にする目的で、下注法をベースにして種々の対策及び技術開発を行つて、均熱炉でのスケールロスをも最小におさえ、熱間でのホットスカーフはもとより、冷間でのスラブ疵手入も全く必要としないまでに、スラブ表面品位を高めた表面無欠陥鋼片製造体制を確立した。

Fig. 8 は、表面無欠陥鋼片製造体制の基本的考え方を示す。

#### 4. 実操業上での分塊歩留り向上対策実施状況

##### (1) 分塊歩留り 96.8% の達成

以上述べてきた理論をベースとして名古屋製鉄所において、大々的な歩留り向上活動を行つた。

すなわち、鑄型系列については、鋼塊断面寸法の最適化計算より見直しを行い、従来に比べ鋼塊幅殺しの範囲を狭くした新しい鑄型系列に変更した。

圧延スケジュールにおいては、片パス、両片パス圧延を確立し標準化した。そしてこの圧延法の適用は、圧延 t/h の許される限り最大限採用した。

鋼塊底部形状については、多段ウェルの採用により大きな効果が得られた。

また、無欠陥鋼塊、無欠陥鋼片の製造体制を確立することにより、均熱炉、ホットスカーフ、ハンド手入などの各種スケールロスの極小化が計れた。なお上注法についても無欠陥鋼片製造技術を応用することにより大きな成果を得た。

このような一連の分塊歩留り向上活動により、S. 55, 10月:96.0%, 11月:96.1%, 12月:96.8% という

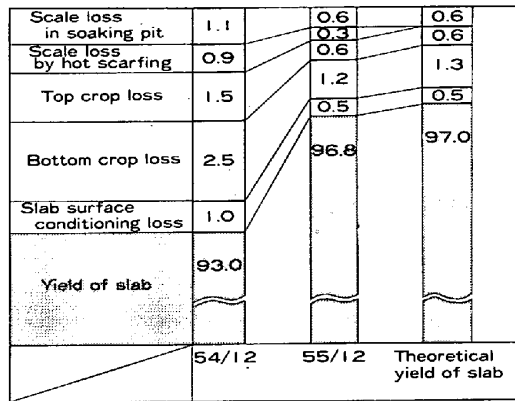


Fig. 9 Comparison of actual yield with theoretical yield of slab at No. 1 slabbing mill in Nagoya Works.

高位の分塊歩留り値を達成することができた。

(2) 分塊歩留り極限値の考察

熱延キャップド鋼において、分塊での実操業を加味した分塊歩留りの極限値を求めることは、歩留り向上を考える上での一つの目標となる。そこで、それがどの程度のものかを求めるため、実鋼塊を用いて、当所第1分塊工場の圧延機（ユニバーサル圧延機、H. roll : 1 150 φ 4 500 kW）によつて実験操業を行つた。この実験操業にあつて、分塊格落限界最小値を算出するため、各分塊格落ロスごとにおのおの独立にロス量が最小と考えられる操業条件を設定して求めた。

Fig. 9 は、上記考え方にもとづいて求めた分塊格落量を示す。この値からみて、現状の操業をベースに考えたとき工業的に得られる分塊歩留りの極限値は、97%前後と考えられる。

5. おわりに

以上分塊歩留り向上の諸技術、例えば鋼塊最適断面寸法の決定方法、片パス両片パス圧延に代表される特殊圧延技術、新型ウェル定盤技術、新しく開発した無欠陥鋼片製造技術などについて述べた。

分塊歩留り向上技術は、種々の要因の効果を個々に取り出すことが非常に難しく、向上技術を理論的かつ定量的に論じるには大きな困難がある。また、考え方を、実際に実操業に移す場合、コストと効果のバランスの問題に強く拘束されるのが常である。しかし、今回上述の諸技術を実際に実操業へ適用し、工業的ベースでの極限値と思われる 96.8% を達し得たことは、これらの諸技術の妥当性を証明し得たものと強く確信するとともに、コスト的にも十分引き合技術であることも同時に証明し得たものと考えている。

これら、諸技術の開発、実施にあたり当社の各製鉄所の分塊部門より、多くの有益な助言をいただいたことに対し、改めて深く感謝する次第であります。

文 献

- 1) 渡辺和夫, 時田秀紀, 中島浩衛: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 213
- 2) 日本鉄鋼協会: 第3版鉄鋼便覧Ⅲ(1) (1980), p. 108 [丸善]
- 3) 特公昭 50-17181
- 4) I. D. KUZEMA: Steel in USSR, 2 (1972) 6, p. 465
- 5) 日本鉄鋼協会: 第3版鉄鋼便覧Ⅲ(1) (1980), p. 160 [丸善]
- 6) 渡辺和夫, 時田秀紀, 中島浩衛: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 213
- 7) 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, A 157
- 8) 日本鉄鋼協会: 第3版鉄鋼便覧Ⅲ(1) (1980), p. 202 [丸善]
- 9) 野木 茂, 山田 潔, 武田和也, 杉本要一: 鉄と鋼, 62 (1976) 4, S 161
- 10) 川村浩一, 福田次男, 馬場 稔: 鉄と鋼, 64 (1978) 4, S 280
- 11) 特公昭 51-35383