

## 論 文

UDC 621.746.27.047 : 620.191 : 669.14-412-147

## 厚板用連鑄スラブの表面欠陥の改善と無手入圧延\*

安齋 孝儀\*\*・山上 諄\*\*・宮下 芳雄\*\*\*  
阪本 英一\*\*・菅 克之\*\*・角南英八郎\*\*\*\*

## Improvement of Surface in CC Slab for Plate and Directly Reheating and Rolling Process without Conditionings

Takanori ANZAI, Atsushi YAMAGAMI, Yoshio MIYASHITA  
Eiichi SAKAMOTO, Katsuyuki SUGA and Eihachiro SUNAMI

## Synopsis:

The continuous slab caster for plate mill at Keihin works, Nippon kōkan has been operating successfully with increased output and improvement of product quality.

As for the surface defects found in continuous casting slab, the causes of the defects were correlated with casting processes and newly adopted operation was proved to give quite fine surface of slab and plate.

On the basis of this development, the system of directly reheating and rolling of slab in 40 kg/mm<sup>2</sup> grade steel without conditioning has been adopted since November 1972, with highly excellent results.

(Received Dec. 1, 1973)

## 1. ま え が き

日本鋼管(株)京浜製鉄所の湾曲型広幅連鑄機は、厚板用スラブを生産し、スラブ品質および操業技術とも安定し、良好な成績をおさめている。

とくに、スラブ表面性状については、表面欠陥の防止法を確立し、引張強さ 40 kg/mm<sup>2</sup> 級の鋼(以下 40 kg/mm<sup>2</sup> 鋼とする)は、昭和 47 年 11 月より、全量無手入圧延操業に切替え、さらに昭和 48 年 2 月からは、多量に熱片無手入圧延操業をも軌道にのせている。

本報告は、スラブ表面欠陥の防止法についての研究と、それが実用化されることによつて可能になつた無手入圧延操業について述べる。

## 2. 連鑄設備および操業概要

連鑄設備は、昭和 42 年 3 月より稼動し、200 mm × 1620 mm のスラブを鑄造している。おもな設備仕様を Table 1 に示す。

操業概要は、転炉出鋼後、ポーラスプラグをとおして N<sub>2</sub> ガスを取鍋底部より 3 min 以上吹き込み、温度調整を行なつた後、溶鋼をタンディッシュ(容量 10 t)に注入し、浸漬ノズル・パウダー・オイルキャストイング

を行なつている。鑄型振動条件は、ネガティブストリップ率 39% であり、冷却条件は、鑄型冷却水 300 kl/hr, 2 次冷却比水量 1.71/kg of steel である。鑄片は、凝固完了後 1 個所で円弧から直線に矯正され、その後、固定式切断機にて所定の長さ切断している。

## 3. スラブ表面欠陥の防止策およびその効果

## 3.1 表面欠陥の分類

連鑄スラブに見られた表面欠陥の特徴は、次のようにまとめられる。これらの疵を Photo. 1 に示す。

## (1) 横ヒビ疵

スラブ広面の上面側各オッションマークの谷部に沿つて発生し、形状は、長さ 50~200 mm, 深さ 2~3 mm あり、黒皮状態では、発見がややむずかしい(Photo. 1 (a))。

## (2) スター疵

スラブ広面全幅にわたり散在し、形状は、5~15 mmφ の亀甲状で、深さ 2~4 mm あり、黒皮状態では発見が

\* 昭和 48 年 12 月 1 日受付

\*\* 日本鋼管(株)京浜製鉄所

\*\*\* 日本鋼管(株)京浜製鉄所(現技術研究所) 工博

\*\*\*\* 日本鋼管(株)技術研究所

Table 1. Specifications of continuous caster.

Item	Specifications
Steel making furnace and capacity	L. D converter, 100 t/heat
Number of strand	1
Slab size	200 mm × 1 620 mm
Radius of curvature	8 m
Mold	Curved type, 700 mm long
Mold oscillation	Sine curve Frequency; 18~120 c.p.m Amplitude; 0~50 mm
Secondary cooling zone	Approx. 9.7 m long; 9 zone
Pinch roll	Withdrawing and straightening 7 work rolls; 600 mm dia. × 1 800 mm l

むずかしい (Photo. 1 (b)).

### (3) 縦ワレ疵

スラブ広面中央付近に多く、形状は、長さ 30 mm から大きいもので 10m もあり、深さ 2~70 mm もある。黒皮状態で容易に発見できる (Photo. 1 (c)).

### (4) ブロ疵

スラブ広面全幅にわたり散在し、形状は 2 mmφ 以下であり、黒皮状態では発見がむずかしい (Photo. 1 (d)).

### (5) ノロカミ疵

スラブ広面中央付近に多く、形状は 2~15 mmφ で、深さ 5 mm 以下であり、黒皮状態では、比較的容易に発見できる (Photo. 1 (e)).

### (6) 耳ヒビ疵

スラブ端部のオッシレーションマークの谷部に沿って L 字型に発生し、形状は、長さ 5~20 mm で、深さ 5 mm 以下であり、黒皮状態では、発見が比較的むずかしい (Photo. 1 (f)).

## 3.2 表面欠陥改善前のスラブ表面水準 および厚鋼板への影響

### 3.2.1 スラブ表面水準

40 kg/mm<sup>2</sup> 鋼生産量のうち、連鑄スラブヤードの冷却処理能力の制約より、40% が、チャージ単位で冷却され、深さ 2 mm のチェックスカーフを 4 本行ない、表面観測を行なつて、手入の要、不要を判定していた(残り 60% は、無条件に部分手入)。観測スラブのうち約 35% は、手入が必要と判定され、その手入原因別割合は、Fig. 1 にみるように、横ヒビ疵が約 60% と圧倒的に高かつた。

また、手入不要の平均的スラブをショットブラストした後、カラーチェックを行ない、表面欠陥を詳細に観

察した調査では、数の上では小さなスター疵が大部分で、横ヒビ疵、縦ワレ疵、ブロ疵などが若干みられた程度であつた。

### 3.2.2 厚鋼板への影響

スラブ表面欠陥改善前の水準にて、厚鋼板への影響を調査するため、厚鋼板表面水準を、手入不能な表面疵を“Scrap”、手入により鋼板表面を保証できる表面疵を“Grinding”、スラブ表面欠陥が鋼板に残存しなかつたものを“Clean”と区分し、スラブを無手入で圧延し、対応調査した結果を Table 2 に示す。

ここにおいて、スラブ表面欠陥が、厚鋼板で消失する過程を知るため、手入不要の平均的なスラブを、1 250°C で 1 hr 加熱後、そのまま空冷し、表面に生成したスケールをショットブラストにより剝離させ、酸洗にて表面疵を検出した。スケールオフ量約 1 mm では、表面欠陥の個数は、加熱前と変わらないが、その残存疵深さは最高 0.5 mm であつた。これより、スケールオフ量約 2 mm の実操業では、スラブ表面欠陥の大部分は、スケール化されていると推定できる。さらに、圧延特性や厚鋼板板厚をも考慮すれば、圧延中に消失する表面欠陥もあると考えられる。

スラブ表面欠陥が厚鋼板への表面欠陥となる影響の程度は、縦ワレ疵が一番大きく、ついで耳ヒビ疵、横ヒビ疵、ノロカミ疵、スター疵ブロ疵の順に小さい。また、この表面欠陥の発生頻度上からの厚鋼板への影響の程度は、横ヒビ疵が一番大きく、ついで縦ワレ疵、スター疵、ノロカミ疵、耳ヒビ疵、ブロ疵の順に小さくなつている。

## 3.3 表面欠陥の防止策

### 3.3.1 横ヒビ疵

横ヒビ疵は、鑄片矯正時に、オッシレーションマークの谷間へ応力が集中し発生することが従来からはつきりしており、750~900°C の低延性域<sup>1)</sup>をさけた鑄片表面温度にて矯正することが必要である。

筆者らは、安定した鑄片表面温度を得るため、作業の容易性から低温側 (750°C 以下) を選択し、汎用性のある 2 次冷却パターンで鑄片全体を低温にする方法と、鑄片幅方向の水量コントロールが自在に可能なスプレー装置を矯正点直前に設置することにより、鑄片表層部のみを低温にする方法で鑄片表面温度を管理し、横ヒビ疵の発生を防止している。

Fig. 2 に、横ヒビ疵を鑄片表面温度コントロールにより防止した例を示す。

### 3.3.2 スター疵

スター疵は、鑄型からの Cu の鑄片表面への侵入<sup>2)~5)</sup>、鑄片冷却過程における AlN の粒界析出<sup>6)</sup>、II 型硫化物

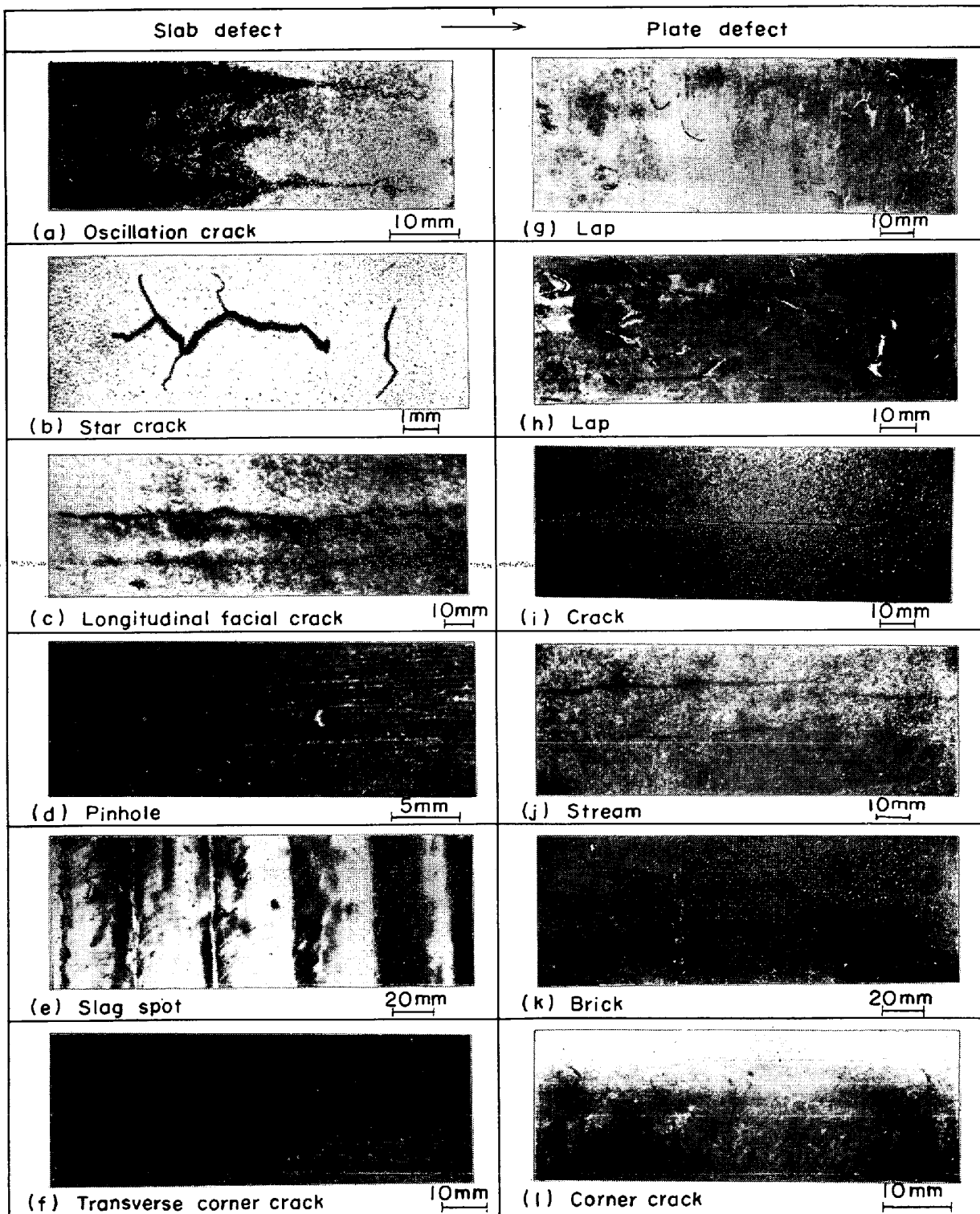


Photo. 1. Surface defects of slab and plate.

as cast; (c), (f). ground; (a), (d). scarfed; (e). nital etched; (b). as rolled; (g), (h), (j), (k), (l). shot blasted; (i).

の粒界析出などにより脆化が起こり、熱応力で疵が発生すると言われている。

この防止策は、一般的に、鑄型を Cr メッキ<sup>2)~4)7)8)</sup>または Mo コーティング<sup>9)9)</sup>する方法があるが、筆者らは、鑄片の表面段削を行ない、酸洗にて疵を調査した結果、Fig. 3 に示すように、Al 含有量とスター疵の発生状況

が明りょうな関係にあることを見だし、これに着目してレドール T.Al 含有量を 0.019% 以下に管理し、その発生を防いでいる。

### 3.3.3 縦ワレ疵

縦ワレ疵は、モールドパウダー<sup>2)10)~12)</sup>や冷却条件<sup>2)3)</sup>の管理が適切でないため、凝固殻が不均一に発達し、そ

の薄い個所に凝固収縮応力や熱応力が集中し発生する。

モールドパウダーによる疵は、スラグベアー先端の局部的発達や、パウダーの過剰流入により熱伝導が低下し、その部分の凝固殻の発達の遅れにより生ずる。スラグベアーの局部的発達に対して、筆者らは、鑄型潤滑油を鑄型全周にわたり均一に添加し、パウダーの過剰流入に対しては、均一な滓化性や滓化速度の点で、適正なパウダーを使用することにより防いでいる。さらに実操業での表面欠陥トラブルを避けるために、同一銘柄でも入荷ロットごとに、本使用前に少量のパウダーで試験鑄造を行ない、そのパウダーの事前判定を行なっている。

また、冷却条件による疵は、鑄型・2次冷却帯での冷却が、局部的に不均一になつたり、上下面での冷却バランスがくずれることにより起こる。この防止策は、鑄型・スプレーノズルの日常点検管理と、鑄造速度に適合した冷却条件を選択し、とくに、低速鑄造時に鑄型直下の冷却が過剰にならぬように管理している。

### 3.3.4 ブロ疵

ブロ疵は、凝固時に生成した  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$  ガス気泡が、凝固初期にトラップされたものである<sup>2)14)15)</sup>。この防止策として、 $\text{CO}$  ガスについては、 $\text{Al}$  脱酸を十分行なうこ

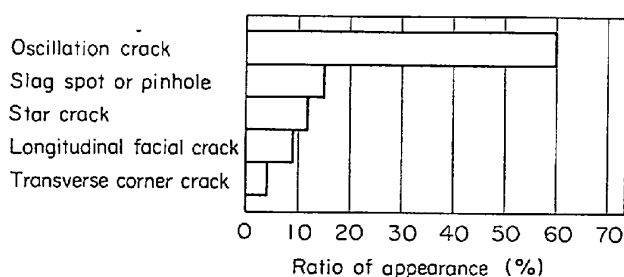


Fig. 1. Cause for slab conditioning (before improvement).

とにあり、筆者らは、Fig. 4 に示すように、レードル T・Al 含有量を 0.008% 以上で管理している。 $\text{H}_2$  ガスについては、取鍋・タンディッシュの乾燥を完全に行ない、またモールドパウダーの吸湿を避けることにより防いでいる。

### 3.3.5 ノロカミ疵

ノロカミ疵は、鑄造初期の耐火物などの外来介在物や、鑄造中での脱酸生成物をモールドパウダーが捕集することにより、パウダーの流動性が低下し、鑄型-鑄片間の流出性が失われ、スカムの吸収能が低下し、これらスカムが鑄片表面にトラップされて疵となる<sup>2)10)12)16)17)</sup>。この防止策として、鑄造前に、 $\text{N}_2$  ガスバブリングならびにタンディッシュのクリーニングを十分行ない溶鋼を清浄にたもっている。また、モールドパウダーについては、鑄造中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  組成を 20% 以下に保ちうるパウダーを使用している。

ノロカミ疵は、このほかに、急激な湯面変動や、鑄型内壁に付着した未滓化パウダーの巻き込み<sup>11)</sup>により発生する。この防止策として、鑄造中湯面を一定レベルに管理し、かつ、鑄型内壁を常に清浄に保つよう留意している。

### 3.3.6 耳ヒビ疵

耳ヒビ疵は、横ヒビ疵と似て、鑄片コーナー部が低延性温度にあるとき、熱応力や、パスラインの不均一<sup>6)</sup>によつて起こる引張応力のため発生する。この防止策は、横ヒビ疵と同様な方法とパスラインの調整にあり、もつとも有効な防止策は、コーナー部を低温側に管理することである。

## 3.4 表面欠陥改善後のスラブおよび厚鋼板の表面水準

### 3.4.1 スラブ表面水準

スラブ表面欠陥の防止策により、2 mm のチェックス

Table 2. Plate surface affected by slab surface defects.

Slab		Plate				
Surface defect		Surface defect		Result		
Item	Number			Scrap (%)	Grinding (%)	Clean (%)
Oscillation crack	150	Lap	Photo. 1(g)	2	20	78
Star crack	200	Lap	Photo. 1(h)	1	10	89
Longitudinal facial crack	40	Crack	Photo. 1(i)	5	30	65
Pinhole	100	Stream	Photo. 1(j)	1	5	94
Slag spot	50	Brick	Photo. 1(k)	2	10	88
Transverse corner crack	40	Corner crack	Photo. 1(l)	5	30	65

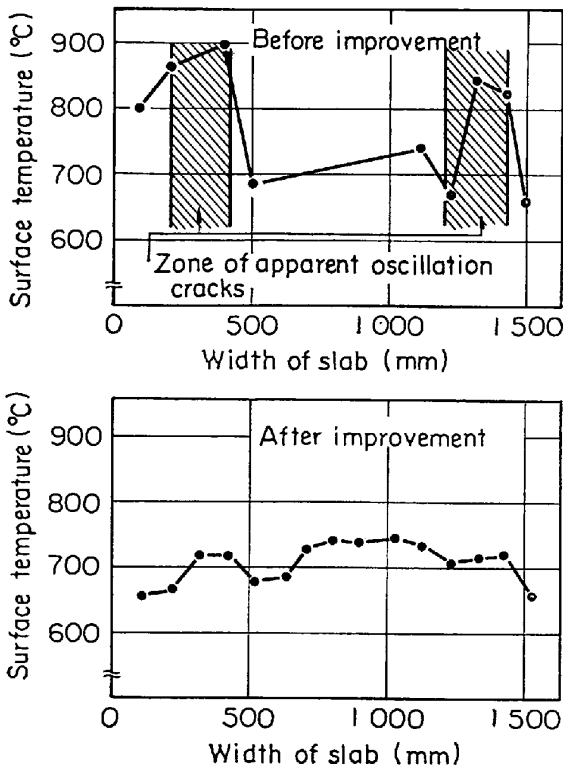


Fig. 2. Distribution of surface temperature at straightener and oscillation cracks.

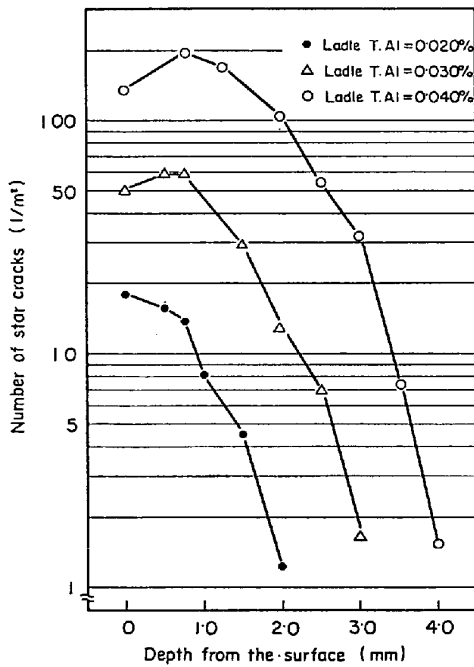


Fig. 3. Relation between distribution of star cracks and ladle T.Al (by step down cutting test).

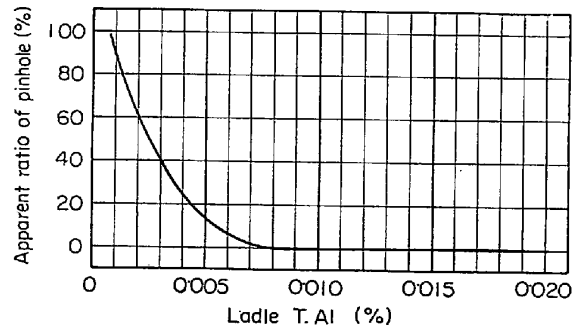


Fig. 4. Relation between ladle T.Al and pinhole.

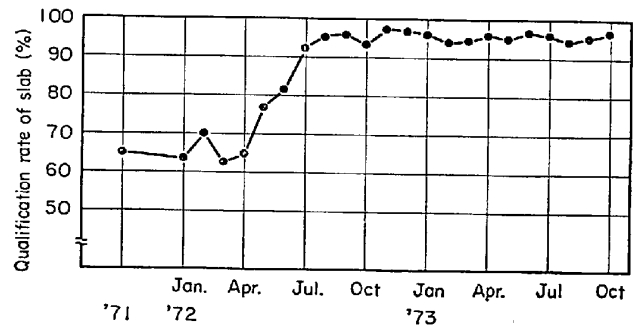


Fig. 5. Qualification rate of slab without conditioning according to inspection using hand stripes test.

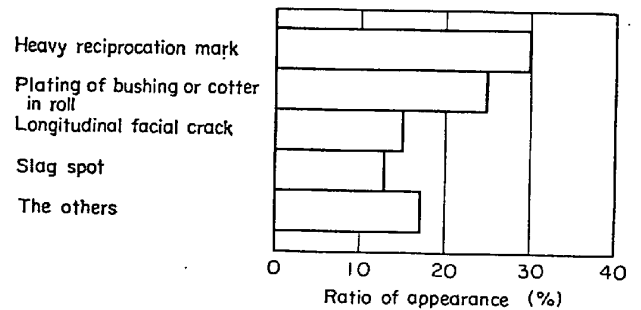


Fig. 6. Cause for slab conditioning (after improvement).

Table 3. Surface of plates produced from slabs with and without conditionings (plates were pickled).

Slab conditionings	Without scarfing	Scarfing
Clean	70%	82%
Slight sliver without grinding	23%	9%
Grinding	7%	9%

カーフでの表面観測による合格率は、Fig. 5 に示すごとく、従来の 65% から 96~97% に向上した。また不合格(手入を必要とする)となるスラブの表面欠陥原因は、

Fig. 6 に示すように、オシレーションマーク大とか、ロール関係の疵(メタル、コッターの落ち込み疵)などになり、その程度は、従来の不合格スラブにくらべ非

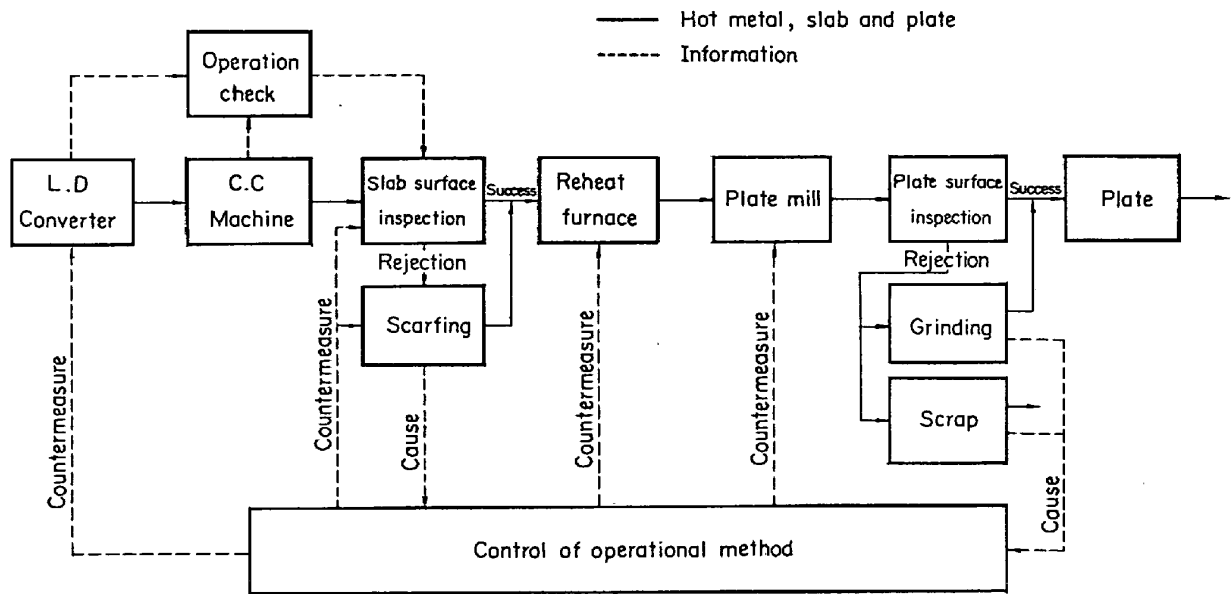


Fig. 7. Systems of directly reheating and rolling process of slab without conditioning.

Table 4. Slabs excluded from directly reheating and rolling process of slab without conditionings.

Excluded slab	Ratio to the total slabs (%)
Slab caused by variation of hot metal yield	11
Junction slab with seam by changing tundish	4
Slab teemed when composition of metal is changed	3
Slab without rolling plan	5
Total	23

常に軽くなっている。

3.4.2 厚鋼板の表面水準

任意に抽出したスラブを、まったく手入せずに圧延した鋼板のショットブラスト後の表面水準は、手入れされたスラブの鋼板と遜色なく、さらに鋼板を酸洗して比較した結果 (Table 3) でも、若干軽微な疵の増加は見られるが、手入れを要するような疵については差が認められない。

このほかに、L-C 方向曲げ試験、広幅引張試験 (圧延長 100 mm × 圧延幅の試験片を破断点寸前まで引張り、表面欠陥をはつきり確認するための試験) などの機械的試験や、表面のマイクロ観察などの確性試験においても差のないことが確認された。

4. 無手入圧延操作の実施

無手入圧延操作を可能とする連铸・加熱・圧延などの操業技術と、これらのチェックシステムおよび鑄片表面検査方法を確立し、4 カ月間無手入圧延の確性を大量に行ない、鋼板表面水準を良好な状態に維持できることを確認したため、昭和 47 年 11 月より、40 kg/mm<sup>2</sup> 鋼を Fig. 7 に示す無手入圧延操作に全量切り替え、そのうちの 40% を熱片のまま厚板工場加熱炉に装入している。

4.1 スラブ表面検査方法

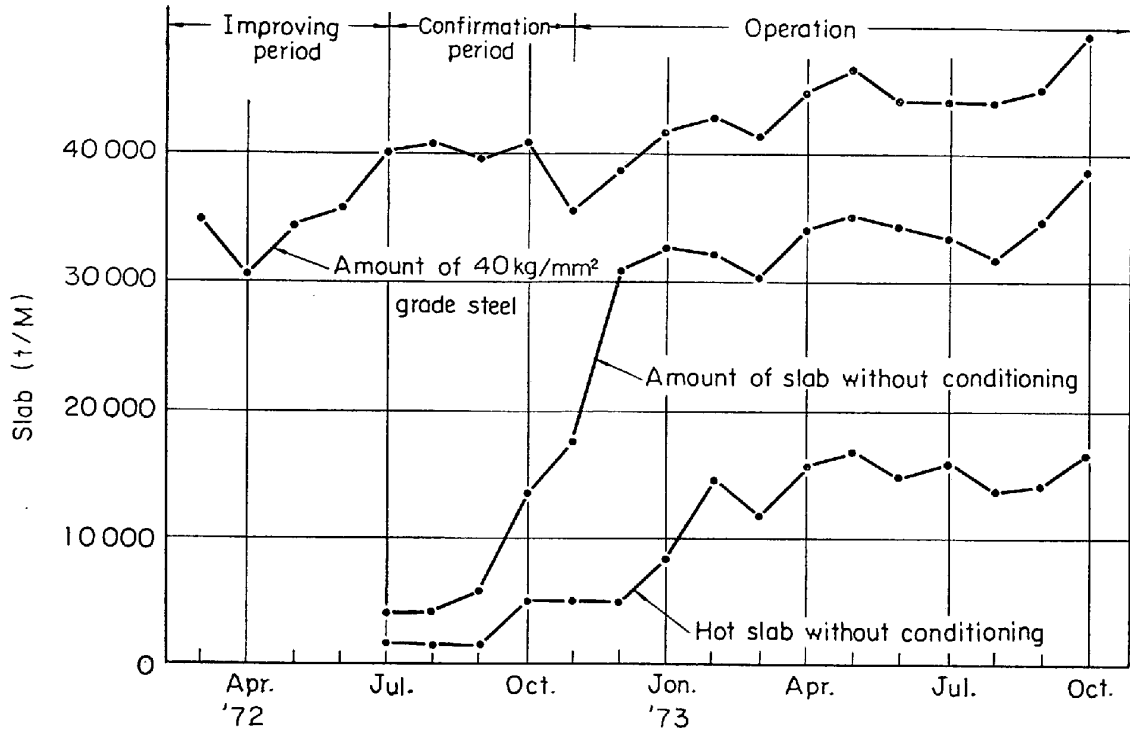
無手入圧延を行なうスラブは、鑄片切断後、ただちに熱片状態での簡単な目視検査による判定を行なう。Table 4 に該当するスラブは無手入圧延の対象外としている。

なお、1 日当たり 3 チャージのスラブを冷却し、チェックスクーフにて表面粗観測を行ない、スラブ表面性状の水準が維持されていることを確認している。

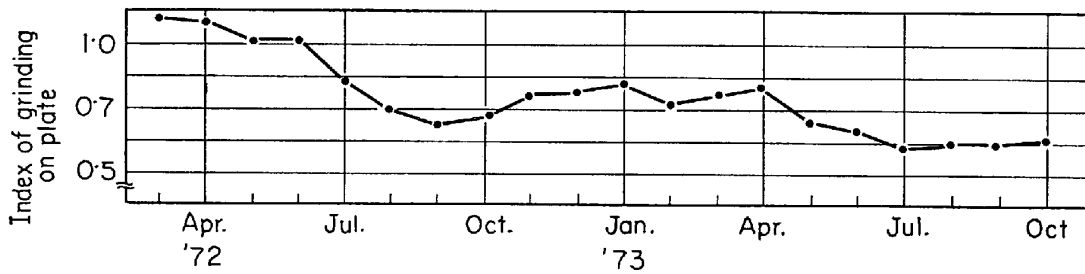
4.2 無手入圧延操業実績

無手入圧延操業実績を Fig. 8 に示す。Fig. 8(a) における 40 kg/mm<sup>2</sup> 鋼生産量と、全無手入圧延量の差の大部分は、Table 4 で述べた対象外スラブであり、無手入圧延を目的として製造されたスラブで表面検査により無手入圧延不適と判定されたスラブは、全体の 0.3% 程度におさまっている。

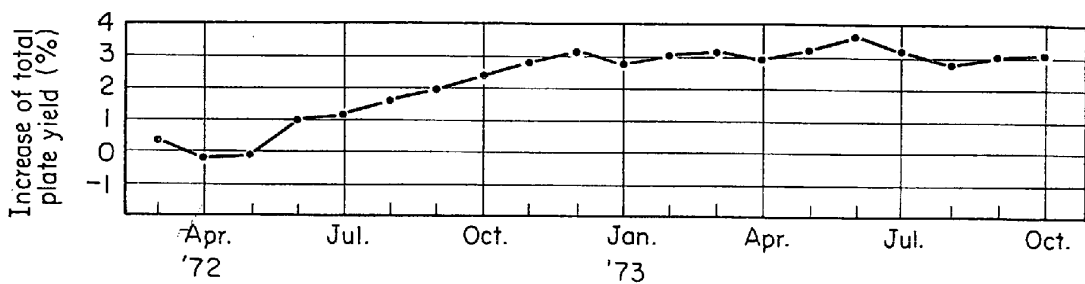
無手入で圧延された鋼板の表面性状の水準は、操業技術システムが確立されているため、Fig. 8 (b) に示すように、従来にくらべむしろ向上している。



(a) Results of slab products.



(b) Results of grinding on plate.



(c) Results of total plate yield.

Fig. 8. Results of directly reheating and rolling process of slab without conditioning.

また、無手入圧延操業へ全面切り替えることにより、製品一貫歩留は 3% 向上した (Fig. 8 (c), Table 5)。

なお、スラブ表面手入費の節減や、製造工程の短縮などの効果のほかに、スラブ表面性状に影響を与える操業条件を自信もつて管理できるようになったため、たとえば、鑄型寿命を 500 チャージと従来にくらべ 2 倍以上に延ばしえている。

### 5. あとがき

40 kg/mm<sup>2</sup> 鋼について連铸スラブの手入を省略することを前提とした無手入圧延操業を一年間行ない、これまでまったく問題なく順調に推移している。これはスラブ表面欠陥の発生を防止するためにとつた多くの対策が有効であることを証明している。

Table 5. Increase of total plate yield.

Factor	Increase (%)
Abolishment of slab conditioning	0.9
Decrease of deviation in slab weight	0.8
Decrease of scrap down	0.5
Reduction of losses by better process schedule	0.8
Total	3.0

## 文 献

- 1) 長谷部, 古賀, 矢村, 筋川: 鉄と鋼, 58 (1972) 4, S 221
- 2) 日本鋼管, 福山: 第 54 回製鋼部会 (昭和 48 年 3 月)
- 3) 野崎, 高木, 鈴木, 鈴木: 鉄と鋼, 57 (1971) 11, S 673
- 4) 和田, 金丸, 山口: 鉄と鋼, 57 (1971) 11, S 455
- 5) M. J. RAY: Iron Steel, 43 (1970) 6, p. 347
- 6) 飯田, 守脇, 上田, 垣生: 鉄と鋼, 59 (1973) 4, S 89
- 7) R. ROSEGGER: Radex Rundschau, (1964) p. 277
- 8) K. G. SPEITH and A. BUNGEROTH: Stahl u. Eisen. 84 (1964) 8, p. 1297
- 9) R. STROBLE and L. H. BARR: Iron Steel Eng. 47 (1970) 6, p. 86
- 10) 大和製鋼, 本社: 第 51 回製鋼部会 (昭和 47 年 3 月)
- 11) 市川, 岸田, 南村: 鉄と鋼: 57 (1971) 11, S 457
- 12) 日新製鋼, 呉: 第 50 回製鋼部会 (昭和 46 年 10 月)
- 13) V. S. RUTES, et al: Stal in Eng. (1969) 7, p. 631
- 14) 森, 田中, 平居: 鉄と鋼, 57 (1971) 9, p. 1 500
- 15) R. A. GARVEY: Iron Steel Eng. 47 (1970) 12, p. 61
- 16) 鈴木, 小舞, 田村, 野呂: 鉄と鋼, 59 (1973) 4, S 90
- 17) 鈴木, 川名, 関根, 児玉: 鉄と鋼, 58 (1972) 11, S 425