

## 技術報告

UDC 621.746.047 : 669.14-147-412 : 669.141.241.4

## 連铸用リムド相当鋼の製造法

河野 拓夫\*・長澤 元夫\*<sup>2</sup>・椿原 治\*<sup>3</sup>  
細野 和典\*<sup>4</sup>・江坂 一彬\*・石飛 精助\*

## Pseudo-rimmed Steel by Strand Casting

Takuo KOHNO, Motoo NAGASAWA, Osamu TSUBAKIHARA,  
Kazunori HOSONO, Kazuyoshi ESAKA, and Seisuke ISHITOBI

## Synopsis :

In order to manufacture pseudo-rimmed steel by continuous casting, which has been strongly required, a stable production system is established by improving continuous casting process together with BOF and RH processes as one totalized process.

In the BOF, oxygen blowing is ended at the constant carbon content of 0.10% for the reduction of FeO content in slag. Precise composition adjustment is made in the following RH process. Furthermore, the constant high speed casting under non-oxidizing condition is employed to ensure the good surface quality of cast slabs.

## 1. 緒 言

軟質で表面性状の良好な薄板材として、リムド鋼やキャップド鋼が永年使用されてきた。これらの鋼種は、製造時に適度なリングアクションをさせる必要性から、連铸法では製造が困難であり、長く造塊法が王座を独占するところであつた。しかし、近年、連铸法は目覚ましい技術進歩を遂げ、品質の均一性、高歩留、省エネルギーの点で、造塊法を完全に凌駕するにつれ、連铸によるリムド相当鋼種の開発が強く望まれている。

このような状況にあつて、全連铸方式を採用していた大分製鉄所は昭和 47 年の操業開始以来、リムド相当弱脱酸鋼の開発にひととき強い意欲を持ち続けた。その結果単に連铸工程の工夫にとどまらず、転炉、RH 等の前工程と、熱延、冷延等の後工程を含む一貫したプロジェクトを進め、現在これの安定製造体制を確立するに至つた。

本報では、連铸用リムド相当弱脱酸鋼の製鋼工程における製造法について述べる<sup>1)</sup>。

## 2. 製造上の問題点

リムド、キャップド鋼と同等の品質を有し、適用用途

に汎用性がある連铸鋼は、従来アルミキルド、シリコンキルド鋼があるが、亜鉛めつき密着性、冷延製品のテンパーカラー等の諸々の問題点をもつことがあきらかになつた<sup>9)</sup>。これらの諸問題点を解消するため、Si を用いず、最小限の Al のみによつて脱酸し、より汎用性があつて、品質的に安定した新鋼種を開発した。その代表的成分例を Table 1 に示す。表から明らかなように、脱酸元素が少なく、弱脱酸鋼であるため、製造上の最大の問題は、スラブ表面のピンホール発生防止である。そのため、転炉の吹錬を含めた高度な溶鋼処理特に脱酸技術が不可欠であり、精度の高い [Al] コントロールが要求される。鑄造時においても、小さなトラブルがピンホールを誘起するため、転炉～連铸間のマッチング、溶鋼温度コントロールおよび安定した鑄造技術が必須である。またスラグおよび空気による溶鋼再酸化が起りやすい

Table 1. Example of chemical composition of pseudo-rimmed steel.

(wt %)						
C	Si	Mn	P	S	Al	N
0.04	0.01	0.25	0.015	0.014	0.006	0.0022

昭和 54 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 55 年 10 月 31 日受付 (Received Oct. 31, 1980)

\* 新日本製鉄(株)大分製鉄所 (Oita Works, Nippon Steel Corp., 1 Oaza-Nishinosu Oita 870)

\*<sup>2</sup> 新日本製鉄(株)大分製鉄所(現: 君津製鉄所) (Oita Works, Now Kimitsu Works, Nippon Steel Corp.)

\*<sup>3</sup> 新日本製鉄(株)大分製鉄所(現: 堺製鉄所) (Oita Works, Now Sakai Works, Nippon Steel Corp.)

\*<sup>4</sup> 新日本製鉄(株)大分製鉄所(現: 広畑製鉄所) (Oita Works, Now Hirohata Works, Nippon Steel Corp.)

ボトム, トップ, 連々鑄継目部はミドル部に比べ, ピンホールが発生しやすく, これら非定常部の表面性状を安定させることが, 製造上非常に重要である. すなわち転炉から鑄造までの全製鋼工程のすぐれた各固有技術をうまく組み合わせることにより, 初めて製造可能と言える.

第2の問題点はスラブ段階での品質保証である. ピンホールが発生しやすいという宿命を有する本鋼種の工業化を実現する際, スラブ段階での品質保証体制の確立が必要である. ノースカーフィング, 特にスラブの表面検査が困難な高温スラブの直送圧延を実施する際には, スラブ品質チェックのための機器や技術, および製造条件によるスラブ手入れ方法の変更等の確かなピンホール検出法を確立することが必須である.

### 3. 鑄片性状と製造プロセス

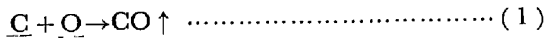
#### 3.1 製造プロセス

Table 2 に製鋼工程製造プロセス一覧表を示す. 転炉, RH 軽処理<sup>4)</sup>, 連続鑄造, およびスラブ精整から製造プロセスは成り立っている. まず転炉では, 吹止時の鋼中酸素を低減するだけでなく, スラグ中の Total Fe をも低位に保つことが, 次工程の RH における脱酸のばらつきを小さくするために必要である. この点を考慮して当工場は RH-OB<sup>4)</sup> による脱炭を前提として, 全鋼種とも吹止 [C]=0.10% と一定吹止条件を指向している<sup>3)</sup>. 出鋼時には転炉スラグの溶鋼鍋への流出が最小限となる対策が必要である. さらに OB により脱炭を行つ

Table 2. Production process of pseudo-rimmed steel.

Process	Problem	Important control items
BOF	Blowing	1) Constant middle-carbon end-point (0.10%) <sup>3)</sup> 2) Stabilization of end-point oxygen at low level 3) Decrease of total Fe in slag
RH	Treating method	1) Decarburization by RH-OB <sup>4)</sup> (Little increase of free O in molten steel during oxygen blowing in RH unit) 2) Vacuum deoxidation by light RH treatment <sup>4)</sup> 3) Minimization and stabilization of the oxygen content of molten steel at the time of Al addition 4) Standardization of the amount of Al addition, according to free oxygen measurement in steel
CC	Withdrawal	1) High withdrawal speed 2) Completely constant speed in the whole casting length (No change in casting speed during ladle exchange by using large tundish (65T))
	Prevention of reoxidation and of abnormal casting	1) Use of long shroud between ladle and tundish to prevent reoxidation 2) Assurance of sufficient quantity of molten steel in tundish at the joint of sequence casting 3) Prevention of ladle slag flowing into the tundish
Slab conditioning	Conditioning method	1) No surface conditioning 2) Hot charging of slabs into reheating furnace (Charging at about 700 °C)
	Assurance of quality	1) In case of abnormal operation conditioning method and final product application are changed by computer system 2) Application of apparatus for checking slab quality

た後、RH 軽処理で(1)式の反応により脱酸し、合金投入時の低酸素値を確保するので精度の高い脱酸コントロールが可能である。



なお脱酸時の合金投入量は、酸素濃淡電池により測定した鋼中自由酸素濃度により決定される。連続鑄造では、高速鑄造<sup>5)</sup>を前提とする。連々鑄継目部においても、鑄造速度を低下させず、常にモールド内での十分なシェルウォッシング効果を得るため、65t の大型容量タンディッシュ<sup>6)</sup>を使用している。またボトム、トップ部においても、空気やスラグによる再酸化原因のピンホール発生に対する防止手段を講じている。また溶鋼鍋とタンディッシュ間のロングノズル使用、多連々鑄時のタンディッシュ内スカム除去、Ar ガス吹き込みによるイマーショノズル詰り防止対策等が必須であることはいうまでもない。スラブは原則として黒皮のままホットストリップミルへ送られる。しかし鑄造作業時何らかのトラブルが発生した時には、その異常のコンピュータへのインプットによりマシンスカーフが実施され、さらにスラブ表面品質チェック機器、およびスラブ内質の迅速チェック機器等により万全の品質保証体制を確立している。こうしてぶりき材を含めた全スラブの約 90% が約 700°C の温度で、ホットストリップミル加熱炉へ装入されるホットダイレクトチャージが実施されている。

3.2 鑄片性状と考察

3.2.1 ピンホール発生条件

一般にピンホール発生条件は(2)式のように書ける。

$$P_{CO} + P_{N_2} + P_{H_2} > P_0 + F + \Sigma$$

ここで  $P_0$  は大気圧、 $F$  は溶鋼静圧、 $\Sigma$  は表面張力の項である。ただしピンホールの径は 0.5~1.0 mm であるため、表面張力は十分小さいとし、無視した。ガス分圧は平衡計算により求めた。 $P_{CO}$  については Al-Si-Mn 複合脱酸を考え、藤沢らの求めた等活量線図<sup>7)</sup>と基礎式(3)、(4)式により  $a_{Al_2O_3}$  を求め、(5)式により  $a_o$  を求めた。

$$\begin{aligned} (\text{SiO}_2) + 2\text{Mn} &= \text{Si} + 2(\text{MnO}) \\ \log K_1 &= \log(a_{\text{Si}} \cdot a_{\text{MnO}}^2 / a_{\text{Mn}}^2 \cdot a_{\text{SiO}_2}) \\ &= -599/LT - 1.92 \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1.5(\text{SiO}_2) + 2\text{Al} &= 1.5\text{Si} + (\text{Al}_2\text{O}_3) \\ \log K_2 &= \log(a_{\text{Si}}^{1.5} \cdot a_{\text{Al}_2\text{O}_3} / a_{\text{Al}}^2 \cdot a_{\text{SiO}_2}^{1.5}) \\ &= -18.813/LT - 6.256 \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2\text{Al} + 3\text{O} &= (\text{Al}_2\text{O}_3) \\ \log K_3 &= \log(a_{\text{Al}_2\text{O}_3} / a_{\text{Al}}^2 \cdot a_{\text{O}}^3) \\ &= -64.900/LT + 23.888 \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

このようにして求めた  $a_o$  を用いて、(6)式により  $P_{CO}$

を計算した。また  $P_{N_2}$  は(7)式、 $P_{H_2}$  は(8)式により求めた。

$$\begin{aligned} \underline{C} + \underline{O} &= \text{CO} \\ \log K_4 &= \log(P_{CO} / a_C \cdot a_O) = 1160/LT + 2.003 \\ &\dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{N} + \underline{N} &= N_2 \\ \log K_5 &= \log(P_{N_2} / [\%N]^2) = 376/LT + 2.496 \\ &\dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{H} + \underline{H} &= H_2 \\ \log K_6 &= \log(P_{H_2} / [\%H]^2) = 3.810/LT + 3.182 \\ &\dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

ここで温度は凝固時にピンホールが発生するという前提から、(9)式により計算した凝固温度を使用した。

$$\begin{aligned} LT &= 1538 + 273 - \{55[\%C] + 80[\%C]^2 \\ &\quad + 13[\%Si] + 4.8[\%Mn]\} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

なお以上の計算において凝固時の溶質濃度を考慮し、 $i$  成分の凝固界面濃度  $C_i$  は(10)式のように書ける。

$$C_i = C_L / K_i \dots\dots\dots (10)$$

ここで  $C_L$  はバルクの液相濃度、 $K_i$  は  $i$  成分の平衡分配係数であり、計算に用いた各元素の  $K_i$  を Table 3 に示す。

Fig. 1 は [Sol. Al]、 $P_{CO}$  およびピンホール発生との関係を示したものである。同図には、溶鋼静圧を無視し、[N] と [H] 量を仮定し、限界  $P_{CO}$  を点線で示している。計算によるピンホール発生限界は実際のデータとほぼ一致しており、CO ガス分圧として約 0.8 気圧と考えてよいであろう<sup>8)</sup>。

3.2.2 [Al] コントロール

a) 脱酸プロセス

Fig. 2 に Al killed 鋼における成品 [Al] 分布を脱酸方法別に示す。RH 軽処理法は通常の出鋼時脱酸法に比べ 1/3、または CAS 法りに比べても約 1/2 にばらつきを減少させることが可能である。従つて精度の高い脱酸コントロールが要求される新鋼種には、RH 軽処理法を利用した脱酸を当初より指向した。

b) スラグの影響

Table 3. Equilibrium distribution coefficient on solidification.

Element	$K_i$
C	0.20
N	0.25
H	0.27

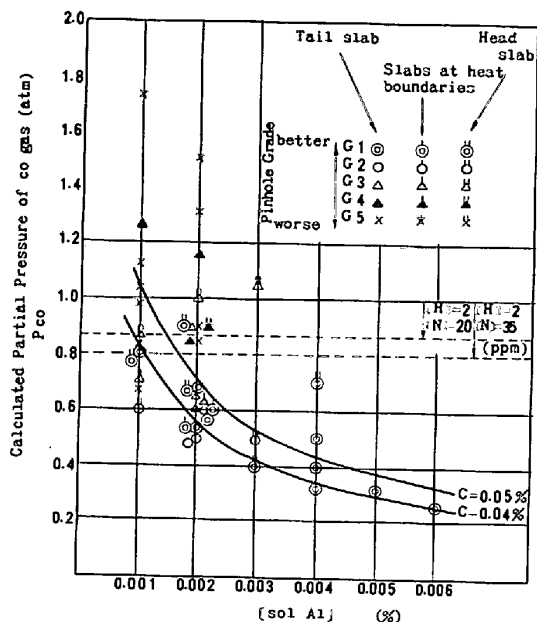


Fig. 1. Relation between calculated  $P_{CO}$  and [soluble Al] content with pinhole grade of cast slabs.

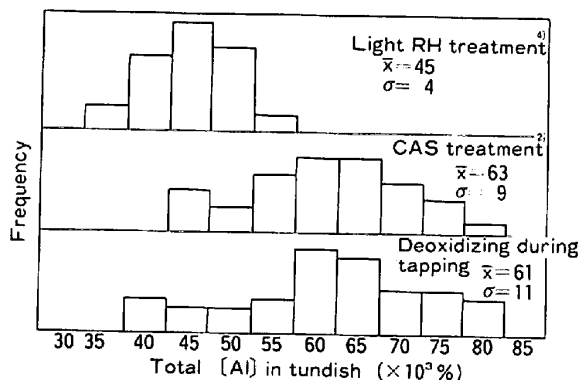


Fig. 2. Frequency of total [Al] content in tundish by different deoxidation methods. (Al-killed steel)

Fig. 3 に転炉での吹き止め時から、溶鋼鍋内の铸造直前までのスラグ中 [T. Fe] 値の推移を、吹き止め (C) = 0.10% の一定吹き止めで [T. Fe] 値が低位な場合と、吹き下げて [T. Fe] 値が高い場合のそれぞれの代表的な例を示した。吹き止め時相当な差があつても、铸造直前には、約 10% 程度に収束し、ほとんど差はなくなる。また Fig. 4 に RH 処理中から铸造直前までの溶鋼鍋中の [T. Fe] 値の下がり代と、鋼中 [Sol. Al] の下がり代との関係を示した。[T. Fe] 値の下がり代が大きい程、[Sol. Al] の下がり代も大きく、かつばらつきも大きくなる傾向がある。これ等より [Al] のばらつきを小さくするためには、吹き止めスラグ中の [T. Fe] 値を低く、かつ鍋上に流出する量を少なくすることが効果的である。そこで前述のように我々は [C]=0.10% とやや高めの炭素域で吹き止め、RH-OB による脱炭を

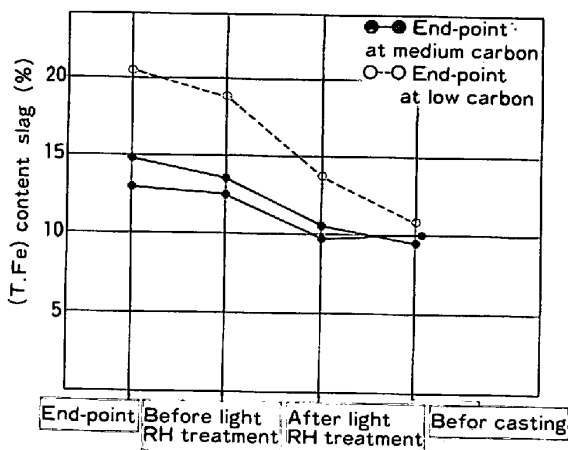


Fig. 3. Change in (T.Fe) content of slag.

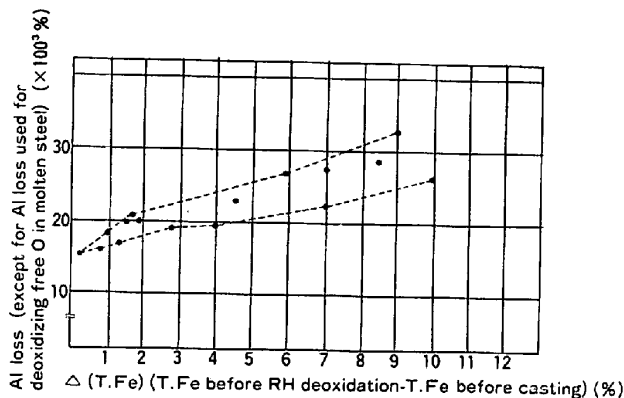


Fig. 4. Relation between change in (T.Fe) content of ladle slag and Al loss.

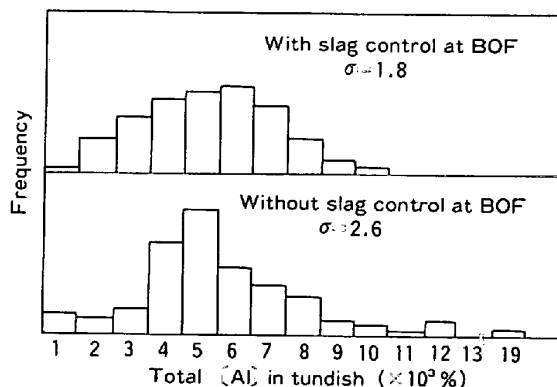


Fig. 5. Frequency of total [Al] content in tundish with or without slag control at BOF.

実施するプロセスを採用した。Fig. 5 に以上述べたスラグ対策実施前後における成品 [Al] 値の分布を示した。スラグ対策により、成品 [T. Al] 値のばらつきはさらに減少することがわかる。

3.2.3 鋼中 [N] レベル

この新鋼種はスラブ表面のピンホール防止対策のみならず、成品特性上、低 [N] が要求される。このため転

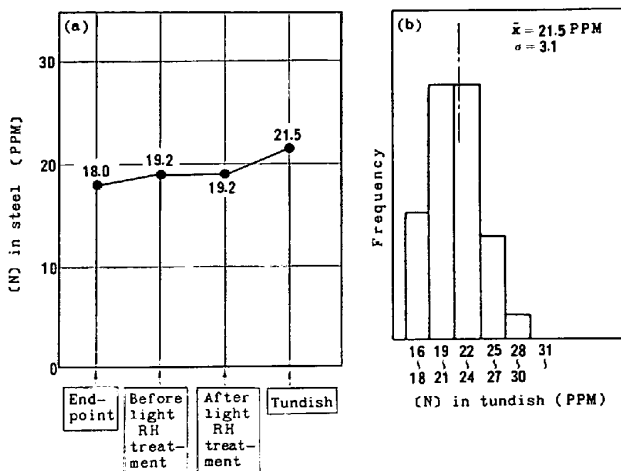


Fig. 6. Change and frequency of [N] content.

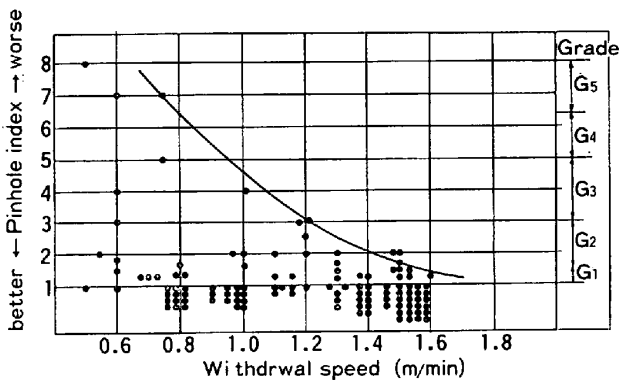


Fig. 7. Relation between withdrawal speed and pinhole index at the heat boundaries.

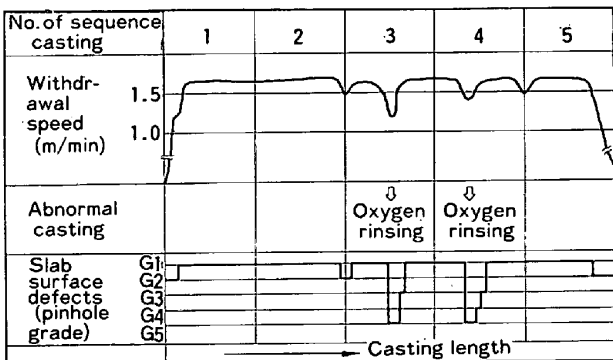


Fig. 8. Relation between slab surface quality and casting conditions.

炉から铸造まで、断气を中心とした種々の対策を実施した。Fig. 6 に示すように、吹き止めから铸造までの[N]ピックアップは非常に小さく、また成品でも約 22 ppm と低レベルを達成している。

3.2.4 铸造方法

この弱脱酸鋼を铸造する際、ピンホールがとくに発生しやすいボトム、トップ、連々铸継目部等の非正常部に

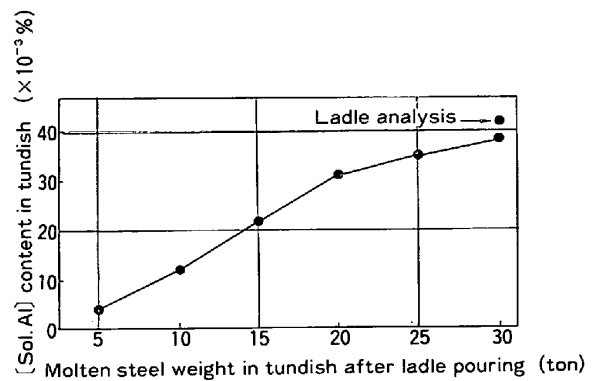


Fig. 9. Change in [Soluble Al] contents of Al-killed steel at the start of casting.

における铸造方法がキポイントである。従来、連々铸継目部ではタンディッシュ湯量の制約から、铸造速度を下げざるを得なかつた。しかし、Fig. 7 に示すように、ミドル部と同様、連々铸継目部においても铸造速度が低下する程、ピンホールは増加する傾向にある。従つて铸造速度を低下させずに、高速度で铸造鍋の交換を行うことが望ましい。これを実現するためには、大容量タンディッシュが有利であることから、当所では 65 t タンディッシュを採用した。またこれにより鋼中介在物の減少、铸造条件の安定、能率アップ等多くの副次的効果をもたらしている。Fig. 8 に铸造状況とスラブ表面疵との対応例を示した。連々铸継目部で一定速にて铸造した部分では、やや悪化の傾向がある。また酸素ノズル洗浄等の铸造異常の発生した部分では明らかに表面性状は悪化しており、スクラップ化される傾向も非常に高い。従つてこの新鋼種の铸造時には、とくにこのような铸造異常を防止する技術が必須である。

一般に铸造初期のレードル～タンディッシュ間の再酸化の悪影響を少なくするため、铸造開始時タンディッシュ内溶鋼量をできる限り増加させる方が望ましい。Fig. 9 はアルミキルド鋼における铸造開始時のタンディッシュ内溶鋼量と [Sol. Al] との関係を示したものである。铸造開始時のタンディッシュ内溶鋼量が多い程、[Sol. Al] は高く、铸造初期の再酸化の影響は薄められることがわかる。これからもタンディッシュ容量は大きいことが望ましい。

最終スラブにあたるトップ部では、基本的に溶鋼鍋からタンディッシュへの溶鋼の注入は終了している状態にある。従つてトップ部の品質劣下原因は、タンディッシュ内に注入されたスラグによる溶鋼の酸化と、铸造速度低下との複合要因と考えられる。Fig. 10 はトップ部とミドル部とのモールド内 [T. O] の差とピンホールとの関係である。トップ部での [T. O] のピックアップが大

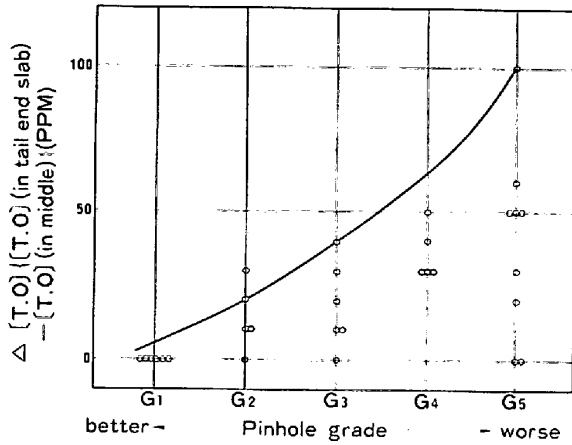


Fig. 10. Relation between oxygen pickup in tail end slab of cast strand and pinhole grade.

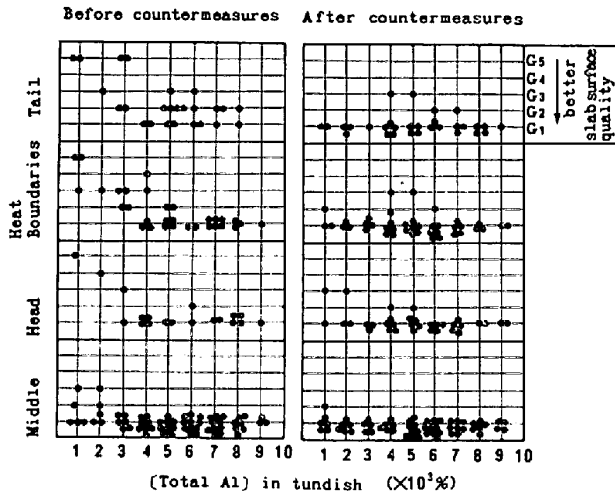


Fig. 11. Pinhole grade before and after the countermeasures in casting operation.

きい程、ピンホールは増大している。従つて鍋内からタンディッシュへのスラグの流出防止対策、またはスラグの不活性化対策が必要である。

Fig. 11 に以上述べた铸造上の全対策実施前後でのスラブ部位別にピンホール発生状況を示した。ミドル片は対策前でもほぼ良好レベルにあつたが、トップ片、ボトム片、および連々鑄継目部の非常部では、低 [Al] 領域において確実に悪化する傾向があつた。しかし対策実施後には、非常部の低 [Al] 領域においても、良好レベルを保持できるようになつた。

3.2.5 鑄片介在物レベル

Fig. 12 に新鋼種およびシリコンキルド鋼のスラブ厚み方向の介在物分布図を示した。シリコンキルド鋼では湾曲型連鑄機特有の Loose 面より約 1/5 厚のところ介在物量のピークがみられる。しかし新鋼種の介在物量は冷延鋼板用として製造している。シリコンキルド鋼に比べ 1/4~1/5 と非常に低い。

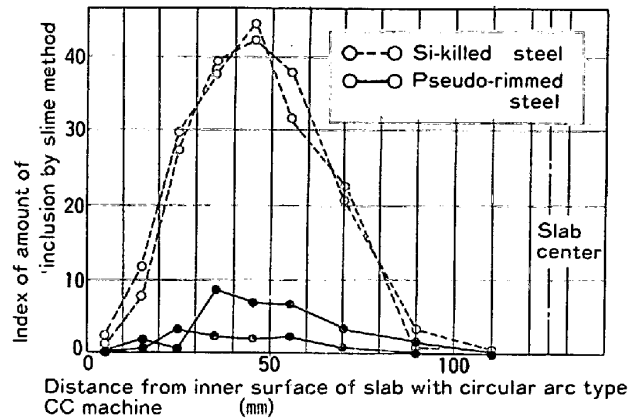


Fig. 12. Distribution of non-metallic inclusions in cast slab.

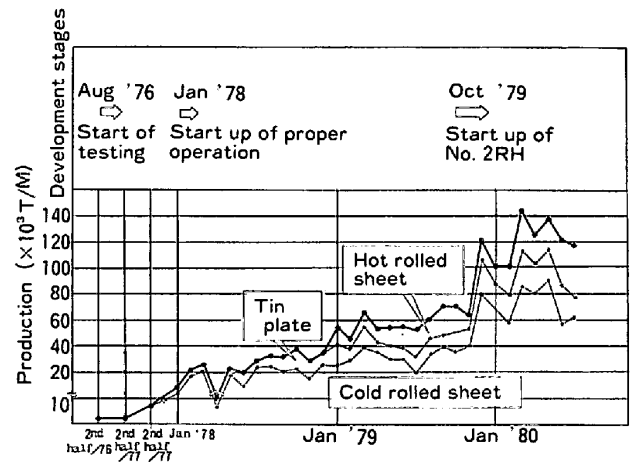


Fig. 13. Transition of production level of this pseudo-rimmed steel.

4. 製造実績

Fig. 13 にテストを開始して以来、現在までの新鋼種生産量実績および開発経緯一覧表を示す。現在約 10~14 万 t /M 製造中である。

5. 結 言

本報告は、全連鑄方式の大規模一貫製鉄所で実績を持つ、リムド相当鋼種の製造法について述べた。その基本は材料の使用性能を満足する成分設計に基づき、転炉から鑄造までの一貫技術の確立である。特に、これまで最大のネックになつていた、鑄造時のピンホール対策として、正確な脱酸コントロールと、鑄造時の再酸化防止技術、及び一定、高速鑄造技術の確立によつて克服することができた。

文 献

- 1) 河野拓夫, 椿原 治, 石飛精助, 江坂一彬, 長澤元夫: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S752

- 
- 2) T. KOHNO, T. YUKAWA, and O. TSUBAKIHARA: *Steelmaking Proceedings, ISS-AIME*, 62 (1979), p. 125
  - 3) 桑原達朗, 原田慎三, 穴吹 貢, 大和田靖憲: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S818
  - 4) Z. YAMAMOTO, H. NAKAGAWA, and T. SHIMA: *Proc. of the 3rd IISC, ASM & AIME, Chicago*, (1978), p. 615
  - 5) Z. YAMAMOTO, H. NAKAGAWA, and T. SHIMA: *Steelmaking Proceedings, ISS-AIME*, 61 (1978), p. 222
  - 6) 溝口庄三, 石飛精助, 吉田基樹, 脇田淳一: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S863
  - 7) 藤澤敏治, 坂尾 弘: 鉄と鋼, 63 (1977) 9, p. 1494
  - 8) 溝口庄三, 脇田淳一: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, S242
  - 9) 河野拓夫, 長澤元夫, 椿原 治, 細野和典, 江坂一彬, 石飛精助: 鉄と鋼, 67 (1981) 8, p. 1248
-