

論 文

UDC 621.746.047 : 621.771.237

連続鋳造法による薄鋼板用鋼の製造について*

根本秀太郎**・川和高穂**・佐藤秀樹***・阪本英一****

Production of Steels for Sheet and Coil in Continuous Casting

Hidetaro NEMOTO, Takaho KAWAWA, Hideki SATO, and Eiichi SAKAMOTO

Synopsis:

A number of new casting techniques to produce steels for sheet and coil in continuous casting have been developed and quality of continuously cast slabs with $200 \times 1600 \text{ mm}^2$ and products have been investigated. The results are summarized as follows.

- 1) It is desirable to decrease oxygen content as low as possible by pre-deoxidation before aluminum addition in converter.
- 2) A new method, which is characterized by Al-wire addition with rapid rate into molten steel stirred by inert gas injection in ladle, has been developed. This method results in increase of yield and accurate control of soluble Al content in steel.
- 3) The inert gas purging from the bottom of ladle gives a uniform bath temperature and is very beneficial in cleaning the bath.
- 4) A new sealing method for perfectly preventing the oxidation of steel stream from open air has been developed. By the application of this method, the content of inclusions in steel has been reduced to 20 to 40 ppm, which have been calculated in terms of oxygen content in steel in tundish.
- 5) A new nozzle is designed so that stagnant zone of steel bath is not formed in mold.

(Received Mar., 19, 1971)

1. 緒 言

最近の鉄鋼業においては他産業の場合と同様に設備の大型化、自動化、連続化が進行している。製鋼作業の中でも比較的近代化の遅れていた造塊部門への連続鋳造法の導入により機械化と連続化の端緒が開け、歩留り向上、品質の安定のメリットからも今後の発展が期待されている。

連続鋳造法の中では量的な面および適用鋼種の面から広幅スラブ用連続鋳造機が多く採用されてきた。一方、製品に関しては自動車産業や電器産業の発展に伴い薄鋼板用鋼の需要が旺盛で、これまでは普通造塊におけるリムド鋼ないしキャップド鋼薄鋼板が圧倒的な量を占めていたが、連続鋳造の導入は、当然のことながら薄鋼板用鋼を連続鋳造することが必要になりつつある。

京浜製鉄所の彎曲型広幅スラブ用1ストランド連続鋳機は稼動以来きわめて順調な操業を続けており、この間に種々の新技術開発に努力した結果、高能率の生産のみでなく、鋳造鋼種は抗張力 60 kg/mm^2 以上の高張力鋼から、表面および内面性状のすぐれた冷延用薄鋼板鋼まで拡大した。本報告は連続鋳造による薄鋼板用鋼の製造法について報告する。

2. 試 験 方 法

本研究は1967年3月京浜製鉄所のスラブ連続鋳機が稼動した直後より開始された。そのため京浜製鉄所厚板製造部の100t転炉で薄鋼板用鋼を溶製し、スラブ連続鋳機で鋳造し、同所薄板製造部の圧延ラインで圧延した。上記転炉で溶鋼はまず炉内における予備脱酸を行ない、出鋼時にMnまた場合によってはSiを添加する。Alの添加方法は2通りあつて従来法と新たに開発したWire Feeder法(略してWF法)とである。取鍋底部にとりつけられたポーラスレンガを通して不活性ガスを吹込みながら、WF法によりAl添加を行ない、温度、成分の均一化をはかつた後に鋳造した。彎曲型スラブ連続鋳機の概要はTable 1に示すとおりである。

鋳造に際しては取鍋-タンディッシュ間の空気酸化を防止する装置を設けた。タンディッシュノズルは浸漬型ノズルで鋳型内溶鋼面はパウダーで覆いながら鋳造した。ス

* 昭和45年10月本会講演大会にて発表

昭和46年4月19日受付

** 日本鋼管(株)技術研究所 工博

*** 日本鋼管(株)技術研究所

**** 日本鋼管(株)京浜製鉄所

Table 1. Operational data of continuous casting.

1) Mould	Length	700 mm
	Foot roller	300 mm
	Mold cooling water	4~6m ³ /min
2) Roller apron	Support roller	3 100 mm
	Guide roller	5 400 mm
	Cooling water	0.8~1.1 l/kg steel
3) Casting data at present	Casting speed	650 mm/min
	Tapping temperature	1 620~1 660°C
	Casting temperature	1 530~1 570°C
	Oscillation stroke	8~15 mm
	cycle	40~90 mm/min

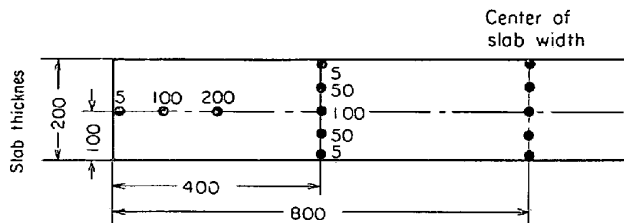


Fig. 1. Analysed position on slab cross section.

ラブ鑄片は薄板製造部に送られ、ここで軽いスクーフィングを行ない、以後所定の工程で熱間圧延、酸洗、冷間圧延、調質圧延を行ない薄鋼板とした。

サンプリングは転炉の吹錬終了時と予備脱酸後に石英管によつて直接炉内から採取した。さらに取鍋中へのガス吹込中、鑄造中にもサンプリングを行ない、諸成分の変化を調査した。スラブ鑄片は鑄造初期 (Bottom)、中期 (Middle)、末期 (Top) に相当する箇所を切断して偏析状況、表面性状等を調査した。分析試料の採取位置は Fig. 1 のとおりである。なお試験を行なつた鋼種の成分範囲を Table 2 に示した。

3. 薄鋼板用連続鑄造鋼種

薄鋼板は Al キルド鋼とリムド鋼に大別される。Al キルド鋼の連続鑄造についてはヨーロッパ、アメリカなどで以前から試験が進められ、実生産に応用されている²⁾。しかし一般に Al キルド鋼は溶鋼中の脱酸生成物(主に Al₂O₃) により鑄造中にタンディッシュノズルの閉塞を生じやすく作業上の困難を伴う。当社においては1967年以來薄鋼板用 Al キルド鋼製造の試験を行ない、種々技

術的検討を進めてきた。すなわちタンディッシュの閉塞を防止し、鋼板の表面性状を良好に安定させるために従来からの吹錬技術を生かし、特殊脱酸法の開発、鑄造前の不活性ガス吹込み、浸漬型ノズルの使用をはじめ種々の新技術の開発を行がつてきた。一方、連続鑄造が大幅に従来の造塊法にとつてかわるためには製鋼量の大半を占めるリムド鋼あるいはリムド鋼相当鋼種の連続鑄造が可能でなければならない。リムド鋼の連続鑄造についてはいくつかの報告³⁾⁴⁾⁵⁾があるが、鑄型内における溶湯のリミシングアクションを調整することの困難さ、リムド鋼中に発生する気泡によつて熱伝導が減少するため、引抜速度をキルド鋼の場合よりかなり小さくする必要があること、さらに切断されたスラブの断面に露出する気泡が加熱炉で酸化し、歩留低下をきたすことなどを考慮すれば、リムド鋼の連鑄は不可能でないにしても経済的ではないと考えられる。当社においては連続鑄造で製造するリムド相当鋼種として、Al キルド鋼の連続鑄造および本鋼種よりも作業性および生産性が良好で、かつ品質的にリムド鋼と同等なものを得るため、1969年以來新鋼種の開発を続けてきた。

以下に Al キルド鋼およびリムド相当鋼種を連続鑄造で製造する際にとられた種々の技術的検討事項につき順を追つて説明する。

4. 転炉炉内予備脱酸

100 t 転炉に溶製した鋼の吹錬終了時の C-O 関係を Fig. 2 に示す。連続鑄造に要する時間およびその間の温度降下を加味して吹錬終了時および出鋼時の溶鋼温度は高くしている。そのため送酸量は多くなつて C% は低目となり、必然的には O% が高くなつている。図中実測の C-O 関係は温度と平衡する C-O 曲線よりはかなり高い O% となつていることがわかる。Al 添加前の O% があまり高いと Al の歩留が低下し、かつ Al 添加時の脱酸生物量が多いことになる。したがつて Al 添加前の O% をできるだけ低くするためにフェロアルミによる炉内予備脱酸を行なつた。フェロアルミ中の Al 含有量は約 8.5% 程度である。フェロアルミ添加後の C-O 関係は Fig. 3 に示すように予備脱酸により O% は 200~500 ppm 低下する。Al キルド鋼の場合は予備脱酸後出鋼し、その後 WF 法で Al を添剤する。Al 添加

Table 2. Range of concentration of steel for cold rolled sheet.

Concentration	C	Si	Mn	P	S	sol. Al
wt %	<0.10	<0.10	<0.50	<0.030	<0.030	<0.070

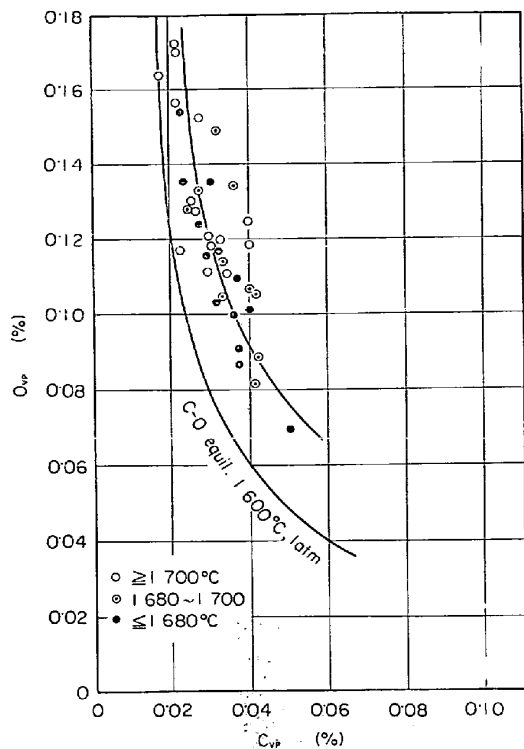


Fig. 2. Relation between C_{VP} and O_{VP} at the end of blowing. (C_{VP} ...end point C, O_{VP} ...end point O)

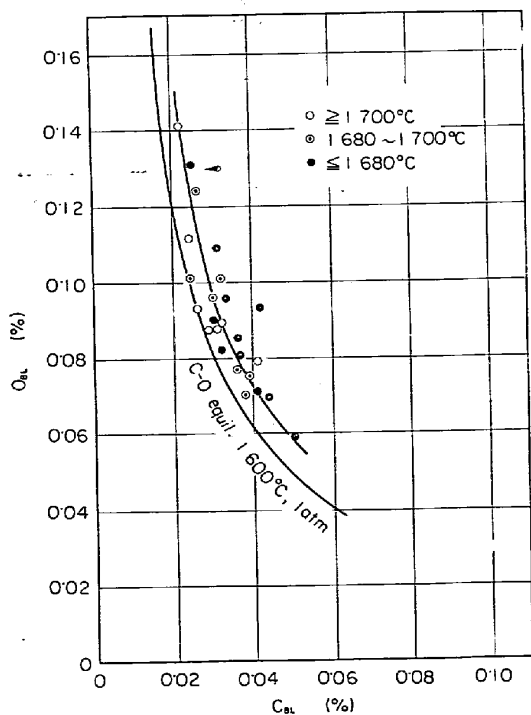


Fig. 3. Relation between C and O after Ferro-Al addition. (C_{BL} ...C after Ferro-Al blocking, O_{BL} ...O after Ferro-Al blocking)

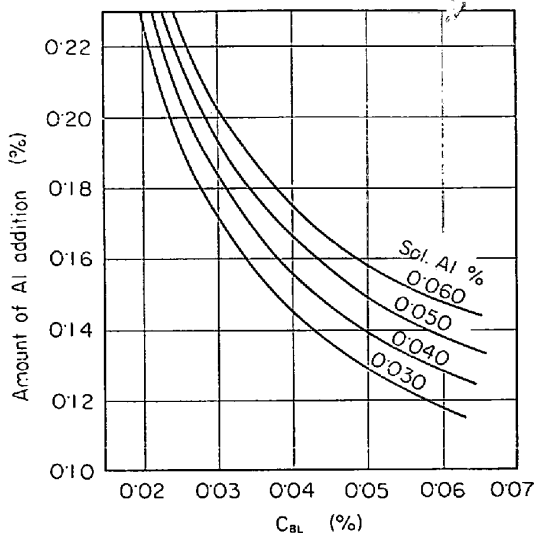


Fig. 4. Amount of Al addition dependent on C content.

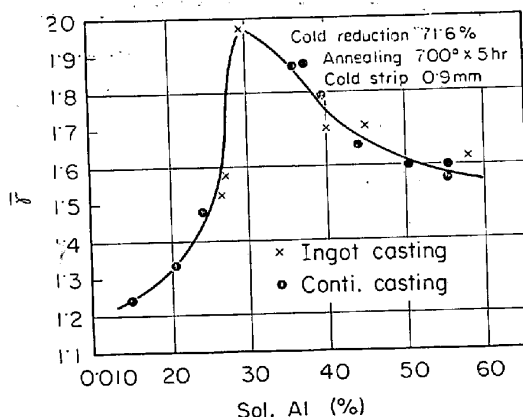


Fig. 5. Lankford value of Al-killed cold sheets (0.9 mm) from ingot casting and continuous casting.

量は Fig. 4 に示すとおり、C-O 関係から C% を基準にして O% を読みとり、この値に相当する Al 量を決定した。

5. Al 添加法

Al キルド薄鋼板の材質を支配する二つの大きな要因は sol. Al と N 含有量である。薄鋼板の深絞り性を表わす特性値であるランクフォード値と sol. Al との関係を Fig. 5 に示すが、 $N = 0.0050 \sim 0.0060\%$ の場合の sol. Al 最適範囲は $0.030 \sim 0.060\%$ である。したがってこの範囲内に Al を歩留よく適中させるためには Al の添加方法が重要になってくる。Al の歩留は添加すべき溶鋼の温度、酸素および取鍋内スラグ量に影響される。Al の添加方法には数多くの方法があるが、これまで比較的多く行なわれているのは棒状の Al を出鋼流に投げ込

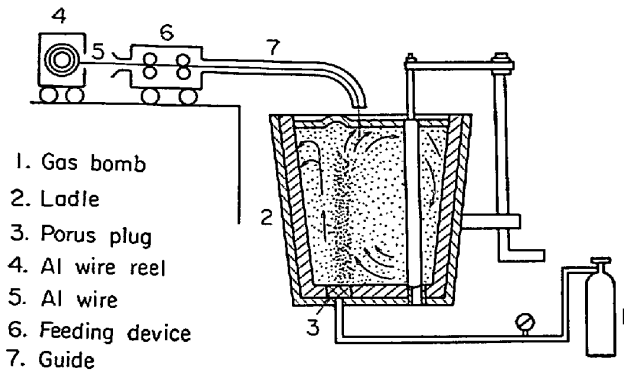


Fig. 6. Newly developed process for Al addition.

むか、コンテナに詰めこんである Al をあらかじめ取鍋に固定しておく方法(従来法)であつた。しかしこれらの方法では溶鋼との比重差から Al が浮上しやすいこともあつて取鍋内のスラグと反応したり、空気酸化を受けて Al の歩留は悪く適中精度も低かつた。そこで Al の線材を高速度で取鍋に供給し、かつ取鍋の底部にとりつけたポラスレンガから不活性ガス (Ar, N₂ ガス) を吹込んで溶鋼に攪拌を与えつつ Al ワイヤを均一に溶解させ、温度を均一にすると共に脱酸生成物を浮上分離させる WF 法を開発し、sol. Al の適中精度を向上させることができた⁷⁾⁸⁾。Fig. 6 はこの方法を模式的に示す。装置の構成は Al 線材のリールと電気モータによる駆動装置から成つている。従来法と WF 法での Al 添加法別による比較を Fig. 7 に示すが、WF 法においてはアルミ使用量が少なく済み、かつ sol. Al の幅を比較的狭い範囲に制御することができる。いま Al 歩留を(1)式で計算する。

$$\text{sol. Al}(\%) = \text{Al}_{\text{addition}}(\%) - \{54/48[\text{O}]_{\text{before Al}} + \alpha \cdot T + \beta\} \dots\dots\dots (1)$$

(1) 式において、左辺は sol. Al の計算値であり、右辺第一項は取鍋に添加する Al 量(%)を、[O]_{before Al}

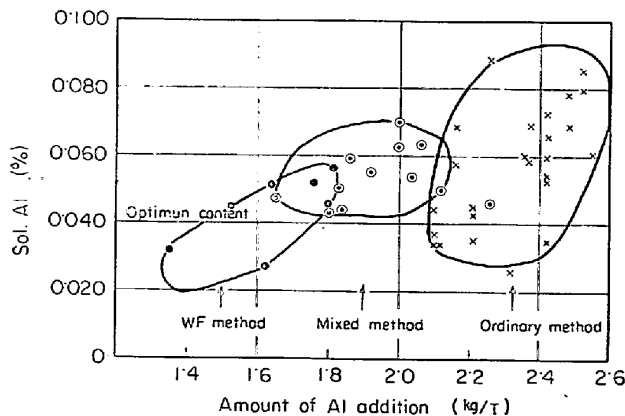


Fig. 7. Relation between amount of Al addition and sol. Al in teeming stream.

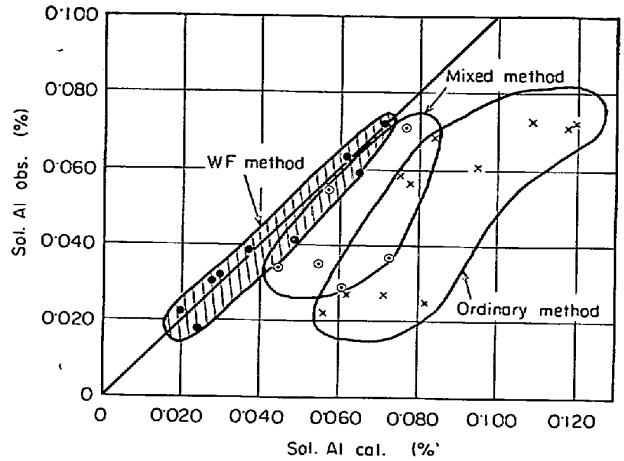


Fig. 8. Comparison between sol. Al calculated and observed for various method of Al addition.

は Al 添加前の 0% で C% から読んだ数値、54/48の係数は、 $2 \cdot \text{Al} + 3 \cdot \text{O} = \text{Al}_2\text{O}_3$ の式による酸素に見合う Al の反応量である。α, β は実験から得られた定数で α は不活性ガス吹込中の sol. Al ロスを単位時間あたりに換算した係数、β はガス吹込後から鑄造に到るまでの sol. Al ロスを示している。sol. Al 損失量は溶鋼中の sol. Al が空気酸化によつて損失するものと、取鍋およびタンディッシュ内の Si 系耐火物やスラグを還元するに要する sol. Al 損失量からなつている。なお T は不活性ガス吹込時間を示す。(1)式によれば添加 Al 量と sol. Al の値から Al の歩留を計算することができる。従来法と WF 法で Al 歩留を計算して比較した結果を Fig. 8 に示すが Al 添加法により著しい相違がみられ、従来法の Al 歩留はバラツキが大きいことが明らかである。なお同一のヒートに対して従来法と WF 法との両法を適用した場合の歩留は従来法と WF 法との中間の歩留であつた。

6. 取鍋におけるガス吹込

表面性状のすぐれた薄鋼板を製造するためには鋼中の介在物をできるだけ少なくする必要がある。また鑄造中のタンディッシュノズル閉塞を生じないために取鍋内の温度は均一でかつ高目であることが望ましい。このため鑄造温度は厳密に制御しなければならない。転炉の出鋼温度は目標値に対し ±5°C に管理し、続いて取鍋底部からの不活性ガス吹込みにより溶鋼温度の均一化をはかるとともに鑄造前の取鍋内温度は ±10°C に管理している。ガス吹込みによる温度降下は平均して 2°C/min 程度である。不活性ガスの吹込みは連鑄床の近くに設置されたデッキで行なわれる。不活性ガスが Ar ガスの場合圧力は 7 kg/cm² 以下で、1 Nm³/min 以下の流量を流

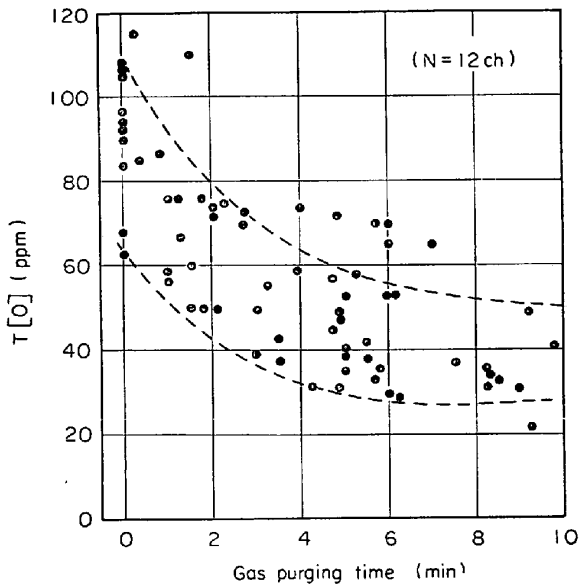


Fig. 9. Change of oxygen in ladle during gas purging after Al addition.

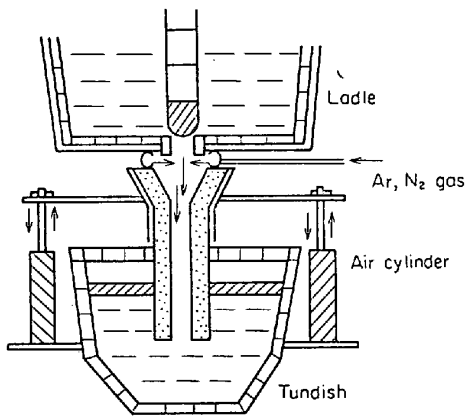


Fig. 10. Schematic figure of air sealed equipment.

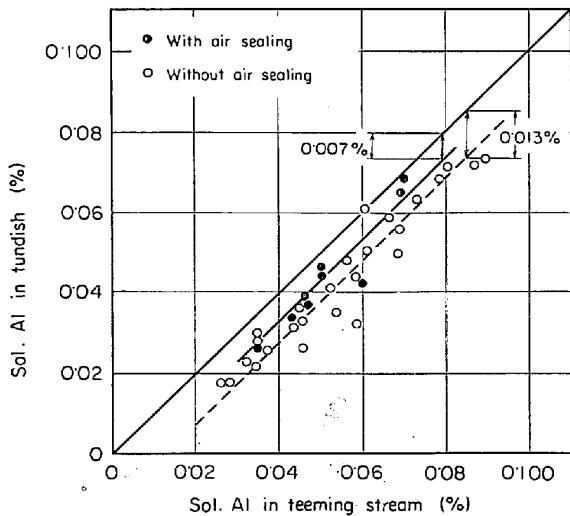


Fig. 11. Change of sol. Al from teeming stream to tundish with and without air sealing.

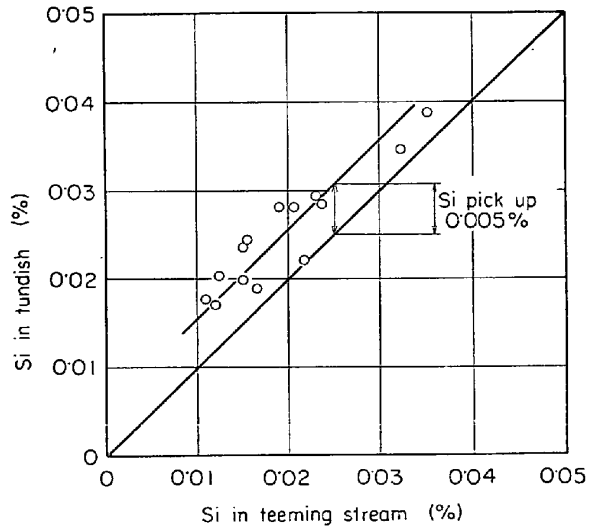


Fig. 12. Change of Si from teeming stream to tundish.

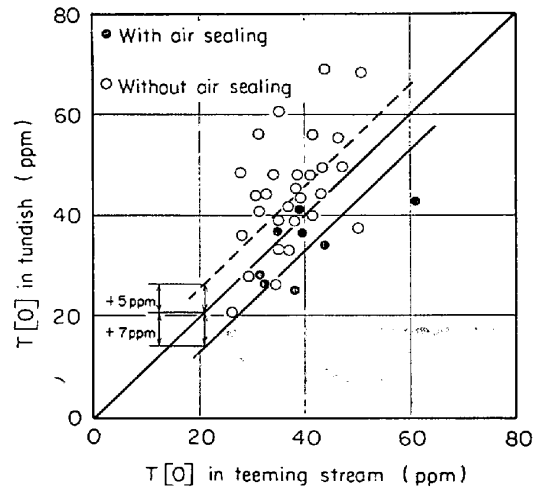


Fig. 13. Change of T[O] from teeming stream to tundish with and without air sealing.

す。不活性ガス吹込みの要領はスラグ、保温剤で覆われた溶鋼が裸面とならない程度に行なうことが必要で、あまり激しい攪拌を与えると sol. Al の酸化損失が大きく空気酸化によって生じた介在物が増加することになる。ガス吹込みの清浄化作用の効果は Fig. 9 に示されるようにガス吹込時間と介在物の減少過程を全酸素の変化としてみると明らかで、3~5 min のガス吹込みによって著しい清浄化が得られた。

7. 空気酸化防止法

取鍋-タンディッシュ間の注入流は空気酸化によって、sol. Al の減少が大きく、また新たに介在物が生成してタンディッシュ内溶鋼の酸素が高くなる。そのためこの間の空気酸化を防止するための装置を Fig. 10 に模式的に

示すようにエアシリンダーによつて耐火物製の注入管を上下させ、同時に取鍋の底部にとりつけたリング状パイプから不活性ガスを吹付けることにした。その結果は Fig. 11 に示すようにに sol. Al について注入流サンプルとタンディッシュ吸上げサンプルで比較すると空気酸化防止前には 1 ヒートの鑄造中におよそ 0.013% の sol. Al が減少していたが、本装置を用いることにより 0.007% に減少している。残りの 0.007% sol. Al ロスについては次のことが考えられる。Fig. 12 には注入流からタンディッシュ間の Si の挙動を示しているが Si の平均ピックアップ量は 0.005% 程度ある。もともと Al キルド鋼には Si の添加は行なわれないので Si のピックアップは SiO₂ 系耐火物が Al によつて還元されたためと推定される。したがつて 0.007% の sol. Al ロスは $3 \cdot \text{SiO}_2 + 4 \cdot \text{Al} \rightleftharpoons 2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \cdot \text{Si}$ の反応によつて失つた Al 量に相当している。全酸素については Fig. 13 に示すように注入流からタンディッシュ間で 7 ppm 減少し、空気酸化防止をしない場合が 5 ppm 増加しているため、その差は 12 ppm であり、本装置の効果が著しいことがわかる。

8. 浸漬ノズル

浸漬ノズルの形状と寸法とは鑄型内での溶鋼の運動に

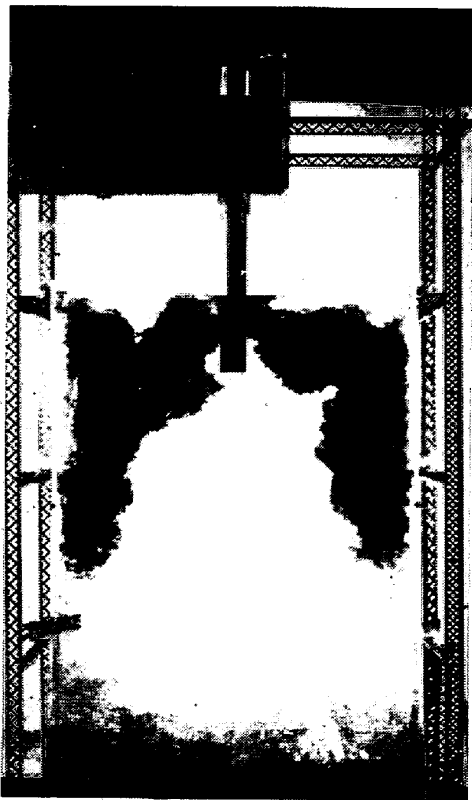


Photo. 1. Model experiment of tundish nozzle.

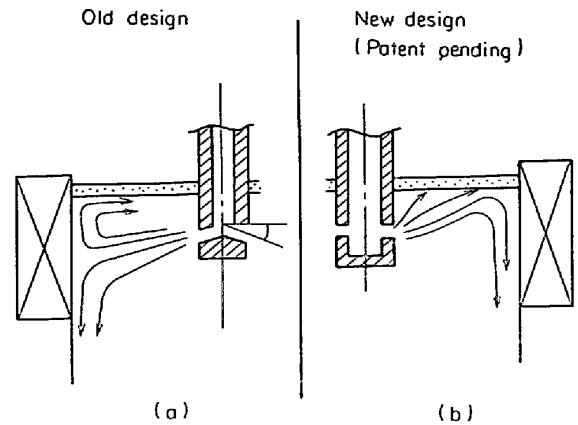


Fig. 14. Water model experiments on submerged nozzles.

直接影響し、スラブ鑄片の表面性状と凝固組織に大きく反映する。鑄型近傍での溶鋼の流動状況を観察するため 1/2.5 の透明プラスチック槽に水を用いてモデル実験を行なつた。溶鋼の運動状態をみるため相似則として Froude 数 $Fr = V^2 / L \cdot G$ (V : 速度, L : 長さ, G : 重力加速度) を相似させた。実験例を Photo. 1 に示す。このモデル実験の結果は、じめに使用していた Fig. 14 a の左側に示すような下向に出口角度を有するノズルは鑄込速度が速くなると短辺側から溶鋼がパウダーを幅方向の中心部へ押し流すため溶鋼面のパウダーの均一分布がむずかしい。またノズル近傍では両側からの流れが衝突し、ここに流れのよどみが発生して、介在物の凝集を促進することになり、鑄片の幅方向中心の表層部に大型介在物による表面欠陥を生成させる可能性を示していた。このため流れの向きが一方向で、流れの停滞域が生じないような Fig. 14 b に示すノズルデザインを開発した。このノズルはとくに介在物による表面欠陥が問題となる鋼種に応用され効果をあげている。



Photo. 2. Cross section of nozzle clogged.

9. ノズルの閉塞防止

Al キルド鋼の連続鋳造においては一次脱酸生成物または空気酸化によつて生じたアルミナクラスターによつてタンディッシュノズルの閉塞を起こしやすく、鋳造が困難になりがちである。Photo. 2 は鋳造終了後のノズルの横断面を示しているが、ノズル周辺部から内部にわたつて凝固鋼中にアルミナクラスターが密度濃く分布してゐてノズル閉塞がアルミナクラスターによつて生じたことが明らかである。ノズルの閉塞は鋳造条件からみると鋳造温度と sol. Al に支配されており、Fig. 15 に示すよう

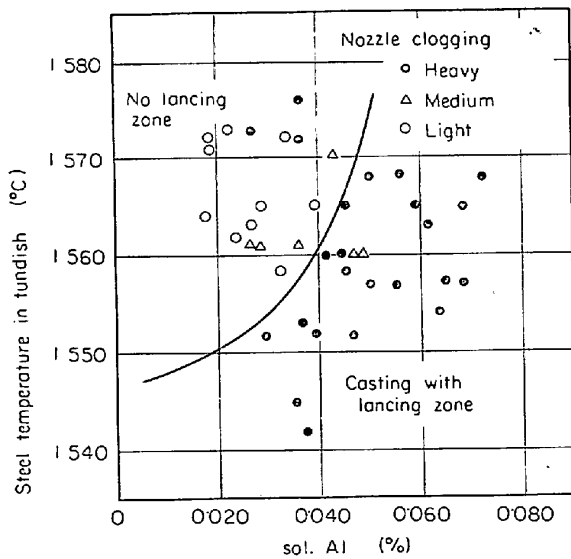


Fig. 15. Effect of sol. Al and steel temperature on casting operation.

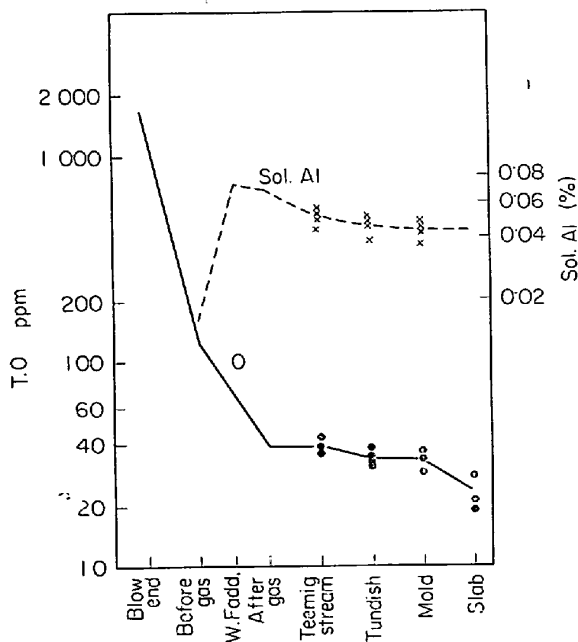


Fig. 16. Change of sol. Al and T.O.

な関係となる。ノズル閉塞についてはこれまでも多くの報告¹⁰⁾¹¹⁾があり、ノズル形状、材質を変更するなどの試験が行なわれている。ノズル閉塞を防止する方策としては、鋳造温度と sol. Al を最適範囲に制御することが第一であり、その意味からも WF 法による Al 添加法で、材質も良好な sol. Al 量を 0.030~0.040% に適中させることが重要である。

10. 薄鋼板用スラブと製品の品質

冷延鋼板ではまず美しい表面性状が要求される。冷延

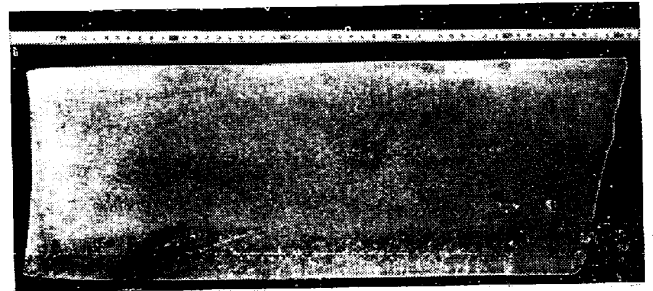


Photo. 3. Macro-structure of slab cross-section for typical steel.

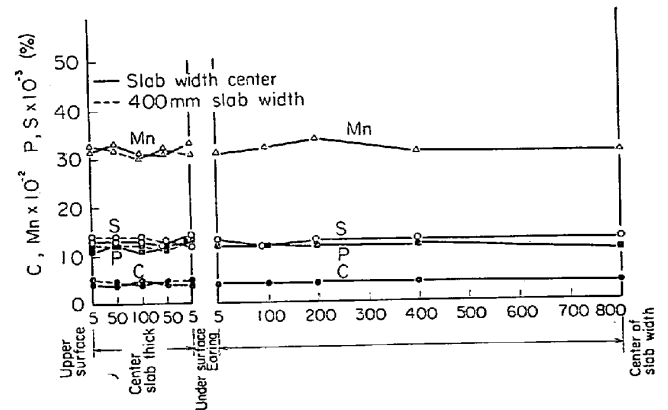


Fig. 17. Segregation of elements on middle slab section. (1)

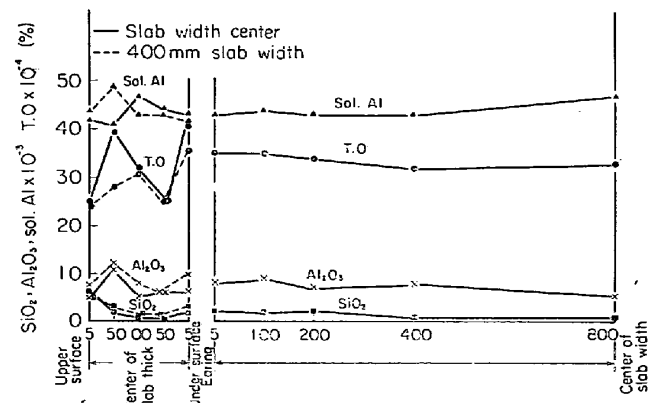


Fig. 18. Segregation of elements on middle slab section. (2)

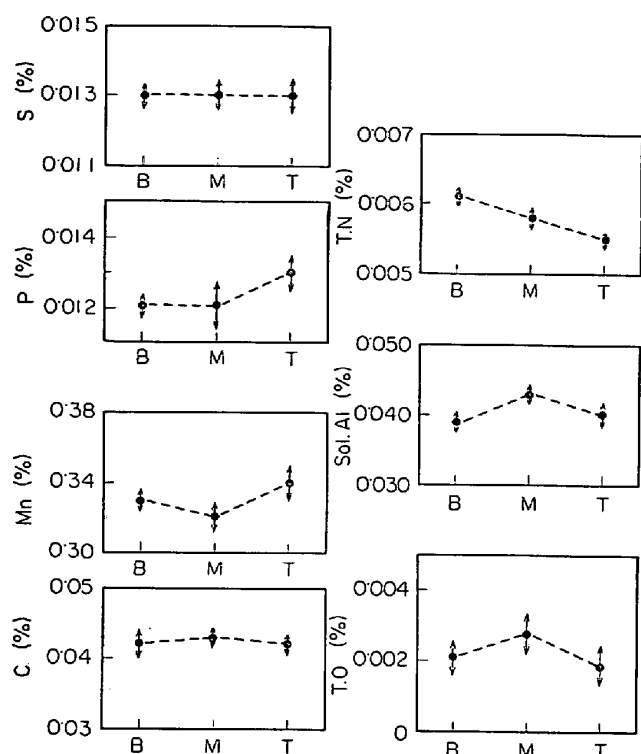


Fig. 19. Average analysis and standard deviation of distribution of constituents on cross section.

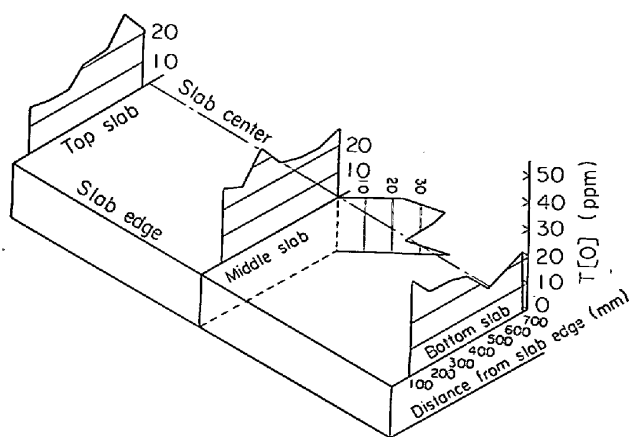


Fig. 20. Oxygen distribution on slab surface and in slab of Al-killed steel for deep-drawing.

11. 結 言

彎曲型広幅スラブ連続鋳造機により薄鋼板用鋼を製造するに際してとられた種々の新技術について報告した。薄鋼板用鋼としては深絞り性の Al キルド鋼を主体に一部リムド相当鋼種にもふれた。製造上の技術として新しい Al の添加方法、空気酸化防止法、浸漬ノズルの開発を行ない、この結果、表面性状が良好でかつ内部性状のすぐれたスラブが製造され、さらにこれらのスラブを圧延して薄鋼板とした製品の表面は美しくあり、材質上でも普通造塊材に劣らないものが得られた。

最後に、現場試験に際してご協力いただいた厚板製造部製鋼工場の関係者の方々、実験・調査ならびにデータ整理に助力された笹島保敏君に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) たとえば Industry Week, 5(1970), p. 15
- 2) Thirty three, 33(1970), p. 62
- 3) G. M. ITSKOVICH: Stal in English (1965), p. 525
- 4) N. I. SAUTKIN, et al.: Stal in English (1964), p. 106
- 5) V. P. DESFOSSEZ, et al.: Stahl u. Eisen, 86 (1966), p. 321
- 6) H. WIDMARK: Jernkontorets Annaler, 150 (1966), p. 38
- 7) 根本, 川和, 佐藤, 阪本: 鉄と鋼, 56(1970), p. S430
- 8) 根本, 川和, 佐藤: 鉄と鋼, 56(1970), p. S431
- 9) M. D. HALLIDAY: JISI, 191(1959), p. 121
- 10) G. C. DUDERSTADT et al.: J. Metals, 20(1968), p. 89
- 11) M. G. CHIGRINOV, et al.: Stal in English, 3 (1963), p. 188

鋼板の表面性状と製鋼および連鋳条件を解析した結果、他の条件が一定の場合には鋳型へ注入される鋼が清浄なほど冷延鋼板の表面は清浄である。このため転炉内の予備脱酸を行ない、ついで取鍋の不活性ガス吹込を十分に行なつて取鍋内溶鋼の清浄化をはかる。さらに取鍋からタンディッシュへの注入に際して、溶鋼の空気酸化を防止する方法を開発した。以上の結果、Fig. 16 に一例を示してあるが溶鋼内の介在物は酸素量に換算してガス吹込前で 70~140 ppm, ガス吹込後 30~50 ppm, タンディッシュ内溶鋼 20~30 ppm, 鋳片スラブでは 20 ppm程度になつた。また Photo. 3 に Al キルド鋼スラブのマクロ組織を示す。スラブ寸法は幅 1600 mm, 厚さ 200 mm で鋳造全長の 1/2 に相当するスラブ断面の例である。スラブ断面の各位置における各成分 C, Mn, P, S の偏析状況を Fig. 17 に、sol. Al, T[O] および酸法による Al_2O_3 , SiO_2 を Fig. 18 に示した。Fig. 19 は鋳造方向における初, 中, 後期の成分分布を示しているが、均一な分布となつている。T[O] の分布状況は Fig. 20 のとおりである。鋼片スラブは 1~1.5 回のコールドスカーフ後に 1~0.3 mm の冷延鋼板に圧延されたが、従来の普通造塊材の場合の製品と比較して表面性状、機械的性質とともに同等の品質であつた。