

Fig. 2. Distribution patterns of defects in plates detected by ultrasonics.

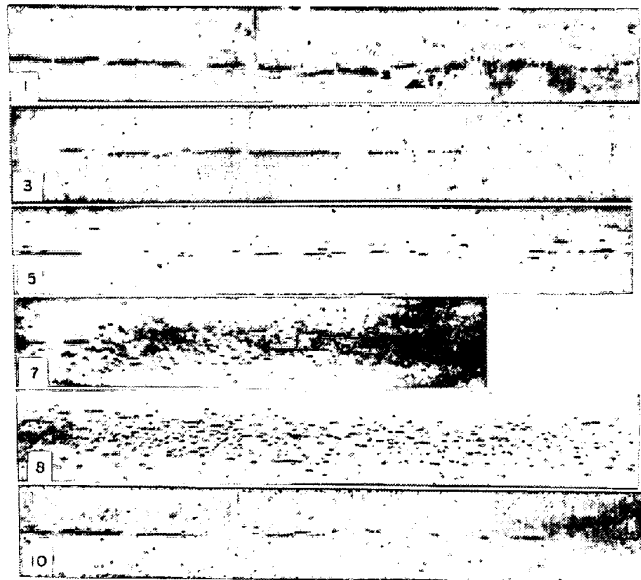


Photo. 2. Typical magnetic particle patterns of defects in plates detected by ultrasonics. (Indication of defects in plates-30 mm) (The figure shows the charge number)

た。

2) インゴット、スラブの探傷はともに、プレートの欠陥を予測する上に非常に有力な手段であるが、トップ側とボトム側とでは超音波欠陥の評価をかえる(適正な探傷感度を選ぶ)必要がある。

なお実験の冶金学的な結果、考察などについては、別途報告される予定であるので、ここでは最少限にとどめた。

文 献

- 1) C. STRASSBURGER: Stahl u. Eisen, 81 (1961) 13, p. 885
- 2) 堀田, 磯野他: 富士製鉄技報, 11 (1962) 3, p. 153
- 3) 磯野, 中山, 小林: 非破壊検査, 12 (1963) 4, p. 155
- 4) 村木, 磯野, 吉谷: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 583; 富士製鉄技報, 12 (1963) 4, p. 146

(115) 取鍋スラグのまきこみによる転炉リムド鋼注入溶鋼中の介在物

(製鋼工場における RI の利用—XVI)

八幡製鉄, 技術研究所

理博 森 久・〇谷沢 清人

松尾 翠・山手 実

Some Origins of Nonmetallic Inclusion in Pouring LD Rimming Steel

(Tracer application of RI to steel works—XVI)

Dr. Hisashi MORI, Kiyohito TANIZAWA

Midori MATSUO and Minoru YAMATE

1. 緒 言

転炉リムド鋼注入溶鋼中の介在物の起源としては、すでに転炉内スラグおよび Al 脱酸生成物を取りあげ、介在物量におよぼす製鋼要因の影響をしらべたが¹⁾²⁾、そのうち、取鍋スラグのまきこみによる介在物ならびに前 ch. の取鍋附着スラグと取鍋煉瓦変質層のまきこみによる介在物について、しらべることとした。

2. 実験方法

2.1 RI の取鍋内への添加

取鍋スラグのまきこみを追跡する場合は、直径約 10 mm のスカム粒を焼結したもの 300 g に $^{140}\text{LaCl}_3$ 溶液 4 mC をしみこませて乾燥し、これを 4 コの紙袋に鋼片と共に封入し、出鋼中に取鍋内に投入した。前 ch. の取鍋附着スラグのまきこみを追跡する場合は、前報²⁾および上述の試験で $^{140}\text{La}_2\text{O}_3$ によって汚染した取鍋を使用した。この取鍋の内壁には前 ch. の $^{140}\text{La}_2\text{O}_3$ 含有スラグが若干附着し、また取鍋煉瓦表面層は $^{140}\text{La}_2\text{O}_3$ 含有スラグの侵入によって変質している。試料の採取と放射能測定は前報²⁾に準ずる。試験は戸畑 2 転炉で低炭リムド鋼を対象として行なった。

2.2 各起源の介在物量の算出

取鍋スラグのまきこみの場合は、取鍋に投入した $^{140}\text{La}_2\text{O}_3$ 量に対する注入溶鋼中に残留した $^{140}\text{La}_2\text{O}_3$ の量の比 $Y_{L.S'}$ を、取鍋スラグのまきこみの程度を表わす特性値としたが、 $Y_{L.S'}$ は前報²⁾の (1) 式で算出した。

前 ch. の取鍋附着スラグのまきこみの場合は、注入溶鋼中に残留する前 ch. の取鍋スラグ含有率 $Y_{R.L.S'}$ を、次式で算出した。

$$Y_{R.L.S'} = (R_i \times M_{Si} / R_{fi} \times M_i) \times 10^{-6} \dots\dots (1)$$

ここで、 R_i : その鋼塊スカム 740 g の計数率
 R_{fi} : 前 ch. の取鍋スラグ 740 g の計数率
 M_{Si} : その鋼塊スカムの推定重量 (g)
 M_i : その鋼塊の重量 (t)

3. 実験結果

3.1 取鍋スラグのまきこみによる介在物

計 24ch. の試験を、出鋼時間 (2.1~6.7 min) および La_2O_3 標識スカム投入時期 (出鋼時間の 0.19~0.98 の時期) をかえて行なつた。

注入期間におけるみかけの浮上分離速度係数は、 $0.035 \pm 0.021 (\sigma) \text{min}^{-1}$ であつた。この場合の残留する $^{140}La_2O_3$ の割合の自然対数と出鋼終からの時間との回帰式から、各 ch. について出鋼終から 20 min 後の溶鋼中に残留する $^{140}La_2O_3$ の割合 (%) の自然対数 $Y_{L.S}$ を算出し、この値に影響すると思われる要因として、 $^{140}La_2O_3$ 投入から出鋼終までの時間 x_1 (min), $^{140}La_2O_3$ 投入時期 x_2 (x_1 /出鋼時間 (min)) および出鋼中期の取鍋内溶鋼温度 x_3 ($^{\circ}C$) の 3 要因をとりあげて重回帰分析した結果、以下の回帰式が得られた。

$$Y_{L.S.} = -0.431x_1 + 2.835x_2^* + 0.0225x_3 - 39.61$$

(* は偏相関係数が 5% 有意)..... (2)

出鋼終より 20 min 後の $^{140}La_2O_3$ の残留割合の実測値を (2) 式の $x_3 = 1580^{\circ}C$ として補正した値と、 $^{140}La_2O_3$ 投入時期との関係を Fig. 1 に示す。この図には、 x_3 が $1580^{\circ}C$ として、出鋼時間が 2, 4 もしくは 6 min を (2) 式に代入した結果をあわせて示す。この図をみると、出鋼初期に La_2O_3 を投入するほど $^{140}La_2O_3$ の残留割合がふえること、出鋼時間が短いほど $^{140}La_2O_3$ の残留割合が増加するが、この出鋼時間の影響は出鋼初期に $^{140}La_2O_3$ を投入するほど著しいことがわかる。しかし、Fig. 1 と (2) 式からもわかるように、(2) 式の信頼性は、前報および後述の他の 3 種の試験に比べて、かなり低い。

3.2 前 ch. の取鍋付着スラグと取鍋煉瓦変質層のまきこみによる介在物

計 29ch. の試験を行なつた。出鋼時間は 2.3~7.4 min で、前 ch. の取鍋付着スラグおよび変質層に侵入したスラグ量 x_2' は 50~440 kg であつた。 x_2' は、 $x_2' = \text{試験 ch. の取鍋スラグ計数率} \times 3t \div \text{前 ch. の取鍋スラグ計数率}$ なる式で算出した。

注入期間中のみかけの浮上分離速度係数は、 $0.036 \pm 0.042 \text{min}^{-1}$ であつた。ただし、実験法からも明らかのように、この試験では RI の使用量が少なく、したがつてスカムの計数率が低かつたため、注入順の各鋼塊スカムの計数率のバラツキが著しかつた。

出鋼終から 20 min 後の注入溶鋼中の前 ch. の取鍋付着スラグ量 $Y_{R.L.S'}$ を後述の (3) 式で x_2' が 170 kg であると補正して、これと出鋼時間 x_1 との関係を、出鋼中期取鍋内溶鋼温度 x_3 で層別して Fig. 2 に示す。 x_1 が長いほど、また x_3 が高いほど $Y_{R.L.S'}$ が減少する傾向がうかがえる。そこで、前 ch. の取鍋付着スラグ起源介在物量 (ppm) の自然対数 $Y_{R.L.S'}$ におよぼす x_1, x_3 および x_2' (前 ch. の付着スラグ量 x_2' (kg) の自然対数) の 3 要因の重回帰分析を行ない、次式を得た。

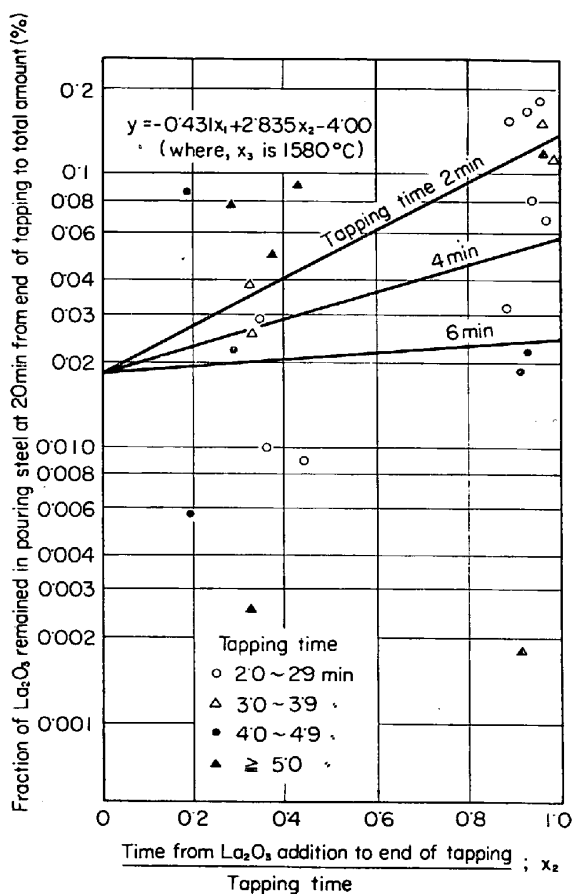


Fig. 1. Relation between time of La_2O_3 * addition and fraction of La_2O_3 remained in pouring steel.
 (* La_2O_3 was tagged to sintered slag)

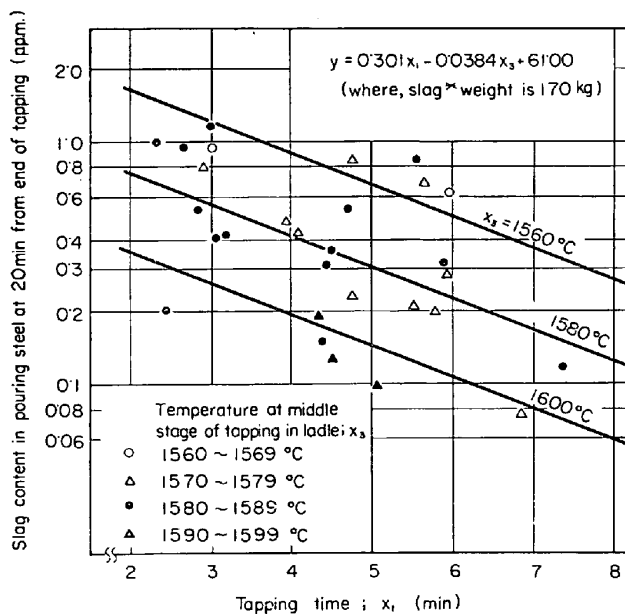


Fig. 2. Relation between tapping time and slag* content in pouring steel.
 (* The slag originated in ladle slag of last charge)

Table 1. Content of nonmetallic inclusions in pouring steel.

Origin	Content in pouring steel (%)	Assumption
Furnace slag	0.0015~0.0001	①
Ladle slag	0.001 ~0.0001	
Ladle slag of last charge	Less than 0.0001	②
Dioxidation product of Al	0.003 ~0.00002	

① Al addition to ladle is 70 g/t

② Ladle slag discharged at beginning of tapping to 150 t ladle is 750 kg

$$Y_{R.L.S} = -0.301x_1^{**} + 0.327x_2 - 0.0384x_3 + 59.321 \dots\dots (3)$$

(* は 5% 有意, ** は 1% 有意)

4. 考 察

4.1 転炉リムド鋼注入溶鋼中の各起源の介在物量のオーダー

前報および本報の結果に仮定を入れて、各起源の介在物量を推定した結果を、Table 1 に示す。ここに示した値は、まきこまれたスラグの組成が変化することなく溶鋼中に残留すると仮定して算出した値であつて、もしまきこまれたスラグが他の成分と結合して希釈されているとすれば、その希釈された倍率をこの値に乗ずる必要がある。また、炉内スラグが出鋼時に取鍋に排出してまきこまれるはずであり、厳密には、炉内スラグ・取鍋スラグ・前 ch. の取鍋スラグが一部重複して計上されていると考えるべきであり、これら 3 種の起源の介在物量を合計すると、スラグ系起源介在物の全量を過大に見積る可能性があることに留意されたい。

4.2 取鍋保持時間中の Al 脱酸生成物とスラグ系介在物の浮上状況の差異について

図は省略するが、同一 ch. の各鋼塊スカムの放射能を注入順にプロットしてみると、炉内スラグおよび取鍋内スラグ起源介在物については、中高の傾向——すなわち No. 1 鋼塊に比べて No. 3 もしくは No. 5 鋼塊スカムの放射能が高くなり、以後は注入順に減少して最終鋼塊に至つて著しく減少する傾向——を示す例が多いが、La 脱酸生成物では中高の傾向を示す例が少なかった。前 ch. の付着スラグについては、前述した理由のために計数誤差が大きく、一定の傾向は認められなかつた。また、前述したように、注入期間中のみかけの浮上分離速度係数は、La 脱酸生成物では 0.020 min^{-1} であるのに、スラグ系介在物は $0.031 \sim 0.036$ であり、スラグ系の方が 2 倍近く大きかつた。これらの現象は以下のように解釈できよう。

取鍋内鋼浴は熱的対流などによつてかなり混合されるとはいへず、取鍋保持時間が長くなると次第に鋼浴の高さ方向に温度差が生じ、底部付近の鋼浴は静止浴に近くなると推測される。取鍋内の温度分布ならびに対流状況がこのようになつた時点で注入を開始すると、ノズルから出る溶鋼は、まずノズル近くのもの、ついで上部浴の順となり、最後に取鍋下部のノズルから遠い部分が流出することが、水によるモデルで浴内の温度分布ならびに注入流の温度変化の測定結果⁵⁾や水にインクやステレ

ン樹脂を加えて注入中の浴内の流れを観察した実験⁶⁾で明らかにされている。いま、スラグ系介在物は平均粒度が大きかつ粒度分布の中も広いと仮定すると、ストークス則による浮上⁷⁾の結果、取鍋保持時間中に鋼浴高さ方向に介在物の著しい濃度勾配を生じ、この時期に注入を開始すると、まずノズル近傍の介在物濃度の低い溶鋼が流出し、ついで介在物濃度の高い取鍋上部の溶鋼が流出し、最終鋼塊付近でふたたび介在物濃度の低い取鍋下部のノズルから遠い部分が流出し、かつ注入期間中にも鋼浴内の介在物分離がかなり進行する結果、鋼塊スカム放射能の注入順の推移が右下りの中高の曲線となつたものであろう。一方、 La_2O_3 は粒度が小さく、ストークス則による浮上速度がスラグ系介在物のそれに比べてかなり小さいと仮定すると、注入直前の鋼浴高さ方向の介在物の濃度勾配はスラグ系介在物に比べて小さく、したがつて鋼塊スカム放射能の注入順の推移は中高の傾向が少なく、注入期間中の介在物の浮上がほとんど進行しないために右下りの勾配(みかけの浮上分離速度係数)も小さいことになる。

4.3 スラグ起源介在物量におよぼす出鋼時間の影響について

取鍋内スラグが出鋼流によつてまきこまれる速度 V は、出鋼初期ほど出鋼流の落差が大きく取鍋内鋼浴が浅いために大きく、出鋼時間 T が短いほど出鋼速度が大きいために大きく、出鋼開始からの時間とともに V が減少すると想像される。

そこで、 $V = A - k_1 t$ なる関数形で、 $A \propto 1/T$, $k_1 \propto 1/T$ である仮定し、一旦溶鋼にまきこまれたスラグの浮上分離は $k_2 = 0.8 \text{ min}^{-1}$ なる速度係数で 1 次則にしたがつて進行すると仮定すると、取鍋内鋼浴にまきこまれているスラグ量 C の解として次式を得る。

$$C = \frac{1}{k_2} \left[A - k_1 \left(t - \frac{1}{k_2} \right) \right] - \frac{1}{k_2} \left(A + \frac{k_1}{k_2} \right) \exp(-k_2 t) \dots\dots (4)$$

(4) 式から、鋼浴中にまきこまれているスラグ量 C と出鋼始からの時間 t との関係を出してプロットしてみると(図は省略)、上に凸の曲線で増加して max に達した後ふたたび下降するが、出鋼時間が長いほど max に達する時期 (t/T) が早く、max の値も低く、また出鋼終の値も低くなる。

前報¹⁾における注入溶鋼中の炉内スラグ量および 3.2 で示した $Y_{R.L.S}$ は、出鋼終から注入までの浮上分離勾配が ch. によらず一定であると仮定すると、(4) 式で算出される出鋼時の C と比例するはずであり、実験結果と(4) 式による推測とはみかけ上一致している。また、3.1 の結果では、出鋼時間が長くなると La_2O_3 投入時期の影響が小さくなつたが、これも La_2O_3 投入時期以後にまきこみが開始したと仮定して導出した(4) 式と類似の式による推測とみかけ上一致している。

しかし、このようなモデルが妥当であるか否かは、今後エマルジョン化能の異なる各種の界面活性剤と油を使用して、水-油系のモデル実験などを行なうことによつて確かめる要があろう。

5. 結 言

以上、転炉リムド鋼注入溶鋼中の介在物の起源とし

て、La 脱酸生成物や各種のスラグ系介在物について定量的に検討したところ、常識から予想された溶鋼温度や取鍋保持時間の効果の他に、出鋼時間の影響が著しかったことは、注目すべきことと考えられる：

文 献

- 1) 森, 他: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1930
- 2) 森, 他: 同上, 52 (1966), p. 1552
- 3) 森, 他: 同上, 50 (1964), p. 442
- 4) 例えば N. L. SAMWAYS and T. E. DANCY: J. of Metals, 12 (1960), p. 331
- 5) 平岡, 他: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1750
- 6) 大久保, 他: 同上, 52 (1966), p. 440
- 7) 例えば, 宮下, 他: 同上, 52 (1966), p. 1454

(116) 大型リムド鋼塊内の非金属介在物の分布について

(リムド鋼塊の非金属介在物に関する研究—I)

富士製鉄, 広畑製鉄所

浅野鋼一・大橋徹郎・〇塗 嘉夫

On Distribution of Nonmetallic Inclusions in Large Rimmed Steel Ingot

(Study on nonmetallic inclusions in rimming steel ingot—I)

Kōichi ASANO, Tetsurō ŌHASHI and Yoshio NURI

1. 緒 言

低炭素リムド鋼は冷延鋼板をはじめとして、熱延中薄板にまで広く用いられている。このリムド鋼板の特質が清浄なリム層を有するために、その加工性が良好で、かつ成品表面が美麗である。

しかし、最近加工技術の進歩とともに高度の加工が要求され従来あまり問題とされなかつた諸欠陥がクローズアップされてきており、それらの欠陥の多くが非金属介在物に起因するすのであるといわれている。従来、リムド鋼塊の非金属介在物に関しては 2, 3 の研究があるが^{1)~3)}、いまだ不明な点が多い。特に、リムド鋼の非金属介在物の研究を困難にしている理由の 1 つに適切なる定量方法が確立されていないことがある。

著者らは主として、スライム法により大型介在物を抽出し、鋼塊凝固組織と関連させてその分布を詳細に調べたのでその結果を報告する。

2. 実験方法

転炉溶製極軟リムド鋼を大型鑄型に注入し、試験鋼塊を作成した。試験鋼塊の製鋼造塊条件および鑄型の主要寸法を Table 1 に示す。試験鋼塊は冷塊後、鋼塊の縦方向の中心線を通つて 1/4 を削り落とし、その切削面について各種位置から試料を採取した。試料採取位置は Photo. 1 のマクロエッチ写真上に示した。リム層で頭部、中央部、底部と 3 個採取し、リム層とコア部の境界で同じく 4 コ採取しコア部。センター部では濃厚偏析帯を含めて 9 コ、合計 16 個の試料を採取し、スライム用の試料とした。また同時に酸素分析用試料を鋼塊頭部、

Table 1. Teeming conditions and mold dimensions of tested ingot.

Tap temperature (°C)	1580	
Ladle analysis (%)	C	0.07
	Mn	0.30
	S	0.017
Mold addition of Al (g/t)	67	
Capping time (min)	27	
Mold dimensions	Width (mm)	1860
	Thickness (mm)	850
	Height (mm)	2200
Ingot weight (t)	22.0	

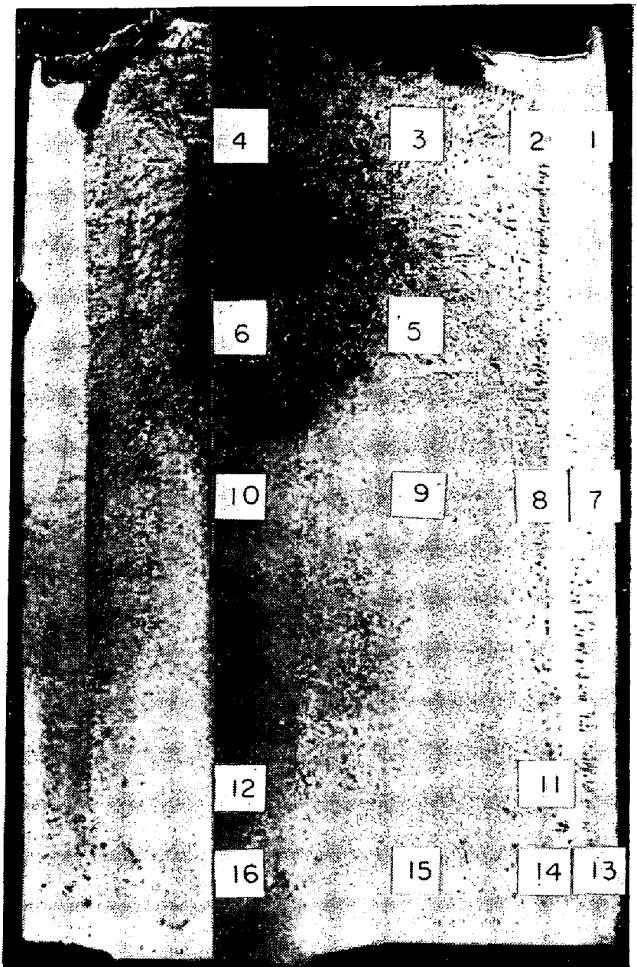


Photo. 1. Position of samples for slime-method.

中央部、底部にて巾方向に連続的に採取した。

スライム法については、すでに 2, 3 報告されているが以下にその操作要領を示す¹⁾⁴⁾⁵⁾。

鋼塊より切り出した試片(約 5 kg)を陽極とし 10~15% 塩化第 1 鉄水溶液を電解液とし数連直列で 10~20 V, 10~15 A の条件で 30 日~40 日間通電して電解をおこなつた。陰極には 3 mm 目, 0.7 mm φ の金網を使用し、電解中陰極からの電解鉄片の脱落を防止するた